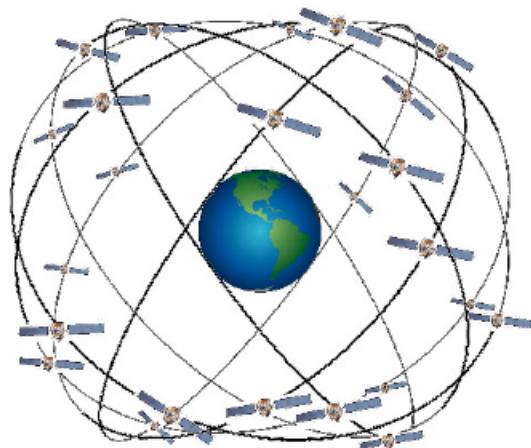


TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ ĐỊA CHẤT  
BỘ MÔN TRẮC ĐỊA CAO CẤP



**GIÁO TRÌNH**  
**ĐỊNH VỊ VỆ TINH (A)**

Biên soạn:  
PGS TS Đặng Nam Chính-PGS TS Đỗ Ngọc Đường

Hà Nội, tháng 02 năm 2012

## MỞ ĐẦU

Từ những năm 60 của thế kỷ XX, bằng quan sát đồng thời vệ tinh nhân tạo của Trái đất, người ta đã xây dựng được các mạng lưới tam giác vệ tinh mà bản chất là lưới tam giác không gian (3D) liên kết các điểm cách xa nhau (hàng ngàn km) trên mặt đất để chuyên tọa độ từ châu lục này sang châu lục khác. Có thể nói, Trắc địa cao cấp là một trong những ngành khoa học sớm đưa ứng dụng vệ tinh nhân tạo của Trái đất vào giải quyết một cách hiệu quả các nhiệm vụ đặc thù của mình. Cũng từ đó đã hình thành một chuyên ngành mới là **trắc địa vệ tinh** (*Satellite Geodesy*).

Tháng 2 năm 1978, Mỹ đã đưa vệ tinh đầu tiên của Hệ thống định vị toàn cầu GPS lên quỹ đạo. Sau đó Liên Xô cũng đã xây dựng hệ thống định vị toàn cầu riêng- Hệ thống GLONASS. Từ năm 2003, các nước trong Cộng đồng Châu Âu cùng nhau triển khai xây dựng hệ thống định vị toàn cầu GALILEO. Trung Quốc đang triển khai dự án xây dựng hệ thống định vị toàn cầu COMPASS. Ấn Độ xây dựng riêng hệ thống định vị vệ tinh khu vực IRNSS.

Trong chương trình đào tạo kỹ sư trắc địa ở nhiều nước, người ta đã đưa môn học này vào nội dung giảng dạy cho sinh viên. Ngay trong giai đoạn học tập, sinh viên đã được tiếp cận với công nghệ GPS và có thể tham gia đo đạc, xử lý số liệu đo và sử dụng các thành quả đo GPS để giải quyết các nhiệm vụ khác nhau của trắc địa- bản đồ.

Ở Việt Nam, công nghệ GPS đã được ứng dụng vào công tác trắc địa từ những năm 1990-1991. Sau một thời gian ngắn thử nghiệm, chúng ta đã làm chủ công nghệ GPS để hoàn thiện mạng lưới thiên văn-trắc địa quốc gia, góp phần xây dựng hệ quy chiếu VN-2000 và mở rộng ứng dụng công nghệ GPS vào các nhiệm vụ khác nhau của trắc địa bản đồ. Thực tế đã chứng minh rằng: ứng dụng vệ tinh nhân tạo trong trắc địa cao cấp nói riêng và trong trắc địa- bản đồ nói chung có những ưu điểm vượt trội so với công nghệ đo đạc truyền thống.

Với phương châm đào tạo đáp ứng nhu cầu xã hội, mong muốn cung cấp cho sinh viên các kiến thức cơ bản về hệ thống định vị toàn cầu GPS và các ứng dụng của nó trong trắc địa, từ năm 2000, Bộ môn Trắc địa cao cấp đã đưa môn học “Công nghệ GPS” vào nội dung giảng dạy của Khoa trắc địa. Theo chương trình đào tạo mới, bài giảng “Công nghệ GPS” được biên soạn lại theo đề cương đã được Bộ môn Trắc địa cao cấp thông qua với tên mới là “Định vị vệ tinh”, trong đó bổ sung thêm một số kiến thức về các hệ thống định vị toàn cầu khác như GLONASS, GALILEO, COMPASS vv...

Công nghệ GPS nói riêng và GNSS nói chung đã được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực dân sự và quân sự. Trong phạm vi của bài giảng này, chúng tôi trình bày một số ứng dụng của GNSS trong công tác trắc địa-bản đồ, trong nghiên cứu địa động và một vài ứng dụng trong quân sự. Các ứng dụng này được trình bày trong chương 7.

Giáo trình “Định vị vệ tinh (A)” có thời lượng giảng dạy trên lớp khoảng 60 tiết, dùng cho sinh viên các chuyên ngành Trắc địa của Khoa Trắc địa Trường Đại học Mỏ Địa chất. Giáo trình cũng là tài liệu tham khảo những người quan tâm tới công nghệ định vị vệ tinh và các ứng dụng của nó.

Giáo trình này được biên soạn theo đề cương mới dựa vào bài giảng công nghệ GPS năm 2007 của Bộ môn Trắc địa cao cấp. Trong quá trình biên soạn, chúng tôi đã sử dụng một số tài liệu tham khảo tiếng nước ngoài.

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn TS Dương Văn Phong, thạc sĩ Nguyễn Xuân Tùng và Thạc sĩ Nguyễn Gia Trọng đã đóng góp nhiều ý kiến quý báu để chúng tôi biên tập bài giảng này.

Do trình độ có hạn, cuốn tài liệu này chắc chắn còn nhiều khiếm khuyết, rất mong các bạn đọc góp ý để chúng tôi có thêm kinh nghiệm nhằm hoàn chỉnh cuốn tài liệu này vào các lần tái bản tiếp theo.

Xin trân trọng cảm ơn bạn đọc.

*Hà nội, tháng 02 năm 2012*

Các tác giả

## Chương 1

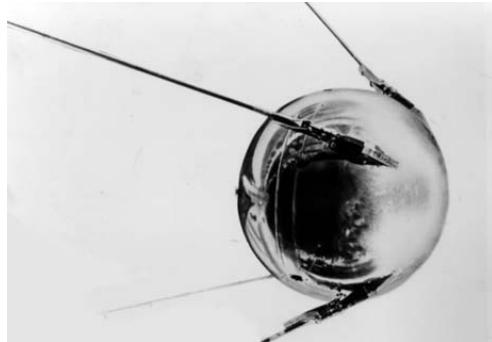
### NHIỆM VỤ VÀ CÁC BÀI TOÁN CƠ BẢN CỦA TRẮC ĐỊA VỆ TINH

#### 1.1. LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN VÀ NHIỆM VỤ CỦA TRẮC ĐỊA VỆ TINH

##### 1.1.1. Lịch sử phát triển của trắc địa vệ tinh

Tháng 10 năm 1957, Liên Xô đã phóng thành công vệ tinh nhân tạo (VTNT) đầu tiên của Trái đất *Sputnik-1* (hình 1.1) lên quỹ đạo, mở đầu cho kỷ nguyên con người chinh phục không gian vũ trụ. Cũng từ đó, con người đã sử dụng VTNT vào giải quyết nhiệm vụ của nhiều lĩnh vực khác nhau, trong đó có Trắc địa cao cấp.

Ngay từ năm 1958 bằng số liệu quan sát từ vệ tinh, người ta đã xác định được độ dẹt cực của Trái đất là  $f=1/298,3$ , rất gần với kết quả xác định từ đo đạc trên mặt đất. Cũng trong thời gian này, bằng quan sát VTNT người ta cũng đã xác định được một số tham số vật lý của Trái đất.



Hình 1.1. Vệ tinh Sputnik-1

Vào những năm 1960, VTNT được đưa lên quỹ đạo và đóng vai trò như những mục tiêu cao, dùng các thiết bị quang học để quan sát vệ tinh từ mặt đất phục vụ xây dựng lưới tam giác vệ tinh (còn gọi là mạng lưới tam giác vũ trụ) cho phép chuyên tọa độ giữa các điểm xa nhau trên bề mặt Trái đất với sai số cỡ  $\pm 5$  m.

Phương pháp tam giác vệ tinh chịu ảnh hưởng đáng kể của điều kiện thời tiết, máy móc thiết bị quan sát nặng nề, không thuận tiện cho công tác đo đạc dã ngoại. Vì vậy sau khi hoàn thành nhiệm vụ lịch sử nói trên, phương pháp này hiện nay không còn sử dụng trong thực tế.

Để khắc phục nhược điểm của phương pháp tam giác vệ tinh, người ta thiết kế hệ thống đạo hằng vệ tinh làm việc trong mọi điều kiện thời tiết và liên tục 24 giờ trong ngày. Năm 1962 Mỹ thiết kế và xây dựng hệ thống vệ tinh đạo hằng hải quân (*Navy Navigation Satellite System*), gọi là hệ thống TRANSIT. Cũng trong thời gian này Liên xô đã xây dựng hệ thống TSICADA có tính năng tương tự như hệ thống TRANSIT của Mỹ. Cả hai hệ thống trên đều hoạt động theo nguyên lý hiệu ứng Doppler, dựa trên các tín hiệu từ vệ tinh phát xuống mặt đất. Trong các trường hợp này vệ tinh đóng vai trò như các điểm gốc (có tọa độ), là phương tiện truyền thông tin quỹ đạo vệ tinh, tạo trị số Doppler để cung cấp cho máy thu thực hiện bài toán định vị trên biển và trên mặt đất.

Từ năm 1967, phương pháp Doppler vệ tinh không chỉ là đột phá cho nhiệm vụ định vị trên biển mà còn mở ra khả năng xây dựng lưới khống chế tọa độ cho một số quốc gia trước thập

năm 80 của thế kỷ trước. Tuy vậy, hệ thống TRANSIT cũng có những nhược điểm như không đáp ứng được các yêu cầu định vị tức thời cần độ chính xác cao.

Năm 1973 hệ thống GPS được thiết kế. Từ năm 1978 đến năm 1985 người ta đưa lên quỹ đạo 11 vệ tinh thế hệ I (block I) mang tính chất thực nghiệm. Từ năm 1989 đến năm 1990 người ta đưa lên quỹ đạo 9 vệ tinh thuộc các thế hệ II (block II) và các vệ tinh công tác. Vệ tinh thế hệ II khác vệ tinh thế hệ I ở chỗ nó phát tín hiệu có nhiều chủ động SA và có kỹ thuật bảo mật AS. Từ năm 1990 đến năm 1994 người ta đưa lên quỹ đạo 15 vệ tinh thế hệ IIA có khả năng liên hệ giữa các vệ tinh. Từ năm 1996 người ta đưa lên quỹ đạo các vệ tinh thế hệ IIR có khả năng đo khoảng cách giữa 3 vệ tinh lân cận và hoạt động theo nghĩa con thoi vũ trụ. Từ 26/9/2005 các vệ tinh II-RM phát thêm tín hiệu L2C cho phép sử dụng rộng rãi trong dân sự. Từ năm 2008, các vệ tinh thế hệ II-F sẽ phát thêm sóng tải L5, với tần số  $f_5 = 1176,45\text{MHz}$ .

Năm 1992 người ta đã áp dụng các kỹ thuật giao thoa cạnh đáy dài VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*), kỹ thuật đo khoảng cách laser đến Mặt Trăng LLR (*Lunar Laser Ranging*) và đo khoảng cách laser đến vệ tinh SLR (*Satellite Laser Ranging*) để xác định toạ độ các trạm theo dõi vệ tinh GPS (trong đoạn điều khiển) với sai số tương đối cỡ  $10^{-9}$ . Khung quy chiếu WGS-84 do Bộ quốc phòng Mỹ thiết lập phục vụ cho hệ thống GPS cũng định kỳ được nâng cấp. Số lượng trạm quan sát thường xuyên ở các châu lục tham gia trong hệ thống trạm IGS (*International GNSS Service*) cũng không ngừng tăng lên.

Sau hệ thống GPS của Mỹ, năm 1980, Liên Xô cũng đã xây dựng hệ thống định vị toàn cầu quân sự có tên gọi là GLONASS (*GLObal NAVigation Satellite System*). Nguyên lý hoạt động của hệ thống này tương tự như hệ thống GPS.

Để tăng cường độ chính xác định vị GPS và GLONASS, từ cuối năm 2002, Dịch vụ dẫn đường sử dụng vệ tinh địa tĩnh phủ trùm Châu Âu EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) đã cung cấp khả năng định vị chính xác trên toàn bộ châu Âu và vùng lân cận. Để tăng cường độ chính xác cho hệ thống GPS, Mỹ đã xây dựng hệ thống định vị tăng cường diện rộng WAAS, và Nhật Bản đã xây dựng hệ thống MSAS cũng có tính năng tương tự như WAAS và EGNOS. Các hệ thống này cung cấp khả năng định vị tức thời trên toàn bộ vùng phủ sóng với sai số không lớn hơn 3m.

Từ tháng 3 năm 2002 Liên minh châu Âu bắt đầu đưa lên quỹ đạo các vệ tinh đầu tiên của hệ thống định vị toàn cầu GALILEO. Hệ thống GALILEO được đưa vào hoạt động thử nghiệm từ 2008 và dự kiến hoàn thành vào khoảng 2013 - 2015. Năm 2007, Trung Quốc phát triển hệ thống định vị khu vực Bắc Đẩu-1 thành hệ thống định vị toàn cầu với tên gọi là COMPASS hay Bắc Đẩu-2.

Các hệ thống GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS được gọi chung là các hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*). Để phục vụ cho công tác định vị trong những điều kiện hạn chế không thể liên tục thu tín hiệu từ vệ tinh, người ta đã

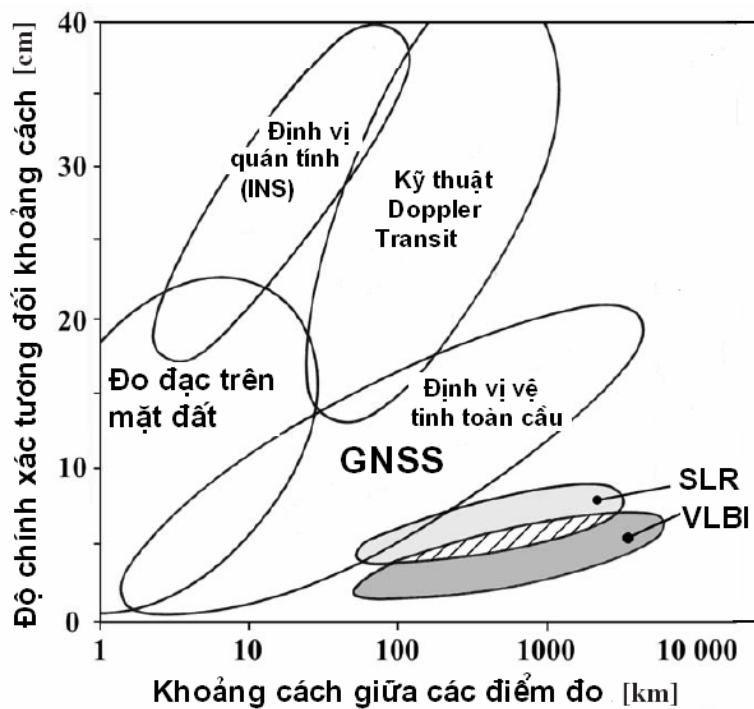
chế tạo thiết bị định vị tích hợp công nghệ định vị vệ tinh với hệ thống định vị quán tính (*Inertial Navigation System- INS*).

Để phục vụ quan sát trường trọng lực trái đất với độ phân giải cao, từ năm 2000 trở lại đây, người ta đã đưa các vệ tinh CHAMP, GRACE và GOCE lên quỹ đạo.

Trong lĩnh vực chế tạo máy thu tín hiệu vệ tinh cũng có nhiều cải tiến. Từ máy thu ban đầu SERIES-V hoạt động hoàn toàn theo nguyên tắc của VLBI có 3 bộ phận tách rời: Nguồn phát-lịch vệ tinh - máy thu, hiện nay nhờ sự phát triển của kỹ thuật mã (code) đã có máy thu làm việc theo 2 bộ phận: nguồn phát có lịch vệ tinh và máy thu tín hiệu như hiện nay.

Về kỹ thuật định vị và độ chính xác định vị cũng liên tục có sự phát triển. Năm 1983 GPS được áp dụng vào xây dựng lưới khống chế nhà nước hạng I đạt độ chính xác  $(1 \div 2) \times 10^{-6}$ . Năm 1985 ra đời kỹ thuật đo GPS động đạt độ chính xác đến cm. Năm 1987 áp dụng vào xây dựng lưới đạt độ chính xác  $10^{-8}$ . Năm 1989 là năm ra đời cách giải số nguyên đa trị trên đường đo OTF (*On the Fly*), đặc biệt năm 1989 ra đời kỹ thuật đo GPS vi phân (DGPS) làm tăng đáng kể độ chính xác định vị tiến tới loại bỏ nhiễu cố ý SA. Năm 1993 ra đời kỹ thuật đo động tức thời RTK (*Real Time Kinematic*).

Từ lịch sử phát triển của trắc địa vệ tinh, có thể thấy rằng nhiệm vụ của trắc địa cao cấp đã được giải quyết bằng lý thuyết mới và công nghệ mới. Độ chính xác và tính hiệu quả hơn hẳn so với công nghệ cũ. Để so sánh độ chính xác và phạm vi làm việc của các phương pháp đo đạc trong trắc địa cao cấp, nhà trắc địa người Đức G. Seeber đã đưa ra sơ đồ hình 1.2. [9].



Hình 1.2. So sánh độ chính xác và phạm vi làm việc của các công nghệ đo đạc

Qua sơ đồ trên cho thấy, công nghệ GPS nói riêng và GNSS nói chung là công nghệ đo đạc có phạm vi hoạt động khá rộng và độ chính xác tương đối khoảng cách đạt được khá cao so với công nghệ đo đạc truyền thống trên mặt đất và công nghệ đo đạc không gian SLR và VLBI. Có thể nói công nghệ GNSS là “cầu nối” giữa công nghệ đo đạc truyền thống và công nghệ đo đạc không gian SLR, VLBI.

### 1.1.2. Nhiệm vụ của trắc địa vệ tinh

Trắc địa vệ tinh là môn khoa học nghiên cứu việc ứng dụng các kết quả quan sát vệ tinh nhân tạo hoặc vệ tinh tự nhiên của Trái đất và các vật thể vũ trụ khác để giải quyết các nhiệm vụ kỹ thuật của trắc địa. Ứng dụng của VTNT vào lĩnh vực trắc địa-bản đồ nói chung và vào trắc địa cao cấp nói riêng ngày càng được phát triển rộng rãi, đó là nghiên cứu xác định quan hệ tương hỗ giữa các điểm trên bề mặt Trái đất với các thiết bị đặt trên VTNT chuyển động liên tục trong trường trọng lực của Trái đất để giải quyết các bài toán dựa trên quan sát vệ tinh từ mặt đất hoặc quan sát Trái đất từ vệ tinh.

Nhiệm vụ này có thể diễn đạt cụ thể như sau:

1. Xác định các tham số hình học và vật lý của Trái đất và sự thay đổi của chúng theo thời gian.
2. Xác định vị trí tương hỗ của các điểm trên bề mặt Trái đất trong hệ toạ độ Trái đất. Phục vụ cho nghiên cứu địa động trên phạm vi khu vực và trên toàn cầu.
3. Xác định quan hệ giữa hệ toạ độ Trái đất và trọng tâm của Trái đất
4. Xác định quan hệ giữa hệ toạ độ của các quốc gia, các khu vực.
5. Quan sát biến đổi trạng thái khí quyển và môi trường trên Trái đất vv....

Sự phát triển và ứng dụng của TĐVT liên quan chặt chẽ đến các khoa học khác về Trái đất như địa vật lý, địa chất, khí tượng học vv... Ứng dụng của VTNT vào lĩnh vực trắc địa-bản đồ nói chung và vào trắc địa cao cấp nói riêng ngày càng được phát triển rộng rãi.

Trong những năm 1987-1988, công nghệ Doppler vệ tinh đã được ứng dụng để xác định một số điểm (vệ tinh) trong mạng lưới thiên văn-trắc địa quốc gia của nước ta. Vào đầu những năm 1990, công nghệ GPS được đưa vào ứng dụng tại Việt Nam và nhanh chóng chiếm vị trí quan trọng trong công tác xây dựng các mạng lưới trắc địa. Trong những năm 1991-1995, bằng công nghệ GPS chúng ta đã nhanh chóng hoàn thiện mạng lưới thiên văn - trắc địa quốc gia và xây dựng mạng lưới trắc địa biển, liên kết đất liền với các hải đảo nằm xa đất liền. Công nghệ GPS đã góp phần quan trọng trong đo đạc xây dựng cơ sở dữ liệu, định vị Ellipsoid và hình thành hệ quy chiếu VN-2000 của Việt Nam. Bên cạnh đó, công nghệ GPS đã được ứng dụng để đo đạc một số mạng lưới phục vụ nghiên cứu địa động trên các đứt gãy Sông Hồng, đứt gãy Điện Biên - Lai Châu và tham gia cùng các nước trong khu vực thực hiện đo đạc và nghiên cứu chuyển dịch vỏ Trái đất vùng Đông Nam Á, như dự án GEODYSSIA và APRGP.

Cho đến nay, trắc địa vệ tinh không chỉ giải quyết các bài toán của trắc địa cao cấp mà đã thâm nhập vào hầu hết các công tác trắc địa, bản đồ, đo đạc địa chính, trắc địa mỏ vv... Người ta đã sử dụng công nghệ GPS để xác định vị trí tâm chụp ảnh hàng không, tích hợp với công nghệ LIDAR, sử dụng để đo vẽ bản đồ địa hình, bản đồ địa chính, đo đạc biển, đo các mạng lưới trắc địa công trình, xây dựng cơ sở dữ liệu GIS vv... Ngành trắc địa nước ta luôn tiếp cận các công nghệ mới của định vị vệ tinh. Có thể thấy rằng, trong tương lai, công nghệ định vị vệ tinh sẽ là công nghệ đo đạc quan trọng, chủ yếu trong trắc địa-bản đồ.

## 1.2. CÁC BÀI TOÁN VÀ CÁC NGUYÊN LÝ ĐỊNH VỊ VỆ TINH

Trong quá trình phát triển về lý thuyết và công nghệ định vị vệ tinh, người ta đã đưa ra hai bài toán cơ bản đó là **bài toán hình học** và **bài toán động học**.

### 1.2.1. Bài toán hình học và bài toán động học

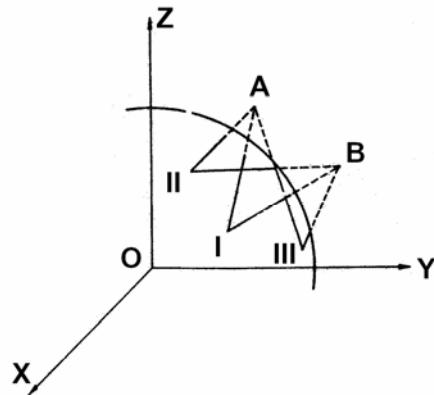
Trước đây người ta đưa lên quỹ đạo một số vệ tinh nhân tạo đóng vai trò như những mục tiêu di động (trên quỹ đạo) phát sáng hoặc được chiếu sáng, nhờ đó các trạm quan sát trên mặt đất có thể ghi nhận được vị trí vệ tinh bằng chụp ảnh vệ tinh trên nền sao. Bằng cách này người ta có thể tiến hành xác định được vị trí điểm quan sát trên mặt đất mà không cần biết vị trí chính xác của vệ tinh. Các vệ tinh này được gọi là các vệ tinh thụ động (*passive satellites*), và bài toán xác định trong trường hợp này được giải quyết theo nguyên tắc hình học **còn gọi là bài toán hình học**. Trong phương pháp này, quỹ đạo ellip của vệ tinh có tâm sai e trong khoảng 0,02 đến 0,05 và trong mọi trường hợp không được lớn hơn 0,1. Các vệ tinh thường có độ cao 1000-4000 km và nói chung không được nhỏ hơn 500 km. Trong bảng 1.1 thống kê một số vệ tinh thụ động

Bảng 1.1. Một số vệ tinh thụ động

| Vệ tinh     | Năm sử dụng | Độ cao vệ tinh (km) |
|-------------|-------------|---------------------|
| ECHO-1      | 1960-1968   | 1600                |
| ECHO-2      | 1964-1969   | 1200                |
| PAGEOS      | 1966-1972   | 2800-5600           |
| EXPLORER-19 | 1963        | 1300                |
| EXPLORER-39 | 1968        | 700-2500            |
| STARLETTE   | 1975        | 810-1100            |
| LAGEOS      | 1976        | 5900                |

Phương pháp tam giác vệ tinh (tam giác vũ trụ) được xây dựng dựa trên kết quả quan sát đồng thời các vệ tinh thụ động. Các trị quan trắc có thể là các trị đo hướng, đo khoảng cách laser từ điểm quan sát đến vệ tinh. Thông qua các trị đo hướng, đo khoảng cách đến các vệ tinh, người ta xây dựng các mạng lưới tam giác không gian liên kết các điểm trên mặt đất (hình 1.3). Sau khi bình sai mạng lưới không gian, người ta sẽ tính chuyển toạ độ cho các

điểm trong mạng lưới (I,II,III...), đồng thời cũng nhận được vị trí vệ tinh tại thời điểm quan sát (A,B,...). Trong trường hợp này vị trí vệ tinh đóng vai trò như các điểm ngắm phụ trợ (chuyển động) để tạo nên mạng lưới không gian.



Hình 1.3. Nguyên tắc lập lưới tam giác không gian

Nhược điểm cơ bản của bài toán hình học là không thể thực hiện định vị tuyệt đối tức thời mà chỉ có thể thực hiện định vị tương đối xử lý sau. Trong bài toán hình học, thiết bị quan sát công kẽm, việc tổ chức đo đạc phức tạp, tốn nhiều thời gian, độ chính xác thấp.

Vào những năm 70 của thế kỷ trước, nhờ sự phát triển của kỹ thuật điện tử, các vệ tinh được trang bị nguồn phát tín hiệu vô tuyến, gương phản chiếu laser, đồng hồ nguyên tử chính xác cao vv... Trong quá trình chuyển động trên quỹ đạo, nhờ các trạm quan trắc của đoạn điều khiển người ta xác định được vị trí chính xác của vệ tinh (trong hệ tọa độ trái đất), từ đó xác định được vị trí của các trạm thu tín hiệu vệ tinh hoặc trạm đo khoảng cách tới vệ tinh bằng laser. Các vệ tinh như vậy gọi là các vệ tinh chủ động (*active satellites*) và bài toán định vị trong trường hợp được giải quyết theo nguyên tắc động học còn gọi là **bài toán động học**. Trong bảng 1.2 thống kê một số vệ tinh chủ động.

Bảng 1.2. Một số vệ tinh chủ động

| Vệ tinh    | Bắt đầu sử dụng | Độ cao vệ tinh (km) | Góc nghiêng quỹ đạo (i) |
|------------|-----------------|---------------------|-------------------------|
| ANNA-1B    | 1962            | 1100                | 51 <sup>0</sup>         |
| GEOS-1     | 1965            | 1100-2300           | 29,5                    |
| GEOS-2     | 1968            | 1100-1600           | 106                     |
| hệ TRANSIT | 1962            | 1100                | 90                      |
| GPS        | 1978            | 20200               | 55                      |
| GLONASS    | 1992            | 19100               | 64,8                    |

Trong bài toán động học, vệ tinh chuyển động trên quỹ đạo chịu tác động của trọng trường Trái đất, lực tác dụng của các thiên thể khác như Mặt Trăng, Mặt Trời vv... cho nên việc xác định tọa độ tuyệt đối của vệ tinh trên quỹ đạo theo thời gian trong hệ tọa độ trái đất

là bài toán khá phức tạp. Để duy trì hoạt động của hệ thống định vị vệ tinh theo nguyên tắc động học, mạng lưới các trạm quan trắc của đoạn điều khiển (ở mặt đất) phải liên tục quan trắc đến vệ tinh là cơ sở để xác định các tham số của trường trọng lực Trái đất, xác định quỹ đạo của vệ tinh, lập lịch vệ tinh. Từ đó cung cấp cho người sử dụng các tham số quỹ đạo chuyển động của VTNT trong môi trường có nhiễu của trọng trường Trái đất để thực hiện công tác định vị điểm trên mặt đất hoặc trong không gian. Có thể quan niệm là trong định vị vệ tinh theo nguyên tắc động học, tọa độ vệ tinh xác định trên quỹ đạo (tại thời điểm nào đó) là các số liệu gốc để từ đó xác định được vị trí các điểm quan sát trên bề mặt trái đất thông qua các trị đo từ điểm quan sát đến vệ tinh.

### 1.2.2. Nguyên lý định vị tuyệt đối và định vị tương đối

Trong định vị bằng các vệ tinh chủ động bao gồm 2 nguyên lý là: **định vị tuyệt đối** và **định vị tương đối**. Định vị tuyệt đối là xác định vị trí tuyệt đối của điểm quan sát trong hệ tọa độ quy ước, còn định vị tương đối là xác định hiệu tọa độ (vị trí tương đối) của các cặp điểm quan sát trong hệ tọa độ đó.

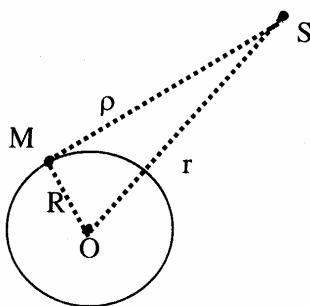
Trên hình vẽ 1.4 trình bày nguyên tắc cơ bản của bài toán định vị tuyệt đối bằng vệ tinh, trong đó S là vị trí của vệ tinh, nhờ thu tín hiệu từ vệ tinh ta xác định được vectơ từ điểm quan sát đến vệ tinh, ký hiệu là  $\rho$ . Nếu vị trí của vệ tinh vào thời điểm quan sát đã biết thì vectơ địa tâm  $r$  hoàn toàn xác định. Như vậy vị trí của điểm quan trắc M sẽ được xác định thông qua biểu thức :

$$\bar{R} = \bar{r} - \bar{\rho} \quad (1.2.1)$$

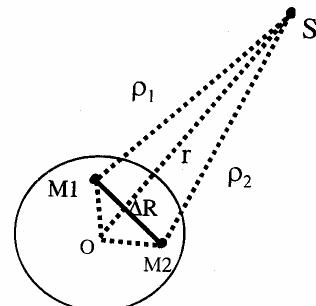
Từ phương trình (1.2.1) nếu vị trí quan sát  $\bar{R}$  đã biết, tại đó tiến hành quan trắc vệ tinh để nhận được  $\bar{\rho}$ , như vậy sẽ xác định được vị trí vệ tinh  $\bar{r}$ , đây chính là nhiệm vụ của các trạm quan trắc trong đoạn điều khiển của hệ thống định vị vệ tinh.

Để định vị tương đối giữa hai điểm  $M_1$  và  $M_2$  trên mặt đất (hình 1.5), người ta sử dụng phương pháp đo đồng thời từ hai điểm quan trắc. Từ đó ta lập được hai phương trình tại hai điểm quan trắc như sau:

$$\begin{aligned} \bar{R}_1 &= \bar{r} - \bar{\rho}_1 \\ \bar{R}_2 &= \bar{r} - \bar{\rho}_2 \end{aligned} \quad (1.2.2)$$



Hình 1.4



Hình 1.5

Từ hai phương trình trên ta xác định được vị trí tương đối giữa hai điểm:

$$\Delta \bar{R} = \bar{R}_1 - \bar{R}_2 = \bar{\rho}_2 - \bar{\rho}_1 \quad (1.2.3)$$

Có thể thấy rằng bằng phương pháp quan trắc đồng thời, ta có thể xác định được vị trí tương đối giữa các điểm trên mặt đất mà không cần biết chính xác vị trí của vệ tinh ( $\bar{r}$ ), đây chính là ý tưởng chủ đạo của bài toán hình học.

Trong bài toán động học, nhờ quan sát đồng thời nên đã giảm được khá nhiều nguồn sai số, như sai số đồng hồ, đặc biệt là sai số của vị trí vệ tinh trên quỹ đạo. Định vị tương đối đạt độ chính xác cao do đó được ứng dụng rộng rãi trong trắc địa. Định vị tuyệt đối đạt độ chính xác thấp nên thường chỉ sử dụng trong công tác đạo hàng (*Navigation*) và trong các ứng dụng thông thường khác.

Trong định vị vệ tinh, ngoài 2 nguyên lý định vị tuyệt đối và định vị tương đối, người ta còn đưa ra giải pháp **định vị vi phân** nhằm nâng cao độ chính xác định vị tuyệt đối. Trong phương pháp định vị vi phân, người ta sử dụng máy thu tín hiệu vệ tinh tại trạm tham chiếu để xác định số cải chính vi phân và chuyển các số cải chính này đến máy định vị tuyệt đối khác qua sóng vô tuyến (phương pháp này sẽ được giới thiệu ở chương 6).

### 1.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP QUAN SÁT VỆ TINH NHÂN TẠO

Có thể phân loại các phương pháp quan sát vệ tinh dựa trên một số tiêu chí khác nhau. Nếu căn cứ vào nguyên lý và thiết bị quan sát, có thể phân ra các **phương pháp quang học** và các **phương pháp radio**. Nếu căn cứ vào vị trí điểm quan sát và đối tượng quan sát, có thể phân chia thành **quan sát từ mặt đất, quan sát từ vệ tinh và quan sát từ vệ tinh tới vệ tinh**.

Quan sát VTNT bằng các phương pháp quang học được phát triển khá sớm, trong đó gồm phương pháp chụp ảnh vệ tinh và phương pháp đo khoảng cách tới vệ tinh bằng kỹ thuật laser. Đặc điểm chung của các phương pháp quang học là phụ thuộc vào điều kiện thời tiết còn các phương pháp radio ít phụ thuộc vào thời tiết. Sau đây chúng ta xét một số phương pháp quan sát vệ tinh nhân tạo như sau:

#### 1.3.1. Đo hướng tới vệ tinh

Đo hướng từ điểm quan sát đến vệ tinh, còn gọi là đo hướng địa diện đến vệ tinh, phục vụ cho xây dựng các mạng lưới tam giác vệ tinh (3D). Để xác định hướng tới vệ tinh người ta phải chụp ảnh vệ tinh trên nền trời sao. Để thực hiện công việc này, người ta phải chọn lúc vệ tinh phản chiếu ánh sáng Mặt trời hoặc tự phát sáng, vì thế công tác quan sát vệ tinh được thực hiện lúc hoàng hôn hoặc vào ban đêm. Vị trí của vệ tinh sẽ được xác định trong hệ toạ độ qua catalog vị trí các sao cơ bản (sao nền). Người ta đã sử dụng các camera chụp ảnh vệ tinh như: -Wild BC-4 (của Thuỵ Sĩ), Baker- Nunn (Mỹ), BAY, HAΦA-3c/25 và AΦY-75, (Liên Xô), SBG (CHDC Đức) vv...

Các camera chụp ảnh VTNT thường có tiêu cự trong khoảng từ 250 đến 964 mm. Góc mở của ống kính thường lớn (từ  $5^\circ \times 30^\circ \div 30^\circ \times 50^\circ$ ) và dùng phim có độ nhạy cao để có thể chụp

ảnh vệ tinh có cấp sao 14m.

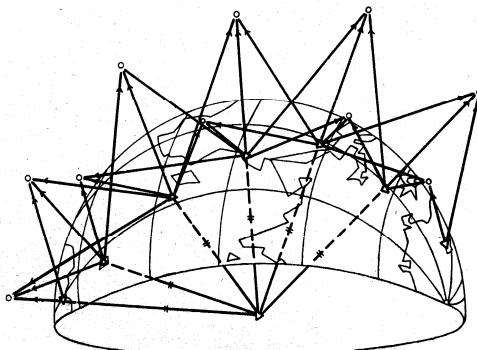
Các camera đều có cấu tạo để sau 1 lần chụp, nhanh chóng thay đổi tọa độ chân trời để chụp tiếp tấm ảnh sau sao cho trong 1 vệt bay của VTNT chụp được nhiều ảnh mà trong tấm ảnh nào vị trí của VT cũng nằm ở vùng trung tâm tấm ảnh. Camera còn có hệ thống cửa chớp có cấu tạo đặc biệt để ghi được thời gian chụp ảnh với độ chính xác  $10^{-3}$ s. Trên hình 1.6 là máy chụp ảnh vệ tinh Baker Nunn của Mỹ.



Hình 1.6. Máy chụp ảnh vệ tinh Baker-Nunn

Dựa vào Catalog của các sao (lịch sao) và thời điểm chụp ảnh ta sẽ có tọa độ của các sao được chọn làm sao cơ sở  $\alpha_s^i; \delta_s^i$ , thường  $i=1,2,3...,15$ . Trên cơ sở hệ tọa độ phim ảnh, từ quan hệ giữa tọa độ của sao cơ sở và tọa độ VT người ta sẽ tính được tọa độ thiên văn của VTNT là  $\alpha_v; \delta_v$  và do đó sẽ xác định được hướng từ điểm quan sát đến VTNT. Độ chính xác xác định hướng quan sát vệ tinh nhân tạo bằng chụp ảnh có thể đạt cỡ  $0,4'' - 0,5''$ .

Trong thời kỳ những năm 1960-1970, bằng phương pháp đo hướng (đồng thời) từ các điểm quan sát trên mặt đất đến vệ tinh, người ta có thể xây dựng được các mạng lưới tam giác vệ tinh bao trùm trên một khu vực rộng lớn hoặc trên phạm vi toàn cầu (hình 1.7). Đây là cơ sở để thực hiện bài toán hình học trong định vị vệ tinh. Theo phương pháp này, người ta đã có thể chuyển tọa độ đi xa hàng ngàn km với sai số xấp xỉ  $\pm 5m$  [9].



Hình 1.7. Lưới tam giác vệ tinh

Hiện nay, phương pháp tam giác vệ tinh không còn được sử dụng trong thực tế, do công nghệ GNSS đã đạt được tính vượt trội về quy trình đo đạc, về độ chính xác và khả năng định vị tức thời.

### 1.3.2. Đo khoảng cách đến các vệ tinh

Đo khoảng cách từ điểm quan sát đến vệ tinh (gọi là khoảng cách địa diện) có thể thực hiện bằng thiết bị laser hoặc theo nguyên tắc đo khoảng cách bằng sóng điện từ. Vì vậy người ta chia ra 2 hệ thống đo tương ứng là hệ thống quang học và hệ thống radar. Hệ thống quang học phụ thuộc vào điều kiện thời tiết, còn hệ thống radar hầu như không phụ thuộc vào điều kiện thời tiết.

Khi đo khoảng cách trong không gian dựa trên cơ sở xác định khoảng thời gian lan truyền sóng điện từ, người ta phân chia thành: nguyên tắc đo 2 chiều (*Two-way mode*) và nguyên tắc đo 1 chiều (*One-way mode*). Sau đây chúng ta xem xét một số phương pháp đo khoảng cách:

#### 1. Đo khoảng cách bằng Laser

Đo khoảng cách bằng laser từ trạm quan sát tới vệ tinh được viết tắt là SLR (*Satellite Laser Ranging*) là phương pháp đo khoảng cách theo nguyên tắc đo hai chiều, được phát triển từ những năm 1964, 1965 sử dụng các vệ tinh BEACON-B, BEACON-C có trang bị gương phản xạ tia laser.

Nguyên lý đo khoảng cách đến vệ tinh bằng tia laser cũng tương tự như đo khoảng cách trên mặt đất nhưng tổ chức phức tạp hơn và công suất nguồn laser lớn hơn. Khi đo khoảng cách ngắn người ta đo theo nguyên tắc giao thoa, còn khi đo khoảng cách dài người ta đo khoảng thời gian đi và về của tia laser và tính ra khoảng cách. Laser được phát đi dưới dạng các xung.

Công thức xác định khoảng cách từ điểm quan sát đến vệ tinh có dạng:

$$\rho = \frac{1}{2}c.\Delta t \quad (1.3.1)$$

trong đó  $\Delta t$  là khoảng thời gian tín hiệu laser đi và về,  $c$  là vận tốc sánh sáng.

Các thiết bị laser dùng để quan sát VTNT bao gồm bộ nguồn laser, thiết bị thu nhận, bệ máy, hệ thống đo và bộ ghi kết quả. Khẩu độ của thiết bị (*aperture*) thường từ 75 cm đến 13 cm. Thí dụ hệ thống đo laser WLRS đặt tại Wettzell (CHLB Đức) có khẩu độ 75cm, thiết bị đo khoảng cách bằng laser FTLRS (có thể di chuyển được) của Pháp có khẩu độ 13cm.

Trên hình 1.8 là thiết bị đo khoảng cách bằng laser đặt tại Texas (Mỹ).

Trước đây người ta sử dụng laser Rubi với  $\lambda = 694,3$  nm, nhưng hiện nay thường sử dụng laser Nd:YAP 539nm; Nd:YAG 1064 nm; Titan Saphire 427/854 nm ...

Nhờ sự phát triển của kỹ thuật, hiện nay người ta chế tạo các thiết bị SLR có kích thước nhỏ hơn, tiêu tốn ít năng lượng hơn và cho độ chính xác đo cao hơn. Vào những năm 1965, độ chính xác đo khoảng cách SLR chỉ đạt được trong khoảng từ 1m ÷ 6m, nhưng hiện nay, độ chính xác đo đã đạt được trong khoảng 1cm ÷ 3cm [9].



Hình 1.8. Thiết bị đo khoảng cách laser

Từ những năm 2000 trở lại đây, kỹ thuật SLR được sử dụng để đo khoảng cách tới các vệ tinh có trang bị gương phản xạ như CHAMP (năm 2000), JASON (2001), ENVISAT (2001), GRACE-A, GRACE-B (2002), ICESAT (2003). Một số vệ tinh định vị toàn cầu của hệ thống GPS và GLONASS cũng được trang bị gương để đo khoảng cách bằng SLR. Năm 1998, đã hình thành Tổ chức quốc tế về đo khoảng cách laser ILRS (*International Laser Ranging Service*) như một tổ chức thuộc IAG.

Trong những năm 1965-1970, khoảng cách đo bằng laser được sử dụng để xác định vị trí vệ tinh quỹ đạo thấp phục vụ nghiên cứu đặc trưng trường trọng lực Trái đất và bổ sung trị đo khoảng cách cho phương pháp tam giác vệ tinh. Trong các năm 1970-1990, SLR được sử dụng trong nghiên cứu chuyển động quay của Trái đất, quan trắc địa triều, nghiên cứu chuyển động kiến tạo mảng. Hiện nay SLR được sử dụng để xác định chính xác quỹ đạo vệ tinh phục vụ lập lịch vệ tinh chính xác và các mục đích đo đạc chính xác cao trong xây dựng và hoàn thiện Khung quy chiếu trái đất quốc tế ITRF.

## 2. Đo khoảng cách đến VTNT bằng sóng điện từ

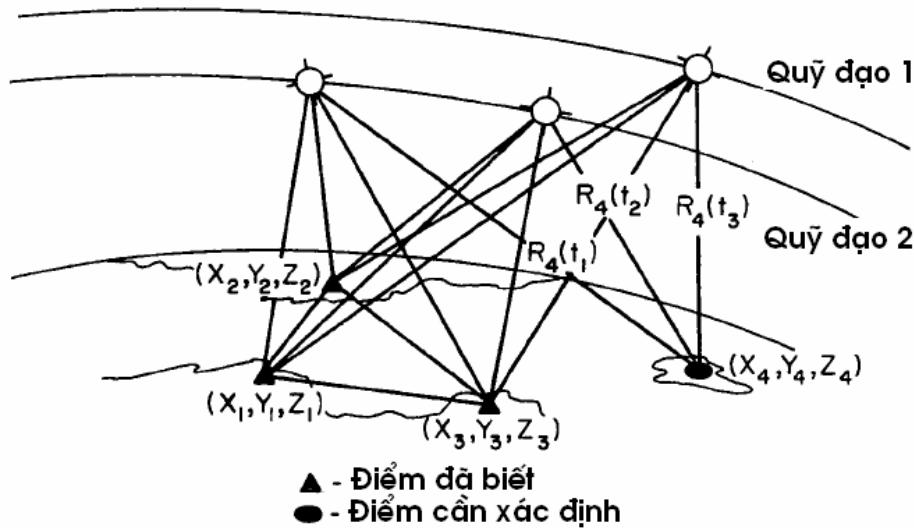
Như đã trình bày ở trên, khi sử dụng sóng điện từ để đo khoảng cách, có thể thực hiện theo 2 nguyên tắc: đo 2 chiều và đo 1 chiều. Tín hiệu sóng điện từ sử dụng trong đo khoảng cách đến vệ tinh có tần số rất cao, thuộc giải tần số sử dụng trong kỹ thuật RADAR (*RAdio Detection And Ranging*).

**Theo nguyên tắc đo 2 chiều**, tín hiệu ở trạm mặt đất phát đi, được điều biến theo pha. Để đo khoảng cách, người ta thường sử dụng tín hiệu với bước sóng cm hoặc dm. Tín hiệu phản xạ nhận được từ vệ tinh ở dạng xung truyền thẳng, thực chất là chuyển tiếp tín hiệu pha đã điều biến với tần số không thay đổi. Trạm mặt đất sẽ thu được tín hiệu, khi đó sự dịch chuyển pha

sẽ được đo bằng máy đo pha, nhờ đó sẽ tính được khoảng cách. Theo phương pháp pha, số nguyên lần bước sóng N là một ẩn số cần xác định trong khoảng cách đo:

$$\rho = \frac{1}{2}(N \cdot \lambda + \Delta \lambda) \quad (1.3.2)$$

Để tăng trị đo, khi trạm mặt đất phát đi sóng điện từ, vệ tinh thu được sẽ tạo ra 4 sóng điều biến rồi phát trở lại về trạm mặt đất (sử dụng vệ tinh chủ động). Như vậy mỗi lần sẽ đo được 4 khoảng cách. Khi vệ tinh đi qua điểm quan sát trong khoảng 7 phút có thể thực hiện được 8400 khoảng cách đo. Nhờ đó độ chính xác định vị sẽ được nâng lên đáng kể. Hệ thống SECOR (*SEquential COLLation of Ranges*) của quân đội Mỹ hoạt động theo nguyên tắc này và thực chất là một hệ thống tam giác đo cạnh không gian (*space trilateration system*)[52], kết quả xử lý cuối cùng cho độ chính xác khoảng  $\pm 3m$  [9]. Với hệ thống SECOR, bài toán định vị điểm có thể thực hiện theo 3 phương thức là phương thức quan sát đồng thời (*simultaneous mode*) (hình 1.9), phương thức quỹ đạo (*orbital mode*) và phương thức đường giao chéo (*line crossing*). Trong đó phương thức quan sát đồng thời cho kết quả tốt, song cũng không thể thực hiện được trong mọi trường hợp. Phương thức đường giao chéo cho độ chính xác thấp nhất, còn phương thức quỹ đạo được sử dụng ở mọi vị trí địa lý trong trường hợp không thể thực hiện quan sát đồng thời.



Hình 1.9. Hệ thống SECOR với phương thức đồng thời

Ngoài ra còn có những hệ thống khác như MISTRAM (*Missile Trajectory Measurement*) được sử dụng để kiểm soát không lưu và theo dõi đường đi của các tên lửa... Hệ thống PRARE là hệ thống đo khoảng cách và vận tốc khoảng cách bằng tín hiệu radio.

**Đo khoảng cách 1 chiều** bằng sóng điện từ được thực hiện trong hệ thống định vị GPS, GLONASS... Các vệ tinh của các hệ thống này liên tục phát xuống mặt đất tín hiệu sóng tải đã

được điều biến theo mã (code) tựa ngẫu nhiên. Từ đó có thể xác định được khoảng cách theo công thức:

$$\rho = c \cdot \Delta t \quad (1.3.3)$$

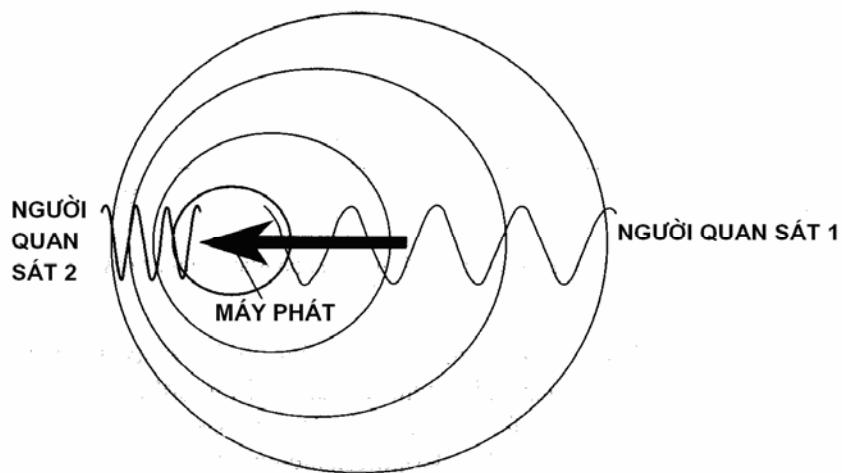
với  $\Delta t = T_r - T^s$ , trong đó  $T^s$  và  $T_r$  là thời điểm vệ tinh phát tín hiệu và máy thu nhận tín hiệu.

Khác với phương pháp đo khoảng cách 2 chiều, trong đó chỉ sử dụng 1 đồng hồ để xác định khoảng thời gian  $\Delta t$ , trong phương pháp đo khoảng cách 1 chiều, cần sử dụng 2 đồng hồ, một ở trạm phát (vệ tinh) và một ở trạm thu (máy thu) để xác định  $\Delta t$ . Do sự không đồng bộ của đồng hồ vệ tinh và đồng hồ máy thu cho nên khoảng cách đo được theo công thức (1.3.3) luôn chứa sai số đồng hồ đo, sai số này có thể khá lớn (phụ thuộc vào sự không đồng bộ giữa đồng hồ vệ tinh và đồng hồ máy thu), chính vì thế người ta gọi khoảng cách đo được là **khoảng cách giả (Pseudorange)**. Nếu sai khác giữa đồng hồ vệ tinh và đồng hồ máy thu là  $10^{-5}$  s thì khoảng cách giả đo sẽ chứa sai số chiều dài xấp xỉ 3000m. Khoảng cách giả được sử dụng như trị đo trực tiếp để giải ra các ẩn số cần xác định trong bài toán định vị, trong đó có cả ẩn số là sai số đồng hồ máy thu.

Ngoài ra, còn có thể đo khoảng cách (theo nguyên tắc 1 chiều) bằng pha sóng tải hoặc pha của code điều biến. Trong các trị đo pha luôn chứa số nguyên đa trị (*Integer Ambiguities*) là số nguyên lần bước sóng N cần phải xác định. Nội dung này sẽ được trình bày kỹ trong các phần tiếp sau.

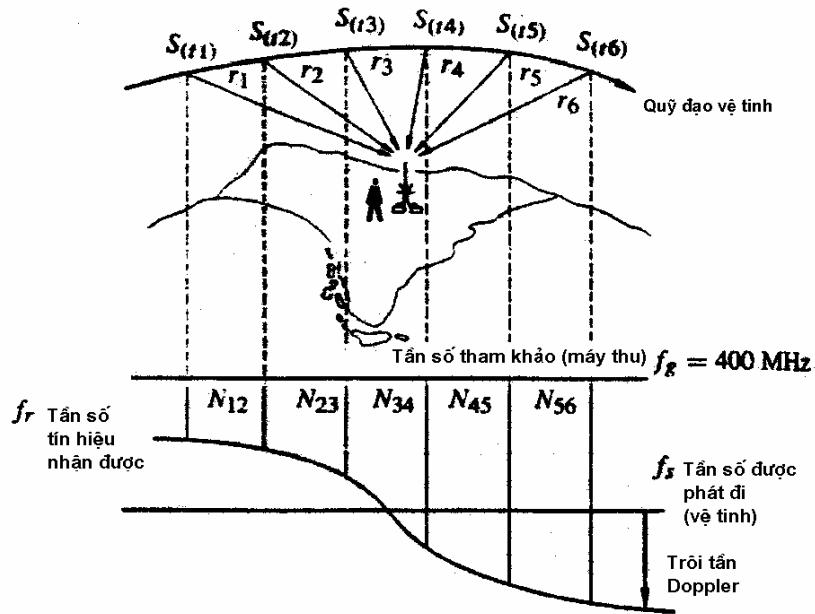
### 1.3.3. Các trị đo Doppler

Sự thay đổi vị trí tương đối giữa nguồn phát sóng (máy phát) và nguồn thu tín hiệu (người quan sát) sẽ làm thay đổi tần số tín hiệu nhận được so với tín hiệu có tần số chuẩn đã phát đi. Đó chính là hiệu ứng Doppler đối với sóng điện từ (hình 1.10).



Hình 1.10 Mô tả hiệu ứng Doppler

Khi quan sát vệ tinh chuyển động trên quỹ đạo, khoảng cách từ vệ tinh đến điểm (người) quan sát liên tục thay đổi (hình 1.11).



Hình 1.11. Nguyên tắc định vị Doppler

Sự thay đổi khoảng cách có mối liên hệ trực tiếp với sự thay đổi của tần số của tín hiệu nhận được phát đi từ vệ tinh theo công thức:

$$\frac{dr}{dt} = c \cdot \frac{\Delta f}{f} \quad (1.3.4)$$

trong đó  $\Delta f$  là giá trị trôi tần (Doppler Shift)

Từ (1.3.4) có thể viết:

$$dr = \frac{c}{f^s} (f^s - f_r) dt \quad (1.3.5)$$

trong đó  $f^s$  là tần số chuẩn tín hiệu phát đi từ vệ tinh

$f_r$  là tín hiệu máy thu nhận được

c là vận tốc ánh sáng.

Tần số tín hiệu chuẩn của vệ tinh  $f^s$  được thay thế bằng tần số tín hiệu tham khảo  $f_g$  do máy thu tạo ra, sao cho  $(f_g - f_r)$  luôn dương. Trong trường hợp này ta có thể viết:

$$\frac{f^s}{c} dr = (f^s - f_g) dt + (f_g - f_r) dt \quad (1.3.6)$$

Sau khi lấy tích phân 2 về giữa hai thời điểm quan sát (nhận tín hiệu) là  $T_j$  và  $T_k$ , đồng thời ký hiệu:

$$N_{J,K} = \int_{T_j}^{T_k} (\mathbf{f}_g - \mathbf{f}_r) dt \quad (1.3.7)$$

ta sẽ thiết lập được phương trình quan trắc tại điểm i cho 2 thời điểm phát tín hiệu  $t_k$  và  $t_j$  như sau:

$$N_{J,K} = (f_g - f^s)(t_k - t_j) + \frac{f_g}{c}(\mathbf{r}_{i,k} - \mathbf{r}_{i,j}) \quad (1.3.8)$$

trong đó  $\mathbf{r}_{i,k} - \mathbf{r}_{i,j}$  là hiệu khoảng cách, liên quan trực tiếp với toạ độ vệ tinh và toạ độ điểm quan sát (X,Y,Z).

Tích phân (1.3.7) được gọi là phép đếm Doppler tích hợp (*Integrated Doppler count*). Giá trị này được máy thu xác định và gọi là trị đo theo nguyên lý Doppler. Như vậy trong phương trình (1.3.8) có 4 ẩn số phải xác định là toạ độ điểm quan sát X,Y,Z và hiệu tần số ( $f_g - f^s$ ). Để giải được 4 ẩn số trên, tối thiểu phải thiết lập được 4 phương trình dạng (1.3.8), tức là phải quan sát liên tục vệ tinh trong khoảng vài phút (cho mục đích đạo hàng). Để phục vụ cho mục đích trắc địa, cần độ chính xác cao hơn, thời gian quan sát phải kéo dài hơn nhiều lần.

Phương pháp quan sát vệ tinh bằng hiệu ứng Doppler đã được sử dụng khá rộng rãi do thiết bị quan sát đơn giản, gọn nhẹ, đồng thời vẫn bảo đảm độ chính xác yêu cầu trong công tác đạo hàng. Độ chính xác đo biến đổi khoảng cách bằng hệ thống Doppler có thể đạt cỡ 0,03 m/s. Một ưu điểm của định vị theo nguyên lý Doppler là không cần yêu cầu quá cao về độ chính xác về thời gian.

Hệ thống đạo hàng vệ tinh TRANSIT là hệ thống hoạt động dựa trên nguyên lý của hiệu ứng Doppler. Độ chính xác định vị bằng hệ thống này ở chế độ tức thời đạt cỡ  $\pm 200$  m. Sai số vị trí điểm định vị phụ thuộc vào hướng di chuyển của điểm quan sát (hướng chạy tàu) và sai số vị trí điểm không như nhau trên mọi hướng. Với mục đích trắc địa, hệ thống TRANSIT có thể cho phép định vị với độ chính xác cỡ 0,5 m - 1m, nếu quan sát trong vài ngày và sử dụng lịch vệ tinh chính xác [9].

Bằng kỹ thuật Doppler, trong các năm 1987-1988 ở Việt Nam đã xây dựng mạng lưới Doppler vệ tinh gồm 14 điểm phân bố trên cả nước. Hiện nay hệ thống TRANSIT đã ngừng hoạt động, nhưng kỹ thuật định vị Doppler vẫn đang được sử dụng trong hệ thống DORIS (*Doppler Orbitography and Radio Positioning Integrated by Satellite*) của Pháp. Ngay trong hệ thống GPS người ta vẫn sử dụng cả trị đo Doppler để tham gia vào bài toán định vị.

#### 1.3.4. Các trị đo từ vệ tinh - đến vệ tinh

Phương án quan sát từ vệ tinh đến vệ tinh - SST(*satellite to satellite tracking*) hay còn gọi là phương án không gian đến không gian (*space to space*) được đề xuất từ những năm 1960. Phương án quan sát vệ tinh- vệ tinh (SST) được sử dụng để xác định sự thay đổi khoảng cách hay tốc độ khoảng cách với độ phân giải cao, thông qua đó có thể nghiên cứu chi tiết

trường trọng lực trong không gian xung quanh Trái đất. Các phương án quan sát SST được chia thành 2 kiểu đó là quan sát giữa vệ tinh thấp với vệ tinh cao (*low-heigh configuration*) và quan sát giữa hai vệ tinh thấp (*low-low configuration*).

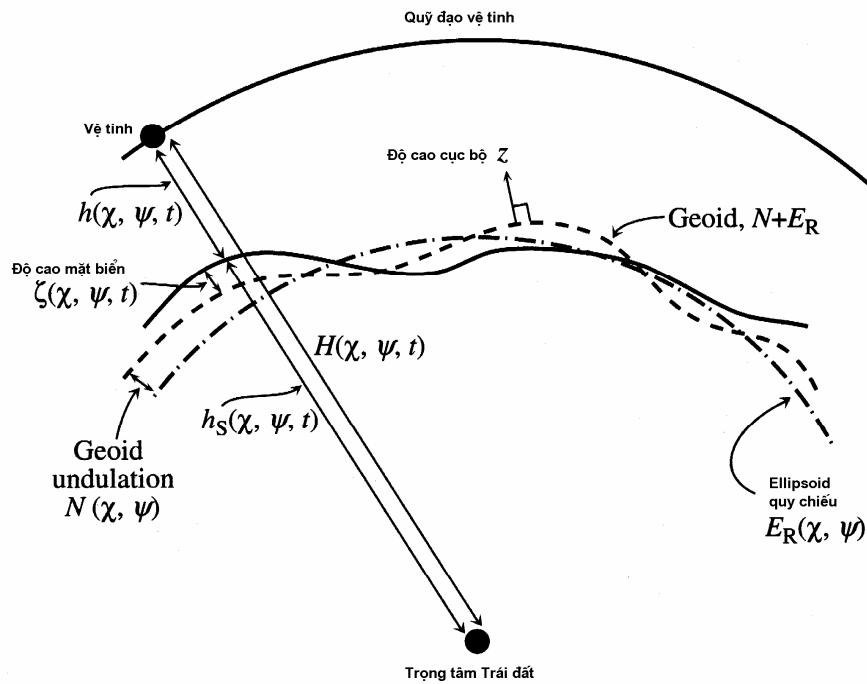
**1. Phương án quan sát VT thấp với VT cao** được thực hiện từ năm 1975, bởi vệ tinh địa tĩnh GEO-ATS-6 với vệ tinh thấp GEOS-3. Hiện nay người ta sử dụng các vệ tinh GNSS đóng vai trò vệ tinh cao để quan sát vệ tinh thấp như vệ tinh trọng lực CHAMP (cao 450km), GRACE vv... Ưu điểm quan trọng của phương án này là vệ tinh thấp đóng vai trò như một cảm biến (*sensor*) chuyển động trong trường trọng lực Trái đất, thông qua nó có thể “nhìn” được hành trình của vệ tinh thấp, phản ánh rõ tính chất thay đổi với tần số cao (chi tiết) của trường trọng lực Trái đất. Bằng GPS, người ta xác định được vị trí vệ tinh CHAMP với độ chính xác cỡ vài cm và tốc độ khoảng cách với độ phân giải rất cao.

**2. Phương án quan sát VT thấp đến VT thấp** cũng được thực hiện từ năm 1975 khi kết hợp trị đo giữa các vệ tinh APOLLO của Mỹ và vệ tinh SOYUZ của Liên Xô. Trị do giữa hai vệ tinh thấp được thực hiện với khoảng cách giữa các vệ tinh từ 100 km đến 300 km. Năm 2002, người ta đã thực hiện các quan trắc VT thấp tới VT thấp đối với các vệ tinh GRACE có độ cao quỹ đạo khoảng 500km, khoảng cách giữa các vệ tinh khoảng  $220\text{km} \pm 50\text{km}$ . Giữa các vệ tinh thấp, người ta quan trắc tốc độ khoảng cách, thông qua đó để suy giải sự biến đổi độ phân giải cao của trường trọng lực và quan sát khí quyển quanh Trái đất bằng thiết bị **dò cánh** (*limb sounding*). Thí dụ giữa các vệ tinh GRACE người ta liên kết với nhau bởi các tín hiệu sóng cực ngắn ở 2 tần số 24 GHz và 32GHz nhằm nghiên cứu tầng điện ly. Trên vệ tinh GRACE người ta còn lắp đặt máy định vị GPS, thiết bị đo gia tốc (*accelerometer*), camera và các gương để đo khoảng cách bằng laser.

#### 1.4. Đo cao từ vệ tinh

Đo cao từ vệ tinh, thường được gọi là đo cao vệ tinh (*Altimetry*), trong đó sử dụng máy đo cao theo nguyên tắc radio (*Altimeter*) lắp trên VTNT để đo hiệu số độ cao giữa hai mặt: là bờ biển nước và đại dương trung bình với bờ biển đẳng thế đi qua tâm điểm của vệ tinh nhân tạo vào thời điểm đo. Độ cao của các vệ tinh đo cao thường từ 800km đến 1300km. Nhờ hệ thống anten parabol, máy đo cao radio phát tín hiệu sóng điện từ cao tần dạng xung theo phương thẳng đứng xuống bờ biển đại dương. Mặt sóng dạng hình cầu lan truyền từ máy đo cao radio đến bờ biển đại dương theo con đường ngắn nhất. Khi gặp bờ biển đại dương các tín hiệu sẽ phản xạ, trong trường hợp lý tưởng tín hiệu phản xạ sẽ theo con đường ngắn nhất để đến bộ phận thu của máy đo cao radio.

Thiết bị đặc biệt sẽ tách sóng và lấy trung bình theo một số lượng lớn tín hiệu. Khoảng thời gian lan truyền tín hiệu được tính từ khi phát tín hiệu đến khi bộ phận thu nhận được đỉnh của xung tín hiệu phản hồi lần đầu tiên. Việc tính toán thời gian được thực hiện nhờ máy tính trên vệ tinh. Nguyên tắc đo cao từ vệ tinh được thể hiện trên hình 1.12.



Hình 1.12. Nguyên lý đo cao vệ tinh

Trên hình (1.12) sử dụng các ký hiệu như sau [26]:

$h = h(\chi, \psi, t)$  là độ cao từ vệ tinh đến mặt biển, đo được bằng máy đo cao radio, trong đó  $\chi$  là độ vĩ,  $\psi$  là độ kinh của vệ tinh và  $t$  là thời gian.

$H = H(\chi, \psi, t)$  là độ cao của vệ tinh so với trọng tâm Trái đất (đã biết)

$h_s = h_s(\chi, \psi, t)$  là độ cao của mặt biển so với trọng tâm Trái đất.

Ba đại lượng trên liên hệ với nhau qua biểu thức:

$$h_s = H - h \quad (1.4.1)$$

Biểu thức (1.4.1) là phương trình cơ bản của đo cao vệ tinh.

Trên cơ sở xác định được  $h_s$ , người ta có thể nghiên cứu địa hình mặt biển và sự biến đổi của chúng, đặc trưng bởi độ cao của mặt biển so với Geoid  $\zeta(\chi, \psi, t)$ :

$$\zeta(\chi, \psi, t) = h_s(\chi, \psi, t) - N(\chi, \psi) - E_R(\chi, \psi) \quad (1.4.2)$$

trong đó:  $N(\chi, \psi)$  là độ cao Geoid (Geoid Undulation)

$E_R(\chi, \psi)$  là vị trí bề mặt Ellipsoid quy chiếu so với trọng tâm Trái đất

Lưu ý rằng giá trị  $N$  và  $E_R$  không phụ thuộc vào thời gian  $t$ .

Một số đặc trưng kỹ thuật đo cao vệ tinh như sau:

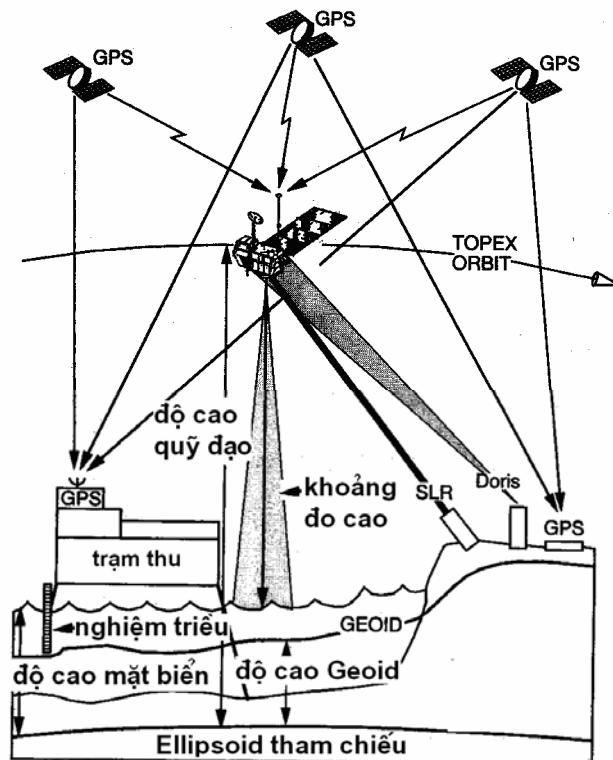
-tần số sóng tải: 13,5 GHz

-độ dài xung : 12,5 ns

-thời gian lan truyền xung: 5ms

- tần số lặp lại xung: 1000Hz
- trung bình : 0,05s
- độ cao vệ tinh: 800 km
- bán kính vết quét (*footprint*): 2-11km
- tốc độ vệ tinh so với mặt đất: 6,7km/s

Vấn đề định chuẩn bề mặt (*Surface Calibration*) đối với thiết bị đo cao vệ tinh cần sự phối hợp của công nghệ GPS, các trạm quan trắc laser đến vệ tinh, kỹ thuật DORIS và cả các trạm nghiệm triều (*Tide gauge*) (hình 1.13)



Hình 1.13. Phối hợp công nghệ trong định chuẩn bề mặt

Số liệu đo cao vệ tinh có thể giải quyết được nhiều bài toán trắc địa, địa vật lý như:

- Nghiên cứu bề mặt biển và mặt đại dương.
- Nghiên cứu dị thường trọng lực và các hệ số bậc cao trong hàm điều hoà triển khai trọng trường Trái đất phục vụ xây dựng mô hình Geoid.
- Nghiên cứu cấu trúc vật chất phía sâu trong lòng đất
- Đo vẽ hải đồ và bản đồ địa hình đáy biển
- Phục vụ nghiên cứu hải dương học như hải lưu, sóng biển, gió, biến đổi bờ biển đại dương, điều kiện khí tượng trên đại dương vv...

Những nguồn sai số chủ yếu ảnh hưởng đến kết quả đo cao vệ tinh là: chất lượng máy đo cao vệ tinh, điều kiện lan truyền xung tín hiệu và điều kiện địa hình bề mặt đại dương. Các số hiệu chính do sai số hệ thống của máy đo cao radio có thể được xác định nhờ hệ thống định chuẩn dạng poligon trên đại dương.

Trong đo cao từ vệ tinh, sai số do điều kiện môi trường lan truyền tín hiệu không kể đến chiết quang do tầng đối lưu đối với mặt sóng radio có thể đạt tới giá trị 5 m. Phần lớn của các sai số này có thể được loại trừ, nhờ xác định nhiệt độ, áp suất và độ ẩm không khí trên đại dương gần khu vực đo cao vệ tinh. Nếu chỉnh lý tốt có xét đến yếu tố khí tượng, thì sai số do ảnh hưởng của môi trường lan truyền tín hiệu có thể giảm xuống và độ chính xác đo cao có thể đạt sai số khoảng 0,08m hoặc nhỏ hơn. Phần sai số ngẫu nhiên của dụng cụ đo cao radio có giá trị xấp xỉ 0,05 m.

Trước năm 1978 có các vệ tinh đo cao đầu tiên như Skylab(1973), GEOS-3 (1975). Trong bảng 1.3 thống kê một số vệ tinh đo cao từ năm 1978 trở lại đây.

Bảng 1.3. Một số vệ tinh đo cao từ 1978.

| Tên vệ tinh    | Ngày phóng lên quỹ đạo | Độ cao quỹ đạo (km) |
|----------------|------------------------|---------------------|
| Seasat         | 26-6-1978              | 800                 |
| Geosat         | 12-3-1985              | 800                 |
| ERS-1          | 17-7-1991              | 800                 |
| Topex/Poseidon | 10-8-1992              | 1300                |
| ERS-2          | 21-4-1995              | 800                 |
| GFO            | 10-2-1998              | 880                 |
| Jason-1        | 7-12-2001              | 1300                |
| Envisat        | 1-3-2002               | 800                 |

## Chương 2

### CÁC KIẾN THỨC CƠ SỞ

Như đã nói ở phần trước, hiện nay các hệ thống (định vị) vệ tinh dẫn đường toàn cầu GNSS đều sử dụng các vệ tinh chủ động và việc định vị được thực hiện theo bài toán động học. Trong bài toán này vấn đề xác định vị trí vệ tinh trên quỹ đạo để phục vụ cho định vị điểm trên mặt đất nhất thiết phải xét tới 2 nội dung cơ bản đó là hệ thống toạ độ và hệ thống thời gian (hay hệ thống giờ). Theo quan điểm của H. Moritz, có thể coi thời gian là thành phần thứ 4 trong khái niệm 4D của hệ quy chiếu khi xét chuyển động của vệ tinh trên quỹ đạo.

#### 2.1. CÁC HỆ THỐNG TOẠ ĐỘ

##### 2.1.1. Một số khái niệm và phân loại

Về thuật ngữ, một Hệ quy chiếu bao hàm các khái niệm: hệ toạ độ, hệ thời gian và các tham số vật lý của nó. Trong Trắc địa vệ tinh, cần thiết phải xây dựng các hệ quy chiếu cố định trong không gian (*Space-Fixed Reference Systems*) còn gọi là các **hệ quy chiếu thiên thể** hay **hệ quy chiếu sao** (*Celestial Reference Systems- CRS*) và các hệ quy chiếu cố định với Trái đất (*Earth-Fixed Reference Systems*), gọi là các **hệ quy chiếu trái đất** (*Terrestrial Reference Systems - TRS*). Trong tính toán định vị chính xác cũng cần sử dụng cả hệ quy chiếu cố định với vệ tinh (*Satellite-Fixed Reference Systems or Body- Fixed Reference Systems*).

Chúng ta biết rằng, Trái đất chuyển động quay quanh trục và chuyển động quanh Mặt trời, do ảnh hưởng của tuế sai (*Precession*) và chương động (*Nutation*) nên các trục toạ độ được định nghĩa khi xây dựng các hệ quy chiếu sao không phải là cố định lý tưởng trong không gian, do đó cần phải xây dựng hệ quy chiếu sao quy ước (*Conventional Celestial Reference System*) tương ứng với một thời điểm quy ước. Tương tự như vậy, đối với một hệ quy chiếu trái đất, do chuyển dịch cực Trái đất (*Polar motion*) mà các trục của hệ toạ độ trái đất cũng thay đổi theo thời gian, vì thế người ta cũng đưa ra định nghĩa về hệ toạ độ trái đất quy ước (*Conventional Terrestrial Reference System*) tương ứng với một thời điểm quy ước.

Theo định nghĩa, một hệ quy chiếu được xây dựng bởi các quy tắc, quy định về gốc toạ độ, định hướng các trục toạ độ vv... những quy định đó được mô tả chặt chẽ song mang tính lý thuyết, để nó tồn tại trên thực tế thì phải thực hiện quan sát hoặc đo đạc, tính toán để bảo đảm bằng toạ độ của các thiên thể hoặc toạ độ của các điểm trên mặt đất xác định trong hệ quy chiếu đó, khi đó ta đã có một **khung quy chiếu** (*Reference Frame*). Về bản chất, khung quy chiếu là triển khai một hệ quy chiếu trên thực tế.

Như đã nói ở trên, ngoài các hiện tượng thiên văn như tuế sai, chương động, chuyển dịch cực Trái đất, các điểm trên mặt đất còn tham gia chuyển động kiến tạo của các địa mảng và

trọng tâm Trái đất lại không cố định mà thay đổi do các tác động của thuỷ triều đại dương, thay đổi khí quyển và sự vận động vật chất bên trong Trái đất, các thiên thể còn tham gia chuyển động tự hành trong vũ trụ. Từ thực tế đó đã xuất hiện khái niệm hệ quy chiếu động (*Kinematic Reference System*).

Để hiểu rõ hệ quy chiếu, khung quy chiếu, trước hết cần xem xét kỹ các khái niệm về hệ toạ độ.

Trong toán học chúng ta đã quen với hệ toạ độ Đề Các là hệ toạ độ vuông góc không gian 3 chiều (hình 2.1). Trong trắc địa vệ tinh, chúng ta thường sử dụng hệ toạ độ này để biểu thị vị trí các điểm xét trong không gian (có thể là các vệ tinh, các hành tinh hoặc các sao).

Trong hệ toạ độ này, vị trí một điểm P được biểu thị qua 3 thành phần toạ độ là  $X_p, Y_p, Z_p$ , được viết ở dạng véc tơ:

$$\mathbf{U}_P = \begin{pmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{pmatrix} \quad (2.1.1)$$

Nếu như trục toạ độ Z quay đi một góc  $\gamma$  để tạo thành hệ mới  $X', Y', Z'$ , trong đó trục Z trùng với  $Z'$ , thì trong hệ mới, toạ độ điểm P sẽ là  $X'_p, Y'_p$ , còn giá trị  $Z'_p = Z_p$ . Có thể viết được công thức:

$$\mathbf{U}'_P = \mathbf{R}_3(\gamma) \cdot \mathbf{U}_P \quad (2.1.2)$$

trong đó:

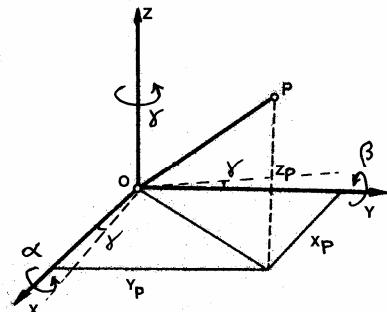
$$\mathbf{R}_3(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.1.3)$$

Tương tự, nếu trục X quay đi một góc  $\alpha$ , trục Y quay đi một góc  $\beta$ , ta sẽ có các ma trận:

$$\mathbf{R}_1(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}; \quad \mathbf{R}_2(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \quad (2.1.4)$$

Các ma trận  $\mathbf{R}_1(\alpha), \mathbf{R}_2(\beta), \mathbf{R}_3(\gamma)$  được sử dụng để tính chuyển toạ độ giữa các hệ quy chiếu, hay tính chuyển toạ độ giữa các thời điểm (*epoch*) của một “khung quy chiếu động” khi xét ảnh hưởng của tuế sai chương động và chuyển dịch cực Trái đất.

Trong hệ toạ độ có các trục X, Y, Z đã xoay đi các góc  $\alpha, \beta, \gamma$ , véc tơ toạ độ của điểm P là  $\mathbf{U}_P'''$  sẽ được xác định:



Hình 2.1. Hệ toạ độ Đề các

$$U''_P = \mathbf{R}_1(\alpha) \cdot \mathbf{R}_2(\beta) \cdot \mathbf{R}_3(\gamma) \cdot U_P = \mathbf{R} \cdot U_P \quad (2.1.5)$$

trong đó:

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_1(\alpha) \cdot \mathbf{R}_2(\beta) \cdot \mathbf{R}_3(\gamma) \quad (2.1.6)$$

Từ (2.1.3), (2.1.4) và thực hiện phép tính (2.1.1.6) ta được:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos \beta \cdot \cos \gamma & \cos \beta \cdot \sin \gamma & -\sin \beta \\ \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma - \cos \alpha \cdot \sin \gamma & \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma + \cos \alpha \cdot \cos \gamma & \sin \alpha \cdot \cos \beta \\ \cos \alpha \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \sin \alpha \cdot \sin \gamma & \cos \alpha \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma - \sin \alpha \cdot \cos \gamma & \cos \alpha \cdot \cos \beta \end{bmatrix} \quad (2.1.7)$$

Với các góc  $\alpha, \beta, \gamma$  là những góc nhỏ, thì có thể coi:  $\cos \alpha \approx 1$ ,  $\sin \alpha \approx \alpha$ , khi đó R theo (2.1.7) có thể viết:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & \gamma & -\beta \\ -\gamma & 1 & \alpha \\ \beta & -\alpha & 1 \end{bmatrix} \quad (2.1.8)$$

Đây chính là ma trận với các góc xoay Euler.

Từ (2.1.5) ta có thể viết:

$$U_P = \mathbf{R}^T U''_P \quad (2.1.9)$$

Ma trận R theo (2.1.8) được sử dụng trong tính chuyển tọa độ giữa các hệ tọa độ Đê Các.

Nếu đã thiết lập hệ tọa độ Đê các, chúng ta có thể gắn vào hệ này một ellipsoid trái đất tùy ý để xây dựng hệ tọa độ trắc địa. Trong trường hợp này, tâm ellipsoid trùng với gốc O của hệ Đê các. Nếu gốc tọa độ O đặt tại một điểm trên bề mặt Trái đất, khi đó ta có hệ tọa độ địa diện (mục 2.1.3.4). Cũng có thể gắn vào hệ Đê các một thiên cầu là hình cầu có bán kính bằng đơn vị ( $r=1$ ) để xây dựng **hệ tọa độ sao**.

## 2.1.2. Các hệ tọa độ cố định trong không gian

Để nghiên cứu chuyển động của các sao, các hành tinh và các vệ tinh người ta sử dụng các hệ tọa độ cố định trong không gian và còn gọi là các **hệ tọa độ sao hay hệ tọa độ thiên văn**. Gốc tọa độ có thể chọn là trọng tâm Mặt trời, cũng có thể chọn là trọng tâm Trái đất. Trong không gian có một đường thẳng quan trọng đó là giao tuyến của mặt phẳng Hoàng đạo và mặt phẳng Xích đạo. Điểm Xuân phân ( $\gamma$ ) là một đầu mút của phương này và là điểm ở xa vô cực, được chọn làm phương khởi đầu của hệ tọa độ.

Nếu gốc tọa độ chọn ở trọng tâm Mặt trời, được gọi là hệ quy chiếu sao nhật tâm BCRS (*Barycentric Celestial Reference System*). Nếu gốc tọa độ chọn ở trọng tâm Trái đất, thì được gọi là Hệ quy chiếu sao địa tâm GCRS (*Geocentric Celestial Reference System*).

Trong hệ tọa độ sao, **thiên cầu** được sử dụng để xác định tọa độ cầu ( $\alpha, \delta$ ) của thiên thể hoặc vệ tinh. Trên hình 2.2. là một hệ tọa độ sao địa tâm trong thiên văn gọi là Hệ tọa độ xích đạo 2. Trong hệ tọa độ này gốc tọa độ trùng với trọng tâm Trái đất, trục X nằm trên mặt phẳng xích đạo và hướng về điểm Xuân phân ( $\gamma$ ), trục Z hướng về cực bắc thiên cầu, trục Y xác định theo quy tắc bàn tay phải. Do ảnh hưởng của tuế sai và chướng động khi Trái đất chuyển

động xung quanh Mặt trời nên điểm Xuân phân không phải là một điểm cố định (lý tưởng) trong không gian, bởi vậy hệ GCRS là một hệ tựa quán tính (*quasi-inertial system*).

Trong hệ toạ độ hệ xích đạo 2 (hình 2.2.), vị trí của thiên thể được xác định bằng độ vĩ xích đạo  $\delta$  và độ kinh xích đạo  $\alpha$ . Người ta sử dụng hệ toạ độ này để lập lịch thiên văn hàng năm và lịch sao. Lịch sao cơ sở FK5 (*Fifth Fundamental Catalogue*) được xây dựng trong hệ toạ độ này, nhưng là **hệ toạ độ sao quy ước**, căn cứ vào điểm Xuân phân ở thời điểm J2000.0. (tại gốc lịch J 2000.0) Hệ toạ độ trên được sử dụng để xây dựng Khung quy chiếu sao quốc tế (*International Celestial Reference System (ICRF)*). Khung quy chiếu này được hình thành bởi 608 siêu thiên hà (*extragalactic*) có nguồn phát sóng vô tuyến trong kỹ thuật VLBI. Trong hệ ICRF người ta đã lập được catalog của 144000 ngôi sao (*Hipparcos catalogue*). Với vị trí của các thiên thể trong FK5, hiện nay các trực của hệ ICRF được xác định trong không gian với độ chính xác cỡ 0,02 mas (*milliarcseconds*), các nguồn phát sóng vô tuyến được xác định với độ chính xác khoảng 0,5 mas. Trong tương lai, độ chính xác các yếu tố trên còn có thể được nâng cao hơn. Hiện nay người ta đã công bố Lịch sao cơ sở FK6.

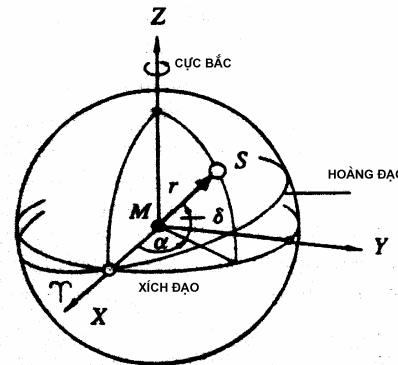
Người ta có thể tính toán chuyển đổi toạ độ thiên thể do ảnh hưởng của tuế sai, chuong động từ một hệ toạ độ sao ở thời điểm t về hệ toạ độ sao quy ước nhờ các công thức tính chuyển toạ độ cùng các tham số của tuế sai, chuong động.

### 2.1.3. Các hệ toạ độ cố định với Trái đất

Không thể sử dụng hệ toạ độ sao để thể hiện vị trí các điểm trên bề mặt Trái đất vì trong hệ đó toạ độ điểm luôn thay đổi theo thời gian (do chuyển động quay của Trái đất quanh trục). Để thể hiện vị trí các điểm trên bề mặt Trái đất, người ta sử dụng các hệ toạ độ cố định với Trái đất là yếu tố cơ bản của các hệ quy chiếu cố định với Trái đất. Trên thực tế, vị trí các điểm trên bề mặt Trái đất được xác định trong các khung quy chiếu cố định với Trái đất (*Earth-Fixed Reference Frames*). Do hệ toạ độ trái đất tham gia chuyển động quay cùng Trái đất cho nên toạ độ các điểm trên mặt đất sẽ không thay đổi do chuyển động quay của Trái đất.

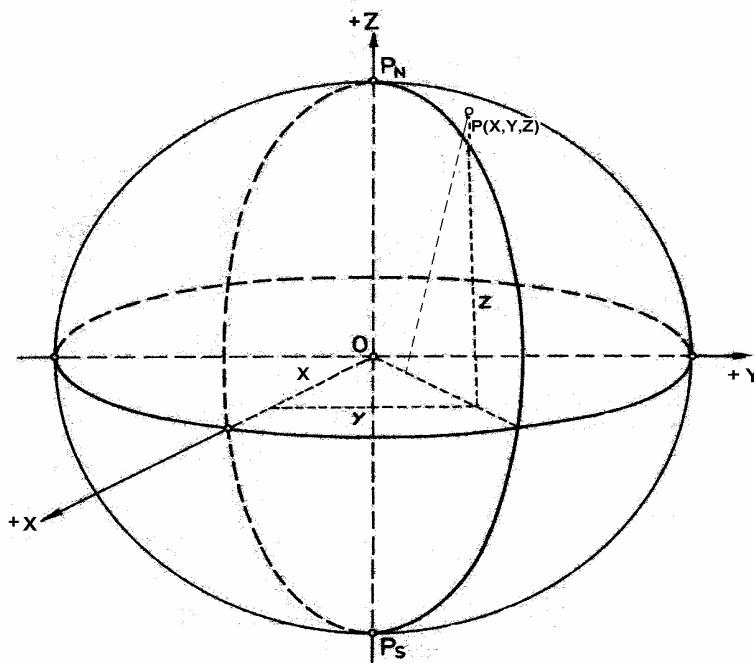
Tên gọi một hệ toạ độ trái đất thường phản ánh vị trí gốc toạ độ, các trực hoặc các mặt phẳng toạ độ vv... thí dụ:

- *Hệ toạ độ vuông góc không gian địa tâm*
- *Hệ toạ độ vuông góc không gian địa diện xích đạo*
- *Hệ toạ độ vuông góc không gian địa diện chân trời vv...*



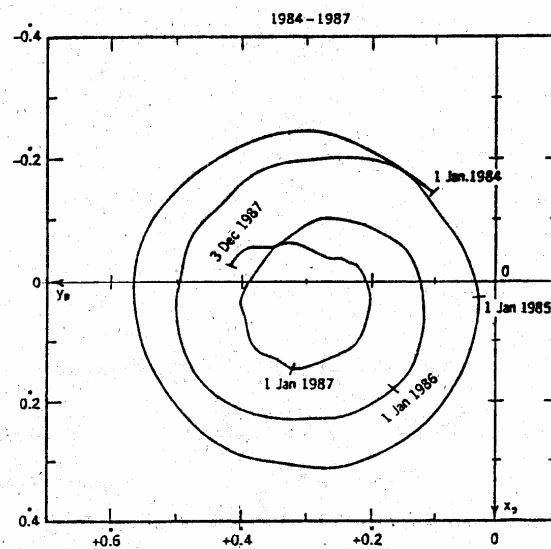
Hình 2.2. Hệ toạ độ xích đạo 2

Hệ tọa độ vuông góc không gian Đề Các cũng được sử dụng để xây dựng các hệ tọa độ cố định với Trái đất (hình 2.3).



Hình 2.3. Hệ tọa độ cố định với Trái đất

Trong hệ tọa độ này, gốc là trọng tâm trái đất (hoặc gần trọng tâm Trái đất), trục OX là giao tuyến giữa mặt phẳng xích đạo và mặt phẳng kinh tuyến gốc Greenwich, trục OZ trùng với trục quay của Trái đất và trục OY vuông góc với các trục OZ, OX theo quy tắc bàn tay phải. Tọa độ một điểm trong hệ này là X, Y, Z. Tọa độ vuông góc không gian địa tâm này được ký hiệu là ECEF (*Earth-Centered Earth Fixed*).



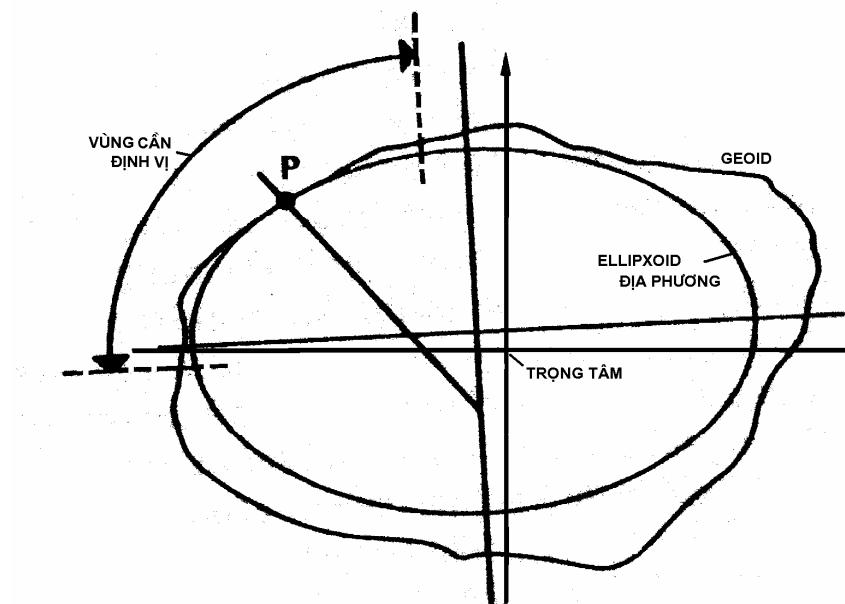
Hình 2.4. Chuyển dịch Cực trong thời gian từ 1984 đến 1987

Với tiêu chí nêu trên, có rất nhiều hệ toạ độ cố định với Trái đất, như các hệ toạ độ thực dụng của các quốc gia, các hệ toạ độ toạ độ trái đất quy ước vv...

Như chúng ta đã biết, trên thực tế Cực trái đất không cố định mà có hiện tượng chuyển dịch cực. Vị trí cực thay đổi theo thời gian trong phạm vi khoảng  $\pm 0,3''$  (giây cung) so với cực trung bình (hình 2.4). Vì chuyển dịch cực mà vấn đề xây dựng hệ toạ độ cố định với Trái đất trở nên phức tạp hơn vì phải xét tới ảnh hưởng của hiện tượng này. Vì lý do này người ta đưa ra khái niệm Hệ toạ độ trái đất quy ước.

### 2.1.3.1. Các hệ quy chiếu và khung quy chiếu trái đất thực dụng

Ở mỗi quốc gia, do lịch sử để lại, thường sử dụng nhiều hệ toạ độ thực dụng. Mỗi hệ toạ độ này đều sử dụng một Ellipsoid quy chiếu (*Reference Ellipsoid*) nào đó và được định vị. Khi Ellipsoid đã định vị, các trục toạ độ vuông góc gian của hệ đó đã được xác định, tức là đã thiết lập được một khung quy chiếu (*Reference Frame*) thực dụng. Do điều kiện định vị ellipsoid thực dụng chỉ thoả mãn sao cho bề mặt ellipsoid phù hợp nhất với Geoid trên phạm vi lãnh thổ quốc gia (vùng cần định vị) cho nên gốc của hệ toạ độ thường không trùng với trọng tâm Trái đất và thậm chí các trục toạ độ cũng không đạt được các tiêu chí đã nêu ở phần trước (hình 2.5). Chính và lý do đó mà các khung quy chiếu quốc gia chỉ được sử dụng trong một phạm vi quốc gia và do quốc gia đó thiết lập, quy ước sử dụng.



Hình 2.5. Định vị Ellipsoid thực dụng

Theo truyền thống, ngay từ thế kỷ XVIII, để xác định vị trí điểm trên mặt đất, người ta đã sử dụng thuật ngữ “Geodetic Datum”, bao gồm “Horizontal Geodetic Datum” và “Vertical Datum”. Theo C. Jekeli [18], “Horizontal Geodetic Datum” và “Vertical Datum” có ý nghĩa

hợp hơn hệ quy chiếu trái đất (*Terrestrial Reference System*) và là những khái niệm cấu thành hệ quy chiếu trái đất. Có thể dẫn ra một số “Geodetic Datum” hoặc hệ quy chiếu thực dụng như: NAD-27, NAD-83 sử dụng ở Bắc Mỹ; South American-1969 sử dụng ở các nước Nam Mỹ; Europe-1950 sử dụng ở các nước Bắc Âu và Tây Âu; Tokyo sử dụng ở Nhật bản và Hàn Quốc; Indian-1954 sử dụng ở Thái Lan, Đông Dương; Indian-1975 sử dụng ở Thái Lan; South ASIA sử dụng ở Singapore; VN-2000 hiện đang sử dụng tại Việt Nam vv....

#### **2.1.3.2. Hệ quy chiếu trái đất sử dụng trong các hệ thống định vị vệ tinh toàn cầu**

Để làm cơ sở cho một hệ định vị vệ tinh dãy đường toàn cầu (GNSS) cần phải thiết lập một khung quy chiếu trái đất quy ước sử dụng trên toàn cầu và phải đạt được một số tiêu chí như:

- Gốc hệ toạ độ địa tâm phải trùng với trọng tâm Trái đất
- Các trục toạ độ phải thoả mãn những yêu cầu nêu ở phân trên
- Vị trí các điểm xác định khung quy chiếu trong đoạn điều khiển phải có độ chính xác cao, thoả mãn yêu cầu giám sát vệ tinh, xác định toạ độ vệ tinh phục vụ lập lịch vệ tinh và định vị bằng vệ tinh.
- Có thể chuyển đổi toạ độ từ hệ này sang các hệ quy chiếu khác nhờ các tham số chuyển đổi toạ độ đã xác định.
- Hệ thống thời gian phải bảo đảm chính xác, chặt chẽ, phù hợp với độ chính xác định vị.

Đối với mỗi hệ thống định vị toàn cầu cần thiết lập một hệ toạ độ như vậy, thí dụ hệ WGS-84 sử dụng trong hệ GPS, hệ PZ-90 sử dụng trong hệ GLONASS vv...

Vị trí chính xác của các trạm quan sát của đoạn điều khiển (*Control Segment*) bảo đảm cho sự tồn tại chính xác của các khung quy chiếu trong các hệ thống định vị toàn cầu. Đối với hệ thống định vị toàn cầu GPS, vị trí của các trạm quan sát không ngừng được đo đạc, tính toán lại để cho độ chính xác cao hơn. Năm 1994, vị trí các điểm của khung quy chiếu WGS-84 (G730) được xác định với độ chính xác cỡ 10cm. Năm 1997 đạt độ chính xác 5 cm (G873), năm 2002 (G1150) đã đạt được độ chính xác trong khoảng 1-2 cm và sai khác với Khung quy chiếu quốc tế ITRF-2000 chỉ vài cm trên phạm vi toàn cầu [9].

Bảng 2.1. Các hệ thống GNSS và các Hệ quy chiếu

| TT | Hệ định vị toàn cầu | Chủ sở hữu        | Ellipxoid tham chiếu |          |                 |
|----|---------------------|-------------------|----------------------|----------|-----------------|
|    |                     |                   | Tên gọi              | a        | độ dẹt f        |
| 1  | TRANSIT             | Bộ quốc phòng Mỹ  | WGS-72               | 6378135  | 1/298.26        |
| 2  | GPS                 | Bộ quốc phòng Mỹ  | WGS-84               | 6378137m | 1/298.257223563 |
| 3  | GLONASS             | Bộ quốc phòng Nga | PZ-90                | 6378136m | 1/298.257       |
| 4  | GALILEO             | Cộng đồng EU      | GRS-80               | 6378137  | 1/298.257222101 |

Năm 1996, Mistra và các cộng sự đã xác định được các tham số chuyển đổi toạ độ giữa hệ PZ-90 và WGS-84 như sau [17]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{WGS-84} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2,5m \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & -0,39'' & 0 \\ 0,39'' & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{PZ-90} \quad (2.1.3.1)$$

Lịch vệ tinh quảng bá (*Broadcast Ephemeris*) của hệ thống GPS cung cấp các tham số quỹ đạo để xác định toạ độ vệ tinh trong hệ WGS-84 với độ chính xác khoảng  $2 \div 3\text{m}$ .

### 2.1.3.3. Khung quy chiếu trái đất quốc tế (ITRF)

Khung quy chiếu trái đất quốc tế ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) là khung quy chiếu cố định với Trái đất do tổ chức quốc IGS (*International GNSS Service*) để xuất phục vụ cho cơ quan Quốc tế về chuyển động quay Trái đất IERS (*International Earth Rotation Service*) và là hệ quy chiếu để tính lịch vệ tinh chính xác cho IGS. Trong tổ chức của IGS, có trạm trung tâm làm nhiệm vụ thu nhận thông tin đo GPS liên tục từ các trạm thành viên để tính ra lịch vệ tinh chính xác, các tham số vật lý của Trái đất, toạ độ của các trạm trong mạng lưới IGS quốc tế và sai số đồng hồ của các trạm này...

Do tuế sai, chương động, chuyển dịch cực Trái đất và chuyển động kiến tạo mảng trên quy mô toàn cầu, Gốc quốc tế quy ước CIO (*Conventional International Origin*) cũng thay đổi. Để nghiên cứu địa động lực cần có hệ quy chiếu có độ chính xác cao và thay đổi định kỳ theo sự thay đổi của các hiện tượng tuế sai, chương động vv... người ta phải xây dựng hệ quy chiếu động, đó chính là cơ sở lý thuyết hình thành nên Khung quy chiếu trái đất quốc tế ITRF

ITRF sử dụng hệ toạ độ trái đất có gốc toạ độ ở trọng tâm trái đất (bao gồm cả các đại dương và khí quyển quanh Trái đất), lấy ellipsoid GRS-80 là ellipsoid quy chiếu. Các yếu tố định hướng của các trực toạ độ và tỷ lệ chiều dài dựa trên các kết quả đo chính xác của giao thoa cạnh đáy dài VLBI và đo khoảng cách laser đến vệ tinh SLR được IERS phân tích và công bố (thường là hàng năm). Để xác định chính xác gốc toạ độ và các trực toạ độ của khung quy chiếu ITRF, người ta sử dụng mô hình chuyển dịch toàn cầu các mảng kiến tạo NUVEL-1.

Khung toạ độ quốc tế được ký hiệu ITRF-XY, trong đó XY là 2 số cuối của năm công bố các tham số của khung toạ độ này (phiên bản ITRF). Thí dụ năm 1994 có ITRF-94 với 13 trạm quan sát trên thế giới, nhưng đến ITRF-96 đã có tới 47 trạm quan sát. Từ 1-8- 1999 người ta sử dụng ITRF-97 với 51 trạm quan sát. Tính đến năm 2010 trên toàn thế giới đã có trên 500 trạm tham gia vào IGS, chúng được phân bố ở hầu hết các châu lục. Các trạm thành viên có các nhiệm vụ trong chương trình hợp tác và cũng có những quyền lợi trong khai thác sử dụng hệ thống GPS. Hiện nay IERS đã công bố ITRRF-2008. Khung quy chiếu ITRF và mạng lưới các

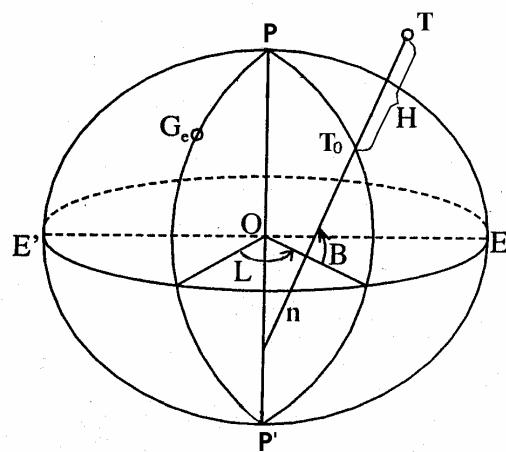
trạm quan sát thường trực của IGS có vai trò quan trọng trong nghiên cứu chuyển động của các mảng kiến tạo toàn cầu.

#### 2.1.3.4. Một số hệ toạ độ thường dùng khác

Trong tính toán và sử dụng hệ định vị toàn cầu, ngoài hệ toạ độ vuông góc không gian địa tâm X,Y,Z (hệ Đê các), một số hệ toạ độ trái đất khác thường được sử dụng như hệ toạ độ trắc địa (B,L,H) và các hệ toạ độ địa diện (thiết lập tại điểm quan sát trên mặt đất).

##### 1. Hệ toạ độ trắc địa (B,L,H)

Các thành phần toạ độ trắc địa của điểm T trên mặt đất là B,L,H, trong đó B là vĩ độ trắc địa, là góc giữa pháp tuyến qua điểm T với mặt phẳng Xích đạo. Độ kinh trắc địa L là góc nhị diện giữa mặt phẳng kinh tuyến qua điểm T với mặt phẳng kinh tuyến gốc Greenwich. Độ cao trắc địa H là khoảng cách tính theo pháp tuyến từ điểm xét T đến mặt Ellipsoid (hình 2.6). Tương tự như hệ toạ độ vuông góc không gian địa tâm, hệ toạ độ trắc địa B,L,H cho phép biểu diễn tất cả các điểm trên mặt đất trong cùng một hệ toạ độ.



Hình 2.6. Toạ độ trắc địa B,L,H

Ngoài hệ toạ độ trắc địa B,L,H, người ta còn sử dụng hệ toạ độ địa lý với các thành phần toạ độ là vĩ độ địa lý  $\varphi$ , kinh độ địa lý  $\lambda$  và độ cao thuỷ chuẩn  $h$ . Trong hệ toạ độ địa lý, phương dây dọi và mặt Geoid được lấy làm đường và mặt cơ sở để xác định các thành phần toạ độ  $\varphi, \lambda$  và độ cao  $h$ . Mối liên hệ giữa toạ độ trắc địa B,L,H và toạ độ địa lý như sau:

$$\begin{aligned} B &= \varphi - \xi \\ L &= \lambda - \frac{\eta}{\cos B} \\ H &= h + N \end{aligned} \quad (2.1.10)$$

trong đó  $\xi, \eta$  là các thành phần độ lệch dây dọi;  $N$  là độ cao Geoid hoặc độ cao thường.

Mỗi liên hệ giữa tọa độ vuông góc không gian địa tâm X,Y,Z và tọa độ trắc địa B,L,H đã được giới thiệu trong nhiều tài liệu trắc địa cao cấp.

## 2. Các hệ tọa độ địa diện

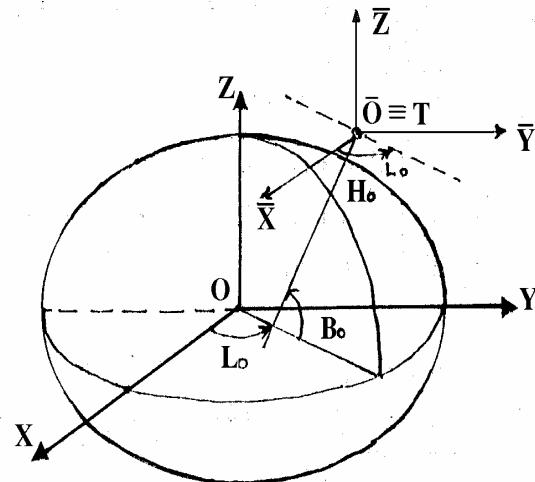
Hệ tọa độ địa diện là những hệ tọa độ có gốc tọa độ là điểm trên mặt đất (hoặc trên mặt Ellipsoid). Mỗi điểm trên mặt đất đều có thể chọn làm gốc để xây dựng hệ tọa độ địa diện. Các hệ tọa độ địa diện đóng vai trò là các hệ tọa độ trung gian dùng để giải quyết các bài toán trong trắc địa vệ tinh. Sau đây là một số hệ tọa độ địa diện thường dùng:

### a. Hệ tọa độ địa diện xích đạo

Hệ tọa độ địa diện xích đạo là hệ tọa độ vuông góc không gian (3D) có gốc tọa độ O trùng với điểm T trên mặt đất. Các trục tọa độ là  $\overline{OX}, \overline{OY}, \overline{OZ}$ , trong đó trục  $\overline{OZ}$  song song với trục OZ của hệ tọa độ địa tâm. Mặt phẳng  $\overline{XOY}$  song song với mặt phẳng xích đạo XOY, và các trục tọa độ  $\overline{OX}, \overline{OY}$  tương ứng song song với các trục OX và OY (hình 2.7). Vì các trục của hai hệ này song song nhau cho nên tọa độ của 1 điểm T1 nào đó trong hai hệ sẽ có quan hệ như sau:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{T_1} = \begin{bmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{bmatrix}_{T_1} + \begin{bmatrix} (N_0 + H_0) \cos B_0 \cos L_0 \\ (N_0 + H_0) \cos B_0 \sin L_0 \\ [N_0(1 - e^2) + H_0] \sin B_0 \end{bmatrix} \quad (2.1.11)$$

trong đó  $B_0, L_0, H_0$  là tọa độ trắc địa của điểm T được lấy làm điểm gốc của hệ tọa độ địa diện.  $N_0$  là bán kính vòng thẳng đứng thứ nhất tại điểm T.



Hình 2.7. Hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện xích đạo

### b. Các hệ tọa độ địa diện chân trời

Hệ tọa độ địa diện chân trời được chia ra: **hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời** và **hệ tọa độ cực địa diện chân trời**.

- Hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời có gốc tọa độ  $\bar{O}$  trùng với điểm T trên mặt đất (thường là điểm quan sát), có ba trục tọa độ là  $\bar{O}x, \bar{O}y, \bar{O}z$  (hình 2.8). Trục  $\bar{O}z$  trùng với phương pháp tuyến tại điểm T, trục  $\bar{O}x$  nằm trong mặt phẳng kinh tuyến qua T, vuông góc với trục  $\bar{O}z$  và hướng về cực bắc Trái đất. Trục  $\bar{O}y$  vuông góc với trục  $\bar{O}x, \bar{O}z$  và hướng về phía Đông. Trong một số tài liệu người ta còn gọi x,y và z là N (North), E (East) và U (Up). Trong hệ tọa độ này, người ta có thể biểu diễn tọa độ của 1 điểm bởi 3 giá trị tọa độ x,y,z .

- Hệ tọa độ cực địa diện chân trời cũng có gốc tọa độ  $\bar{O}$  trùng với điểm quan sát T trên mặt đất. Tọa độ của một điểm được biểu thị qua 3 giá trị tọa độ là phương vị A và góc cao E (*Elevation*) và bán kính vectơ  $\rho$ .

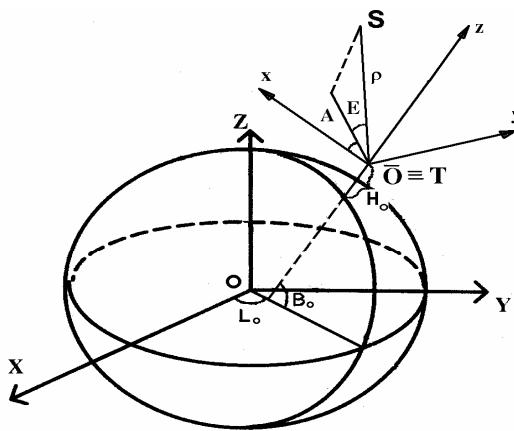
. Các công thức tính đổi tọa độ giữa x,y,z và A,E,  $\rho$  như sau:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho \cdot \cos E \cdot \cos A \\ \rho \cdot \cos E \cdot \sin A \\ \rho \cdot \sin E \end{bmatrix} \quad (2.1.12)$$

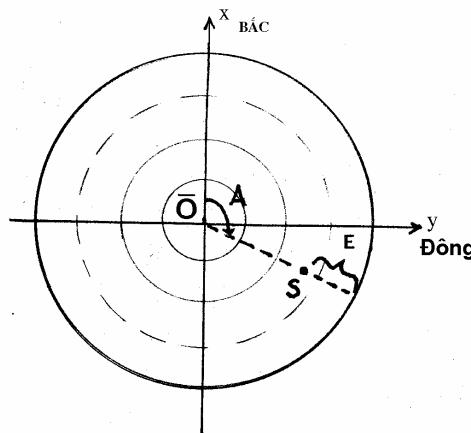
$$A = \arctan \frac{y}{x}$$

$$E = \arctan \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (2.1.13)$$

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$



Hình 2.8. Hệ tọa độ địa diện chân trời



Hình 2.9. Vị trí vệ tinh S trên bầu trời tại điểm quan sát

Tọa độ cực địa diện chân trời cho phép biểu thị vị trí của vệ tinh (S) trên bầu trời tại điểm quan sát thông qua góc phương vị A, góc cao E (hình 2.9). Do vệ tinh và Trái đất luôn chuyển động nên các giá trị A,E và  $\rho$  luôn thay đổi. Để tính các giá trị đó, cần biết tọa độ vệ tinh

$X_s, Y_s, Z_s$  tại thời điểm xét và toạ độ điểm quan sát  $B_0, L_0, H_0$ . Nếu giá trị  $z > 0$  thì góc cao  $E > 0$ , khi đó vệ tinh ở phía trên mặt phẳng chân trời, như vậy vệ tinh có thể quan sát được.

Để chuyển đổi giữa toạ độ địa tâm và toạ độ địa diện chúng ta sử dụng các công thức sau:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (2.1.14)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} X_0 &= (N_0 + H_0) \cos B_0 \cdot \cos L_0 \\ Y_0 &= (N_0 + H_0) \cos B_0 \cdot \sin L_0 \\ Z_0 &= [N_0(1 - e^2) + H_0] \sin B_0 \end{aligned} \quad (2.1.15)$$

và  $R$  là ma trận xoay:

$$R = \begin{bmatrix} -\sin B_0 \cdot \cos L_0 & -\sin L_0 & \cos B_0 \cdot \cos L_0 \\ -\sin B_0 \cdot \sin L_0 & \cos L_0 & \cos B_0 \cdot \sin L_0 \\ \cos B_0 & 0 & \sin B_0 \end{bmatrix} \quad (2.1.16)$$

Từ (2.1.14) ta có công thức tính đổi ngược lại, từ hệ địa tâm sang hệ địa diện:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R^T \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (2.1.17)$$

**Thí dụ:** Tại thời điểm t xác định được toạ độ vệ tinh 3 (PRN-3) trong hệ vuông góc không gian địa tâm là:

$$X=-15428309,332m; \quad Y=20810680,184m; \quad Z=-5845840,095m$$

Hãy xác định phương vị A, góc cao E của vệ tinh đó tại điểm quan sát có toạ độ trắc địa như sau:

$$B_0=21^{\circ} 05' 00'' \quad L_0=105^{\circ} 45' 00''; \quad H_0=10m.$$

Trình tự tính toán như sau: Từ toạ độ trắc địa  $B_0, L_0, H_0$  của điểm quan sát sẽ tính được toạ độ vuông góc không gian địa tâm của điểm đó là  $X_0, Y_0, Z_0$ .

$$X_0=-1616091.777m; \quad Y_0=5730229,204m; \quad Z_0=2280009,855m$$

Đồng thời tính được ma trận xoay R theo toạ độ trắc địa điểm quan sát:

$$R = \begin{bmatrix} -\sin B_0 \cdot \cos L_0 & -\sin L_0 & \cos B_0 \cdot \cos L_0 \\ -\sin B_0 \cdot \sin L_0 & \cos L_0 & \cos B_0 \cdot \sin L_0 \\ \cos B_0 & 0 & \sin B_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.097644 & -0.962455 & -0.253270 \\ -0.346220 & -0.271440 & 0.898027 \\ 0.933058 & 0.000000 & 0.359725 \end{bmatrix}$$

Theo công thức (2.1.17) tính được toạ độ vuông góc không gian địa diện x,y,z của vệ tinh:  $x=-14151719.321m; \quad y=9200196.715m; \quad z=14117790.677m$ .

Có thể nhận thấy rằng trong trường hợp này  $z > 0$ , tức là vệ tinh nằm phía trên mặt phẳng chân trời tại điểm quan sát, tức là có khả năng quan sát được vệ tinh. Theo các công thức (2.1.13) sẽ tính được toạ độ vệ tinh trong hệ toạ độ cực địa diện chân trời như sau:

- Góc phương vị của vệ tinh:  $A = \arctan \frac{y}{x} = 146^0 58' 17'' .90$

- Góc cao của vệ tinh:  $E = \arctan \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} = 39^0 54' 31'',68$

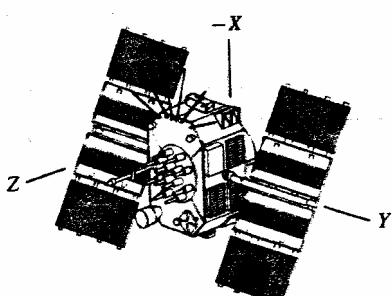
- Khoảng cách từ điểm quan sát đến vệ tinh:  $\rho = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \approx 22005153.782m$

#### 2.1.4. Hệ toạ độ cố định với vệ tinh

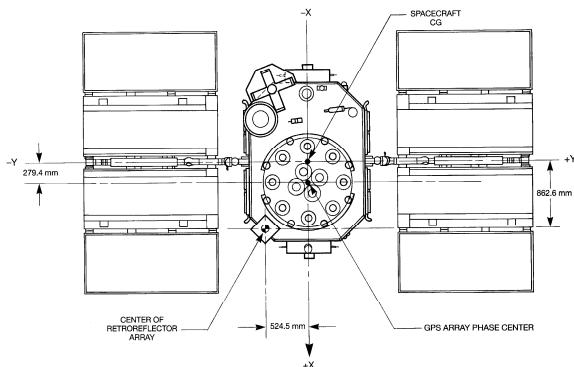
Hệ toạ độ cố định với vệ tinh (*satellite -fixed coordinate system*) là hệ toạ độ vuông góc không gian x,y,z (3D) có gốc trùng với trọng tâm của vệ tinh và có các trục toạ độ được quy ước (hình 2.10). Hệ toạ độ này được sử dụng để xác định vị trí các thiết bị (bộ phận) của vệ tinh so với trọng tâm của vệ tinh (thí dụ: anten phát tín hiệu không trùng với trọng tâm vệ tinh). Trong một số trường hợp cần tính toán hiệu chỉnh lệch tâm thiết bị so với trọng tâm, là điểm được coi là nằm trên quỹ đạo chuyển động của vệ tinh.

Trên hình 2.11 thể hiện hình chiếu vệ tinh GPS trên mặt phẳng XY. Trong quá trình chuyển động của vệ tinh trên quỹ đạo, trục Z hầu như luôn hướng về Trái đất. Đối với vệ tinh GLONASS, trục X lại được quy ước là trục luôn hướng về Trái đất khi chuyển động trên quỹ đạo.

Toạ độ các thiết bị của vệ tinh trong hệ toạ độ cố định với vệ tinh cũng chính là lượng lệch tâm của thiết bị. Trong đó độ lệch tâm của anten phát tín hiệu từ vệ tinh là đại lượng cần quan tâm. Trong định vị chính xác, người ta phải xét tới độ lệch tâm anten phát trong tính toán.



Hình 2.10. Hệ toạ độ cố định với vệ tinh



Hình 2.11. Mặt phẳng X,Y của vệ tinh GPS

Các thông tin về độ lệch tâm anten phát của vệ tinh được Cơ quan thông tấn tri thức không gian quốc gia NGA (*The National Geospatial-Intelligence Agency*) cung cấp. Trong bảng 2.2 là một số giá trị độ lệch tâm của một số vệ tinh GPS thế hệ II, IIA và IIR.

Bảng 2.2. Giá trị lệch tâm anten phát của một số vệ tinh GPS

| Block | PRN    | x (m)  | y (m) | z (m)  |
|-------|--------|--------|-------|--------|
| II    | Tất cả | 0,2794 | 0     | 0,9519 |
| IIA   | Tất cả | 0,2794 | 0     | 0,9519 |

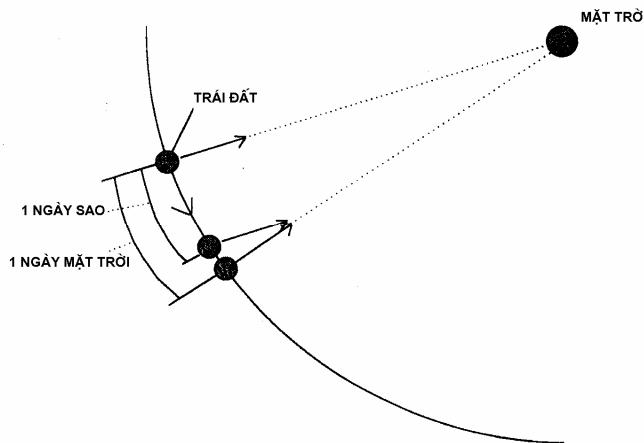
|     |       |         |         |        |
|-----|-------|---------|---------|--------|
| IIR | PRN11 | 0,0019  | 0,0011  | 1,5141 |
| IIR | PRN13 | 0,0024  | 0,0025  | 1,6140 |
| IIR | PRN14 | 0,0018  | 0,0002  | 1,6137 |
| IIR | PRN16 | -0,0098 | 0,0060  | 1,6630 |
| IIR | PRN18 | -0,0098 | 0,0060  | 1,5923 |
| IIR | PRN19 | -0,0100 | 0,0064  | 1,5620 |
| IIR | PRN20 | 0,0022  | 0,0014  | 1,6140 |
| IIR | PRN21 | 0,0023  | -0,0006 | 1,5840 |
| IIR | PRN28 | 0,0018  | 0,0007  | 1,5131 |

Trong kỹ thuật định vị tuyệt đối chính xác (PPP), người ta phải xét đến độ lệch tâm của anten phát tín hiệu so với trọng tâm của vệ tinh. Trong định vị phục vụ các mục đích không yêu cầu độ chính xác cao, có thể bỏ qua độ lệch tâm này.

## 2.2. CÁC HỆ THỐNG THỜI GIAN

### 2.2.1. Cơ sở tính thời gian, các loại đồng hồ và các hệ thống giờ

Từ xa xưa con người đã dựa trên chuyển động nhìn thấy của Mặt trời để xác định thời gian, mà bản chất là dựa vào chuyển động quay của Trái đất quanh trục. Theo hệ thống giờ đó, một ngày mặt trời là khoảng thời gian Trái đất quay hết một vòng quanh trục (so với Mặt trời). Từ ngày mặt trời có hệ thống giờ mặt trời, đồng thời cũng hình thành khái niệm giờ mặt trời thực và giờ mặt trời trung bình. Giờ mặt trời trung bình gọi là giờ thế giới UT (*Universal Time*).



Hình 2.12. Mối quan hệ giữa ngày sao và ngày mặt trời

Trong thiên văn, nếu lấy điểm Xuân phân làm chuẩn để tính vòng quay của Trái đất, người ta có định nghĩa về giờ sao ST (*Sidereal Time*). Trong hệ thống giờ sao, do điểm chuẩn để tính vòng quay của Trái đất là điểm Xuân phân (ở xa vô cùng) do đó một ngày sao ngắn hơn 1 ngày mặt trời. Nếu tính theo giờ mặt trời, một ngày sao trung bình chỉ dài 23h 56 phút

4,09 giây. Như vậy ngày mặt trời và ngày sao khác nhau 3 phút 55,91 giây. Trên hình 2.12 cho thấy mối quan hệ giữa hai hệ thống giờ trên.

Mỗi quan hệ giữa giờ sao ST và giờ thế giới UT1 (là giờ mặt trời trung bình đã hiệu chỉnh chuyển động Cực Trái đất).

$$ST = 1,0027379093UT1 + \vartheta_0 + \Delta\psi \cos \varepsilon \quad (2.2.1)$$

trong đó  $\vartheta_0$  là giờ Sao hiện thời tại Greenwich lúc nửa đêm (0h UT), thành phần thứ 3 là phần hiệu chỉnh do tuế sai và chương động.

**Giờ sao ST và giờ thế giới UT** là hai hệ thống giờ dựa trên chuyển động quay của Trái đất xung quanh trục và quanh Mặt trời. Người ta có các định nghĩa như sau :

- Góc giữa kinh tuyến qua điểm quan sát và hướng tới điểm Xuân phân thực đã được hiệu chỉnh tuế sai, chương động được gọi là giờ sao biểu kiến AST (*Apparent Sidereal Time*). Nếu góc đó xét tại kinh tuyến thiên văn trung bình qua Greenwich thì gọi là giờ sao biểu kiến Greenwich GAST (*Greenwich Apparent Sidereal Time*).
- Góc giờ của Mặt trời tưởng tượng được gọi là giờ thế giới UT. (Theo định luật 2 Kepler, Trái đất chuyển động quanh Mặt trời thực với vận tốc góc là hằng số, còn mặt trời tưởng tượng thoả mãn chuyển động của Trái đất với vận tốc là hằng số).

Trước đây, con người chưa nhận thức được chuyển động không đều của Trái đất quanh trục. Khi có các thiết bị chính xác để đo thời gian (như đồng hồ thạch anh, đồng hồ nguyên tử), người ta đã xác định được chuyển động không đều của Trái đất quanh trục của nó cỡ  $10^{-2}$ - $10^{-3}$ s trong một ngày đêm.

**Đồng hồ** được con người làm ra để duy trì hệ giờ và đo thời gian. Về nguyên tắc có thể sử dụng một dao động mang tính chu kỳ, đều đặn để chế tạo đồng hồ. Người xưa đã làm ra đồng hồ cát, đồng hồ nước vv... và cũng làm ra “đồng hồ mặt trời” dựa trên cơ sở quan sát bóng nghiêng của một cột gỗ (hoặc đá) thẳng đứng. Khi nền khoa học kỹ thuật của nhân loại phát triển, người ta đã chế tạo ra đồng hồ quả lắc, đồng hồ thạch anh (đồng hồ quartz -1927) và đồng hồ nguyên tử (1950). Sau đây là độ ổn định của một số loại đồng hồ:

Bảng 2.3. Độ ổn định của một số loại đồng hồ

| <i>Loại đồng hồ (thời gian)</i>           | <i>Sai số trong một ngày (giây)</i> |
|---|-------------------------------------|
| Đồng hồ quả lắc                           | từ $10^{-1}$ s đến $10^{-2}$ s      |
| Quan trắc chuyển động quay Trái đất       | từ $10^{-2}$ đến $10^{-3}$ s        |
| Đồng hồ thạch anh                         | từ $10^{-3}$ s đến $10^{-7}$ s      |
| Đồng hồ nguyên tử<br>(cesium và rubidium) | từ $10^{-7}$ đến $10^{-8}$ s        |
| Đồng hồ nguyên tử<br>(hydro)              | từ $10^{-8}$ đến $10^{-10}$ s       |

Đồng hồ thạch anh dựa trên dao động của tinh thể thạch anh do điện áp. Cho đến nay đồng hồ thạch anh đang được sử dụng rộng rãi trong đời sống. Kích thước của đồng hồ thạch anh có thể giảm rất nhỏ, trong khi đó kích thước đồng hồ nguyên tử chỉ có thể giảm tới cỡ  $\text{dm}^3$ .

Năm 1967 theo Hệ đơn vị đo lường quốc tế (SI) người ta định nghĩa giây nguyên tử như sau: *Một giây là khoảng thời gian của 9192631770 chu kỳ bức xạ tương ứng với sự chuyển đổi giữa hai mức năng lượng của nguyên tử Cesium 133.*

Người ta đưa ra một số hệ thống giờ như sau:

Bảng 2.4. Các hệ thống giờ

| <i>Chu kỳ cơ sở</i>                             | <i>Hệ thống giờ</i>   |
|---|---|
| Chuyển động quay của Trái đất                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Giờ thế giới (UT)</li> <li>- Giờ sao Greenwich (<math>\theta_0</math>)</li> </ul>                      |
| Chuyển động của các hành tinh trong hệ Mặt trời | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Giờ động lực trọng tâm trái đất (TDT)</li> <li>- Giờ động lực trọng tâm mặt trời (BDT)</li> </ul>      |
| Dao động nguyên tử                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Giờ nguyên tử quốc tế (IAT)</li> <li>- Giờ phối hợp quốc tế (UTC)</li> <li>- Giờ GPS (GPST)</li> </ul> |

### 2.2.2. Các yêu cầu chung đối với hệ thống giờ trong trắc địa vệ tinh

Trong trắc địa vệ tinh, người ta sử dụng kỹ thuật quan sát dựa trên phép đo khoảng thời gian lan truyền của sóng điện từ, chính vì thế vấn đề xây dựng một hệ thống giờ có độ chính xác cao là bắt buộc. Độ chính xác xác định thời gian liên quan đến 3 chuyển động sau:

1. chuyển động quay của Trái đất quanh trục với vận tốc góc:  $\omega_E = 7,2921151467 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$
2. chuyển động của vệ tinh trên quỹ đạo với vận tốc khoảng từ 3km/s đến 7km/s
3. lan truyền tín hiệu (sóng điện từ) từ vệ tinh đến máy thu với vận tốc ánh sáng  $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Tương ứng với các chuyển động nói trên, để phân biệt được vị trí điểm (quan sát) trên xích đạo cỡ 1cm do chuyển động quay của Trái đất thì thời gian phải xác định với độ chính xác cỡ  $2 \cdot 10^{-5} \text{ s}$ , để xác định vị trí vệ tinh trên quỹ đạo thấp với độ chính xác 1cm thì thời gian phải xác định với độ chính xác cỡ  $10^{-6} \text{ s}$ , còn để xác định khoảng cách từ vệ tinh đến máy thu với độ chính xác cỡ 1cm, thì thời gian phải xác định với độ chính xác cỡ  $1^{-10} \text{ s}$ .

Hệ thống giờ trong TĐVT phải bảo đảm được 3 yêu cầu cơ bản sau:

1. Thang giờ trong trắc địa vệ tinh phải tôn trọng thang giờ gắn với chuyển động quay ngày đêm của Trái đất trong không gian quán tính. Đây là hệ thống giờ được thực hiện bằng quan trắc trong một khung tham chiếu cố định trong không gian (*space-fixed reference frame*). Thang giờ này còn gọi là giờ sao ST hay giờ thế giới UT.

2. Phải bảo đảm việc đo thời gian có tính nhất quán tuyệt đối trong việc mô tả chuyển động của vệ tinh. Trong đó thời gian được sử dụng như là một biến độc lập trong phương trình chuyển động. Một thang giờ phù hợp có thể được lấy từ chuyển động quỹ đạo của thiên thể quanh Mặt trời. Khi đó thang giờ được gọi là giờ lịch ET (*Ephemeris Time*), giờ động lực DT (*Dynamical Time*) hay giờ trái đất (*Terrestrial Time*).

3. Phải bảo đảm độ chính xác cao và thống nhất trong đo thời gian, phục vụ đo khoảng cách dựa trên đo thời gian lan truyền tín hiệu sóng điện từ hoặc đo khoảng cách bằng laser đến vệ tinh. Với yêu cầu như vậy người ta thực hiện phép đo liên quan đến vật lý bức xạ nguyên tử, và gọi là giờ nguyên tử AT (*Atomic Time*).

Để xác định thời gian tuyệt đối chúng ta phải có điểm khởi đầu tính thời gian.

### 2.2.3. Giờ nguyên tử quốc tế (IAT), giờ GPS (GPST) và giờ động lực (DT)

Với yêu cầu về độ ổn định và tính chính xác, trong trắc địa vệ tinh, người ta sử dụng 2 hệ thống giờ là:

1.Giờ nguyên tử AT

2.Giờ động lực DT

**Giờ nguyên tử** là thang giờ được dựa trên một tập hợp các đồng hồ nguyên tử cơ sở trên Trái đất.

**Giờ nguyên tử quốc tế** (IAT hoặc TAI) là giờ nguyên tử dựa trên các đồng hồ nguyên tử của tổ chức Quốc tế IERS (*International Earth Rotation Service*) và của cơ quan giờ Quốc tế BIH (*Bureau International de l'Heure*). Khi sử dụng hệ thống giờ nguyên tử quốc tế IAT, cần lưu ý một số định nghĩa sau:

- Giờ nguyên tử quốc tế được làm khớp (xuất phát) với giờ thế giới UT từ nửa đêm ngày 1 tháng 1 năm 1958. Đơn vị cơ bản của giờ nguyên tử quốc tế IAT là giây nguyên tử SI. Một ngày nguyên tử có 86400 giây SI và một thế kỷ Julian bằng 36525 ngày nguyên tử SI.

- Ngày tháng Julian (JD) là số ngày nguyên tử và phần lẻ của ngày nguyên tử SI được tính từ 12 giờ UT ngày 1 tháng 1 năm 4713 trước Công nguyên. Gốc tính ngày tháng Julian này quá xa với thời gian hiện tại, do đó người ta đưa ra định nghĩa khác cho UT sau đây.

- Ngày tháng Julian của thời điểm tiêu chuẩn của UT được gọi là J2000.0, được định nghĩa là ngày tháng Julian tại 12 giờ GMT ngày 1 tháng 1 năm 2000, như vậy:

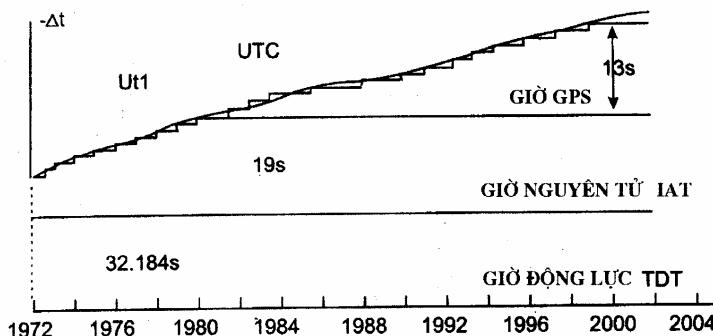
$$J2000.0 = JD2451545.0 \quad (2.2.2)$$

Theo định nghĩa mới này, tất cả biến thời gian T được đo trong thế kỷ Julian có mối quan hệ với thời điểm J2000.0

- IAT là thang thời gian liên tục, nhưng nó lại không hoàn toàn trùng (đồng bộ) với ngày mặt trời (UT). Do tốc độ chuyển động quay của Trái đất chậm dần so với IAT do đó IAT

càng ngày càng đi sớm hơn (đến trước). Vấn đề này được giải quyết nhờ định nghĩa giờ phối hợp quốc tế UTC (*Universal Coordinated Time*).

- Giờ UTC được chạy theo thang giờ nguyên tử quốc tế IAT nhưng được tăng theo chu kỳ các bước nhảy phân giây. Bước nhảy phân giây do tổ chức IERS công bố khi thấy cần thiết, thí dụ năm 1994 bước nhảy đó là 28s, năm 2000 là 32s (hình 2.13).



Hình 2.13. Quan hệ giữa các hệ thống thời gian

**Giờ GPS** ký hiệu là GPST (GPS Time) hoạt động theo thang giờ của đồng hồ nguyên tử của trạm điều khiển trung tâm Hệ thống GPS tại Colorado Springs (Mỹ). GPST và UTC được khởi đầu từ **0h ngày 6 tháng 1 năm 1980**. Khởi đầu GPST lệch với IAT một hằng số là 19s (hình 2.13), tức là :

$$GPST = IAT + 19s \quad (2.2.3)$$

Đơn vị tính giờ lớn nhất trong hệ thống giờ GPS là tuần lě GPS. Tính đến ngày 01 tháng 8 năm 2010 đã là tuần lě GPS thứ 1595. Mỗi tuần lě GPS luôn kết thúc vào 24 giờ lúc nửa đêm ngày thứ 7, tức lúc 0h ngày chủ nhật (theo giờ GPS).

**Giờ động lực DT** được định nghĩa là biến (thời gian) độc lập trong phương trình chuyển động của các hành tinh thuộc hệ Mặt trời. Khởi đầu, cách xem xét tốt nhất của một hệ quan tính là xét tại trọng tâm của Hệ Mặt trời, do đó giờ động lực trong hệ này được gọi là **giờ động lực trọng tâm mặt trời BDT** (*Barycentric Dynamical Time*). Một đồng hồ ở Trái đất có thể thay đổi theo chu kỳ khoảng 1,6 mili giây trong hệ BDT do chuyển động của Trái đất trong trường trọng lực của Mặt Trời.

**Giờ động lực trọng tâm trái đất TDT** (*Terrestrial Dynamical Time*) là biến độc lập trong phương trình chuyển động của vật thể trong trường trọng lực của Trái đất.

Mối quan hệ giữa TDT và BDT như sau:

$$BDT = TDT + 0^s ,001658 \sin(g) + 0,0167 \sin(g) \quad (2.2.4)$$

trong đó :

$$g = (357^0,528 + 35999^0,050T) \frac{\pi}{180} \quad (2.2.5)$$

với T là thế kỷ Julian TDT.

## 2.3. LAN TRUYỀN TÍN HIỆU VÀ CÁC HIỆU ÚNG

### 2.3.1. Sóng tải và điều biến

#### 2.3.1.1. Phân loại sóng điện từ

Định vị vệ tinh được thực hiện dựa trên cơ sở số liệu lan truyền theo sóng điện từ từ vệ tinh đến máy thu, vì thế một số tài liệu đã xếp định vị vệ tinh thuộc họ định vị radio [25].

Người ta phân chia sóng điện từ thành nhiều nhóm, nếu căn cứ vào tần số, ta có các nhóm tần số như tần số rất thấp (VLF), tần số thấp (LF), trung tần (MF), cao tần (HF) vv... Trong kỹ thuật dò tìm và định vị bằng sóng radio, gọi là kỹ thuật RADAR, người ta sử dụng các tần số cao hơn 200 MHz. Sóng điện từ thuộc giải tần Radar được chia thành các tên gọi khác nhau như: giải P (P-band), giải L (L-band), giải S (S-band) vv... Trong bảng 2.5 là phân chia sóng điện từ theo các tần số và ở bảng 2.6 là phân chia sóng điện từ trong kỹ thuật radar.

Bảng 2.5. Phân sóng điện từ chia theo tần số

| Ký hiệu | Tên gọi                               | Tần số (f)     | Bước sóng ( $\lambda$ ) |
|---------|---------------------------------------|----------------|-------------------------|
| VLF     | Tần số rất thấp (Very Low Freq.)      | <30KHz         | >10000m                 |
| LF      | Tần số thấp ( Low Freq.)              | 30 ÷ 300 KHz   | 1000÷10000m             |
| MF      | Trung tần ( Medium Freq.)             | 300 ÷ 3000 KHz | 100÷1000m               |
| HF      | Cao tần (High Freq.)                  | 3 ÷ 30 MHz     | 10÷100m                 |
| VHF     | Rất cao tần (Very High Freq.)         | 30 ÷ 300 MHz   | 1÷10m                   |
| UHF     | Siêu cao tần (Ultra High Freq.)       | 300 ÷ 3000 MHz | 10cm ÷ 1m               |
| SHF     | Đại cao tần ( Super High Freq.)       | 3 ÷ 30 GHz     | 1cm÷10cm                |
| EHF     | Cực kỳ cao tần (Extremely High Freq.) | 30 ÷ 300 GHz   | 1mm÷1cm                 |

Bảng 2.6. Phân chia sóng điện từ thuộc giải tần Radar

| Tên gọi | Tần số      | Bước sóng trung bình |
|---------|-------------|----------------------|
| P-band  | 220÷300 MHz | 115 cm               |
| L-band  | 1÷2 GHz     | 20 cm                |
| S-band  | 2÷4 GHz     | 10 cm                |
| C-band  | 4÷8 GHz     | 5 cm                 |
| X-band  | 8÷12,5 GHz  | 3 cm                 |
| Ku-band | 12,5÷18 GHz | 2 cm                 |
| K-band  | 18÷26,5 GHz | 1,35 cm              |
| Ka-band | 26,5÷40 GHz | 1 cm                 |

Các hệ thống GNSS sử dụng tần số siêu cao tần (UHF) hay L-band có bước sóng cỡ 20 cm

#### 2.3.1.2. Các công thức cơ sở:

Liên quan đến tín hiệu vệ tinh và các trị đo trong định vị vệ tinh, chúng ta cần phải

nhắc lại một số khái niệm vật lý có liên quan đến kỹ thuật truyền tín hiệu qua sóng điện từ, các khái niệm này được trình bày trên bảng 2.7

Bảng 2.7. Một số đại lượng vật lý liên quan

| <b>Đại lượng</b> | <b>Ký hiệu</b> | <b>Thú nguyên</b> |
|------------------|----------------|-------------------|
| Tần số           | f              | chu kỳ/ s (Hz)    |
| Pha              | $\varphi$      | chu kỳ            |
| Bước sóng        | $\lambda$      | m/chu kỳ          |
| chu kỳ           | P              | s                 |
| Tốc độ ánh sáng  | c              | m/s               |

Hằng số cơ bản liên quan đến quá trình truyền tín hiệu là tốc độ ánh sáng trong chân không, ký hiệu là c và có giá trị là:

$$c = 299792458 \text{ m/s} \quad (2.3.1)$$

Chúng ta ký hiệu các chu kỳ nguyên tương ứng với các số vô tỷ  $2\pi$  radian [8]. Một khía số chu kỳ trong một giây ký hiệu là Hertz (Hz) có thể là số thập phân đã được Quốc tế quy định trong hệ ISU (*International System of Units*). Mỗi quan hệ giữa một số đại lượng trong bảng trên thể hiện qua các đẳng thức sau:

$$f = 2\pi \frac{1}{P} = \frac{c}{\lambda} \quad (2.3.2)$$

Tần số chu kỳ thực thời f được định nghĩa là vi phân của pha theo thời gian t, tức là:

$$f = \frac{d\varphi}{dt} \quad (2.3.3.)$$

Như vậy pha sẽ là tích phân của tần số trong khoảng thời gian  $t_0$  và t.

$$\varphi = \int_{t_0}^t f dt \quad (2.3.4)$$

Xét trong trường hợp tần số là không đổi (là hằng số), đồng thời giả sử pha ban đầu bằng 0 ( $\varphi(t_0)=0$ ) ta có:

$$\varphi = f(t - t_p) = f(t - \frac{P}{c}) \quad (2.3.5)$$

Trong kỹ thuật truyền tín hiệu số và xử lý tín hiệu số, có liên quan đến một số khái niệm như chip và tốc độ chip .vv...

Chip hay độ dài chip (*chip length*) là khoảng thời gian đủ để chuyển một số 0 hoặc một số 1 trong code dạng xung nhị phân.

Tốc độ chip (*Chip Rate*) là số lượng chip trong 1 giây (thí dụ C/A code = 1.023 MHz).

### 2.3.1.3. Điều biến tín hiệu

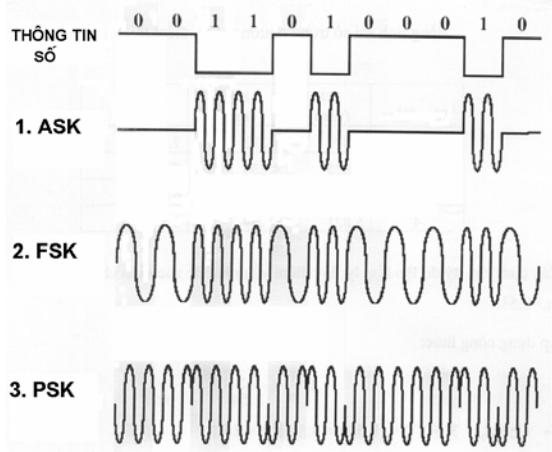
Điều biến hay điều chế (*Modulation*) là quá trình biến đổi một hay nhiều thông số của một tín hiệu tuần hoàn theo sự thay đổi của tín hiệu mang thông tin cần truyền đi xa. Tín hiệu tuần hoàn gọi là sóng mang, hay sóng tải. Tín hiệu mang thông tin gọi là tín hiệu điều biến.

Các thông số của sóng tải được dùng trong quá trình điều biến có thể là biên độ, pha hoặc tần số. Có hai kỹ thuật điều biến được áp dụng đó là kỹ thuật điều biến tương tự (*Analog Modulation*) và kỹ thuật điều biến số (*Digital Modulation*). Kỹ thuật tương tự đã được sử dụng từ khá lâu, trong đó người ta thường sử dụng các phương pháp điều biến biên độ (AM), điều biến tần số (FM) hoặc điều biến pha (PM). Thí dụ bằng kỹ thuật điều biến tương tự theo biên độ có thể chuyển tín hiệu âm thanh đi xa dễ dàng, ở bộ phận thu chỉ cần có thiết bị tách sóng là có thể khôi phục hoàn toàn tín hiệu âm thanh cần chuyển.

Trong lĩnh vực thông tin kỹ thuật số, kỹ thuật điều biến số đã được phát triển mạnh mẽ. Trong kỹ thuật điều biến số nhị phân, thông số của một sóng tải tuần hoàn sẽ được biến đổi theo một chuỗi thông tin số nhị phân gồm các số 1 và số 0 trong đó đã chứa thông tin theo kỹ thuật số. Các phương pháp điều biến cơ bản bao gồm:

4. điều biến thay đổi biên độ ASK (*Amplitude-Shift Keying*)
5. điều biến thay đổi tần số FSK (*Frequency-Shift Keying*)
6. điều biến thay đổi pha PSK (*Phase-Shift Keying*)

Trên hình 2.14 minh họa các phương pháp điều biến kỹ thuật số nhị phân theo biên độ (ASK), theo tần số (FSK) và theo pha (PSK)



Hình 2.14. Các phương pháp điều biến kỹ thuật số nhị phân

Trong định vị vệ tinh, người ta sử dụng phương pháp điều biến kỹ thuật số nhị phân để chuyển thông tin từ vệ tinh tới máy thu, bao gồm: các code tựa ngẫu nhiên (C/A code, P-code), thông tin đạo hàng vv...

### 2.3.2. Hiệu ứng khí quyển ảnh hưởng đến tín hiệu vệ tinh

Tín hiệu vệ tinh khi lan truyền từ vệ tinh đến máy thu trên mặt đất phải xuyên qua khí quyển gồm nhiều tầng, trong đó có tầng điện ly và tầng đối lưu là hai tầng ảnh hưởng nhiều nhất tới sự lan truyền tín hiệu từ vệ tinh, gọi là hiệu ứng khí quyển ảnh hưởng đến tín hiệu vệ tinh. Để nắm được hiệu ứng này, trước hết cần nghiên cứu cấu trúc tầng khí quyển của Trái đất

### 2.3.2.1. Cấu trúc của khí quyển

Trên thực tế, khí quyển được xem xét khá chi tiết và được chia thành nhiều tầng khác nhau. Với quan điểm xem xét ảnh hưởng của khí quyển tới tín hiệu vệ tinh GNSS, chỉ cần phân chia khí quyển thành 2 tầng chính là tầng điện ly và tầng đối lưu.

#### 1. Tầng điện ly

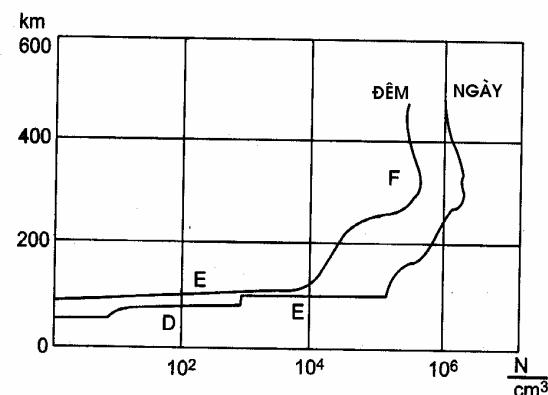
Tầng điện ly (còn gọi là tầng ion) nằm trong khoảng từ độ cao 50km đến 1000 km, chủ yếu là trong khoảng từ 50km đến 500km. Trong tầng điện ly có nhiều điện tử tự do do các chất khí bị phân ly mạnh. Chính các điện tử tự do này làm ảnh hưởng đến sự lan truyền sóng điện từ, như làm khúc xạ, hấp thụ hoặc phản xạ sóng điện từ tuỳ thuộc vào tần số của sóng điện từ.

Nguyên nhân của quá trình phân ly còn gọi là quá trình ion hoá là do hoạt động của các tia cực tím của Mặt trời, của các thiên thể và của vũ trụ (tia gama và X) cùng với sự sụ cọ xát của các thiên thạch hoặc tiểu thiên thạch sau khi rơi vào khí quyển. Quá trình ion hoá trong tầng điện ly là do tia mặt trời tác động vào lớp khí quyển. Vì thế mức độ ion hoá phụ thuộc vào sự hoạt động của Mặt trời thể hiện qua sự biến đổi của các vết plasma (vết đen) trên mặt trời. Hiện tượng thay đổi số lượng plasma trên Mặt trời thay đổi với chu kỳ lặp lại khoảng 11 năm. Vào ban đêm hiện tượng ion hoá không diễn ra, các điện tử tự do có xu hướng kết hợp lại, chính vì thế số lượng điện tử tự do vào ban đêm (phân tối của khí quyển trái đất) ít hơn. Trên hình 2.15 thể hiện sự thay đổi của mật độ điện tử tự do theo độ cao và theo thời gian ngày-đêm.

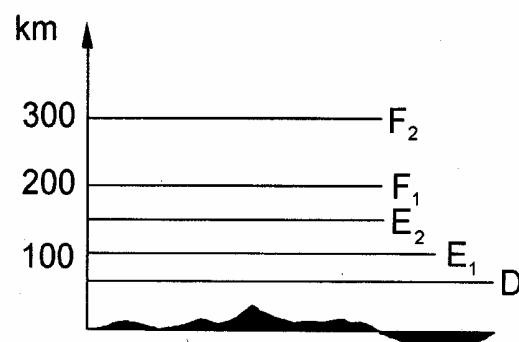
Qua khảo sát người ta kết luận rằng sự thay đổi của mật độ điện tử tự do trong tầng điện ly không cố định mà thay đổi phụ thuộc vào thời gian ngày, đêm, vào mùa trong năm và vị trí điểm xét (chủ yếu là phụ thuộc vào độ vĩ).

Các vụ nổ trên Mặt trời tạo nên hiện tượng bão từ sẽ gây ra sự xáo trộn bất thường trong tầng điện ly và ảnh hưởng đáng kể đến sự lan truyền tín hiệu từ vệ tinh.

Xét riêng trong tầng điện ly từ thấp đến cao, có thể chia thành 3 tầng D, E và F, trong đó tầng E được chia thành E1, E2 và tầng F được chia thành F1, F2. (hình 2.16).



Hình 2.15. Sự thay đổi của mật độ điện tử tự do



Hình 2.16. Phân bố trong tầng điện ly

Tầng D có độ cao trong khoảng 60-90km, chủ yếu gồm các ion nặng NO với mức ion hoá không lớn. Tầng D xuất hiện vào ban ngày còn vào ban đêm không tồn tại.

Tầng E ở độ cao 90-140 km, bao gồm các điện tử tự do O<sub>2</sub> tạo bởi các tia gama. Đây là lớp khá ổn định và ít thay đổi trong ngày.

Lớp F ở vị trí cao nhất trong tầng điện ly, chứa các ion Oxy và Heli. Vào ban ngày tầng F có thể phân thành hai tầng: tầng F1 có độ cao trong khoảng 180-280 km còn tầng F2 có độ cao trung bình 370 km.

## 2. Tầng đối lưu

Tầng đối lưu là phần thấp nhất của khí quyển, nằm ngay dưới tầng bình lưu. Ở vùng nhiệt đới, tầng đối lưu bắt đầu từ bề mặt đất đến độ cao khoảng 20km và đến khoảng 11 km ở vùng độ vĩ trung bình. Đặc trưng của tầng này thể hiện ở các dòng đối lưu của không khí nóng từ bề mặt bốc lên cao và lạnh đi. Hiện tượng đối lưu đã mang lại tên gọi cho tầng này.

Trong khí quyển, mật độ không khí trong tầng đối lưu là lớn nhất, do đó lớp khí quyển trong tầng đối lưu chiếm khoảng 75% tổng khối lượng của toàn bộ khí quyển. Trong tầng đối lưu, lượng hơi nước chiếm 99% tổng lượng hơi nước tích tụ trong khí quyển và càng lên cao nhiệt độ càng giảm với gradient nhiệt  $\frac{dT}{dh}$  khoảng -6,5°C/km. Thành phần chất khí trong tầng đối lưu chủ yếu là nitơ, ôxy và một số chất khí khác.

### 2.3.2.2. Ảnh hưởng của tầng điện ly đến tín hiệu vệ tinh GNSS

Nói chung các tầng D và E trong tầng điện ly ít gây ảnh hưởng đến lan truyền sóng điện từ. Các tầng F1,F2 ảnh hưởng nhiều nhất đến lan truyền tín hiệu sóng điện từ và do đó ảnh hưởng đến kết quả định vị điểm bằng vệ tinh GNSS. Trong những trường hợp Mặt trời hoạt động và gây ra bão tầng điện ly, sai số ảnh hưởng đến định vị vệ tinh có thể đến 50m. Ảnh hưởng của tầng điện ly tăng lên ở vùng xích đạo và vùng gần cực của Trái đất. Trong khi thu nhận tín hiệu vệ tinh có thể xảy ra những biến đổi trạng thái tầng điện ly trong chu kỳ ngắn, gây ảnh hưởng đến sự thay đổi không quy luật về biên độ và pha của tín hiệu vệ tinh GNSS.

Cần nói rõ thêm là, ảnh hưởng của tầng điện ly đến tín hiệu vệ tinh GNSS thay đổi theo thời gian, có đặc tính khu vực (phụ thuộc vào độ vĩ địa lý điểm quan sát) và mang tính ngẫu nhiên. Chính vì thế việc ước lượng (dự đoán) trạng thái tầng điện ly để tính ảnh hưởng đến tín hiệu vệ tinh GNSS là việc không đơn giản, tương tự như việc dự báo thời tiết.

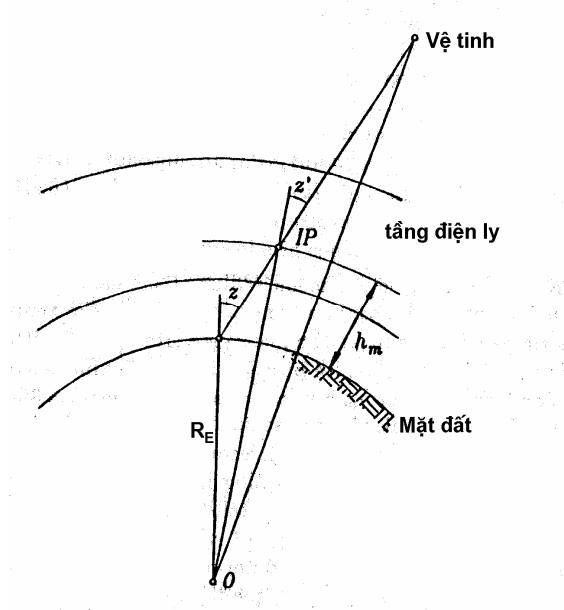
Đường truyền tín hiệu sóng điện từ từ vệ tinh GNSS sẽ bị khúc xạ tương tự như tia sáng trong môi trường khí quyển. Mức khúc xạ lại phụ thuộc vào giá trị góc cao E của vệ tinh trên đường chân trời tại điểm quan sát. Góc cao càng nhỏ thì mức khúc xạ càng lớn, vì thế người ta thường khuyến cáo không sử dụng tín hiệu vệ tinh có góc cao dưới 10° hoặc 5°, trong trường hợp này tín hiệu đi trong tầng điện ly quang đường dài hơn.

Trong tầng điện ly, vận tốc nhóm của tín hiệu bị giảm đi đồng thời làm tăng vận tốc pha, do đó gây ra sai số trong đo khoảng cách từ vệ tinh đến máy thu theo phương pháp sử dụng code (C/A code) và sử dụng pha sóng tải. Mức đo mức độ ion hoá là số lượng phân tử đã ion hoá trong đơn vị thể tích. Mức đo ảnh hưởng của tầng ion đến tín hiệu vệ tinh GNSS là hệ số TEC (*Total Electron Content*). TEC là tổng số lượng ion trong đường truyền thẳng (từ vệ tinh đến máy thu) có thiết diện là  $1\text{m}^2$ . Đơn vị của TEC là  $10^{16}$  điện tử/ $\text{m}^2$ , ký hiệu là TECU. Trong thực tế TEC thường có giá trị lớn hơn đơn vị, trong khoảng 1 đến 1000 đơn vị (TECU) tức là cỡ  $10^{16}$  đến  $10^{19}$ .

Giá trị TEC không cố định, thay đổi theo thời gian và phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau như phụ thuộc vào ngày hay đêm, phụ thuộc vào trạng thái hoạt động của Mặt trời, vào vị trí địa lý điểm quan sát và vào góc cao của vệ tinh tại điểm quan sát. Giá trị TEC phụ thuộc vào góc cao có thể tính từ TEC theo phương thẳng đứng, gọi là VTEC (*Vertical Total Electron Content*).

$$TEC = \frac{VTEC}{\cos Z'} \quad (2.3.6)$$

trong đó  $Z'$  là góc thiên đỉnh của vệ tinh xét tại điểm IP (*Ionospheric Point*) còn được ký hiệu là IPP (*Ionospheric Pierce Point*) (hình 2.17). Điểm IP là điểm giao cắt giữa đường truyền tín hiệu với mô hình lớp đơn điện ly, có độ cao  $h_m$  khoảng 300-400 km. Độ cao  $h_m$  này chỉ nhạy cảm đối với các vệ tinh có góc cao E nhỏ.



Hình 2.17. ý nghĩa hình học đối với khúc xạ tầng điện ly

Giá trị góc  $Z'$  tính theo công thức sau:

$$\sin Z' = \frac{R_E}{R_E + h_m} \cdot \sin Z \quad (2.3.7)$$

trong đó  $Z$  là góc thiên đỉnh của vệ tinh tại điểm quan sát;  $R_E$  là bán kính trái đất

Người ta đã tiến hành nghiên cứu giá trị VTEC ở các vị trí khác nhau trên Trái đất, tuy nhiên tại mỗi vị trí, giá trị VTEC không phải là giá trị bất biến mà luôn thay đổi nên thực tế phải ước lượng gần đúng VTEC trong tính toán.

Sai số do tầng điện ly đến kết quả định vị được gọi là độ trễ thời gian do tầng điện ly, độ trễ này tỷ lệ thuận với số lượng điện tử tự do trên đường truyền tín hiệu và tỷ lệ nghịch với bình phương tần số sóng tải, thể hiện theo công thức:

$$\Delta t = \frac{40,3 \cdot TEC}{c \cdot f^2} \quad (2.3.8)$$

trong đó:  $f$  là tần số tín hiệu,  $c$  là vận tốc ánh sáng trong chân không

Để khắc phục ảnh hưởng của tầng điện ly, nhằm nâng cao độ chính xác định vị tuyệt đối bằng khoảng cách giả, người ta có 3 cách giải quyết:

### 1. Sử dụng máy thu 2 tần số

Hệ thống định vị toàn cầu GPS chủ yếu sử dụng 2 sóng tải là L1,L2 tương ứng với các tần số là  $f_1$  và  $f_2$ . Theo công thức (2.3.8), có thể thiết lập các công thức tính độ chênh cho tín hiệu L1 và L2 (đối với máy thu 2 tần số) như sau:

$$\Delta t_1 = \frac{40,3 \cdot TEC}{c \cdot f_1^2}; \quad \Delta t_2 = \frac{40,3 \cdot TEC}{c \cdot f_2^2} \quad (2.3.9)$$

từ 2 phương trình trên ta rút ra đẳng thức:

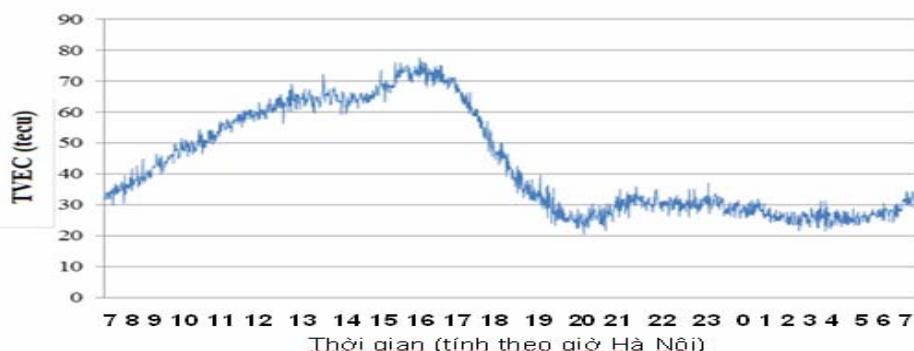
$$\rho_2 - \rho_1 = 40,3 \cdot TEC \cdot \left( \frac{f_1^2 - f_2^2}{f_1^2 \cdot f_2^2} \right) \quad (2.3.10)$$

trong đó  $\rho_1, \rho_2$  là các khoảng cách giả xác định từ tín hiệu L1 và L2

Từ đó có thể xác định được giá trị TEC theo các trị đo khoảng cách giả của máy thu 2 tần số. Công thức xác định TEC được rút ra từ biểu thức (2.3.10):

$$TEC = \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{40,3} \cdot \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{(f_1^2 - f_2^2)} \quad (2.3.11)$$

Trên hình 2.18 là đồ thị biến thiên của VTEC theo thời gian tại Hà Nội trong ngày 30 tháng 4 và đêm 1 tháng 5 năm 2010, xác định theo kết quả đo bằng máy thu 2 tần số GB-1000.



Hình 2.18. Biến thiên VTEC xác định bằng kết quả đo GPS 2 tần số

Theo (2.3.9) và (2.3.11) dễ dàng nhận được các số hiệu chỉnh chậm trễ thời gian gây ra bởi tầng điện ly cho các tín hiệu L1,L2 như sau:

$$\Delta t_1 = \frac{1}{c}(\rho_2 - \rho_1) \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \quad (2.3.12)$$

$$\Delta t_2 = \frac{1}{c}(\rho_2 - \rho_1) \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \quad (2.3.13)$$

Việc sử dụng máy thu 2 tần số để xác định đặc tính của tầng điện ly cũng là một ứng dụng của GNSS trong nghiên cứu môi trường, giám sát sự thay đổi khí quyển của Trái đất.

### *2. Sử dụng số liệu từ thông tin đạo hàng hoặc dữ liệu TEC toàn cầu*

Trong trường hợp sử dụng máy thu 1 tần số L1, sử dụng C/A code, có thể tính hiệu chỉnh vào trị đo GPS dựa vào 8 tham số ( $\alpha_i, \beta_i$ ) về tầng điện ly trong thông tin đạo hàng. Khi tính toán cần biết toạ độ địa lý của điểm quan trắc.

Dựa trên mạng lưới trạm quan trắc thường trực của IGS, phối hợp với các số liệu viễn thám siêu cao tần, người ta đã xây dựng được cơ sở dữ liệu về tầng điện ly trên toàn cầu ở dạng tệp IONEX mà thực chất là các bản đồ VTEC toàn cầu (*Global Ionosphere Maps*),[51]. Số liệu trong tệp IONEX có dãn cách thời gian là 2 giờ và theo vị trí địa lý với dãn cách độ kinh là  $5^\circ$  và dãn cách độ vĩ là  $2,5^\circ$ . Dữ liệu IONEX được sử dụng trong những trường hợp xử lý sau kết quả đo GPS chính xác phục vụ nghiên cứu địa động. Dữ liệu TEC toàn cầu cũng có khả năng được cung cấp tức thời phục vụ định vị vi phân cải chính toàn cầu GDGPS.

Qua nghiên cứu, người ta đã kết luận rằng, hiện nay việc hiệu chỉnh ảnh hưởng do tầng điện ly, chỉ có thể giảm ảnh hưởng của sai số này cỡ 50%, còn trong trường hợp đặc biệt thuận lợi mới có thể đạt được 70-90% [8].

### *3. Thực hiện định vị vi phân DGPS*

Giải pháp định vị vi phân (DGPS) đã được sử dụng để loại bỏ nhiễu cối SA, nhưng cũng có thể loại bỏ hoặc giảm thiểu một số nguồn sai số ảnh hưởng đến trạm tham chiếu và trạm đo được coi là như nhau, trong đó ảnh hưởng của tầng điện ly trong một phạm vi nhất định có thể giả thiết là như nhau đối với các trạm thu tín hiệu.

#### **2.3.2.3. Ảnh hưởng của tầng đối lưu đến tín hiệu vệ tinh GNSS**

Tầng đối lưu là tầng trung tính (không ion) đối với sóng điện từ. Sai số gây ra đối với kết quả đo bằng sóng điện từ không phụ thuộc vào tần số của sóng tải, do đó không thể sử dụng máy thu 2 tần số để loại bỏ hay giảm thiểu ảnh hưởng này.

Qua khảo sát người ta thấy rằng, ảnh hưởng của tầng đối lưu đến kết quả đo khoảng cách giả nhỏ hơn ảnh hưởng của tầng điện ly. Trong tầng đối lưu chứa nhiều hơi nước (mây, mưa,

sương mù...), chiếm khoảng 99% độ ẩm của tầng khí quyển. Do đó tầng đối lưu ảnh hưởng đến lan truyền tín hiệu vệ tinh GNSS. Vận tốc và hướng lan truyền của tín hiệu sóng điện từ trong tầng đối lưu phụ thuộc vào hệ số chiết quang. Hệ số chiết quang lại thay đổi theo độ cao theo công thức:

$$n(h) = 1 + N(h) \cdot 10^{-6}. \quad (2.3.14)$$

Hệ số chiết quang trên lớn hơn 1 chút ít (xấp xỉ 1), và do đó vận tốc tín hiệu trong tầng đối lưu sẽ chậm hơn trong chân không. Từ đó có thể tính được độ trễ thời gian theo công thức:

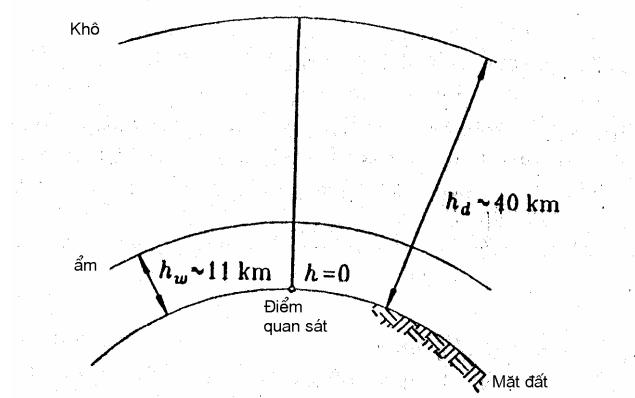
$$\Delta t = 10^{-6} \int_R N(h) dh \quad (2.3.15)$$

trong đó R là đoạn đường mà tín hiệu lan truyền trong tầng đối lưu để đến máy thu.

Do vậy, thời gian lan truyền tín hiệu từ vệ tinh đến máy thu sẽ bị kéo dài hơn.

Các nhà khoa học đã nghiên cứu và xây dựng các mô hình khí quyển, trong đó phải kể đến Hopfield và Saastamoinen. Khi xây dựng mô hình khí quyển, người ta cho rằng tầng đối lưu bao gồm các lớp đồng nhất theo phương ngang và đối xứng theo phương vị. Ở mỗi độ cao khác nhau có sự thay đổi về mật độ, áp suất, nhiệt độ của khí quyển.

Theo Hopfield, tầng đối lưu được chia ra phần khô và phần ướt. Phần khô ở độ cao từ trên 11km và phần ướt ở dưới độ cao đó (hình 2.19 ).



Hình 2.19. Phân chia trong tầng đối lưu

Qua nghiên cứu người ta thấy rằng ảnh hưởng của tầng đối lưu đến độ chính xác định vị như sau: phần khô chiếm 90%, còn phần ướt (bão hòa) chỉ là 10%.

### 1. Mô hình Hopfield

Theo mô hình Hopfield, công thức tính ảnh hưởng của phần khô và phần ướt đến khoảng cách sẽ là hàm của góc cao E, biểu thị như sau:

$$\Delta_d(E) = \frac{77,64 \cdot 10^{-6} \frac{P}{T}}{5 \cdot \sin \sqrt{E^2 + 6,25}} [40136 + 148,72(T - 273,16)] \quad (2.3.16)$$

$$\Delta_w(E) = -\frac{12,96 \cdot 10^{-6} T + 3,718 \cdot 10^{-5}}{5 \cdot \sin \sqrt{E^2 + 2,25}} \frac{e}{T^2} 11000 \quad (2.3.17)$$

trong đó P là áp suất (mb); T là nhiệt độ (K), e là độ ẩm (mb) và E là góc cao tính bằng độ. Giá trị của các số hiệu chỉnh  $\Delta_d(E)$  và  $\Delta_w(E)$  trong biểu thức (2.3.16) và (2.3.17) có đơn vị là mét.

Ngoài các công thức trên, có thể sử dụng các công thức của mô hình Hopfield cải tiến [8].

## 2. Mô hình Saastamoinen

Theo Saastamoinen, ảnh hưởng của tầng đối lưu được tính theo công thức:

$$\Delta^{Trop} = \frac{0,002277}{\cos Z} \left[ P + \left( \frac{1255}{T} + 0,05 \right) e - \tan^2 Z \right] \quad (2.3.18)$$

trong đó Z là góc thiên đỉnh, P là áp suất khí quyển (mb); T là nhiệt độ (K), e là áp lực hơi nước (mb). Giá trị  $\Delta^{Trop}$  có đơn vị mét.

Saastamoinen còn đưa ra công thức tính thêm các số hiệu chỉnh do độ cao của điểm quan sát so với mực nước biển, vì trên thực tế, không chỉ có góc thiên đỉnh Z, mà độ cao điểm quan sát cũng có ảnh hưởng đến số hiệu chỉnh  $\Delta^{Trop}$ , công thức có dạng:

$$\Delta^{Trop} = \frac{0,002277}{\cos Z} \left[ P + \left( \frac{1255}{T} + 0,05 \right) e - B \cdot \tan^2 Z \right] + \delta R \quad (2.3.19)$$

trong đó B là hệ số phụ thuộc vào độ cao điểm quan sát,  $\delta R$  là số hiệu chỉnh phụ thuộc vào độ cao của điểm quan sát và cả góc thiên đỉnh. Các giá trị của hệ số B và số hiệu chỉnh  $\delta R$  đã được lập thành bảng tra [8].

Theo mô hình này, với các tham số khí tượng tiêu chuẩn, ảnh hưởng của tầng đối lưu theo phương thiên đỉnh ( $Z=0$ ) có thể tới cỡ 2.3 m.

Trong các mô hình khí quyển, vấn đề khó khăn nhất là mô hình hoá áp lực hơi nước. Để có thông tin về yếu tố này, người ta đã sử dụng phương pháp đo áp lực hơi nước và nhiệt độ bằng máy đo Radiometer (máy thăm dò khí tượng) trên các độ cao khác nhau của tầng đối lưu để có cơ sở xây dựng mô hình khí quyển. Tuy nhiên giá trị các tham số của tầng đối lưu lại thay đổi theo thời gian và theo vị trí địa lý. Đó chính là nguyên nhân khiến cho việc hiệu chỉnh ảnh hưởng của tầng đối lưu chỉ đạt được mức hiệu quả nhất định.

Để giảm thiểu ảnh hưởng của tầng điện ly và tầng đối lưu đến kết quả định vị vệ tinh, thường không sử dụng các vệ tinh có góc cao quá nhỏ. Góc cao nhỏ nhất gọi là góc ngưỡng, thường quy định là  $15^\circ$ .

### 2.3.3. Hiệu ứng của thuyết tương đối

#### 2.3.3.1. Một số khái niệm

Các hiệu ứng thuyết tương đối quan trọng đối với hệ thống GPS bao gồm sự dịch chuyển (trôi) tần số trọng lực (*gravitational frequency shifts*) và sự trương nở thời gian (*time dilation*).

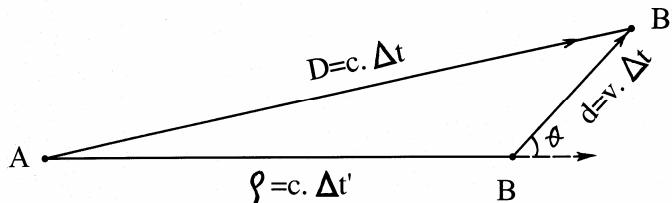
Khi xây dựng hệ thống GPS người ta đã nhận thấy rằng các hiệu ứng của thuyết tương đối là khá lớn, nếu như không tính đến chúng thì hệ thống GPS không thể đạt được hiệu quả ngay với yêu cầu độ chính xác cho đạo hàng. Có thể nhận thấy rằng các đồng hồ tham chiếu đặt trên mặt đất bị ảnh hưởng của sự tương nở thời gian (do chuyển động quay của Trái đất) và sự dịch chuyển tần số trọng lực sẽ phải so sánh với các đồng hồ đặt trên vệ tinh, liên tục chuyển động trên quỹ đạo với vận tốc khá lớn và cách xa mặt đất hàng ngàn km. Hiệu số tần số giữa các đồng hồ trên quỹ đạo và các đồng hồ tham chiếu trên mặt đất là yếu tố rất quan trọng trong GPS. Nguyên lý thuyết tương đối được xem xét trong hệ thống GPS bao gồm :

1. Các định luật vật lý đã biết đối với một khung quy chiếu quán tính.
2. Tốc độ ánh sáng c là hằng số độc lập với chuyển động của nguồn phát
3. Trên một phạm vi hẹp của không gian không thể phân biệt giữa trường trọng lực do sức hút của vật chất với trường trọng lực “ảo” gây ra do gia tốc [27].

Chúng ta cần lưu ý rằng, do chuyển động quay liên tục của trái đất, hệ quy chiếu quán tính trái đất cũng quay theo với vận tốc  $\omega_E$ . Dù rằng thời gian lan truyền tín hiệu từ vệ tinh đến máy thu (theo vận tốc ánh sáng c) chưa đến 0,1s, song cũng phải tính tới ảnh hưởng của chuyển động quay của Trái đất để đồng bộ thời gian trong bài toán định vị.

#### 1. Tính tương đối của sự đồng bộ thời gian

Chúng ta hãy xét 2 điểm A và B cách nhau một khoảng  $\rho$  (hình 2.20).



Hình 2.20. Điểm B chuyển động so với điểm A

Nếu cả 2 điểm A và B không chuyển động (xét trong hệ quy chiếu tĩnh) thì khoảng thời gian lan truyền tín hiệu từ A đến B sẽ là  $\Delta t'$ :

$$\Delta t' = \frac{\rho}{c} \quad (2.3.20)$$

Ta lại xét trường hợp điểm A đứng yên, còn điểm B chuyển động theo một hướng nào đó (tạo với hướng AB một góc  $\theta$ ) với vận tốc chuyển động là v.

Tín hiệu lan truyền từ A đến điểm B khi đã chuyển động tới điểm B' sẽ mất một khoảng thời gian  $\Delta t$ , từ tam giác ABC ta có quan hệ:

$$(c \cdot \Delta t)^2 = (c \cdot \Delta t')^2 + (v \cdot \Delta t)^2 + 2 \cdot (c \cdot \Delta t') \cdot (v \cdot \Delta t) \cos \theta \quad (2.3.21)$$

Chia 2 vế của biểu thức trên cho  $c^2$  ta được:

$$\Delta^2 t = \Delta^2 t' + \left( \frac{v}{c} \right)^2 \Delta^2 t + 2 \frac{v}{c} \Delta t \cdot \Delta t' \cos \theta \quad (2.3.22)$$

Ta xét biểu thức (2.3.22) cho 3 trường hợp như sau:

a. Khi góc  $\theta = 90^\circ$ , hoặc  $\theta = 270^\circ$  tức là chuyển động của điểm B vuông góc với phương truyền tín hiệu, giá trị  $\cos \theta = 0$ , khi đó (2.3.22) sẽ là:

$$\Delta^2 t' = \Delta^2 t \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right) \quad (2.3.23)$$

Từ đó rút ra:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{\left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right)}} \quad (2.3.24)$$

Từ (2.3.24) có thể thấy  $\Delta t > \Delta t'$ . Đây là hiện tượng trễ thời gian theo thuyết tương đối.

b. Khi góc  $\theta = 0^\circ$ , tức là chuyển động điểm B cùng chiều với hướng truyền tín hiệu, khi đó  $\cos \theta = 1$ . ta có:

$$\Delta^2 t = \left( \Delta t' + \frac{v}{c} \Delta t \right)^2 \text{ suy ra } \Delta t - \Delta t \left( \frac{v}{c} \right) = \Delta t' \quad (2.3.25)$$

và ta có:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\left( 1 - \frac{v}{c} \right)} \quad (2.3.26)$$

Có thể thấy rằng: trong (2.3.24) và (2.3.26) mẫu số nhỏ hơn 1, do đó  $\Delta t > \Delta t'$ , trong trường hợp này thời gian lan truyền tín hiệu bị kéo dài hơn.

c. Khi góc  $\theta = 180^\circ$ , tức là B chuyển động ngược chiều với hướng truyền tín hiệu, khi đó  $\cos \theta = -1$ , từ (2.3.22) ta có:

$$\Delta^2 t = \left( \Delta t' - \frac{v}{c} \Delta t \right)^2 \text{ suy ra } \Delta t + \Delta t \left( \frac{v}{c} \right) = \Delta t'$$

Từ đó có thể viết:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\left( 1 + \frac{v}{c} \right)} \quad (2.3.27)$$

trong trường hợp này  $\Delta t < \Delta t'$ , thời gian lan truyền tín hiệu được rút ngắn.

Như vậy, khi xét trong một hệ quy chiếu động, vận tốc chuyển động và hướng chuyển động của đối tượng nhận tín hiệu quyết định tới giá trị và tính chất thay đổi của thời gian.

## 2. Hiệu ứng Sắc (Sagnac)

Từ biểu thức (2.3.22), ta xét trong trường hợp vận tốc v khá nhỏ so với c tức là  $v \ll c$ , khi đó tỷ số  $\left( \frac{v}{c} \right)^2$  sẽ có giá trị khá nhỏ, ta có thể bỏ qua, và như vậy có thể viết:

$$\Delta t^2 = \Delta t'^2 + 2 \frac{v}{c} \Delta t \cdot \Delta t' \cos \theta \quad (2.3.28)$$

Có thể biến đổi (2.3.28) như sau:

$$\Delta t = \Delta t' \sqrt{1 + 2 \frac{v}{c} \frac{\Delta t}{\Delta t'} \cos \theta} \quad (2.3.29)$$

Biểu thức (2.3.29) có thể viết gần đúng:

$$\Delta t = \Delta t' \left( 1 + \frac{v}{c} \frac{\Delta t}{\Delta t'} \cos \theta \right) \quad (2.3.30)$$

$$\Delta t = \Delta t' + \frac{v \cdot \Delta t}{c} \cos \theta \quad (2.3.31)$$

Từ (2.3.31), bỏ qua sự khác nhau giữa  $\Delta t$  và  $\Delta t'$  ở số hạng thứ hai, có thể viết:

$$\Delta t = \frac{\rho}{c} + \frac{v \cdot \rho \cdot \cos \theta}{c^2} \quad (2.3.32)$$

Sử dụng tích vô hướng các vectơ  $v$  và  $\rho$  ta có thể viết:

$$\Delta t = \frac{\rho}{c} + \frac{\vec{\rho} \cdot \vec{v}}{c^2} \quad (2.3.33)$$

Ký hiệu:  $\frac{\vec{\rho} \cdot \vec{v}}{c^2} = \delta_{sac}$ , gọi đây là số hiệu chỉnh thời gian do hiệu ứng Sắc.

### 3. Hiệu ứng Doppler bậc nhất

Theo công thức (2.3.32)  $\Delta t = \Delta t' + \frac{v \cdot \Delta t}{c} \cos \theta$ , xét trường hợp khi máy thu chuyển động cùng chiều với hướng phát tín hiệu, góc  $\theta = 0^\circ$ , khi đó ta có thể viết:

$$t = t' + \frac{v \cdot \rho}{c^2} \quad (2.3.34)$$

Xét bước sóng  $\lambda$  thay cho  $\rho$ , ta sẽ thấy rằng thời điểm để máy nhận được đầu bước sóng sẽ muộn hơn một khoảng thời gian là  $\frac{v \cdot \lambda}{c^2}$ , cũng có nghĩa là bước sóng nhận được sẽ dài hơn một

lượng là  $c \cdot \frac{v \cdot \lambda}{c^2} = \frac{v}{c} \lambda$

Ta ký hiệu  $\lambda_R$  là bước sóng nhận được,  $\lambda_S$  là bước sóng phát đi, ta sẽ có biểu

$$\text{thức: } \lambda_R = \lambda_S + \frac{v}{c} \lambda_S = \lambda_S \left( 1 + \frac{v}{c} \right) \quad (2.3.35)$$

$$\text{Từ (2.3.35), sau khi thay } \lambda = \frac{c}{f} \text{ ta được: } f_R = f_S \left( 1 - \frac{v}{c} \right) \quad (2.3.36)$$

$$\text{Từ đó rút ra: } \frac{\Delta f}{f} = \frac{f_S - f_R}{f_S} = \frac{v}{c} \quad (2.3.37)$$

Một cách tổng quát ta có công thức:

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{d_\rho / dt}{c} \quad (2.3.38)$$

trong đó  $\frac{d_\rho}{dt} = -v \cdot \cos \theta$  là tốc độ biến đổi khoảng cách địa diện từ điểm quan sát đến vệ tinh.

Hiệu ứng Doppler bậc nhất và bậc hai được thể hiện trong công thức:

$$\frac{f_R}{f_s} = \frac{1 - \frac{v}{c} \cos \theta}{\sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}} \quad (2.3.39)$$

#### 4. Dịch chuyển tần số trọng lực

Do đồng hồ trên vệ tinh và đồng hồ máy thu được đặt ở các vị trí xa nhau và chịu tác động khác nhau đối với trường trọng lực nên tần số bị thay đổi.

Theo biểu thức (2.3.37), ta có:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{v}{c} \quad (2.3.40)$$

Nếu như vận tốc  $v$  trong (2.3.39) được tạo ra bởi gia tốc  $g$  thì ta có thể viết:

$$v = g \cdot \Delta t \quad (2.3.41)$$

$$\text{Trong (2.3.41) ta thay } \Delta t = \frac{\rho}{c}, \text{ sẽ được: } v = \frac{g \cdot \rho}{c} \quad (2.3.42)$$

Sau khi thay (2.3.42) vào (2.3.41) ta được:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{g \cdot \rho}{c^2} \quad (2.3.43)$$

Ta có thể biểu diễn giá trị  $g \cdot \rho$  trong (2.3.43) qua hiệu thế:  $\Delta U = g \cdot \rho$ , như vậy:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta U}{c^2} \quad (2.3.44)$$

Công thức (2.3.44) cho phép tính được độ dịch chuyển tần số tương đối khi đồng hồ của thiết bị phát tín hiệu và đồng hồ máy thu có hiệu thế là  $\Delta U$ . Đây là biểu thức biểu thị thuyết tương đối rộng đối với tần số phát và tần số nhận được.

##### 2.3.3.2. Hiệu ứng thuyết tương đối liên quan đối với GPS

Như đã trình bày ở trên, nguồn tín hiệu phát hoặc thu có thể chuyển động tương đối so với hệ quan tinh đã chọn, chịu ảnh hưởng của thuyết tương đối hẹp; khi nguồn tín hiệu phát hoặc thu ở vào trạng thái trọng trường khác nhau, chịu ảnh hưởng của thuyết tương đối rộng. Đồng hồ vệ tinh cũng chịu ảnh hưởng của thuyết tương đối hẹp và rộng. Công thức tính ảnh hưởng thuyết tương đối rộng và hẹp đối với tần số tín hiệu vệ tinh có dạng:

$$\delta_O^{rel} \equiv \frac{f_S - f_R}{f_S} = \frac{1}{2} \left( \frac{v}{c} \right)^2 + \frac{\Delta U}{c^2} \quad (2.3.45)$$

Trong đó giá trị  $\frac{1}{2} \left( \frac{v}{c} \right)^2$  là hiệu chỉnh do thuyết tương đối hẹp, còn giá trị  $\frac{\Delta U}{c^2}$  là hiệu chỉnh theo thuyết tương đối rộng đối với tần số của đồng hồ vệ tinh (2.3.44).

Từ hiệu ứng trên, thế tần số chuẩn của tín hiệu vệ tinh được tạo ra từ đồng hồ vệ tinh được phát đi đã được điều chỉnh thành 10,22999999543 MHz để khi đến máy thu sẽ là 10,23MHz, do đó không phải hiệu chỉnh ảnh hưởng này vào kết quả đo.

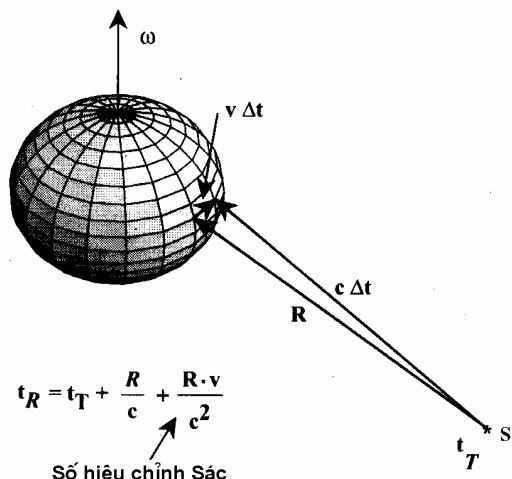
Theo thuyết tương đối rộng, đồng hồ vệ tinh chịu ảnh hưởng của sự biến đổi thế năng mang tính chu kỳ khi vệ tinh chuyển động trên quỹ đạo ellip quanh Trái đất. Có những thời kỳ chuyển động nhanh dần (khi hướng vào cận điểm) hoặc chậm dần (khi chuyển động xa cận điểm) với tốc độ nào đó, tạo nên trọng lực “ảo”. Tại cận điểm, động năng của vệ tinh là lớn nhất nhưng thế năng lại nhỏ nhất, còn khi vệ tinh ở viễn điểm, động năng là nhỏ nhất nhưng thế năng lại là lớn nhất. Do biến đổi chu kỳ của thế năng, cần tính hiệu chỉnh vào đồng hồ vệ tinh giá trị sau:

$$\delta^{rel} = F \cdot e \cdot \sqrt{a} \cdot \sin E \quad (2.3.46)$$

$$\text{trong đó } F = -\frac{2\sqrt{\mu}}{c^2} = -4,442807633 \cdot 10^{-10} s / \sqrt{m}$$

trong đó  $e$  là độ tâm sai,  $a$  là bán trục lớn quỹ đạo và  $E$  là khoảng cách góc tâm sai. Số hiệu chỉnh này được tính hiệu chỉnh cùng với đa thức đồng hồ vệ tinh.

Đồng hồ máy thu đặt trên mặt Trái đất tham gia cùng chuyển động tự quay của Trái đất nên chịu ảnh hưởng của thuyết tương đối do chuyển dịch của máy thu trong hệ tọa độ địa tâm cố định với trái đất (CECF). Trong khoảng thời gian tín hiệu đi từ vệ tinh đến máy thu là  $\Delta t$  (khoảng 0,07s), máy thu đã chuyển động với vận tốc  $v$  và dịch về hướng Đông một đoạn là  $v \cdot \Delta t$  (hình 2.21).



Hình 2.21. Chuyển động của máy thu trong khoảng thời gian  $\Delta t$

Giá trị chuyển dịch do chuyển động quay của trái đất phụ thuộc vào độ vĩ (B) của điểm đặt máy thu. Trị tuyệt đối của độ vĩ điểm quan sát càng lớn thì lượng dịch chuyển càng nhỏ.

Từ công thức tính ảnh hưởng của hiệu ứng Sắc (2.3.33) ta có thể viết:

$$t_R = t_T + \frac{R}{c} + \frac{\vec{R} \cdot \vec{v}}{c^2} \quad (2.3.47)$$

trong đó:  $t_T$ , và  $t_R$  là thời điểm vệ tinh phát tín hiệu và máy thu nhận tín hiệu,  $R$  là khoảng cách từ vệ tinh S đến máy thu.

Số hạng thứ 3 trong (2.3.47) là số hiệu chỉnh do hiệu ứng Sắc còn gọi là số hiệu chỉnh do tự quay của Trái đất. Số hiệu chỉnh này bằng 0 khi vệ tinh nằm trên mặt phẳng kinh tuyến qua điểm quan sát. Độ lớn của số hiệu chỉnh phụ thuộc vào góc cao E và góc phương vị A của vệ tinh trong hệ toạ độ cực địa diện chân trời tại điểm quan sát.

Giá trị vận tốc  $v$  trong (2.3.47) được tính:

$$v = \omega_E \cdot r \quad (2.3.48)$$

trong đó  $\omega_E$  là vận tốc quay của Trái đất quanh trục,  $r$  là bán kính vòng vĩ tuyến qua điểm quan sát.

Việc tính toán số hiệu chỉnh Sắc trong định vị vệ tinh thường được giải quyết bởi phần mềm máy thu.

## Chương 3

### CHUYỂN ĐỘNG CỦA VỆ TINH NHÂN TẠO

#### 3.1. BA ĐỊNH LUẬT KEPLER

Các hành tinh trong hệ Mặt Trời chuyển động trên quỹ đạo tuân theo 3 định luật Kepler (Johannes Kepler; 1571-1630). Cho đến nay, ba định luật này vẫn được áp dụng để biểu thị quy luật chuyển động của các vệ tinh nhân tạo quanh Trái đất.

##### 3.1.1. Ba định luật Kepler

- **Định luật 1:** Các hành tinh đều chuyển động quanh Mặt trời theo quỹ đạo ellip, Mặt trời là một trong hai tiêu điểm của hình ellip (hình 3.1). Định luật 1 được thể hiện qua công thức sau:

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e.\cos v} \quad (3.1.1)$$

trong đó :  $v$  là khoảng cách góc thực được tính từ cận điểm. Đối với quỹ đạo vệ tinh, có thể xét các các trường hợp sau:

Khi  $e=0$  quỹ đạo là hình tròn,

khi  $0 < e < 1$  quỹ đạo là ellip,

khi  $e=1$  quỹ đạo là parabol,

khi  $e > 1$  quỹ đạo là hyperbol.

Trên hình vẽ 3.1, P là cận điểm (*Perigee*),

A gọi là viễn điểm (*Apogee*).

##### - Định luật 2:

Trong những khoảng thời gian như nhau bán kính vectơ vật thể chuyển động (Hành tinh) quét những diện tích hình quạt bằng nhau, tức là vận tốc diện tích là một hằng số (hình 3.2). Định luật 2 được thể hiện qua công thức:

$$r \frac{dr}{dt} = r^2 \frac{dv}{dt} = 2c \quad (3.1.2)$$

trong đó:  $r$  là bán kính véc tơ của Hành tinh

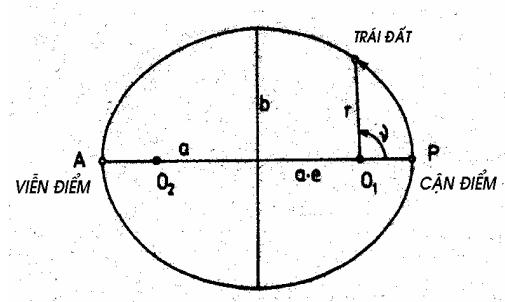
$v$  là khoảng cách góc thực được tính từ cận điểm.

$t$  là biến thời gian

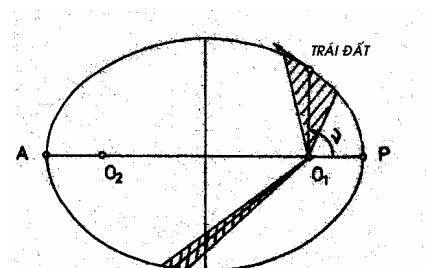
$c$  là vận tốc diện tích (hằng số)

##### - Định luật 3 :

Bình phương chu kỳ chuyển động tỷ lệ với lập phương khoảng cách trung bình từ Hành



Hình 3.1



Hình 3.2

tinh đến Mặt Trời.

$$\frac{P_1^2}{a_1^3} = \frac{P_2^2}{a_2^3} = \text{const} = \frac{4\pi^2}{G(M+m)} \quad (3.1.3)$$

trong đó M là khối lượng của Mặt trời, m là khối lượng của hành tinh.

### 3.1.2. Một vài thí dụ tính toán:

Từ định luật 3 Kepler, người ta đưa ra công thức đối với vệ tinh nhân tạo chuyển động quanh Trái đất:

$$n = \frac{2\pi}{P} = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}} \quad (3.1.4)$$

trong đó, n là vận tốc góc trung bình, P là chu kỳ trung bình, a là bán trục lớn ellip quỹ đạo,  $\mu$  là hằng số trọng trường tổng hợp Trái đất.

$$\mu = G \cdot M \quad (3.1.5)$$

trong đó : M là khối lượng Trái đất, G là hằng số hấp dẫn ( ở đây ta bỏ qua khối lượng của vệ tinh)

với:  $G=6,672 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \text{g}^{-1} \text{s}^{-2}$  giá trị  $\mu = 3,986005 \cdot 10^{14} \text{ m}^3 / \text{s}^2$

Từ công thức (3.1.4) ta có các công thức tính vận tốc góc n và vận tốc dài V trung bình của vệ tinh chuyển động trên quỹ đạo tròn ( a=r):

$$n = \frac{2\pi}{P} = \sqrt{\frac{\mu}{r^3}} \quad (3.1.6); \quad V = n \cdot r = \sqrt{\frac{\mu}{r}} \quad (3.1.7)$$

Theo công thức (3.1.6) có thể tính toán được chu kỳ P, vận tốc góc n nếu biết bán kính quỹ đạo vệ tinh là tròn là r. Mặt khác công thức trên còn cho phép tính được bán kính quỹ đạo r nếu biết chu kỳ P của vệ tinh. Khi tính được bán kính quỹ đạo r cũng sẽ tính được độ cao h của vệ tinh theo công thức gần đúng:

$$h = r - R_m \quad (3.1.8)$$

trong đó  $R_m$  là bán kính trung bình của Trái đất.

Thí dụ có vệ tinh chuyển động trên quỹ đạo tròn ở độ cao  $h=700\text{km}$ , có thể tính được chu kỳ của vệ tinh đó như sau:

Lấy bán kính trung bình của trái đất  $R_m=6370\text{km}$ . Tính bán kính quỹ đạo r:

$$r=6370\text{km}+700\text{km}=7070 \text{ km}$$

Theo công thức (3.1.6) tính được vận tốc góc n :

$$n = \sqrt{\frac{3986005 \cdot 10^8 (\text{m}^3 / \text{s}^2)}{7070000^3 (\text{m}^3)}} = 0,001062037 \text{ rad/s} = 219'',061 / \text{s}$$

Theo (3.1.7) tính được vận tốc dài của vệ tinh trên quỹ đạo là  $V=7,509\text{km/s}$

Từ công thức (3.1.6) tính được chu kỳ P:

$$P = \frac{2\pi}{n} = \frac{2\pi}{0,001062037} = 5916,162s = 1h38m36s,162$$

Từ điểm quan sát P trên mặt đất (hình 3.3), nằm trên mặt phẳng quỹ đạo sẽ có khoảng thời gian dài nhất để thể quan sát vệ tinh liên tục.

Khoảng thời gian đó được tính theo công thức:

$$\Delta T = \frac{\varphi}{\pi} P \quad (3.1.9)$$

$$\text{trong đó: } \varphi = ar \cos\left(\frac{R_m}{r}\right); \quad (3.1.10)$$

với  $r = R_m + h$

Theo hình 3.3 có thể chứng minh được công thức tính khoảng cách  $\rho$  từ điểm quan sát đến vệ tinh có góc cao E như sau:

Xét tam giác OPS, ta có phương trình:

$$r^2 = R_m^2 + \rho^2 - 2R_m\rho \cos(90^\circ + E) \quad (3.1.11)$$

hay:

$$\rho^2 + 2R_m\rho \sin E + (R_m^2 - r^2) = 0 \quad (3.1.12)$$

Đây là phương trình bậc 2 đối với khoảng cách địa diện  $\rho$ .

Giải nghiệm của phương trình bậc 2 (3.1.12):

$$\Delta' = R_m^2 \sin E - (R_m^2 - r^2) = r^2 - R_m^2 \cos E \quad (3.1.13)$$

Giá trị  $\Delta'$  luôn dương, do đó 2 nghiệm của phương trình bậc 2 sẽ là:

$$\rho_1 = -R_m \sin E + \sqrt{r^2 - R_m^2 \cos E} \quad (3.1.14)$$

$$\rho_2 = -R_m \sin E - \sqrt{r^2 - R_m^2 \cos E} \quad (3.1.15)$$

Có thể nhận thấy rằng trong trường hợp này ta chỉ lấy nghiệm dương ( $\rho > 0$ ) tức là chỉ lấy nghiệm  $\rho_1$  tính theo (3.1.14). Như vậy biểu thức tính khoảng cách địa diện  $\rho$  sẽ là:

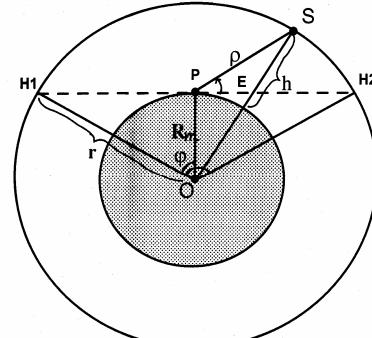
$$\rho = \sqrt{r^2 - R_m^2 \cos^2 E} - R_m \sin E \quad (3.1.16)$$

Với các số liệu trên, khi góc cao  $E=45^\circ$ , khoảng cách  $\rho$  từ điểm quan sát P đến vệ tinh S là 945,175km. Có thể thấy rằng khi  $E=90^\circ$ , thì  $\rho = h$ .

### 3.2. CÁC YẾU TỐ QUỸ ĐẠO VỆ TINH

#### 3.2.1. Quỹ đạo không bị nhiễu

Quỹ đạo không bị nhiễu của vệ tinh là quỹ đạo lý thuyết, được xác định theo cơ học lý thuyết trong bài toán 2 vật thể  $M_1, m_2$  cách nhau một khoảng  $r$ . Chuyển động của vệ tinh được thiết lập từ phương trình vi phân bậc 2 :



Hình 3.3. Khoảng nhìn thấy vệ tinh trên quỹ đạo tròn

$$\frac{d^2\bar{r}}{dt^2} + \frac{G(M_1 + m_2)}{r^3} \bar{r} = 0 \quad (3.2.1)$$

trong đó:  $\bar{r}$  là vector vị trí tương đối 2 vật thể với  $\|\bar{r}\| = r$

Trong (3.2.1) giá trị  $t$  là thời gian xác định trong hệ quy chiếu.

Người ta ký hiệu  $\mu$  là hằng số trọng trường tổng hợp của Trái đất và đối với hệ thống tọa độ WGS-84 nó có giá trị là:

$$\mu = GM = 3986005.10^8 m^3 s^{-2} \quad (3.2.2)$$

Lời giải phương trình vi phân (3.2.1) đã được giới thiệu trong tài liệu cơ học thiên thể, như lời giải của Brouwer và Clemence (1961) hoặc của Bucerius (1966)[8].

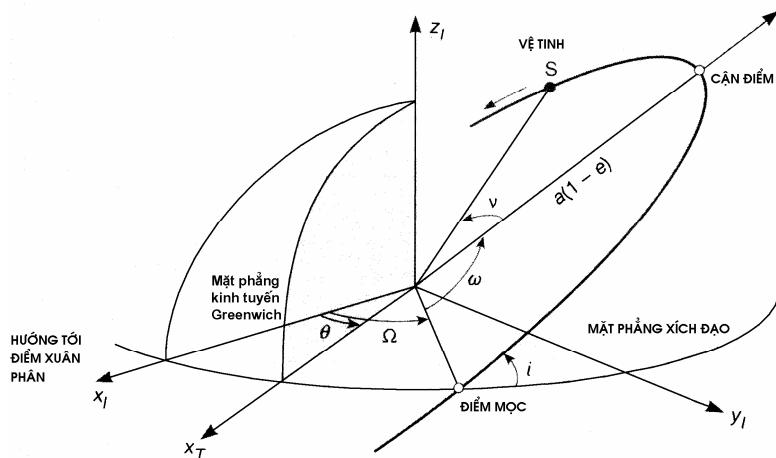
Chuyển động lý tưởng nêu trên được gọi là chuyển động Kepler với 6 tham số quỹ đạo dạng ellip. Sáu tham số quỹ đạo được thể hiện trong bảng 3.1:

Bảng 3.1. Các tham số quỹ đạo vệ tinh

| Tham số  | Giải thích                         |
|----------|------------------------------------|
| $\Omega$ | Góc giờ của nút (điểm) mọc ( node) |
| $i$      | Góc nghiêng mặt phẳng quỹ đạo      |
| $\omega$ | góc cận điểm                       |
| $a$      | bán trục lớn quỹ đạo               |
| $e$      | Tâm sai quỹ đạo dạng ellip         |
| $T_0$    | Thời điểm đi qua cận điểm          |

Tốc độ góc trung bình của vệ tinh ký hiệu là  $n$  liên quan với chu kỳ quay  $P$  được xác định theo định luật 3 Kepler (công thức 2.3.6a).

Đối với quỹ đạo vệ tinh GPS, có bán trục lớn là 26560 km, theo phương trình (2.3.6a) ta xác định được chu kỳ chuyển động quay của vệ tinh GPS là 12 giờ sao. Trên hình 3.4 thể hiện các yếu tố của quỹ đạo vệ tinh.



Hình 3.4. Các yếu tố quỹ đạo vệ tinh

### 3.2.2. Các nguyên nhân gây nhiễu quỹ đạo

Do nhiều nguyên nhân khác nhau, các vệ tinh lại không chuyển động đúng như quỹ đạo Kepler. Hiện tượng này gọi là chuyển động nhiễu của vệ tinh nhân tạo (*Perturbed Satellite Motion*). Phương trình quỹ đạo Kepler là phương trình quỹ đạo lý thuyết chưa xét tới các tác động gây nhiễu. Các nguyên nhân gây nhiễu quỹ đạo gồm:

#### 1. Do trong trường:

- Hình thể Trái đất không hoàn toàn tròn xoay
- Phân bố vật chất trong lòng Trái đất không đều
- Tác động của thuỷ triều

#### 2. Do nguyên nhân phi trong trường:

- Bức xạ mặt trời (trực tiếp và gián tiếp)
- Sức cản khí quyển
- Hiệu ứng thuyết tương đối
- Các tác động khác (gió Mặt trời, lực của địa từ trường .vv..)

Chuyển động nhiễu của vệ tinh được trình bày dựa trên hệ phương trình vi phân bậc 2 sau

$$\ddot{\vec{r}} + \frac{\mu}{r^3} \cdot \vec{r} = \vec{k}_s \quad (3.2.10)$$

đây:

trong đó  $\vec{k}_s$  là véc tơ tổng hợp các gia tốc gây nhiễu.

Véc tơ tổng hợp gia tốc nhiễu có thể viết:

$$\vec{k}_s = \vec{r}_E + \vec{r}_S + \vec{r}_M + \vec{r}_e + \vec{r}_o + \vec{r}_D + \vec{r}_{SP} + \vec{r}_A \quad (3.2.11)$$

trong đó:  $\vec{r}_E$  là gia tốc nhiễu gây ra do Trái đất không tròn xoay và do phân bố vật chất trong lòng Trái đất không đồng nhất.

$\vec{r}_S ; \vec{r}_M$  là gia tốc nhiễu do Mặt trời và do Mặt trăng

$\vec{r}_e ; \vec{r}_o$  là gia tốc nhiễu do địa triều và thuỷ triều

$\vec{r}_D$  là gia tốc nhiễu do sức cản khí quyển

$\vec{r}_{SP} ; \vec{r}_A$  là gia tốc nhiễu do bức xạ trực tiếp và gián tiếp (phản xạ) của Mặt trời lên vệ tinh.

Các yếu tố gây nhiễu lại được chia thành các yếu tố gây nhiễu chu kỳ ngắn (*Short Periodic*) và chu kỳ dài (*Long Periodic*).

Người ta đã tính được rằng giá trị gia tốc nhiễu vào khoảng  $10^{-9} \text{m/s}^2$  đối với vệ tinh GPS. Khi đó có thể tính được lượng thay đổi quỹ đạo cỡ  $d\rho=1 \text{ m}$ , ảnh hưởng của tham số  $J_2$  trong triển khai hàm điều hòa của thế trọng trường trái đất đến sự thay đổi quỹ đạo của vệ tinh cỡ  $5.10^{-5}$ .

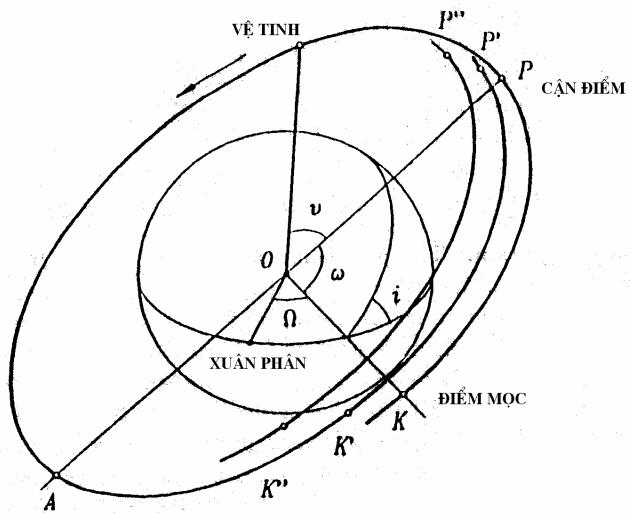
Các tham số  $\Omega$  và  $\omega$  bị thay đổi do ảnh hưởng của thuỷ triều. Về vấn đề này có một số kết quả nghiên cứu đã được công bố (Kozai -1959).

Người ta cũng đã đưa ra các công thức tính ảnh hưởng của gia tốc gây nhiễu do địa triều (*Solid Earth Tide*) và thuỷ triều đại dương (*Ocean Tide*) [9]. Trong bảng 3.2 thể hiện ảnh hưởng của một số yếu tố gây nhiễu quỹ đạo vệ tinh.

Bảng 3.2. Tính ảnh hưởng của nhiễu đến quỹ đạo vệ tinh GPS

| Nguyên nhân nhiễu                    | Gia tốc<br>gây nhiễu | Ảnh hưởng đến quỹ đạo vệ tinh GPS |                    |
|--------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|--------------------|
|                                      |                      | quỹ đạo sau 2 giờ                 | quỹ đạo 3 ngày     |
| Thay đổi lực hướng tâm ( $C_{20}$ )  | $5 \cdot 10^{-5}$    | 2 km                              | 14km               |
| Điều hoà bậc cao                     | $3 \cdot 10^{-7}$    | $50 \div 80$ m                    | $100 \div 1500$ m  |
| Trường trọng lực Mặt trời, Mặt trăng | $5 \cdot 10^{-6}$    | $5 \div 150$ m                    | $1000 \div 3000$ m |
| Địa triều                            | $1 \cdot 10^{-9}$    |                                   | $0,5 \div 1$ m     |
| Thuỷ triều                           | $1 \cdot 10^{-9}$    |                                   | $0 \div 2$ m       |
| Bức xạ Mặt trời                      | $1 \cdot 10^{-7}$    | $5 \div 10$ m                     | $100 \div 800$ m   |
| Suất phản chiếu (Albedo)             | $1 \cdot 10^{-9}$    |                                   | $1 \div 1,5$ m     |

Do chuyển động của vệ tinh quanh trái đất và trái đất lại chuyển động quanh Mặt trời, do đó góc giờ của điểm mọc (cũng là độ kinh điểm mọc)  $\Omega$  luôn thay đổi và nhỏ dần với tốc độ là  $\Omega_{dot}$ ; giá trị  $\Omega_{dot}$  của các vệ tinh GPS thường trong khoảng từ  $-0,710^{-8}$  đến  $-0,910^{-8}$  rad/s. Với tốc độ thay đổi này sau nửa ngày (kết thúc 1 vòng quỹ đạo của vệ tinh GPS), góc giờ điểm mọc giảm khoảng  $72''$ . Vì lý do này, mà quỹ đạo vệ tinh không khép kín trên một mặt phẳng (hình 3.5)



Hình 3.5. Thay đổi góc giờ điểm mọc sau mỗi vòng quỹ đạo

### 3.3. TÍNH TOÁN ĐỘ VỆ TINH

#### 3.3.1. Tính toạ độ vệ tinh theo các yếu tố quỹ đạo Kepler

Trong quy trình tính toán định vị tuyệt đối và định vị tương đối đều phải tính toạ độ vệ tinh trên quỹ đạo tại thời điểm t (thời điểm định vị). Trong hệ thống GPS, vị trí vệ tinh được cho

dưới dạng các yếu tố quỹ đạo Kepler và các số hiệu chỉnh tính theo giá trị đạo hàm bậc nhất và theo các hệ số hàm điều hoà.

Để tính toạ độ vệ tinh tại thời điểm bất kỳ  $t$ , cần phải dựa vào các yếu tố quỹ đạo cho tại thời điểm lịch  $t_{oe}$ . Thông tin đạo hàm hàng cung cấp các số liệu trên để tính toạ độ vệ tinh qua tệp \*.NAV (hoặc \*.yyn) của dạng dữ liệu Rinex. Để giải bài toán xác định vị trí điểm quan sát trong hệ toạ độ trái đất, toạ độ vệ tinh cũng cần tính trong hệ toạ độ này, với hệ thống định vị GPS đó là hệ quy chiếu WGS-84.

Vị trí tức thời của vệ tinh trên quỹ đạo của nó được biểu thị qua giá trị góc đã biết tính từ đường viễn cận nên gọi là khoảng cách góc (*anomaly*), cũng có thể gọi là **góc quét tính từ cận điểm**.

Trong bảng 3.3 là phân loại các khoảng cách góc thường dùng:

Bảng 3.3. Các loại khoảng cách góc của quỹ đạo VT

| Ký hiệu | Khoảng cách góc            |
|---------|----------------------------|
| $M(t)$  | Khoảng cách góc trung bình |
| $E(t)$  | Khoảng cách góc tâm sai    |
| $v(t)$  | Khoảng cách góc thực       |

Trong bảng trên,  $M(t)$  là khoảng cách góc trung bình, còn khoảng cách góc tâm sai  $E(t)$  và khoảng cách góc thực  $v(t)$  là yếu tố hình học của quỹ đạo vệ tinh.

Các giá trị khoảng cách góc trong bảng 3.3 có mối quan hệ xác định như sau:

$$M(t) = n(t - T_0) \quad (3.3.1)$$

$$E(t) = M(t) + e \cdot \sin E(t) \quad (3.3.2)$$

$$v(t) = 2 \arctan \left[ \frac{\sqrt{1+e}}{\sqrt{1-e}} \tan \frac{E(t)}{2} \right] \quad (3.3.3)$$

trong đó  $e$  - là tâm sai của ellip quỹ đạo,  $n$  là vận tốc góc trung bình của vệ tinh.

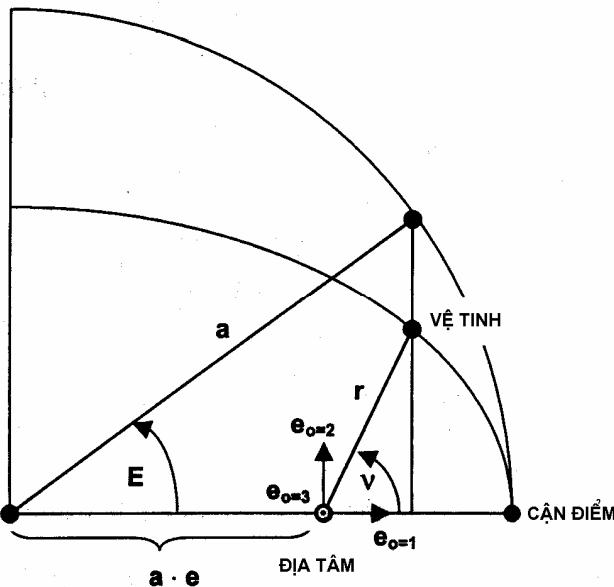
Để tính  $E(t)$  theo công thức (3.3.2) phải sử dụng phương pháp tính lặp nhích dần hoặc sử dụng công thức khai triển chuỗi,

Phương trình (3.3.1) biểu thị khoảng cách góc trung bình với giả thiết coi  $T_0$  là tham số. Phương trình (3.3.2) là phương trình Kepler có được trong quá trình giải phương trình (3.2.1), cuối cùng, phương trình (3.3.3) chỉ là rút ra từ mối quan hệ hình học sẽ được trình bày ở phần tiếp theo.

Để làm rõ hơn về các tổ hợp các khoảng cách góc khác nhau đã trình bày ở trên, chúng ta xét một quỹ đạo vệ tinh có chu kỳ quay là một nửa ngày và tâm sai quỹ đạo là  $e=0.1$ . Ở thời điểm 3 giờ sau khi vệ tinh qua cận điểm, khi đó khoảng cách góc trung bình  $M=90^0,0000$ . Chúng ta

sẽ tính được khoảng cách góc tâm sai theo phương pháp tính lặp là  $95^0,7012$  và khoảng cách góc thực  $v=101^0,3838$ .

Chúng ta thiết lập hệ toạ độ  $e_1, e_2$  trên mặt phẳng quỹ đạo (hình 3.6).



Hình 3.6. Hệ toạ độ trên mặt phẳng quỹ đạo

Véc tơ vị trí  $r$  và vectơ tốc độ  $r' = dr/dt$  của vệ tinh sẽ được biểu thị qua các khoảng cách góc đã nêu ở trên.

$$\mathbf{r} = a \begin{bmatrix} \cos E - e \\ \sqrt{1-e^2} \sin E \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} \cos v \\ \sin v \end{bmatrix} \quad (3.3.4)$$

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos v} = a(1-e \cos E) \quad (3.3.5)$$

$$\dot{\mathbf{r}} = \frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{a}^2}{r} \begin{bmatrix} -\sin E \\ \sqrt{1-e^2} \cos E \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{\mu}{a(1-e^2)}} \begin{bmatrix} -\sin v \\ \cos v + e \end{bmatrix} \quad (3.3.6)$$

$$\dot{r} = \frac{n \cdot a^2}{r} \sqrt{1 - (e \cos E)^2} = \sqrt{\mu \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)} \quad (3.3.7)$$

Như đã biết, do các nguyên nhân gây nhiễu nên các yếu tố quỹ đạo vệ tinh không phải là những giá trị cố định mà thay đổi theo thời gian. Bằng quan sát vệ tinh, người ta xác định được tốc độ thay đổi của các tham số Kepler:

Thay đổi góc giờ điểm mọc với tốc độ  $\frac{d\Omega}{dt} = \dot{\Omega}$ ;  $\dot{\Omega}$  còn được ký hiệu là  $\Omega_{dot}$  (DOT-Difference Of Time). Lượng hiệu chỉnh cho góc giờ điểm mọc được tính:

$$\Delta\Omega = \Omega_{dot}(t - t_{oe})$$

trong đó  $t_{oe}$  là thời điểm lịch.

Thay đổi góc nghiêng mặt phẳng quỹ đạo với tốc độ  $\frac{di}{dt} = \dot{i}$ ;  $i$  còn được ký hiệu là  $i_{dot}$ .

Lượng hiệu chỉnh cho góc nghiêng mặt phẳng quỹ đạo được tính:

$$\Delta i = i_{dot}(t - t_{oe})$$

Trong quá trình chuyển động, do tác động của các gia tốc nhiễu, vị trí vệ tinh bị thay đổi theo 3 hướng:

Theo phương tiếp tuyến với quỹ đạo (u)

$$\begin{aligned} u &= v(t - t_{oe}) + \omega_0 \\ \delta u &= C_{U,C} \cos(2u) + C_{U,S} \sin(2u) \end{aligned} \quad (3.3.8)$$

Theo hướng bán kính r

$$\delta r = C_{r,C} \cos(2u) + C_{r,S} \sin(2u) \quad (3.3.9)$$

và theo hướng lệch khỏi mặt phẳng quỹ đạo làm thay đổi góc nghiêng i.

$$\delta i = C_{i,C} \cos(2u) + C_{i,S} \sin(2u) \quad (3.3.10)$$

trong các biểu thức (3.3.8),(3.3.9),(3.3.10)  $C_{U,C}, C_{U,S}, C_{r,C}, C_{r,S}, C_{i,C}, C_{i,S}$  là các hệ số được cung cấp theo thông tin đạo hàng, trong nội dung của lịch vệ tinh quảng bá.

Với các số liệu trên, góc giờ hiện thời của điểm mọc (còn gọi là độ kinh điểm mọc) được tính:

$$\Omega = \Omega_0 + \Delta\Omega \quad (3.3.11)$$

$$\text{hay } \Omega = \Omega_0 + (\Omega_{dot} - \omega_E)t_k - \omega_E t_{oe}^w \quad (3.3.12)$$

trong đó  $t_{oe}^w$  thời điểm lịch theo tuân lẽ hiện thời và  $\omega_E$  là vận tốc quay của Trái đất quanh trục ( $\omega_E = 7,2921151467 * 10^{-5} rad/s$ ).

góc nghiêng hiện thời của mặt phẳng quỹ đạo được tính:

$$i = i_0 + \Delta i + \delta i \quad (3.3.13)$$

góc tính từ điểm mọc trên mặt phẳng quỹ đạo được tính:

$$\Phi = u + \delta u \quad (3.3.14)$$

bán kính quỹ đạo hiện thời được tính:

$$r = r_0 + \delta r \quad (3.3.15)$$

trong đó:  $r_0 = a[1 - e \cos E(t)]$  (3.3.16)

Toạ độ vệ tinh trên mặt phẳng quỹ đạo:

$$\begin{aligned} x_s &= r \cdot \cos \Phi \\ y_s &= r \cdot \sin \Phi \end{aligned} \quad (3.3.17)$$

Cuối cùng, toạ độ vệ tinh trong hệ toạ độ trái đất được tính:

$$\begin{aligned} X_s &= x'_s \cos \Omega - y'_s \cos i \cdot \sin \Omega \\ Y_s &= x'_s \cdot \sin \Omega + y'_s \cdot \cos i \cdot \cos \Omega \\ Z_s &= y'_s \cdot \sin i \end{aligned} \quad (3.3.18)$$

### 3.3.2. Tính toạ độ vệ tinh theo toạ độ, vận tốc, gia tốc tại thời điểm lịch

Khác với hệ thống định vị GPS, lịch vệ tinh của hệ GLONASS lại cho toạ độ, vận tốc và gia tốc vệ tinh tại thời điểm lịch. Trên cơ sở đó cần phải tính toạ độ vệ tinh tại thời điểm quan sát t.

Sử dụng phương pháp Runge -Kutta để tính toạ độ vệ tinh. Công thức Runge-Kutta bậc 4 có dạng:

ký hiệu đạo hàm bậc nhất

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x) \quad (3.3.19)$$

ta có công thức tính gần đúng:

$$x(t_0 + h) = x(t_0) + \frac{1}{6}(F_1 + 2F_2 + 2F_3 + F_4) + \varepsilon(h^5) \quad (3.3.20)$$

trong đó:

$$F_1 = hf(t_0, x_0) \quad (3.3.21)$$

$$F_2 = hf\left(t_0 + \frac{1}{2}h, x_0 + \frac{1}{2}F_1\right) \quad (3.3.22)$$

$$F_3 = hf\left(t_0 + \frac{1}{2}h, x_0 + \frac{1}{2}F_2\right) \quad (3.3.23)$$

$$F_4 = hf(t_0 + h, x_0 + F_3) \quad (3.3.24)$$

## Chương 4

### HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TOÀN CẦU GPS

Hệ thống định vị toàn cầu GPS được viết tắt là NAVSTAR GPS (*Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*) hoặc viết gọn hơn là hệ thống GPS. Từ những năm 1967-1969, lực lượng Không quân Mỹ (USAF) đã bắt đầu nghiên cứu Đề án 621B. Trong đề án này người ta dự định đưa lên các quỹ đạo đồng bộ 20 vệ tinh hoạt động ở các độ vĩ từ 60 độ vĩ bắc đến 60 độ vĩ nam. Các vệ tinh này được theo dõi bởi một hệ thống trạm giám sát trên mặt đất. Nhờ các vệ tinh này, tại bất kỳ điểm nào trên Trái đất vào bất kỳ thời gian nào cũng có thể quan sát ít nhất 3 vệ tinh. Việc đo khoảng cách đồng thời tới 4 vệ tinh sẽ loại bỏ được ảnh hưởng của sự không đồng bộ về thời gian của đồng hồ vệ tinh và đồng hồ máy thu. Cũng trong thời gian này, lực lượng hải quân Mỹ đã đưa ra đề án xây dựng hệ thống định vị vệ tinh mang tên TIMATION gồm 3 giai đoạn (TIMATION I,II và III), thực chất cũng là ý tưởng của một hệ thống định vị toàn cầu gồm khoảng 21 đến 27 vệ tinh.

Dưới sự chủ trì của Bộ quốc phòng Mỹ, cả 2 đề án 621B và TIMATION đã được phối hợp lại và hình thành nên hệ thống định vị toàn cầu GPS.

Ngày 22 tháng 02 năm 1978 vệ tinh đầu tiên của hệ thống định vị toàn cầu GPS đã được đưa lên quỹ đạo. Từ ngày 8 tháng 12 năm 1993, trên 6 quỹ đạo của hệ thống GPS đã đủ 24 vệ tinh. Với hệ thống GPS, vấn đề thời gian, vị trí, tốc độ được giải quyết nhanh chóng, chính xác trên phạm vi toàn cầu trong bất kỳ thời điểm nào.

Trước năm 1980 hệ thống GPS chỉ được dùng cho mục đích quân sự, do Bộ quốc phòng Mỹ quản lý, từ năm 1980 chính phủ Mỹ cho phép sử dụng trong dân sự. Các ứng dụng của GPS vào nhiều lĩnh vực khác nhau đã được nghiên cứu và phát triển rộng rãi trên hầu hết các nước.

#### 4.1. CẤU TRÚC CỦA HỆ THỐNG GPS

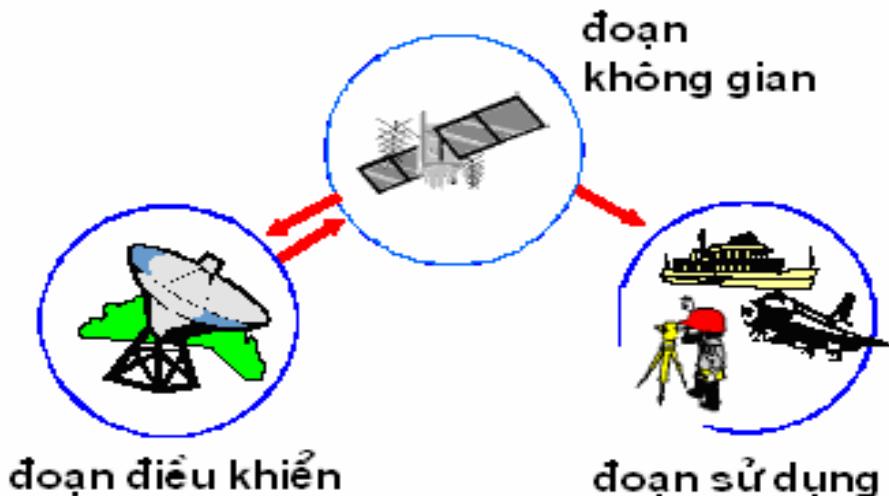
Hệ thống định vị toàn cầu GPS bao gồm 3 bộ phận cấu thành (hình 4.1), đó là :

- đoạn không gian (*Space Segment*)
- đoạn điều khiển (*Control Segment*)
- và đoạn sử dụng (*Use Segment*)

##### 4.1.1. Đoạn không gian

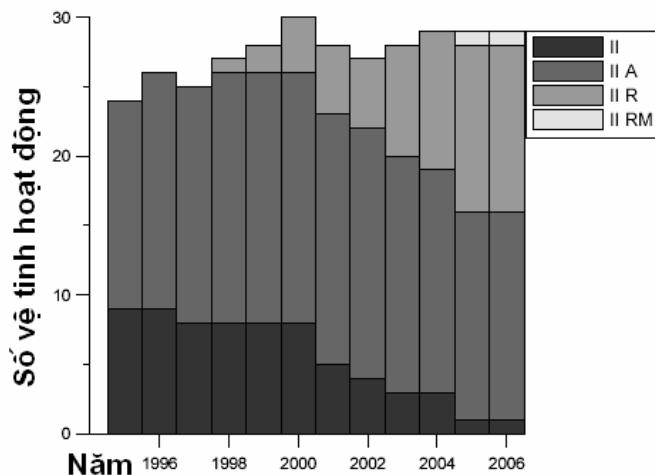
Đoạn không gian bao gồm các vệ tinh chuyển động trên 6 mặt phẳng quỹ đạo gần tròn với chu kỳ là 718 phút, ở độ cao cách mặt đất khoảng 20200km. Các mặt phẳng quỹ đạo nghiêng với mặt phẳng xích đạo Trái đất một góc  $55^{\circ}$ . Các quỹ đạo được ký hiệu là A,B,C,D,E,F (hình 4.3). Vị trí vệ tinh trên quỹ đạo được ký hiệu là A-1,D-3 vv...

Theo thiết kế, hệ thống gồm có 24 vệ tinh, mỗi quỹ đạo có 4 vệ tinh. Với sự phân bố vệ tinh trên quỹ đạo như vậy, trong bất kỳ thời gian nào và ở bất kỳ vị trí quan trắc nào trên Trái đất cũng có thể quan trắc được ít nhất 4 vệ tinh GPS [14].



Hình 4.1. Sơ đồ hoạt động của hệ thống định vị toàn cầu GPS

Chương trình đưa các vệ tinh GPS lên quỹ đạo đã được chia làm các khối (BLOCK) như: Khối I, II, II-A, II-R, IIR-M và II-F. Tính đến ngày 24 tháng 5 năm 2010 hiện có 31 vệ tinh của hệ thống GPS đang hoạt động gồm: 10 vệ tinh II-A, 12 vệ tinh II-R, 7 vệ tinh IIR-M và 2 vệ tinh II-F. Trên hình 4.2 thể hiện tiến trình phát triển đoạn không gian của hệ thống GPS.

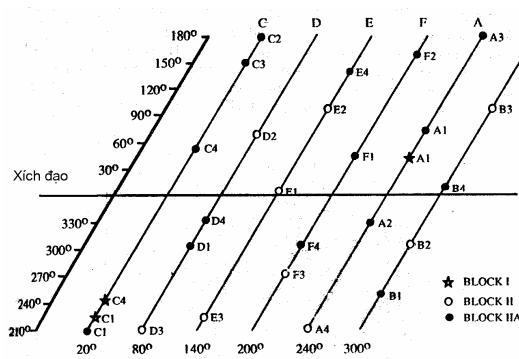


Hình 4.2. Tiến trình phát triển đoạn không gian của GPS

Các vệ tinh GPS có trọng lượng khoảng 1600kg khi phóng và khoảng 800kg trên quỹ đạo. Theo thiết kế, tuổi thọ của các vệ tinh khoảng 7,5 năm. Các vệ tinh của các khối sau có trọng lượng lớn hơn và có tuổi thọ cũng dài hơn các vệ tinh trước đó. Thí dụ vệ tinh khối 1 chỉ có

trọng lượng là 845 kg, song vệ tinh khối II có trọng lượng là 1500 kg và đến khối II-R vệ tinh có trọng lượng là 2000 kg. Năng lượng cung cấp cho hoạt động của các thiết bị trên vệ tinh là năng lượng pin mặt trời . Tuổi thọ của vệ tinh được kéo dài từ 7,5 năm đến trên 10 năm.

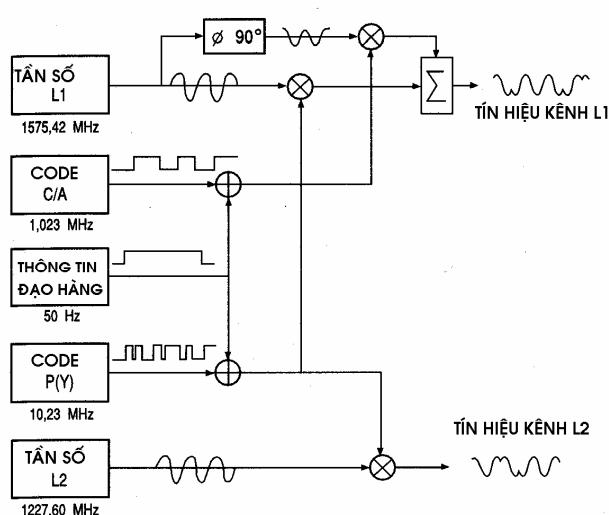
Mỗi vệ tinh thuộc khối I (block I) được trang bị 4 đồng hồ nguyên tử, 2 đồng hồ thuộc loại censium và 2 đồng hồ thuộc loại rubidium. Thêm vào đó, mỗi vệ tinh được trang bị thêm bộ tạo giao động thạch anh rất chính xác. Người ta sử dụng 4 đồng hồ không chỉ với mục đích dự phòng mà còn để tạo ra một cơ sở giám sát thời gian và cung cấp giờ chính xác nhất. Hệ thống giám sát thời gian đã được thực hiện đối với các vệ tinh GPS thuộc khối II và khối IIR. Đồng hồ nguyên tử rubidium có độ ổn định kém hơn một chút so với đồng hồ nguyên tử censium trong thời gian dài, sai lệch cỡ  $10^{-12}$ . Việc hiệu chỉnh tần số đồng hồ trên vệ tinh có thể thực hiện từ mặt đất nhờ các trạm điều khiển. Trên các vệ tinh GPS thuộc khối II, người ta đã nâng cấp thiết bị bởi 3 đồng hồ censium. Hệ thống giám sát các đồng hồ vệ tinh là một trong các chức năng của đoạn điều khiển. Tất cả các đồng hồ của hệ thống GPS hoạt động ở tần số 10,23 MHz. Các mã (Code) tín hiệu và tần số sóng tải được dựa trên tần số đồng hồ cơ sở chuẩn. Hình dạng vệ tinh GPS được thể hiện ở hình 4.4.



Hình 4.3. Phân bố vệ tinh trên 6 quỹ đạo



Hình 4.4. Vệ tinh GPS



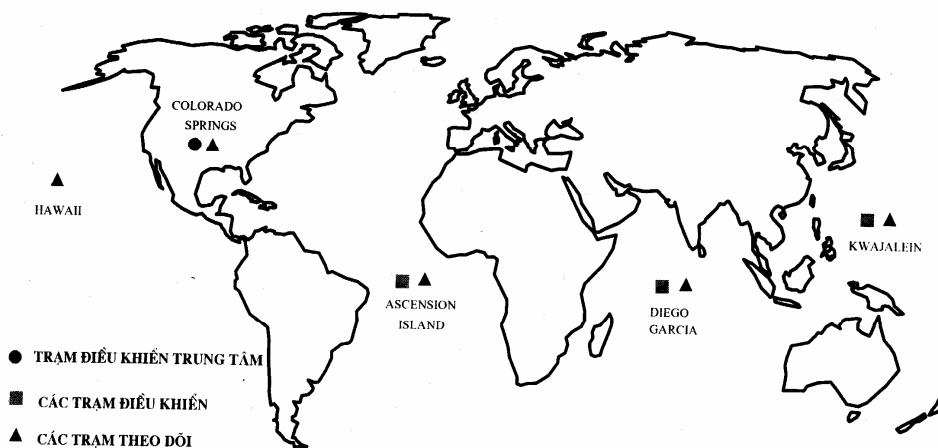
Hình 4.5. Sơ đồ khối tạo tín hiệu kênh L1,L2

Tất cả các vệ tinh GPS đều có thiết bị tạo dao động với tần số chuẩn cơ sở là  $f_0 = 10.23$  MHz. Tần số này còn là tần số chuẩn của đồng hồ nguyên tử, với độ chính xác cỡ  $10^{-12}$ . Từ tần số cơ sở  $f_0$  thiết bị sẽ tạo ra các tần số sóng tải L1, L2 và L5.

Để phục vụ cho các mục đích và đối tượng khác nhau, các tín hiệu sóng tải phát đi được điều biến bởi các code riêng biệt, đó là C/A code, P-code, Y-code, M-code và thông tin đao hàng. Trên hình 4.5 là sơ đồ khái phán cứng trên vệ tinh tạo ra các kênh tín hiệu L1 và L2. Về đặc điểm các code điều biến và thông tin đao hàng sẽ được giới thiệu ở phần sau.

#### 4.1.2. Đoạn điều khiển

Đoạn điều khiển được thiết lập để duy trì hoạt động của toàn bộ hệ thống định vị này. Trạm điều khiển trung tâm (*Master Control Station*-viết tắt là MCS) được đặt tại căn cứ không quân của Mỹ gần Colorado springs. Trạm điều khiển trung tâm này có nhiệm vụ chủ yếu trong đoạn điều khiển, cập nhật thông tin đao hàng truyền đi từ vệ tinh. Cùng phối hợp hoạt động với trạm điều khiển trung tâm là hệ thống hoạt động kiểm tra OCS (*Operational Control System*) bao gồm các trạm theo dõi (*monitoring stations*) phân bố quanh Trái đất (hình 4.6), đó là các trạm Colorado Springs, Hawaii, Assension Islands, Diego Garcia, Kwajalein. Các trạm này theo dõi liên tục tất cả các vệ tinh có thể quan sát được. Các số liệu quan sát được ở các trạm này được chuyển về trạm điều khiển trung tâm MCS, tại đây việc tính toán số liệu chung được thực hiện để thiết lập thông tin đao hàng hiện thời. Nội dung thông tin đao hàng (đã cập nhật) được chuyển lên các vệ tinh, để sau đó từ vệ tinh chuyển đến các máy thu của người sử dụng.



Hình 4.6. Các trạm điều khiển của hệ thống GPS

Như vậy vai trò của đoạn điều khiển rất quan trọng vì nó không chỉ theo dõi, quan sát các vệ tinh mà còn liên tục cập nhật để chính xác hóa các thông tin đao hàng, trong đó có lịch vệ tinh quảng bá, bảo đảm độ chính xác cần thiết cho công tác định vị GPS. Các công việc quan sát và

xử lý của điều khiển có thể coi là quy trình thực hiện “bài toán thuận” nhằm có được vị trí vệ tinh trên quỹ đạo để từ đó cung cấp cho đoạn sử dụng. Các thông tin từ các trạm điều khiển chuyển lên vệ tinh (Upload) được thực hiện ở giải tần S (S-band) có bước sóng cỡ 10 cm, trong khi tín hiệu từ vệ tinh chuyển tới máy thu được sử dụng giải tần L (L-band), bước sóng khoảng 20 cm.

Cơ quan bản đồ thuộc Bộ quốc phòng Mỹ (DMA) và Cơ quan trắc địa quốc gia Mỹ (NGS) đã phối hợp với một số nước khác thông qua tổ chức CIGNET (*Cooperative International GPS Network*) xây dựng mạng lưới theo dõi hệ thống GPS trên toàn cầu. Năm 1991 đã có 20 trạm giám sát được đặt ở Mỹ, Argentina, Australia, New Zealand, Cộng hòa Nam Phi, Nigeria, CHLB Đức, Thụy Điển, Na Uy, Nhật Bản... Vị trí các trạm này được xác định toạ độ chính xác nhờ kỹ thuật giao thoa cạnh đáy dài VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*) và kỹ thuật đo laser tới vệ tinh SLR (*Satellite Laser Ranging*). Nhờ các trạm giám sát phân bố trên toàn cầu người ta xác định được chính xác các tham số quỹ đạo vệ tinh và sự biến đổi của chúng theo thời gian. Đến năm 1994 đã tăng lên 48 trạm giám sát, được đặt ở các nước khác như Baran, Ecuador, Anh, Trung Quốc vv...

Nhờ sự phối hợp với mạng lưới quan trắc rộng rãi này, DMA và NGS xác định được lịch vệ tinh chính xác, cung cấp cho các cơ quan dân sự sử dụng lịch vệ tinh chính xác trong định vị GPS xử lý sau.

Gần đây, số lượng trạm quan trắc GPS tăng lên. Nhiều cơ quan trắc địa bản đồ của các quốc gia khác nhau, nhiều viện nghiên cứu, các trường đại học và nhiều nhóm nghiên cứu ở mọi nơi trên thế giới đã có được các trạm quan trắc GPS liên tục và sử dụng nó như "sân sau" để được sử dụng GPS với độ chính xác cao. Trước hết phải kể đến những cố gắng của tổ chức Hợp tác quốc tế về lưới GPS - CIGNET và những kết quả đã đạt được của Cơ quan ứng dụng GPS trong nghiên cứu địa động lực - IGS, bắt đầu hoạt động từ 01-01-1994.

#### 4.1.3. Đoạn sử dụng

Đoạn sử dụng bao gồm các máy thu GPS, máy hoạt động để thu tín hiệu vệ tinh GPS phục vụ cho các mục đích khác nhau như dẫn đường trên biển, trên không, trên đất liền, và phục vụ cho công tác đo đạc ở nhiều nơi trên thế giới. Trong việc khai thác sử dụng công nghệ GPS, người ta có thể kết nối các thiết bị thu tín hiệu GPS với một số thiết bị thu phát khác để thực hiện các kỹ thuật đo động thời gian thực (*Real Time Kinematic-RTK*), đo vi phân DGPS (*Differential-GPS*), đo vi phân diện rộng WADGPS (*Wide- Area-Differential GPS*). Trong kỹ thuật WADGPS còn sử dụng vệ tinh viễn thông thương mại làm phương tiện trung gian để truyền số cải chính vi phân cho các trạm đo.

Máy thu GPS là phần cứng quan trọng trong đoạn sử dụng. Nhờ các tiến bộ kỹ thuật trong lĩnh vực điện tử, viễn thông và kỹ thuật thông tin tín hiệu số, các máy thu GPS đã ngày

một hoàn thiện. Ngành chế tạo máy thu GPS là ngành " kỹ thuật cao". Một số hãng chế tạo còn cho ra các máy thu 2 hệ, có thể đồng thời thu tín hiệu từ các vệ tinh GPS và cả vệ tinh GLONASS .

Người ta sản xuất ra nhiều loại máy thu GPS khác nhau. Có loại phục vụ mục đích đao hàng, có loại phục vụ công tác trắc địa, cũng có loại nhỏ gọn có thể cầm tay, phục vụ du lịch vv... Trên hình 4.7 là một máy thu GPS cầm tay, hình 4.8 là máy GPS gắn trên xe ô tô.



Hình 4.7. Máy thu GPS cầm tay



Hình 4.8. Dẫn đường ô tô bằng GPS

Hiện nay đã có nhiều loại máy thu có khả năng đo ở chế độ tức thời (*Real Time*). Dạng máy thu phổ biến hiện nay là dạng máy thu đa kênh (*Multichannel*). Các loại máy thu này thường có từ 8 đến 12 kênh hoặc nhiều hơn, mỗi kênh sẽ độc lập theo dõi và thu tín hiệu từ một vệ tinh. Kèm theo các máy thu GPS phục vụ công tác trắc địa là các phần mềm xử lý số liệu đo. Các phần mềm này cũng được liên tục phát triển, ngày một hoàn hảo về chức năng và tính tiện dụng.

## 4.2. TÍN HIỆU VỆ TINH GPS VÀ THÔNG TIN ĐẠO HÀNG

### 4.2.1. Đặc điểm tín hiệu vệ tinh GPS

#### 4.2.1.1. Sóng tải và các code điều biến

Tất cả các vệ tinh GPS thuộc khối I, II , II-A, II-R, IIR-M đều sử dụng 2 tần số sóng tải là L1,L2. Sóng tải L1 có tần số  $f_1 = 154f_0 = 1575.42\text{MHz}$ , có bước sóng  $\lambda_1 = 19,032\text{ cm}$ . Sóng tải L2 có tần số  $f_2 = 120f_0 = 1227.60\text{ MHz}$ . có bước sóng  $\lambda_2 = 24,42\text{cm}$  Từ năm 2008, các vệ tinh khối II-F có thêm sóng tải L5= $115.f^0 = 1176,45$  (bước sóng  $\lambda_5 \approx 25,5\text{ cm}$ ). Các sóng tải L1,L2 và L5 thuộc dải sóng cực ngắn. Với tần số lớn như vậy các tín hiệu sẽ ít bị ảnh hưởng của tầng điện li (tầng Ion) và tầng đối lưu vì mức độ làm chậm tín hiệu do tầng điện li tỷ lệ nghịch với bình phương của tần số.

Mỗi vệ tinh lại sử dụng một code tự ngẫu nhiên khác nhau (*PseudoRandom Code*), và sử dụng phương thức tiếp nhận tín hiệu vào máy thu GPS là **đa truy cập phân chia code CDMA** (*Code Division Multiple Access*). Số hiệu vệ tinh được gán theo số thứ tự đoạn code tự ngẫu

nhiên, vì thế số hiệu vệ tinh được ký hiệu kèm PRN (*PseudoRandom Noise Code*). (thí dụ PRN-12, PRN-13 vv....)

**C/Acode** (*Coarse / Acquisition code*) là code thô cho phép dùng rộng rãi.

C/A code là code tựa ngẫu nhiên. Tín hiệu mang code này có tần số thấp (1.023MHz) tương ứng với bước sóng 293mét. C/A code chỉ điều biến sóng tải L1, song nếu có sự can thiệp của các trạm điều khiển trên mặt đất có thể chuyển sang cả L2 .

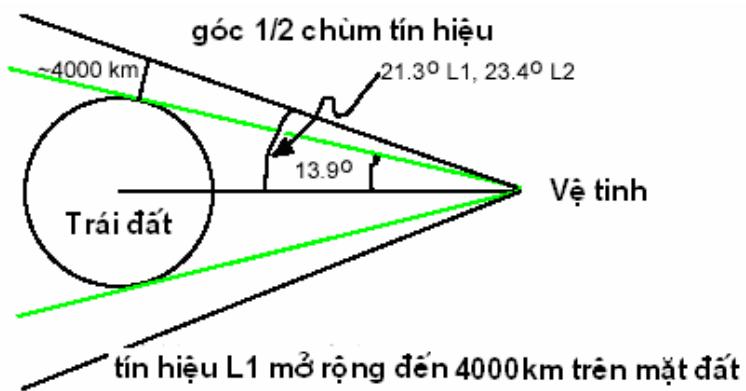
Chu kỳ của C/A code là 1mili giây, trong đó chứa 1023 bite (1023 chip), mỗi một vệ tinh phát đi C/A code khác nhau.

**P-code** (*Precision code*) là code chính xác, điều biến cả sóng tải L1 và L2, có độ dài cỡ  $10^{14}$  bite (cỡ 38 tuần lẽ) và là code tựa ngẫu nhiên PRN-code. Tín hiệu của P-code có tần số đúng bằng tần số chuẩn  $f_0$  (10.23MHz), tương ứng với bước sóng 29.3mét. Mỗi vệ tinh sử dụng một đoạn code này (tương đương với độ dài 1 tuần lẽ- gọi là "code tuần lẽ"). Code tựa ngẫu nhiên là cơ sở để định vị tuyệt đối khoảng cách giả, đồng thời dựa vào đó có thể nhận biết được số hiệu vệ tinh. P-code được dùng cho mục đích quân sự (của Mỹ) và chỉ được dùng cho mục đích khác khi phía Mỹ cho phép .

**Y-code** là code bí mật, được phủ lên P-code gọi là kỹ thuật AS (*Anti-Spoofing*). Chỉ có các vệ tinh thuộc khối II (sau năm 1989) mới có khả năng này. Ngoài các tần số trên, các vệ tinh GPS còn có thể trao đổi với các trạm điều khiển trên mặt đất qua các tần số 1783,74MHz và 2227,5MHz để truyền các thông tin đạo hàng và các lệnh điều khiển tới vệ tinh.

**M-code** (*Military code*) là code phục vụ quân sự, điều biến sóng tải L1 và L2, có khả năng chống gãy nhiễu tốt hơn Y-code [42]. Từ năm 2005, các vệ tinh thuộc khối IIR-M có khả năng phát tín hiệu M-code. Theo kế hoạch M-code sẽ được khai thác sử dụng đầy đủ vào năm 2015.

Tín hiệu phát đi từ các vệ tinh GPS được định hướng về phía trái đất theo chùm (*beam*) hình nón có góc ở đỉnh là  $42^{\circ}6$  đối với L1 và  $46^{\circ}8$  đối với sóng tải L2 (hình 4.9).



Hình 4.9. Tín hiệu được định hướng về Trái đất

#### 4.2.1.2. Nguyên tắc tạo code tựa ngẫu nhiên

Việc tạo code tựa ngẫu nhiên được thực hiện nhờ phần cứng gọi là "bộ lưu chuyển phản hồi" (*tapped feedback shift registers*). Nội dung được mô tả trên hình 4.10

| Số hiệu cell       | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------|---|---|---|---|---|
| Trạng thái ban đầu | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Trạng thái kế tiếp | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |

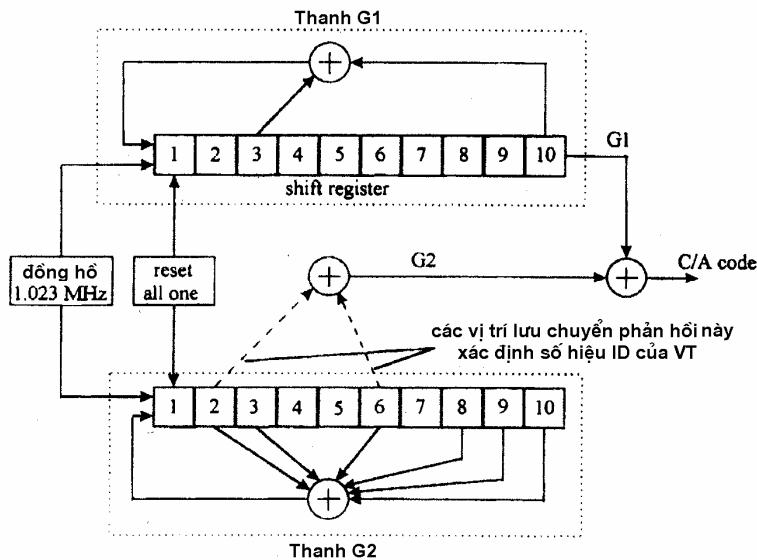
Hình 4.10 Nguyên tắc làm việc của bộ lưu chuyển phản hồi

Trên hình 4.10, bộ lưu chuyển phản hồi gồm một số lượng "cell tích luỹ" (*storage cells*) được đánh số từ 1 đến 5, mỗi cell tương ứng với 1 bite. Mỗi một nhịp đập của đồng hồ sẽ được kết hợp để cho ra chính xác một "cell" đúng bằng giá trị bên phải kề liền. Giá trị mới của cell bên trái kề liền được xác định bằng tổng của 2 số nhị phân, thực hiện bằng phép cộng của 2 cell định nghĩa (thí dụ cell 2 và 3). Tổng của 2 số nhị phân sẽ có giá trị 0 nếu các bit trong hai cell này như nhau, nếu khác nhau giá trị tổng sẽ là 1. Với cách này code được tạo ra sẽ có dạng bất kỳ nhưng lại có tính quy luật của nó, vì thế được gọi là "code tựa ngẫu nhiên".

**C/A code** được tạo ra bởi tổ hợp của hai thanh phản hồi 10 bit và kết quả code nhận được dựa trên phép xử lý nhị phân từ 2 thanh G1 và G2. Các thanh G1 và G2 được thực hiện theo phép tính cộng 2 số nhị phân như sau:

$$G1 = 1 + X^3 + X^{10} \quad \text{và} \quad G2 = 1 + X^2 + X^3 + X^6 + X^8 + X^9 + X^{10}$$

Trên hình 4.11 là sơ đồ nguyên lý của bộ tạo C/A code từ 2 thanh G1 và G2, trong đó vị trí lưu chuyển phản hồi từ thanh G2 sẽ xác định số hiệu ID của vệ tinh.



Hình 4.11. Nguyên lý tạo C/A code từ 2 thanh G1 và G2

Giá trị ban đầu của cả 2 thanh G1 và G2 đều là những số 1 tức là bằng (1111111111). Các code của hai bộ đăng ký không bí mật và do đó C/A code được sử dụng rộng rãi trong dân sự.

Mỗi dạng code được gán cho một vệ tinh dựa trên các cell đã được định nghĩa. Với tần số 1,023 MHz, tốc độ lặp lại code sau 1 mili giây trong độ dài code 1023 chip. Như vậy, khoảng thời gian giữa hai chip là khoảng 1 micro giây ( $10^{-6}$  s), tương ứng với khoảng cách 300 m. C/A code được gọi là “code vàng” (*Gold Code*) với đặc tính quan trọng là mối tương quan chéo đối với tất cả tín hiệu rất thấp. Nhờ đặc tính đó các máy thu GPS nhanh chóng phân biệt biệt và có thể đồng thời thu nhận được C/A code từ các vệ tinh khác nhau.

P-code thực chất không phải là code bí mật, khởi đầu nó được tạo ra bởi tổ hợp của 2 bit liên tiếp, mà mỗi bít được tạo ra bởi hai bộ đăng ký. Tổ hợp của hai bít liên tiếp có độ dài ước khoảng  $2.3547.10^{14}$  bit, tương ứng với 266,4 ngày. Toàn bộ code được chia thành 38 đoạn (đơn vị) theo tuần lě và mỗi đoạn được gán cho mỗi vệ tinh với số hiệu PRN riêng biệt.

Các code được khởi tạo lại vào lúc nửa đêm ngày thứ 7. Độ dài chip của P-code tương ứng khoảng 30 m.

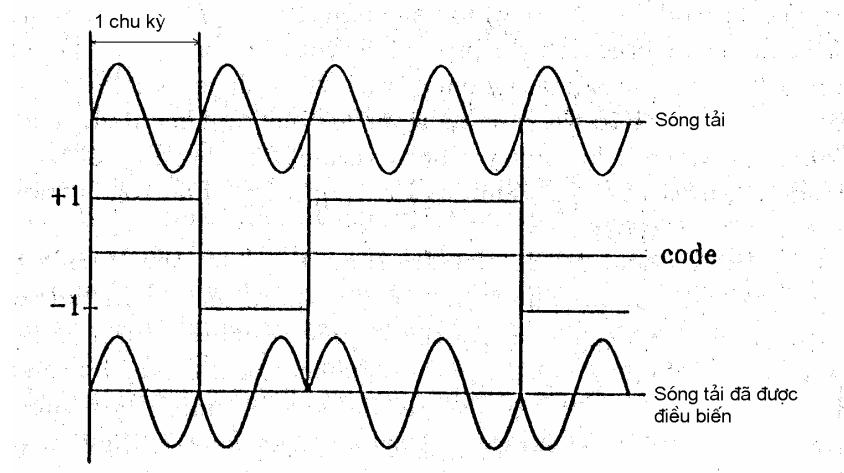
Trên cơ sở 2 chuỗi số nhị phân S1 và S2 , trong đó S1=010 và S2=10110 người ta tạo ra tổ hợp  $5*S1$  với  $3*S2$  là chuỗi gồm 15 số nhị phân ( 15 chip). Trên hình 4.12 minh họa quá trình tạo P-code .

|         |                               |
|---------|-------------------------------|
| 5. S1   | 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 |
| 3.S2    | 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 |
| Kết hợp | 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 |

Hình 4.12. Nguyên tắc tạo P-code

#### 4.2.1.3. Nguyên tắc điều biến sóng tải

Các sóng tải được điều biến bởi các code để cung cấp giờ đồng hồ vệ tinh cho máy thu và chuyển các thông tin như các tham số quỹ đạo vệ tinh vv... Các code này bao gồm các giá trị nhị phân, tức là gồm các số 0 và 1. Với tín hiệu GPS, người ta sử dụng kỹ thuật điều biến lưỡng pha bằng cách thay đổi  $180^\circ$  trong pha sóng tải khi code tác động vào (hình 4.13 )



Hình. 4.13 Điều biến lưỡng pha sóng tải

Các thành phần của tín hiệu và tần số được trình bày trong bảng sau:

Bảng 4.1. Các thành phần của tín hiệu vệ tinh GPS

| Thành phần         | Tần số hoặc tốc độ chíp (MHz)                   |
|--------------------|---|
| Tần số chuẩn       | $f^0 = 10,23$                                   |
| Sóng tải L1        | $154.f^0 = 1575,42 \ (\approx 19,0 \text{ cm})$ |
| Sóng tải L2        | $120.f^0 = 1227,60 \ (\approx 24,4 \text{ cm})$ |
| Sóng tải L5        | $115.f^0 = 1176,45 \ (\approx 25,5 \text{ cm})$ |
| P-code             | $f^0 = 10,23$                                   |
| C/A code           | $f^0/10 = 1,023$                                |
| L2C code           | $f^0 = 10,23$                                   |
| W-code             | $f^0/20 = 0,5115$                               |
| Thông tin đạo hàng | $f^0/204600 = 50.10^{-6}$                       |

Hai loại code được sử dụng đối với đồng hồ vệ tinh, cả hai có thứ tự tự nhiên (PRN). C/A code có tần số  $f^0/10$  và được lặp lại sau mỗi mili giây. P-code có tần số  $f^0$  được lặp lại sau khoảng 266,4 ngày (38 tuần lễ). W-code có tần số  $f^0/20$  là code bí mật được dùng để phủ lên P-code tạo nên Y-code trong kỹ thuật chống đánh lừa AS (*Anti Spoofing*). Code của thông tin đạo hàng có độ dài là 1500 bite và có tần số 50 Hz, được truyền trong khoảng 30 giây.

Cả hai sóng tải L1, L2 được điều biến bởi P-code.

Ký hiệu:

- sóng tải không điều biến là  $L_i(t) = a_i \cos(f_i t)$  ( $i=1,2$ )
- P-code là  $P(t)$
- C/A code là  $C/A(t)$
- và thông tin đạo hàng là  $D(t)$

Với ký hiệu như vậy, sóng tải điều biến sẽ được thể hiện qua phương trình:

$$L1(t) = a_1 P(t) \cdot D(t) \cos(f_1 t) + a_1 C/A(t) \cdot D(t) \sin(f_1 t)$$

$$L2(t) = a_2 P(t) \cdot D(t) \cos(f_2 t)$$

Các thông tin này được chuyển đi nhờ tín hiệu phát rộng rãi trong không gian.

Từ tháng 9 năm 2005, các vệ tinh khối IIR-M có khả năng phát tín hiệu điều biến L2C với tần số 10,23 MHz. Tín hiệu L2C được phép sử dụng rộng rãi trong dân sự. Nhờ tín hiệu L2C, người sử dụng có thể khai thác tốt hơn hệ thống GPS vào các mục đích trắc địa và đạo hàng.

#### 4.2.1.4. Nhiều cỗ ý SA và nguyên tắc bảo mật AS

##### 1. Nhiều cỗ ý SA

Người ta ước lượng độ chính xác định vị đạt cỡ 1% bước sóng của tín hiệu. Như vậy ngay khi sử dụng code thô C/A để định vị thì có thể đạt tới độ chính xác cỡ 3m. Vì lý do an ninh, phía Mỹ chủ động làm nhiều tín hiệu để hạ thấp độ chính xác định vị tuyệt đối. Kỹ thuật

làm nhiễu này gọi là sử dụng có lựa chọn SA (*Selective Availability*). Do nhiễu SA, khách hàng (dân sự) chỉ có thể định vị tuyệt đối với độ chính xác cỡ 100mét.

Nhiều cỗ ý SA được tạo ra nhằm làm giảm độ chính xác định vị tuyệt đối bằng cách làm chậm trễ đồng hồ vệ tinh (ký hiệu là phép xử lý  $\delta$ ) và tác động vào việc lập lịch vệ tinh (ký hiệu là phép xử lý  $\epsilon$ ). Nhiều cỗ ý SA được thực hiện đối với các vệ tinh khối II từ ngày 25 tháng 3 năm 1990 với các mức độ làm giảm độ chính xác khác nhau. Theo Bộ quốc phòng Mỹ, độ chính xác cần giảm xuống cỡ 100m về mặt bằng và khoảng 156 mét về độ cao. Theo quy định này sai số xác định tốc độ sẽ cỡ 0,3 m/s và sai số thời gian cỡ 340 ns. Tất cả các số liệu phải được gây nhiễu với xác suất 95%.

Kỹ thuật xử lý  $-\delta$  được thực hiện bởi sai số biến đổi tác động tới tần số chuẩn của đồng hồ vệ tinh. Giá trị sai lệch đồng hồ vệ tinh tác động trực tiếp khoảng cách giả khi thực hiện so sánh đồng hồ vệ tinh và đồng hồ máy thu. Khi tần số chuẩn bị làm chậm trễ các khoảng cách code và pha chịu ảnh hưởng của chính sự thay đổi này. Khi có tác động của nhiều SA, các khoảng cách giả sẽ thay đổi với biên độ khoảng 50 m trong các khoảng chu kỳ vài phút. Với khoảng cách giả giữa hai máy thu, hiệu ứng làm chậm này được loại trừ về cơ bản.

Kỹ thuật xử lý  $-\epsilon$  là sự thay đổi thông tin quỹ đạo trong thông tin đạo hàng được truyền đi không thể tính toán chính xác toạ độ của các vệ tinh. Sai số vị trí của vệ tinh sẽ gây ra sai số tương tự đối với vị trí máy thu.

Máy thu của người sử dụng nhận được lịch vệ tinh quảng bá đã chứa các sai lệch về vị trí của vệ tinh và số hiệu chỉnh đồng hồ, do vậy ảnh hưởng của nhiễu SA đến kết quả định vị tuyệt đối là không thể tránh khỏi. Từ ngày 20-5-2000 Mỹ đã bỏ chế độ nhiễu cỗ ý SA.

## 2. Kỹ thuật bảo mật AS

Từ khi vận hành hệ thống GPS, Mỹ đã sử dụng kỹ thuật bảo mật AS (*Anti-Spoofing*) thực chất để nhằm chống bắt chước và làm sai lệch đối với các thiết bị GPS của quân đội Mỹ

Theo thiết kế, GPS có khả năng thực thi đóng hoạt động (*turn off*) của P-code hoặc sử dụng phương pháp che dấu code để không cho tiếp cận P-code, chỉ cho phép người có bản quyền được sử dụng. Trong thực tế, đối phương có thể tạo ra các tín hiệu giả theo cấu trúc GPS để gây ra tình huống lúng túng cho người sử dụng, như tạo ra vị trí sai vv...

AS được hình thành từ hai modul ghép lại từ P-code và code bảo mật W-code. Kết quả là tạo ra một code mới gọi là Y-code. Như vậy khi AS hoạt động, P-code của các sóng tải L1 và L2 được thay thế bởi code không biết là Y-code. AS có thể ở 2 trạng thái có hoạt động (on) hoặc không hoạt động (off).

Trong thời kỳ thử nghiệm, AS được hoạt động vài tuần từ tháng 1-8- 1992 và sau đó một thời gian được cập nhật cố định khi đã thực hiện được khả năng hoạt động đầy đủ FOC (*Full Operational Capability*). Chính sách AS được thực thi cố định từ 31 tháng 1 năm 1994. Theo thỏa thuận với Bộ quốc phòng Mỹ (*DoD*), không thông báo trước thời gian thực thi AS.

#### 4.2.2. Thông tin đạo hàng

Mỗi vệ tinh GPS liên tục phát đi kênh số liệu thông tin đạo hàng (*navigation message*) với tốc độ 50bps (*bit per second*). Một tập hợp (bộ) thông tin đạo hàng bao gồm 25 khung (*frame*), mỗi khung gồm lượng thông tin 1500bit. Mỗi khung lại được chia thành 5 đoạn (*subframe*), mỗi đoạn gồm 300 bit. Mỗi đoạn bao gồm 10 từ (*Word*), với lượng thông tin của mỗi từ là 30bit. Với tốc độ truyền thông tin nhị phân là 50bps, thì mỗi từ được truyền trong thời gian 0,6s, mỗi đoạn truyền trong thời gian 6 s và mỗi khung truyền trong thời gian 30 s (bảng 4.2)

Bảng 4.2. Dung lượng khung thông tin đạo hàng và phân chia

| Giải thích                     | Số lượng bit | Thời gian truyền |
|--------------------------------|--------------|------------------|
| Khung thông tin đạo hàng       | 1500         | 30 s             |
| Đoạn ( <i>subframe</i> ) (1-5) | 300          | 6 s              |
| Từ ( <i>Word</i> ) ( 1-10)     | 30           | 0,6 s            |

Nếu xét về nội dung thông tin đạo hàng, có thể chia làm 3 khối sau:

**Khối 1.** Các thông tin về đồng hồ vệ tinh, tuần lặp GPS và tình trạng sức khoẻ của vệ tinh (chứa trong đoạn 1)

**Khối 2.** Lịch vệ tinh quảng bá, gồm các tham số quỹ đạo phục vụ tính toán độ vệ tinh (chứa trong đoạn 2, đoạn 3).

**Khối 3.** Các thông tin lịch vệ tinh dự báo (*Almanac*) của tất cả các vệ tinh trong hệ thống, các tham số để hiệu chỉnh tầng ion, các tham số chuyển đổi giờ UTC và một số thông tin riêng của hệ thống (chứa trong đoạn 4 và đoạn 5).

Mỗi một đoạn khởi đầu bởi từ telech (TLM) bao gồm mẫu đồng bộ và một số thông tin dự báo. Từ thứ hai trong mỗi đoạn là từ chuyển giao (*Hand-Over Word- HOW*). Tiếp theo là các dấu nhận dạng, từ này chứa chữ số nhân với 4, là thời gian-tuần lặp (TOW) tính cho mỗi thời điểm tại thời điểm bắt đầu của đoạn tiếp theo. TOW tính ở dạng số thập phân của các khoảng 1,5 giây bắt đầu từ tuần lặp GPS hiện thời.

Đoạn đầu tiên chứa số hiệu tuần lặp GPS, dự báo độ chính xác khoảng cách sử dụng URA (*User Range Accuracy*), chỉ số về tình trạng sức khoẻ của vệ tinh và tuổi của số liệu, ước lượng về độ chậm nhóm tín hiệu và 3 tham số  $a_0, a_1, a_2$  của đa thức bậc hai dùng để hiệu chỉnh đồng hồ vệ tinh theo công thức (4.5.2).

Đoạn thứ hai và đoạn thứ ba được sử dụng để truyền lịch vệ tinh quảng bá của vệ tinh, bao gồm các tham số quỹ đạo vệ tinh như:

$M_0$  - khoảng cách góc trung bình tại thời điểm quy chiếu

$\Delta n$  - vi phân chuyển động trung bình tính toán

e- tâm sai của ellip quỹ đạo

$\sqrt{a}$  căn bậc 2 của bán trục lớn ellip quỹ đạo

$\Omega_0$  - độ kinh (góc giờ) của điểm mọc quỹ đạo tại tuần lặp tham chiếu

$i_0$  - góc nghiêng mặt phẳng quỹ đạo tại thời điểm quy chiếu

$\omega$  - góc cận điểm

$\dot{\Omega}$  hay  $\Omega_{dot}$  là tốc độ thay đổi của độ kinh (góc giờ) điểm mọc

$idot$  - là tốc độ thay đổi của góc nghiêng

$C_{uc}$  - biên độ của số hiệu chỉnh điều hoà cosin cho góc cận điểm

$C_{us}$  - biên độ của số hiệu chỉnh điều hoà sin cho góc cận điểm

$C_{rc}$  - biên độ của số hiệu chỉnh điều hoà cosin cho bán kính địa tâm

$C_{rs}$  - biên độ của số hiệu chỉnh điều hoà sin cho bán kính địa tâm

$C_{ic}$  - biên độ của số hiệu chỉnh điều hoà cosin cho góc nghiêng quỹ đạo

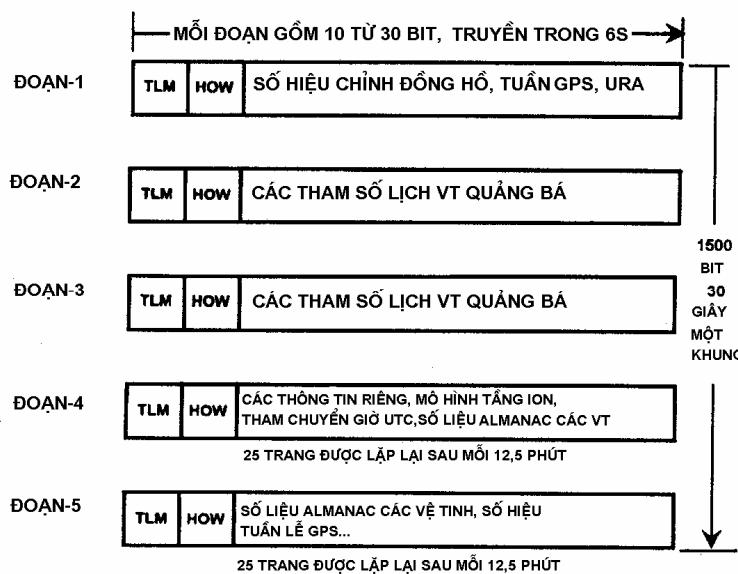
$C_{is}$  - biên độ của số hiệu chỉnh điều hoà sin cho góc nghiêng quỹ đạo

$t_{oe}$  - thời gian quy chiếu của lịch

IODE- số hiệu phát hành (Issue) của số liệu.

Các số liệu trên được cung cấp riêng từ mỗi vệ tinh, có dung lượng là  $300 \times 3 = 900$  bit, thời gian truyền là 18s. Số liệu trong 3 đoạn này được lặp lại sau mỗi 30s.

Trong nội dung của đoạn thứ tư và thứ năm là các thông tin đạo hàng được lặp lại 25 lần với tổng thời gian 750s (=12,5 phút). Tổng cộng các thông tin đạo hàng (gồm 25 khung có dung lượng là 37500 bit) được đóng gói trong 25 trang và mất 12,5 phút để truyền đi. Nội dung của 25 trang thuộc đoạn 4 chứa các thông tin riêng chỉ phục vụ cho mục đích quân sự, các tham số hiệu chỉnh tầng ion, các tham số chuyển đổi giờ GPS sang giờ UTC và số liệu almanac của vệ tinh có số hiệu từ 25 trở lên. Cấu trúc khung thông tin đạo hàng được thể hiện trên hình 4.14.



Hình 4.14. Cấu trúc khung thông tin đạo hàng

Các trang của đoạn 5 chứa các đặc điểm chính của số liệu almanac và tình trạng sức khoẻ của 24 vệ tinh đầu tiên trên quỹ đạo. Các trang của đoạn 4 và 5 được truyền đi từ mỗi vệ tinh, bởi vậy ngay trong trường hợp chỉ quan sát được 1 vệ tinh thì vẫn nhận được số liệu almanac của tất cả các vệ tinh trên quỹ đạo.

#### 4.2.3. Lịch vệ tinh

Lịch vệ tinh (*Ephemeris*) là một tập hợp số liệu thể hiện vị trí của vệ tinh dưới dạng hàm của thời gian. Mỗi vệ tinh GPS theo chu kỳ phát đi (đến máy thu) lịch vệ tinh quảng bá (*broadcast ephemeris*) cùng với thông tin đạo hàng, trong đó thể hiện vị trí dự báo vệ tinh ở thời gian gần, được chuyển lên bởi đoạn điều khiển. Các chương trình xử lý sau cũng có thể sử dụng lịch vệ tinh chính xác (*precise ephemeris*), trong đó thể hiện vị trí chính xác của vệ tinh trên quỹ đạo đã đi qua. Số liệu trong lịch vệ tinh cho phép xác định tức thời các vectơ vị trí và tốc độ của các vệ tinh trong hệ toạ độ trái đất. Người ta chia ra 3 loại lịch vệ tinh như sau:

- lịch vệ tinh dự báo (*Almanac*)
- lịch vệ tinh quảng bá
- lịch vệ tinh chính xác

Các số liệu trên khác nhau về độ chính xác. Trong bảng 4.3 thể hiện độ chính xác của các số liệu trên:

Bảng 4.3. Khái quát về lịch vệ tinh

| Loại lịch                 | Sai số cỡ     | Ghi chú                        |
|---------------------------|---------------|--------------------------------|
| Dự báo ( <i>Almanac</i> ) | vài km        | phụ thuộc vào tuổi của số liệu |
| Quảng bá ( có SA)         | 2- 50 m       | phụ thuộc vào mức độ nhiễu SA  |
| Quảng bá (không có SA)    | 2- 5m         | hoặc tốt hơn                   |
| Chính xác                 | nhỏ hơn 0,5 m |                                |

**4.2.3.1. Lịch dự báo (*Almanac*).** Là tập hợp số liệu có độ chính xác thấp nhất về vị trí vệ tinh, phục vụ cho lập lịch và xác định quang cảnh "nhìn thấy" của vệ tinh tại điểm quan sát. Số liệu Almanac được truyền đi cùng thông tin vệ tinh, trong đó bao gồm: các tham số quỹ đạo vệ tinh, số hiệu chỉnh đồng hồ và một số thông tin khác. Trong bảng 4.4 thể hiện các số liệu Almanac.

Bảng 4.4. Các số liệu trong Almanac

| Tham số        | Giải thích   |
|----------------|--|
| ID             | Số hiệu vệ tinh ( <i>satellite PRN number</i> )      |
| HEALTH         | Tình trạng sức khoẻ của vệ tinh                      |
| WEEK           | tuần lễ GPS hiện thời                                |
| t <sub>a</sub> | thời điểm tính bằng giây trong tuần lễ GPS hiện thời |

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| $\sqrt{a}$                           | căn bậc hai bán trục lớn quỹ đạo                           |
| e                                    | độ tâm sai   |
| $M_0$                                | Khoảng cách góc trung bình ở thời điểm xét                 |
| $\omega$                             | Góc cận điểm   |
| $\delta i$                           | khoảng lệch 0,3 nửa chu kỳ ( $\approx 54^\circ$ )          |
| $\Omega_0$                           | Độ kinh (góc giờ) của điểm mọc tại thời điểm tính tuần lặp |
| $\dot{\Omega}$ (hay $\Omega_{dot}$ ) | tốc độ thay đổi của $\Omega$                               |
| $a_0$                                | độ trễ pha đồng hồ   |
| $a_1$                                | độ trễ tần số đồng hồ                                      |

Để chuyển đổi các tham số Kepler về thời điểm quan sát chúng ta sử dụng các công thức sau:

$$\begin{aligned} M &= M_0 + n(t - t_a) \\ i &= 54^\circ + \delta i \\ \Omega &= \Omega_0 + \dot{\Omega}(t - t_a) - \omega_E(t - t_0) \end{aligned} \quad (4.2.1)$$

trong đó  $\omega_E = 7292115.1467.10^{-11}$  rads $^{-1}$ . là tốc độ góc của Trái đất. Còn 3 tham số Keple còn lại (a,e, $\omega$ ) được lấy là không đổi.

Trong công thức tính  $\Omega$  (4.2.1), thành phần thứ hai bên vế phải thể hiện sự thay đổi góc giờ của điểm mọc, còn số hạng thứ 3 là thay đổi đều theo giờ sao tính từ thời điểm bắt đầu tuần lặp GPS hiện thời  $t_0$ .

Số hiệu chỉnh cho đồng hồ vệ tinh được tính gần đúng theo công thức sau:

$$\delta^S = a_0 + a_1(t - t_a) \quad (4.2.2)$$

#### 4.2.3.2. Lịch vệ tinh quảng bá

Cùng với thông tin đạo hàng, mỗi vệ tinh GPS theo chu kỳ phát đi lịch vệ tinh quảng bá của chính vệ tinh đó, trong đó gồm 16 tham số quỹ đạo vệ tinh (bảng 4.5). Các tham số này được đoạn điều khiển tính toán, xác định, chuyển lên vệ tinh rồi từ vệ tinh phát xuống máy thu (của đoạn sử dụng). Thực chất, lịch vệ tinh quảng bá bao gồm 6 tham số mô tả quỹ đạo elip Kepler tròn tru vào thời điểm nào đó và thêm vào một số giá trị và số hiệu chỉnh mang tính chu kỳ. Các tham số này được cập nhật liên tục, khoảng 2 giờ một lần. Trạm điều khiển trung tâm (MCS) thực hiện việc tính toán ephemeris và gửi tới các vệ tinh thông qua các trạm điều khiển. Trong khoảng gần nhất các số liệu này đã được sử dụng để tính ra quỹ đạo hiện thời của các vệ tinh. Các số liệu quan sát bổ sung cũng được tham gia cùng với phép lọc Kalman để chính xác hóa số liệu quỹ đạo ngoại suy. Trong các công trình nghiên cứu của Remondi và Hofmann Wellenhof (1989), cho thấy các số liệu quỹ đạo có độ chính xác cỡ 5 m nhờ cập nhật mỗi ngày 3 lần. Nếu như chỉ cập nhật 1 lần trong ngày thì chắc chắn độ chính xác chỉ đạt cỡ 10 m [8].

Máy thu nhận được lịch vệ tinh quảng bá trong thông tin đạo hàng, nhờ đó sẽ xác định tức thời vị trí các vệ tinh (tọa độ X,Y,Z của vệ tinh) và tốc độ của các vệ tinh trong hệ toạ độ WGS-84. Lịch vệ tinh quảng bá được sử dụng rộng rãi trong các công tác định vị, đo đạc thông thường.

Bảng 4.5. Các tham số quỹ đạo vệ tinh trong lịch vệ tinh quảng bá

| Các tham số                                     | Giải thích   |
|---|--|
| $t_{oe}$  | thời điểm quy chiếu của ephemeris (thời điểm lịch)                         |
| $\sqrt{a}, e, M_0$<br>$\omega_0, i_0, \Omega_0$ | Các tham số Kepler   |
| $\Delta n$                                      | Hiệu khoảng cách góc trung bình tính theo lịch chính xác và lịch tham khảo |
| $i$ (hoặc Idot)                                 | Tốc độ của góc nghiêng   |
| $\dot{\Omega}$ (hoặc $\Omega$ dot)              | Tốc độ của góc giờ điểm mọc  |
| $C_{U,C}, C_{U,S}$                              | Các hệ số hiệu chỉnh cho tham số của cận điểm                              |
| $C_{r,C}, C_{r,S}$                              | Các hệ số hiệu chỉnh cho khoảng cách địa tâm                               |
| $C_{i,C}, C_{i,S}$                              | Các hệ số hiệu chỉnh cho góc nghiêng quỹ đạo                               |

Hiện tượng chuyển động nhiễu do hình thể Trái đất không hoàn toàn tròn xoay, do thuỷ triều và do bức xạ Mặt trời được xem xét tới nhờ các hệ số hiệu chỉnh 3 dòng cuối bảng 4.5.

#### 4.2.3.3. Lịch vệ tinh chính xác.

Lịch vệ tinh GPS chính xác được lập dựa trên cơ sở các số liệu quan trắc trong mạng lưới giám sát và được tính toán nhờ một số tổ chức khoa học. Các kết quả có thể sử dụng cho một số ngày (từ 4 đến 14 ngày) sau khi thu thập được các số liệu và tính toán vị trí của các vệ tinh và tốc độ ở các thời điểm lịch cách đều (thường là 15 phút). Cục đo đạc quốc gia Hoa Kỳ (NGS) là cơ quan chịu trách nhiệm quản lý và cung cấp lịch vệ tinh chính xác. Số liệu lịch VT chính xác bao gồm các thông tin chung như tần suất thời gian, dạng quỹ đạo vv... Các số liệu này được mô tả với riêng từng vệ tinh và biểu thị véc tơ vị trí  $\rho$ (km) cùng với vectơ tốc độ  $\rho$ (km.s<sup>-1</sup>).

Để có được số liệu cho việc lập lịch chính xác, Cục đo đạc Quốc gia Hoa Kỳ (NGS) đã phối hợp với Hiệp hội lưới GPS quốc tế (CIGNET) và IGS thu nhận các kết quả quan trắc bằng máy thu 2 tần số của các trạm thường trực trên toàn cầu. Quỹ đạo vệ tinh được tính toán trong hệ quốc tế IERS có giá trị xấp xỉ với WGS-84. Cơ quan NGS cung cấp các số liệu này tới người dùng dưới dạng các tệp ASCII và nhị phân. Các thông tin này được mã hoá để thuận tiện cho việc chuyển thông tin trong mạng điện tử Internet (thường là dạng SP3). Có thể nhận được lịch vệ tinh chính xác từ một số địa chỉ Website như: [http://igs.ifag.de/root\\_ftp/IGS/products/orbits](http://igs.ifag.de/root_ftp/IGS/products/orbits) hoặc [http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods\\_cb.html](http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html) vv...

Các véc tơ vị trí và tốc độ vệ tinh giữa hai thời điểm nào đó được nội suy theo hàm đa thức Lagrange [8]. Công thức nội suy Lagrange như sau:

Nếu cho dãy giá trị quan trắc vào các thời điểm  $t_i$  ( $i=0,1\dots n$ ), chúng ta đã nhận được các giá trị tương ứng của hàm là  $f(t_j)$ , khi đó ta tính:

$$\ell_j(t) = \frac{(t-t_0)(t-t_1)\dots(t-t_{j-1})(t-t_{j+1})\dots(t-t_n)}{(t_j-t_0)(t_j-t_1)\dots(t_j-t_{j-1})(t_j-t_{j+1})\dots(t_j-t_n)} \quad (4.2.3)$$

Hàm nội suy giá trị ứng với thời điểm  $t$  sẽ là:

$$f(t) = \sum_{j=0}^n f(t_j) \ell_j(t) \quad (4.2.4)$$

Thí dụ: Có dãy giá trị hàm  $f$  là:

$$f = [f(t_j)] = [13, 17, 85]^T$$

xác định trong thời điểm  $t_j$  như sau:

$$t = [t_j] = [-3, 1, 5]^T$$

Với những giá trị trên chúng ta sẽ nội suy theo đa thức bậc 2 như sau:

$$\begin{aligned}\ell_0(t) &= \frac{(t-t_1)(t-t_2)}{(t_0-t_1)(t_0-t_2)} = \frac{1}{32}(t^2 - 6t + 5) \\ \ell_1(t) &= \frac{(t-t_0)(t-t_2)}{(t_1-t_0)(t_1-t_2)} = -\frac{1}{16}(t^2 - 2t - 15) \\ \ell_2(t) &= \frac{(t-t_0)(t-t_1)}{(t_2-t_0)(t_2-t_1)} = \frac{1}{32}(t^2 + 2t - 3)\end{aligned}$$

Theo (4.2.4) chúng ta nhận được đa thức nội suy là:

$$f(t) = 2t^2 + 5t + 10 \quad (4.2.5)$$

Nếu giá trị  $t=4$  ta có  $f(t)=62$ .

Theo kết quả nghiên cứu , khi số liệu quan trắc kéo dài với tần suất 30 phút và đủ để nội suy hàm đa thức bậc 9, thì có thể đạt độ chính xác cỡ  $10^{-8}$ . Nếu tần suất quan trắc là 40 phút và đủ để nội suy theo đa thức bậc 17 thì có thể đạt độ chính xác tới mm tức là đạt tới  $10^{-10}$ .

Lịch vệ tinh chính xác có 2 loại, loại cung cấp sau 48 giờ đạt độ chính xác  $\pm 10$  cm, còn loại cung cấp sau 2 tuần đạt độ chính xác  $\pm 5$  cm. Hiện nay, Mỹ có khả năng cung cấp lịch vệ tinh chính xác tức thời phục vụ cho định vị tuyệt đối chính xác cao PPP [22,23].

Với các cạnh dài, khi sử dụng ephemeris chính xác để xử lý sẽ cho kết quả tốt hơn sử dụng ephemeris quảng bá.

#### 4.2.3.4. Tính toạ độ vệ tinh GPS từ tệp Rinex

##### 1. Tệp RINEX

Rinex (*Receiver INdependence EXchange format*) là các tệp số liệu đo GPS đã được chuẩn hoá về dạng ASCII, không phụ thuộc và chủng loại máy thu. Các phần mềm xử lý số liệu của các hãng chế tạo máy thu GPS khác nhau đều có chức năng chuyển đổi số liệu đo sang dạng Rinex (*Convert to Rinex*).

Số liệu đo dạng Rinex thường có thể là 2 tệp và cũng có thể là 3 tệp.

Nếu xuất ra 2 tệp, sẽ là tệp \*.NAV và \*.OBS

Nếu xuất ra 3 tệp sẽ là tệp \*.NAV, tệp \*.OBS và tệp \*.MET

Tệp \*.NAV bao gồm các thông tin về vệ tinh, các yếu tố quỹ đạo của các vệ tinh quan sát được. Nội dung của tệp \*.NAV của các máy thu cùng ca đo thường như nhau.

Sau đây là đoạn đầu tệp đạo hàng (NAV) dạng RINEX: (đo bằng máy thu Trimble R-3 vào ngày 16 tháng 1 năm 2007, lúc 10 giờ GPS)

```

2.10      NAVIGATION DATA   G (GPS)        RINEX VERSION / TYPE
DAT2RINW 3.10 001 DAI HOC MO   26MAY08 22:58:12 PGM / RUN BY / DATE
                                         COMMENT
.7451D-08 -.1490D-07 -.5960D-07 .1192D-06      ION ALPHA
.8806D+05 -.4915D+05 -.1966D+06 .3277D+06      ION BETA
.150990331349D-13 .372529029846D-08 405504 1410  DELTA-UTC: A0,A1,T,W
14          LEAP SECONDS
                                         END OF HEADER
2 07 1 16 10 0 0.0 .737598165870D-04 .341060513165D-11 .0000000000000D+00
.500000000000D+02 .438125000000D+02 .458411951841D-08 .311934151161D+00
.220350921154D-05 .885812798515D-02 .981427729130D-05 .515376961136D+04
.208800000000D+06 .912696123123D-07 .244934549899D+01 -.171363353729D-06
.947687075611D+00 .189093750000D+03 .219426103635D+01 -.802140555231D-08
-.519664503255D-09 .100000000000D+01 .141000000000D+04 .000000000000D+00
.240000000000D+01 .000000000000D+00 -.172294676304D-07 .500000000000D+02
.201618000000D+06 .400000000000D+01

```

Số liệu tệp đạo hàng NAV được giải thích như sau:

Các tham số ở đầu tệp đạo hàng:

$\alpha_0(s)$     $\alpha_1(s/rad)$     $\alpha_2(s/rad^2)$     $\alpha_3(s/rad^3)$  là các hệ số alpha (tầng ion)

$\beta_0(s)$     $\beta_1(s/rad)$     $\beta_2(s/rad^2)$     $\beta_3(s/rad^3)$  là các hệ số beta (tầng ion)

$A_0(s)$     $A_1(s/s)$     $Tot(s)$     $WN(tuanle)$

$\Delta tLS(s)$

Các tham số đối với từng vệ tinh:

prn yy mm dd hh mm sec    $a_0(s)$     $a_1(s/s)$     $a_2(s/s^2)$

IODE (s)                    Crs(m)                     $\Delta n(rad/s)$                     Mo(rad)

|                           |                      |                        |                                  |
|---------------------------|----------------------|------------------------|----------------------------------|
| $C_{uc}(\text{rad})$      | $e$                  | $C_{us}(\text{rad})$   | $\frac{1}{a^2}(m^{\frac{1}{2}})$ |
| $t_{oe}^w$ (s)            | $C_{ic}(\text{rad})$ | $\Omega_0(\text{rad})$ | $C_{is}(\text{rad})$             |
| $i_0(\text{rad})$         | $C_{rc}(\text{m})$   | $\omega_0(\text{rad})$ | $\Omega_{dot}(\text{rad / s})$   |
| $i_{dot}(\text{rad / s})$ | Code on L2           | WN(tuần)               | L2 P data flag                   |
| SV accuracy(m)            | SV Health            | $T_{DG}(\text{s})$     | IODC(s)                          |
| Thời điểm phát(s)         | dự phòng             | dự phòng               | dự phòng                         |

Tệp \*.OBS bao gồm các thông tin về trị đo như:

L1, C1 (P1) có thể có D1 (đối với máy thu 1 tần số)

L1, L2, C1, (P1), P2 và có thể có D1, D2 (đối với máy thu 2 tần số)

trong đó P1 thường cung cấp hạn chế còn D1 D2 là các trị đo Doppler.

Sau đây là một đoạn số liệu của tệp \*.OBS đo bằng máy thu một tần số GeoExplorer-3 lúc 9h 52 phút 35 giây ngày 30 tháng 5 năm 2005.

|                         |                            |           |
|-------------------------|----------------------------|-----------|
| 05 5 30 9 52 35.0000000 | 0 7 1 14 15 18 22 25 30    |           |
| 23015398.595            | 84644.93017                | -2299.497 |
| 21718284.903            | 118700.22717               | -3208.931 |
| 23549853.319            | 252669.97713               | -6878.179 |
| 22263206.616            | 240379.36716               | -6551.353 |
| 20553542.956            | 166846.58216               | -4645.581 |
| 21506860.955            | 119889.02319               | -3336.958 |
| 21334860.762            | 162299.09019               | -4520.576 |
| 05 5 30 9 52 40.0000000 | 0 8 1 14 15 16 18 22 25 30 |           |
| 23017586.475            | 96141.2117                 | -2298.330 |
| 21721338.402            | 134744.8877                | -3208.360 |
| 23556397.803            | 287059.9963                | -6877.192 |
| 24947150.715            | 8384.76212                 | -185.000  |
| 22269440.637            | 273140.5477                | -6552.651 |
| 20557964.425            | 190081.1376                | -4647.739 |
| 21510036.566            | 136577.6297                | -3337.876 |
| 21339163.128            | 184909.8169                | -4523.096 |
| 05 5 30 9 52 45.0000000 | 0 8 1 14 15 16 18 22 25 30 |           |
| 23019773.743            | 107634.7546                | -2298.872 |
| 21724391.710            | 150789.4657                | -3209.272 |
| 23562942.187            | 321447.9063                | -6877.730 |
| 24947327.953            | 9310.7382                  | -185.308  |
| 22275676.668            | 305910.9267                | -6555.327 |
| 20562388.190            | 213328.9576                | -4651.191 |
| 21513213.604            | 153273.7237                | -3340.396 |
| 21343468.517            | 207535.5789                | -4526.938 |

Trong đoạn số liệu trên, cột thứ nhất là trị đo khoảng cách giả theo C/A code (C1), cột thứ hai là trị đo pha sóng tải (L1) và cột thứ ba là trị đo Doppler (D1).

Tệp \*.MET là tệp thông báo yếu tố khí tượng.

## 2. Tính toạ độ vệ tinh từ tệp RINEX

Chỉ cần sử dụng tệp \*NAV trong các tệp của RINEX là có thể tính được toạ độ vệ tinh tại bất kỳ thời điểm nào. Nếu thời điểm tính không quá xa thời điểm lịch (khoảng 1 giờ) thì kết quả cho độ chính xác tốt. Thường là tính toạ độ vệ tinh vào thời điểm quan sát t (t được cho

trong tệp trị đo \*.OBS). Tính toạ độ vệ tinh là bước quan trọng đầu tiên trong bài toán định vị tuyệt đối và cả trong bài toán định vị tương đối. Toạ độ vệ tinh tại thời điểm  $t$  được tính theo các bước sau:

1. Tính khoảng cách góc trung bình:

$$M(t_k) = M_0 + (n_0 + \Delta n) \cdot t_k \quad (4.2.6)$$

$$\text{với: } t_k = t - t_{oe} - \Delta t_{SV} \quad (4.2.7)$$

$$\Delta t_{SV} = a_0 + a_1(t - t_{oe}) + a_2(t - t_{oe})^2 - T_{DG}$$

Trong đó  $T_{DG}$  là độ trễ thời gian do thay đổi tốc độ nhóm của sóng tải, khi tín hiệu phát đi từ vệ tinh chuyển động trên quỹ đạo [16].

Với tần số L1:  $\Delta t_{SV} = \Delta t_{SV} - T_{DG}$

Với tần số L2:  $\Delta t_{SV} = \Delta t_{SV} - \gamma T_{DG}$

$$\text{trong đó: } \gamma = \left( \frac{f_{L1}}{f_{L2}} \right)^2 = \left( \frac{77}{60} \right)^2$$

Nếu  $t_k > 302400s$  thì  $t_k = t_k - 604800s$

Nếu  $t_k < -302400s$  thì  $t_k = t_k + 604800s$

$n_0 = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}}$  là vận tốc góc trung bình của vệ tinh

$a = (\sqrt{a})^2$  là bán trục lớn của quỹ đạo

2. Tính khoảng cách góc tâm sai:

$$E(t_k) = M(t_k) + e \cdot \sin E(t_k) \quad (4.2.8)$$

Để tính  $E(t_k)$  cần áp dụng phương pháp tính lặp, nhích dần

Công thức tính lặp nhích dần như sau:

$$E(t_k)_i = M(t_k) + e \cdot \sin E(t_k)_{(i-1)} \quad (4.2.9)$$

$$\text{với giá trị đầu tiên } E(t_k)_0 = M(t_k) \quad (4.2.10)$$

Nếu giá trị  $E(t_k)$  tính được theo (4.2.9) có giá trị âm ( $< 0$ ) thì cộng với  $2\pi$

Sau khi có  $E(t_k)$ , tính số hiệu chỉnh vào đồng hồ vệ tinh do thuyết tương đối theo công thức :

$$\delta^{rel} = F \cdot e \cdot \sqrt{a} \cdot \sin E(t_k) \quad (4.2.11)$$

$$\text{trong đó } F = -\frac{2\sqrt{\mu}}{c^2} = -4,442807633 * 10^{-10} s / \sqrt{m}$$

$$\text{Tính: } \bar{t}_k = t_k + \delta^{rel}$$

3. Tính khoảng cách góc thực:

$$v(t_k) = 2 \arctan \left[ \frac{\sqrt{1+e}}{\sqrt{1-e}} \tan \frac{E(t_k)}{2} \right] \quad (4.2.12)$$

4. Tính các tham số hiện thời:

$$\mathbf{u} = \mathbf{v}(t_k) + \omega_0 \quad (4.2.13)$$

$$\Phi = \mathbf{u} + C_{U,C} \cos(2\mathbf{u}) + C_{U,S} \sin(2\mathbf{u}) \quad (4.2.14)$$

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + C_{r,C} \cos(2\mathbf{u}) + C_{r,S} \sin(2\mathbf{u}) \quad (4.2.15)$$

$$\mathbf{i} = \mathbf{i}_0 + C_{i,C} \cos(2\mathbf{u}) + C_{i,S} \sin(2\mathbf{u}) + i_{dot} \cdot t_k \quad (4.2.16)$$

trong đó:  $r_0 = a[1 - e \cdot \cos E(t_k)]$

5. Tính toạ độ vệ tinh trên mặt phẳng quỹ đạo

$$x_s = \mathbf{r} \cdot \cos \Phi \quad (4.2.17)$$

$$y_s = \mathbf{r} \cdot \sin \Phi$$

6. Tính toạ độ vệ tinh trong hệ toạ độ Trái đất WGS-84

$$X_s = x_s \cos \Omega - y_s \cos i \cdot \sin \Omega$$

$$Y_s = x_s \cdot \sin \Omega + y_s \cdot \cos i \cdot \cos \Omega \quad (4.2.18)$$

$$Z_s = y_s \cdot \sin i$$

trong đó độ kinh điểm mọc  $\Omega$  được tính:

$$\Omega = \Omega_0 + (\Omega_{dot} - \omega_E) t_k - \omega_E t_{oe}^w \quad (4.2.19)$$

$t_{oe}^w$  thời điểm lịch theo tuân lẽ hiện thời

$$\omega_E = 7,2921151467 * 10^{-5} rad/s;$$

Hệ thống công thức và các bước tính trên cho phép chúng ta tính được toạ độ vệ tinh trên quỹ đạo theo lịch vệ tinh quảng bá.

### 3. **Thí dụ tính toạ độ vệ tinh**

Số liệu RINEX cho ở trên là các tham số của vệ tinh số 2 (PRN2). Theo số liệu đó tính toạ độ vệ tinh tại thời điểm 8giờ 12phút 20 giây:

$$t=8h 12m 20s = 29540 s$$

$$t_{oe}=10h 00 00s = 36000 s$$

$$t_k=t-t_{oe}=-6460 s,$$

$$\text{Với: } a_0=.737598165870D-04$$

$$a_1=.341060513165D-11$$

$$a_2=0$$

$$T_{DG}=-.172294676304D -07$$

Tính được:

$$\Delta t_{sv} = a_0 + a_1(t_k) + a_2(t_k^2) - T_{DG} = 0,0000737550$$

$$t_k = -6460.0000737550$$

Bán trục lớn quỹ đạo:  $a = 26561341,207m$

Tốc độ góc trung bình:  $n_0 = 0,00014584580rad / s$

Theo công thức (4.2.6) tính được khoảng cách góc trung bình:

$$M(t_k) = -0,63025932217rad$$

Theo công thức (4.2.8) bằng phương pháp tính lặp (khoảng 6-7 lần) được khoảng cách góc tâm sai:  $E(t_k) = -0,63551745399 \text{ rad}$

Vì  $E(t_k)$  có giá trị âm ( $<0$ ) nên ta cộng với  $2\pi$ , kết quả là:

$$E(t_k) = 5,6476678532 \text{ rad} = 323^035'15''.1154866263$$

Số hiệu chỉnh vào đồng hồ vệ tinh do thuyết tương đối:

$$\delta^{rel} = -0,0000000121s$$

Theo công thức (4.2.12) tính được khoảng cách góc thực:

$$v(t_k) = 5,6423908208 \text{ rad} = 323^017'06'',6494309995$$

Tính góc cận điểm u (Đối số độ kinh)

$$u = v(t_k) + \omega_0 = 7,8366518572 \text{ rad}$$

Các số hiệu chỉnh

$$\delta u_k = C_{U,C} \cos(2u) + C_{U,S} \sin(2u) = -0,0000018621 \text{ rad}$$

$$\delta r_k = C_{r,C} \cos(2u) + C_{r,S} \sin(2u) = -187,462m$$

$$\delta \alpha_k = C_{i,C} \cos(2u) + C_{i,S} \sin(2u) = -0,0000000972 \text{ rad}$$

Giá trị sau hiệu chỉnh:

$$\Phi = u + \delta u_k = 7,8366499951 \text{ rad}$$

$$r = r_0 + \delta r_k = 26371805,693m$$

$$i = i_0 + \delta \alpha_k + i_{dot} \bar{t}_k = 0,9476903355 \text{ rad}$$

Tính toạ độ vệ tinh trên mặt phẳng

$$x'_s = r \cdot \cos \Phi = 457043,731m$$

$$y_s = r \cdot \sin \Phi = 26367844,936m$$

Tính độ kinh điểm mọc:

$$\Omega = \Omega_0 + (\Omega_{dot} - \omega_E) t_k - \omega_E t_{oe}^w = -12,3054684651 \text{ rad}$$

Tính toạ độ vệ tinh trong hệ toạ độ trái đất WGS-84

$$X_s = x'_s \cos \Omega - y'_s \cos i \cdot \sin \Omega = -3527593,722m$$

$$Y_s = x'_s \cdot \sin \Omega + y'_s \cdot \cos i \cdot \cos \Omega = 14984381,993$$

$$Z_s = y'_s \cdot \sin i = 21412531,713m$$

### 4.3. TRI ĐO KHOẢNG CÁCH GIẢ

#### 4.3.1. Nguyên tắc đo khoảng cách giả theo tín hiệu code

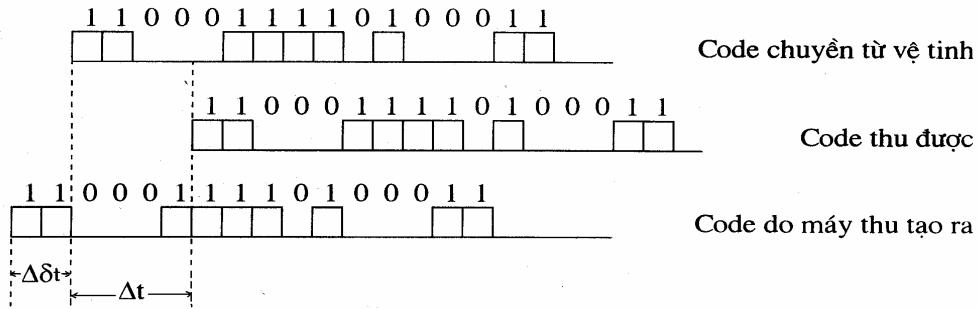
Giả sử đồng hồ trên vệ tinh và đồng hồ máy thu hoạt động đúng theo hệ thống giờ GPS, và chưa xét đến các nguồn sai số do môi trường lan truyền tín hiệu thì khoảng cách (hình học) từ vệ tinh j đến máy thu i tại thời điểm  $t = t^j$  sẽ được xác định theo công thức:

$$\rho_i^j(t) = c(t_i - t^j) = c \cdot \Delta t \quad (4.3.1)$$

trong đó  $t^j, t_i$  là thời điểm vệ tinh phát tín hiệu và máy thu nhận tín hiệu trong hệ thống giờ GPS.

Nguyên tắc đo khoảng cách theo (4.3.1) là phương pháp đo khoảng cách một chiều (*one-way ranging*), khác với các nguyên tắc đo khoảng cách 2 chiều của các máy đo khoảng cách điện tử, hay đo khoảng cách bằng radar.

Dựa vào code tựa ngẫu nhiên C/A code hoặc P code và bằng phương pháp phân tích tương quan code sẽ xác định được khoảng thời gian lan truyền tín hiệu từ vệ tinh đến máy thu (hình 4.15).



Hình 4.15. Xác định hiệu số giữa các thời điểm

Trên thực tế không thể thực hiện việc so sánh code nhận được với code tạo ra trên vệ tinh mà chỉ có thể thực hiện được trong máy thu giữa tín hiệu code nhận được và tín hiệu do máy thu tạo ra (bản sao của code vệ tinh). Trong trường hợp này code do máy thu tạo ra không đồng bộ với code trên vệ tinh do sự không đồng bộ của đồng hồ vệ tinh và đồng hồ máy thu. Ký hiệu  $\Delta\delta(t)$  là sai lệch thời gian hay đại lượng không đồng bộ thời gian giữa vệ tinh và máy thu tại thời điểm  $t$ .

$$\Delta\delta(t) = \delta_i(t) - \delta^j(t) \quad (4.3.2)$$

trong đó  $\delta_i(t)$  là sai lệch thời gian của đồng hồ máy thu,  $\delta^j(t)$  là sai lệch thời gian của đồng hồ vệ tinh.

Khoảng cách đo được luôn chứa thêm sai số do  $\Delta\delta(t)$ , tức là :

$$R_i^j(t) = c(t_i - t^j) + c.\Delta\delta(t) \quad (4.3.3)$$

$$\text{hay } R_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c.\delta_i(t) - c.\delta^j(t) \quad (4.3.4)$$

Trị đo  $R_i^j(t)$  trong phương trình (4.3.4) được gọi là **khoảng cách giả** (*pseudorange*). Nếu sai lệch đồng hồ vệ tinh và máy thu cỡ  $10^{-4}$  s thì khoảng cách giả  $R_i^j(t)$  sai khác với khoảng cách hình học  $\rho_i^j(t)$  cỡ  $3.10^4$  m (30000m). Sai lệch trên khá lớn, song trong quy trình xử lý số liệu người ta đã có biện pháp để loại bỏ và giảm thiểu ảnh hưởng của sai số đồng hồ máy thu và đồng hồ vệ tinh.

Như đã biết, C/A code lặp lại sau mỗi mili giây tương ứng với 300 km. Khoảng cách từ vệ tinh đến máy thu khoảng 20200 km bởi vậy các khoảng cách giả C/A code là đa trị. Dù sao đi nữa giá trị đa trị này vẫn có thể xác định được trong khoảng thời gian vệ tinh mới xuất hiện nhờ phép xử lý gần đúng toạ độ vị trí máy thu (sai cỡ vài trăm km).

Độ sai lệch của đồng hồ vệ tinh  $\delta^j(t)$  trong (4.3.4) được mô hình hoá theo hàm đa thức bậc hai nhờ các hệ số  $a_0, a_1, a_2$  chuyển từ vệ tinh lưu trong đoạn (*subframe*) đầu tiên của khung thông tin đạo hàng.

Khoảng cách  $\rho$  được tính dựa trên thời gian thực tế lan truyền tín hiệu đó là khoảng cách hình học giữa vị trí vệ tinh ở thời điểm  $t^j$  và vị trí máy thu ở thời điểm  $t_i$ . Như vậy có thể biểu diễn  $\rho$  là hàm số của hiệu số hai thời điểm  $t^j$  và  $t_i$  và thường được khai triển theo chuỗi Taylor đến số hạng bậc nhất tại thời điểm vệ tinh phát tín hiệu  $t = t^j$ :

$$\rho = \rho(t^j, t_i) = \rho(t^j, (t^j + \Delta t)) = \rho(t^j, t^j) + \dot{\rho}(t^j, t^j) \Delta t \quad (4.3.5)$$

trong đó :  $\Delta t$  là khoảng thời gian lan truyền tín hiệu từ vệ tinh đến máy thu,

$\dot{\rho}$  là đạo hàm của  $\rho$ , chính là **tốc độ bán kính vectơ địa diện** giữa vệ tinh và vị trí anten máy thu. Giá trị này có thể nhận được qua trị đo Doppler hoặc dựa trên các khoảng cách giả đo được ở những thời điểm xác định.

Mọi thời điểm trong phương trình (4.3.5) xác định trong hệ thống giờ GPS.

Tốc độ bán kính vectơ lớn nhất của vệ tinh GPS trong trường hợp máy thu đứng yên là  $\dot{\rho} \approx 0,9 \text{ km/s}$ , và khoảng thời gian tín hiệu lan truyền là khoảng 0,07s. Số hiệu chỉnh trong phương trình (4.3.5) có giá trị lớn nhất khoảng 60m.

Độ chính xác của khoảng cách giả theo code phụ thuộc vào các trị đo code và thông thường là khoảng 1% độ dài chip. Như vậy độ chính xác đo khoảng cách đạt được trong khoảng 3m nếu sử dụng C/A code và khoảng 0,3m nếu sử dụng P-code. Gần đây, nhờ tiến bộ trong kỹ thuật, người ta có thể đạt độ chính xác cỡ 0,1% độ dài chip.

Các trị đo khoảng cách giả theo code chủ yếu được sử dụng trong định vị tuyệt đối, tuy nhiên nó chịu ảnh hưởng khá lớn của nhiễu cối ý khi phía Mỹ thực thi chính sách SA và ảnh hưởng của môi trường lan truyền tín hiệu.

Số liệu đo sau khi chuyển về dạng Rinex, sẽ có tệp số liệu dạng ASCII \*.OBS. Trong đó có các trị đo khoảng cách giả theo C/A code nếu là máy 1 tần và có cả các trị đo khoảng cách giả theo các code chính xác P là P1 và P2 nếu là máy 2 tần.

Sau đây là một đoạn số liệu của tệp \*.OBS đo bằng máy thu một tần số TRIMBLE 4600LS bắt đầu thu tín hiệu lúc 7h 23 phút 30 giây ngày 15 tháng 10 năm 2006, tần suất ghi tín hiệu là 15s. Trong đoạn số liệu này, có 6 vệ tinh được quan sát là 8,11,13,19,27 và 28.

|  |
|--|
| 6 10 15 7 23 30.0000000 0 6 8 11 13 19 27 28 |
| -19868.76317 21876209.80507                  |
| 58071.39517 20422675.06307                   |
| 218270.98516 22904881.94506                  |
| 223519.11617 22519300.22707                  |
| 38098.62317 20725486.09407                   |
| 31054.52516 24160067.44506                   |
| 6 10 15 7 23 45.0000000 0 6 8 11 13 19 27 28 |
| -26819.48407 21874887.21107                  |
| 78320.45407 20426528.50007                   |
| 294576.78906 22919402.33606                  |

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| 301610.03707            | 22534160.18807       |
| 51497.30107             | 20728035.71107       |
| 42614.88806             | 24162267.23406       |
| 6 10 15 7 24 0.0000000  | 0 6 8 11 13 19 27 28 |
| -33787.86007            | 21873560.93007       |
| 98611.73607             | 20430389.78107       |
| 370825.96206            | 22933912.35206       |
| 379629.54007            | 22549007.00807       |
| 64918.97707             | 20730589.71107       |
| 54062.28106             | 24164445.83606       |
| 6 10 15 7 24 15.0000000 | 0 6 8 11 13 19 27 28 |
| -40773.13107            | 21872231.68007       |
| 118945.65007            | 20434259.19507       |
| 447018.41306            | 22948410.94506       |
| 457577.50007            | 22563839.87507       |
| 78364.20107             | 20733148.40607       |
| 65396.84306             | 24166602.23406       |

Trong đoạn số liệu trên, cột thứ nhất là trị đo pha sóng tảng (L1), cột thứ hai là trị đo khoảng cách giả (C1) của các vệ tinh theo thứ tự đã thông báo ở dòng đầu của mỗi thời điểm đo.

#### 4.3.2. Nguyên tắc đo khoảng cách giả theo pha sóng tảng

Quan trắc pha được thực hiện dựa trên sự khác nhau giữa pha tín hiệu vệ tinh nhận được và pha tạo ra bởi máy thu trong các thời điểm đo t. Trong trị đo pha chứa 2 đại lượng quan trọng: thứ nhất là số nguyên lần bước sóng tảng chưa xác định ( $L_1 \approx 19$  cm,  $L_2 \approx 24$  cm), còn gọi là số nguyên đa trị (*Integer Ambiguities*), thứ hai là tích luỹ tần số Doppler, tương ứng với tổng các đại lượng Doppler cùng với việc đo phần thập phân (phần lẻ) của pha sóng tảng.

Chúng ta ký hiệu  $\varphi^S(t)$  là pha của sóng tảng của tín hiệu vệ tinh thu được, tạo lại ở tần số  $f^S$  và ký hiệu  $\varphi_R(t)$  là pha của sóng tảng sử dụng được tạo ra trong máy thu ở tần số  $f_R$ . Ở đây tham số t là thời điểm xác định trong hệ thống giờ GPS được tính từ thời điểm ban đầu  $t_0=0$ . Các phương trình pha được thể hiện như sau:

$$\varphi^S(t) = f^S \cdot t - f^S \cdot \frac{\rho(t)}{c} - \varphi_0^S \quad (4.3.6)$$

$$\varphi_R(t) = f_R \cdot t - \varphi_0^R \quad (4.3.7)$$

Trong đó  $\rho$  là khoảng cách hình học từ vệ tinh đến máy thu. c là vận tốc ánh sáng.

Các pha ban đầu  $\varphi_0^S, \varphi_0^R$  chịu ảnh hưởng của sai số đồng hồ do đó giá trị của chúng sẽ tương ứng là:

$$\varphi_0^S = f^S \cdot \delta^S \quad (4.3.8)$$

$$\varphi_0^R = f_R \cdot \delta_R \quad (4.3.9)$$

Hiệu pha  $\varphi_R^S(t)$  sẽ được xác định như sau:

$$\varphi_R^S(t) = \varphi^S(t) - \varphi_R(t) = -f^S \cdot \frac{\rho(t)}{c} - f^S \cdot \delta^S(t) + f_R \cdot \delta_R(t) + (f^S - f_R) \cdot t \quad (4.3.10)$$

Sự khác biệt giữa các tần số  $f^s$ ,  $f_R$  so với tần số chấp nhận (*nominal*)  $f$  chỉ là cỡ một vài phần khá nhỏ của Hz. Chúng ta biết rằng trong khoảng thời gian ngắn, độ ổn định của tần số đạt tới mức  $df/f = 10^{-12}$ . Như vậy nếu tần số chấp nhận là 1.5 GHz thì sai số của tần số chỉ là  $1.5 \cdot 10^{-3}$  Hz. Do đó sai số của tần số có thể bỏ qua do tín hiệu lan truyền từ vệ tinh đến máy thu chỉ trong khoảng 0,07s, trong trường hợp này sai số tần số trong hiệu pha có giá trị lớn nhất chỉ cỡ  $10^{-4}$  chu kỳ, tức là còn thấp hơn mức độ nhiễu. Sai số của các đồng hồ thường ở khoảng mili giây nên ảnh hưởng lớn hơn, cần phải xét đến. Như vậy phương trình (4.3.10) có thể viết ở dạng đơn giản:

$$\varphi_R^s(t) = -f \cdot \frac{\rho(t)}{c} + f \cdot \Delta\delta(t) \quad (4.3.11)$$

trong đó ta ký hiệu  $\Delta\delta(t) = \delta_R(t) - \delta^s(t)$ .

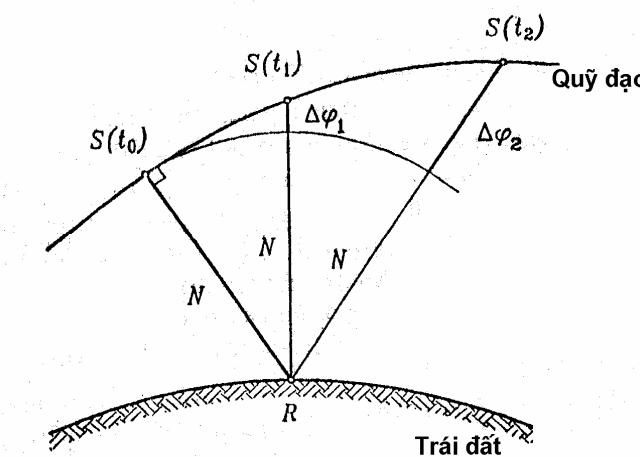
Nếu như trường hợp tần số bị thay đổi do thiết bị tạo tần số hoạt động không ổn định thì giá trị của nó sẽ được xác định theo mô hình toán, thí dụ như hàm đa thức, trong đó lượng hiệu chỉnh tần số của đồng hồ cùng với tần số bị trôi có thể xác định được.

Nhờ phép chuyển máy thu về thời điểm  $t_0$ , có thể đo được hiệu pha tức thời có giá trị rất nhỏ. Trong đó số nguyên đa trị ban đầu  $N$  của các chu kỳ giữa vệ tinh và máy thu là số chưa biết. Dù thế nào thì việc theo dõi cần phải thực hiện liên tục để không có hiện tượng mất khoá (*loss of lock*), khi đó giá trị số nguyên  $N$  sẽ được lưu lại và hiệu pha tại thời điểm  $t$  sẽ được biểu thị bởi biểu thức:

$$\varphi_R^s(t) = \Delta\varphi_R^s \left| \frac{t}{t_0} \right| + N \quad (4.3.12)$$

trong đó  $\Delta\varphi_R^s$  là hiệu pha (lẻ) đo được tại thời điểm  $t$  cộng thêm số nguyên lần chu kỳ xác định ở thời điểm  $t_0$ .

Ý nghĩa hình học của phương trình (4.3.12) được giải thích trên hình 4.16.



Hình 4.16 . Ý nghĩa hình học của khoảng cách pha

Trong hình (4.16),  $\Delta\phi_i$  ( $i=1,2\dots$ ) là dạng viết gọn của  $\Delta\phi_s^R \Big|_{t_0}^{t_i}$  và để đơn giản, pha lẻ ban đầu  $\Delta\phi_0$  lấy bằng 0.

Kết hợp các phương trình (4.3.12) và (4.3.11) đồng thời ký hiệu giá trị quan trắc âm là  $\Phi = -\Delta\phi_R^S$  sẽ cho ta phương trình cơ bản trong đo khoảng cách giả theo pha sóng tải như sau:

$$\varphi_R^S(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_R^S(t) + \frac{c}{\lambda} \Delta\delta(t) + N \quad (4.3.13)$$

trong đó  $\lambda$  là bước sóng tải,  $N$  là số nguyên đa trị.

Nhân phương trình trên với bước sóng  $\lambda$  và pha được tính bằng chu kỳ thì chúng ta sẽ nhận được khoảng cách có giá trị khác với khoảng cách giả theo code một số nguyên lần bước sóng. Khoảng cách  $\rho(t)$  trong phương trình là khoảng cách giữa vệ tinh tại thời điểm  $t$  khi phát và thời điểm  $t+\Delta t$  khi máy thu nhận được tín hiệu.

Pha sóng tải có thể được đo chính xác đến 0,01 chu kỳ, như vậy tương đương với độ chính xác cỡ vài mm.

Trong kỹ thuật đo pha có thể gặp trường hợp trượt chu kỳ (*Cycle Slip*) nếu tín hiệu truyền từ vệ tinh đến máy thu bị gián đoạn trong một khoảng ngắn thời gian do địa vật, cây... che chắn tín hiệu. Do trượt chu kỳ mà số nguyên đa trị  $N$  bị thay đổi đi một vài bước sóng, hoặc cũng có thể thay đổi nhiều bước sóng. Trong trường hợp như vậy người ta sử dụng sai phân bậc ba để phát hiện và hiệu chỉnh trượt chu kỳ.

#### 4.4. TRỊ ĐO PHA SÓNG TẢI

##### 4.4.1. Trị đo pha sóng tải

Như đã nói ở phần (4.3.2), trị đo pha sóng tải (*Carrier Phase*) từ vệ tinh  $j$  đến máy thu  $k$  tại thời điểm  $t$  trong hệ thống giờ GPS được thể hiện qua biểu thức:

$$\Phi_k^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_k^j(t) + f^j [\delta_k(t) - \delta^j(t)] + N_k^j \quad (4.4.1)$$

trong đó  $\rho_k^j(t)$  là khoảng cách hình học giữa vệ tinh  $j$  và máy thu  $k$  tại đúng thời gian  $t$

$\lambda$  là bước sóng tải (là  $\lambda_1, \lambda_2$  tương ứng với sóng tải L1,L2)

$f^j$  là tần số sóng tải (là  $f_1, f_2$  ứng với sóng tải L1,L2)

$\delta_k(t)$  là sai số đồng hồ máy thu

$\delta^j(t)$  là sai số đồng hồ vệ tinh

$N_k^j$  là số nguyên đa trị ở thời điểm thực hiện trị đo pha đầu tiên.

Với 2 tần số sóng tải L1,L2, có thể thực hiện các trị đo pha sóng tải ở hai tần là  $\Phi_1; \Phi_2$ . Trong biểu thức (4.4.1) chưa xét đến các nguồn sai số do tầng điện ly, tầng đối lưu, do đường dẫn vv...

Nếu xét tới các nguồn sai số trên, biểu thức trị đo pha sẽ là :

$$\Phi_k^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_k^j(t) + f^j [\delta_k(t) - \delta^j(t)] + N_k^j - \delta I_k^j(t) + \delta T_k^j(t) + \dots \quad (4.4.2)$$

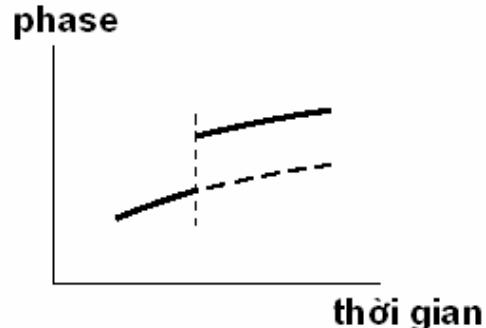
trong đó  $\delta I_k^j(t); \delta T_k^j(t)$  là sai số do ảnh hưởng của tầng điện ly và tầng đối lưu.

Trong (4.4.2) đã coi các nguồn sai số đó là thay đổi theo thời gian và không gian (phụ thuộc vào t và xét cho từng vệ tinh ...). Cần lưu ý rằng ảnh hưởng của tầng điện ly đến trị đo pha sóng tải cũng như đến trị đo khoảng cách giả phụ thuộc vào tần số f của sóng tải, còn ảnh hưởng của tầng đối lưu không phụ thuộc vào tần số sóng tải.

Trong biểu thức trị đo pha bao giờ cũng có thêm một ẩn số là số nguyên đa trị  $N_k^j$ , là số chẵn lẻ bước sóng chưa xác định, được coi là không đổi trong suốt thời gian đo pha. Để bảo đảm được yêu cầu này, máy thu phải liên tục theo dõi vệ tinh. Nếu vì một lý do nào đó, tín hiệu từ vệ tinh đến máy thu bị gián đoạn tạm thời, sẽ xảy ra hiện tượng trượt chu kỳ (Cycle Slips), mà thực chất là làm thay đổi số nguyên đa trị  $N_k^j$  trong trị đo pha. Hiện tượng trượt chu kỳ được thể hiện trên hình 4.17. Trượt chu kỳ có thể làm thay đổi 1 vài đơn vị (chu kỳ bước sóng), song cũng có thể làm thay đổi lớn tới hàng trăm, hàng ngàn đơn vị.

Với kỹ thuật đo pha hiện nay, có thể xác định chính xác tới cỡ 1% chu kỳ bước sóng tải, tức là đạt độ chính xác cỡ 2mm. (bước sóng  $\lambda \approx 20\text{cm}$ ). Trong tương lai, độ chính xác đo pha có thể còn được nâng cao hơn. Phương trình trị đo pha (4.4.1) hay (4.4.2) được gọi là các phương trình trị đo pha nguyên dạng hay trị đo pha chưa hiệu chỉnh hiệu số (*Undifferenced Carrier phase*). Mỗi thời điểm đo và ứng với mỗi vệ tinh sẽ nhận được trị đo pha L1 nếu là máy 1 tần và là L1, L2 nếu sử dụng máy 2 tần. Một đoạn tệp trị đo (\*.OBS) của máy thu 2 tần số Trimble 5700 như sau:

|      | L1            | C1  | L2             | P2  | D1            | # / TYPES OF OBSERV         |             |
|------|---------------|-----|----------------|-----|---------------|-----------------------------|-------------|
|      | 30.000        |     |                |     |               | INTERVAL                    |             |
| 2006 | 10            | 28  | 0              | 2   | 30.0000000    | TIME OF FIRST OBS           |             |
| 2006 | 10            | 28  | 23             | 59  | 0.0000000     | TIME OF LAST OBS            |             |
| 0    |               |     |                |     |               | RCV CLOCK OFFS APPL         |             |
| 29   |               |     |                |     |               | # OF SATELLITES             |             |
| 1    | 864           | 864 | 857            | 857 | 864           | PRN / # OF OBS              |             |
| 2    | 956           | 959 | 922            | 922 | 956           | PRN / # OF OBS              |             |
| .    | .             | .   | .              | .   | .             | .                           |             |
| 31   | 958           | 959 | 957            | 957 | 958           | PRN / # OF OBS              |             |
|      |               |     |                |     |               | END OF HEADER               |             |
| 06   | 10            | 28  | 0              | 3   | 0.0000000     | 0 9 1 6 7 14 16 22 25 30 31 |             |
|      | -286238.22306 |     | 21535285.26606 |     | -202150.64848 | 21535282.55948              | 3718.93700  |
|      | -191890.88706 |     | 23717997.17206 |     | -142878.28147 | 23717996.45347              | 2565.20800  |
|      | -328859.71506 |     | 23288520.29706 |     | -231629.77347 | 23288518.46947              | 4272.14200  |
|      | -133761.05106 |     | 21351210.57806 |     | -97209.05948  | 21351207.13748              | 1748.98200  |
|      | -379542.78907 |     | 21710794.84407 |     | -263675.09048 | 21710790.23448              | 4929.30400  |
|      | 83345.72306   |     | 22217542.04706 |     | 53139.52347   | 22217537.46947              | -1062.18800 |
|      | -130688.58207 |     | 21436113.85207 |     | -94894.27748  | 21436110.93048              | 1710.13300  |



Hình 4.17. Hiện tượng trượt chu kỳ  
trình trị đo pha (4.4.1) hay (4.4.2) được gọi là các phương trình trị đo pha nguyên dạng hay trị đo pha chưa hiệu chỉnh hiệu số (*Undifferenced Carrier phase*). Mỗi thời điểm đo và ứng với mỗi vệ tinh sẽ nhận được trị đo pha L1 nếu là máy 1 tần và là L1, L2 nếu sử dụng máy 2 tần. Một

|                             |                         |               |                |             |
|-----------------------------|-------------------------|---------------|----------------|-------------|
| 92110.01605                 | 23261426.29705          | 59385.98046   | 23261423.97346 | -1175.00100 |
| -106671.05907               | 21311544.60207          | -78697.76648  | 21311540.63348 | 1402.68100  |
| 06 10 28 0 3 30.0000000 0 9 | 1 6 7 14 16 22 25 30 31 |               |                |             |
| -397847.35507               | 21514046.79707          | -289118.80948 | 21514043.92248 | 3720.30400  |
| -268631.98406               | 23703394.46906          | -202676.57847 | 23703392.59047 | 2558.03700  |
| -457159.68006               | 23264105.71106          | -331603.79347 | 23264104.11347 | 4276.66500  |
| -186072.67606               | 21341256.07006          | -137971.38348 | 21341252.52748 | 1743.72100  |
| -527180.55907               | 21682699.89107          | -378717.51248 | 21682696.14148 | 4921.25900  |
| 115357.71106                | 22223633.52306          | 78083.87947   | 22223629.38347 | -1067.06600 |
| -182037.76207               | 21426342.48407          | -134906.65248 | 21426339.03548 | 1711.63900  |
| 127483.70705                | 23268157.88305          | 86949.82047   | 23268154.97747 | -1179.12300 |
| -148765.77007               | 21303534.40607          | -111498.86748 | 21303530.51248 | 1403.15700  |
| 06 10 28 0 4 0.0000000 0 9  | 1 6 7 14 16 22 25 30 31 |               |                |             |
| -509412.89107               | 21492816.32007          | -376053.00048 | 21492814.21948 | 3718.85100  |
| -345073.32005               | 23688848.13305          | -262241.24246 | 23688845.80546 | 2548.04500  |
| -585510.06306               | 23239680.79706          | -431617.07047 | 23239680.41447 | 4278.34600  |
| -238142.16006               | 21331347.60206          | -178545.03948 | 21331344.08648 | 1735.64900  |
| -674491.84407               | 21654667.38307          | -493505.51648 | 21654663.60948 | 4910.37600  |
| 147596.13706                | 22229768.18006          | 103204.69147  | 22229763.56647 | -1074.61400 |
| -233350.69906               | 21416577.43006          | -174890.78548 | 21416574.26648 | 1710.43100  |
| 163060.65605                | 23274928.20305          | 114672.03947  | 23274925.91047 | -1185.89800 |
| -190793.06307               | 21295536.82807          | -144247.45348 | 21295532.85948 | 1400.91000  |

Trong đó, các trị đo theo thứ tự cột từ trái qua phải như sau:

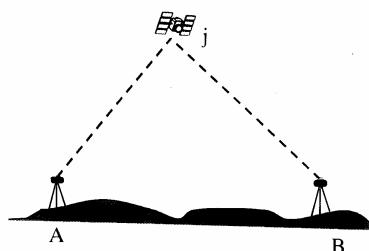
**Trị đo pha sóng tải L1, ký hiệu là L1**, trị đo khoảng cách giả C/A code (sóng tải L1) là C1,  
**trị đo pha sóng tải L2 ký hiệu là L2**, khoảng cách giả theo code chính xác (sóng tải L2) là P2, trị đo Doppler (sóng tải L1) là D1.

#### 4.4.2. Các sai phân của pha sóng tải

Định vị tương đối cho kết quả tốt nhất nếu các quan trắc được thực hiện đồng thời tại cả hai điểm tham chiếu và điểm cần xác định. Các trị quan trắc đồng thời tại điểm A và B đối với các vệ tinh j và k cho ta các tổ hợp tuyến tính dưới dạng sai phân bậc nhất (hiệu pha đơn), sai phân bậc hai (hiệu pha kép) và sai phân bậc 3 (hiệu pha bậc 3). Thông thường trong các phân mềm xử lý người ta sử dụng kỹ thuật sai phân, sau đây là mô hình toán cơ bản của chúng.

##### 1. Sai phân bậc nhất ( Single differences)

Chúng ta xét 2 điểm quan sát và 1 vệ tinh. Ký hiệu hai điểm đặt máy thu GPS là A và B cùng quan sát vệ tinh j (hình 4.18).



Hình 4.18. Sai phân bậc nhất

Theo các phương trình pha đã nêu (4.4.1),(4.4.2) đối với hai điểm quan sát ta có hai phương trình :

$$\begin{aligned}\Phi_A^j(t) + f^j \delta_A^j(t) &= \frac{1}{\lambda} \rho_A^j(t) + N_A^j + f^j \delta_A(t) \\ \Phi_B^j(t) + f^j \delta_B^j(t) &= \frac{1}{\lambda} \rho_B^j(t) + N_B^j + f^j \delta_B(t)\end{aligned}\quad (4.4.3)$$

Lấy hiệu số hai phương trình trên ta được :

$$\Delta \Phi_{AB}^j = \Phi_B^j(t) - \Phi_A^j(t) = \frac{1}{\lambda} [\rho_B^j(t) - \rho_A^j(t)] + N_B^j - N_A^j + f^j [\delta_B(t) - \delta_A(t)] \quad (4.4.4)$$

Phương trình (4.4.4) được gọi là phương trình sai phân bậc nhất. Các ẩn số nằm bên vế phải của phương trình. Trong hệ phương trình trên tồn tại một vấn đề quan trọng đó là sự khuyết bậc cho dù trị đo thừa nhiều tuỳ ý. Điều này có thể nhận thấy ngay qua giá trị các hệ số của các số nguyên đa trị và của độ sai đồng hồ. Trong cả hai trường hợp giá trị tuyệt đối của các hệ số đối với cả 2 điểm là như nhau. Điều đó cho thấy các hàng và cột của ma trận khi bình sai sẽ phụ thuộc tuyến tính.

Chúng ta ký hiệu:

$$\begin{aligned}N_{AB}^j &= N_B^j - N_A^j \\ \delta_{AB}(t) &= \delta_B(t) - \delta_A(t)\end{aligned}\quad (4.4.5)$$

và

$$\rho_{AB}^j(t) = \rho_B^j(t) - \rho_A^j(t) \quad (4.4.6)$$

Thay (4.4.5) và (4.4.6) vào (4.4.4) ta được:

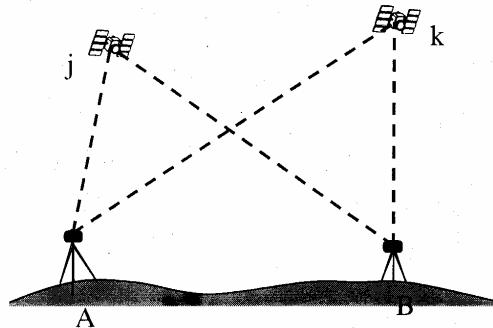
$$\Delta \Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^j(t) + N_{AB}^j + f^j \cdot \delta_{AB}(t) \quad (4.4.7)$$

Đây là dạng cuối cùng của phương trình sai phân bậc nhất. Có thể thấy rằng trong phương trình (4.4.7) đã loại bỏ được sai số đồng hồ vệ tinh.

Số lượng phương trình sai phân bậc nhất bằng  $n_j \cdot n_t$  trong đó  $n_j$  là số vệ tinh quan sát,  $n_t$  là số thời điểm quan sát đồng thời.

## 2. Sai phân bậc hai (Double differences)

Xét máy thu đặt tại 2 điểm A, B đồng thời quan sát hai vệ tinh j,k (hình 4.19).



Hình 4.19. Sai phân bậc hai

Trong trường hợp này chúng ta đã có hai phương trình sai phân bậc nhất xác định theo (4.4.7) như sau:

$$\Delta\Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^j(t) + N_{AB}^j + f^j \delta_{AB}(t) \quad (4.4.8a)$$

$$\Delta\Phi_{AB}^k(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^k(t) + N_{AB}^k + f^k \delta_{AB}(t) \quad (4.4.8b)$$

Từ các sai phân bậc nhất ta sẽ thiết lập sai phân bậc hai. Nếu coi tần số phát từ vệ tinh j và vệ tinh k là bằng nhau tức là  $f^j = f^k$ , ta sẽ được biểu thức:

$$\nabla\Phi_{AB}^{j,k} = \Delta\Phi_{AB}^k(t) - \Delta\Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} [\rho_{AB}^k(t) - \rho_{AB}^j] + N_{AB}^k - N_{AB}^j \quad (4.4.9)$$

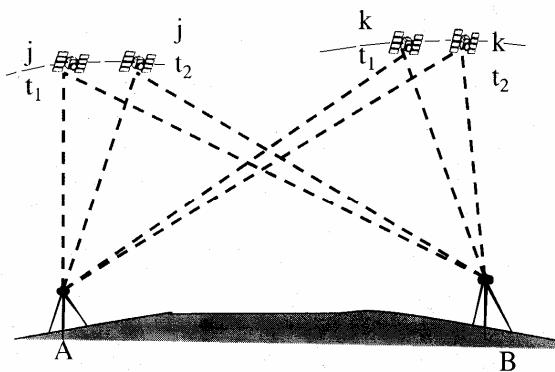
Ký hiệu tương tự như trên, sai phân bậc hai có dạng:

$$\nabla\Phi_{AB}^{j,k}(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{j,k}(t) + N_{AB}^{j,k} \quad (4.4.10)$$

Có thể nhận thấy rằng trong sai phân bậc hai chúng ta đã loại bỏ được độ sai của đồng hồ máy thu. Song để đạt được hiệu quả này tại các điểm đặt máy thu cần phải quan sát đồng thời và các tần số tín hiệu của các vệ tinh phải như nhau. Trong trường hợp này vệ tinh j được gọi là vệ tinh tham chiếu (*Reference Satellite*). Số lượng phương trình sai phân bậc hai bằng  $(n_j - 1) \cdot n_t$

### 3. Sai phân bậc ba (Triple differences)

Chúng ta đã xét các sai phân bậc nhất và sai phân bậc hai tại một thời điểm t. Để loại bỏ các số nguyên đa trị độc lập thời gian, Remondi (1984) đã kiến nghị sử dụng hiệu số của sai phân bậc hai giữa hai thời điểm. Ký hiệu 2 thời điểm quan sát là  $t_1$  và  $t_2$  (hình 4.20) cùng quan sát các vệ tinh j và k.



Hình 4.20. Sai phân bậc ba

Tương ứng với hai thời điểm  $t_1$  và  $t_2$  ta có các sai phân bậc hai tương ứng:

$$\nabla \Phi_{AB}^{j,k}(t_1) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{j,k}(t_1) + N_{AB}^{j,k} \quad (4.4.11a)$$

và

$$\nabla \Phi_{AB}^{j,k}(t_2) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{j,k}(t_2) + N_{AB}^{j,k} \quad (4.4.11b)$$

Hiệu số của hai sai phân bậc hai sẽ là:

$$\bar{\nabla} \Phi_{AB}^{j,k}(t_{1,2}) = \nabla \Phi_{AB}^{j,k}(t_2) - \nabla \Phi_{AB}^{j,k}(t_1) = \frac{1}{\lambda} [\rho_{AB}^{j,k}(t_2) - \rho_{AB}^{j,k}(t_1)] \quad (4.4.12)$$

Biểu thức (4.4.12) còn gọi là sai phân bậc ba, và có thể viết ở dạng rút gọn:

$$\bar{\nabla} \Phi_{AB}^{j,k}(t_{12}) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{j,k}(t_{12}) \quad (4.4.13)$$

Trong biểu thức trên các giá trị  $\bar{\nabla} \Phi_{AB}^{j,k}(t_{12})$  và  $\rho_{AB}^{j,k}(t_{12})$  đều liên hệ với 8 phần tử, thật vậy:

$$\begin{aligned} \bar{\nabla} \Phi_{AB}^{j,k}(t_{12}) &= \Phi_B^k(t_2) - \Phi_B^j(t_2) - \Phi_A^k(t_2) + \Phi_A^j(t_2) - \\ &- \Phi_B^k(t_1) + \Phi_B^j(t_1) + \Phi_A^k(t_1) - \Phi_A^j(t_1) \end{aligned} \quad (4.4.14)$$

và

$$\begin{aligned} \rho_{AB}^{j,k}(t_{12}) &= \rho_B^k(t_2) - \rho_B^j(t_2) - \rho_A^k(t_2) + \rho_A^j(t_2) - \\ &- \rho_B^k(t_1) + \rho_B^j(t_1) + \rho_A^k(t_1) - \rho_A^j(t_1) \end{aligned} \quad (4.4.15)$$

Trong các sai phân bậc 3 đã loại bỏ được ảnh hưởng của các số nguyên đa trị. Không những thế, người ta sử dụng sai phân bậc ba để phát hiện và hiệu chỉnh hiện tượng trượt chu kỳ. Số lượng phương trình sai phân bậc ba bằng  $(n_j - 1)(n_t - 1)$

Có thể thấy rằng nhờ các phương trình sai phân người ta đã loại bỏ được khá nhiều nguồn sai số ảnh hưởng đến kết quả định vị tương đối. Vì vậy độ chính xác định vị tương đối cao hơn nhiều so với định vị tuyệt đối.

#### 4.4.3. Các tổ hợp tuyến tính của pha sóng tải

##### 4.4.3.1. Lý thuyết chung

Đối với các máy thu 2 hoặc 3 tần số, khi xử lý số liệu, người ta sử dụng tổ hợp tuyến tính các trị đo pha sóng tải để trợ giúp cho việc giải bài toán định vị tương đối, nhanh chóng tìm số nguyên đa trị và làm tăng độ tin cậy của lời giải.

Tổng quát, chúng ta ký hiệu tổ hợp tuyến tính của 2 trị đo pha  $\Phi_1$  và  $\Phi_2$  theo biểu thức sau:

$$\Phi = \mathbf{n}_1 \cdot \Phi_1 + \mathbf{n}_2 \cdot \Phi_2 \quad (4.4.16)$$

trong đó  $n_1$  và  $n_2$  là các số tuỳ ý.

Trong biểu thức trên ta thay thế các quan hệ như sau:

$$\Phi_i = f_i \cdot t \quad (i=1,2)$$

Như vậy ta sẽ viết biểu thức (4.4.16) dưới dạng:

$$\Phi = n_1 \cdot f_1 \cdot t + n_2 \cdot f_2 \cdot t = f \cdot t \quad (4.4.17)$$

ở đây ta có tần số kết hợp là

$$f = n_1 \cdot f_1 + n_2 \cdot f_2 \quad (4.4.18)$$

tương ứng với bước sóng:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (4.4.19)$$

Bước sóng  $\lambda$  trong công thức (4.4.19) được gọi là bước sóng của tổ hợp tuyến tính.

Từ (4.4.18) có thể viết :

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{n_1}{\lambda_1} + \frac{n_2}{\lambda_2} \quad (4.4.20)$$

Hiện nay hệ thống GPS, đang sử dụng sóng tải L1, L2. Trong tương lai gần sẽ sử dụng thêm sóng tải L5 có tần số  $f_5 = 1176,45 MHz$ . Sau đây chúng ta xét một số tổ hợp tuyến tính thường dùng.

#### 4.4.3.2. Một số tổ hợp tuyến tính

##### 1. Trường hợp khi $n_1=n_2=1$ .

Trong trường hợp này ta có biểu thức tổ hợp tuyến tính pha như sau:

$$\Phi_{L1+L2} = \Phi_{L1} + \Phi_{L2} \quad (4.4.21)$$

Trong trường hợp này tần số tổ hợp là:

$$f_{L1+L2} = f_1 + f_2 = 2803.02 MHz$$

Như vậy ta tính được bước sóng tương ứng là:  $\lambda_{L1+L2} = \frac{c}{f_{L1+L2}} = 10,7 cm$

Tổ hợp tuyến tính  $\Phi_{L1+L2}$  gọi là tín hiệu cổng hẹp (Narrow lane), tổ hợp này tạo ra một chuẩn chiều dài đo chính xác hơn  $\lambda_1, \lambda_2$ , nhưng đồng thời cũng tạo ra khả năng dễ ẩn định sai số cỡ số nguyên bước sóng trong kết quả.

##### 2. Trường hợp khi $n_1=1$ và $n_2=-1$

Trong trường hợp này ta có tổ hợp tuyến tính như sau:

$$\Phi_{L1-L2} = \Phi_{L1} - \Phi_{L2} \quad (4.4.22)$$

Tần số tổ hợp được tính:

$$f_{L1-L2} = f_1 - f_2 = 347.82 MHz$$

Như vậy bước sóng tương ứng với tổ hợp này sẽ là  $\lambda_{L1-L2} = \frac{c}{f_{L1-L2}} = 86,2 cm$

Tổ hợp tuyển tính  $\Phi_{L1-L2}$  gọi là tín hiệu cồng rộng (*Wide lane*). Tổ hợp này cho ra bước sóng hiệu dụng là 86,2cm. Với bước sóng này sẽ dễ dàng hơn trong việc giải đoán số nguyên lần bước sóng.

### 3. Một số trường hợp khác

Ngoài các trường hợp trên, cũng có thể chấp nhận các giá trị  $n_1 = 1$  và  $n_2 = -\frac{f_{L2}}{f_{L1}} = -0,7792$  khi đó chúng ta nhận được "sóng tải" L3 có giá trị pha như sau:

$$\Phi_{L3} = \Phi_{L1} - \frac{f_{L2}}{f_{L1}} \Phi_{L2} \quad (4.4.23)$$

"Sóng tải" L3 có giá trị như sau:  $f_{L3} = \frac{f_{L1}^2 - f_{L2}^2}{f_{L1}} \approx 618,8487 MHz$ ,  $\lambda_3 \approx 0,4844m$

Tần số "sóng tải" L3 được sử dụng kết hợp để giải quyết ảnh hưởng của tầng ion.

Ngoài ra, còn có thể sử dụng tổ hợp tuyển tính của pha sóng tải với giá trị  $n_2$  xác định theo nửa tần số sóng tải L2 :

$$n_2 = -\frac{0,5 \cdot f_{L2}}{f_{L1}} = -0,3895 \quad (4.4.24)$$

Có một đặc điểm cần lưu ý là mức độ nhiễu đối với phương pháp đo pha tăng lên khi sử dụng tổ hợp tuyển tính pha sóng tải. Theo nguyên tắc lan truyền sai số, khi coi nhiễu đối với các sóng tải L1 và L2 là như nhau thì ảnh hưởng của nhiễu đối với tổ hợp pha sẽ tăng  $\sqrt{2}$  lần.

## 4.5. ĐỊNH VỊ TUYỆT ĐỐI

### 4.5.1. Định vị tuyệt đối khoảng cách giả

Định vị tuyệt đối có thể sử dụng trị đo khoảng cách giả theo code, trị đo khoảng cách giả theo pha hoặc trị đo Doppler (hiệu khoảng cách). Trong phần này chỉ xét cho trường hợp định vị tuyệt đối bằng các trị đo khoảng cách giả theo code, là bài toán phổ biến trong đạo hàng bằng GPS. Để giải bài toán này, chúng ta sử dụng nguyên tắc của bài toán giao hội ngược đo cạnh trong không gian, là bài toán ngược trong định vị vệ tinh.

Trong phần (4.3.1) chúng ta đã xét nguyên tắc đo khoảng cách giả theo tín hiệu code. Theo nguyên tắc này chúng ta có phương trình trị đo khoảng cách giả từ vệ tinh j đến máy thu i tại thời điểm t như sau:

$$R_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c \cdot \delta_i(t) - c \cdot \delta^j(t) \quad (4.5.1)$$

Trong đó :  $R_i^j(t)$  khoảng cách giả đo được giữa vị trí quan trắc i và vệ tinh j

$\rho_i^j(t)$  là khoảng cách hình học giữa vệ tinh và điểm quan sát

c là vận tốc ánh sáng

$\delta^j(t), \delta_i(t)$  là sai số đồng hồ vệ tinh và đồng hồ máy thu

Như đã nói ở phần trước, sai số đồng hồ vệ tinh  $\delta^j(t)$  xác định được nhờ đa thức đồng hồ vệ tinh được cung cấp theo lịch vệ tinh, do đó sẽ tính được số hiệu chỉnh cho đồng hồ vệ tinh theo công thức:

$$\delta^j(t) = a_0 + a_1(t - t_{oe}) + a_2(t - t_{oe})^2 + \delta^{rel} \quad (4.5.2)$$

trong đó  $t$  là thời điểm xét,  $t_{oe}$  là thời điểm lịch vệ tinh,  $\delta^{rel}$  là số hiệu chỉnh do hiệu ứng thuyết tương đối vào đồng hồ vệ tinh, được tính theo công thức (2.3.53):

$$\delta^{rel} = F \cdot e \cdot \sqrt{a} \cdot \sin E; \text{ với } F = -\frac{2\sqrt{\mu}}{c^2} = -4,442807633 \cdot 10^{-10} s/\sqrt{m} \quad (4.5.3)$$

Như vậy khoảng cách giả trong phương trình (4.5.1.) sau khi được hiệu chỉnh sai số đồng hồ vệ tinh sẽ là:

$$R_i^j(t) + c \cdot \delta^j(t) = \rho_i^j(t) + c \cdot \delta_i(t) \quad (4.5.4)$$

Khoảng cách hình học  $\rho_i^j(t)$  từ vệ tinh đến anten máy thu tại điểm  $t$  được viết:

$$\rho_i^j(t) = \sqrt{[X^j(t) - X_i]^2 + [Y^j(t) - Y_i]^2 + [Z^j(t) - Z_i]^2} \quad (4.5.5)$$

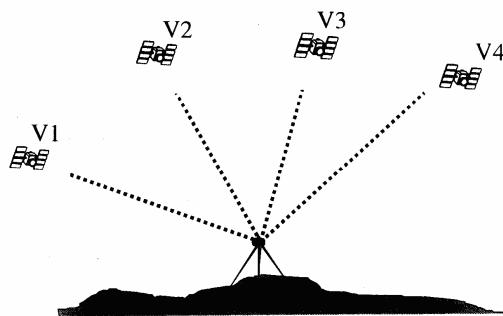
trong đó  $X^j(t), Y^j(t), Z^j(t)$  là các thành phần của vectơ vị trí địa tâm của vệ tinh  $j$  tại thời điểm  $t$ .  $X_i, Y_i, Z_i$  là tọa độ cần xác định của điểm quan sát trong hệ tọa độ Trái đất.

Như vậy ta có thể viết được phương trình trị đo khoảng cách giả theo code:

$$\bar{R}_i^j(t) = \sqrt{[X^j(t) - X_i]^2 + [Y^j(t) - Y_i]^2 + [Z^j(t) - Z_i]^2} + c \cdot \delta_i(t) \quad (4.5.6)$$

trong đó  $\bar{R}_i^j(t) = R_i^j(t) + c \cdot \delta^j(t)$  là khoảng cách giả đã hiệu chỉnh sai số đồng hồ vệ tinh.

Nếu xét tại một thời điểm  $t$  nhất định, thì trong các phương trình trị đo chỉ có 4 ẩn số đó là tọa độ  $X_i, Y_i, Z_i$  của điểm quan sát và sai lệch đồng hồ máy thu  $\delta_i(t)$ . Bốn ẩn số này hoàn toàn có thể giải được ngay nếu như đồng thời quan sát được ít nhất 4 vệ tinh (hình 4.21). Đây chính là khả năng định vị tức thời của GPS. Nay trong trường hợp máy thu di chuyển chúng ta vẫn liên tục xác định được vị trí của máy thu. Đây chính là nguyên tắc áp dụng cho đo GPS động. Việc xác định đường đi còn gọi là đạo hàng chính là ý tưởng ban đầu của hệ thống GPS.



Hình 4.21. Định vị tuyệt đối đo khoảng cách giả

Để giải bài toán định vị, chúng ta xét cho trường hợp cơ bản nhất, trong đó tạm thời bỏ qua (chưa xét) các ảnh hưởng do tầng điện ly, tầng đối lưu và một số ảnh hưởng khác. ở đây chỉ

giới thiệu bài toán định vị nhằm xác định vị trí máy thu  $X_i, Y_i, Z_i$  và sai số đồng hồ máy thu  $\delta_i(t)$  tại thời điểm  $t$ .

Trong phương trình (4.5.6) chỉ có 4 ẩn số đó là  $dX_i, dY_i, dZ_i$  và  $\delta_i(t)$ . Nếu quan sát đồng thời 4 vệ tinh thì sẽ giải được 4 ẩn số nói trên. Thông thường có thể quan sát nhiều hơn 4 vệ tinh, khi đó 4 ẩn số trên sẽ được giải theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất.

Giả sử ta quan sát được  $n$  vệ tinh ( $n > 4$ ), với mỗi vệ tinh  $j$  ta có một phương trình trị đo khoảng cách giả dạng (4.5.6):

$$\bar{R}_i^j(t) = \sqrt{[X^j(t) - X_{i,0}]^2 + [Y^j(t) - Y_{i,0}]^2 + [Z^j(t) - Z_{i,0}]^2} + c \cdot \delta_i(t) \quad (4.5.7)$$

Nếu có được giá trị gần đúng của vị trí điểm quan trắc là  $X_{i,0}; Y_{i,0}; Z_{i,0}$  sẽ khai triển tuyến tính về phải của phương trình (4.5.7). Trong đó thay cho các ẩn số  $X_i, Y_i, Z_i$  là các ẩn số  $dX_i, dY_i, dZ_i$  với quan hệ :

$$\begin{aligned} X_i &= X_{i,0} + dX_i \\ Y_i &= Y_{i,0} + dY_i \\ Z_i &= Z_{i,0} + dZ_i \end{aligned} \quad (4.5.8)$$

Sau khi áp dụng khai triển Taylor và giữ lại số hạng bậc nhất của  $dX_i, dY_i, dZ_i$  ta được phương trình số hiệu chỉnh:

$$V_j = -\frac{X^j(t) - X_{i,0}}{\rho_{i,0}^j(t)} dX_i - \frac{Y^j(t) - Y_{i,0}}{\rho_{i,0}^j(t)} dY_i - \frac{Z^j(t) - Z_{i,0}}{\rho_{i,0}^j(t)} dZ_i + c \cdot \delta_i(t) + l_j \quad (4.5.9)$$

trong đó:  $\rho_{i,0}^j(t) = \sqrt{[X^j(t) - X_{i,0}]^2 + [Y^j(t) - Y_{i,0}]^2 + [Z^j(t) - Z_{i,0}]^2}$

và  $l_j$  là số hạng tự do được tính:

$$l_j = \sqrt{[X^j(t) - X_{i,0}]^2 + [Y^j(t) - Y_{i,0}]^2 + [Z^j(t) - Z_{i,0}]^2} - \bar{R}_i^j(t) \quad (4.5.10)$$

Trong phương trình (4.6.1.9), ký hiệu  $c \cdot \delta_i(t) = \Delta d$ , ta có thể viết:

$$V_j = -\frac{X^j(t) - X_{i,0}}{\rho_{i,0}^j(t)} dX_i - \frac{Y^j(t) - Y_{i,0}}{\rho_{i,0}^j(t)} dY_i - \frac{Z^j(t) - Z_{i,0}}{\rho_{i,0}^j(t)} dZ_i + \Delta d + l_j \quad (4.5.11)$$

ở đây ta coi  $\Delta d$  là ẩn số.

Sử dụng ký hiệu ma trận, hệ phương trình số hiệu chỉnh được viết :

$$V = A \cdot X + L \quad (4.5.12)$$

với

$$V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ .. \\ v_n \end{bmatrix}; \quad A = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & 1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & 1 \\ .. & .. & .. & .. \\ a_n & b_n & c_n & 1 \end{bmatrix}; \quad X = \begin{bmatrix} dX_i \\ dY_i \\ dZ_i \\ \Delta d \end{bmatrix}; \quad L = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ .. \\ l_n \end{bmatrix} \quad (4.5.13)$$

trong đó:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{a}_j &= -\frac{\mathbf{X}^j(t) - \mathbf{X}_{i,0}}{\rho_{i,0}^j(t)} \\
 \mathbf{b}_j &= -\frac{\mathbf{Y}^j(t) - \mathbf{Y}_{i,0}}{\rho_{i,0}^j(t)} \\
 \mathbf{c}_j &= -\frac{\mathbf{Z}^j(t) - \mathbf{Z}_{i,0}}{\rho_{i,0}^j(t)}
 \end{aligned} \tag{4.5.14}$$

Trong trường hợp này nếu coi các khoảng cách giả đo được là cùng độ chính xác ( $P=1$ ) thì hệ phương trình chuẩn có dạng:

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{L} = 0 \tag{4.5.15}$$

Ẩn số  $\mathbf{X}$  sẽ nhận được từ kết quả giải hệ phương trình chuẩn:

$$\mathbf{X} = -(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{L} \tag{4.5.16}$$

Để giải bài toán này, thường sử dụng phương pháp tính lặp nhích dần, trong đó toạ độ gân đúng lần đầu của điểm quan sát có thể chấp nhận là:

$$X_{i,0} = Y_{i,0} = Z_{i,0} = 0 \tag{4.5.17}$$

Sau khoảng 5 đến 6 lần tính lặp, sẽ nhận được toạ độ của điểm quan sát.

Sau khi nhận được ẩn số thứ tư là  $\Delta\mathbf{d}$ , sai số đồng hồ máy thu được tính:

$$\delta_i(t) = \frac{\Delta\mathbf{d}}{c} \tag{4.5.18}$$

Trong bài toán định vị, có 4 ẩn số là  $dX_i, dY_i, dZ_i$  và  $\Delta\mathbf{d}$  (hoặc  $\delta_i(t)$ ). Để đánh giá độ chính xác các ẩn số, chúng ta sử dụng ma trận nghịch đảo của ma trận hệ số phương trình chuẩn, thường ký hiệu là  $\mathbf{Q}$ :

$$\mathbf{Q} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \tag{4.5.19}$$

Tương ứng với thứ tự các ẩn số ta có thể viết các phần tử của ma trận  $\mathbf{Q}$  như sau:

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} Q_{X,X} & Q_{X,Y} & Q_{X,Z} & Q_{X,t} \\ Q_{X,Y} & Q_{Y,Y} & Q_{Y,Z} & Q_{Y,t} \\ Q_{X,Z} & Q_{Y,Z} & Q_{Z,Z} & Q_{Z,t} \\ Q_{X,t} & Q_{Y,t} & Q_{Z,t} & Q_{t,t} \end{bmatrix} \tag{4.5.20}$$

Với ký hiệu như trên ta sẽ tính được sai số vị trí điểm định vị tuyệt đối trong không gian theo công thức:

$$\mathbf{M}_P = \mu \cdot \sqrt{Q_{X,X} + Q_{Y,Y} + Q_{Z,Z}} \tag{4.5.21}$$

$$\text{Người ta ký hiệu } PDOP = \sqrt{Q_{X,X} + Q_{Y,Y} + Q_{Z,Z}} \tag{4.5.22}$$

PDOP là độ suy giảm độ chính xác của vị trí điểm (*Position Dilution of Precision*), cũng có thể gọi PDOP là độ phân tán độ chính xác của vị trí điểm.

Như vậy PDOP là mức đo chất lượng hình học của lời giải bài toán định vị tuyệt đối, hay là yếu tố đồ hình vê tinh trong kết quả định vị. PDOP không có đơn vị, giá trị PDOP càng nhỏ thì chất lượng hình học của lời giải càng tốt. Khi vê tinh nhiều và phân bố đều trên bầu trời theo phương vị và góc cao thì PDOP sẽ nhỏ.

Sai số xác định số hiệu chỉnh đồng hồ  $\delta_i(t)$  được xác định theo công thức:

$$m_{\Delta d} = \mu \cdot \sqrt{Q_{T,T}} \quad (4.5.23)$$

$$\text{Người ta ký hiệu} \quad TDOP = \sqrt{Q_{T,T}} \quad (4.5.24)$$

TDOP là độ suy giảm độ chính xác đối với thời gian (*Time Dilution of Precision*).

Ngoài ra người ta còn đưa ra khái niệm độ suy giảm độ chính xác hình học là GDOP (*Geometric Dilution of Precision*), với giá trị GDOP được tính:

$$GDOP = \sqrt{Q_{x,x} + Q_{y,y} + Q_{z,z} + Q_{T,T}} \quad (4.5.25)$$

Như vậy trong hệ toạ độ không gian địa tâm XYZ chúng ta đã có các khái niệm về GDOP, PDOP, TDOP.

Nếu xét đến vị trí điểm định vị P trong hệ toạ độ không gian địa diện chân trời x,y,z, (N,E,U) thiết lập tại điểm quan sát ta có các khái niệm sau:

HDOP là độ suy giảm độ chính xác vị trí mặt bằng (*Horizontal Dilution of Precision*)

$$HDOP = \sqrt{q_{x,x} + q_{y,y}} \quad (4.5.26)$$

VDOP là độ suy giảm độ chính xác về độ cao (*Vertical Dilution of Precision*).

$$VDOP = \sqrt{q_{z,z}} \quad (4.5.27)$$

Cũng tương tự như PDOP, các giá trị GDOP, HDOP, VDOP, TDOP đều là mức đo chất lượng hình học của các lời giải.

Các giá trị  $q_{11}, q_{22}, q_{33}$  là các phần tử trên đường chéo của ma trận  $q$ , được tính theo công thức:

$$q = R^T Q_P R = \begin{bmatrix} q_{x,x} & q_{x,y} & q_{x,z} \\ q_{x,y} & q_{y,y} & q_{y,z} \\ q_{x,z} & q_{y,z} & q_{z,z} \end{bmatrix} \quad (4.5.28)$$

trong đó:  $R$  là ma trận xoay .

$Q_P$  là ma trận con (3x3) của ma trận  $Q$  (4.5.1.20)

$$Q_P = \begin{bmatrix} Q_{x,x} & Q_{x,y} & Q_{x,z} \\ Q_{x,y} & Q_{y,y} & Q_{y,z} \\ Q_{x,z} & Q_{y,z} & Q_{z,z} \end{bmatrix} \quad (4.5.29)$$

Do tính chất trực giao của ma trận xoay  $R$  cho nên :

$$\sqrt{Q_{x,x} + Q_{y,y} + Q_{z,z}} = \sqrt{q_{x,x} + q_{y,y} + q_{z,z}} = PDOP \quad (4.5.30)$$

#### **4.5.2. Định vị tuyệt đối chính xác (PPP)**

Định vị tuyệt đối chính xác PPP (*Precise Point Positioning*) là kỹ thuật định vị GPS sử dụng 1 máy thu để xác định tọa độ của điểm đặt máy trong hệ ITRF hay WGS-84 với độ chính xác cỡ dm hoặc cm nhờ tính toán hiệu chỉnh các nguồn sai số do quỹ đạo vệ tinh, do đồng hồ vệ tinh, do hiệu ứng khí quyển (tầng điện ly, tầng đối lưu) và do ảnh hưởng của địa triều, thuỷ triều, chuyển dịch cực Trái đất vv...

Ngay từ 1997, dựa trên mạng lưới GPS toàn cầu với các trạm quan sát thường xuyên của IGS và khả năng chuyển dữ liệu tức thời qua Internet, Phòng thí nghiệm phản lực JPL của Mỹ (*Jet Propulsion Laboratory*) đã đưa ra ý tưởng định vị tuyệt đối chính xác PPP. Định vị tuyệt đối chính xác có thể thực hiện theo phương thức xử lý sau và cũng có thể thực hiện theo phương thức tức thời hoặc tựa tức thời áp dụng cho đo động.

Với mục đích nghiên cứu khoa học và hỗ trợ cho công tác trắc địa - địa vật lý, IGS và IAG (*International Association of Geodesy*) có thể cung cấp cho người sử dụng các thông tin quỹ đạo GPS chính xác, các số hiệu chỉnh đồng hồ vệ tinh, các số liệu GPS, tham số quay của Trái đất và bản đồ toàn cầu về tầng điện ly và tầng đối lưu với giãn cách từ 30s đến 900s. Đó chính là các số liệu GPS chính xác làm cơ sở cho tính toán định vị PPP. Trong phương pháp này, người ta đã sử dụng phối hợp các trị đo khoảng cách giả theo code (kể cả P-code) với trị đo khoảng cách giả theo pha sóng tải. Để xác định chính xác quỹ đạo và số hiệu chỉnh đồng hồ vệ tinh, người ta đã sử dụng các chương trình tính toán tiên tiến như GIPSY/OASIS II, BERNSE vv...

Ngoài việc phải tính toán hiệu chỉnh ảnh hưởng của tầng điện ly, tầng đối lưu, còn phải tính các số hiệu chỉnh khác như lệch tâm anten phát của vệ tinh trong hệ tọa độ cố định với vệ tinh, số hiệu chỉnh do hiệu ứng Sagnac, số hiệu chỉnh do thuyết tương đối vv...

Năm 2002, thông qua các trạm IGS và hệ thống thông tin viễn thông của Canada, trên toàn bộ lãnh thổ Canada có thể thực hiện định vị tuyệt đối chính xác tức thời.

Hiện nay đã có một số tổ chức dịch vụ (thương mại) định vị GNSS đã sử dụng số liệu quỹ đạo chính xác và các số liệu khác của IGS để cung cấp khả năng định vị tuyệt đối chính xác cỡ 10cm về mặt bằng và 20 cm về độ cao như NAVCOM Start Fire, C-NAV, Omnistar-HP system vv... Trong các dịch vụ này, việc truyền dữ liệu được thực hiện qua vệ tinh viễn thông. Với sự phối hợp của các hệ thống GNSS (GPS, GLONASS, GALILEO vv...) và mạng lưới thông tin viễn thông trên toàn cầu, kỹ thuật định vị tuyệt đối chính xác PPP ngày càng được phát triển và cho độ chính xác cao hơn.

#### **4.5.3. Hướng dẫn làm bài tập**

Trong định vị tuyệt đối khoảng cách giả, độ chính xác của tọa độ điểm định vị phụ thuộc vào độ chính xác đo khoảng cách giả và phụ thuộc vào đồ hình vệ tinh. Để sinh viên làm quen

với các công thức tính toán định vị tuyệt đối và nâng cao kỹ năng tính toán có thể giao cho sinh viên bài tập như sau:

#### **4.5.3.1. Đề bài tập mẫu**

Cho vị trí điểm quan sát có tọa độ trắc địa trong hệ WGS-84 là: B,L,H

| Toạ độ | Giá trị           |
|--------|-------------------|
| B      | $21^{\circ} 10'$  |
| L      | $105^{\circ} 52'$ |
| H      | 10 m              |

Trong thời gian quan sát, trên bầu trời có 5 vệ tinh có các giá trị góc cao và phương vị như sau:

| Vệ tinh số | Góc cao E    | Phương vị A   |
|------------|--------------|---------------|
| 1          | $19^{\circ}$ | $62^{\circ}$  |
| 2          | $60^{\circ}$ | $98^{\circ}$  |
| 3          | $37^{\circ}$ | $158^{\circ}$ |
| 4          | $52^{\circ}$ | $210^{\circ}$ |
| 5          | $72^{\circ}$ | $305^{\circ}$ |

- Hãy xác định GDOP, PDOP, TDOP, HDOP, VDOP
- Giả sử sai số trung phương xác định khoảng cách giả là  $\pm 3$  m, hãy tính sai số trung phương vị trí mặt bằng  $m_p$ , sai số độ cao  $m_h$  của điểm quan sát và sai số số hiệu chỉnh đồng hồ máy thu  $m_{\Delta t}$ .

#### **4.5.3.2. Bài giải mẫu**

**Bước 1.** Từ tọa độ của điểm quan sát chúng ta tính các phân tử của ma trận xoay R xác định như sau:

$$R = \begin{bmatrix} -\sin B \cdot \cos L & -\sin L & \cos B \cdot \cos L \\ -\sin B \cdot \sin L & \cos L & \cos B \cdot \sin L \\ \cos B & 0 & \sin B \end{bmatrix}$$

Kết quả tính được:

$$R = \begin{bmatrix} 0,098720 & -0,961901 & -0,254954 \\ -0,347325 & -0,273400 & 0,897005 \\ 0,932534 & 0,000000 & 0,361082 \end{bmatrix}$$

Tính tọa độ vuông góc không gian địa tâm của điểm quan sát theo các công thức:  
 $X_p = (N+H)\cos B \cdot \cos L$

$$Y_p = (N+H)\cos B \cdot \sin L \quad (1)$$

$$Z_p = [N(1-e^2) + H]\sin B$$

trong đó : e là tâm sai thứ nhất của elipsoid

N là bán kính cong vòng thẳng đứng thứ nhất

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} \quad (2)$$

a= 6378137 m

$\alpha = 1/f = 1/298.257223563$

Kết quả tính được như sau:

$$X_p = -1626847.$$

$$Y_p = 5723728.$$

$$Z_p = 2288616.$$

**Buộc 2.** Tính toạ độ vuông góc không gian địa diện của các vệ tinh:

Toạ độ vuông góc không gian địa diện của các vệ tinh là hàm của toạ độ chân trời góc cao E, phương vị A và khoảng cách từ điểm quan sát đến vệ tinh  $\rho$ . Trong đó E và A đã biết, cần phải tính khoảng cách  $\rho$

Để tính  $\rho$  ta áp dụng công thức gần đúng như sau:

$$\rho_i = \sqrt{r^2 - R^2 \cos^2 E_i - R \sin E_i} \quad (3)$$

trong đó r là bán kính quỹ đạo vệ tinh GPS ( coi là quỹ đạo tròn,  $r=26560000$  m ), R là bán kính trung bình của Trái đất  $R=6370000$  m.

Kết quả tính  $\rho$  thống kê trong bảng sau:

| Vệ tinh | E (°) | A (°) | $\rho$ (m) |
|---------|-------|-------|------------|
| 1       | 19    | 62    | 23794212   |
| 2       | 60    | 98    | 20851759   |
| 3       | 37    | 158   | 22234674   |
| 4       | 52    | 210   | 21249238   |
| 5       | 72    | 305   | 20428726   |

Sau khi có đủ các giá trị toạ độ chân trời tại điểm quan sát E,A,  $\rho$  chúng ta sẽ tính được các thành phần toạ độ x,y,z trong hệ toạ độ vuông góc không gian địa diện theo các công thức:

$$x = \rho \cdot \cos E \cdot \cos A$$

$$y = \rho \cdot \cos E \cdot \sin A \quad (4)$$

$$z = \rho \cdot \sin E$$

Kết quả tính toạ độ x,y,z của các vệ tinh được thống kê trong bảng sau:

| Vệ tinh | x(m)      | y(m)      | z(m)      |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| 1       | 10562110. | 19864440. | 7746638.  |
| 2       | -1451002. | 10324415. | 18058153. |

|   |            |           |           |
|---|------------|-----------|-----------|
| 3 | -16464374. | 6652039.  | 13381161. |
| 4 | -11329637. | -6541169. | 16744628. |
| 5 | 3620887.   | -5171162. | 19428873. |

**Bước 3.** Tính toạ độ vuông góc không gian của vệ tinh. Sau khi có toạ độ vuông góc không gian địa diện, chúng ta sẽ tính được toạ độ vuông góc không gian địa tâm X,Y,Z của các vệ tinh theo các công thức:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X} \\ \mathbf{Y} \\ \mathbf{Z} \end{bmatrix} = \mathbf{R} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{y} \\ \mathbf{z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{X}_P \\ \mathbf{Y}_P \\ \mathbf{Z}_P \end{bmatrix} \quad (5)$$

Toạ độ vuông góc không gian địa tâm X,Y,Z của các vệ tinh được thống kê trong bảng sau:

| Vệ tinh | X(m)       | Y(m)      | Z(m)      |
|---------|------------|-----------|-----------|
| 1       | -21666814. | 3573084.  | 14935316. |
| 2       | -16305157. | 19603258. | 7455983.  |
| 3       | -13062392. | 21626520. | -8233275. |
| 4       | -722470.   | 26467163. | -2230469. |
| 5       | -1248729.  | 23307693. | 12680635. |

**Bước 4.** Lập ma trận hệ số phương trình số hiệu chỉnh trong bài toán định vị tuyệt đối (giao hội ngược khoảng cách giả). Ma trận hệ số có dạng:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{(X_1 - X_p)}{\rho_1} & -\frac{(Y_1 - Y_p)}{\rho_1} & -\frac{(Z_1 - Z_p)}{\rho_1} & 1 \\ -\frac{(X_2 - X_p)}{\rho_2} & -\frac{(Y_2 - Y_p)}{\rho_2} & -\frac{(Z_2 - Z_p)}{\rho_2} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ -\frac{(X_n - X_p)}{\rho_n} & -\frac{(Y_n - Y_p)}{\rho_n} & -\frac{(Z_n - Z_p)}{\rho_n} & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Kết quả tính được ma trận A như sau:

$$A = \begin{bmatrix} 0,842220 & 0,090385 & -0,531503 & 1,00000 \\ 0,703936 & -0,665629 & -0,247814 & 1,00000 \\ 0,514311 & -0,715225 & 0,473220 & 1,00000 \\ -0,042560 & -0,976197 & 0,212670 & 1,00000 \\ -0,018509 & -0,860747 & -0,508696 & 1,00000 \end{bmatrix}$$

**Bước 5.** Lập ma trận hệ số phương trình chuẩn theo công thức:

$$N = A^T \cdot A \quad (7)$$

Kết quả tính như sau:

$$N = \begin{bmatrix} 1,471531 & -0,702805 & -0,378342 & 1,999398 \\ -0,702805 & 2,656623 & 0,008704 & -3,127412 \\ -3,378342 & 0,008704 & 0,871845 & -0,602124 \\ 1,999398 & -3,127412 & -0,602124 & 5,000000 \end{bmatrix}$$

**Bước 6.** Tính ma trận nghịch đảo của ma trận hệ số phương trình chuẩn:

$$Q = N^{-1} \quad (8)$$

Kết quả tính như sau:

$$Q = \begin{bmatrix} 4,84389 & -4,41823 & -1,19997 & -4,84500 \\ -4,41823 & 5,91271 & 1,96109 & 5,70122 \\ -1,19997 & 1,96109 & 1,94717 & 1,94096 \\ -4,84500 & 5,70122 & 1,94096 & 5,93717 \end{bmatrix}$$

**Bước 7.** Tính ma trận hiệp phương sai vị trí điểm trong hệ địa diện

$$q = R^T Q_P R = \begin{bmatrix} q_{x,x} & q_{x,y} & q_{x,z} \\ q_{x,y} & q_{y,y} & q_{y,z} \\ q_{x,z} & q_{y,z} & q_{z,z} \end{bmatrix} \quad (9)$$

trong đó:

$$Q_P = \begin{bmatrix} 4,84389 & -4,41823 & -1,19997 \\ -4,41823 & 5,91271 & 1,96109 \\ -1,19997 & 1,96109 & 1,94717 \end{bmatrix}$$

Kết quả tính như sau:

$$q = \begin{bmatrix} 1,26546 & -0,67897 & -0,45386 \\ -0,67897 & 2,59994 & 3,46527 \\ -0,45386 & 3,46527 & 8,83836 \end{bmatrix}$$

**Bước 8.** Tính các giá trị DOP

$$GDOP = \sqrt{4,84389 + 5,91271 + 1,94717 + 5,93717} = 4,32$$

$$PDOP = \sqrt{4,84389 + 5,91271 + 1,94717} = 3,56$$

$$TDOP = \sqrt{5,93717} = 2,44$$

$$HDOP = \sqrt{1,26546 + 2,59994} = 1,97$$

$$VDOP = \sqrt{8,83836} = 2,97$$

Nếu cho sai số trung phương đo khoảng cách giả là  $m_0 = \pm 3m$ , sẽ tính được sai số vị trí (mặt bằng) của điểm quan sát là:

$$m_P = \pm m_0 \cdot HDOP = \pm 5.90m$$

Sai số độ cao của điểm quan sát là :

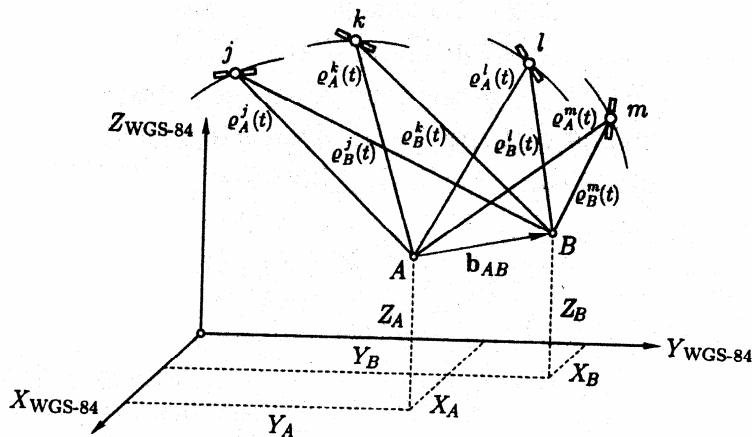
$$m_H = \pm m_0 \cdot VDOP = \pm 8.92m$$

Sai số số hiệu chỉnh đồng hồ máy thu là:

$$m_{\Delta t} = \pm m_0 \cdot \frac{TDOP}{C} = 0.000000024s$$

#### 4.6. ĐỊNH VỊ TƯƠNG ĐỐI

Định vị tương đối là xác định véc tơ hiệu toạ độ  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  (hay  $\Delta B, \Delta L, \Delta H$ ) giữa hai điểm trong hệ toạ độ trái đất (WGS-84) - gọi là véc tơ cạnh (*Baseline*) (hình 4.22). Định vị tương đối có thể thực hiện bằng các trị pha sóng tải và cũng có thể bằng khoảng cách giả. Trên thực tế, để giải bài toán định vị tương đối, người ta sử dụng trị đo pha sóng tải kết hợp khoảng cách giả và cũng có khi sử dụng cả trị đo Doppler để hỗ trợ giải nhanh số nguyên đa trị (*Integer Ambiguities*). Kỹ thuật đo pha hiện nay có thể đạt độ chính xác cỡ 1% bước sóng và có thể cao hơn, chính vì thế định vị tương đối đạt độ chính xác rất cao. Kết quả định vị tương đối được sử dụng trong trắc địa vào những nhiệm vụ cần độ chính xác cao và rất cao như xây dựng lưới khống chế quốc gia, các mạng lưới chuyên dụng (nghiên cứu địa động, lưới trắc địa công trình vv...)



Hình 4.22. Định vị tương đối

Trong định vị tương đối bằng trị đo pha sóng tải, cần phải phát hiện và hiệu chỉnh hiện tượng trượt chu kỳ, xác định số nguyên đa trị trong phương trình trị đo pha. Để loại bỏ hoặc

giảm thiểu một số nguồn sai số ảnh hưởng đến kết quả định vị, người ta đã sử dụng các phương trình sai phân (hiệu pha) như đã giới thiệu ở phần trước.

#### 4.6.1. Các phương trình cơ bản trong định vị tương đối

Phương trình sai phân bậc hai của 2 trạm máy A,B và 2 vệ tinh j,k đã loại bỏ được sai số đồng hồ vệ tinh và sai số đồng hồ máy thu, do đó thường được sử dụng để xác định véc tơ cạnh. Như đã trình bày ở phần trước, phương trình sai phân bậc hai có dạng:

$$\nabla \Phi_{AB}^{j,k}(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{j,k}(t) + N_{AB}^{j,k} \quad (4.6.1)$$

Nhân 2 vế của phương trình (4.6.1) với bước sóng tải  $\lambda$  ta sẽ nhận được phương trình dạng:

$$\lambda \nabla \Phi_{AB}^{j,k}(t) = \rho_{AB}^{j,k}(t) + \lambda N_{AB}^{j,k} \quad (4.6.2)$$

Vệ tinh j được coi là vệ tinh tham khảo (*reference satellite*) để tính các sai phân bậc hai.

Giá trị  $\rho_{A,B}^{j,k}(t)$  trong phương trình (4.6.2) có thể phân tích:

$$\rho_{AB}^{j,k}(t) = \rho_B^k(t) - \rho_B^j(t) - \rho_A^k(t) + \rho_A^j(t) \quad (4.6.3)$$

Các khoảng cách  $\rho$  trong phương trình (4.6.3) là hàm của toạ độ vệ tinh (j,k) và toạ độ điểm đặt máy (A,B), do đó ta có thể viết ở dạng khai triển tuyến tính như sau:

$$\lambda \nabla \Phi_{AB}^{jk}(t) = \rho_{(0)A,B}^{jk} + b_{XA}^{jk}(t)dX_A + b_{YA}^{jk}(t)dY_A + b_{ZA}^{jk}(t)dZ_A + b_{XB}^{jk}(t)dX_B + b_{YB}^{jk}(t)dY_B + b_{ZB}^{jk}(t)dZ_B + \lambda N_{AB}^{jk} \quad (4.6.4)$$

trong đó các hệ số b là các đạo hàm riêng của khoảng cách  $\rho$  từ vệ tinh đến máy thu theo toạ độ của 2 điểm đầu cạnh:

Từ (4.6.4) lập được phương trình số hiệu chỉnh:

$$V_{AB}^{jk}(t) = b_{XA}^{jk}(t)dX_A + b_{YA}^{jk}(t)dY_A + b_{ZA}^{jk}(t)dZ_A + b_{XB}^{jk}(t)dX_B + b_{YB}^{jk}(t)dY_B + b_{ZB}^{jk}(t)dZ_B + \lambda N_{AB}^{jk} - l_{AB}^{jk}(t) \quad (4.6.5)$$

trong đó:  $l_{AB}^{jk}(t)$  là số hạng tự do được tính:

$$l_{AB}^{jk}(t) = \lambda \nabla \Phi_{AB}^{jk}(t) - \rho_{Bo}^k(t) + \rho_{Bo}^j(t) + \rho_{Ao}^k(t) - \rho_{Ao}^j(t) \quad (4.6.6)$$

Để định vị tương đối, cần biết trước toạ độ điểm A (gọi là điểm tham chiếu), như vậy trong phương trình (4.6.5) ta đặt  $dX_A = dY_A = dZ_A = 0$ , và số hạng tự do (4.6.6) được viết:

$$l_{AB}^{jk}(t) = \lambda \nabla \Phi_{AB}^{jk}(t) - \rho_{Bo}^k(t) + \rho_{Bo}^j(t) + \rho_A^k(t) - \rho_A^j(t) \quad (4.6.7)$$

Toạ độ gần đúng của điểm tham chiếu A cần xác định chính xác, vì giá trị của nó ảnh hưởng đến độ chính xác xác định véc tơ cạnh AB. Thông thường toạ độ gần đúng của A được lấy bằng giá trị toạ độ định vị tuyệt đối của điểm đó.

Như vậy phương trình số hiệu chỉnh (4.6.5) sẽ có dạng:

$$V_{AB}^{jk}(t) = b_{XB}^{jk}(t)dX_B + b_{YB}^{jk}(t)dY_B + b_{ZB}^{jk}(t)dZ_B + \lambda N_{AB}^{jk} - l_{AB}^{jk}(t) \quad (4.6.8)$$

Trong phương trình trên có 4 ẩn số là toạ độ véc tơ cạnh  $dX_B, dY_B, dZ_B$  và số nguyên đa trị sai phân bậc hai  $N_{AB}^{jk}$ . Số lượng ẩn số trong bài toán định vị tương đối (xác định 1 cạnh) sẽ là

$3 + (\mathbf{n}_j - 1)$ , trong đó  $\mathbf{n}_j$  là số véc tơ tinh quan sát. Số phương trình dạng (4.6.8) sẽ là  $\mathbf{n}_t(\mathbf{n}_j - 1)$  trong đó  $\mathbf{n}_t$  là số thời điểm quan sát. Điều kiện để giải được bài toán trên là:

$$\mathbf{n}_t(\mathbf{n}_j - 1) \geq 3 + (\mathbf{n}_j - 1) \quad (4.6.9)$$

Từ (4.6.9) ta có biểu thức:

$$\mathbf{n}_t \geq \frac{3 + (\mathbf{n}_j - 1)}{(\mathbf{n}_j - 1)} \quad (4.6.10)$$

Từ biểu thức trên cho thấy nếu có 4 véc tơ tinh quan sát ( $\mathbf{n}_j = 4$ ) thì số thời điểm quan sát phải không ít hơn 2 ( $\mathbf{n}_t \geq 2$ ). Đây chính là điều kiện cần thiết để có thể định vị tương đối, số thời điểm đo (epoch) không ít hơn 2 nếu quan sát tối thiểu 4 véc tơ.

Nếu 2 trạm máy A,B đồng thời thu tín hiệu và cùng thực hiện được  $\mathbf{n}_t$  trị đo (thời điểm đo), thì các phương trình số hiệu chỉnh (4.6.8) sẽ được viết ở dạng ma trận:

$$\mathbf{V} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{X}_B + \mathbf{A} \cdot \mathbf{X}_N + \mathbf{L} \quad (4.6.11)$$

Các phương trình trên là những phương trình phụ thuộc, ma trận hiệp phương sai được xác định từ các phương trình sai phân của các trị đo pha sóng tải.

Trong phương trình (4.6.11), B là ma trận hệ số có kích thước  $\mathbf{n}_t(\mathbf{n}_j - 1)$  hàng và 3 cột với các phần tử là các hệ số b trong (4.6.8), A là ma trận có kích thước  $\mathbf{n}_t(\mathbf{n}_j - 1)$  hàng và  $(\mathbf{n}_j - 1)$  dạng ma trận khối các ma trận đường chéo

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1 \\ \mathbf{A}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{A}_{n_t} \end{bmatrix} \text{ với } \mathbf{A}_i = \begin{bmatrix} \lambda & & \\ & \lambda & \\ & & \ddots & \\ & & & \lambda \end{bmatrix}_{(\mathbf{n}_j - 1) \times (\mathbf{n}_j - 1)} \quad (4.6.12)$$

$\mathbf{X}_B$  là véc tơ ẩn số của véc tơ cạnh (tọa độ véc tơ cạnh),  $\mathbf{X}_N$  là véc tơ ẩn số số nguyên đa trị sai phân bậc hai.

$$\mathbf{X}_B = \begin{bmatrix} d\mathbf{X}_B \\ d\mathbf{Y}_B \\ d\mathbf{Z}_B \end{bmatrix}_{(3 \times 1)} ; \mathbf{X}_N = \begin{bmatrix} \mathbf{N}_{A,B}^{j,1} \\ \mathbf{N}_{A,B}^{j,2} \\ \ddots \\ \mathbf{N}_{A,B}^{j,(\mathbf{n}_j-1)} \end{bmatrix}_{(\mathbf{n}_j-1) \times 1} \quad (4.6.13)$$

Cân lưu ý rằng, véc tơ ẩn số  $\mathbf{X}_N$  là những số nguyên ( $\mathbf{X}_N \in \mathbb{Z}^{(\mathbf{n}_j-1)}$ ).

Vấn đề giải hệ phương trình số hiệu chỉnh (4.6.11) là một bài toán không đơn giản do có véc tơ ẩn số số nguyên đa trị sai phân bậc hai  $\mathbf{X}_N$ . Nếu từ hệ phương trình (4.6.11) giải các véc tơ ẩn số theo nguyên lý bình phương nhỏ nhất ( $\mathbf{V}^T \mathbf{P} \mathbf{V} = \min$ ) thì chỉ nhận được ước lượng gần đúng của các ẩn số mà thôi, trong trường hợp này kết quả lời giải được gọi là nghiệm trôi FLOAT (float solution).

Người ta đã đưa ra một số thuật toán giải hệ phương trình (4.6.11), gồm 3 bước như sau:

1. Xác định nghiệm FLOAT

2. Ước lượng số nguyên đa trị (*integer ambiguity estimation*)
3. Xác định lời giải cố định FIXED (*Fixed solution*)

Trong quy trình trên, người ta đã đưa ra các kỹ thuật khác nhau để giải số nguyên đa trị (*ambiguity resolution techniques*), trong đó có kỹ thuật LSAST của Hatch, kỹ thuật FARA của Frei và Beutler, kỹ thuật LAMBDA của Teunissen, kỹ thuật FASF của Chen và Lachapelle, kỹ thuật OMEGA của Kim và Langley. Phương pháp xử lý số liệu được thực hiện với nhiều thời thời điểm đo (*Multi-epoch*) và cũng có thể xử lý theo từng thời điểm đo (*Single epoch*). Để giải nhanh số nguyên đa trị người ta sử dụng nhiều tần số sóng tải đồng thời sử dụng các tổ hợp tuyến tính của chúng. Sử dụng máy nhiều tần số việc giải số nguyên đa trị sẽ nhanh hơn.

Trong một số phương pháp trên, người ta sử dụng phép biến đổi Z (*Z-transformation*):

$$z_N = \mathbf{Z}^T \mathbf{X}_N \quad (4.6.14)$$

trong đó  $z_N$  là véc tơ ẩn số (nguyên đa trị) mới.

Bài toán xác định số nguyên đa trị sẽ phức tạp trong trường hợp có xảy ra trượt chu kỳ, chính vì thế người ta phải tiến hành phát hiện và hiệu chỉnh trượt chu kỳ trước khi thực hiện giải bài toán này.

Sau khi tính được véc tơ ẩn số  $\mathbf{X}_B$ , toạ độ điểm B được tính theo công thức:

$$\mathbf{X}_B = \mathbf{X}_B^0 + d\mathbf{X}_B; \quad \mathbf{Y}_B = \mathbf{Y}_B^0 + d\mathbf{Y}_B; \quad \mathbf{Z}_B = \mathbf{Z}_B^0 + d\mathbf{Z}_B \quad (4.6.15)$$

trong đó  $\mathbf{X}_B^0, \mathbf{Y}_B^0, \mathbf{Z}_B^0$  là toạ độ gần đúng của điểm B, đã sử dụng trong các tính toán trước đó.

Các thành phần véc tơ cạnh được tính:

$$\begin{aligned} \Delta\mathbf{X}_{AB} &= \mathbf{X}_B - \mathbf{X}_A \\ \Delta\mathbf{Y}_{AB} &= \mathbf{Y}_B - \mathbf{Y}_A \\ \Delta\mathbf{Z}_{AB} &= \mathbf{Z}_B - \mathbf{Z}_A \end{aligned} \quad (4.6.16)$$

Vì giá trị các ẩn số  $\mathbf{X}_B, \mathbf{Y}_B, \mathbf{Z}_B$  được giải ra từ hệ phương trình chuẩn cho nên chúng sẽ là những giá trị phụ thuộc nhau (giá trị tương quan), thể hiện qua ma trận hiệp phương sai của các ẩn số.

Trong định vị tương đối cần xét tới giá trị RDOP (*Relative Dilution of Precision*). Giá trị RDOP được tính:

$$RDOP = \left[ Tr \left( \mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{B} \right)^{-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.6.17)$$

trong đó P là ma trận trọng số của các phương trình sai phân bậc hai. B là ma trận với các phần tử có xuất xứ từ các thành phần của vectơ cạnh dạng (4.6.11).

#### 4.6.2. Phân loại định vị tương đối

Định vị tương đối được chia thành định vị tương đối tĩnh (*Static Relative Positioning*) gọi tắt là **định vị tĩnh** và định vị tương đối động (*Kinematic Relative Positioning*), gọi tắt là **định vị động**. Cần phân biệt với định vị tuyệt đối tĩnh và định vị tuyệt đối động.

Định vị tĩnh nhanh cũng là định vị tương đối tĩnh, chỉ khác là thời gian thu tín hiệu ngắn hơn. Trong **định vị tĩnh và tĩnh nhanh**, cả hai máy thu tín hiệu đều đặt cố định tại các điểm đo trong một thời gian đủ dài và cùng thu tín hiệu (thường khoảng 10 hoặc 20 phút trở lên).

Trong **định vị tương đối động**, một máy thu được đặt cố định tại điểm đã biết toạ độ, độ cao (trạm Base), còn máy thứ hai cho phép di chuyển trong khi đo (trạm Rover). Tuỳ theo phương pháp đo, thời gian thu tín hiệu tại mỗi điểm đo (trên đường đo) được rút ngắn chỉ khoảng một vài giây đến vài phút. Định vị tương đối động cho độ chính xác thấp hơn định vị tương đối tĩnh.

Trong định vị tương đối động có thể chia thành hai phương pháp đo như sau:

#### **4.6.2.1. Đo bán động (Semi Kinematic)**

Kỹ thuật đo động dừng và đi (*Stop and Go*), được xếp vào phương pháp đo bán động. Trong phương pháp này bắt buộc phải có thủ tục khởi đo (*Initialization*) để xác định số nguyên đa trị đầu tiên trong phương trình sai phân bậc hai, làm cơ sở để giải bài toán định vị tương đối chỉ trong vài giây. Có 3 phương pháp khởi đo trạng thái tĩnh được áp dụng đó là:

- khởi đo trên điểm đã biết toạ độ
- khởi đo trên điểm chưa biết toạ độ
- khởi đo theo phương pháp trao đổi anten (*antenna swapping*)

Một yêu cầu bắt buộc nữa của định vị tương đối động là khi di chuyển máy phải liên tục thu tín hiệu ít nhất 4 vệ tinh. Nếu không bảo đảm được yêu cầu này, sẽ xảy ra hiện tượng mất khoá (*loss of lock*). Nếu xảy ra hiện tượng này, phải tiến hành khởi đo lại.

Kỹ thuật đo dừng và đi thường được sử dụng để đo vẽ bản đồ tỷ lệ lớn ở những vùng có điều kiện đo thuận lợi (thông thoáng).

#### **4.6.2.2. Đo động thuần tuý (Pure Kinematic)**

Trong một số trường hợp cần xác định liên tục toạ độ của vật chuyển động (tàu biển, máy bay) người ta đưa ra phương pháp định vị tương đối động liên tục hay định vị động thuần tuý. Để thực hiện được phương pháp này, cần phải có giải pháp xác định số nguyên đa trị trong lúc máy thu chuyển động (vì không thể dừng máy để khởi đo trạng thái tĩnh như phương pháp đo bán động). Năm 1989, người ta đã đề xuất phương pháp xác định số nguyên đa trị trong thời gian máy thu chuyển động (*On-The-Fly ambiguity resolution*) gọi là phương pháp khởi đo trạng thái động OTF. Phương pháp này áp dụng cho máy thu 2 tần số, trong đó có phối hợp các trị đo code và trị đo pha sóng tải cùng với kỹ thuật tín hiệu cổng rộng (*wide laneing technique*) và số vệ tinh quan sát được phải nhiều hơn 4. Tốt nhất là số vệ tinh quan sát được không ít hơn 6.

Kỹ thuật đo động liên tục (*Continuous*) và đo động kiểu đánh dấu sự kiện (*Events Markers*) được xếp vào phương pháp đo động thuần tuý. Kỹ thuật đo động liên tục thường được sử dụng

để xác định quỹ đạo chuyển động của một vật chuyển động, còn kỹ thuật đo động đánh dấu sự kiện thường được sử dụng trong xác định tâm chụp ảnh hàng không đúng vào thời điểm chụp.

Trong định vị tương đối động, có thể thực hiện định vị tức thời RTK (*Real Time Kinematic*) hoặc xử lý sau PPK (*Post-Processing Kinematic*).

Khi áp dụng kỹ thuật định vị tương đối động xử lý tức thời RTK, cần phải truyền tức thời số liệu đo khoảng cách giả, trị đo pha sóng tái tại trạm cơ sở (*base*) tới trạm động (*rover*). Để thực hiện việc này, cần có thiết bị kết nối số liệu không giây (Radio Link) giữa trạm cơ sở và trạm động với tần số sử dụng là VHF hoặc UHF. Tại trạm động, việc giải số nguyên đa trị được thực hiện theo phương pháp OTF và nhờ đó tại trạm động, véc tơ cạnh được xác định tức thời hoặc tựa tức thời (*near real-time*).

Khoảng cách cho phép truyền dữ liệu giữa trạm cơ sở và trạm động sẽ là giới hạn áp dụng kỹ thuật RTK, khoảng cách này khoảng 10km. Nếu bố trí anten trạm cơ sở (trạm phát) cao 25m, và anten trạm động (thu) cao 2 m thì khoảng cách tối đa có thể đo được là 26km [9]

Trong định vị RTK phải thực hiện thủ tục định chuẩn (*calibration*) nhằm xác định các tham số chuyển đổi toạ độ về hệ thực dụng.

Ngoài phương pháp đo động, còn có thể áp dụng phương pháp đo giả động (*PseudoKinematic method*). Trong phương pháp này, có thể tắt máy thu trong quá trình di chuyển, nhưng phải kéo thời gian thu tín hiệu tại mỗi điểm khoảng 5 phút. Các điểm đo phải được đo lặp lại trong vòng 1 giờ [4].

#### 4.7. CÁC NGUỒN SAI SỐ TRONG ĐỊNH VỊ VỆ TINH

Có một số nguồn sai số ảnh hưởng đến kết quả định vị GPS, chúng được chia thành 3 nhóm như sau:

Bảng 4.6. Các nguồn sai số trong định vị vệ tinh

| TT | Nhóm sai số                                 | Gồm các nguồn sai số   |
|----|---|--|
| 1  | Sai số phụ thuộc vào vệ tinh                | <ul style="list-style-type: none"><li>- Sai số đồng hồ vệ tinh</li><li>- Sai số quỹ đạo vệ tinh</li><li>- Nhiều cỗ ý SA</li></ul>  |
| 2  | Sai số phụ thuộc vào sự lan truyền tín hiệu | <ul style="list-style-type: none"><li>- Sai số do tầng điện ly</li><li>- Sai số do tầng đối lưu</li><li>- Sai số do đa đường dẫn</li></ul>                                 |
| 3  | Sai số phụ thuộc vào máy thu                | <ul style="list-style-type: none"><li>- Sai số đồng hồ máy thu</li><li>- Sai số do lệch tâm pha anten</li><li>- Sai số do sự không ổn định phần cứng của máy thu</li></ul> |

Sau đây chúng ta xem xét chi tiết hơn về các nhóm sai số đó.

#### 4.7.1. Sai số phụ thuộc vào vệ tinh

Sai số phụ thuộc vào vệ tinh bao gồm 3 nguồn sai số chính đó là : sai số đồng hồ vệ tinh, sai số quỹ đạo vệ tinh và nhiễu cỗ ý SA

**Sai số đồng hồ vệ tinh** trực tiếp gây ra sai số trong xác định thời gian. Trong đo khoảng cách bằng sóng ánh sáng, hay sóng điện từ, sai số thời gian có thể ảnh hưởng đáng kể đến độ chính xác khoảng cách đo. Các vệ tinh được trang bị đồng hồ nguyên tử chính xác, tuy vậy, do sự không ổn định của bộ tạo dao động nguyên tử nên các đồng hồ này vẫn có sai số xét trong hệ thống giờ GPS. Hiện nay trên các vệ tinh được trang bị đồng hồ nguyên tử rubidium hay Caesium thường có biên độ sai số đồng hồ khoảng  $10^{-14}$  s.[10]

Sai số đồng hồ vệ tinh được mô hình hóa bởi đa thức đồng hồ theo công thức (4.5.2). Trong định vị tuyệt đối khoảng cách giả, sai số đồng hồ vệ tinh được hiệu chỉnh vào các khoảng cách giả trước khi sử dụng chúng để giải bài toán định vị.

Trong định vị tương đối, để loại bỏ ảnh hưởng của sai số đồng hồ vệ tinh, người ta sử dụng phương trình sai phân bậc nhất của các trị đo pha từ 2 trạm quan sát đến cùng một vệ tinh.

Các vệ tinh GPS chuyển động trên quỹ đạo có độ cao cách mặt đất khoảng 20200 km, ở độ cao như vậy, vận tốc vệ tinh khoảng 3,8 km/s. Quỹ đạo vệ tinh GPS được mô hình hóa bởi 6 yếu tố quỹ đạo Kepler đã giới thiệu ở chương 3. Khi định vị sử dụng lịch vệ tinh quảng bá, mặc dù lịch vệ tinh này cung cấp 16 tham số quỹ đạo dựa trên 6 yếu tố quỹ đạo Kepler và liên tục được cập nhật lại sau 2 giờ nhờ đoạn điều khiển, nhưng tọa độ vệ tinh  $X^j(t), Y^j(t), Z^j(t)$  xác định được vẫn chứa sai số khoảng 2,5m, đó chính là sai số quỹ đạo vệ tinh hay sai số lịch vệ tinh. **Sai số quỹ đạo vệ tinh** ảnh hưởng gần như trọn vẹn đến kết quả định vị tuyệt đối.

Như đã trình bày ở phần trước (4.5.1), khi định vị tuyệt đối bằng khoảng cách giả, sai số vị trí điểm định vị được tính theo công thức :

$$m_p = \pm \mu \cdot PDOP \quad (4.7.1)$$

trong đó :  $\mu$  đặc trưng cho sai số đo khoảng cách giả

**PDOP** đặc trưng cho ảnh hưởng của đồ hình vệ tinh.

Cần lưu ý rằng, công thức (4.7.1) chưa xét đến ảnh hưởng của sai số tọa độ vệ tinh đến độ chính xác định vị tuyệt đối.

Theo thông báo của IGS năm 2004, hiện nay Mỹ có thể cung cấp quỹ đạo vệ tinh GPS ở chế độ tức thời với độ chính xác xấp xỉ 10cm và sai số đồng hồ cỡ 5ns với giãn cách 15 phút [23]. Đây chính là cơ sở để định vị tuyệt đối chính xác tức thời (PPP) với độ chính xác cao như đã trình bày ở phần (4.5.2).

Trong định vị tương đối, một số nguồn sai số hệ thống có thể được mô hình hoá và làm giảm trong kết quả quan trắc. Một số khác có thể được loại bỏ nhờ xử lý thích hợp khi phối hợp các trị đo (hiệu pha vv..) . Thí dụ như khi lấy hiệu số (sai phân) giữa các máy thu đồng thời

sẽ loại bỏ được sai số sai lệch do máy thu. Còn khi lấy hiệu số bậc hai của khoảng cách giả (sai phân bậc cao) sẽ tự loại bỏ được sai số hệ thống gây ra do cả vệ tinh và máy thu.

Để tính các hệ số phương trình số hiệu chỉnh trong định vị tương đối (4.6.11) cần biết tọa độ vệ tinh tại các thời điểm đo. **Sai số tọa độ vệ tinh** ảnh hưởng đến độ chính xác xác định cạnh theo công thức sau:

$$\frac{m_s}{\rho} = \frac{m_b}{b} \quad (4.7.2)$$

trong đó:  $m_s$  là sai số tọa độ vệ tinh (sai số quỹ đạo vệ tinh)

$\rho$  là khoảng cách từ máy thu (A) đến vệ tinh

$\frac{m_b}{b}$  là sai số tương đối chiều dài cạnh đo (*baseline*)

Nếu sai số vị trí vệ tinh khoảng 2m, với khoảng cách  $\rho$  xấp xỉ 20000 km, ta có sai số tương đối chiều dài cạnh đo xấp xỉ  $10^{-7}$ . Trong trường hợp cần xử lý với độ chính xác cao, người ta phải sử dụng lịch vệ tinh chính xác vì lịch vệ tinh chính xác cho sai số quỹ đạo trong khoảng 5-10cm.

Nhiều cố ý SA đã được giới thiệu ở phần trước (4.2.1.4), hiện nay Mỹ đã chính thức gỡ bỏ nhiều SA do đó độ chính xác định vị GPS đã được cải thiện đáng kể.

#### 4.7.2. Sai số phụ thuộc vào môi trường lan truyền tín hiệu

Tín hiệu vệ tinh khi lan truyền từ vệ tinh đến máy thu trên mặt đất phải xuyên qua khí quyển gồm nhiều tầng, trong đó có tầng điện ly và tầng đối lưu là hai tầng ảnh hưởng nhiều nhất tới sự lan truyền tín hiệu từ vệ tinh, ta gọi là hiệu ứng khí quyển ảnh hưởng đến tín hiệu vệ tinh. Ngoài ra do hiện tượng phản xạ, tín hiệu vệ tinh GPS đến máy thu có thể bị ảnh hưởng của đa đường dẫn (*Multipath*).

**Tầng điện ly** chứa các điện tử tự do phân bố trong khí quyển từ độ cao từ 50km đến khoảng 1000km. Tầng điện ly làm chậm trễ tín hiệu code tức là làm tín hiệu code đến máy thu muộn hơn. Mức độ chậm trễ tín hiệu code tỷ lệ nghịch với bình phương của tần số sóng tải và tỷ lệ thuận với tổng lượng điện tử TEC trên đường truyền tín hiệu. Ngược lại, tầng điện ly lại làm tín hiệu pha đến máy thu sớm hơn. Giá trị TEC được tính theo tổng điện tử theo phương thẳng đứng VTEC. Giá trị VTEC phụ thuộc vào vị trí địa lý, thay đổi theo thời gian. Ban ngày giá trị VTEC lớn hơn so với ban đêm.

Ảnh hưởng của tầng điện ly đến trị đo khoảng cách giả và trị đo pha là vấn đề khá phức tạp đã được nhiều người quan tâm nghiên cứu. Như đã biết, tầng điện ly làm chậm trễ tín hiệu code và mức độ chậm trễ tỷ lệ nghịch với bình phương của tần số sóng tải và tỷ lệ thuận với tổng lượng điện tử TEC trên đường truyền tín hiệu. Đối với trị đo pha, tầng điện ly lại có ảnh hưởng ngược lại, tức là làm tín hiệu pha đến máy thu sớm hơn [8]. Kết quả nghiên cứu được thể hiện trên bảng 4.7.

Bảng 4.7. Ảnh hưởng của tầng điện ly đến khoảng cách đo từ vệ tinh tới máy thu [9]

| Tần số f       | 400MHz | 1600MHz | 2000MHz | 8000MHz |
|----------------|--------|---------|---------|---------|
| mức trung bình | 50m    | 3m      | 2m      | 0,12m   |
| 90% nhỏ hơn    | 250    | 15      | 10      | 0,6     |
| lớn nhất       | 500    | 30      | 20      | 1,2     |

Có thể thấy rằng, với tần số tín hiệu GPS là 1575,42 MHz và 1227,60 MHz, thì ảnh hưởng do tầng điện ly đến khoảng cách giả có thể đến trên 30m. Đây là nguồn sai số đáng kể, cần nghiên cứu để loại bỏ hoặc giảm thiểu.

Ảnh hưởng tầng điện ly đến khoảng cách đo có giá trị trung bình trong khoảng 5-10m, lớn nhất có thể đến 50m [9].

Dạng đầy đủ của phương trình trị đo khoảng cách giả theo code được viết:

$$R_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c \cdot \delta_i(t) - c \cdot \delta^j(t) + I_i^j + T_i^j + \varepsilon_i^j \quad (4.7.3)$$

trong đó  $I_i^j$  là ảnh hưởng của tầng điện ly đến khoảng cách giả

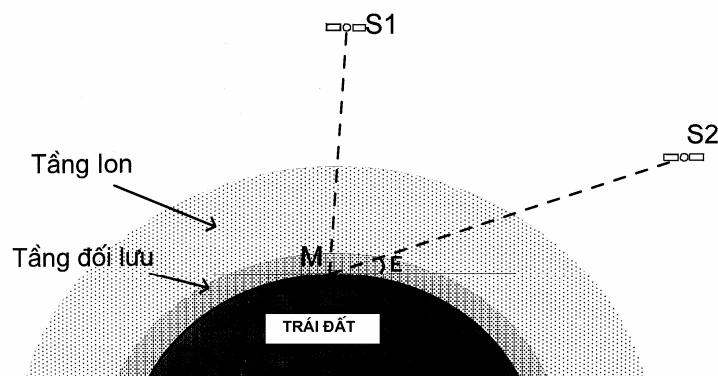
$T_i^j$  là ảnh hưởng của tầng đối lưu đến khoảng cách giả

$\varepsilon_i^j$  là các sai số khác

Trong định vị tương đối khoảng cách ngắn (nhỏ hơn 10km), ảnh hưởng do tầng điện ly và tầng đối lưu về cơ bản được loại bỏ vì ảnh hưởng này được coi là như nhau đối với 2 máy thu đặt ở gần nhau.

Ở khoảng cách dài trên 10km, để giảm ảnh hưởng của tầng điện ly đến kết quả định vị tương đối, người ta phải sử dụng máy thu 2 tần số. Nói chung, thông tin về VTEC trong khí quyển có tác dụng để tính toán hiệu chỉnh vào trị đo GPS để nâng cao độ chính xác định vị.

**Tầng đối lưu** là tầng khí quyển tính từ mặt đất đến độ cao khoảng 50km. Trong tầng đối lưu chứa nhiều hơi nước và bụi khí quyển. Ảnh hưởng của tầng đối lưu đến tín hiệu điện từ không phụ thuộc vào tần số sóng tải, được chia thành ảnh hưởng của phần khô (trên cao) và ảnh hưởng của phần ướt (dưới thấp). Qua khảo sát thấy rằng, ảnh hưởng của phần khô chiếm khoảng 90% còn ảnh hưởng của phần ướt chỉ là 10% [8].



Hình 4.23. Quang đường tín hiệu lan truyền từ vệ tinh đến máy thu

Ảnh hưởng của tầng đối lưu đến tín hiệu phụ thuộc vào góc cao E của vệ tinh. Góc cao càng nhỏ thì tín hiệu lan truyền trong tầng đối lưu cũng như trong tầng điện ly quang đường càng lớn (hình 4.23).

Do tầng đối lưu, tín hiệu code và pha đến máy thu bị chậm trễ, gây ra sai số trong khoảng cách cỡ 2,5m theo phương thiên đỉnh và khoảng 30 mét theo phương chân trời [10].

Trên bảng 4.8 thể hiện ảnh hưởng của tầng đối lưu đến khoảng cách giả, trong đó có các thành phần:

$\Delta S_d$  - ảnh hưởng của phần khô (dry) trong tầng đối lưu

$\Delta S_w$  - ảnh hưởng của phần ướt (wet) trong tầng đối lưu

$\Delta S_T$  - là ảnh hưởng tổng hợp

Bảng 4.8. ảnh hưởng của tầng đối lưu tới khoảng cách [9]

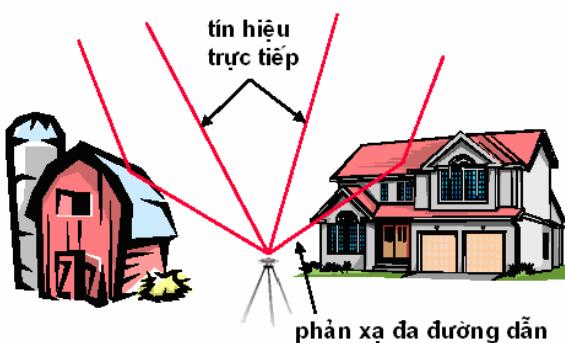
| E            | 90 <sup>0</sup> | 20 <sup>0</sup> | 15 <sup>0</sup> | 10 <sup>0</sup> | 5 <sup>0</sup> |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| $\Delta S_d$ | 2,31m           | 6,71m           | 8,81m           | 12,90m          | 23,61          |
| $\Delta S_w$ | 0,20            | 0,58            | 0,77            | 1,14            | 2.21           |
| $\Delta S_T$ | 2,51            | 7,29            | 9,58            | 14,04           | 25,82          |

Để khắc phục ảnh hưởng của tầng đối lưu, người ta đã nghiên cứu xây dựng các mô hình khí quyển để dựa vào đó tính toán hiệu chỉnh nhằm loại bỏ hoặc giảm thiểu nguồn sai số này. Trong đó có các mô hình quen biết như mô hình Hopfield và mô hình Saastamoinen. Trong quá trình đo đạc, có thể giảm bớt ảnh hưởng sai số này bằng cách loại bỏ tín hiệu của các vệ tinh có góc cao E dưới 15<sup>0</sup>, gọi là góc cao giới hạn hay góc ngưỡng (*Threshold Elevation*).

Hiện tượng **đa đường dẫn** hay còn được gọi là đa đường truyền (*Multipath*). Các tín hiệu đi từ vệ tinh đến máy thu có thể qua nhiều đường khác nhau do phản xạ tín hiệu. Nếu tín hiệu phản xạ đủ mạnh, máy thu ghi nhận cả tín hiệu truyền thẳng từ vệ tinh đến máy thu và cả tín hiệu phản xạ sau khi va đập vào các vật phản xạ trên đường đi.

Các tín hiệu đa đường dẫn và tín hiệu truyền thẳng có thời gian phát đi cùng nhau từ vệ tinh, nhưng thời điểm đến máy thu sẽ khác nhau do đó làm nhiễu kết quả quan trắc. Tín hiệu bị phản xạ bao giờ cũng đến máy thu chậm hơn so với tín hiệu đi theo đường thẳng do phải trải qua một quãng đường dài hơn, chính là đường đi của tín hiệu phản xạ. Hiện tượng đa đường dẫn gây biến dạng tín hiệu điều biến C/A code, P Code và ảnh hưởng đến các trị đo pha sóng tải. Trên hình 4.24 mô tả trường hợp tín hiệu bị phản xạ từ bề mặt nhà.

Theo ước tính, hiện tượng đa đường dẫn có thể gây ra sai số đối với trị đo khoảng cách code cỡ vài mét, trường hợp lớn nhất có thể tới 100m hoặc hơn thế. Ảnh hưởng của đa đường dẫn tới trị đo pha nhỏ hơn, thường chỉ khoảng vài cm trong trị đo khoảng cách theo pha [9] và nói chung ảnh hưởng đến kết quả định vị tương đối ở khoảng cách ngắn không quá 1cm [8].



Hình 4.24. Ảnh hưởng của tín hiệu đa đường dẫn

Hiện tượng đa đường dẫn và ảnh hưởng của nó tới kết quả định vị thường khó loại bỏ bằng thuật toán xử lý. Cách tốt nhất để loại bỏ hoặc giảm thiểu ảnh hưởng của đa đường dẫn là nghiên cứu chế tạo anten máy thu có khả năng giảm thiểu tín hiệu đa đường dẫn như loại anten gồm các vòng xáy tròn (choke-ring) (hình 4.25).



Hình 4.25. Anten Choke-ring

Một cách khác để giảm thiểu ảnh hưởng của đa đường dẫn là khi bố trí trạm đo GPS phải xa các vật dễ phản xạ tín hiệu như vật liệu kim loại, bê tông (mái nhà, hàng rào, cột điện ....)

Ngoài hiện tượng đa đường dẫn, **hiện tượng gián đoạn tín hiệu** cũng thường xảy ra khi xung quanh vị trí máy thu có nhiều địa vật che chắn như hàng cây cao, cột điện, dây điện vv.... Hiện tượng này ảnh hưởng chủ yếu đến trị đo pha, làm quá trình theo dõi tín hiệu bị gián đoạn, gây nên hiện tượng trượt chu kỳ trong trị đo pha.

#### 4.7.3. Sai số phụ thuộc vào máy thu

Tinh thể thạch anh được sử dụng để chế tạo ra bộ tạo dao động của **đồng hồ máy thu GPS**. Do đó, độ ổn định của đồng hồ máy thu thấp hơn so với đồng hồ vệ tinh. Sai số do đồng hồ máy thu sẽ gây ra sai số trong các trị đo GPS. Để khắc phục ảnh hưởng của sai số đồng hồ

máy thu đến kết quả định vị tuyệt đối bằng khoảng cách giả, người ta coi sai số đồng hồ máy thu là ẩn số thứ tư trong bài toán định vị, nhờ đó về cơ bản đã loại bỏ được ảnh hưởng này, tuy nhiên vẫn còn lại một phần ảnh hưởng thể hiện qua sai số của chính ẩn số đó.

Trong định vị tương đối theo pha sóng tải, nhờ sử dụng phương trình sai phân bậc hai nên về cơ bản cũng đã loại bỏ được ảnh hưởng của sai số đồng hồ máy thu.

Phản cứng của máy thu (như mảng mạch, các linh kiện vv...) cũng gây ra độ trễ thời gian trong máy thu do tín hiệu lan truyền trong đó. Nhà sản xuất máy thu đã làm công tác kiểm định và hiệu chỉnh máy, nhưng do quá trình lão hóa và tác động bên ngoài, vẫn còn tàn dư của sai số này. Các kết quả nghiên cứu gần đây cho thấy, tàn dư của sai số này cỡ mm, không thể bỏ qua khi định vị chính xác.

Về **sai số lệch tâm pha anten máy thu**, khi chế tạo máy thu GPS, người ta cố gắng chế tạo sao cho tâm điện tử của anten trùng với tâm hình học của nó, nhưng trên thực tế 2 tâm này không hoàn toàn trùng nhau gây ra sai số lệch tâm pha anten. Sai số lệch tâm pha anten máy thu thường khoảng vài mm đến cỡ cm. Trong trường hợp định vị tương đối độ chính xác cao như trong đo GPS phục vụ nghiên cứu địa động, người đo phải quan tâm đến sai số này. Khi xử lý số liệu đo GPS chính xác cao bằng phần mềm Bernese vv.. có thể loại bỏ sai số lệch tâm pha anten bằng cách tính hiệu chỉnh dựa vào thông tin của máy thu trong tệp ANTEX [1]. Có thể kiểm tra sai số lệch tâm pha anten trước khi đo theo phương pháp “đường đáy 0” hoặc theo phương pháp xoay anten ở nhiều vị trí. Trong thao tác đo GPS, có thể giảm bớt sai số lệch tâm pha anten bằng cách đặt máy thu tại điểm đo luôn quay (logo) máy thu về hướng Bắc với sai số trong khoảng 5°.

Máy thu GPS là một thiết bị điện tử gồm có phần cứng và phần mềm, do đó trong quá trình làm việc có thể gặp **tình trạng máy thu làm việc không ổn định**. Như chúng ta đã biết, trong môi trường lan truyền tín hiệu luôn có các nguồn sóng điện từ như các trạm phát sóng (truyền hình, viễn thông, radar vv...), sấm chớp vv... sẽ tạo ra **nhiều tín hiệu**. Mức độ nhiễu được thể hiện bởi tỷ lệ tín hiệu trên độ nhiễu (ôn) SNR (*Signal to Noise Ratio*). Tỷ lệ tín hiệu SNR được tính:

$$SNR = \frac{S}{N} \quad (2.6.41)$$

trong đó S- ký hiệu độ mạnh tín hiệu của vệ tinh GNSS, N- ký hiệu các tín hiệu nhiễu.

Trong chiến tranh, đối phương có thể sử dụng các thiết bị tạo ra tín hiệu giả ở tần số L1,L2 để gây nhiễu (gây rối) cho các máy thu GPS trong một phạm vi nhất định. Nếu tín hiệu gây nhiễu (N) có cường độ mạnh, làm giảm tỷ số SNR, khi đó có thể gây cản trở sự làm việc bình thường của các máy thu GPS. Để khắc phục vấn đề này, gần đây Công ty NovAtel đã chế tạo một số máy thu quân sự, sử dụng công nghệ chống nhiễu GAJT (*GPS Anti-Jamming Technology*) [44].

Sự tinh xảo của máy thu sẽ quyết định khả năng lọc nhiễu để loại bỏ những tín hiệu không cần thiết, giữ lại những tín hiệu cần cho định vị. Người sử dụng máy thu cần nắm được tình trạng làm việc của máy thu thông qua số liệu đo đã được xử lý đánh giá. Những hoạt động bất thường của máy thu cần được lưu ý để có biện pháp khắc phục như bảo hành, sửa chữa máy thu.

Một số thiết bị kèm theo máy thu như định tâm quang học, thước đo chiều cao anten vv... cũng cần thường xuyên kiểm tra, hiệu chỉnh để tránh phạm phải các sai số trong đo GPS.

Do nhiều cỗ ý SA, định vị tuyệt đối chỉ có thể đạt độ chính xác cỡ 50 m đến 100m. Sau khi Mỹ gỡ bỏ nhiều cỗ ý SA (5/2000), độ chính xác định vị tuyệt đối thường đạt cỡ 3m đến 20m.

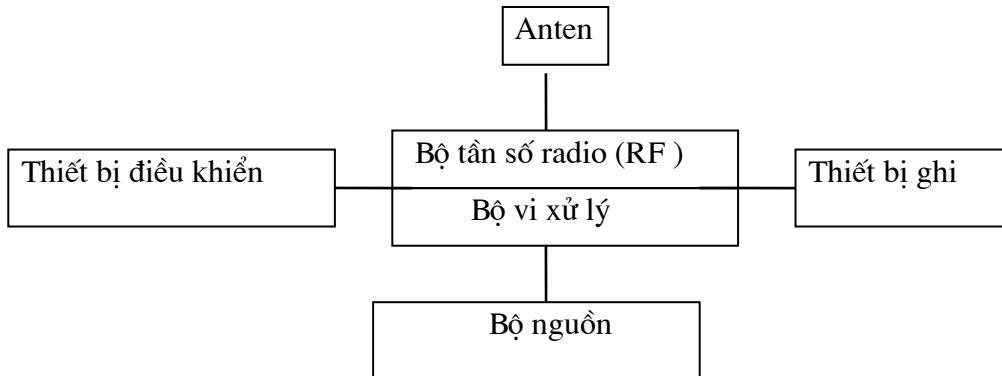
#### 4.8. CÁC MÁY THU GPS

##### 4.8.1. Nguyên lý cấu tạo máy thu GPS và phân loại

###### 4.8.1.1. Nguyên lý cấu tạo máy thu GPS

Để định vị GPS phải có máy thu GPS. Máy thu có các chức năng theo dõi, thu nhận, xử lý chuyển đổi tín hiệu và ghi số liệu đo. Có nhiều loại máy thu GPS được nhiều hãng khác nhau trên thế giới chế tạo và đưa ra thị trường. Mỗi loại máy thu được thiết kế theo yêu cầu định vị đặc thù, như sử dụng trong quân sự hay sử dụng cho dân sự, định vị dẫn đường hay đo đạc vv... Mặc dù hình dạng, kích thước và tính năng của chúng khác nhau song các máy thu GPS có cấu tạo tương tự nhau.

Sơ đồ nguyên lý cấu tạo của máy thu GPS được thể hiện trên hình sau:



Hình. 4.26 Sơ đồ cấu tạo của máy thu GPS

**1. Anten** máy thu có tính đa hướng, tức là có thể thu các tín hiệu của tất cả các vệ tinh trên chân trời ở các hướng khác nhau. Chỉ tiêu quan trọng trong thiết kế anten là bảo đảm chính xác tâm pha anten. Tâm điện tử của anten phải khép kín và trùng với tâm hình học đồng thời không bị tác động của hiện tượng quay và nghiêng. Yêu cầu này cần thiết trong trường hợp đo động, khi đó anten di động trong suốt quá trình đo.Thêm vào đó anten cần phải có khả năng tự loại

bỏ các tín hiệu có góc cao thấp và các tín hiệu đa đường dẫn. Điều này có thể thực hiện được nhờ anten có dạng hình xoáy tròn (hình 4.25). Hiện nay phổ biến nhất là loại anten nhỏ để trần (*microstrip antennas*).

Tín hiệu từ anten sau đó được truyền tới **bộ tần số radio (RF)**. Bộ tần số radio là bộ phận quan trọng, sẽ được giới thiệu ở phần sau. Những giá trị tín hiệu ghi lại bị hạn chế khi thực hiện xử lý code tựa ngẫu nhiên đối với mỗi vệ tinh do các tương quan chéo rất thấp, các tín hiệu này cần được khuyếch đại. Anten được thiết kế đối với sóng tải L1 hoặc cả hai sóng tải L1,L2.

**2. Bộ tần số radio (RF)** được coi là trái tim của máy thu. Sau khi tín hiệu vào anten sẽ được xem xét phân biệt để giữ lại nhờ C/A code. Các tín hiệu chuẩn đã được sắp xếp trước thành các đơn vị đối với mỗi vệ tinh. Bộ phận này có khả năng phân tích logic để phân biệt các vệ tinh theo nguyên tắc giám sát hiệu ứng Doppler. Bộ tần số radio xử lý các tín hiệu đã vào các kênh. Các máy 1 tần chỉ nhận và xử lý tín hiệu L1, còn đối với máy đa tần số thì thiết bị sẽ nhận và xử lý tất cả các tín hiệu. Các số liệu nhận được bởi máy thu đa tần sẽ được phối hợp để tính toán và loại bỏ ảnh hưởng khúc xạ tầng ion. Số lượng kênh đóng vai trò quan trọng của RF và do vậy nó quyết định số lượng vệ tinh có thể quan sát theo dõi đồng thời.

Các yếu tố cơ bản của RF là bộ duy trì tạo các tần số chuẩn (mẫu tham khảo), sau đó qua bộ nhân để có được tần số cao hơn, tiếp theo tín hiệu được lọc để loại bỏ các tần số không mong muốn và thực hiện trộn tần. Sau đó, từ 2 tín hiệu duy trì  $y_1, y_2$  với các biên độ khác nhau và các tần số khác nhau  $f_1, f_2$  sẽ được nhân theo mô hình toán có dạng đơn giản như sau:

$$y = y_1 \cdot y_2 = a_1 \cos(f_1 t) a_2 \cos(f_2 t) = \frac{a_1 a_2}{2} [\cos((f_1 - f_2)t) + \cos((f_1 + f_2)t)]$$

Kết quả là trong tín hiệu  $y$  chứa cả phần tần số thấp và tần số cao. Sau khi sử dụng lọc dải thấp, phần tần số cao được loại bỏ. Phần tần số thấp còn lại được sử dụng để xử lý. Hiệu số giữa ( $f_1 - f_2$ ) giữa các tần số thường được gọi là tần số trung gian hay tần số phách (*beat*).

### 3. Bộ vi xử lý

Bộ vi xử lý có chức năng thực hiện các phép tính theo chương trình đã chuẩn bị sẵn, như tính toán đạo hàm hàng tức thời từ các trị đo khoảng cách giả. Hiện nay người ta đã sử dụng các bộ vi xử lý có tốc độ tính toán rất cao.

### 4. Thiết bị điều khiển

Thiết bị điều khiển thực hiện khả năng phối hợp giữa người đo và máy thu. Các lệnh được đưa vào từ các phím chức năng như vào số hiệu điểm đo, độ cao anten .vv... Ngoài các phím “cứng” máy thu còn có các phím “mềm” thực hiện các lệnh bằng cách chọn trên màn hình nhỏ.

### 5. Thiết bị ghi.

Thiết bị ghi làm nhiệm vụ ghi lại các trị đo và thông tin đạo hàng để phục vụ cho công tác

xử lý sau này. Thiết bị ghi trong máy thu GPS bảo đảm không bị mất số liệu khi ngắt nguồn điện. Dung lượng bộ nhớ của máy thu sẽ quyết định thời gian thu tín hiệu liên tục. Dung lượng bộ nhớ máy thu thường bảo đảm ghi liên tục số liệu đo trong nhiều giờ với số lượng vệ tinh trung bình (5 đến 7 vệ tinh) và tần suất ghi mặc định (15s).

## 6. Bộ nguồn

Bộ nguồn của máy thu thường là pin hoặc các acquy sạc điện. Dòng điện sử dụng cho máy thu là dòng một chiều có điện áp từ 6 vôn đến 20 vôn.

### 4.8.1.2. Phân loại máy thu

Các máy thu GPS có thể phân loại theo các tiêu chí sau đây:

#### 1. Theo mục đích sử dụng:

Tuỳ vào mục đích sử dụng và yêu cầu độ chính xác người ta đã chế tạo ra nhiều loại máy thu GPS khác nhau. Có loại chuyên để trang bị lắp ráp trên tàu biển, trên máy bay, hoặc trên các phương tiện chuyển động khác. Có loại được chế tạo gọn nhẹ (cầm tay), chuyên dùng để xác định gần đúng vị trí điểm, và có loại được chế tạo chuyên phục vụ công tác trắc địa. Máy thu chuyên dụng cho trắc địa có những yêu cầu rất cao về độ chính xác tâm pha anten, khả năng lọc nhiễu vv...

#### 2. Phân loại theo phương thức theo dõi

Các máy thu cũ sử dụng một số lượng ít các kênh vật lý và tự lựa chọn theo dõi lần lượt các vệ tinh với tần suất nhanh khoảng 20 mili giây trên mỗi kênh, đây là nguyên tắc theo dõi **lần lượt chuyển nhanh (Fast Sequencing Receivers)**. Ngày nay, các máy thu thường được thiết kế sao cho mỗi kênh vật lý theo dõi một vệ tinh và như vậy tất cả các vệ tinh đều được quan trắc liên tục. Máy thu như vậy gọi là máy thu đa kênh, hay máy thu **theo dõi song song (Parallel Receivers)**. Máy thu loại này có độ chính xác tốt hơn và ít chịu tác động của mất khóa tín hiệu cho dù có sai số giữa các kênh. Hiện nay với các máy thu hiện đại các sai số này tổng hợp lại cũng không vượt quá 0,1 mm.

Các máy thu có kênh chuyển tiếp nhanh thường rẻ tiền hơn song hoạt động cũng chậm hơn. Máy thu phối hợp cả hai loại nguyên tắc này được gọi là loại **máy thu kết hợp (Multiplexing Receivers)**.

#### 3. Phân loại theo tần số sử dụng

Theo tần số sử dụng, có thể phân thành hai loại máy thu GPS như sau:

- các máy thu 1 tần số (L1)
- các máy thu đa tần số (L1,L2,L5 vv...)

Các máy thu 1 tần số phù hợp cho đo các cạnh có chiều dài nhỏ hơn 10 km, hoặc đến 20 km. Các máy thu đa tần số phù hợp với khoảng cách dài. Hiện nay người ta đã chế tạo **máy thu sử dụng 3 tần số L1,L2 và L5**, thí dụ như máy thu SPS850, SPS852 của hãng Trimble (Mỹ), máy

thu GX-1230 của Leica (Thụy Sĩ), OEM628 của NovAtel (Canada), X91 của CHC (Trung Quốc) vv...

Ngoài ra, còn có thể phân loại máy thu theo khả năng sử dụng 1 hay nhiều hệ thống định vị toàn cầu GNSS. Thí dụ máy thu GB-1000 của hãng Topcon hoặc máy thu R-7 của Trimble là máy thu 2 hệ, máy thu này có khả năng sử dụng tín hiệu vệ tinh GPS của Mỹ kết hợp đồng thời với tín hiệu vệ tinh GLONASS của Nga để định vị.

Trong máy thu GPS, để nhận được các trị đo từ tín hiệu GPS người ta đã phải sử dụng các kỹ thuật xử lý như:

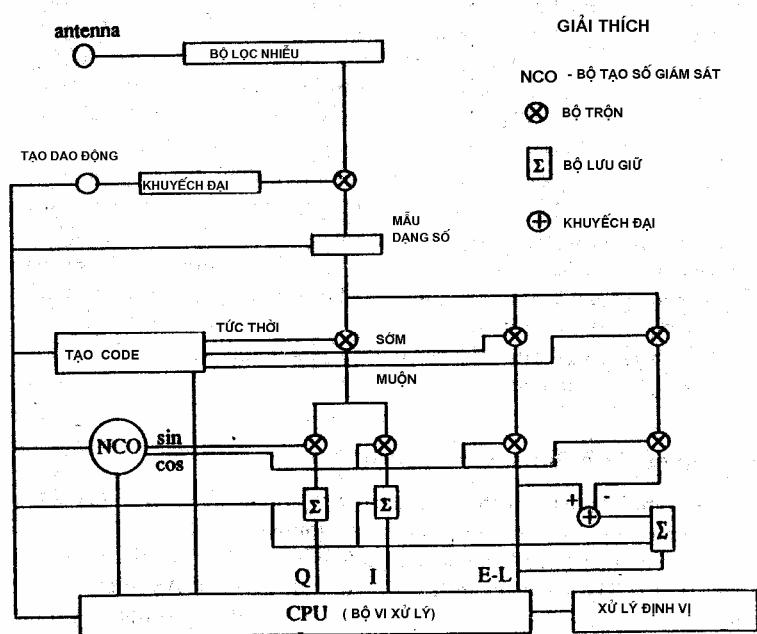
1. Xử lý tương quan code (*code correlation procedure*).
2. Kỹ thuật cầu phương (*Squaring technique*)
3. Kỹ thuật tương quan chéo (*Cross correlation technique*).
4. Kỹ thuật tương quan code cộng với kỹ thuật cầu phương
5. Kỹ thuật Z- theo dõi (*Z- Tracking technique*)

#### 4.8.2. Các máy thu GPS trong công tác trắc địa

##### 4.8.2.1. Cấu tạo máy thu GPS cho mục đích trắc địa

Các máy thu sử dụng cho mục đích trắc địa được chế tạo có kết cấu chắc chắn, vị trí tâm anten chính xác, sau khi dọi điểm, phải trùng với tâm mốc. Máy gọn nhẹ, dễ di chuyển trong điều kiện dã ngoại.

Sơ đồ nguyên lý làm việc của máy thu GPS sử dụng cho mục đích trắc địa được thể hiện trên hình 4.27:



Hình 4.27 Sơ đồ nguyên lý làm việc của máy thu GPS trắc địa

#### 4.8.2.2. Một số máy thu GPS sử dụng trong trắc địa

Trên thế giới đã có nhiều hãng chế tạo máy thu GPS sử dụng trong trắc địa như hãng Trimble Navigation, Ashtech, Thales Navigation (Mỹ), MiniMax (CHLBĐức), Sersel (Pháp), Leica (Thụy Sĩ), Sokkia, Topcon (Nhật Bản), Nam Phương (Trung Quốc) vv...

Gần đây người ta chế tạo các máy thu GPS có kích thước gọn nhẹ và tiêu tốn ít năng lượng, thuận lợi cho công tác đo GPS động như 4600LS, 4800, HiPer II vv..

Đặc tính kỹ thuật của một số loại máy thu khác được thống kê trong bảng 4.9.

Bảng 4.9. Một số loại máy thu GPS và các thông số kỹ thuật

| Loại máy           | Hãng , nước<br>chế tạo  | Tần số<br>sử dụng | Phương pháp đo              | Độ chính xác<br>chiều dài D  |
|--------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------|
| STEP-1             | ASHTECH                 | L1                | Tĩnh, tĩnh nhanh<br>Đo động | 5mm+ 1ppm<br>10mm+2ppm       |
| Z-12               | ASHTECH                 | L1, L2            | Tĩnh, tĩnh nhanh<br>Đo động | 5mm+ 1ppm<br>10mm+1ppm       |
| 4600LS             | TRIMBLE                 | L1                | Tĩnh, tĩnh nhanh<br>Đo động | 5mm+ 1ppm<br>20mm+2ppm       |
| 4800               | TRIMBLE                 | L1,L2             | Tĩnh, tĩnh nhanh<br>Đo động | 5mm+ 1ppm<br>10mm+2ppm       |
| GEOTRACER-<br>2104 | Geotronics<br>Thụy Điển | L1                | Tĩnh, tĩnh nhanh<br>Đo động | 5mm+ 1-2ppm<br>10mm+2ppm     |
| SR-510             | Leica AG<br>Thụy Sĩ     | L1                | Tĩnh, tĩnh nhanh<br>Đo động | 5-10mm+ 2ppm<br>10-20mm+2ppm |
| SR-530             | Leica AG<br>Thụy Sĩ     | L1,L2             | Tĩnh, tĩnh nhanh<br>Đo động | 5mm+ 1ppm<br>10mm+1ppm       |
| NR-101             | Desault-<br>Sercel-Pháp | L1                | Tĩnh, tĩnh nhanh<br>Đo động | 5mm+ 1ppm<br>10mm+1ppm       |
| GB-1000            | Topcon<br>Nhật Bản      | L1,L2             | Tĩnh, tĩnh nhanh<br>Đo động | 3mm+ 1ppm<br>10mm+1ppm       |
| GR-3               | Topcon<br>Nhật Bản      | L1,L2,<br>L5 vv.. | Tĩnh, tĩnh nhanh<br>Đo động | 3mm + 0,5 ppm<br>10mm +1ppm  |
| R-3                | TRIMBLE                 | L1                | Tĩnh, tĩnh nhanh<br>Đo động | 5mm+ 1ppm<br>20mm+2ppm       |

Trên hình 4.28 là hình dạng máy thu GPS 1 tần số Trimble 4600 LS. Ngoài máy thu R-3 đã kê ở bảng 4.9, hãng Trimble còn chế tạo một số máy thu khác sử dụng trong trắc địa như R-

4,R-5,R-6,R-7,R-8 vv... Hãng Trimble cũng chế tạo một số chủng loại máy thu phục vụ lắp đặt cho các trạm tham chiếu hoạt động liên tục (CORS) như máy thu Net-RS, Net-R5, Net-R8, Net-R9 vv... Trên hình 4.29 là máy thu NetRS.



Hình 4.28. Máy thu GPS 1 tần số 4600 LS



Hình 4.29. Máy thu NetRS

Trên hình 4.30 là máy thu GB-1000 do hãng TOPCON (Nhật Bản) chế tạo. Trên hình 4.31 là máy thu GPS phối hợp cùng với máy toàn đạc điện tử của hãng LEICA (Thụy Sĩ).



Hình 4.30. Máy thu GB-1000



Hình 4.31. Máy thu của hãng Leica

Hiện nay người ta đã chế tạo các chủng loại máy thu rất nhiều kênh và có thể thu tín hiệu từ các vệ tinh của các hệ thống GNSS khác nhau như GPS, GLONASS, GALILEO. Hãng Trimble chế tạo máy thu Net-R9 có đến 440 kênh phục vụ lắp đặt cho các trạm CORS. Trên hình 4.32 là máy thu X91 GNSS của hãng CHC (Trung Quốc), có tối đa 220 kênh.

Hãng Leica (Thụy Sĩ) cũng cho ra các máy thu thế hệ mới như GRX-1200, GMX-902 có tối đa 120 kênh, có thể thu nhận tín hiệu từ các vệ tinh GPS, GLONASS, GALILEO và COMPASS.

Hãng TOPCON (Nhật Bản) cũng chế tạo máy thu 72 kênh như GR-3, GR-5, Net-G3 có

thể làm việc với các vệ tinh GPS, GLONASS và GALILEO. Hãng Sokkia (Nhật Bản) chế tạo máy thu GRX1 có 72 kênh, cũng có thể thu nhận tín hiệu từ các vệ tinh GPS, GLONASS, GALILEO. Trên hình 4.33 là máy thu 72 kênh GR-3 của hãng TOPCON chế tạo.



Hình 4.32. Máy thu X91 GNSS



Hình 4.33. Máy thu Topcon GR-3

#### **4.8.2.3. Cơ sở để lựa chọn máy thu GPS cho công tác trắc địa**

Người sử dụng máy thu GPS cần phải lựa chọn máy phù hợp. Khi lựa chọn máy, người ta căn cứ vào 6 yếu tố sau:

##### 1. Các chỉ tiêu kỹ thuật:

- Dạng trị đo thu nhận
- Máy 1 tần hay đa tần, phương pháp lựa chọn sử dụng L2.L5 vv..
- Chuyển tiếp nhanh hay đa kênh song song
- Số lượng kênh
- Dạng anten và khả năng chống nhiễu
- Độ chính xác của Code/ pha sóng tần

##### 2. Mức độ thích hợp đã ngoại

- Trọng lượng máy
- Kích thước
- Độ vững chắc
- Nhiệt độ sử dụng (bảo quản)
- Năng lượng cần cung cấp

##### 3. Phần mềm kèm theo-

- Khả năng dự báo vệ tinh
- Khả năng chuyển tải số liệu
- Khả năng lựa chọn xử lý sau

##### 4. Ghi số liệu

- Ghi số liệu vào đâu ?

- Ghi số liệu thô hay sản phẩm cuối cùng
- Tốc độ ghi số liệu
- Phương pháp thu nhận số liệu
- Khả năng thu nhận số liệu
- Phương pháp chuyển tải số liệu
- Khuôn dạng số liệu đã chuyển tải

#### 5. Thao tác máy thu

- Dễ sử dụng
- áp dụng có hiệu quả
- Có màn hình theo dõi vệ tinh
- Dễ vào số hiệu trạm, độ cao anten vv..

#### 6.Các tham số kinh tế

- Thời gian bảo hành
- Giá thành máy
- Hỗ trợ kỹ thuật

## Chương 5

# CÁC HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ VỆ TINH KHÁC

### 5.1. HỆ THỐNG GLONASS

Từ năm 1976, Bộ quốc phòng Liên Xô đã nghiên cứu thiết kế xây dựng hệ thống định vị toàn cầu GLONASS (*GLObal NAVigation Satellite System*). Ngày 12 tháng 10 năm 1982 vệ tinh đầu tiên của GLONASS được phóng lên quỹ đạo. Hiện nay hệ thống GLONASS tiếp tục được duy trì và phát triển dưới sự quản lý, bảo trì của Bộ quốc phòng Nga. Tương tự như hệ thống GPS, GLONASS là một hệ thống định vị toàn cầu quân sự.

#### 5.1.1. Cấu trúc của hệ thống GLONASS

Hệ thống GLONASS cũng được cấu thành bởi 3 đoạn là đoạn không gian, đoạn điều khiển và đoạn sử dụng. GLONASS sử dụng hệ thống tọa độ PZ-90 và hệ thống giờ UTC(SU).

##### 5.1.1.1. Đoạn không gian:

Theo thiết kế, đoạn không gian của hệ thống GLONASS bao gồm 24 vệ tinh hoạt động trên 3 quỹ đạo gần tròn. Trên mỗi quỹ đạo có 8 vệ tinh. Góc nghiêng (i) của các mặt phẳng quỹ đạo với mặt phẳng xích đạo là  $64^{\circ}8$ . Các mặt phẳng quỹ đạo được phân bố đều cách nhau  $120^{\circ}$  trên Xích đạo. Độ cao của các vệ tinh là 19100 km, do đó chu kỳ của vệ tinh là 11h 15 phút. Trọng lượng vệ tinh xấp xỉ 1400kg, 2 cánh vệ tinh là pin mặt trời, có diện tích trên  $23m^2$ . Thời kỳ đầu, tuổi thọ của các vệ tinh được thiết kế khoảng 3 năm. Mỗi lần phóng bằng tên lửa đẩy có thể đưa lên quỹ đạo từ 2 hoặc 3 vệ tinh. Hiện nay tuổi thọ của các vệ tinh GLONASS thế hệ mới đã kéo dài khoảng 7-10 năm. Trên hình 5.1 là vệ tinh GLONASS-M và trên hình 5.2 là vệ tinh GLONASS-K.



Hình 5.1. Vệ tinh GLONASS-M



Hình 5.2. Vệ tinh GLONASS-K

Dựa trên tần số chuẩn của đồng hồ nguyên tử, các vệ tinh GLONASS phát tín hiệu L1 và L2 có tần số khác nhau được xác định theo công thức:

$$f_{L1}^k = 1602MHz + k \cdot 0,5625MHz$$

$$f_{L2}^k = 1246MHz + k \cdot 0,4375MHz$$

trong đó k là số hiệu vệ tinh ( $k=1,2\dots24$ ).

Tín hiệu GLONASS cũng được điều biến theo code tựa ngẫu nhiên để làm cơ sở cho đo khoảng cách giả. Hệ thống GLONASS cũng sử dụng C/A code có tần số 0,511 MHz, và sử dụng P-code có tần số 5,11 MHz.

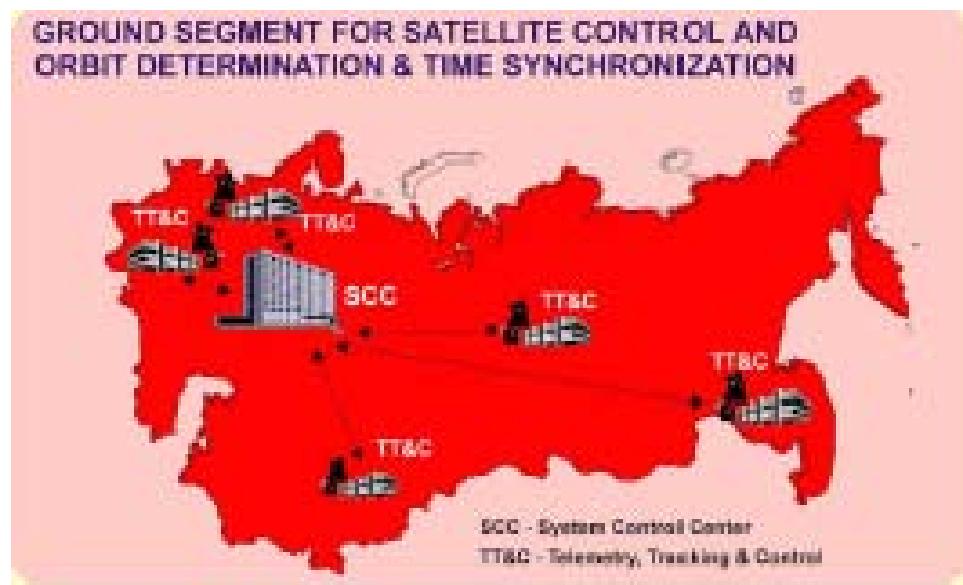
Hệ thống GLONASS sử dụng kỹ thuật **đa truy cập phân chia tần số FDMA (Frequency Division Multiple Access)** để thiết bị thu tiếp nhận tín hiệu, trong khi đó hệ thống GPS sử dụng kỹ thuật đa truy cập phân chia code CDMA. Các sóng tải được điều biến bởi các code và thông tin chuyển tới máy thu. GLONASS cũng sử dụng các code tựa ngẫu nhiên. C/A code là code tựa ngẫu nhiên có tần số 0,511 MHZ tức là bằng 511 Kilobite/s là code cơ sở trong đo khoảng cách giả, do đó được gọi là code khoảng cách (ranging code).

Từ năm 2009, các vệ tinh GLONASS-K có khả năng phát thêm tín hiệu L3. Theo chương trình hiện đại hoá hệ thống GLONASS, các vệ tinh thế hệ mới có thể sử dụng cả kỹ thuật phân chia đa code CDMA tương tự như hệ thống GPS.

Tính đến 31 tháng 12 năm 2011, hệ thống GLONASS đã có 21 vệ tinh đang hoạt động, 3 vệ tinh chuẩn bị hoạt động và 2 vệ tinh dự phòng.

#### 5.1.1.2. Đoạn điều khiển

Đoạn điều khiển của hệ thống GLONASS gồm 5 trạm quan sát (*TT&C- Telemetry, Tracking and Control stations*) đặt trên lãnh thổ Nga, được liên kết chung với trạm điều khiển trung tâm (*SCC- System Control Center*). Vị trí các trạm thuộc đoạn điều khiển của GLONASS trên hình 5.3.



Hình 5.3. Đoạn điều khiển của GLONASS

Vai trò của đoạn điều khiển mặt đất có các nhiệm vụ sau:

- giám sát hoạt động của các vệ tinh trên quỹ đạo

- hiệu chỉnh liên tục các tham số quỹ đạo vệ tinh
- tạo ra và chuyển lên vệ tinh các chương trình được gián nhãn thời gian (time-tagged), các lệnh điều khiển và các thông tin chuyên dụng.

Từ các năm 1998-1999 đã có 60 trạm quan sát GLONASS và 30 trạm đo khoảng cách bằng laser (SLR) trên 25 nước tham gia. Nhờ đó lịch vệ tinh chính xác của GLONASS đã đạt độ chính xác vị trí vệ tinh cỡ 20-50cm và có thể đạt cỡ 10cm.

### **5.1.1.3. Đoạn sử dụng**

Các máy thu của GLONASS được chia ra các máy thu đao hàng sử dụng L1, C/A code và pha sóng tải. Máy trắc địa sử dụng L1: C/A code, P-code, pha sóng tải và L2: P code và pha sóng tải. Máy thu GLONASS chưa có trên thị trường, song một số hãng chế tạo thiết bị định vị đã chế tạo máy thu GPS kết hợp GLONASS như Ashtech Z-18 (Mỹ), GB-1000 của hãng Topcon (Nhật Bản), máy thu OEMV-1G, OEMV-2, OEMV-3 là loại máy thu tích hợp công nghệ GPS và GLONASS. Trên hình 5.4 là máy thu GLONASS/GPS kiểu cầm tay.



Hình 5.4. Máy thu GLONASS/GPS

### **5.1.2. Hệ toạ độ PZ-90 và thông tin đao hàng**

#### **5.1.2.1. Hệ toạ độ PZ-90**

Định vị bằng vệ tinh GLONASS được thực hiện trong hệ PZ-90 và trong hệ thống thời gian UTC(SU), và sử dụng giờ Moscova (MT=UTC+3 h từ 0h ngày 1 tháng 1 năm 1983).

Hệ thống toạ độ PZ-90 có các tham số sau:

Bảng 5.1. Các tham số của hệ PZ-90

| Tham số                 | Giá trị                                      |
|-------------------------|--|
| Bán trục lớn            | 6378136 m                                    |
| Độ dẹt f                | 1/298,257839303                              |
| Hằng số GM              | $398600,44 \cdot 10^9 \text{m}^3/\text{s}^2$ |
| Tốc độ quay Trái đất    | $7,292115 \cdot 10^{-5} \text{rad/s}$        |
| Hệ số điều hoà $C_{20}$ | $-1082,63 \cdot 10^{-6}$                     |

Hệ quy chiếu PZ-90-02 được xác định chính xác. Sai lệch gốc toạ độ giữa PZ-90-02 với ITRF-2000 khoảng vài chục cm.

#### **5.1.2.2. Thông tin đao hàng và lịch vệ tinh**

Thông tin đao hàng cung cấp cho người sử dụng các thông tin về hệ thống, nội dung lịch vệ

tinh quảng bá. Thông tin đạo hàng được chuyển xuống với tốc độ 50bps. Cấu trúc của khung đạo hàng (*superframe*) được tạo ra bởi số liệu dạng số và được lặp lại liên tục. Mỗi khung có thời gian truyền là 2,5 phút bao gồm 5 đoạn. Mỗi đoạn bao gồm lịch vệ tinh phát đi và có giãn cách là 30s. Lịch dự báo gần đúng của GLONASS (*almanac*) được chia thành 5 đoạn. mỗi đoạn từ 1 đến 4 chứa thông tin amanac của 5 vệ tinh, còn đoạn thứ 5 chứa thông tin của 4 vệ tinh còn lại, bao gồm 24 vệ tinh của hệ thống. Mỗi đoạn bao gồm 15 xâu ký tự có độ dài 85 bite số liệu dạng số. Sau đây là các thông tin về lịch vệ tinh quảng bá của GLONASS.

Bảng 5.2. Các thông tin trong lịch quảng bá của GLONASS.

| Ký hiệu   | Phạm vi                        | Đơn vị              | Giải thích  |
|---|--------------------------------|---------------------|---|
| $t_k$   | 0,1,...23<br>0,1,...59<br>0,30 | giờ<br>phút<br>giây | thời gian bắt đầu của khung tại ngày hiện thời theo giờ của đồng hồ vệ tinh |
| $t_b$   | 15,...1425                     | phút                | giờ lịch  |
| $\gamma_n(t_b)$                                     | $\pm 2^{-30}$                  |                     | hiệu chỉnh tần số   |
| $\tau_n(t_b)$                                       | $\pm 2^{-9}$                   | giây                | hiệu chỉnh đồng hồ vệ tinh  |
| $X_n(t_b), Y_n(t_b), Z_n(t_b)$                      | $\pm 2,7.10^4$                 | km                  | vị trí vệ tinh  |
| $\dot{X}_n(t_b), \dot{Y}_n(t_b), \dot{Z}_n(t_b)$    | $\pm 4,3$                      | km/s                | véc tơ tốc độ vệ tinh   |
| $\ddot{X}_n(t_b), \ddot{Y}_n(t_b), \ddot{Z}_n(t_b)$ | $\pm 6,2.10^{-9}$              | km/s <sup>2</sup>   | gia tốc do Mặt trời. Mặt trăng  |
| $E_n$   | 0,...31                        | ngày                | tuổi của lịch   |
| $B_n$   | 0,1                            |                     | tình trạng sức khoẻ của vệ tinh   |

Để tính toạ độ vệ tinh trong hệ PZ-90, phải dựa vào các số liệu trong lịch vệ tinh quảng bá được cung cấp theo thông đạo hàng và bằng phương pháp tính Runge-Kutta.

Tương tự như hệ thống GPS, trong hệ thống GLONASS có thể thực hiện tất cả các dạng định vị như định vị tuyệt đối, định vị tương đối, định vị vi phân.

## 5.2. HỆ THỐNG GALILEO

Từ những năm 80 của thế kỷ trước, Cơ quan hàng không vũ trụ Pháp (CNES) đã đưa ra ý tưởng xây dựng một hệ thống định vị vệ tinh riêng của Châu Âu đồng thời cũng là hệ thống định vị toàn cầu, nhưng cơ quan này không đủ khả năng để thực hiện công việc to lớn nói trên, không chỉ vì thiếu nguồn tài chính mà còn là vấn đề công nghệ. Yêu cầu này đã được đáp ứng khi có sự hợp tác của những quốc gia khác nhau trong Cộng đồng Châu Âu (EU).

Thời gian đầu, hệ thống này được thiết lập dựa trên hệ thống định vị toàn cầu GPS của Mỹ và hệ thống GLONASS của Nga cùng các hệ thống độc lập khác phát tín hiệu với mục đích nâng cao độ chính xác định vị bằng hai hệ thống này. Nhờ đó trên lãnh thổ Châu Âu đã có Hệ thống vệ tinh địa tĩnh đạo hàng Châu Âu phủ trùm EGNOS, mà thực chất là một hệ thống định vị GNSS vi phân tăng cường (SBAS) đã trình bày ở phần trước. Như vậy EGNOS vẫn bị lệ

thuộc vào các hệ thống định vị toàn cầu GPS của Mỹ và GLONASS của Nga.

Giải pháp mấu chốt để bảo đảm tính độc lập của các quốc gia trên lãnh thổ EU là thiết lập riêng một hệ thống vệ tinh dẫn đường mang đặc thù Châu Âu có tên là GALILEO. Hệ thống này được xây dựng dựa trên kinh nghiệm xây dựng các hệ thống GPS và GLONASS.

### 5.2.1. Cấu trúc của hệ thống

Cấu trúc và chức năng của GALILEO tương tự như các hệ thống GPS và GLONASS là dựa trên các vệ tinh chuyển động trên các quỹ đạo quanh Trái đất. Trái tim của hệ thống là đồng hồ nguyên tử có độ chính xác rất cao nằm trong các vệ tinh. Cũng tương tự như hệ thống GPS, trên cơ sở xác định khoảng cách từ máy thu đến 3 vệ tinh có thể tính được vị trí máy thu, với vị trí các vệ tinh được coi là đã biết. Song để loại trừ ảnh hưởng của sai số không đồng bộ giữa đồng hồ máy thu và đồng hồ vệ tinh cần quan sát tối thiểu 4 vệ tinh.

Hệ thống GALILEO cũng bao gồm 3 thành phần cấu thành đó là:

#### 1-Đoạn không gian

Các vệ tinh đóng vai trò như xương sống của hệ thống. Dựa trên kết quả các chương trình thử nghiệm cho thấy chỉ có các vệ tinh quỹ đạo trung bình MEO (*Medium Earth Orbit*) cho phép đáp ứng tốt yêu cầu về độ chính xác và phục vụ cho các khu vực có độ vĩ cao (các nước Bắc Âu có độ vĩ cao thuộc Bắc Bán cầu).

Với 30 vệ tinh phân bố trên 3 mặt phẳng quỹ đạo, sẽ có 27 vệ tinh hoạt động còn 3 vệ tinh sẽ được dự trữ cho trường hợp vệ tinh nào đó bị hỏng. Như vậy trên mỗi quỹ đạo sẽ có 1 vệ tinh dự trữ và 9 vệ tinh hoạt động phân bố cách đều nhau trên quỹ đạo (cách  $40^{\circ}$ ). Các mặt phẳng quỹ đạo cũng được phân bố cách đều nhau  $120^{\circ}$ . Các mặt phẳng quỹ đạo có góc nghiêng là  $56^{\circ}$ .

Với góc nghiêng như vậy, hệ thống sẽ phụ vụ tốt cho vùng có độ vĩ cao (đến  $75^{\circ}$ ). Tất cả các quỹ đạo vệ tinh có dạng hình tròn. Vệ tinh chuyển động ở độ cao 23616 km so với bề mặt Trái đất (tức là bán kính lớn hơn 29994 km) và chu kỳ chuyển động 1 vòng quỹ đạo hết 14h 21 phút. Các vệ tinh thử nghiệm GIOVE-A và GIOVE-B (hình 5.5) của hệ thống GALILEO được đưa lên quỹ đạo vào các năm 2005 và 2008. Tính đến tháng 1 năm 2011, hệ thống GALILEO đã có 14 vệ tinh và theo kế hoạch đến tháng 2 năm 2012 có thêm 8 vệ tinh để có tổng số là 22 vệ tinh.

Các vệ tinh GALILEO có trọng lượng khoảng 650 kg và có hệ thống pin mặt trời tạo năng lượng 1,5 KW (hình 5.5). Mỗi vệ tinh có 2 đồng hồ nguyên tử Rubin và 2 đồng hồ nguyên tử Hyđro để tạo ra thời gian và tần số chuẩn tín hiệu cùng với gương phản chiếu laser phục vụ đo khoảng cách bằng máy laser. Khối lượng, kích thước và cấu trúc hình học của vệ tinh được thiết kế tối ưu sao cho có thể đưa lên quỹ đạo một số vệ tinh trong một lần phóng tên lửa đẩy.

Chi phí cho chế tạo và đưa các vệ tinh của hệ thống GALILEO lên các quỹ đạo khoảng 2,2 tỷ EURO.



Hình 5.5. Vệ tinh GIOVE-B

**2. Đoạn mặt đất** - bao gồm một số trạm mặt đất nằm trên lãnh thổ Châu Âu và cả các trạm ngoài Châu Âu, có chức năng truyền thông tin và kiểm tra. Đây là thành phần cần thiết để gửi và nhận thông tin từ các vệ tinh GALILEO, phục vụ kiểm tra và điều khiển và bằng cách này có thể tạo ra các thông tin dịch vụ như số liệu tích hợp (nâng cao độ chính xác xác định tọa độ), dịch vụ cứu hộ cũng như các thông tin thương mại khác. Các trạm kiểm tra vệ tinh bổ sung sẽ đóng vai trò như các trạm giám sát và kiểm tra đối với mỗi vệ tinh.

Đoạn mặt đất, sẽ có vai trò như “không gian đạo hàng”. Thông qua đoạn này, người ta sẽ thực hiện các công việc liên quan đến thông tin liên lạc, đạo hàng.

Đoạn mặt đất bao gồm các nhiệm vụ sau:

- Điều khiển và kiểm tra các tham số đạo hàng cơ bản, xác định chính xác quỹ đạo vệ tinh và sự đồng bộ của các đồng hồ .
- Xác định và truyền phát thông qua các vệ tinh các số liệu liên quan đến việc cảnh báo (báo động) sự cố của hệ thống.
- Phát đi các thông tin đến những đơn vị thành viên và các trung tâm dịch vụ làm nhiệm vụ thương mại cũng như đến các hệ thống địa phương liên quan như COSPAS-SARSAT, làm nhiệm vụ cứu hộ và tìm kiếm.

Hệ tọa độ sử dụng trong hệ thống GALILEO sẽ là hệ ITRF mới nhất được công bố.

**3. Đoạn sử dụng** . GALILEO bao gồm nhiều nhóm sử dụng với nhiều chủng loại máy thu , mà mỗi loại đòi hỏi các thông tin khác nhau. Để đáp ứng các yêu cầu , GALILEO sẽ thoả mãn các mức dịch vụ khác nhau ở 2 mức tiêu chuẩn sau:

Mức cơ bản miễn phí. Phục vụ các công việc phổ biến tương tự như GPS trong dịch vụ SPS (*Standard Positioning Service*)

Mức đòi hỏi cơ chế - đối với các ứng dụng thương mại và chuyên nghiệp, phục vụ với độ chính xác cao và cần có thêm các dịch vụ cung cấp thông tin bổ sung . Nói chung ở mức này

người sử dụng phải trả tiền, (loại trừ vài trường hợp đối với các nước EU). Trong mức đòi hỏi cơ chế người ta chia ra 2 mức thương mại khác nhau.

Mức thương mại thứ nhất (CAS-1) cung cấp khả năng định vị chính xác . Người sử dụng dịch vụ phải trả tiền nhưng chỉ chấp nhận bảo hành ở mức không hoàn toàn.

Mức thương mại thứ hai (CAS-2) cung cấp khả năng định vị chính xác cao, trong hạn sai, có bảo hiểm, không bị nhiễu loạn hay lệch lạc ( phục vụ các sân bay và quân sự ). Tất nhiên người sử dụng dịch vụ phải trả tiền.

Hệ thống GALILEO không chỉ cung cấp các dịch vụ về định vị mà còn xác định thời gian chính xác.

### 5.2.2. Đặc điểm tín hiệu và phương pháp định vị

Khi thiết kế xây dựng hệ GALILEO, người ta đã quan tâm đến vấn đề phối hợp hoạt động giữa hai hệ thống GPS-GALILEO, liên quan đến các dịch vụ sử dụng tần số sóng tải.

Vấn đề quan trọng trong thiết kế tần số sử dụng của GALILEO là phải chú ý tới tính an toàn, và khả năng định vị ở các thành phố lớn. Các tần số mà hệ GALILEO sử dụng được chia ra như sau:

Bảng 5.3. Tần số sử dụng của GALILEO

| TT | Ký hiệu giải tần | Tần số (MHz) |
|----|------------------|--------------|
| 1  | E5a(L5)          | 1176.45      |
| 2  | E5b              | 1207.14      |
| 3  | E6               | 1278.750     |
| 4  | E2-L1-E1         | 1575.42      |

Trong đó các tần số E5a, E5b, L1b,c được điều biến bởi code không bí mật, chứa các thông tin đạo hàng, số liệu tích hợp, số liệu phục vụ tìm kiếm cứu nạn SAR ( *Search and Rescue* ) và số liệu thương mại, cho phép sử dụng tự do. Các tần số này phục vụ cho các dịch vụ sau:

- dịch vụ mở miễn phí OS (*Open Service*)
- dịch vụ thương mại CS (*Commercial Service*)
- dịch vụ bảo hiểm cuộc sống con người SoL (*Safety of Life Service*)

Riêng tần số E6b,c được dành riêng cho mục đích thương mại, được điều biến bởi code riêng và chứa các thông tin phục vụ thương mại.

Tần số E6a, L1a được điều biến bởi code riêng, chứa các số liệu dịch vụ công đã được định dạng theo quy tắc PRS (*Public-Regulated Service*).

Tùy thuộc vào mục đích phục vụ, GALILEO cho phép định vị điểm với độ chính xác khác nhau. Độ chính xác còn phụ thuộc vào tính năng loại máy thu của người sử dụng. Nếu xét đến mức chính xác (xác suất 95%) đối với ba loại dịch vụ đã nói trên, có thể tham khảo số liệu trong bảng sau:

Bảng 5.4. Độ chính xác định vị của các dịch vụ của GALILEO

| Dịch vụ                            | Độ chính xác mặt bằng |                 | Độ chính xác độ cao |                 | Độ chính xác thời gian |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------|---------------------|-----------------|------------------------|
|                                    | 1 tần L1              | 2 tần E5a và L1 | 1 tần L1            | 2 tần E5a và L1 |                        |
| Dịch vụ mở OS                      | ±15 m                 | ±4 m            | ±35 m               | ±8 m            | ±30 ns                 |
| Dịch vụ PRS                        |                       | ±6,5 m          |                     | ±12 m           | ±100 ns                |
| Dịch vụ SoL (mức độ chính xác cao) | ±4 m                  |                 | ±8 m                |                 |                        |

Để bảo đảm an toàn số liệu cho người sử dụng, hệ thống GALILEO còn có chức năng cảnh báo khi sai số định vị tuyệt đối vượt quá giới hạn nhất định. Tuy nhiên không phải mọi đối tượng sử dụng đều có thể nhận được cảnh báo này. Đối với dịch vụ mở OS, không có khả năng nhận được cảnh báo. Trong dịch vụ PRS thì giới hạn để hệ thống cảnh báo là sai số vị trí mặt bằng vượt quá 20 m, về độ cao là 35 m. Còn trong dịch vụ bảo hiểm SoL, giới hạn cảnh báo là sai số mặt bằng vượt quá 12 m, sai số độ cao vượt quá 20 m. Tần suất cảnh báo là 6 giây.

### 5.3. HỆ THỐNG COMPASS

COMPASS hay Beidou-2 (Bắc Đẩu-2) là hệ thống định vị toàn cầu của Trung Quốc, được hình thành dựa trên cơ sở hệ thống định vị vệ tinh khu vực với tên gọi là Beidou-1 (Bắc Đẩu 1). Ban đầu, chương trình Bắc đẩu-1 là hệ thống định vị sử dụng một số vệ tinh địa tĩnh GEO, phục vụ cho mục đích quân sự của Trung Quốc, từ năm 2004 được mở rộng ra cho các mục đích dân sự. Đầu năm 2007, 2 vệ tinh của hệ thống được phóng thành công lên quỹ đạo, đã mở rộng phạm vi ứng dụng của hệ thống này ra vùng lân cận của Trung Quốc. Từ đó, hệ thống COMPASS/Beidou bắt đầu được phát triển để trở thành một hệ thống định vị toàn cầu. Ngoài mục đích quân sự, hệ thống này còn phục vụ cho các nhiệm vụ khác như trắc địa-bản đồ, viễn thông, giao thông và an ninh vv...

Tương tự như các hệ thống định vị toàn cầu khác, COMPASS/Beidou-2 có cấu trúc gồm 3 bộ phận:

- Đoạn không gian
- Đoạn mặt đất
- Đoạn sử dụng

Hệ thống COMPASS/Beidou sử dụng hệ tọa độ trắc địa CGS2000 (*China Geodetic System 2000*). Hiện nay, sự sai khác giữa Hệ CGS2000 và Khung quy chiếu quốc tế ITRF chỉ cỡ vài cm [30]. COMPASS/Beidou sử dụng hệ thống giờ UTC-Trung Quốc (China UTC).

**1. Đoạn không gian.** Theo thiết kế, đoạn không gian của COMPASS/Beidou bao gồm 27 vệ tinh ở quỹ đạo trung bình MEO (Medium Earth Orbit), 3 vệ tinh quỹ đạo nghiêng đồng bộ trái

đất IGSO (*Inclined Geosynchronous Satellite Orbit*) và 5 vệ tinh địa tĩnh GEO (*Geostationary Satellites*) [29].

Các vệ tinh GEO của hệ thống COMPASS/Beidou-1 gồm 3 vệ tinh địa tĩnh được đưa lên quỹ đạo vào những năm 2000 và 2003, có vị trí quỹ đạo (Xích đạo) như sau:

Bảng 5.5. Các vệ tinh GEO của hệ thống COMPASS/Beidou-1.

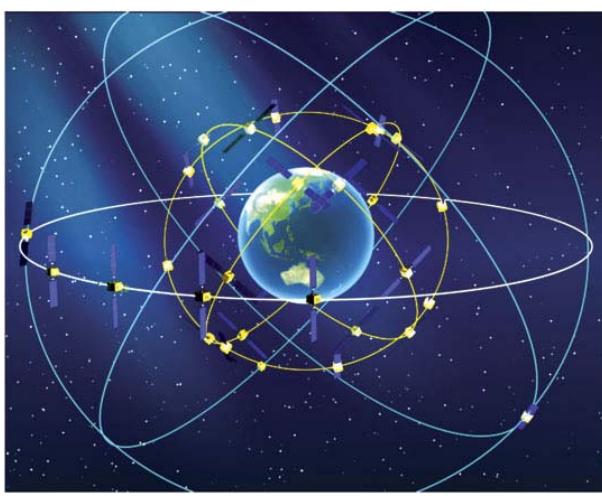
| Vệ tinh GEO | Ngày phóng | Vị trí quỹ đạo |
|-------------|------------|----------------|
| Beidou-1A   | 30-10-2000 | 140° E         |
| Beidou-1B   | 21-12-2000 | 80° E          |
| Beidou-1C   | 25-05-2003 | 110,5° E       |

Từ năm 2007, chương trình xây dựng hệ thống định vị toàn cầu COMPASS/Beidou-2 được triển khai. Các vệ tinh địa tĩnh GEO của hệ thống tiếp tục được đưa lên quỹ đạo Beidou-1D (năm 2007) có vị trí quỹ đạo là 58,75° E và vệ tinh Beidou-1E, có vị trí quỹ đạo là 160° E.

3 vệ tinh IGSO có các đặc điểm sau:

- Bán kính quỹ đạo 42164 km
- Tâm sai ellip quỹ đạo = 0
- Góc nghiêng mặt phẳng quỹ đạo: 55°
- Độ kinh nút mọc của 3 quỹ đạo là : 0° ,120° và 240°.

Vệ tinh quỹ đạo trung bình MEO đầu tiên được đưa lên quỹ đạo vào ngày 13 tháng 4 năm 2007. Vệ tinh MEO có độ cao 21550 km, với 3 mặt phẳng quỹ đạo, góc nghiêng mặt phẳng quỹ đạo là 55° (hình 5.6). Chu kỳ quỹ đạo vệ tinh MEO là 12h 50m. Trên hình 5.7 là hình ảnh vệ tinh MEO của hệ thống Compass/Beidou-2.



Hình 5.6. Quỹ đạo vệ tinh COMPASS/Beidou-2



Hình 5.7. Vệ tinh MEO của hệ COMPASS/Beidou-2

Các vệ tinh MEO phát đi tín hiệu ở 4 sóng tải là:

B1-2: 1589,74MHz (E1)

B-1 : 1561,1 MHz (E2)

B-2: 1207,14 MHz (E5b)

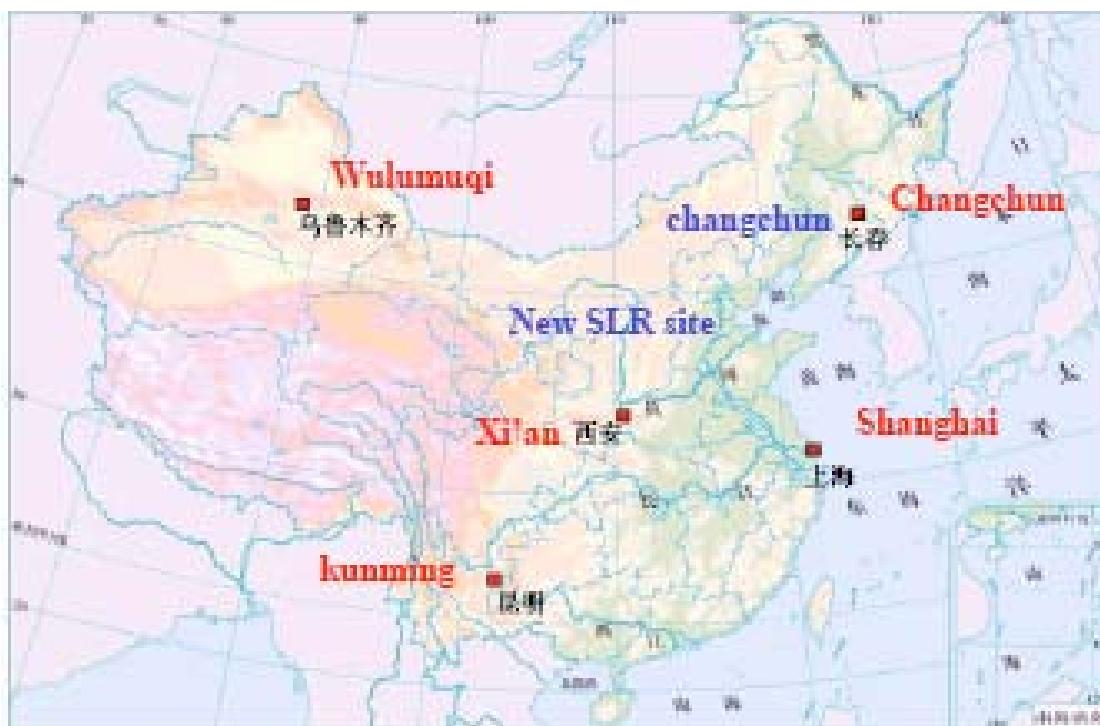
B3: 1268,52 MHz (E6)

Hệ thống COMPASS sử dụng nguyên tắc tiếp nhận tín hiệu theo phân chia code (CDMA). Các tín hiệu sóng tái của các vệ tinh được điều biến bởi các code khác nhau.

Với vị trí quỹ đạo của hệ thống COMPASS, số lượng vệ tinh có thể quan sát đồng thời tại một điểm trên bề mặt trái đất sẽ nhiều hơn các hệ thống định vị toàn cầu khác. Người ta đã tính rằng, tại Bắc Kinh, số vệ tinh GPS quan trắc được đồng thời trung bình là 8,75 vệ tinh, nhưng với hệ thống COMPASS, số vệ tinh quan trắc được trung bình là 14,87 vệ tinh [29].

## 2. Đoạn mặt đất

Đoạn mặt đất bao gồm 1 trạm chủ (Master Control Station), 2 trạm điều khiển cập nhật (*Upload Stations*) và 30 trạm theo dõi (*Monitor Stations*). Công nghệ đo khoảng cách laser đến vệ tinh MEO được áp dụng để chính xác hóa quỹ đạo vệ tinh [31]. Hiện nay có một số trạm mặt đất được trang bị thiết bị đo laser đến vệ tinh SLR (hình 5.8)



Hình 5.8. Vị trí các trạm SLR trên lãnh thổ Trung Quốc

## 3. Đoạn sử dụng

Đoạn sử dụng bao gồm các máy thu COMPASS và các máy thu khác có sử dụng chung tín hiệu vệ tinh COMPASS với các vệ tinh GNSS khác. Trên hình 5.9 là một máy thu COMPASS/Beidou sử dụng trong quân sự. Trên hình 5.10 là một máy thu cầm tay của COMPASS



Hình 5.9. Máy thu COMPASS/Beidou  
sử dụng trong quân sự



Hình 5.10. Một máy thu COMPASS cầm tay

Theo dự kiến, hệ thống COMPASS/Beidou-2 sẽ hoàn thành giai đoạn 2 vào năm 2012 phục vụ cho vùng Châu Á - Thái Bình Dương, năm 2020 sẽ hoàn thành giai đoạn 3, trở thành một hệ thống định vị toàn cầu hoàn chỉnh. Như vậy, khi COMPASS hoàn tất, trên toàn cầu sẽ có tới 112 vệ tinh của các hệ thống GNSS.

Hiện nay, cuối giai đoạn 2, theo dịch vụ mở, độ chính xác định vị là  $\pm 10\text{m}$ , sai số thời gian là  $\pm 20\text{ns}$  và sai số xác định vận tốc là  $\pm 0,2\text{m/s}$ . Nhờ phân bố của các vệ tinh GEO và IGSO trên quỹ đạo, hệ thống COMPASS phục vụ cho vùng Châu Á tốt hơn các vùng khác. Dịch vụ định vị tăng cường diện rộng của COMPASS cho độ chính xác vị trí khoảng  $\pm 1\text{m}$ .

#### 5.4. MỘT SỐ HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ VỆ TINH KHU VỰC

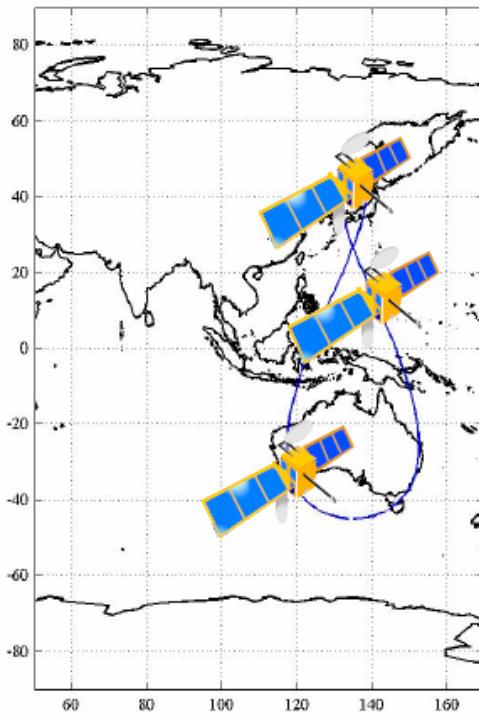
##### 5.4.1. Hệ thống vệ tinh tự thiêng đĩnh QZSS của Nhật Bản

Từ năm 2003, Nhật Bản bắt đầu xây dựng hệ thống định vị vệ tinh khu vực mang tên QZSS (*Quasi-Zenith Satellite System*), mục tiêu của nó là bổ sung cho hệ thống định vị GPS tăng cường. QZSS bao gồm 3 vệ tinh có quỹ đạo địa tĩnh gần thiêng đĩnh (quasi-zenith geostationary orbit), nhờ đó có thể cung cấp khả năng thông tin và dịch vụ phát tín hiệu định vị cho một khu vực rộng lớn phía Đông Châu Á [42]. Cả 3 vệ tinh trên đều có mặt phẳng quỹ đạo riêng của chúng và nghiêng một góc  $45^\circ$  so với quỹ đạo của vệ tinh địa tĩnh GEO (mặt phẳng Xích Đạo). Độ cao của các vệ tinh QZSS là khoảng 35780km tức là cùng độ cao với vệ tinh địa tĩnh.

Trên hình 5.11 là vệ tinh QZSS và trên hình 5.12 là quỹ đạo vệ tinh QZSS có dạng “hình số 8”. Vệ tinh đầu tiên được dự kiến đưa lên quỹ đạo vào năm 2008, song kế hoạch bị lùi lại đến năm 2009.

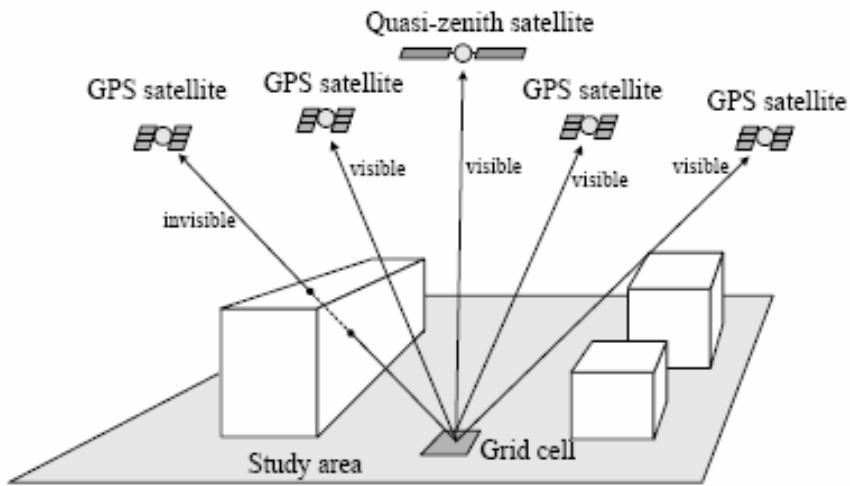


Hình 5.11. Vệ tinh QZSS



Hình 5.12. Quỹ đạo vệ tinh QZSS

Các quỹ đạo vệ tinh đã được tính toán sao cho ít nhất có một vệ tinh QZSS ở gần vị trí thiên đỉnh khoảng trong 8h tại vị trí vĩ độ trung bình của Nhật Bản. Điều này sẽ đáp ứng được yêu cầu định vị trong điều kiện thành phố có nhiều nhà cao tầng hoặc trên các đường hẹp tại các thành phố của Nhật Bản (hình 5.13).



Hình 5.13. Điều kiện nhìn thấy vệ tinh  
tại các phố hẹp có nhà cao tầng

Đoạn điều khiển của các vệ tinh QZSS là các trạm quan sát của Cơ quan thám hiểm và hàng không vũ trụ Nhật Bản JAXA (*Japanese Aerospace & Exploration Agency*). Các trạm quan sát

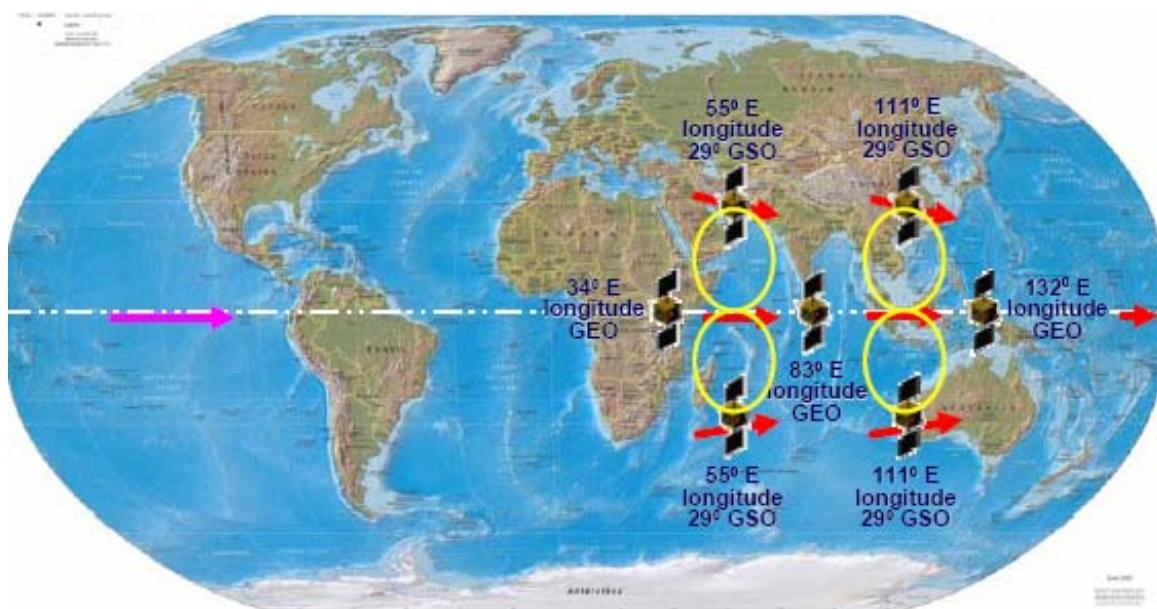
đặt tại Nhật Bản, tại một số vị trí ngoài nước nhật như: Guam, Ấn Độ (Bangalore), Australia (Canberra), Thái Lan (Bangkok) và Mỹ (Hawaii). Hệ thống QZSS sử dụng khung quy chiếu quốc tế ITRF.

Hệ thống QZSS có thể tương thích với GPS được hiện đại hóa và hệ thống GALILEO, nó sử dụng các sóng tải L1C/A(1575,42MHz), L2C (1227,60MHz) và L5 (1176,45MHz) để định vị. Tín hiệu L1-SAIF có bước sóng dm và tín hiệu LEX có sóng tải 1278,75MHz được sử dụng với chức năng tích hợp để cung cấp số cải chính tăng cường dựa trên thông điệp theo phương thức SBAS.

Như vậy nói một cách chặt chẽ, hệ thống QZSS không phải là một hệ thống định vị vệ tinh khu vực mà là một hệ thống tăng cường của GNSS [33].

#### 5.4.2. Hệ thống vệ tinh dẫn đường khu vực của Ấn Độ (IRNSS)

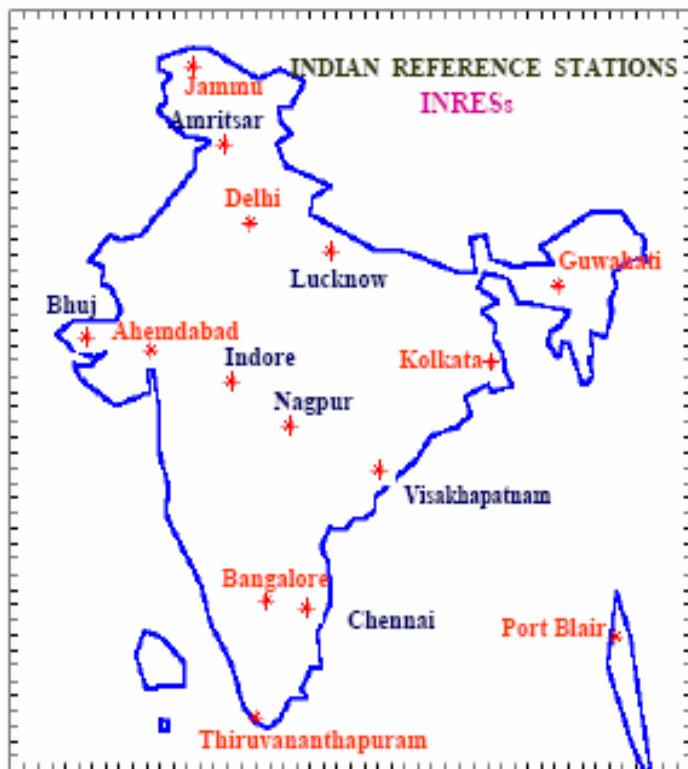
Hệ thống vệ tinh dẫn đường khu vực của Ấn Độ IRNSS (*India Regional Navigation Satellite System*) do Chính phủ Ấn Độ cho phép xây dựng từ tháng 5 năm 2006, và dự kiến sẽ hoàn thành trong khoảng 6 đến 7 năm [39]. Hệ thống IRNSS bao gồm 3 hợp phần là đoạn không gian, đoạn mặt đất và các máy thu của những người sử dụng được chế tạo tại Ấn Độ. Theo thiết kế, đoạn không gian của hệ thống IRNSS gồm 7 vệ tinh, trong đó có 3 vệ tinh địa tĩnh (GEO) có vị trí là  $34^{\circ}$  E,  $83^{\circ}$  E,  $131,5^{\circ}$  E và 4 vệ tinh có quỹ đạo nghiêng đồng bộ chuyển động quay của trái đất (IGSO). Góc nghiêng mặt phẳng quỹ đạo của các vệ tinh IGSO so với mặt phẳng xích đạo là  $29^{\circ}$  và có vị trí độ kinh các điểm cắt là  $55^{\circ}$  E và  $111,5^{\circ}$  E. Tất cả các vệ tinh này có thể liên tục quan sát 24 giờ trong ngày tại tất cả các vị trí thuộc Ấn Độ và lân cận [37]. Trên hình 5.14 là vị trí các vệ tinh của hệ thống IRNSS.



Hình 5.14. Các vệ tinh của hệ thống IRNSS

Các vệ tinh IGNSS có trọng lượng 1370kg và công suất pin mặt trời của vệ tinh là 1,6 kW. IRNSS sử dụng tín hiệu sóng tải với tần số L5 (1176,45MHz) và S1 (2492,08MHz) và kỹ thuật điều biến BPSK (*Bi-Phase Shift Keying*) và BOC 5,2 (*Binary Offset Carrier*). Trong đó kỹ thuật BPSK dùng cho dịch vụ định vị tiêu chuẩn (SPS) còn BOC (5,2) sử dụng cho dịch vụ hạn chế (*Restricted Service*) [38].

Đoạn mặt đất của hệ thống IRNSS có nhiệm vụ điều khiển các vệ tinh, bao gồm bộ phận kiểm tra phần không gian SCF (*Spacecraft Control Facility*), một trung tâm dẫn đường IRNSS (INC), các trạm giám sát tích hợp IRIMS (*IRNSS Integrity Monitoring Stations*), trong đó có các trạm đo khoảng cách, một trung tâm giờ, bộ phận thông tin vô tuyến, các trạm theo dõi kiểm tra, các trạm chuyển thông tin (*Uplink*) lên vệ tinh và các đường kết nối thông tin của hệ thống. Trên hình 5.15 là vị trí các trạm của đoạn mặt đất của hệ thống IRNSS.



Hình 5.15. Các trạm mặt đất của IRNSS

16 trạm IRIMS của đoạn mặt đất được phân bố tương đối trên diện rộng, có tác dụng quan trắc, xây dựng mô hình tầng điện ly để xác định ảnh hưởng của tầng điện ly tới tín hiệu vệ tinh IRNSS đối với đoạn sử dụng.

Hệ thống IRNSS có khả năng:

- Cho phép định vị với sai số không quá 20m trên phạm vi Ấn Độ và vùng lân cận. Phạm vi sử dụng IGNSS từ vĩ độ  $30^{\circ}$  N đến  $45^{\circ}$  N, từ kinh độ  $40^{\circ}$  E đến  $125^{\circ}$  E.

- Bảo đảm độ chính xác cao tức thời về định vị, xác định tốc độ và thời gian cho các lĩnh vực khác nhau của Ấn Độ.
- Bảo đảm độ chính xác khá tốt cho người sử dụng máy thu 1 tần số với hiệu chỉnh tầng điện ly
- Cho phép làm việc 24 giờ trong mọi điều kiện thời tiết.

## Chương 6

# ĐỊNH VỊ GPS VI PHÂN VÀ CÁC HỆ THỐNG TĂNG CƯỜNG

### 6.1. ĐỊNH VỊ GPS VI PHÂN

#### 6.1.1. Khái niệm và phân loại

Như chúng ta đã biết, để hạn chế độ chính xác thực tế của hệ thống GPS, Bộ quốc phòng Mỹ đã gây nhiều cỗ ý SA. Do nhiều SA, độ chính xác định vị tuyệt đối bằng các máy thu dân sự chỉ có thể đạt cỡ 100m. Từ giữa thập kỷ 80 của thế kỷ XX, người ta đã đưa ra giải pháp định vị GPS vi phân còn gọi là GPS vi sai DGPS (*Differential GPS*) nhằm loại bỏ ảnh hưởng của nhiều cỗ ý SA bằng các số cải chính được cung cấp từ một hay nhiều trạm tham chiếu (*Reference Station*). Trạm tham chiếu là trạm đã biết toạ độ, đóng vai trò như trạm giám sát sai số của hệ thống, từ đó xác định số cải chính để chuyển đến trạm động (rover) của người sử dụng. Nếu căn cứ vào các số cải chính tạo ra, ta có thể chia ra 3 phương pháp sau:

1. DGPS cải chính toạ độ (*position domain*)
2. DGPS cải chính trị đo (*measurement domain*)
3. DGPS hiệu chỉnh trạng thái không gian (*state space domain*)

Trong đó, phương pháp DGPS cải chính toạ độ và DGPS cải chính trị đo chỉ cần 1 trạm tham chiếu, nhưng phương pháp DGPS hiệu chỉnh trạng thái không gian phải cần đến một số trạm tham chiếu để ước lượng vec tơ trạng thái của sai số trên khu vực công tác.

Phương pháp thứ nhất khá đơn giản nhưng lại rất không linh hoạt vì nó đòi hỏi điều kiện số vệ tinh quan sát tại trạm tham chiếu và tại trạm động phải như nhau. Phương pháp này chỉ phù hợp với phạm vi hẹp, tức là khoảng cách giữa trạm tham chiếu và trạm động nhỏ.

Phương pháp thứ hai linh hoạt hơn, có thể cho kết quả tốt trong phạm vi khoảng cách trạm động đến trạm tham chiếu cỡ vài trăm km. Phương pháp này cho độ chính xác giảm khoảng 1m trên 100km. Trong phương pháp này người ta sử dụng số cải chính cho các khoảng cách giả.

Phương pháp thứ ba là phương pháp linh hoạt nhất và cho phép định vị đạt kết quả tốt trên khoảng cách lớn. Theo phương pháp này người ta đưa ra hệ thống định vị GPS vi phân diện rộng (*Wide Area DGPS*) và áp dụng cho các mục đích trắc địa thông qua mạng tham chiếu.

Trong định vị DGPS người ta thường sử dụng trị đo code (khoảng cách giả), đó là ý tưởng ban đầu của DGPS. DGPS cũng được phát triển, sử dụng cả trị đo pha của C/A code đã được làm trơn (*Carrier smoothed DGPS*) với việc sử dụng phép lọc và giải số nguyên đa trị. Phương pháp này cho độ chính xác nhỏ hơn 0,5m.

Ngoài ra, còn có giải pháp DGPS chính xác PDGPS (Precise DGPS), trong đó sử dụng trị đo pha sóng tần hoặc các số hiệu chỉnh pha sóng tần từ trạm tham chiếu chuyển đến trạm động để giải số nguyên đa trị. Phương pháp này thực chất lại là phương pháp RTK đã xét ở nội dung định vị tương đối.

Tuỳ theo phương thức truyền phát cải chính và phạm vi khả dụng của nó, người ta phân chia DGPS thành các phương pháp hay các phương thức khác nhau như:

Nếu căn cứ vào số trạm tham chiếu sẽ có:

- DGPS trạm tham chiếu đơn (*Single Reference DGPS*)
- DGPS mạng tham chiếu (*Reference Network DGPS*) hay (*Multiple Reference DGPS*)

Nếu căn cứ vào diện tích khu vực có thể cung cấp số cải chính vi phân sẽ có:

- LADGPS (*Local Area DGPS*)- là DGPS diện hẹp, cục bộ
- WADGPS (*Wide Area DGPS*)- là DGPS diện rộng, hoặc DGPS diện rộng quốc gia
- NDGPS (*Nationwide Differential GPG*)
- GDGPS, GCDGPS (*Global DGPS, Globally Corrected DGPS*) là DGPS cung cấp trên toàn cầu.

Các hệ thống định vị GPS tăng cường được chia thành:

- Hệ thống tăng cường dựa trên cơ sở mặt đất GBAS (*Ground-Based Augmentation System*). Các hệ thống DGPS tăng cường từ cơ sở mặt đất thường là các hệ thống DGPS diện hẹp, cục bộ. Trong một số trường hợp người ta còn sử dụng thuật ngữ viết tắt GBRAS hoặc GRAS (*Ground-Based Regional Augmentation Systems*) để chỉ hệ thống định vị vi phân địa phương tăng cường từ mặt đất, thường được thiết lập cho sân bay để điều khiển máy bay hạ cánh.
- Hệ thống tăng cường dựa trên cơ sở vệ tinh SBAS (*Satellite-Based Augmentation Systems*). Các hệ thống DGPS tăng cường từ cơ sở không gian thường là các hệ thống DGPS diện rộng hoặc DGPS toàn cầu.
- Định vị DGPS thường cung cấp cải chính tức thời (*Real Time DGPS*) hoặc tựa tức thời (*Near Real Time DGPS*), song trong một số ứng dụng có thể áp dụng định vị DGPS xử lý sau (*PostProcessing DGPS*).

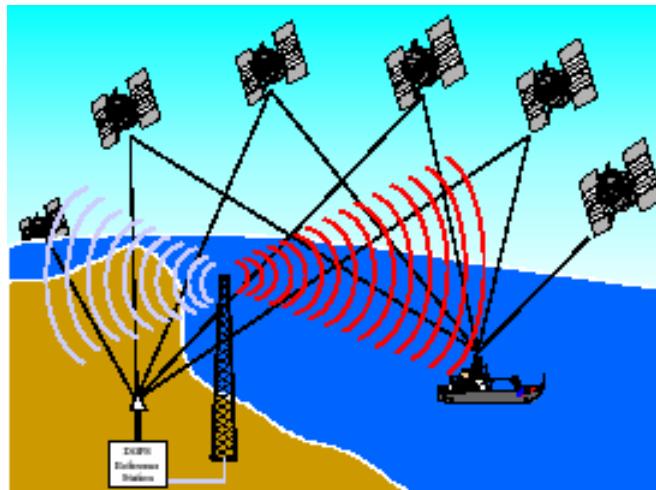
Hiện nay người ta đã xây dựng hệ thống định vị DGPS trên phạm vi toàn cầu trong đó cần sử dụng một số vệ tinh viễn thông để thực hiện dịch vụ MobiPhone ở mọi nơi trên Trái đất. Uỷ ban kỹ thuật Radio trong dịch vụ hàng hải, phân ban chuyên trách 104 mang tên RTCM SC-104 (*Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee-104*) đã đưa ra chuẩn dữ liệu cải chính DGPS và đang được sử dụng rộng rãi trên Toàn cầu.

Sau đây chúng ta xem xét phương pháp định vị DGPS cải chính toạ độ và cải chính trị đo sử dụng 1 trạm tham chiếu.

### **6.1.2. Định vị GPS vi phân trạm tham chiếu đơn**

Nếu có 2 máy thu GPS và một hệ thống truyền phát thông tin là có thể áp dụng kỹ thuật DGPS. Theo phương pháp này, một máy thu đặt tại điểm đã biết toạ độ gọi là trạm tham chiếu (*reference station*) còn máy thu khác di chuyển (máy động) và sẽ được xác định toạ độ với điều kiện tại cả hai máy số vệ tinh chung quan sát được không ít hơn 4 (hình 6.1).

Vị trí đã biết của điểm đặt máy thu cố định sẽ được sử dụng để tính các số hiệu chỉnh GPS dưới dạng hiệu chỉnh vị trí điểm (gọi là phương pháp vị trí- *Position Methode*) hoặc hiệu chỉnh các khoảng cách code đã được quan trắc (gọi là phương pháp hiệu chỉnh trị đo hay phương pháp trị đo - *Measurement Method*). Các số hiệu chỉnh này sẽ được chuyển đi bằng sóng vô tuyến (*Radio Link*) đến máy động và lập tức tính vị trí điểm để đạt được độ chính xác cao hơn so với trường hợp định vị tuyệt đối.



Hình 6.1. Nguyên lý định vị GPS vi phân

Trong phương pháp hiệu chỉnh vị trí điểm, tại trạm tham chiếu A vào thời điểm  $t$  sẽ tính được độ sai toạ độ theo công thức đơn giản:

$$\begin{aligned}\delta x(t) &= X_A - X_A(t) \\ \delta y(t) &= Y_A - Y_A(t) \\ \delta z(t) &= Z_A - Z_A(t)\end{aligned}\tag{6.1.1}$$

trong đó:  $X_A, Y_A, Z_A$  là toạ độ đã biết trong hệ toạ độ thực dụng của điểm A

$X_A(t), Y_A(t), Z_A(t)$  là toạ độ định vị tuyệt đối bằng máy thu GPS đặt tại A ở thời điểm  $t$ .

Hiệu toạ độ tính theo (6.1.1) được coi là số hiệu chỉnh vi phân và lập tức được phát đi rộng rãi theo phương thức vô tuyến cho các trạm định vị tuyệt đối khác để kịp hiệu chỉnh vào kết quả định vị (coi như ở cùng thời điểm  $t$ ).

Thí dụ tại trạm B, toạ độ định vị tuyệt đối GPS là  $X_B(t), Y_B(t), Z_B(t)$ , khi đó toạ độ sau cải

chính vi phân sẽ là:

$$\begin{aligned} X_B &= X_B(t) + \delta x(t) \\ Y_B &= Y_B(t) + \delta y(t) \\ Z_B &= Z_B(t) + \delta z(t) \end{aligned} \quad (6.1.2)$$

Trong phương pháp hiệu chỉnh trị đo, số hiệu chỉnh cho khoảng cách giả từ máy thu A đến vệ tinh j được tính:

$$\delta\rho^j(t) = \rho^j(t) - R^j(t) \quad (6.1.3)$$

trong đó  $\rho^j(t)$  là khoảng cách từ máy thu đến vệ tinh j được tính ra từ toạ độ vệ tinh  $X^j(t), Y^j(t), Z^j(t)$  ở thời điểm t và toạ độ đã biết của điểm tham chiếu A  $X_A, Y_A, Z_A$ .  $R^j(t)$  là khoảng cách giả máy thu xác định được tại thời điểm t ở trạm tham chiếu A.

Trong trường hợp này các số hiệu chỉnh  $\delta\rho^j(t)$  lập tức được phát đến máy thu di động. Tại trạm động, máy thu xác định được các khoảng cách giả. Các khoảng cách giả này được cộng thêm với các số hiệu chỉnh  $\delta\rho^j$  và tại trạm động người ta thực hiện tính toán định vị tuyệt đối theo khoảng cách giả đã hiệu chỉnh. Phương pháp này linh hoạt và cho kết quả tốt hơn phương pháp hiệu chỉnh toạ độ, song tại trạm máy của người sử dụng cần có thiết bị tính để giải bài toán định vị.

Định vị vi phân còn cho phép xác định được toạ độ trong hệ thực dụng, nếu toạ độ trạm tham chiếu đã được xác định trong hệ thực dụng. Hệ thống truyền phát các số cài chính đóng vai trò quan trọng trong định vị vi phân. Số cài chính vi phân tính theo (6.1.1) hoặc (6.1.3) thường được phát đi cho các trạm thu trong bán kính khoảng vài trăm km. Phương pháp này trên chỉ sử dụng 1 trạm tham chiếu do đó được gọi là định vị vi phân trạm tham chiếu đơn (*Single Reference DGPS*).

Trong thời gian đầu, các trạm cơ sở của hệ thống định vị radio như hệ thống VOR (*VHF Omnidirectional Range*), NDB (*Non-Directional Beacon*)... trở thành các trạm tham chiếu và cung cấp số cài chính vi phân trên vùng phủ sóng thông qua giải tần số VHF, UHF hoặc AM. Nhờ các trạm phát sóng cài chính, các trạm đo DGPS nhận số cài chính và tự hiệu chỉnh, bảo đảm độ chính xác định vị trong khoảng 1-3m.

## 6.2. CÁC HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ GNSS TĂNG CƯỜNG

### 6.2.1. Các hệ thống tăng cường dựa trên cơ sở mặt đất (GBAS)

Hệ thống tăng cường cơ sở mặt đất sử dụng mạng lưới vô tuyến (*radio*) mặt đất để chuyển thông tin tăng cường độ chính xác (hiệu chỉnh) được xác định từ các trạm tham chiếu trên một khu vực nào đó. Hệ thống trạm tham chiếu này hoạt động (giám sát) liên tục để cập nhật các nguồn sai số như sai số quỹ đạo vệ tinh, sai số nhiễu xạ tín hiệu do tầng điện ly và

tầng đối lưu. Trạm tăng cường mặt đất sẽ phân hạng dữ liệu dựa trên phạm vi của mạng tham chiếu và nhu cầu người sử dụng để chuyển đi các số hiệu chính tương thích.

#### **6.2.1.1. Định vị GPS vi phân diện hẹp (cục bộ).**

Định vị GPS vi phân diện hẹp được viết tắt là LADGPS (*Local Area Differential GPS*). LADGPS là dịch vụ nâng cao độ chính xác của định vị GPS nhờ vị trí của các máy thu tại các trạm tham chiếu đã biết với độ chính xác cao. Nhờ các trạm tham chiếu này, có thể xác định được các nguồn sai số thay đổi với tốc độ chậm thể hiện qua sự thay đổi của khoảng cách mặt đất-vệ tinh, từ đó mô hình hóa thành các số hiệu chính vi phân và phát trực tiếp đến máy thu của người sử dụng thông qua các tần số radio thương mại điêu biên AM. Nguyên lý của phương pháp đã được trình bày ở phần 6.1.2.

Hiệu lực của hệ thống LADGPS suy giảm khi khoảng cách giữa các máy thu của các trạm tham chiếu tăng lên. LADGPS được sử dụng chủ yếu trong dẫn đường cho các tàu thuyền để bảo đảm an toàn hàng hải vùng biển ven bờ [33].

#### **6.2.1.2. Định vị GPS vi phân diện rộng**

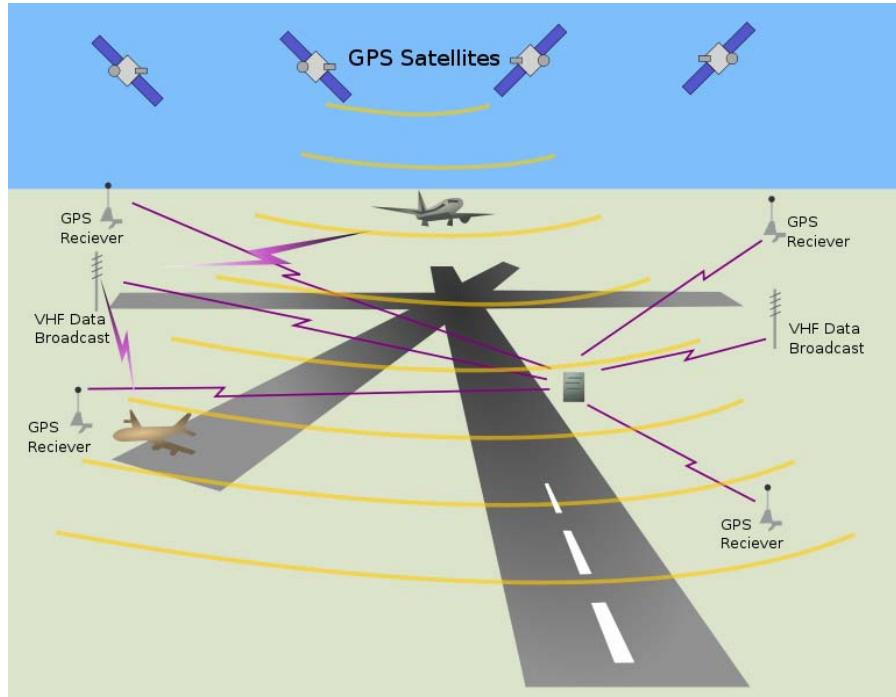
Định vị GPS vi phân diện rộng được viết tắt là WADGPS (*Wide Area Differential GPS*). Trong hệ thống WADGPS, một mạng lưới các trạm tham chiếu được sử dụng để xác định số hiệu chính kiểu vectơ cho mỗi vệ tinh. Mỗi vectơ chứa các số hiệu chính của đồng hồ vệ tinh, lịch vệ tinh và mô hình sai số do tầng điện ly. Số hiệu chính vectơ có hiệu quả cao hơn trên phạm vi rộng hơn so với các số hiệu chính vi phân diện hẹp LADGPS.

Phòng thí nghiệm phản lực JPL của NASA (Mỹ) đã đưa ra phương án xây dựng một hệ thống WADGPS mở rộng trên toàn cầu gọi là GDGPS (*Global Differential GPS System*). Phương án này đã được triển khai và đã trở thành dịch vụ định vị tuyệt đối GPS chính xác tức thời (PPP). Tính đến năm 2007, GDGPS sử dụng một mạng lưới hơn 70 trạm tham chiếu GPS phân bố trên toàn cầu để theo dõi liên tục tín hiệu ở hai tần số L1,L2. Các trị đo từ các trạm tham chiếu này được chuyển về các trung tâm xử lý GDGPS là GOC (GDGPS Operation Centers) để xử lý cho ra các số hiệu chính tức thời. Tính đến tháng 10 năm 2006, mạng GDGPS có 3 trung tâm GOC [33]. Hệ thống GDGPS cho phép định vị tức thời tới độ chính xác cỡ 10cm và cung cấp thời gian với sai số dưới na-nô giây (ns) tại bất kỳ nơi nào trên trái đất. Lưu ý thêm rằng, ở vùng vĩ độ thấp, trong thời gian có bão điện ly (*Ionosphere Storms*) độ chính xác định vị có thể kém hơn.

#### **6.2.1.3. Định vị tăng cường diện hẹp**

Định vị tăng cường diện hẹp LAAS (*Local Area Augmentation System*) tương tự như định vị vi phân diện hẹp là dựa trên cải chính vi phân của tín hiệu GPS và sử dụng các máy thu tham chiếu trên phạm vi hẹp (cục bộ). LAAS được phát triển bởi Cơ quan quản lý hàng không quốc gia Mỹ FAA (*US Federal Administration of Aviation*) nhằm cung cấp khả năng định vị chính xác trong mọi điều kiện thời tiết và khả năng hạ cánh cho máy bay trong phạm vi 37km xung quanh các sân bay. Hệ thống mặt đất phát đi các số cải chính GPS vi phân và tích hợp kết nối

thông tin ở dải sóng radio VHF. Hệ thống LAAS có khả năng cung cấp thông tin để bảo đảm độ chính xác định vị cho máy bay tương đương sử dụng hệ thống giám sát mặt đất bảo đảm an toàn hạ cánh trong điều kiện tầm nhìn hạn chế. Trên hình 6.2 mô tả một hệ thống LAAS có các trạm tham chiếu GPS và các trạm phát VHF bố trí xung quanh sân bay.



Hình 6.2. Một hệ thống LAAS

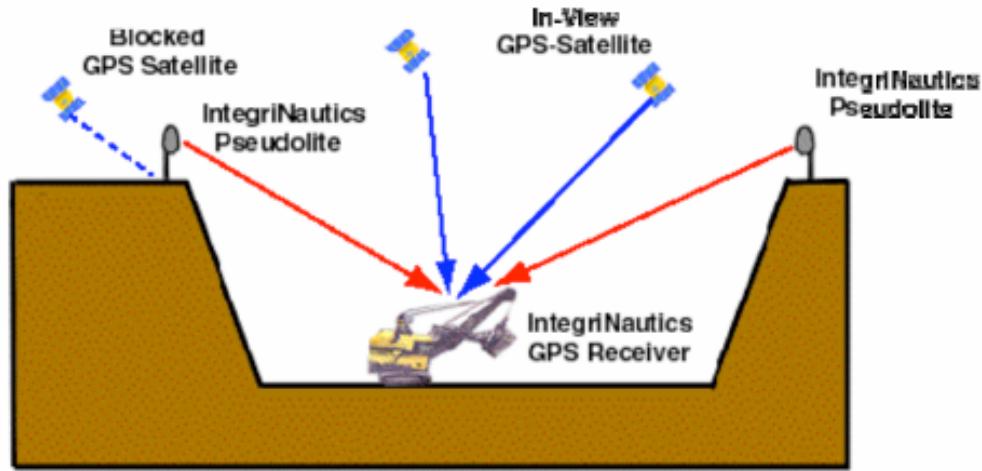
#### 6.2.1.4. Giả vệ tinh

Giả vệ tinh (*Pseudolites: Pseudo Satellites*) là các trạm mặt đất có khả năng tạo và phát tín hiệu giống như tín hiệu của vệ tinh GNSS. Ban đầu người ta đưa ra giải pháp thuận túy sử dụng các trạm giả vệ tinh cố định trên mặt đất để định vị trong một khu vực nhất định. Hệ thống bao gồm các giả vệ tinh còn được gọi là Hệ thống tích hợp radar mặt đất IBLS (*Integrity Beacon Landing System*) [35]. Các giả vệ tinh thường phát đi tín hiệu với tần số sóng tải L1 và điều biến bởi C/A code.

Trong không gian đóng kín (Indoor) như trong nhà, dưới hầm mỏ vv... ở trong điều kiện như vậy chắc chắn không thể nhận được tín hiệu GNSS, khi đó bố trí một tập hợp giả vệ tinh có thể sử dụng thay thế cho các vệ tinh GNSS thực. Tuy nhiên, giải pháp giả vệ tinh chỉ có thể sử dụng để định vị cho các đối tượng trong một không gian hẹp, cục bộ.

Giả vệ tinh cũng được sử dụng như vệ tinh tăng cường, được bố trí ở những vị trí mà ở đó khả năng quan sát vệ tinh bị hạn chế, để cải thiện yếu tố đồ hình vệ tinh, liên quan đến độ suy giảm độ chính xác định vị (PDOP), nhằm nâng cao độ chính xác định vị bằng GNSS. Chính vì thế, phương án sử dụng giả vệ tinh bổ sung cũng được xem là một trong các giải pháp tăng cường độ chính xác cho định vị bằng GNSS.

Trên hình 6.3 là một hệ thống giả vệ tinh tăng cường cho môi trường khai thác mỏ. Trên bờ mỏ lộ thiên có các giả vệ tinh thay thế cho vệ tinh GPS bị che chắn.



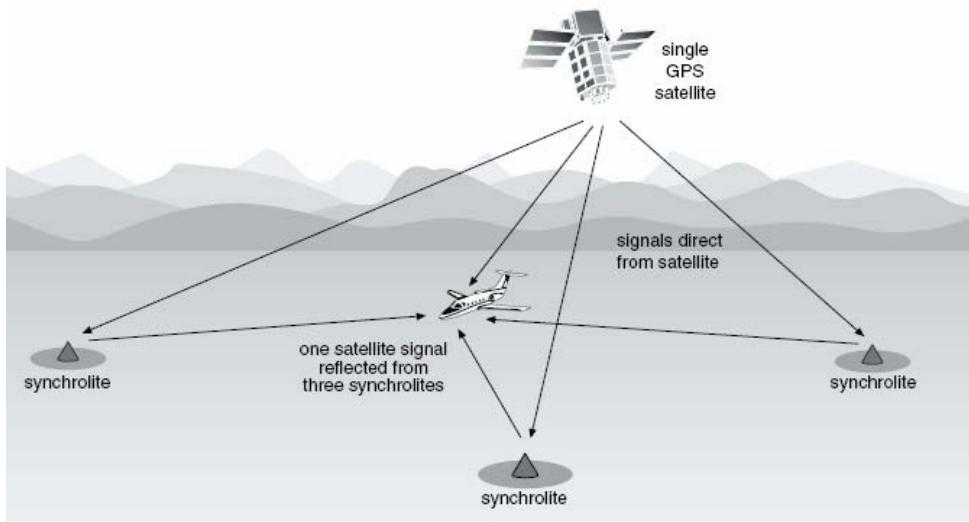
Hình 6.3. Giả vệ tinh cho môi trường khai thác mỏ lộ thiên

Giải pháp giả vệ tinh có một số ưu điểm so với hệ thống dựa vào vệ tinh thuần túy:

- Có thể triển khai mà không cần thay thế hay thay đổi phần cứng các máy thu GNSS mà chỉ cần thay đổi nhỏ trong “phân sụn” (*Firmware*) của máy thu.
- Số lượng và vị trí của các giả vệ tinh có thể điều chỉnh cho phù hợp với hoàn cảnh cụ thể để nâng cao độ chính xác về mặt bằng và độ cao, nhờ đó sẽ đạt được hiệu quả tối đa của hệ thống.
- Hệ thống giả vệ tinh làm việc trong không gian gần mặt đất do đó không chịu ảnh hưởng của tầng điện ly, được coi là nguồn sai số chủ yếu trong định vị GNSS.

Tuy nhiên, giải pháp giả vệ tinh cũng có những nhược điểm. Một trong những nhược điểm của giả vệ tinh là vấn đề gần-xa (*near-far problem*), nguyên nhân của nó là sự thay đổi của công suất tín hiệu thu được từ giả vệ tinh khi khoảng cách giữa máy thu và các trạm phát thay đổi. Tín hiệu từ một giả vệ tinh nằm trong vùng lân cận của máy thu (rất gần máy thu) có thể gây nhiễu cho máy thu đó. Mặt khác, nếu một số giả vệ tinh nằm ở quá xa thì tín hiệu của nó có thể không đến được máy thu hoặc yếu đến mức mà máy thu không thể phát hiện được. Việc phát tín hiệu của giả vệ tinh dưới dạng các xung ngắn với một chu trình hoạt động thấp có thể áp dụng để giảm tối thiểu vấn đề gần-xa.

Trong một số trường hợp, giả vệ tinh được sử dụng như một gương điện tử (electronic mirror) để phản xạ tín hiệu từ vệ tinh tại một điểm đã biết vị trí (tọa độ) trên mặt đất đến máy thu của người sử dụng. Trong trường hợp này, giả vệ tinh được gọi là giả vệ tinh đồng bộ (*synchronized pseudolites*) và viết gọn là *synchrolites*. Trên hình 6.4 thể hiện một số trạm giả vệ tinh đồng bộ được đặt tại các điểm đã biết tọa độ.

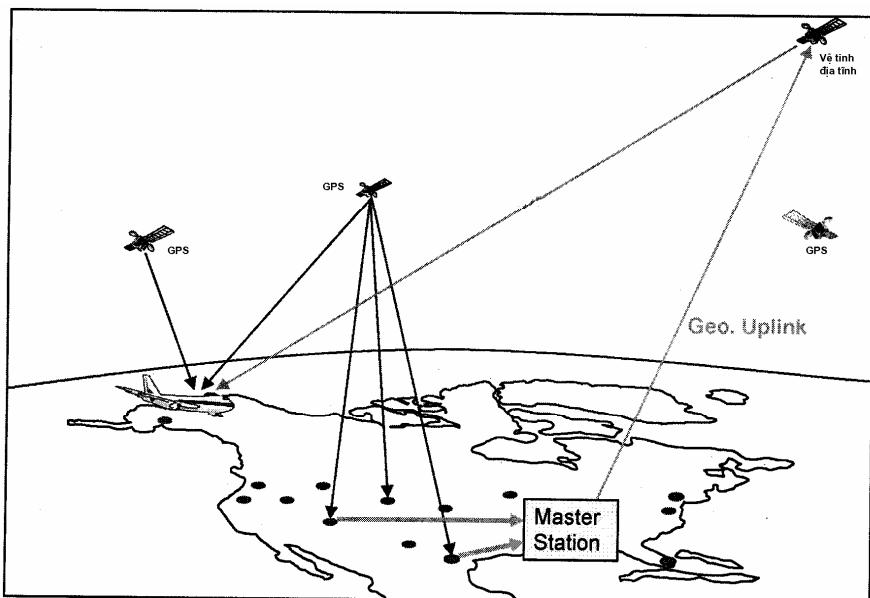


Hình 6.4. Một phương án định vị sử dụng giả vệ tinh đồng bộ

### 6.2.2. Các hệ thống định vị tăng cường dựa trên cơ sở vệ tinh (SBAS)

#### 6.2.2.1. Hệ thống WAAS của Mỹ

Theo nguyên tắc định vị vi phân diện rộng WADGPS, từ năm 1995 tại Mỹ đã bắt đầu xây dựng hệ thống định vị vi phân diện rộng tăng cường WAAS (*Wide Area Augmentation Differential GPS System*). Đến tháng 7 năm 2003 hệ thống được đưa vào hoạt động. Hệ thống WAAS gồm 38 trạm tham chiếu kết nối mạng với trạm chủ, 2 trạm (*Uplink*) truyền số cài chính thông qua 4 vệ tinh viễn thông địa tĩnh (*Geostationary Satellites*). Trên hình 6.5 là cấu trúc của hệ thống WAAS. Khả năng truyền tin tức thời của vệ tinh địa tĩnh rất mạnh nên diện phủ sóng cực lớn. Hệ thống WAAS bao trùm toàn bộ nước Mỹ kể cả phần Alaska.



Hình 6.5. Cấu trúc hệ thống WAAS

Phương thức hoạt động của nó là đem tín hiệu hiệu chỉnh sai phân khu vực rộng do trạm chủ tinh được từ 38 trạm mặt đất và chuyển lên 4 vệ tinh viễn thông địa tĩnh. Các vệ tinh này dùng tần số L1 của GPS phát lại các tín hiệu hiệu chỉnh sai phân nói trên cho các trạm sử dụng.

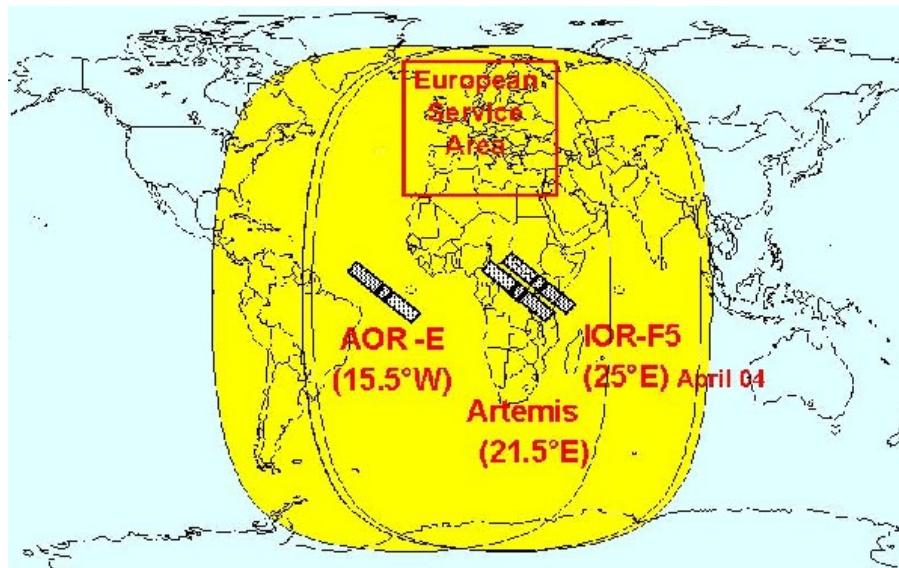
Vì hệ thống thông tin số hiệu chỉnh dùng tần số giống như tần số của vệ tinh GPS cho nên máy thu GPS của người sử dụng có thể thu trực tiếp tín hiệu hiệu chỉnh sai phân của WAAS qua vệ tinh địa tĩnh mà không cần một hệ thống thông tin khác.

Các vệ tinh địa tĩnh của WAAS không những phát tín hiệu hiệu chỉnh mà còn phát cả lịch vệ tinh địa tĩnh và C/A code, lúc này vệ tinh địa tĩnh trở thành một vệ tinh GPS giả không gian tương đương như một nguồn đo khoảng cách giả đến vệ tinh, vì thế độ chính xác định vị của trạm sử dụng sẽ được nâng cao hơn. Nhờ hệ thống WAAS, trên phạm vi phủ sóng cài chính, người sử dụng có thể định vị tức thời với độ chính xác mặt bằng nhỏ hơn 2m và về độ cao không quá 3 m.

#### **6.2.2.2. Dịch vụ EGNOS của Châu Âu**

Dịch vụ dẫn đường vệ tinh địa tĩnh Châu Âu phủ trùm EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) tương tự như hệ thống WAAS của Mỹ, hoạt động từ cuối năm 2002. Hệ thống EGNOS sử dụng 3 vệ tinh địa tĩnh riêng (hình 6.6).

EGNOS được điều hành bởi một cơ quan dân sự. Thông qua các vệ tinh địa tĩnh EGNOS phát đi các thông tin về tình trạng của các hệ thống GPS của Mỹ và GLONASS của Nga đồng thời tính hiệu chỉnh ảnh hưởng khí tượng và cung cấp các số hiệu chỉnh sai phân. Tất cả các nước trong EU đều được sử dụng dịch vụ của EGNOS, bảo đảm độ chính xác định vị tuyệt đối tức thời trong khoảng  $\pm 3$ m.



Hình 6.6. Các vệ tinh địa tĩnh của EGNOS

### 6.2.2.3. Hệ thống MSAS của Nhật Bản

Năm 1995, tại Nhật Bản, Tập đoàn điện tử Mitsubishi và Văn phòng Hàng không dân dụng Nhật Bản chủ trì phương án xây dựng hệ thống định vị vệ tinh tăng cường đa chức năng MSAS (*MTSAT Satellite Augmentation System*), trong đó sử dụng các vệ tinh chuyển tải đa chức năng MTSAT (*Multi Functional Transport Satellites*) làm phương tiện chuyển tải thông tin tăng cường đến người sử dụng.

Hệ thống này có 6 trạm tham chiếu với 2 trạm chủ (MCS) đặt ở Kobe và Hitachi-Ota. Hệ thống MSAS truyền số cải chính DGPS thông qua 2 vệ tinh viễn thông địa tĩnh. Vệ tinh MTSAT-1R ( $140^{\circ}$  E) được phóng lên quỹ đạo năm 2005 và sau đó là vệ tinh MTSAT-2 ( $145^{\circ}$  E) vào năm 2006. Hai vệ tinh này có chức năng kết nối thông tin tương tự như hệ thống tăng cường WAAS và EGNOS. Vùng hoạt động của MSAS là vùng Đông Châu Á và Tây Thái Bình Dương. Độ chính xác định vị tức thời của hệ thống này tương tự như các hệ thống WAAS và EGNOS.

Hệ thống MSAS được xem như hệ thống định vị thử nghiệm trước cho hệ thống dẫn đường khu vực QZSS (*Quasi-Zenith Satellite System*) của Nhật Bản.

Ngoài các hệ thống trên còn có một số hệ thống định vị vi phân tăng cường diện rộng khác như:

- + Hệ thống tăng cường diện rộng của Canada CWAAS (*Canadian Wide Area Augmenting System*).
- + Hệ thống đạo hàng vệ tinh tăng cường của Trung Quốc (SNAS)
- + Hệ thống đạo hàng tăng cường GPS & GEO (GAGAN) của Ấn Độ.

Trên hình 6.7 là phạm vi sử dụng của các hệ thống định vị vi phân tăng cường diện rộng của Mỹ, của Châu Âu, Nhật Bản, Canada, Trung Quốc và Ấn Độ.



Hình 6.7. Phạm vi sử dụng của các hệ thống định vị DGPS tăng cường

## 6.3. HỆ THỐNG CÁC TRẠM THAM CHIẾU LÀM VIỆC LIÊN TỤC (CORS)

### 6.3.1. Khái niệm chung

Từ những năm 1995, cùng với sự phát triển của hệ thống các trạm tham chiếu quan trắc thường xuyên (*Permanently Observing Reference Stations*) trong hệ thống lưới IGS toàn cầu, nhiều quốc gia đã xây dựng hệ thống các trạm tham chiếu làm việc liên tục CORS (*Continuosly Operational Reference Stations*) phục vụ cho nhiều mục đích khác nhau như:

- Cung cấp dịch vụ định vị xác định điểm (định vị tĩnh) với độ chính xác cỡ cm đo trong vài giờ và độ chính xác cỡ dm đo trong vài phút.
- Định vị động (*kinematic*) xử lý tức thời với độ chính xác cỡ dm cho máy bay, tàu thuyền và các phương tiện trên đất liền.
- Các dạng đo đặc trong công tác trắc địa và bản đồ như xác định tọa độ điểm khống chế, đo vẽ chi tiết thành lập bản đồ địa hình, bản đồ địa chính vv...
- Đo đặc địa vật lý và nghiên cứu chuyển động kiến tạo vỏ Trái đất
- Nghiên cứu khí tượng và khí quyển và tầng điện ly vv....

Các trạm tham chiếu hoạt động liên tục được xây dựng cần bảo đảm cho mật độ tương đối đồng đều, khoảng cách giữa các trạm tham chiếu là một tham số đặc trưng cho độ chính xác của hệ thống. Vị trí các trạm tham chiếu được xác định chính xác trong hệ thực dụng. Tại mỗi trạm tham chiếu sẽ lắp đặt máy thu GNSS đa tần số và liên tục thu tín hiệu vệ tinh (24h/24h). Các trạm CORS được kết nối với trạm chủ (*Master Station*) thông qua mạng Internet. Trạm chủ có nhiệm vụ xử lý và lưu giữ thông tin từ các trạm tham chiếu gửi tới, trạm chủ này còn được gọi là trạm SERVER. Do có nhiều thông tin từ nhiều trạm tham chiếu chuyển tới nên tại trạm chủ, người ta có thể xây dựng được mô hình số cải chính vi phân tức thời như là hàm của vị trí điểm các trạm tham chiếu. Trong mô hình này người ta có thể xét tới một số nguồn sai số như sai số quỹ đạo vệ tinh (lịch vệ tinh), sai số đồng hồ vệ tinh, sai số do tầng điện ly, tầng đối lưu vv...

Độ chính xác của các sản phẩm thiết lập từ hệ thống trạm liên tục (CORS) phụ thuộc vào mật độ, tình hình phân bố các trạm CORS trên lãnh thổ quốc gia, độ chính xác vị trí của các trạm CORS trong hệ quy chiếu, mô hình sai số xác lập dựa trên các số liệu về khí quyển và các thuật toán áp dụng trong xử lý số liệu của hệ thống (thí dụ như thuật toán lọc nhiễu...).

Các trạm CORS có thể xây dựng theo kiểu mốc kiên cố và cũng có thể xây dựng đơn giản. Trên hình 6.8. là một trạm CORS được xây dựng kiên cố, còn trên hình 6.9 là một trạm CORS đơn giản gắn trên nóc nhà. Cần chọn vị trí trạm CORS sao cho khả năng thu tín hiệu liên tục từ các vệ tinh thuận lợi và có chất lượng tốt, không bị nhiễu vv... Để điều kiện thu tín hiệu được tốt, trạm CORS được bố trí nơi thông thoáng, có góc ngưỡng khoảng  $10^{\circ}$ . Tân

suất thu tín hiệu tại các trạm CORS từ 1s đến 30s. Trạm CORS cần có nguồn điện cung cấp liên tục và có thể kết nối Internet.



Hình 6.8 Một trạm CORS kiên cố



Hình 6.9. Một trạm CORS đơn giản

Số liệu đo của hệ thống các trạm CORS có thể được sử dụng cho các nhu cầu tức thời (*Real Time*) hoặc cho nhu cầu xử lý sau (*PostProcessing*).

Để đáp ứng nhu cầu sử dụng tức thời, thông thường có hai phương thức giao tiếp giữa người sử dụng với trạm chủ, đó là phương thức trạm tham chiếu ảo VRS (*Virtual Reference Station*) và phương thức mạng quảng bá (*Broadcast Network*).

**Theo phương thức trạm tham chiếu ảo (VRS),** sau khi trạm điều khiển trung tâm nhận được tọa độ (gắn đúng) của trạm sử dụng gửi tới, trạm tham chiếu ảo được tạo ra cách trạm sử dụng chỉ vài mét. Số liệu “đo” của trạm tham chiếu ảo được hình thành tại trạm trung tâm dựa trên ít nhất 3 trạm tham chiếu gần nhất và bao quanh trạm sử dụng.

Theo phương thức này, tại trạm sử dụng, ngoài máy thu GPS cần phải có thiết bị truyền thông tin (không dây) hai chiều để gửi tọa độ đo được về trạm trung tâm và qua đó trạm trung tâm sẽ tính toán và gửi số liệu “đo” của trạm tham chiếu ảo đến trạm sử dụng. Từ số liệu trạm tham chiếu ảo, trạm sử dụng thực hiện khâu tính toán (vị trí tương đối giữa trạm tham chiếu ảo và trạm sử dụng) để nhận được tọa độ chính xác cho điểm đặt máy (trạm sử dụng). Theo phương thức trạm tham chiếu ảo VRS, số lượng người sử dụng bị hạn chế bởi năng lực của Server điều khiển ở trạm trung tâm, tương tự như năng lực của mạng điện thoại di động.

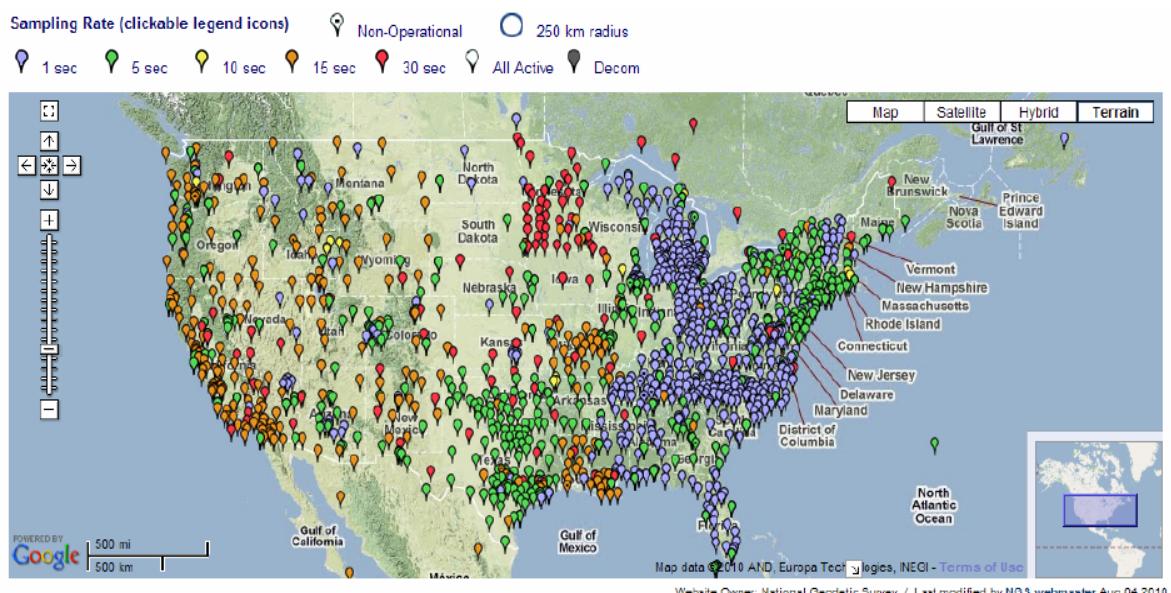
**Theo phương thức mạng quảng bá**, tại trạm chủ, mô hình cải chính được tính toán từ tất cả số liệu quan trắc của các trạm CORS trong hệ thống. Thông qua hệ thống truyền phát thông tin, trạm chủ sẽ phát rộng rãi mô hình cải chính. Máy của người sử dụng nhận thông tin mô hình cải chính, dựa vào vị trí của máy thu sẽ tính ra số hiệu chỉnh vào tọa độ định vị tuyệt đối để nhận được tọa độ chính xác hơn. Trong trường hợp này, máy thu của người sử dụng phải có khả năng tính toán cải chính. Ưu điểm của phương thức này là không hạn chế số lượng người sử dụng. Theo đánh giá, phương thức tham chiếu ảo VRS cho độ chính xác cao hơn phương thức mạng quảng bá.

Ngoài ra, với một số trạm CORS phân bố trên một khu vực không lớn, người ta có thể thực hiện giải pháp định vị vi phân tối ưu cục bộ LODG (*Local Optimized Differential GPS*).

### 6.3.2. Một số hệ thống trạm tham chiếu làm việc liên tục

#### 1. Hệ thống trạm CORS của Mỹ

Hệ thống mạng CORS của Mỹ bao gồm trên 1350 điểm, do trên 175 tổ chức tham gia và hiện đang được phát triển khá nhanh. Cơ quan trắc địa quốc gia Mỹ (NGS) là cơ quan quản lý và cung cấp thông tin về hệ thống CORS phục vụ cho người sử dụng. Vị trí các trạm CORS được xác định trong hệ quy chiếu thực dụng NAD83 với độ chính xác cỡ 1-2 cm và cũng được xác định trong khung quy chiếu quốc tế ITRF mới nhất. Trên hình 6.10 là vị trí của các trạm CORS của Mỹ, trên đó có ghi chú tần suất ghi tín hiệu.



Hình 6.10. Vị trí các trạm CORS của Mỹ

Ở Bắc Mỹ còn có hệ thống trạm CACS (*Canadian Active Control System*) của Canada, tương tự hệ thống trạm CORS của Mỹ.

## 2. Hệ thống SAPOS của Đức

SAPOS (*Satellite Positioning Service*) của Đức cũng có tính năng và mục đích sử dụng tương tự hệ thống trạm CORS của Mỹ.

Định vị DGPS với mạng tham chiếu cho độ chính xác định vị cao hơn nhiều so với định vị trạm đơn. Theo kết quả thử nghiệm tại CHLB Đức cho thấy, với mạng tham chiếu có khoảng cách trung bình giữa các trạm là 32 km, sai số mặt bằng điểm định vị không quá 3 cm.

Hệ thống dịch vụ SAPOS của CHLB Đức cung cấp các sản phẩm cho phương pháp tức thời (thời gian thực) và cả sản phẩm cho phương pháp xử lý sau. Ở phương pháp tức thời có 2 mức chính xác là dịch vụ HEPS và EPS, ở phương pháp xử lý sau có các dịch vụ GPPS và GHPGS.

Ngoài SAPOS của Đức, ở 14 nước thuộc vùng trung và tây Âu đã thiết lập hệ thống EUPOS, là hệ thống trạm quan sát liên tục đa chức năng gồm 870 trạm.

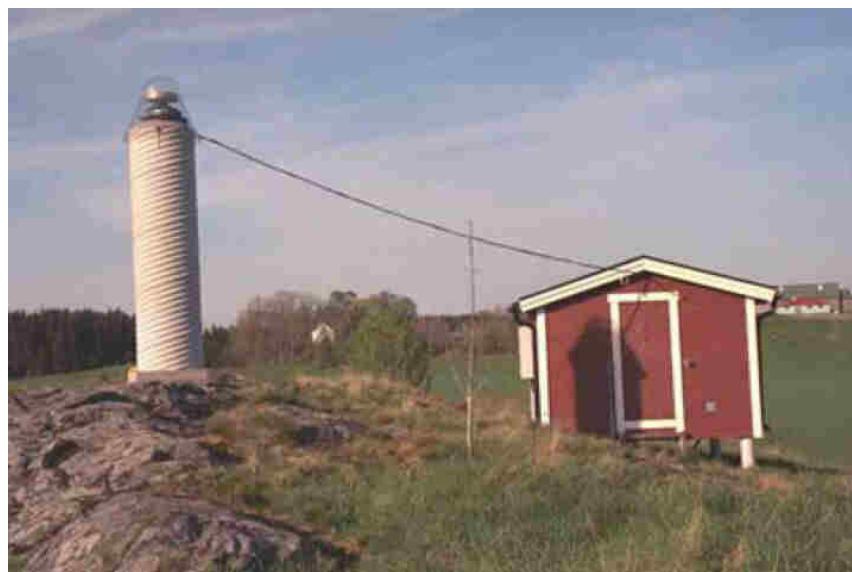
## 3. Hệ thống SWEPOS của Thụy Điển

Năm 1992, Thụy Điển đã thiết kế xây dựng hệ thống trạm quan sát liên tục, có tên gọi là SWEPOS. Đến năm 1998 hệ thống được đưa vào hoạt động. Tuy nhiên cho đến 2002 dịch vụ định vị đầu tiên từ SWEPOS mới được thực hiện.

Hiện nay hệ thống SWEPOS bao gồm 21 trạm đồng bộ (*complete stations*) (hình 6.11) và 53 trạm đơn giản (*simplified stations*). Trong đó có 4 trạm quốc tế IGS và 6 trạm tham gia vào mạng châu Âu EPN. Trên hình 6.12 là một trạm CORS trong hệ thống SWEPOS.



Hình 6.11. Vị trí mạng SWEPOS



Hình 6.12. Một trạm CORS đồng bộ của SWEPOS

Hệ SWEPOS gồm 3 bộ phận có các chức năng khác nhau:

1. Các trạm quan sát liên tục của SWEPOS đều sử dụng ít nhất 2 máy thu GPS hai tần số để ghi nhận liên tục tín hiệu vệ tinh GPS ở tần suất cao, đây là cơ sở dữ liệu GPS nguyên thuỷ (thô) sẽ được chuyển về trung tâm điều khiển để xử lý và phân phát.

2. Trung tâm điều khiển được kết nối với các trạm thu liên tục. Trung tâm điều khiển có các nhiệm vụ như lưu trữ, xử lý, chuẩn bị dữ liệu cho các dịch vụ khác nhau.
3. Bộ phận phân phát dữ liệu làm việc với hai hình thức: cung cấp dữ liệu cho xử lý sau và cung cấp dữ liệu cho định vị tức thời. Để cung cấp dữ liệu xử lý sau, có thể chuyển qua dịch vụ Internet. Để cung cấp dữ liệu phục vụ định vị tức thời, thường thông qua mạng RTK hoặc mạng thông tin GSM.

Các dữ liệu của SWEPOS cung cấp cho nhiều ứng dụng khác nhau như: Nghiên cứu khoa học (nghiên cứu địa động, khí quyển vv...), ứng dụng trong sản xuất (xử lý sau, định vị tức thời, DGPS, mạng RTK vv....).

Với số liệu quan sát từ 1-3 giờ, độ chính xác định vị của SWEPOS có thể đạt 1,5 cm về mặt bằng, 1,5 đến 2cm về độ cao. Với số liệu quan sát trong 15 đến 30 phút có thể đạt độ chính xác định vị cỡ 10cm.

#### *4. Một số hệ thống trạm CORS khác*

Theo phương thức trạm CORS, nhiều quốc gia đã đầu tư xây dựng hệ thống trạm CORS như Óstralyia, Trung Quốc, Cộng hoà Nam Phi, New Zealand, Thổ Nhĩ Kỳ vv...

Hiện nay (2011) Việt Nam đã lập dự án xây dựng hệ thống trạm CORS, nhằm tăng cường ứng dụng GNSS phục vụ đa lĩnh vực. Theo dự án này, trên toàn quốc sẽ có 38 trạm CORS cơ bản (*Geodetic*) và một hệ thống trạm CORS tăng dần.

### 6.4. PHÂN TÍCH SAI SỐ TRONG ĐỊNH VỊ VI PHÂN VÀ CÁC ỨNG DỤNG

#### **6.4.1. Phân tích sai số**

Chúng ta có thể nhận thấy rằng, trong phương pháp hiệu chỉnh tọa độ, chúng ta đã giả thiết là sai lệch tọa độ ở mọi điểm là như nhau. Khi khoảng cách giữa trạm tham chiếu A và trạm định vị B càng xa nhau thì điều giả thiết trên càng không đúng. Phương pháp này về cơ bản đã loại bỏ được nhiều SA và một vài nguồn sai số khác mang tính hệ thống trong kết quả định vị tuyệt đối (Bảng 6.1).

Bảng 6.1. So sánh ảnh hưởng của các nguồn sai số trong định vị tuyệt đối và DGPS trạm đơn.

| Nguồn sai số           | Sai số định vị tuyệt đối | Sai số trong đo DGPS |
|------------------------|--------------------------|----------------------|
| Sai số đồng hồ vệ tinh | 1,5 m                    | 0 m                  |
| Sai số quỹ đạo         | 2,5 m                    | 0                    |
| Sai số do tầng Ion     | 5,0 m                    | 0,2                  |
| Sai số do tầng đối lưu | 0,5 m                    | 0,1                  |
| Nhiều máy thu          | 0,3                      | 0,3                  |
| Đa đường dẫn           | 0,6                      | 0,2                  |

Hệ thống WADGPS quan tâm đến 3 nguồn sai số chủ yếu sau đây:

- Sai số lịch vệ tinh, bao gồm cả kỹ thuật  $\epsilon$  trong SA.
- Sai số của đồng hồ vệ tinh, bao gồm cả kỹ thuật  $\delta$  trong SA.
- Độ trễ thời gian khi tín hiệu xuyên qua tầng điện ly

Các trạm theo dõi, có tọa độ địa tâm 3 chiều với độ chính xác cao (trong hệ ITRF). Xung quanh trạm theo dõi phải bảo đảm góc ngưỡng lớn hơn  $5^{\circ}$ .

Trạm theo dõi cần có đồng hồ nguyên tử để xác định độ trễ thời gian tín hiệu do tầng điện ly (đối với máy thu 2 tần). Có các thiết bị tự động ghi các yếu tố khí tượng vv...

Nhiệm vụ của trạm theo dõi là chuyển kết quả gốc đo khoảng cách giả, số liệu khí tượng, số hiệu chính trễ thời gian do tầng điện ly của khu vực mà trạm phụ trách đến trạm chủ, trong đó trị đo khoảng cách giả dùng để tính sai số đồng hồ VT nên có tần suất thu tín hiệu 1s/lần. Nói chung, một hệ thống WADGPS thường cần từ 4 đến 6 trạm theo dõi.

#### 6.4.2. Một số ứng dụng của DGPS

Phương pháp DGPS được ứng dụng rộng rãi trong đo đạc khảo sát biển và hải đảo. Với độ chính xác định vị GPS vi phân trong khoảng 2 hoặc 3 m, hoàn toàn đáp ứng được các yêu cầu về công tác dẫn đường và định vị phục vụ cho đo đạc thành lập bản đồ địa hình đáy biển và hải đồ tỷ lệ 1:10000 hoặc nhỏ hơn. Hiện nay, người ta đã sử dụng công nghệ định vị tuyệt đối chính xác tức thời (PPP) của FUGRO, NAVCOM, C-NAV vv... để xác định độ cao anten máy thu trên tàu đo, tín hiệu chỉnh vào kết quả đo sâu hồi âm, giảm thiểu công tác quan trắc độ cao mực nước tại các trạm nghiệm triều.

Phương pháp DGPS và các hệ thống tăng cường điện rộng hoặc điện hẹp, được sử dụng rộng rãi trong quản lý giao thông đường bộ, hỗ trợ điều khiển hoạt động ở các sân bay, bến cảng và trong các hoạt động quân sự.

Ở Việt Nam, ngay từ năm 1998, Tổng cục Địa chính đã cho xây dựng trạm phát số cải chính DGPS đầu tiên ở nước ta, đặt tại Đồ Sơn Hải Phòng, có công suất phát 500W và có tầm phủ sóng khoảng 500km. Năm 2000, chúng ta xây dựng tiếp trạm phát số cải chính DGPS tại Vũng Tàu, với tầm phủ sóng ước khoảng 700km. Để phục vụ cho công tác phân giới cắm mốc biên giới, chúng ta cũng đã xây dựng một số trạm DGPS ở Điện Biên, Hà Giang, Cao Bằng và sau đó là trạm DGPS quốc gia đặt tại Quảng Nam.

Trong Dự án xây dựng Hệ quy chiếu và Hệ tọa độ quân sự, Cục Bản đồ Bộ Tổng tham mưu đã triển khai xây dựng 4 trạm DGPS ở Đà Nẵng (2009), Phú Quốc (2010), Móng Cái (2010) và ở đảo Trường Sa lớn (2011).

## Chương 7

### CÁC ÚNG DỤNG CỦA GNSS

#### 7.1. ÚNG DỤNG GNSS TRONG XÂY DỰNG CÁC MẠNG LUỚI TRẮC ĐỊA

##### 7.1.1. Những vấn đề chung

Những ứng dụng đầu tiên của công nghệ GPS trong trắc địa- bản đồ là đo đạc các mạng lưới trắc địa mặt bằng. Năm 1983 bằng GPS người ta đã xây dựng mạng lưới trắc địa ở Eifel (CHLB Đức). Tiếp theo đó nhiều mạng lưới khác cũng được xây dựng ở Montgomery County, Pennsylvania (Mỹ) vv... Ưu điểm chủ yếu và quan trọng nhất của công nghệ GPS là có thể xác định được các vectơ cạnh giữa các điểm trắc địa với độ chính xác cao mà không đòi hỏi tầm thông hướng giữa các điểm đó.

Tiêu ban lưới trắc địa thuộc Hiệp hội FGCS (*Federal Geodetic Control Subcommitte*) đã nghiên cứu và xuất bản "Tiêu chuẩn độ chính xác trắc địa hình học và hướng dẫn sử dụng kỹ thuật định vị GPS tương đối" (*Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specifications for Using GPS Relative Positioning Techniques*) và tài liệu " Các tiêu chuẩn và hướng dẫn đối với lưới khống chế trắc địa " (*Standards and Specifications for Geodetic Control Networks*). Cho đến nay nhiều nước trên thế giới đã coi GPS là công nghệ chủ yếu trong xây dựng các mạng lưới trắc địa.

Năm 1988, FGCS đã phân cấp và đưa ra các chỉ tiêu cho các dạng lưới như sau:

Bảng 7.1. Phân loại lưới và các chỉ tiêu kỹ thuật

| Phân loại lưới                                  | Cấp           | Độ chính xác    |                                   |
|---|---------------|-----------------|-----------------------------------|
|   |               | Sai số cơ bản a | Sai số phụ thuộc chiều dài cạnh b |
|   | cm            | ppm             | 1/T                               |
| Nghiên cứu địa động lực khu vực và toàn cầu     | AA            | 0,3             | 0,01 1:100000000                  |
| Hệ quy chiếu toạ độ quốc gia, lưới cấp cao nhất | A             | 0,5             | 0,1 1:10000000                    |
| Hệ quy chiếu toạ độ quốc gia, lưới cấp hai      | B             | 0,8             | 1 1:1000000                       |
| Hệ quy chiếu toạ độ quốc gia, (cơ sở mặt đất)   | C<br>1<br>2-I | 1.0<br>2.0      | 10 1 :100 000<br>20 1: 50 000     |

|  |           |            |           |                        |
|--|-----------|------------|-----------|------------------------|
|  | 2-II<br>3 | 3.0<br>5.0 | 50<br>100 | 1: 20 000<br>1: 10 000 |
|--|-----------|------------|-----------|------------------------|

Trong Quy trình quỹ thuật đo GPS ở khu vực thành phố của Trung quốc (1997), đã đưa ra một số tiêu chuẩn kỹ thuật lưới GPS như sau:

Bảng: 7.2. Sai số trung phương tương đối cạnh yếu nhất .

| Cấp hạng | Chiều dài cạnh trung bình (km) | a (mm)    | b( $10^{-6}$ ) | Sai số TP tương đối cạnh yếu |
|----------|--------------------------------|-----------|----------------|------------------------------|
| Hạng II  | 9                              | $\leq 10$ | $\leq 2$       | 1:120000                     |
| Hạng III | 5                              | $\leq 10$ | $\leq 5$       | 1:80000                      |
| Hạng IV  | 2                              | $\leq 10$ | $\leq 10$      | 1:45000                      |
| Cấp 1    | 1                              | $\leq 10$ | $\leq 10$      | 1:20000                      |
| Cấp 2    | <1                             | $\leq 10$ | $\leq 20$      | 1:10000                      |

Từ khi GPS được sử dụng trong trắc địa, một số quy tắc và tiêu chuẩn phân cấp lưới toạ độ trước đây đã bị thay đổi, xuất hiện thêm các lưới cạnh dài (cao hơn lưới hạng I truyền thống). Người ta đã đưa ra các khái niệm mới đối với lưới trắc địa đó là các mạng lưới thụ động và các mạng lưới tích cực.

**Các mạng lưới thụ động** (*passive control networks*) còn gọi là **mạng lưới tĩnh**, đó là các mạng lưới có các mốc cố định trên mặt đất được đo với độ chính xác cao và là cơ sở trắc địa trải rộng liên tục trên một diện tích nhất định. Các số liệu của các điểm trong mạng lưới được coi là không đổi và không có sai số. Các mạng lưới này thường có sai số tương đối do chiều dài cỡ 1:250000 và độ cao cỡ 1 vài mm trên 1 km. Có thể thấy rằng các mạng lưới này thuộc hệ thống lưới không chế toạ độ, độ cao nhà nước xây dựng theo công nghệ truyền thống.

**Các mạng lưới tích cực** (*active control networks*) còn gọi là **mạng lưới động**, đó là các mạng lưới gồm một số điểm cố định có vai trò là các trạm theo dõi (*Monitor Stations*) làm cơ sở để xác định toạ độ cho nhiều điểm khác. Các điểm cần xác định toạ độ cũng có thể là các điểm chuyển động cần xác định toạ độ tức thời. Chính công nghệ GNSS là cơ sở để hình thành các mạng lưới động.

Hệ thống CACS của Canada (*Canadian Active Control System*) là một thí dụ về loại lưới này. Mạng CACS được bắt đầu xây dựng năm 1985, bao gồm 20 trạm theo dõi bố trí đều có trạm chủ được đặt ở Ottawa [8]. Hệ thống SWEPOS của Thụy Điển, hệ thống SAPOS của CHLB Đức và các hệ thống trạm tham chiếu làm việc liên tục CORS được xây ở một số nước cũng chính là lưới trắc địa theo kiểu lưới tích cực.

Về ứng dụng công nghệ GPS ở Việt Nam có thể điểm qua một số sự kiện như sau: Sau một thời gian ngắn thử nghiệm đo và xử lý số liệu, từ những năm 1991-1992 chúng ta đã sử

dụng công nghệ GPS để xây dựng một số mạng lưới hạng II ở những vùng khó khăn như vùng Minh Hải, Tây nguyên vv.... Sau đó đã sử dụng GPS để xây dựng lưới trắc địa biển, kết nối đất liền với các hải đảo xa trong một hệ thống tọa độ chung. Trong những năm 1995-1997 chúng ta đã xây dựng mạng lưới GPS cấp "0" có chiều dài cạnh trung bình cỡ 120 km. Đây là mạng lưới "xương sống" làm cơ sở để hoàn chỉnh mạng lưới thiên văn - trắc địa của nước ta, phục vụ cho các mục đích nghiên cứu khoa học và thiết lập hệ quy chiếu VN2000.

Do có những ưu điểm nổi bật so với công nghệ đo góc cạnh cũ, công nghệ GPS đã nhanh chóng chiếm vai trò quan trọng trong xây dựng các mạng lưới tọa độ nhà nước. Bằng công nghệ GPS, trong các năm 1994-2003, chúng ta đã xây dựng các mạng lưới địa chính cơ sở hạng III cho các địa phương trong cả nước. Không những thế, do các thiết bị GPS ngày càng phổ cập rộng rãi ở các đơn vị đo đạc, nhiều mạng lưới cấp thấp cũng đã được đo bằng công nghệ GPS như lưới GT-1, GT-2 hoặc các đường chuyên cung cấp.

Nhiều mạng lưới trắc địa công trình phục vụ xây dựng nhà máy, khu công nghiệp, công trình đầu mối thuỷ điện, cầu vượt sông, hầm xuyên núi đã được đo bằng công nghệ GPS.

Năm 2009, Bộ Tài nguyên- Môi trường đã ban hành Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 04:2009/BTNMT về xây dựng lưới tọa độ [5]. Trong đó đã coi công nghệ GPS là công nghệ chủ đạo trong công tác xây dựng lưới tọa độ.

### 7.1.2. Một số đặc điểm trong xây dựng mạng lưới GPS

Trong phương pháp định vị tương đối tinh sử dụng lịch vệ tinh quảng bá, độ chính xác xác định vec tơ cạnh ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ) thông thường đạt cỡ (5mm+1ppm.D). Với độ chính xác như vậy hoàn toàn đáp ứng yêu cầu để xây dựng các mạng lưới trắc địa nhà nước và một số lưới chuyên dùng. Sự khác biệt giữa mạng lưới GPS với các mạng lưới trắc địa đo bằng công nghệ truyền thống đó là không yêu cầu thông hướng giữa các điểm, là dạng lưới không gian (3D), vì thế có thể xác định cả độ cao các điểm lưới GPS. Trong lưới GPS, dựa trên giá số tọa độ của vec tơ cạnh đo, người ta tính chuyên tọa độ từ điểm khởi tính đến các điểm cần xác định trong lưới, do đó độ chính xác của mạng lưới hầu như không phụ thuộc vào kết cấu đồ hình lưới. Chất lượng mạng lưới GPS chủ yếu phụ thuộc vào đồ hình vệ tinh khi đo và phụ thuộc vào các chỉ tiêu kỹ thuật đo đạc lưới GPS.

Cũng như các mạng lưới trắc địa khác, để xây dựng lưới GPS phải qua bước thiết kế lưới. Nói chung, công tác thiết kế lưới GPS đơn giản hơn thiết kế các mạng lưới truyền thống do không yêu cầu quá chặt chẽ về đồ hình lưới và không yêu cầu thông hướng giữa các điểm.

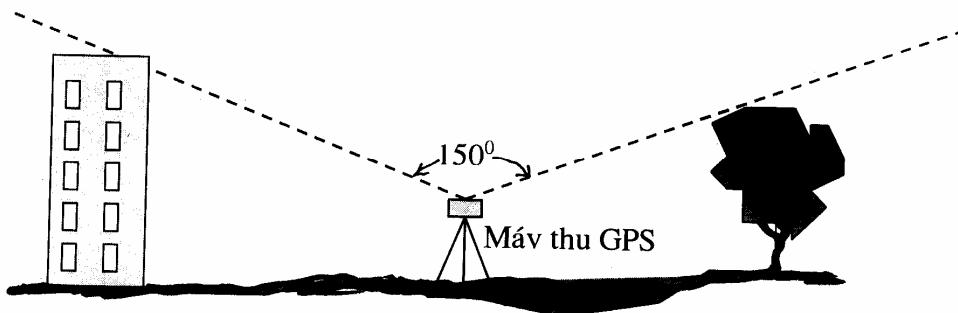
Như đã phân tích ở phần trước, tín hiệu GPS thuộc dải sóng radio cực ngắn là dạng sóng truyền thẳng do vậy tại điểm GPS cần bảo đảm sự thông thoáng giữa máy thu và vệ tinh. Đây là một đặc điểm cần lưu ý trong giai đoạn chọn điểm GPS.

Mật độ điểm không nhất thiết phải đồng đều như lưới tam giác đo góc hoặc đo hướng, không nhất thiết phải bố trí lưới GPS có kết cấu dạng lưới tam giác (gần đều). Đối với vùng cần phát triển có thể bố trí lưới với mật độ điểm dày hơn khu vực ít phát triển.

Đối với lưới GPS, yêu cầu thông hướng giữa một số cặp điểm cũng có thể là cần thiết khi có yêu cầu phát triển lưới cấp tiếp theo bằng phương pháp truyền thống. Thí dụ: cần thông hướng để đo nối phương vị cho lưới đường chuyên đa giác phát triển từ các điểm GPS.

Để thiết kế lưới GPS cần có bản đồ địa hình với tỷ lệ thích hợp. Ngoài ra cũng có thể sử dụng các bản đồ giao thông để phục vụ cho mục đích này. Vị trí của tất cả các điểm GPS dự kiến cùng với các điểm gốc đã biết cần được triển lên bản đồ.

Sau khi vị trí các điểm của mạng lưới đã được triển vẽ lên bản đồ, có thể tiến hành công tác khảo sát thực địa. Mục đích của công đoạn khảo sát thực địa là nhằm xác định lại các điều kiện đo (khả năng thu tín hiệu) tại từng điểm và phương án di chuyển máy khi đo lưới. Tại mỗi điểm GPS, người khảo sát cần xem có bảo đảm yêu cầu góc ngưỡng từ  $15^0$  đến  $20^0$  và xung quanh không có các vật phản xạ hoặc gây nhiễu tín hiệu hay không. Tốt nhất là tại điểm GPS phải bảo đảm một khoảng thông thoáng lên thiên đinh có dạng hình nón, với góc ở đỉnh hình nón khoảng  $150^0$  (hình 7.1).



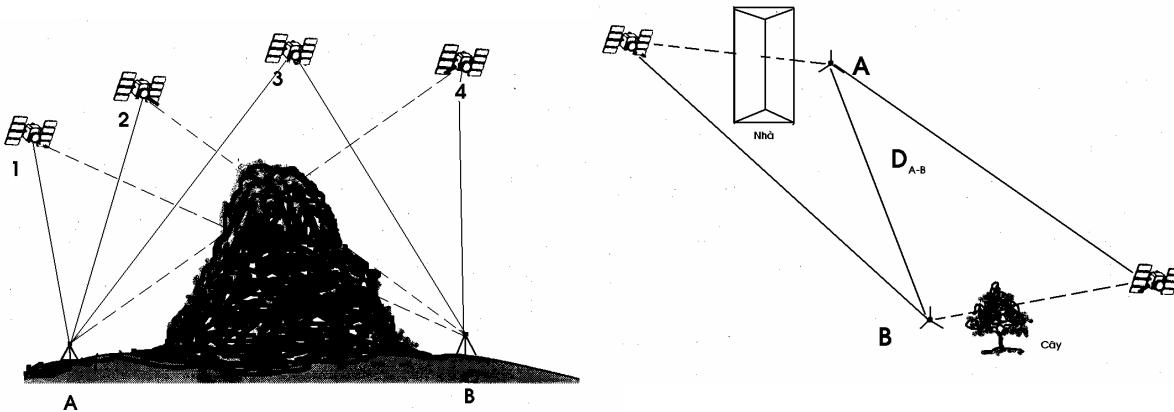
Hình 7.1. Điều kiện thông thoáng tại điểm GPS

Trên cơ sở khảo sát đường đi, sẽ quyết định luôn cả khoảng thời gian cần thiết để di chuyển máy giữa hai ca đo kế tiếp nhau. Việc khảo sát thực địa đặc biệt quan trọng ở những vùng rừng rậm rạp, hoặc vùng đô thị mà ở đó thường có nhiều địa vật che chắn tín hiệu vệ tinh. Khi có vật che chắn với góc cao trên  $20^0$  người khảo sát cần ước lượng xem góc cao vật che là bao nhiêu và phương vị tương ứng là bao nhiêu. Ghi chép này sẽ giúp cho người lập kế hoạch đo chọn được thời điểm đo phù hợp nhờ phần mềm lập lịch đo.

Trong phần trước, chúng ta đã xem xét một số nguồn sai số ảnh hưởng đến kết quả đo GPS. Có nhiều nguồn sai số đã được loại bỏ hoặc giảm thiểu khi sử dụng trị đo pha sóng tần để thực hiện phép đo tương đối trong các mạng lưới GPS. Tuy vậy cũng có một số nguồn sai số

thường làm giảm độ chính xác kết quả đo có liên quan đến vị trí đặt máy thu GPS, như sai số do các nguồn gây nhiễu tín hiệu, sai số đa đường dẫn vv...

Khi chọn điểm GPS không được bố trí các cạnh bị địa vật (như núi, nhà, cây cao vv..) che chắn đối xứng (hình 7.2 và hình 7.3). Trong những trường hợp này, số vệ tinh đồng thời quan sát được ở trạm A và B thường rất ít, không đủ số vệ tinh chung tối thiểu để giải cạnh. Điều này rất bất lợi cho giai đoạn xử lý số liệu.



Hình 7.2. Núi đá che chắn

Hình 7.3. Nhà và cây che chắn

Ngoài một số yêu cầu chung về vị trí chôn mốc trắc địa như phải có nền đất ổn định, có điều kiện bảo quản mốc lâu dài, khi chọn điểm cho lưới GPS còn phải lưu ý thêm 3 điều cơ bản sau:

1. Các vật cản xung quanh điểm đo có góc cao không quá  $15^0$  (hoặc có thể là  $20^0$ ) để tránh cản tín hiệu GPS.
2. Không quá gần các bề mặt phản xạ như cầu kiện kim loại, các hàng rào, mặt nước vv..., vì chúng có thể gây hiện tượng đa đường dẫn.
3. Không quá gần các thiết bị điện (như trạm phát sóng, đường dây cao áp..) có thể gây nhiễu tín hiệu.

Những điều nêu trên là những yêu cầu quan trọng nhất, ngoài ra còn lưu ý bố trí điểm gần các đường giao thông để dễ di lại, rút ngắn thời gian đo đạc lưới. Nói chung, điểm GPS nên bố trí nơi thông thoáng lên thiên đỉnh và có noi đỡ xe nếu cần thiết.

Số liệu gốc cần thiết tối thiểu cho một lưới GPS là tọa độ X,Y,Z (hoặc B,L,H) của 1 điểm trong lưới. Trong trường hợp cần xác định độ cao thuỷ chuẩn cho các điểm trong lưới dựa vào mô hình Geoid, cần có thêm độ cao thuỷ chuẩn của ít nhất một điểm. Thông thường, để bảo đảm độ tin cậy, người ta cần có đủ số lượng mốc khởi tính theo quy định trong Quy chuẩn [5].

Một lưới GPS xác định trong hệ tọa độ nhà nước, tốt nhất cần kết nối ít nhất với 3 điểm của lưới nhà nước. Các mốc khởi tính nên phân bố đều xung quanh biên của lưới.

### 7.1.3. Thiết kế ca đo và công tác chuẩn bị

#### 7.1.3.1. Ca đo và độ dài ca đo

Thiết kế ca đo (*Session*) là khâu quan trọng để thi công lưới đạt được các yêu cầu kinh tế-kỹ thuật. Với số lượng điểm đã xác định (bao gồm các điểm cần xác định và các điểm khởi tính) và tuỳ thuộc vào số lượng máy thu GPS sử dụng, chúng ta sẽ có phương án tạo các ca đo phù hợp. Có thể thiết kế ca đo trên sơ đồ (hay bản đồ) đã có vị trí sơ bộ của các mốc.

##### 1. Khái niệm về ca đo và cạnh độc lập

Ca đo là khoảng thời gian mà trong đó các máy thu đồng thời thu tín hiệu vệ tinh trong một khoảng thời gian ấn định. Ca đo có thể tạo thành bởi hai máy thu trở lên. Độ dài ca đo có thể từ vài chục phút đến vài chục giờ, thậm chí là nhiều ngày, tuỳ thuộc vào mục tiêu xây dựng lưới và yêu cầu độ chính xác của lưới.

Số lượng máy thu GPS sử dụng trong ca đo quyết định đến đồ hình lưới cũng như tốc độ đo và thời hạn hoàn thành công tác đo đạc. Tổng số cạnh đo được trong một ca đo được tính theo công thức:

$$N = \frac{r(r-1)}{2} \quad (7.1.1)$$

trong đó N là tổng số cạnh đo được trong ca đo

r là số máy thu sử dụng trong ca đo

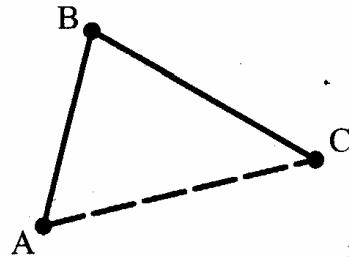
Số cạnh độc lập trong mỗi ca đo được tính:

$$k = r-1 \quad (7.1.2)$$

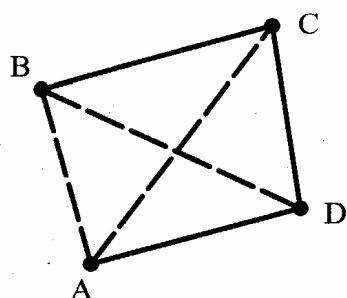
Nếu sử dụng 2 máy thu ( $r=2$ ) để đo lưới, mỗi ca đo chỉ đo được 1 cạnh (baseline) và các cạnh luôn độc lập với nhau, trong trường hợp này tốc độ đo lưới rất chậm.

Nếu sử dụng 3 máy ( $r=3$ ), mỗi ca đo luôn tạo thành một tam giác (hình 7.4).

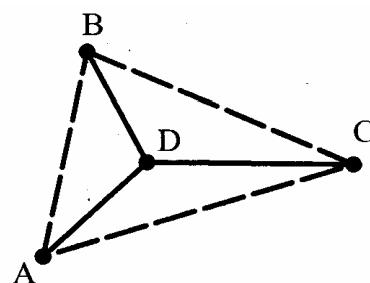
Nếu sử dụng 4 máy thu ( $r=4$ ) thì mỗi ca đo có thể tạo thành 1 tứ giác trắc địa (hình 7.5) hoặc một đa giác trung tâm (hình 7.6). Tổng số cạnh trong ca đo là 6, nhưng số cạnh độc lập chỉ là 3.



Hình 7.4. Ca đo 3 máy thu

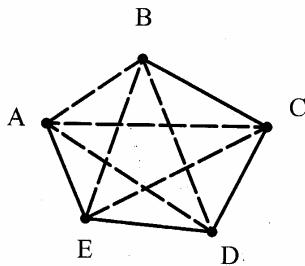


Hình 7.5. Tứ giác trắc địa

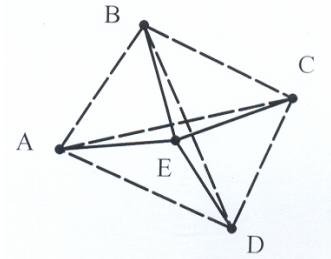


Hình 7.6. Đa giác trung tâm

Nếu sử dụng 5 máy thu ( $r=5$ ) thì sẽ tạo thành đồ hình dạng hình sao (hình 7.7) hoặc các đồ hình đa giác trung tâm kết hợp tứ giác trắc địa (hình 7.8).



Hình 7.7. Hình sao



Hình 7.8. Hình kết hợp

Cũng tương tự như các mạng lưới đo góc-cạnh truyền thống, trị đo dư (thừa) trong lưới GPS có tác dụng kiểm tra và phát hiện sai số thô trong kết quả đo lưới đồng thời bổ sung thêm trị đo để tăng độ tin cậy và độ chính xác của mạng lưới.

Nhờ có trị đo dư, chúng ta có thể tính được sai số khép tọa độ trong lưới GPS. Có hai loại sai số khép đó là khép tọa độ bởi các cạnh cùng ca và khép tọa độ bởi các cạnh độc lập hoặc khác ca đo (gọi là các vòng khép độc lập). Các hình khép có tác dụng kiểm tra số liệu đo. Các vòng khép độc lập có tác dụng để phát hiện các sai số thô do đặt nhầm điểm, do đo cao anten vv...

## 2. Thiết kế ca đo

Một đặc điểm mang tính đặc thù của công nghệ GPS trong xây dựng lưới là khâu thiết kế ca đo. Với một mạng lưới GPS đã chọn điểm, chôn mốc, có thể đưa ra nhiều phương án tổ chức ca đo khác nhau. Phương án tốt là phương án tạo thành đồ hình đo hợp lý, chặt chẽ có các điều kiện kiểm tra kết quả đo.

Số lượng ca đo tối thiểu ( $n$ ) trong lưới được xác định theo công thức:

$$n = \frac{m \cdot s}{r} \quad (7.1.3)$$

trong đó:  $s$  là tổng số điểm trong lưới

$r$  là số máy thu sử dụng để đo

$m$  là số lần đặt máy lặp trung bình tại điểm.

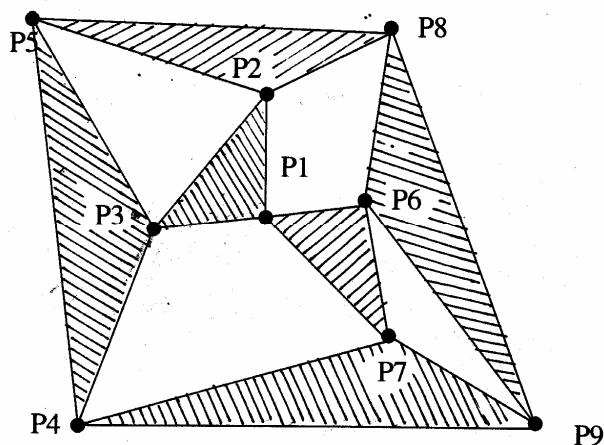
Nếu giá trị  $n$  tính theo công thức (7.1.3) bị lẻ thì phải làm tròn thành số nguyên lớn hơn.

Theo quy định của Trung Quốc [20], giá trị  $m$  thường quy định không nhỏ hơn 2 cho lưới hạng III trở lên và không nhỏ hơn 1.6 cho lưới hạng thấp hơn. Giá trị  $m$  càng lớn, thì độ tin cậy của lưới càng cao.

Việc thiết kế ca đo theo số máy thu sử dụng ( $r$ ) được tiến hành lần lượt theo từng ca. Mỗi ca sẽ liên kết được  $r$  điểm, trong đó cần bảo đảm có ít nhất 2 điểm gối (điểm liên kết). Cần thiết

kết sao cho các cạnh của các ca đo khác nhau không cắt chéo nhau. Thiết kế các ca đo liên tiếp nhau và từ ngoài vào trong. Càng vào trong số điểm gối càng nhiều. Để giảm số ca đo, chỉ cần gối điểm, không nhất thiết phải gối cạnh (gối 2 điểm kề liền).

Chúng ta hãy xét một mạng lưới GPS gồm 9 điểm ký hiệu từ P1 đến P9. Mạng lưới sẽ được đo bằng 3 máy thu A,B,C (hình 7.9 ).



Hình 7.9. Các ca đo trong lưới GPS

Trong 4 ca đo đầu tiên trong bảng (7.3) thể hiện lời giải cần thiết và chỉ có 3 điểm là P3,P4 và P9 là được đặt máy lại.

Trong trường hợp này nếu yêu cầu tất cả các điểm phải được đặt máy 2 lần ( $m=2$ ) thì theo (7.1.3) sẽ tính được số ca đo cần thiết là:

$$n = \frac{2 * 9}{3} = 6$$

Trong trường hợp này cần phải thêm vào 2 ca đo tiếp theo ở bảng (7.3).

Bảng 7.3. Tổ chức các ca đo trong mạng lưới

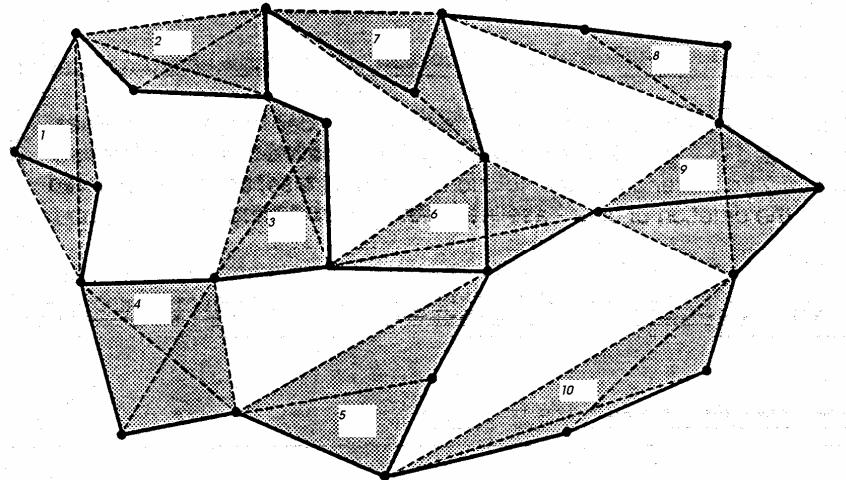
| Máy thu | Session a b c d | e f   |
|---------|-----------------|-------|
| A       | P1 P3 P4 P6     | P2 P1 |
| B       | P2 P4 P7 P8     | P5 P6 |
| C       | P3 P5 P9 P9     | P8 P7 |

Theo cách tổ chức như trên, có thể thấy rằng tất cả các điểm trong mạng lưới đều được đặt máy 2 lần. Với sơ đồ này chúng ta có thể lập kế hoạch đo gồm thời gian bắt đầu, thời gian kết thúc của các ca đo và trình tự di chuyển máy thu giữa các ca đo (nên xem xét đường đi cho thuận lợi nhất). Cần có phương án phối hợp đo khi không liên lạc được giữa các trạm máy bằng bộ đàm hoặc điện thoại di động.

Để thiết kế các ca đo cần có sơ đồ vị trí các mốc lưới, gồm cả mốc mới (cần xác định) và mốc khởi tính (mốc gốc). Căn cứ vào số lượng máy thu để thiết kế các ca đo theo trình tự, từ ngoài vào trong và phải bảo đảm một số yêu cầu quy định về đo nối trong Quy chuẩn [5].

Khi thiết kế các ca đo cần tạo thành các vòng khép độc lập để kiểm tra kết quả đo lưới và phát hiện các sai số thô do nhầm lẫn (do nhầm mốc, do đo cao anten vv...). Cần bảo đảm cho lưới thiết kế kín vòng ngoài, không tạo thành các nhánh “treo”.

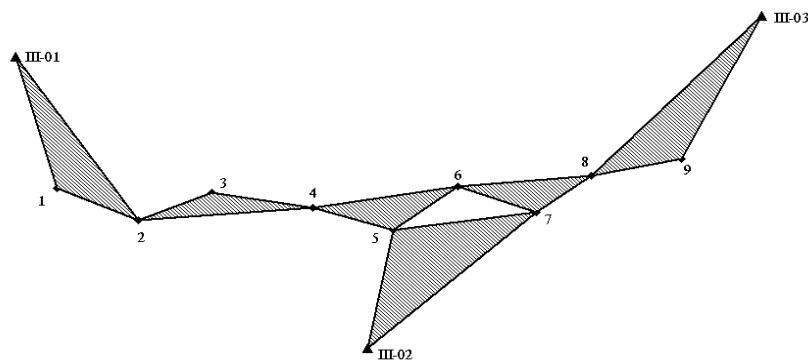
Trên hình 7.10 là sơ đồ lưới GPS đã thiết kế 10 ca đo bằng 4 máy thu.



Hình 7.10. Thiết kế các ca đo lưới GPS bằng 4 máy thu

Trong hình vẽ trên, đường nét liền được coi là các cạnh độc lập trong các ca đo. Trong lưới có 5 hình khép độc lập. Các hình khép độc lập được sử dụng để tính kiểm tra, đánh giá chất lượng đo lưới GPS.

Nếu các điểm lưới phân bố theo tuyến, có thể xây dựng lưới GPS với các ca đo (3 máy thu) như hình 7.11, trong đó III-01, III-02 và III-03 là các điểm khởi tính. Dạng lưới này thường được áp dụng để bố trí xây dựng lưới GPS trong công tác khảo sát công trình đường giao thông, tuyến năng lượng, công trình thủy lợi vv...



Hình 7.11. Thiết kế các ca đo lưới GPS bằng 3 máy thu

### 3. Tốc độ ghi và độ dài ca đo

Một đặc điểm của đo GPS là trị đo được thực hiện tự động, đều đặn sau những khoảng thời gian nhất định. Tất cả các trị đo đó sẽ được ghi lại trong bộ nhớ của máy thu theo thời gian trong hệ thống giờ GPS. Khoảng thời gian đều đặn đó được gọi là tốc độ ghi (*Recording Rate*) do người đo cài đặt khi lựa chọn tham số đo [10]. Cũng có một số máy thu được đặt sẵn tần suất ghi tín hiệu (mặc định) như máy thu Trimble 4600LS.

Khi định vị tương đối tĩnh, và tĩnh nhanh, người ta thường sử dụng tốc độ ghi tín hiệu trong khoảng 5s đến 60s. Nếu đặt tốc độ ghi số liệu quá dày, bộ nhớ của máy thu nhanh đầy và thời gian xử lý sẽ dài hơn. Ngược lại, nếu đặt tốc độ ghi số liệu quá thưa sẽ nhận được ít trị đo trong thời gian thu tín hiệu. Trong đo tĩnh, tốc độ ghi số liệu hợp lý thường là 15s đến 30s, trong đo tĩnh nhanh nên trong khoảng từ 5s đến 15s. **Độ dài ca đo** (*Occupation Time*) là khoảng thời gian các máy thu trong ca đo cùng thu tín hiệu (khoảng thời gian chung từ khi bật máy đến khi tắt máy). Độ dài (thời gian) ca đo trong định vị tương đối tĩnh liên quan đến một số yếu tố như chiều dài của cạnh cần đo, số lượng vệ tinh có thể quan sát được, đồ hình vệ tinh, sử dụng máy thu 1 tần hay 2 tần, điều kiện khí tượng và điều kiện địa đường dẫn vv... Nói chung, với các máy thu 2 tần hiện nay, với khoảng 20-30 phút thu tín hiệu là đủ để giải số nguyên đa trị cho cạnh đo không quá 10km. Trong điều kiện như vậy nếu sử dụng máy thu 1 tần cần kéo dài thời gian thu tín hiệu trong khoảng 40 đến 60 phút [10].

Khi số vệ tinh quan sát được tăng lên (đến 8 hoặc 9 vệ tinh) thì có thể giảm bớt thời gian thu tín hiệu, khi đó ta đã áp dụng kỹ thuật đo tĩnh nhanh.

Khi quyết định độ dài ca đo cần căn cứ vào:

1. độ dài của cạnh đo
2. số lượng vệ tinh và cấu hình vệ tinh khi quan trắc
3. tỷ số nhiễu của tín hiệu vệ tinh SNR
4. Tình trạng che chắn tại các điểm đo
5. máy thu 1 tần hay 2 tần vv...

Thông thường khi vệ tinh càng nhiều thì cấu hình vệ tinh càng tốt và thời gian quan trắc có thể rút ngắn hơn. Thời gian quan trắc cũng có thể rút ngắn đối với cạnh đo có chiều dài ngắn hơn. Bảng 7.4 sau đây kiến nghị khoảng thời gian đo hợp lý cho trường hợp quan trắc từ 4 vệ tinh trở lên với điều kiện khí tượng bình thường [8].

Bảng 7.4. Thời gian đo

| Chiều dài cạnh<br>[km] | Độ dài ca đo [phút] |
|------------------------|---------------------|
| 0- 1                   | 10-30               |
| 1-5                    | 30-60               |

|       |        |
|-------|--------|
| 5-10  | 60-90  |
| 10-20 | 90-120 |

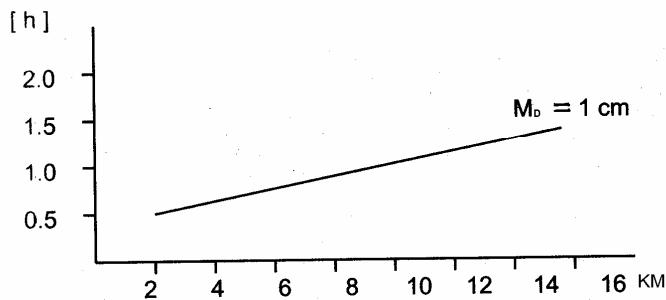
Tại Singapore [28], độ dài ca đo tối thiểu khi đo cạnh ngắn được quy định như sau:

Bảng 7.5. Thời gian ca đo

| Chiều dài cạnh<br>[km] | Độ dài ca đo tối thiểu<br>[phút] |
|------------------------|----------------------------------|
| 0- 5                   | 30                               |
| 5-10                   | 40                               |
| 10-15                  | 50                               |
| 15-20                  | 60                               |

Thời gian phải kéo dài tới mức nhất định để có thể xác định được số nguyên đa trị. Đối với cạnh ngắn (nhỏ hơn 1 km), số nguyên đa trị có thể được giải ra trong khoảng thời gian 5-10 phút khi sử dụng pha của tần số L1. Bằng máy thu 2 tần số, khi sử dụng kỹ thuật công rộng (*Wide lane*), ở khoảng cách đo là 15 km có thể nhận được kết quả chính xác chỉ với 2 phút số liệu đo.

Người ta sử dụng biểu đồ hình 7.12 để xác định thời gian đo hợp lý cho các cạnh ngắn dưới 15 km, trong điều kiện quan sát không ít hơn 6 vế tinh. Trong những trường hợp như vậy, sẽ bảo đảm sai số đo cạnh  $M_D$  khoảng 1cm.



Hình 7.12. Biểu đồ để xác định thời gian đo

Phương pháp tốt nhất để xác định thời gian quan trắc đối với các mạng lưới lớn là tiến hành quan trắc với thời gian dài hơn bình thường ở ngày thứ nhất để nhận được các tệp số liệu chuẩn. Thí dụ quan trắc kéo dài 90 phút đối với cạnh dài  $1 \div 5$  km và 120 phút đối với cạnh dài  $5 \div 20$  km. Các tệp số liệu này được xử lý và chắc chắn kết quả sẽ rất tốt. Sau đó các tệp số liệu này được xử lý lại theo các chia đoạn ngắn hơn. Thời gian quan trắc tốt nhất là thời gian được

rút ngắn (đã dùng xử lý lại) nhưng vẫn giữ được kết quả tốt sau khi đối chiếu với kết quả xử lý toàn bộ số liệu đã đo [8].

Nếu thời gian ca đo quá dài sẽ làm tăng đáng kể chi phí cho công trình, hiệu quả kinh tế thấp, tăng rủi ro trong điều kiện ngoại nghiệp. Khoảng thời gian giữa 2 ca đo cũng cần tính toán sao cho đủ thời gian di chuyển máy đến điểm tiếp theo.

Người ta đã khuyến cáo rằng khi quan sát ít vệ tinh (tối thiểu là 4 vệ tinh) và cấu hình của vệ tinh xấu (PDOP lớn) thì thời gian thu tín hiệu phải kéo dài hơn.

Trong bảng 7.6. là một số chỉ tiêu kỹ thuật đo lối GPS được áp dụng tại Trung Quốc [20].

Bảng 7.6. Quy định đo GPS của Trung Quốc

|   |                       | Hạng II           | Hạng III               | Hạng IV                | Cấp 1                  | Cấp 2                  |
|---|-----------------------|-------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Góc ngưỡng                                      | Đo tĩnh<br>Tĩnh nhanh | $\geq 15$         | $\geq 15$              | $\geq 15$              | $\geq 15$              | $\geq 15$              |
| Số lượng<br>VT hiệu<br>dụng                     | Tĩnh<br>Tĩnh nhanh    | $\geq 4$<br>-     | $\geq 4$<br>$\geq 5$   | $\geq 4$<br>$\geq 5$   | $\geq 4$<br>$\geq 5$   | $\geq 4$<br>$\geq 5$   |
| Số lần trung<br>bình đặt<br>máy lại tại<br>điểm | Tĩnh<br>Tĩnh nhanh    | $\geq 2$          | $\geq 2$               | $\geq 1.6$             | $\geq 1.6$             | $\geq 1.6$             |
| Thời gian đo                                    | Tĩnh<br>Tĩnh nhanh    | $\geq 90$ ph<br>- | $\geq 60$<br>$\geq 20$ | $\geq 45$<br>$\geq 15$ | $\geq 45$<br>$\geq 15$ | $\geq 45$<br>$\geq 15$ |
| Tần suất<br>ghi tín hiệu<br>(S)                 | Tĩnh<br>Tĩnh nhanh    | 10~60             | 10~60                  | 10~60                  | 10~60                  | 10~60                  |

### 7.1.3.2. Công tác chuẩn bị đo lối GPS

Trong đo tĩnh, khâu tổ chức thực hiện đo cũng là một bước quan trọng. Trong giai đoạn này người tổ chức sắp xếp trình tự đo của các ca đo, trình tự di chuyển máy và phân công cụ thể từng thành viên trong tổ đo ngoại nghiệp phụ trách máy GPS thực hiện. Việc sắp xếp trình tự đo phải phù hợp với việc điều phương tiện di chuyển máy từ điểm này sang điểm khác. Mỗi thành viên trong tổ đo cần có sơ đồ lối, trình tự di chuyển của các máy thu và làm quen với địa hình khu vực đo có như vậy mới thực hiện di chuyển máy từ điểm này sang điểm khác một cách nhanh chóng, chuẩn xác. Đối với điểm đo có điều kiện đi lại khó khăn như điểm đo trên núi cao, điểm ngoài đảo vv... thường bố trí đo luôn 2 hoặc 3 ca liên tiếp. Nếu khâu tổ chức tốt, có thể rút ngắn đáng kể thời gian đo đặc ngoại nghiệp.

Hiện nay với công nghệ GPS, không cần yêu cầu trình độ cao đối với người đo. Tuy nhiên nếu máy thu hoạt động không bình thường thì lại cần người đo có kinh nghiệm và được đào tạo

tốt.

### 1. Chuẩn bị máy và phu kiện

Nếu công tác chuẩn bị chu đáo, kỹ lưỡng sẽ là điều kiện để tránh các trục trặc có thể xảy ra trong quá trình đo. Công tác chuẩn bị bao gồm các nội dung chính sau:

- Trước khi đo cần kiểm tra các máy thu GPS và các thiết bị kèm theo (chân máy, định tâm quang học, ốc nối, thước đo cao anten .vv..)
- Chuẩn bị phương tiện đi lại, để di chuyển máy đúng lịch đo
- Chuẩn bị nguồn điện, ác quy hoặc pin đủ dùng, có dự trữ ,pin có chất lượng tốt
- Chuẩn bị phương tiện liên lạc (bộ đàm, hoặc điện thoại di động...)
- Có phương án phối hợp nếu không liên lạc được bằng bộ đàm hoặc điện thoại di động ( thông nhất theo thời gian đã dự kiến).
- Chuẩn bị sổ đo, bút ghi chép, sơ đồ lưới và lịch đo đã lập cho các thời đoạn đo.
- Người đo cần có đồng hồ để phối hợp thời gian.
- Chuẩn bị áo mưa cho người, túi che mưa cho máy vv...

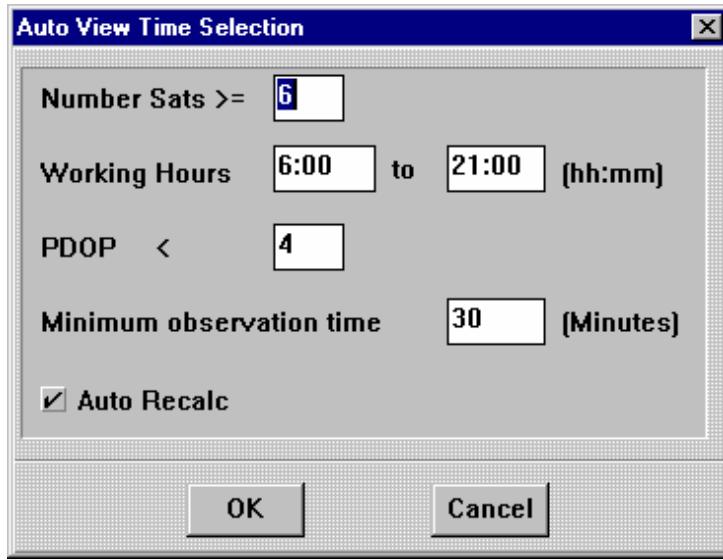
Trong một số trường hợp, cần phải kiểm nghiệm lệch tâm pha anten máy thu và kiểm tra định tâm quang học trước khi đo. Khi đo cạnh ngắn trong lưới trắc địa công trình càng phải lưu ý tới sai số này.

### 2. Lập lịch đo GPS

Để bảo đảm thành công cho công tác đo GPS cần phải tiến hành lập kế hoạch đo, cụ thể là xác định thời gian đo tối ưu. Khoảng thời gian tối ưu là khoảng thời gian trong đó có số vệ tinh quan trắc đồng thời là tối đa và có PDOP không vượt quá giá trị cho phép. Khoảng thời gian tối ưu thay đổi 4 phút mỗi ngày do sự khác nhau giữa giờ sao và giờ thế giới (UT). Thí dụ đã xác định được giờ quan trắc phù hợp của ngày hôm nay là 9:00 h (giờ UT) thì vào ngày tiếp theo thời gian quan trắc phù hợp lại là 8:56 h. Độ dài của khoảng thời gian quan trắc là hàm số của vị trí quan trắc. Người ta đã lập ra sẵn chương trình để người sử dụng có thể lập kế hoạch đo, xác định những khoảng thời gian đo hợp lý nhất, thí dụ như modul PLAN/ QUICK PLAN thuộc phần mềm GPSurvey của hãng Trimble phát hành. Khi lập lịch không nên sử dụng ephemeris cũ quá 3 tháng, tốt nhất là không cũ quá 1 tháng.

Khi sử dụng phần mềm PLAN, cần đưa vào các tham số như:

- ngày lập lịch đo (DATE)
- vị trí địa lý khu vực đo ( giá trị B,L gần đúng xác định trên bản đồ)
- Số vệ tinh tối thiểu cần quan sát ( thí dụ =6) (hình 7.13)
- PDOP lớn nhất cho phép quan sát (thí dụ bằng 4)
- Khoảng thời gian tối thiểu của ca đo (thí dụ 30 phút)
- Góc ngưỡng ( 15<sup>0</sup>) vv...



Hình 7.13 Cửa sổ lựa chọn điều kiện lập lịch đo

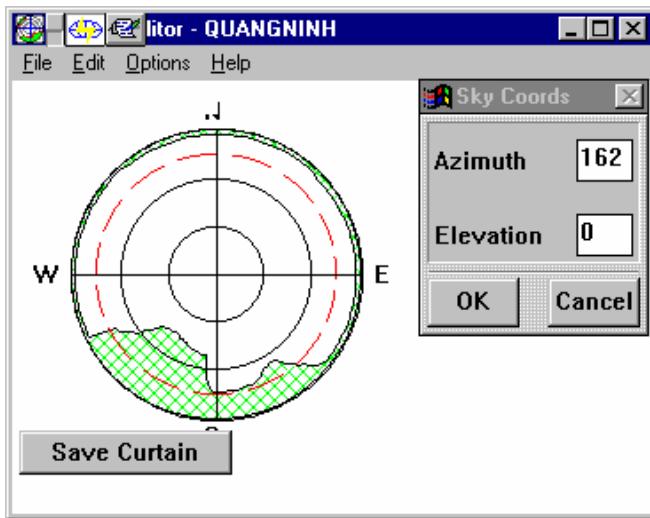
Với các tham số này, người lập lịch đo sẽ nhận được thông báo các khoảng thời gian (*list time*) đo được trong ngày lập lịch (hình 7.14). Ngoài ra còn có thể nhận được các thông báo khác và các biểu đồ theo thời gian về số lượng vệ tinh, PDOP, HDOP vv...

The screenshot shows a software window titled 'ListTimes' under the 'Report' tab. The main table lists observations with columns: Observation ID, Start Time, Stop Time, Duration, and various satellite identifiers (SVs) like 324, 40, etc. Below the table, a status window displays location information (Point: QUANGNINH, Lat: 21:10:0 N, Lon: 107:27:0 E), date (Tuesday, May 22, 2001), and sampling rate (2 Minutes). The status window also notes 28 satellites considered and the current almanac (CURRENT.EPH 4/19/01).

Hình 7.14. Thông báo kết quả lập lịch

Phần mềm này còn cho phép lập lịch đo trong điều kiện điểm đo khó khăn có một số hướng bị che chấn (*Curtain, obstruction*). Tình trạng che chấn được mô tả bằng chuột trên cửa sổ *Curtain Editor* (hình 7.15).

Lập lịch đo trong điều kiện che chấn thường áp dụng cho điểm gốc. Trong một số trường hợp không thể đặt máy thu tại điểm gốc, người ta phải áp dụng biện pháp **đo lệch tâm**. Việc đo lệch tâm thường được áp dụng đối với mốc độ cao không có điều kiện thu tín hiệu, nhằm xác định độ cao thủy chuẩn cho các điểm của lưới GPS.



Hình. 7.15. Mô tả tình trạng che chắn tại điểm đo

Trước khi triển khai đo đạc ngoại nghiệp lưới GPS, người phụ trách đội đo cần phải lập bảng phân công đo và di chuyển máy. Trong bảng phân công có tên điểm đặt máy, thời gian bật máy, tắt máy của mỗi ca và thời gian di chuyển dự kiến giữa các ca đo (Bảng 7.7).

Bảng 7.7. Phân công máy thu theo các ca đo

| Ca đo | Điểm đặt máy |       |       | Thời gian đo |          |
|-------|--------------|-------|-------|--------------|----------|
|       | Máy 1        | Máy 2 | Máy 3 | Bắt đầu      | Kết thúc |
| 1     | DC-1         | DC-2  | DC-3  | 8h 00        | 9h 00    |
| 2     | 107445       | DC-2  | DC-5  | 9h30         | 10h30    |
| 3     | 107445       | DC-6  | DC-7  | 11h00        | 12h00    |
| 4     | DC-3         | DC-8  | DC-7  | 14h00        | 15h00    |
| ...   | ...          | ...   | ...   | ...          | ...      |

Như đã nói ở trên, đối với các điểm đo tiếp cận khó khăn (trên đỉnh núi cao, ngoài đảo, qua sông...) nên bố trí đặt lại ngay cho ca tiếp theo để tránh đi đến điểm khó khăn nhiều lần.

Trong trường hợp các giữa các điểm đo không thể liên hệ bằng điện thoại hoặc bộ đàm, người đo (phụ trách máy) căn cứ vào bảng phân công để di chuyển máy và thực hiện thu tín hiệu theo thời gian đã quy định. Cần tính thời gian di chuyển hợp lý, có dự trữ thời gian để phòng trường hợp bất trắc, trở ngại khi di chuyển trên đường.

#### 7.1.4. Công tác đo đạc ngoại nghiệp

Đo đạc ngoại nghiệp lưới GPS bao gồm các công việc cụ thể sau:

##### 7.1.4.1. Các thao tác tại trạm đo

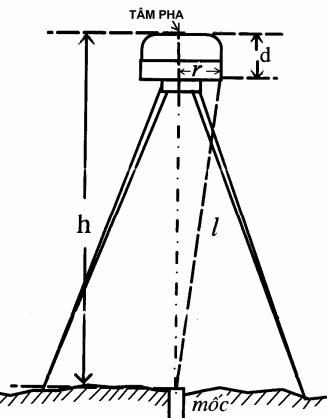
Sau khi đã đến điểm đo, nếu là điểm gốc, sẽ cần một thời gian để đào mốc (thường bị lấp bởi đất cát..), người đo đặt chân máy lên điểm đo, dọi điểm cân bằng để máy nhờ định tâm

quang học có gắn bợ thuỷ và sau đó vặn ốc nối anten với đế máy đã được dời tâm. Để tránh sai số định tâm máy do bản thân bộ phận định tâm không chuẩn, nên sử dụng loại định tâm "2 tầng", có thể xoay được để kiểm tra sau khi định tâm. Cần bảo đảm sai số định tâm máy thu không quá 1mm.

Để khắc phục sai số do lệch tâm pha anten, khi đặt anten trên giá máy ở các điểm trong lưới nên luôn luôn hướng về hướng Bắc, với sai số khoảng  $5^{\circ}$ . Sai số này mang tính hệ thống do đó khi tính hiệu số toạ độ giữa các điểm nó sẽ được loại bỏ.

Trong một số trường hợp, người ta sử dụng bệ đặt máy có định tâm bắt buộc để giảm sai số định tâm anten máy thu.

Sử dụng thước chuyên dụng để đo độ cao anten. Cần nắm vững các phương pháp đo cao đối với từng loại máy thu. Thông thường không đo được chiều cao thực của máy thu (*True Vertical*) (từ tâm pha anten đến tâm mốc) mà phải đo cạnh huyền (của tam giác vuông) (hình 7.16) và khai báo đúng kiểu đo để phần mềm tính ra độ cao thực. Độ cao thực của anten có tác dụng chuyển các trị đo (gia số toạ độ) tính từ tâm pha anten về tâm mốc, do đo cần đo chính xác đến mm.



Hình 7.16 . Đo cao anten

Thông thường người ta đo cạnh huyền của tam giác tính từ mấu đo cao hoặc mép ngoài anten đến tâm mốc, độ cao thực của anten (h) được theo công thức:

$$h = \sqrt{l^2 - r^2} + d \quad (7.1.4)$$

trong đó d và r là các yếu tố kích thước của máy thu, thí dụ với máy thu Trimble 4600LS, các giá trị đó như sau : r=97mm, d=65 mm.

Trong kỹ thuật đo tinh với một số loại máy thu người đo phải thực hiện một số động tác khởi động trạm đo, mà thực chất là nhập vào một số tham số như: chọn tần suất ghi, giải tần số, số lượng vệ tinh tối thiểu quan sát, thời gian bắt đầu và thời gian kết thúc ca đo, góc ngưỡng, số hiệu của tệp số liệu. Lịch vệ tinh dự báo được thu thập và ghi lại ngay sau lần mở máy đầu tiên. Có một số máy thu, thủ tục khởi động chỉ là bật máy thu, thí dụ như sử dụng máy thu 4600 LS ở chế độ ghi mặc định.

Thông tin liên lạc giữa các thành viên đo đạc là cần thiết và nói chung sẽ làm tăng năng suất lao động. Trong những trường hợp này, một người trong đội đo đến điểm chậm trễ cần thông báo cho những người đo ở điểm khác cùng ca đo phải thực hiện đo lại hoặc kéo dài thêm thời gian thu tín hiệu. Sử dụng điện thoại di động là phù hợp nhất song lại phụ thuộc vào phạm vi phủ sóng của mạng điện thoại di động. Nếu khu vực đo có cự ly giữa các điểm đo khoảng 5 km và không bị địa hình che chắn thì có thể sử dụng bộ đàm sóng ngắn (FM) để liên lạc giữa các thành viên đội đo.

#### **7.1.4.2. Thực hiện quan trắc**

Trong đo tĩnh, hầu hết đều sử dụng chế độ đo tự động, do đó sự can thiệp của người đo hầu như không cần thiết. Tuy vậy nhờ kinh nghiệm thực tế người đo có thể kiểm tra số liệu trong ca đo ghi chép lại những hiện tượng bất thường vào sổ đo. Người đo phải biết giữ gìn máy thu để tránh hỏng hoặc mất.

Trong một số trường hợp cần đạt độ chính xác cao, tại các điểm đo người ta phải quan trắc các yếu tố khí tượng và ghi chép lại. Các yếu tố khí tượng cần quan trắc là nhiệt độ, độ ẩm và áp suất không khí vv... Nói chung yếu tố khí tượng hầu như không nâng cao độ chính xác đối với những cảnh ngắn. Các số liệu khí tượng có thể giúp cho các nghiên cứu thêm về sau .

Cần dừng đo khi có cơn giông bão có sấm chớp. Tia chớp nháy có thể làm hỏng máy thu, trong trường hợp này cần tắt máy và tháo rời anten.

Sau khi kết thúc đo tại trạm nên kiểm tra lại chiều cao anten lần cuối trước khi thu máy. Tắt máy thu, tháo anten, thu xếp máy và các thiết bị kèm theo vào hòm máy (hoặc túi đựng máy), kiểm tra kỹ trước khi trạm máy chuyển sang trạm khác.

Đối với máy thu không di chuyển ở ca tiếp theo (ở lại điểm), có thể tắt máy và cũng có thể không cần tắt máy, cứ để máy tiếp tục thu tín hiệu trong thời gian các máy khác di chuyển (kéo dài thông ca đo). Thường áp dụng trong trường hợp thời gian di chuyển giữa các ca đo không quá dài. Cần ghi rõ vào sổ đo việc kéo dài thông ca đo để người xử lý số liệu biết khi chọn tệp.

#### **7.1.4.3. Ghi chép sổ đo GPS và lập bảng tổng hợp**

Cần kiểm tra lại sổ đo, sổ đo phải ghi đủ tất cả các ca đo cho đến kết thúc. Trong sổ phải ghi đầy đủ các thông tin sau:

1. Dự án và tên trạm (viết chữ in hoa)
2. Ngày tháng và số hiệu ca đo
3. Thời gian bắt đầu và kết thúc
4. Chỉ số trạm được sử dụng cho tên tệp
5. Tên người đo
6. Số hiệu máy thu và anten
7. Độ cao anten và độ lệch vị trí (nếu có).

8. Số liệu khí tượng (nhiệt độ, áp suất, độ ẩm)

9. Những vấn đề cần lưu ý.

Thêm vào đó cân vẽ sơ hoạ vị trí mốc hoặc chụp ảnh mốc và kiểm tra lại ghi chú điểm đã có từ trước.

Sau khi đo, người phụ trách đội đo cẩn cứ vào các quyển sổ đo của các máy thu, tiến hành lập bảng tổng hợp các ca đo theo mẫu sau.

Bảng 7.8. Tổng hợp số liệu ghi chép ngoại nghiệp các ca đo

| TT | Ký hiệu<br>ca đo | Máy thu số: 5177 |           | Máy thu số: 5186 |           | Máy thu số: 2157 |           | Thời gian đo |          |
|----|------------------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|--------------|----------|
|    |                  | Điểm đo          | Cao anten | Điểm đo          | Cao anten | Điểm đo          | Cao anten | Bắt đầu      | Kết thúc |
| 1  | 1340             | P1               | 1.566     | P2               | 1.432     | P3               | 1.847     | 8h 00        | 9h00     |
| 2  | 1341             | P4               | 1.607     | P5               | 1.529     | P3               | 1.847     | 9h30         | 10h30    |
| 3  | 1342             | P4               | 1.607     | P7               | 1.711     | P9               | 1.354     | 11h          | 12h      |
| 4  | ...              | ...              | ....      | ....             | ....      |                  |           |              |          |

Mẫu tổng hợp trên là cho 3 máy thu, có thể làm sổ cho nhiều máy thu hơn. Số liệu trong bảng này sẽ giúp cho người xử lý kiểm tra số liệu ghi chép ngoại nghiệp, tránh các nhầm lẫn khi thực hiện xử lý tính toán mạng lưới.

Cần trút số liệu vào máy tính, kiểm tra số liệu và lưu trữ số liệu đo vào ổ cứng, bộ ghi USB hoặc đĩa CD... để bảo đảm an toàn dữ liệu.

## 7.2. ỨNG DỤNG GPS TRONG TRẮC ĐỊA CÔNG TRÌNH

### 7.2.1. Đo lập các mạng lưới cơ sở trắc địa công trình và lưới thi công công trình.

**Lưới cơ sở trắc địa công trình (CSTĐCT)** là dạng lưới được lập trên các mặt bằng công nghiệp có diện tích lớn, có nhiều hạng mục công trình liên kết với nhau theo dây chuyền chặt chẽ. Mạng lưới này là cơ sở để liên kết các cụm công trình trong một hệ toạ độ thống nhất.

Để đo nối lưới cơ sở trắc địa công trình với hệ toạ độ nhà nước, phải đo nối ít nhất đến 1 điểm trong hệ toạ độ nhà nước.

Một đặc điểm chung của lưới trắc địa công trình là chiều dài cạnh trong lưới thường ngắn và có yêu cầu về độ chính xác tương hỗ vị trí điểm khá cao. Thông thường, lưới cơ sở trắc địa công trình có chiều dài cạnh từ 1 km đến 5 km, trong trường hợp đo nối có thể cho phép chiều dài đến 10 km. Với chiều dài ngắn như vậy có thể sử dụng máy thu 1 tần số để đo cạnh. Phương pháp đo tĩnh và tĩnh nhanh được sử dụng để đo lưới trắc địa công trình. Trong một số trường hợp có thể kết hợp công nghệ GPS và toàn đạc điện tử để đo lưới trắc địa công trình.

Nếu sử dụng phép chiếu hình trụ ngang đồng gốc Gauss-Kruger ( $m_0=1$ ) để thiết lập hệ toạ độ vuông góc phẳng cho công trình thì chọn mũi chiếu có kinh tuyến trung ương đi qua trung

tâm khu đo (lệch nhiều nhất không quá 10 km). Nếu sử dụng phép chiếu UTM với múi chiếu 3 độ, kinh tuyến trung ương cần cách trung tâm công trình trong khoảng  $90\text{ km} \pm 2,5\text{ km}$ .

Độ chính xác của mạng lưới cơ sở trắc địa công trình phụ thuộc vào tính chất, đặc điểm, và yêu cầu riêng của khu công nghiệp. Có loại công trình cần độ chính xác rất cao (như nhà máy gia tốc hạt), có loại cần độ chính xác trung bình (như các khu công nghiệp cơ khí, chế tạo máy..) và có loại cần độ chính xác thấp (các khu công nghiệp khai thác, chế biến thực phẩm .vv).

Tùy thuộc vào diện tích khu vực cần lập lưới mà ta quyết định hình dạng và kết cấu lưới. Các điểm của lưới cần bố trí ở những nơi thông thoáng, không bị cản trở cho việc thu tín hiệu từ vệ tinh. Lưới CSTĐCT phải được đo nối độ cao với hệ thống độ cao nhà nước bằng thuỷ chuẩn hình học.

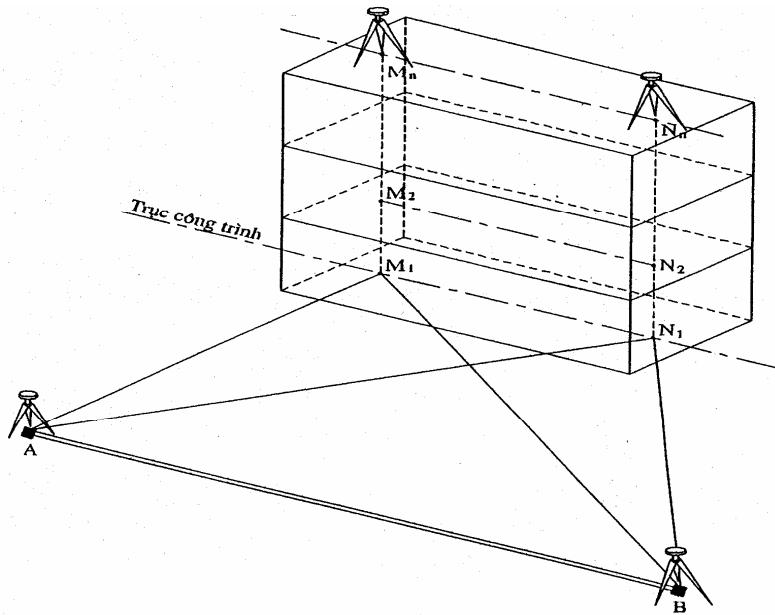
Khi đo lưới, nên chọn thời điểm có số vệ tinh không ít hơn 6 và PDOP < 4 hoặc 5.

**Lưới thi công công trình** công nghiệp trước đây thường được lập dưới dạng lưới ô vuông xây dựng với các góc đúng bằng  $90^\circ$  và các cạnh đúng theo các chuẩn mực cho trước. Nhờ sự phát triển của kỹ thuật tính toán xử lý số liệu và kỹ thuật đo dài điện tử, hình thức lưới ô vuông ít được sử dụng. Thay vào đó người ta có thể xây dựng các mạng lưới thi công đo góc-cạnh có hình dạng linh hoạt phù hợp với mặt bằng khu công nghiệp. Thí dụ ở Khu công nghiệp Dung Quất, mạng lưới đường chuyên đo góc cạnh (hạng IV) là mạng lưới thi công công trình. Mạng lưới này phục vụ cho việc cắm các hạng mục công trình, phục vụ lắp đặt các thiết bị lớn như đường ống, cắm tim trực các cụm công trình vv... Các mạng lưới này thường có độ chính xác cao, sai số vị trí điểm yếu nhất trong mạng lưới không vượt quá  $\pm 5\text{ mm}$ , sai số tương hỗ giữa các cặp điểm cũng nằm trong phạm vi như vậy.

Theo kết quả nghiên cứu và thực nghiệm cho thấy có thể sử dụng GPS để đo các mạng lưới thi công với chiều dài các cạnh từ 100 m đến 1000 m. Khi đo cạnh với khoảng cách ngắn cần lưu ý đến sai số định tâm và đo cao anten máy thu GPS. Sử dụng GPS để lập các mạng lưới thi công công trình thì không cần thiết phải lập lưới trắc địa cơ sở nếu như gần khu công nghiệp (không lớn) và đã có ít nhất một điểm toạ độ nhà nước. Thực tế lưới CSTĐCT chỉ cần thiết cho các khu công nghiệp lớn, và mạng lưới cấp tiếp theo (lưới thi công) được xây dựng bằng công nghệ đo góc-cạnh. Lưới thi công có thể đo nối trực tiếp với điểm nhà nước ở gần (không quá 10 km) bởi ít nhất 2 cạnh đo. Lưới phải được đo nối với hệ thống độ cao nhà nước bằng thuỷ chuẩn hình học nếu như không thể đặt máy thu tại điểm thuỷ chuẩn nhà nước.

Lưới thi công có thể xây dựng ở dạng lưới tam giác và cũng cho phép xây dựng ở dạng lưới đa giác. Cho phép sử dụng máy thu 1 tần số để đo. Thời gian đo trong các ca đo chỉ cần kéo dài đến 30 phút, nếu điều kiện thu tín hiệu tốt. Một số quy định kỹ thuật đo và xử lý số liệu GPS trong trắc địa công trình được quy định trong tiêu chuẩn kỹ thuật TCXDVN 364:2006 [7].

Khi xây dựng các công trình cao, có thể sử dụng GPS để lập lưới **chuyển trực công trình lên cao** (hình 7.17) .

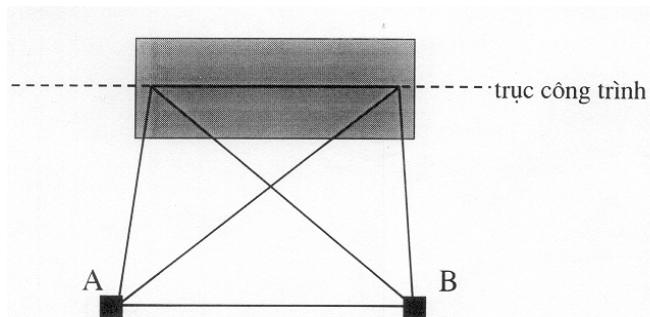


Hình 7.17. Chuyển trực công trình lên cao bằng GPS

Để chuyển trực công trình lên cao thường sử dụng dụng cụ chiếu đứng, tuy vậy phải để lỗ thủng trên các mặt bằng sàn. Cũng có thể chuyển trực bằng giao hội góc hoặc sử dụng phương pháp toạ độ thực hiện bằng máy toàn đạc điện tử. Các phương pháp này cần phải có mặt bằng rộng đồng thời chịu ảnh hưởng của trực đứng khi góc nghiêng lớn.

Với độ chính xác cao trong đo GPS cạnh ngắn, có thể sử dụng GPS để chuyển trực theo phương pháp toạ độ- hoàn nguyên.

Hiện nay chuyển trực lên cao có thể đạt độ chính xác cỡ  $\pm 5\text{mm}$  (không phụ thuộc vào chiều cao công trình). Sơ đồ lưới chuyển trực có thể là các dạng lưới tứ giác trắc địa (hình 7.18), hình thoi, hình đa giác trung tâm, trong đó có ít nhất một cặp điểm bối trí dưới đất hoặc trên công trình thấp tầng vững chắc. Các điểm này tốt nhất là làm định tâm bắt buộc để giảm bớt sai số định tâm máy thu.



Hình 7.18. Lưới tứ giác trắc địa GPS

Khi chuyển trục bằng GPS phải thực hiện khâu hoàn nguyên điểm đo về vị trí trục. Ta ký hiệu  $X_M$  và  $Y_M$  là toạ độ thiết kế của điểm trục công trình và cũng chính là toạ độ của điểm cần phải chuyển lên trên các mặt bằng sàn xây dựng, và ký hiệu  $X'_M$  và  $Y'_M$  là toạ độ xác định được bằng GPS của điểm  $M'$  trên sàn gân với điểm trục cần chuyển. Từ các giá trị trên sẽ xác định được các độ lệch về toạ độ như sau :

$$\begin{aligned}\Delta x &= X_M - X'_M \\ \Delta y &= Y_M - Y'_M\end{aligned}\quad (7.2.1)$$

Từ các giá trị trên chúng ta sẽ tính được các yếu tố hoàn nguyên điểm như sau :

-Góc phương vị hoàn nguyên tính theo công thức:

$$\alpha_M = \operatorname{arctg} \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (7.2.2)$$

-Khoảng cách hoàn nguyên tính theo công thức :

$$d_M = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (7.2.3)$$

Khi đặt máy thu trên sàn ta cố gắng đặt gân đúng vị trí điểm trục để sao cho khoảng cách hoàn nguyên càng nhỏ càng tốt vì nó liên quan đến độ chính xác hoàn nguyên. Cố gắng đặt máy thu GPS vào vị trí gần đúng sao cho khoảng cách hoàn nguyên lớn nhất nằm trong phạm vi 0,5m. Xuất phát từ công thức :

$$m_p = \sqrt{m_d^2 + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} d^2} \quad (7.2.4)$$

trong đó  $m_d$  là sai số đo khoảng cách hoàn nguyên,  $m_\alpha$  là sai số xác định hướng hoàn nguyên ta có thể tính được độ chính xác hoàn nguyên.

Nếu giả sử khi hoàn nguyên khoảng cách được đo với độ chính xác  $\pm 1\text{mm}$ , ta có thể xác định được sai số hoàn nguyên khi biết sai số xác định hướng ( $m_\alpha$ ) và độ dài của khoảng hoàn nguyên ( $d$ ), kết quả tính thể hiện trong bảng sau :

Bảng 7.9. Sai số hoàn nguyên vị trí điểm (mm)

| $m_\alpha \backslash d(m)$ | 0.05 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 1.00 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1'                         | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  |
| 10'                        | 1.0  | 1.0  | 1.1  | 1.3  | 1.5  | 1.8  | 3.0  |
| 20'                        | 1.0  | 1.1  | 1.5  | 2.0  | 2.5  | 3.1  | 5.9  |
| 60'                        | 1.3  | 2.0  | 3.6  | 5.3  | 7.0  | 8.8  | 17.5 |

Từ số liệu trong bảng ta thấy rằng, nếu khoảng cách hoàn nguyên nhỏ hơn 0,1 m thì hướng hoàn nguyên cho phép sai đến  $1^\circ$ . Ngược lại khi khoảng cách hoàn nguyên càng lớn thì càng

phải xác định hướng chính xác. Căn cứ vào bảng trên ta biết phải xác định hướng với độ chính xác là bao nhiêu để bảo đảm sai số hoàn nguyên nằm trong phạm vi  $< 2 \text{ mm}$ .

### 7.2.2. Đo các mạng lưới quan trắc biến dạng và chuyển dịch công trình

Trong các dạng đo đạc, thì đo biến dạng công trình đòi hỏi yêu cầu độ chính xác cao nhất. Thí dụ: để phát hiện giá trị biến dạng hoặc chuyển dịch khá nhỏ cỡ một vài mm thì cần phải thực hiện các phép đo có sai số không lớn hơn  $\pm 1\text{mm}$ . Mức độ tin cậy của số liệu đo biến dạng, chuyển dịch phụ thuộc vào độ chính xác đo và phương pháp xử lý số liệu đo.

Các công trình công nghiệp và nhà cao tầng trong quá trình xây dựng và cả trong thời gian sử dụng có thể bị biến dạng hoặc chuyển vị (theo phương nằm ngang hoặc phương thẳng đứng) do một số tác động ngoại cảnh hoặc do chính tải trọng của công trình trên nền đất yếu. Tuỳ thuộc vào kết cấu công trình, điều kiện địa chất nền móng, các công trình có thể biến dạng, chuyển dịch nhiều hoặc ít. Trên thực tế người ta chỉ cần quan tâm đến các hiện tượng biến dạng và chuyển dịch đạt tới một giá trị nguy hiểm. Thí dụ với các công trình xây dựng người ta quy định giá trị lún cho phép, chỉ khi nào giá trị độ lún vượt quá giới hạn cho phép và thể hiện lún lệch nguy hiểm thì người ta mới quan tâm đến độ bên của công trình đó. Để biết được độ lún (dù là nhỏ hay lớn) thì không cách nào khác là phải tiến hành đo lún với độ chính xác và chu kỳ hợp lý cùng với việc xử lý chính xác các kết quả đo.

Qua nghiên cứu và thực nghiệm, cho thấy có thể sử dụng GPS vào quan trắc chuyển vị ngang các công trình. Vấn đề quan trắc chuyển dịch thẳng đứng (lún) còn bị hạn chế do độ chính xác về độ cao. Tuy vậy ở Trung quốc người ta đã công bố một số kết quả quan trắc lún và chuyển dịch ngang đập thuỷ điện Tam Hiệp trên sông Trường Giang với độ chính xác cỡ xấp xỉ  $\pm 1 \text{ mm}$ . Tuy nhiên trong trường hợp này người ta đã sử dụng đến lịch vệ tinh chính xác và cả phần mềm GAMIT vốn được coi là phần mềm mạnh trong xử lý số liệu GPS.

Trong điều kiện thực tế ở nước ta, việc khai thác lịch vệ tinh chính xác chưa phổ biến do những khó khăn khách quan, thêm vào đó một số "phần mềm mạnh" như GAMIT, BERNESE chưa phải là phổ biến ở Việt Nam. Trong điều kiện như vậy, chúng ta đã đo GPS cạnh ngắn đạt tới độ chính xác cỡ  $2 \div 3 \text{ mm}$  nếu loại bỏ được sai số định tâm anten máy thu. Trên cơ sở này GPS vẫn có thể giúp chúng ta theo dõi phát hiện chuyển dịch và biến dạng công trình với giá trị lớn cỡ hai lần sai số đo tức là có giá trị chuyển dịch, biến dạng nhỏ nhất cỡ 4 hoặc 6 mm.

Các công trình cao tầng do ảnh hưởng của lún lệch dẫn đến nghiêng công trình. Khi đó vị trí mặt bằng của các điểm trên đỉnh (nóc) nhà sẽ bị chuyển dịch về hướng bị nghiêng một lượng nào đó. Công trình càng cao thì ảnh hưởng của lún lệch đến chuyển vị ngang trên đỉnh càng lớn.

Nếu ta ký hiệu  $\delta_H$  là giá trị lún lệch giữa hai điểm xa nhất trên móng, D là khoảng cách giữa hai điểm đó, H là chiều cao toà nhà thì lượng dịch chuyển lớn nhất của điểm đỉnh nhà sẽ được tính theo công thức:

$$\Delta_s = \frac{\delta_h \cdot H}{D} \quad (7.2.5)$$

Thí dụ: giá trị lún lệch là 2 mm, bề rộng móng nhà là D=20m, nhà cao 100 m thì lượng dịch chuyển lớn nhất điểm đỉnh nhà sẽ là 10 mm. Trên cơ sở này, ta có thể quan trắc lượng chuyển dịch trên đỉnh nhà để phát hiện lún lệch và nghiêng công trình cao tầng. Bằng máy thu 1 tần số ở khoảng cách ngắn chúng ta đủ khả năng để phát hiện lượng dịch chuyển cỡ 10 mm trên đỉnh các nhà cao tầng. Tuy nhiên để quan trắc được phải thiết lập một mạng lưới liên kết các đỉnh công trình cao tầng với nhau và đo với một số điểm cố định dưới đất

Tổ chức một phương án quan trắc biến dạng bằng GPS đòi hỏi chúng ta phải nắm được các thông tin cơ bản sau:

1. Tính chất sử dụng và đặc điểm kết cấu công trình
2. Đặc điểm nền móng công trình
3. Thời hạn công trình đã sử dụng và các hiện tượng biến dạng nhìn thấy bằng mắt.
4. Số lượng máy thu và đặc điểm máy thu GPS sẽ sử dụng để quan trắc
5. Chất lượng các phụ tùng kèm theo máy thu (định tâm quang học .vv..)
6. Điều kiện địa hình ở khu vực công trình cần quan trắc
7. Phần mềm sử dụng để xử lý số liệu đo.

Trên cơ sở các thông tin này chúng ta sẽ chọn đồ hình mạng lưới quan trắc, phương pháp bố trí mốc quan trắc, các chỉ tiêu kỹ thuật đo đạc và tính toán mạng lưới.

### 7.3. ĐO GPS ĐỘNG VÀ CÁC ỨNG DỤNG TRONG TRẮC ĐỊA- BẢN ĐỒ

#### 7.3.1. Các phương pháp đo động và thiết bị đo động

##### 7.3.1.1. Khái quát và phân loại

Năm 1985 người ta đưa ra phương pháp đo GPS động. Đây là phương pháp đo dựa trên nguyên lý định vị tương đối. Phương pháp đo động khác với đo tĩnh là chỉ yêu cầu một máy thu đặt cố định, còn máy thứ hai được phép di chuyển trong khi đo. Độ chính xác của phương pháp đo động thấp hơn đo tĩnh nhưng tốc độ đo khá nhanh, do thời gian thu tín hiệu tại mỗi điểm cần xác định tọa độ chỉ khoảng vài giây đến vài phút tùy thuộc vào tần suất đo lựa chọn.

Trạm máy cố định đặt tại điểm đã có tọa độ được gọi là trạm cơ sở (*base*) hay trạm tĩnh, còn trạm máy di chuyển trong quá trình đo được gọi là trạm động (*rover*).

Như đã trình bày ở phần trước (mục 4.6.2), trong phương pháp đo động, có thể thực hiện định vị tức thời RTK hoặc định vị xử lý sau PPK. Khi áp dụng kỹ thuật định vị động xử lý tức thời RTK, cần phải truyền tức thời số liệu đo nhận được tại trạm tĩnh tới trạm động. Để thực hiện việc này, cần có thiết bị kết nối không dây (*radio link*) giữa trạm tĩnh và trạm động và truyền dữ liệu ở giải tần số VHF hoặc UHF. Tại trạm động, dựa trên số liệu đo nhận được từ vệ tinh và số liệu đo từ trạm tĩnh chuyển tới, thiết bị tính toán tại trạm động sẽ xác định véc tơ

cạnh ngay tức thời hoặc gần như tức thời. Khoảng cách cho phép truyền dữ liệu giữa trạm tĩnh và trạm động sẽ là giới hạn áp dụng kỹ thuật RTK, khoảng cách này khoảng 10km. Tuy nhiên, khoảng cách giữa trạm tĩnh và trạm động cũng có thể kéo dài hơn 10km nếu điều kiện địa hình cho phép [9]. Trong đo động tức thời RTK phải thực hiện thủ tục định chuẩn nhằm xác định các tham số chuyển đổi tọa độ về hệ thực dụng, nhờ đó có thể nhận được ngay tọa độ điểm đo trong lúc đang đo.

Trong định vị động xử lý sau PPK, kết quả chỉ có thể nhận được sau khi đã kết thúc đo ở thực địa và hoàn tất các bước tính toán trong phòng.

Trong định vị tương đối động, người ta thường sử dụng hai kỹ thuật đo như sau:

### 1. Đo bán động

Kỹ thuật đo động dừng và đi (*Stop and Go*), được xếp vào phương pháp đo bán động (*Semi Kinematic*). Trong phương pháp này bắt buộc phải có thủ tục khởi đo (*Initialization*) để xác định số nguyên đa trị đầu tiên trong phương trình sai phân bậc hai, làm cơ sở để giải bài toán định vị tương đối chỉ trong vài giây. Như đã trình bày ở phần trước, có 3 phương pháp khởi đo trạng thái tĩnh được áp dụng đó là:

- khởi đo trên điểm đã biết tọa độ
- khởi đo trên điểm chưa biết tọa độ
- khởi đo theo phương pháp trao đổi anten

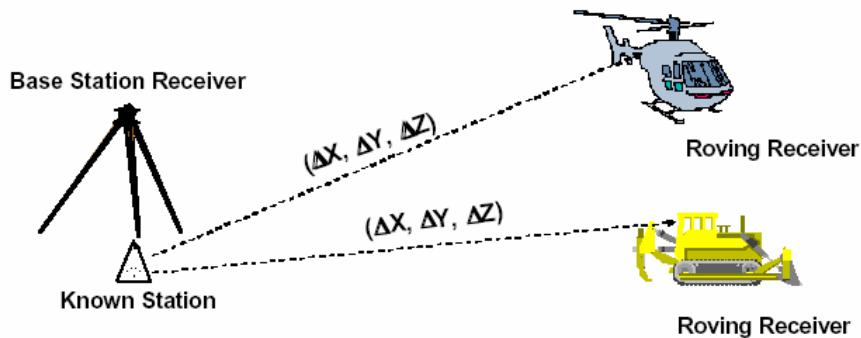
Một yêu cầu bắt buộc nữa của định vị tương đối động là khi di chuyển máy phải liên tục thu tín hiệu ít nhất từ 4 vệ tinh. Nếu không bảo đảm được yêu cầu này, sẽ xảy ra hiện tượng mất khoá (*loss of lock*). Nếu xảy ra hiện tượng này, phải tiến hành khởi đo lại.

Nếu bố trí trạm tĩnh hợp lý, phương pháp đo động “đứng và đi” cho độ chính xác vị trí mặt bằng khoảng 2 -4 cm, về độ cao khoảng từ 4 -8 cm. Phương pháp này được áp dụng trong đo chi tiết thành lập bản đồ địa hình, bản đồ địa chính tỷ lệ lớn, đo vẽ các mặt cắt địa hình, đo bao các khu vực để kiểm kê diện tích sử dụng đất ở những vùng có điều kiện thuận lợi cho thu tín hiệu từ vệ tinh.

### 2. Đo động thuần túy

Trong một số trường hợp cần xác định liên tục tọa độ của vật chuyển động (tàu biển, máy bay) người ta đưa ra phương pháp định vị tương đối động liên tục hay định vị động thuần túy (*Pure Kinematic*) (hình 7.19).

Trong đo động liên tục, cần phải có giải pháp xác định số nguyên đa trị trong lúc máy thu chuyển động (vì không thể dừng máy để khởi đo trạng thái tĩnh như phương pháp đo bán động). Người ta đã đưa phương pháp khởi đo trạng thái động OTF áp dụng cho máy thu 2 tần số, trong đó có phối hợp các trị đo code và trị đo pha sóng tải cùng với kỹ thuật tín hiệu rộng (*wide laning technique*). Phương pháp này đòi hỏi số vệ tinh quan sát được phải nhiều hơn 4. Tốt nhất là số vệ tinh quan sát được không ít hơn 6.



Hình 7.19. Đo động thuần túy để xác định vị trí các đối tượng động

Trong trắc địa, kỹ thuật đo động đánh dấu sự kiện thường được sử dụng để xác định tâm chụp ảnh hàng không. Phương pháp đo giả động có thể sử dụng để xác định tọa độ, độ cao cho các điểm không chẽ cấp thấp hoặc các điểm của lưới đo vẽ. Như đã trình bày ở phần trước, ưu điểm của phương pháp đo giả động là có thể tắt máy thu trong quá trình di chuyển máy động, nhưng thời gian thu tín hiệu tại mỗi điểm đo phải kéo dài hơn so với đo động.

Mỗi phương pháp đo, hay kỹ thuật đo khác nhau, ngoài các máy thu GPS còn đòi hỏi những thiết bị kèm theo khác nhau.

#### **7.3.1.2. Thiết bị đo GPS động**

**Khi đo động xử lý sau, cần có các thiết bị sau:**

**a. Tai trạm tĩnh:**

- 01 máy thu GPS
- chân máy, đế máy có dời tâm
- nguồn điện (pin hoặc acquy)

**b. Tai trạm động:**

- 01 máy thu GPS có khả năng đo động
- 01 bộ điều khiển đo (TDC1 hoặc TSC1 ..vv) (Hình 7.20).
- 01 sào đo kèm bợ thuỷ tròn
- cáp nối bộ điều khiển đo và máy thu
- nguồn điện (pin hoặc ác quy)

Máy thu GB-1000 của hãng Topcon và máy thu R-3 của hãng Trimble (hình 7.21) vv... là các máy thu đã tích hợp đầy đủ chức năng để có thể thực hiện đo động xử lý sau.

**Khi đo động tức thời (RTK) cần có các thiết bị sau:**

**a. Tai trạm tĩnh:**

- 01 máy thu GPS



Hình 7.20. Thiết bị điều khiển đo  
(Survey Controller)



Hình 7.21. Máy thu R-3

- chân máy, đế máy có dọi tâm
- nguồn điện (pin hoặc acquy)
- máy phát (Radio-Link)

**b. Tai trạm động:**

- 01 máy thu GPS có khả năng đo động
- 01 bộ điều khiển đo (TDC1 hoặc TSC1 ..vv)
- 01 sào đo kèm bợ thuỷ tròn
- cáp nối bộ điều khiển đo và máy thu
- nguồn điện (pin hoặc ác quy)
- Máy thu (Radio-Link)

Máy thu HiPer II của hãng Topcon với cấu hình tiêu chuẩn cho phép thực hiện đo động tức thời trên 2 tần số L1,L2 với độ chính xác véc tơ cạnh là 15mm+1ppm (hình 7.22)



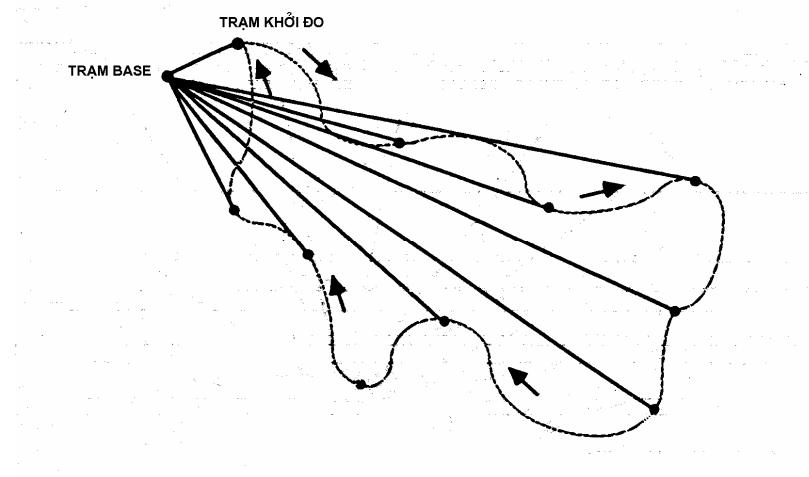
Hình 7.22. Máy thu HiPer II

**7.3.2. Công tác đo đặc ngoại nghiệp**

**7.3.2.1. Những vấn đề chung**

**1. Chuẩn bị trạm trạm tĩnh**

Nên sử dụng điểm khống chế trong mạng lưới toạ độ nhà nước (I,II,III,IV) hoặc lưới chẽm dây (cấp 1, cấp 2) để làm điểm cơ sở bố trí trạm máy tĩnh (hình 7.23), tại điểm này cần bảo đảm điều kiện thông thoáng, thuận lợi cho việc thu tín hiệu từ ít nhất 4 vệ tinh trong suốt thời gian đo động.



Hình 7.23. Sơ đồ đo GPS động

Nếu là đo động xử lý sau (PPK) thì chưa cần biết trước toạ độ và độ cao của điểm trạm tĩnh (vì nó chỉ cần cho giai đoạn xử lý trong phòng). Nếu là đo động tức thời (RTK) cần phải

biết trước toạ độ, độ cao của điểm trạm tĩnh và một số điểm khác phân bố quanh khu đo để làm thủ tục định chuẩn.

Trong quá trình đo động, người đo tại trạm tĩnh thực chất chỉ làm nhiệm vụ trông máy, do đó có thể không cần bố trí nhân lực cho trạm tĩnh nếu trạm tĩnh được đặt tại nơi có đã có điều kiện bảo vệ tốt (như trong khuôn viên cơ quan nhà nước, trên nóc nhà cao tầng đã có bảo vệ vv...)

## 2. Khảo sát khu đo

Do yêu cầu đo GPS động là phải liên tục theo dõi ít nhất 4 vệ tinh, do đó cần phải khảo sát khu đo để xem xét điều kiện đo có bảo đảm hay không? Trong khi đo có thể xảy ra hiện tượng "mất khoá tín hiệu" và có thể phải khởi động lại do đó cần tránh đường đo (di chuyển máy thu di động) dưới các tán cây, gần các trạm phát sóng, dưới các vật che chắn tín hiệu như nhà, tường gạch, cột điện, hầm giao thông vv... Nói chung, không thể tiến hành đo động trong các đô thị đông đúc, công trình dày đặc và cũng không thể đo động ở vùng rừng rậm, tán cây to, dày đặc.

## 3. Tốc độ ghi số liệu đo và thời gian dừng đo

Khi áp dụng kỹ thuật đo bán động (đứng và đi), thời gian dừng máy tại điểm đo chỉ từ vài giây đến vài phút, tùy thuộc vào tần suất đo (*epoch interval*) hay tốc độ ghi tín hiệu (ký hiệu là  $\delta T$ ), phải bảo đảm ít nhất thu được 2 số liệu đo (2 epoch).

Với máy thu GPS Trimble 4600 LS, thời gian dừng máy tại điểm đo được quy định như trong bảng 7.10.

Bảng 7.10. Tần suất ghi tín hiệu và thời gian dừng đo

| Tần suất đo ( $\delta T$ )  | 1 s | 2 s | 5 s  | 10 s | 15 s |
|-----------------------------|-----|-----|------|------|------|
| Thời gian dừng đo tối thiểu | 3 s | 5 s | 12 s | 25 s | 35 s |
| Thời gian dừng đo hợp lý    | 5s  | 10s | 25s  | 50s  | 75s  |

Đo động khác với đo tĩnh, là số trị đo ít. Trong đo tĩnh, số trị đo có đến hàng trăm, hàng ngàn giá trị, nhưng trong đo động số trị đo thường chỉ là vài ba giá trị, chính vì thế không thể sử dụng số dư của sai phân bậc hai để đánh giá độ chính xác sau khi đo như phương pháp đo tĩnh. Để đánh giá độ chính xác, người ta sử dụng phương pháp ước lượng sai số đo cạnh động. Khi sử dụng máy thu TRIMBLE 4600 LS, sai số ước lượng là 10mm+2 ppm (phân triệu).

Để có kết quả tốt, người ta khuyến cáo nên đặt tần suất đo trong khoảng từ 1s đến 5s và bố trí thời gian dừng đo tại mỗi điểm sao cho tại điểm đo thu nhận được trong khoảng 5 đến 10 trị đo. Trong đo động, có thể sử dụng máy thu 1 tần số, nhưng nên sử dụng máy thu 2 tần số để nhận được kết quả tốt hơn.

Trong kỹ thuật đo động dừng và đi, trong khi di chuyển, máy GPS (động) vẫn tiếp tục theo dõi và ghi tín hiệu với tần suất đã cài đặt. Chính vì thế bộ nhớ của máy thu GPS hay bộ nhớ của

bộ điều khiển đo sẽ chỉ chứa được một lượng tín hiệu trong khoảng thời gian hạn chế. Nếu ta cài đặt chế độ ghi dày (tần suất ghi ngắn) thì bộ nhớ sẽ chóng đầy. Trong trường hợp này thời gian dừng đo được rút ngắn, ngược lại nếu ta đặt chế độ ghi thưa (tần suất ghi dài) thì bộ nhớ cho phép kéo dài được thời gian đo, song tại điểm đo lại phải dừng lâu hơn. Đây chính là vấn đề cần cân nhắc khi cài đặt tần suất đo ghi. Thông thường, nếu khoảng cách giữa các điểm đo dài hoặc khó di lại thì người ta thường kéo dài tần suất ghi. Tần suất ghi tín hiệu của trạm tĩnh và trạm động phải cài đặt như nhau.

Hiện nay các máy thu đã tích hợp luôn cả chức năng điều khiển đo (như R-3,R-7, GB-1000 vv...), đồng thời bộ ghi dữ liệu của các máy thu rất lớn, do đó vấn đề về dung lượng bộ nhớ không cần quan tâm. Việc cài đặt tần suất đo chủ yếu liên quan trực tiếp đến thời gian dừng đo tại mỗi điểm đo.

### **7.3.2.2. Các thao tác đo GPS động**

Khi đã có các thiết bị cần thiết, có thể tổ chức đo động để xác định toạ độ, độ cao của các vị trí máy động trên cơ sở toạ độ, độ cao đã biết của trạm tĩnh. Ở đây sẽ giới thiệu các thao tác đo động xử lý sau PPK theo phương pháp dừng và đi.

#### **1. Khởi động trạm cơ sở**

Trạm tĩnh sẽ được khởi động trước khi thực hiện thủ tục khởi động trạm động. Nếu sử dụng máy thu 4600LS, khi thực hiện khởi động trạm cơ sở cần có bộ điều khiển đo (TDC1, hoặc TSC1..) nối với máy thu bằng cáp chuyên dụng. Cần xác định trước tần suất đo (ghi số liệu), thiết bị ghi tín hiệu, góc ngưỡng chọn vệ tinh vv... Các tham số này sẽ được cài đặt trước trong bộ điều khiển đo.

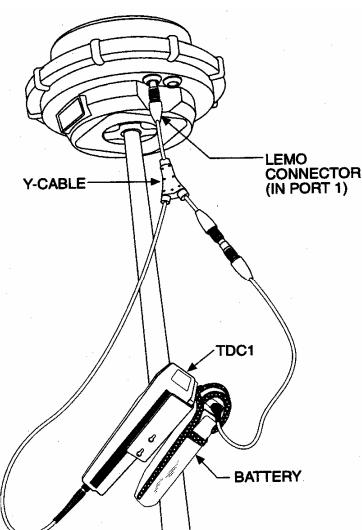
Thực hiện các thao tác khởi động trạm cơ sở bằng lệnh - *Start base receiver*. Khi nào trên màn hình bộ điều khiển đo thông báo :

*Base started* tức là trạm cơ sở đã được khởi động xong. Có thể tháo bộ điều khiển đo ra khỏi máy tĩnh nếu chọn ghi số liệu vào bộ nhớ máy thu.

Nếu sử dụng máy thu GB-1000, hay R-3 để đo động, trên màn hình cũng có những thông báo tương tự để người đo biết.

#### **2. Thủ tục khởi động trạm động**

Khi tiến hành đo động phục vụ đo vẽ địa hình, máy động thường được gắn trên sào đo. Nếu sử dụng máy thu 4600LS, máy thu trạm động phải được gắn liên tục với bộ điều khiển đo bằng cáp chuyên dụng.



Hình 7.24. Lắp máy GPS trên sào đo

(hình 7.24).

Trước khi thực hiện đo hàng loạt điểm phải thực hiện thủ tục khởi đo tại điểm đầu tiên. Khởi đo nhằm xác định số nguyên đa trị ban đầu, để có thể giải nhanh bài toán định vị tương đối trong thời gian rất ngắn. Có thể thực hiện thủ tục khởi đo theo phương pháp đặt máy động tại điểm đã biết hoặc đặt máy động tại điểm chưa biết.

Nếu khởi đo tại điểm đã biết, cần biết trước vectơ khởi đầu từ trạm tĩnh đến trạm khởi đo, gồm các thành phần số toạ độ  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  trong hệ WGS-84. Theo nguyên tắc khởi đo trên điểm đã biết, có thể thực hiện thủ tục khởi đo trên thanh khởi đo (*Initializer Bar*).

Trong trường hợp này thời gian khởi đo ngắn, thường chỉ vài phút. Nếu khởi đo tại điểm chưa biết, cần phải chờ một thời gian dài hơn, thường là vài chục phút cho đến khi thông báo thủ tục khởi đo đã hoàn thành. Thực chất thời gian này tương đương với đo tĩnh để xác định vectơ khởi đầu.

Nếu là thực hiện đo động tức thời (RTK), công việc khởi đo phức tạp hơn vì phải kết nối **radio link** và phải thực hiện thủ tục định chuẩn.

### 3. Thực hiện đo động

Ở đây sẽ trình bày kỹ thuật đo động “dừng và đi”. Máy thu di động được gắn trên sào đo, với chiều cao anten cố định (khoảng 2 m) sao cho máy thu luôn cao hơn đầu người đo (hình 7.25). Tại mỗi điểm đo, dừng lại thu tín hiệu vệ tinh trong khoảng thời gian ít nhất là gấp 2 lần tần suất ghi tín hiệu. Tại điểm đo cần chú ý màn

hình của bộ điều khiển đo, để biết được trạng thái của máy thu.

- Khi sử dụng máy thu 4600LS và TDC1 để đo động, nếu thông báo "Roving" là cho phép di chuyển máy thu, nếu là thông báo "**Point details**" (*not static yet*) có thể tạm dừng và ghi các ghi số liệu cần thiết của điểm đo như tên điểm, độ cao anten. vv..., nếu là thông báo "**Static**" thì phải giữ máy đứng yên trong thời gian thu tín hiệu.

Việc thay đổi thông báo được thực hiện bằng phím OK trên bộ điều khiển đo (thí dụ như TDC1). Trong phương pháp đo động tức thời, tín hiệu ở trạm tĩnh được bộ phát radio chuyển đến máy động để xác định luôn ra vectơ cạnh, và từ đó xác định ngay toạ độ điểm trạm động ở thực địa. Khi đo động cần lưu ý tới các thông báo trên bộ điều khiển đo, trong đó chú ý tới MODE khi di chuyển máy:



Hình 7.25. Đo động “dừng và đi”

- FINE: là đang thực hiện ở chế độ tốt
- COARSE : là chế độ kém, sai lớn (đang trong tình trạng mất khoá tín hiệu ...)

#### 4. Kết thúc đo động

Sau khi thực hiện thu tín hiệu tại tất cả các điểm đo, người đo sẽ kết thúc đo bằng lệnh " *End Survey*". Mọi số liệu đo đã được ghi sẽ lưu lại trong bộ nhớ máy thu hoặc bộ nhớ của thiết bị điều khiển đo. Công việc xử lý sẽ là công việc tiếp theo và được thực hiện trong phòng.

#### 5. Thủ tục định chuẩn

Trong đo động tức thời RTK cần phải thực hiện thủ tục định chuẩn (*calibration*). Thủ tục định chuẩn thực chất là công việc chuẩn bị trước để chuyển đổi tọa độ xác định được trong hệ WGS-84 về hệ tọa độ thực dụng (như Hệ HN-72 hoặc hệ VN-2000) ngay tại thực địa.

Để định chuẩn, người ta thường sử dụng 4 điểm bố trí xung quanh khu đo (cũng có thể dùng nhiều hơn 4 điểm, tối đa là 20 điểm), tại các điểm này đồng thời xác định tọa độ - độ cao trong hệ thực dụng đồng thời xác định tọa độ - độ cao trong hệ WGS-84.

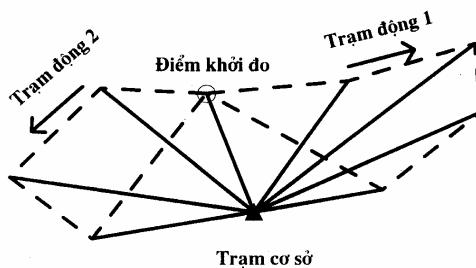
Nhờ các điểm định chuẩn mới có thể tính được các tham số chuyển đổi tọa độ giữa hệ WGS-84 về hệ thực dụng. Các tham số này sẽ được sử dụng đối với các điểm đo động để tính chuyển đổi tọa độ điểm đo sang hệ tọa độ thực dụng ngay tại thực địa.

#### **7.3.3. Các ứng dụng GPS động**

##### **7.3.3.1. Đo chi tiết thành lập bản đồ**

Với kỹ thuật đo động “dừng và đi” đã trình bày ở trên, thời gian dừng đo tại mỗi điểm chỉ khoảng từ 4s đến 10s (phụ thuộc vào tần suất ghi tín hiệu), chúng ta hoàn toàn có thể ứng dụng để đo vẽ bản đồ địa hình, bản đồ địa chính tỷ lệ lớn (từ tỷ lệ 1:500 trở xuống). Nếu so với đo chi tiết bằng toàn đạc điện tử, phương pháp đo GPS động có ưu điểm là khoảng cách giữa trạm tĩnh và trạm động có thể đến 10km, trong khi đo bằng toàn đạc điện tử, khoảng cách giữa trạm máy và gương chỉ cỡ vài trăm mét. Tuy nhiên, nhược điểm của GPS động là không đo được ở vùng chật hẹp, bị che chắn tín hiệu, trong khi đó, bằng toàn đạc điện tử vẫn có thể tiến hành đo được.

Để tăng năng suất đo chi tiết bằng GPS động, có thể bố trí 1 trạm tĩnh cho nhiều trạm động (hình 7.26).



Hình 7.26. Một trạm tĩnh phối hợp với 2 trạm động

Ưu điểm cơ bản của phương pháp GPS động trong đo vẽ bản đồ là không cần lập lưới khống chế đo vẽ. Trong trường hợp cần độ chính xác cao, có thể sử dụng 2 trạm cơ sở (hình 7.27).

Trong trường hợp này tọa độ điểm đo sẽ được xác định từ 2 trạm tĩnh do đó độ chính xác vị trí điểm sẽ được nâng cao. Có thể áp dụng để xác định tọa độ, độ cao của các điểm đặt máy khi đo vẽ chi tiết bằng toàn đạc điện tử.

Phương pháp đo giả động cũng có thể thực hiện theo sơ đồ này.

### 7.3.3.2. Đo vẽ mặt cắt địa hình

Trong khảo sát phục vụ xây dựng công trình giao thông (đường bộ, đường sắt ...), xây dựng đường điện hay các công trình dạng tuyến khác, thường phải đo vẽ thành lập các mặt cắt dọc hoặc mặt cắt ngang. Nếu điều kiện địa hình cho phép (không quá rậm rạp), có thể ứng dụng phương pháp đo GPS động để đo vẽ thành lập các mặt cắt với độ chính xác của các điểm trên mặt cắt tương đương với điểm chi tiết bản đồ địa hình tỷ lệ 1:500.

Để đo vẽ mặt cắt, cần chọn một số điểm khống chế có tọa độ độ cao làm điểm cơ sở, sao cho khoảng cách từ các điểm cơ sở đến các điểm đo vẽ mặt cắt không quá 10km. Trên thực tế các điểm địa chính cơ sở hạng III ở nước ta hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu trên.

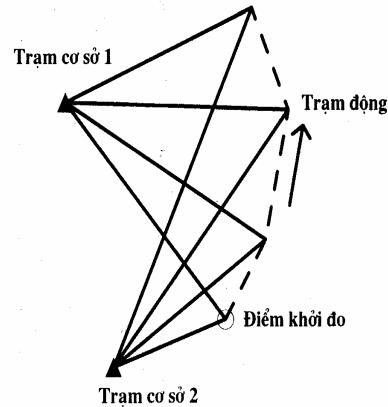
Sau khi đặt và khởi động trạm tĩnh, sẽ tiến hành khởi động trạm động và thực hiện đo lần lượt các điểm đặc trưng của mặt cắt địa hình (điểm gãy, điểm thay đổi độ dốc vv...). Trong trường hợp cần độ chính xác cao có thể bố trí 2 trạm tĩnh để xác định tọa độ, độ cao của các điểm trên mặt cắt địa hình.

### 7.3.3.3. Chuyển thiết kế ra thực địa

Đưa bản thiết kế ra thực địa là một dạng thường gặp của công tác trắc địa công trình. Các điểm thiết kế cần đưa ra thực địa đã có tọa độ x,y theo thiết kế. Chúng ta có thể sử dụng kỹ thuật đo GPS động tức thời (RTK) để nhanh chóng xác định các điểm có tọa độ đã cho ở thực địa. Tọa độ tức thời của điểm đo RTK sẽ dẫn đường để chúng ta dễ dàng xác định được vị trí điểm thiết kế trên thực địa. Đây chính là nguyên tắc để cắm công trình bằng GPS động. Ưu điểm này càng tỏ ra có hiệu quả nếu chúng ta thực hiện cắm công trình trên biển (dàn khoan, cầu cảng vv....), hoặc ở những nơi mà khả năng đo đạc bằng phương pháp truyền thống bị hạn chế.

### 7.3.3.4. Một số ứng dụng khác

- Kiểm tra nghiệm thu bản đồ địa hình hay bản đồ địa chính là công tác thường gặp trong trắc địa. Với độ chính xác của phương pháp GPS động, có thể sử dụng phương pháp này để



Hình 7.27. Hai trạm cơ sở và 1 trạm động

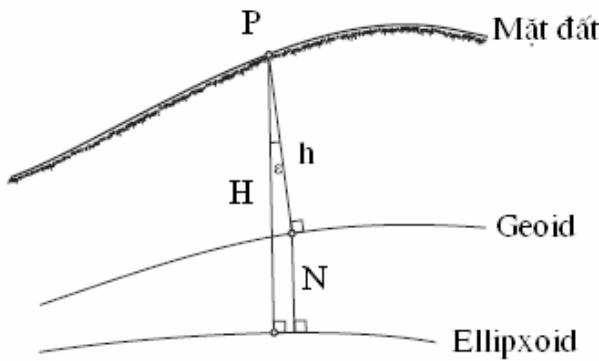
kiểm tra nhanh các điểm chi tiết bản đồ (điểm địa vật hay điểm địa hình). Để tiến hành đo kiểm tra các điểm chi tiết, cần chọn 1 hoặc 2 điểm có tọa độ làm trạm tĩnh cách khu đo không quá 10km. Có thể áp dụng đo GPS động xử lý sau, hoặc đo động tức thời để kiểm tra điểm chi tiết. Nếu để kiểm tra bản đồ số, nên áp dụng phương pháp đo động tức thời. Cần lưu ý rằng sai số trung phương vị trí điểm mặt bằng đo bằng GPS động có thể từ  $2 \div 4\text{cm}$  và về độ cao trong khoảng  $4 \div 8\text{cm}$ .

- Trong trắc địa công trình, để quan trắc dao động của cầu dây văng do tác động của ngoại lực hoặc quan trắc dao động của nhà cao tầng do tác động của áp lực gió, người ta còn sử dụng phương pháp đo GPS động liên tục với tần suất ghi tín hiệu cỡ  $0,5\text{s}-1\text{s}$  hoặc nhỏ hơn.

## 7.4. ĐO CAO GPS

### 7.4.1. Nguyên lý đo cao GPS

Đo cao GPS (GPS Levelling) hay rộng hơn là đo cao GNSS là phương pháp đo cao dựa trên công nghệ GPS. Như đã biết, lưới GPS là lưới không gian (3D), bằng công nghệ GPS chúng ta không chỉ xác định được vị trí mặt bằng của điểm (P) mà còn xác định được độ cao trắc địa H của điểm đó so với bề mặt ellipsoid. Trong thực tế sử dụng độ cao, chúng ta lại cần có độ cao thuỷ chuẩn, tức là độ cao so với bề mặt Geoid (hoặc bề mặt Kvazigeoid) (hình 7.28).



Hình 7.28. Độ cao trắc địa và độ cao thuỷ chuẩn

Ký hiệu N là độ cao Geoid (*Geoid Undulation*) và  $\zeta$  là dị thường độ cao tại điểm xét (P), nếu bỏ qua độ lệch dây dọi (giữa phương dây dọi và phương pháp tuyến), ta có mối quan hệ giữa độ cao thuỷ chuẩn h và độ cao trắc địa H như sau:

$$h = H - N \quad (7.4.1)$$

hay 
$$h = H - \zeta$$

Các công thức (7.4.1) là công thức cơ bản của đo cao theo phương pháp định vị tuyệt đối, song cho đến nay, độ chính xác định vị GPS tuyệt đối còn hạn chế, do đó công thức (7.4.1) thường chỉ sử dụng cho các trường hợp cần độ chính xác thấp.

Trong thực tế, có nhiều trường hợp khó có thể thực hiện đo cao hình học như vùng núi cao, vùng đầm lầy, đo qua sông, qua eo biển vv... Trong những trường hợp này, nếu áp dụng phương pháp đo cao GPS sẽ giải quyết được khó khăn trong công tác đo cao. Chính vì thế, từ khi có công nghệ GPS, phương pháp đo cao GPS đã thu hút sự chú ý của nhiều nhà khoa học trắc địa cũng như của nhiều người làm công tác sản xuất trắc địa-bản đồ.

Nguyên tắc đo GPS tương đối cho ta xác định được các số gia toạ độ không gian  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  (trong hệ WGS-84) giữa hai điểm thu tín hiệu đồng thời. Từ các số gia toạ độ này, có thể dễ dàng chuyển đổi thành các số gia toạ độ trắc địa  $\Delta B$ ,  $\Delta L$ ,  $\Delta H$ , ở đây giá trị  $\Delta H$  là hiệu số độ cao trắc địa giữa hai điểm trong hệ WGS-84 với Ellipsoid chọn tính. Lưu ý rằng, khi tính chuyển một cạnh GPS, hiệu độ cao trắc địa sẽ thay đổi khi thay đổi toạ độ của điểm đầu cạnh mặc dù các số toạ độ vuông góc không gian không đổi.

Ký hiệu độ cao trắc địa tại điểm A và B là  $H_A$  và  $H_B$ , độ cao thuỷ chuẩn (độ cao chính, hoặc độ cao thường) tại A và B là  $h_A$  và  $h_B$ , theo (7.5.1) ta có các quan hệ:

$$h_A = H_A - N_A \quad (7.4.2)$$

$$h_B = H_B - N_B \quad (7.4.3)$$

trong đó:  $N_A$ ,  $N_B$  là độ cao Geoid tại điểm A và B.

Từ các biểu thức (7.4.2) và (7.4.3) ta có công thức tính hiệu độ cao thuỷ chuẩn giữa 2 điểm A,B như sau:

$$\Delta h_{A,B} = \Delta H_{A,B} - \Delta N_{A,B} \quad (7.4.4)$$

trong đó  $\Delta H_{A,B}$  là hiệu số độ cao trắc địa,  $\Delta N_{A,B}$  là hiệu số độ cao Geoid giữa hai điểm A,B.

Tương tự, đối với hệ thống độ cao chuẩn ta có:

$$\Delta h_{A,B} = \Delta H_{A,B} - \Delta \zeta_{A,B} \quad (7.4.5)$$

Trong đó  $\Delta \zeta_{A,B}$  là hiệu số dị thường độ cao.

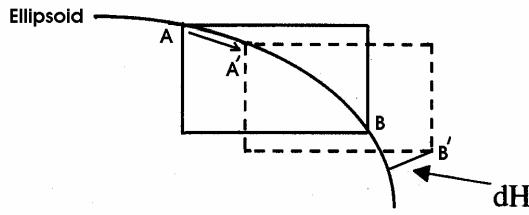
Công thức (7.4.1), (7.4.4) và (7.4.5) là các công thức cơ bản của đo cao GPS.

Như vậy để xác định độ cao bằng công nghệ GPS vấn đề mấu chốt là xác định độ cao geoid N hay dị thường độ cao  $\zeta$  hoặc xác định hiệu độ cao geoid  $\Delta N$  hay hiệu dị thường độ cao  $\Delta \zeta$  tại các điểm đặt máy thu tín hiệu. Có thể nhận thấy rằng độ chính xác chuyên độ cao bằng GPS phụ thuộc vào hai yếu tố quyết định đó là chất lượng đo cạnh GPS và độ chính xác hiệu độ cao Geoid hay hiệu dị thường độ cao giữa hai điểm.

Khi tính đổi các số toạ độ vuông góc không gian  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  giữa 2 điểm về số vĩ độ, kinh độ và độ cao trắc địa  $\Delta B$ ,  $\Delta L$ ,  $\Delta H$  có thể dẫn đến vấn đề đa trị nếu giá trị toạ độ điểm đầu cạnh nhận các giá trị khác nhau, do sai số điểm đầu cạnh trong hệ WGS84.

Với một cạnh GPS, hiệu độ cao trắc địa sẽ thay đổi một lượng dH khi thay đổi toạ độ (mặt bằng) của điểm A đầu cạnh mặc dù các số toạ độ vuông góc không gian của cặp điểm AB

không đổi. Có thể nhận thấy điều này qua hình 7.29.



Hình 7.29 . ảnh hưởng của sai số vị trí điểm

Dựa vào quan hệ hình học ta chứng minh được công thức sau:

$$dH = dP_0 \frac{L \cos \varphi}{R_m} \quad (7.4.6)$$

trong đó  $dP_0$  là giá trị dịch chuyển điểm gốc trên bề mặt Ellipsoid (không dịch độ cao điểm khởi tính),

$L$  là khoảng cách từ điểm khởi tính đến điểm xét ,

$\varphi$  là góc kẹp giữa hướng dịch chuyển ( $dP_0$ ) và hướng  $L$ ,

$R_m$  là bán kính trung bình Trái đất.

Có thể nhận thấy rằng khi điểm xét càng xa điểm gốc, thì ảnh hưởng của sai số vị trí điểm gốc đến độ cao điểm xét càng lớn. Khi hướng dịch chuyển gốc vuông góc với hướng đến điểm xét thì ảnh hưởng dịch chuyển điểm gốc đến độ cao điểm xét bằng không. Từ công thức (7.4.6), cho trường hợp  $\cos\varphi=1$  ( $\varphi=0^0$ ), tức là dịch chuyển điểm gốc theo hướng đo cạnh, ta sẽ tính được ảnh hưởng của sai số vị trí điểm khởi tính đến độ cao trắc địa xác định bằng GPS ,(bảng 7.11).

Bảng 7.11. ảnh hưởng của sai số vị trí điểm đến độ cao trắc địa

| $\backslash$<br>$dP$ (m)<br>$\diagdown$<br>$L$ (km) | 1 km  | 2 km  | 3 km  | 5 km  | 10 km |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.5   | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 |
| 1   | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.002 |
| 2.5   | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.004 |
| 5   | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.004 | 0.008 |

Qua số liệu bảng trên có thể thấy rằng, ảnh hưởng của sai số vị trí điểm đến hiệu độ cao trắc địa càng tăng khi khoảng cách truyền độ cao GPS càng lớn. Với khoảng cách ngắn ( dưới 10 km), sai số này khá nhỏ, ngay cả trường hợp sai số vị trí điểm đạt giá trị 5 m.

#### 7.4.2. Mô hình Geoid

Các nhà khoa học ở nhiều nước đã dựa vào các tư liệu trắc địa, vệ tinh cùng tài liệu

nghiên cứu về Trái đất để xây dựng sẵn các mô hình Geoid nhằm mô tả mặt đẳng thế trọng trường của Trái đất ở dạng số đồng thời giúp cho công tác đo cao GPS được thuận tiện.

Mô hình Geoid là mô hình số, bao gồm :

- Tệp dữ liệu dạng nhị phân (binary) (\*.GGF) (*Gridded Geoid File*) hoặc tệp dữ liệu dạng ASCII (\*.ASC) và tệp định nghĩa (\*.DEF).

Để phân loại mô hình Geoid ta căn cứ vào một số chỉ tiêu sau :

#### **7.4.2.1. Phân loại mô hình Geoid theo quy mô**

Nếu phân loại theo độ lớn của mô hình geoid, người ta chia ra làm hai loại:

##### 1. Mô hình Geoid khu vực (Local Geoid Models).

Người ta lập ra các mô hình trên khu vực cần thiết nào đó để phục vụ cho nghiên cứu chi tiết bề mặt Geoid và phục vụ cho công tác đo cao trên khu vực đó. Thí dụ mô hình geoid GEOID90 lập trên lãnh thổ phần phía đông nước Mỹ, được giới hạn bởi :

vĩ độ  $\varphi$  từ  $24^{\circ}$  đến  $50^{\circ}$

kinh độ  $\lambda$  từ  $-83^{\circ}$  đến  $-107^{\circ}$

khoảng gián cách theo vĩ độ :  $d\varphi = 0.05^{\circ} = 3'$  (xấp xỉ 5,5km)

khoảng gián cách theo kinh độ :  $d\lambda = 0.05^{\circ} = 3'$

số mắt lưới ô vuông theo vĩ độ :  $n_{\varphi} = 521$

số mắt lưới ô vuông theo kinh độ :  $n_{\lambda} = 481$

đơn vị : mét

khuôn dạng (format) : float

tỷ lệ (scala) : 1

phương pháp nội suy : song tuyến (biquadratic)

##### 2. Mô hình Geoid toàn cầu (Global Geoid Models)

Mô hình Geoid toàn cầu, được lập cho toàn bộ diện tích Trái Đất, do vậy mức độ chi tiết thường kém hơn các Geoid khu vực. Thí dụ mô hình Geoid OSU91A, có các đặc trưng sau :

vĩ độ  $\varphi$  từ  $-90^{\circ}$  đến  $+90^{\circ}$

kinh độ  $\lambda$  từ  $0^{\circ}$  đến  $360^{\circ}$

khoảng gián cách theo vĩ độ :  $d\varphi = 0.25^{\circ} = 15'$  (xấp xỉ 28km)

khoảng gián cách theo kinh độ :  $d\lambda = 0.25^{\circ} = 15'$

số mắt lưới ô vuông theo vĩ độ :  $n_{\varphi} = 721$

số mắt lưới ô vuông theo kinh độ :  $n_{\lambda} = 1440$

đơn vị : mét

khuôn dạng (format) : short int

tỷ lệ (scala) : 100

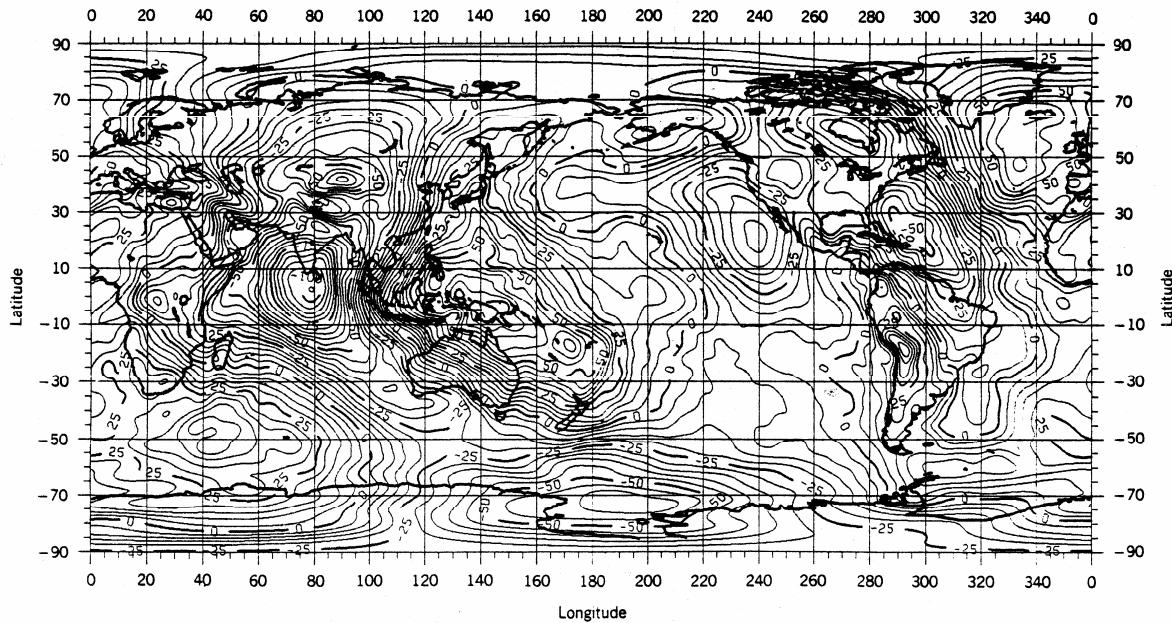
phương pháp nội suy : spline

Trong bảng 7.12. thống kê một số mô hình Geoid toàn cầu và Geoid khu vực :

Bảng 7.12. Một số mô hình Geoid

| Số TT | Mô hình   | Phạm vi  | Bmax<br>Bmin | Lmax<br>Lmin | $\delta B_{\text{min}}$<br>$\delta L_{\text{min}}$<br>(phút) | nB<br>nL     | Thuật toán<br>nội suy |
|-------|-----------|----------|--------------|--------------|--|--------------|-----------------------|
| 1     | OSU-91A   | toàn cầu | 90<br>-90    | 360<br>0     | 15<br>15   | 721<br>1440  | spline                |
| 2     | EGM-96    | toàn cầu | 90<br>-90    | 360<br>0     | 15<br>15   | 721<br>1440  | spline                |
| 3     | EGM-2008  | Toàn cầu | 90<br>-90    | 360<br>0     | 2,5<br>2,5   | 4326<br>8646 | spline                |
| 4     | DMA-10    | toàn cầu | 90<br>-90    | 360<br>0     | 600<br>600   | 19<br>37     | gpsmls                |
| 5     | DMA       | toàn cầu | 90<br>-90    | 180<br>-180  | 30<br>30   | 361<br>721   | bilinear              |
| 6     | ALASKA-94 | khu vực  | 72<br>51     | -128<br>-179 | 3<br>6   | 421<br>511   | biquadratic           |
| 7     | GEOID96se | khu vực  | 38<br>24     | -66<br>-89   | 2<br>2   | 421<br>691   | biquadratic           |

Trên hình 7.30 là hình dạng các đường đẳng độ cao geoid của mô hình Geoid OSU-91A trên phạm vi toàn cầu.



Hình 7.30. Mô hình Geoid OSU-91A (R. Rapp)

#### 7.4.2.2. Phân loại theo phương pháp xây dựng mô hình

Có hai cách thiết lập mô hình Geoid, đó là phương pháp sóng (*Undulation*) và phương

## pháp phân dư (*Residual*)

Mô hình geoid dạng sóng tự tạo có thể phục vụ cho mạng lưới trắc địa, nếu như không có sẵn một mô hình geoid có thể sử dụng được. Nếu có đủ số lượng điểm đã có độ cao chính xác, có thể tự tạo ra một mô hình geoid riêng. Còn nếu đã có sẵn một mô hình Geoid, thì có thể cải tiến mô hình này bằng cách hiệu chỉnh (bình sai) tiếp theo một lần nữa thành mô hình geoid dạng phân dư. Mô hình Geoid đã nhập vào cơ sở dữ liệu sẽ chứa những thông tin bổ trợ cho quá trình xử lý số liệu mạng lưới trắc địa.

### 7.4.3. Một số phương pháp nội suy xác định dộ cao thường

Số liệu mô hình số Geoid không thể dày đến mức, để bất kỳ một điểm nào cũng đã có sẵn giá trị độ cao Geoid. Trên thực tế, số lượng điểm đã biết độ cao Geoid là hữu hạn, vì thế để nhận được giá trị độ cao Geoid cho một điểm bất kỳ, phải sử dụng thuật toán nội suy. Ở Việt Nam không sử dụng hệ thống độ cao chính mà sử dụng hệ thống độ cao chuẩn, do đó chúng ta quan tâm đến dộ cao  $\zeta$ .

Mục tiêu ở đây là, cho trước một số điểm đã có giá trị dộ cao, hãy xác định dộ cao thường của điểm k không trùng với các điểm trên, có vị trí đã biết là toạ độ  $x_k, y_k$  (hoặc  $B_k, L_k$ )

Có khá nhiều cách tính (ước lượng) giá trị dộ cao thường theo tập hợp giá trị đã biết cho trước như phương pháp xấp xỉ hàm song tuyến (*bilinear*), xấp xỉ hàm song bình phương (*biquadratic*), phương pháp spline, phương pháp collocation vv... Bản chất của phương pháp xấp xỉ hàm là dựa trên nguyên lý bình phương nhỏ nhất.

Trong phương pháp xấp xỉ hàm, người ta xác định dộ cao  $\zeta$  theo công thức giải tích có dạng tổng quát như sau:

$$\zeta = f(a_a, a_1, \dots, a_t, x, y) \quad (7.4.7)$$

trong đó  $a_a, a_1, \dots, a_t$  là các tham số cần xác định,  $x, y$  là toạ độ của điểm có dộ cao thường. Cũng có thể thay  $x, y$  bằng toạ độ trắc địa  $B, L$ .

Trong mạng lưới GPS thường có một số điểm được đo nối (bằng thủy chuẩn hình học) với điểm độ cao nhà nước, như vậy tại các điểm đó sẽ có 2 giá trị độ cao là độ cao trắc địa ( $H$ ) xác định nhờ đo GPS và độ cao thuỷ chuẩn ( $h$ ), các điểm này được gọi là các điểm song trùng. Dựa vào các điểm song trùng, chúng ta sẽ nắm bắt được quy luật biến đổi của dộ cao thường, nhờ đó sẽ xác định được dộ cao thường cho các điểm GPS khác theo thuật toán nội suy phù hợp.

Đối với một khu vực có diện tích không quá lớn, địa hình tương đối bằng phẳng, chúng ta có thể sử dụng hàm song tuyến để nội suy dộ cao thường theo các điểm song trùng. Để nội suy, trước hết phải xác định 3 tham số của hàm theo phương pháp bình phương nhỏ nhất dựa vào số liệu của các điểm song trùng. Yêu cầu chung là số lượng điểm song trùng không được ít hơn số tham số cần xác định.

Về thuật toán nội suy của các phương pháp kể trên có thể tìm hiểu trong các tài liệu tham khảo, ở đây ta có thể tóm tắt một số phương pháp nội suy sau:

- Thuật toán nội suy song tuyến
- Thuật toán nội suy bình phương
- Thuật toán nội suy Spline
- Thuật toán Collocation vv.....

#### 7.4.3.1. Thuật toán song tuyến

Với điểm song trùng thứ i, ta xác định được độ thường cao  $\zeta_i$  (gọi là độ thường cao GPS /thuỷ chuẩn):

$$\zeta_i = H_i - h_i \quad (i=1,2..,n) \quad (7.4.8)$$

Độ thường cao được biểu diễn dưới dạng hàm song tuyến của tọa độ  $x_i, y_i$ :

$$\zeta_i = c + a.x_i + b.y_i \quad (7.4.9)$$

trong đó a,b,c là 3 tham số cần xác định.

Từ (7.4.8) và (7.4.9) ta lập được các phương trình số hiệu chỉnh:

$$v_i = c + a.x_i + b.y_i - \zeta_i \quad (7.4.10)$$

Hoặc viết ở dạng ma trận:

$$V = A.X - L \quad (7.4.11)$$

trong đó:

$$V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ .. \\ v_n \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ .. & .. & .. \end{bmatrix}; \quad X = \begin{bmatrix} c \\ a \\ b \end{bmatrix}; \quad L = \begin{bmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \\ .. \end{bmatrix} \quad (7.4.12)$$

Các tham số a,b,c được xác định:

$$X = \begin{bmatrix} c \\ a \\ b \end{bmatrix} = (A^T A)^{-1} \cdot A^T L \quad (7.4.13)$$

Sai số trung phương đơn vị trọng số của kết quả tính sẽ là:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-3}} \quad (7.4.14)$$

Với các tham số a,b,c đã xác định được, độ thường cao của điểm cần nội suy k có tọa độ là  $x_k, y_k$  sẽ được tính theo công thức:

$$\zeta_k = c + a.x_k + b.y_k \quad (7.4.15)$$

Sai số trung phương của giá trị nội suy được tính:

$$m_{N(k)} = \mu \sqrt{Q_k} \quad (7.4.16)$$

Trong đó:  $Q_k = F_k^T Q F_k$

$$\text{với: } Q = (A^T A)^{-1} \text{ và } F_k^T = [1 \quad x_k \quad y_k] \quad (7.4.17)$$

**Thí dụ minh họa:** Trên một khu vực rộng khoảng  $300 \text{ km}^2$  có mạng lưới GPS trong đó có 5 điểm song trùng (có cả độ cao trắc địa H và độ cao thuỷ chuẩn h), toạ độ và độ cao của các điểm đó cho trong bảng sau:

Bảng 7.13. Số liệu của các điểm song trùng

| Điểm | X(km)    | Y(km)   | H(m)   | h(m)   |
|------|----------|---------|--------|--------|
| 1    | 2210.435 | 533.940 | 36.196 | 34.043 |
| 2    | 2202.115 | 534.008 | 14.118 | 12.114 |
| 3    | 2203.757 | 542.647 | 22.449 | 20.477 |
| 4    | 2217.934 | 548.042 | 25.629 | 23.505 |
| 5    | 2224.243 | 536.803 | 32.371 | 30.049 |

Dựa trên số liệu đã cho, hãy nội suy dì thường độ cao  $\zeta$  để tính độ cao thuỷ chuẩn cho 1 điểm K thuộc mạng lưới trên. Điểm K có toạ độ và độ cao trắc địa như sau:

$$x_k=2209.740, \quad y_k=539.606, \quad H_k=18.544$$

Để giải bài toán này, trước hết từ độ cao trắc địa H và độ cao thuỷ chuẩn h của các điểm song trùng, tính dì thường độ cao theo công thức  $\zeta = H - h$  sau đó lập 5 phương trình số hiệu chỉnh dạng (7.4.10). Hệ số và số hạng tự do các phương trình số hiệu chỉnh cho trong bảng sau:

Bảng 7.14. Phương trình số hiệu chỉnh

| (c)  | (a)      | (b)     | $l_i = N_i$ |
|------|----------|---------|-------------|
| 1.00 | 2210.435 | 533.940 | 2.153       |
| 1.00 | 2202.115 | 534.008 | 2.004       |
| 1.00 | 2203.757 | 542.647 | 1.972       |
| 1.00 | 2217.934 | 548.042 | 2.124       |
| 1.00 | 2224.243 | 536.803 | 2.322       |

Hệ phương trình chuẩn có các hệ số và số hạng tự do như sau:

Bảng 7.15. Hệ phương trình chuẩn

| (c)        | (a)           | (b)          | (L)        |
|------------|---------------|--------------|------------|
| 5.0000     | 11058.4840    | 2695.4400    | 10.5750    |
| 11058.4840 | 24458366.4289 | 5961550.1160 | 23393.4979 |
| 2695.4400  | 5961550.1160  | 1453229.7288 | 5700.3225  |

Sau khi giải hệ phương trình chuẩn, nhận được các ẩn số:

c= -26.21966 với m<sub>c</sub>= ±1,6079

a= 0.01499 với m<sub>a</sub>= ±0.00074

b= -0.00894 với m<sub>b</sub>= ±0,00113

$$\mu = \sqrt{\frac{[vv]}{5-3}} = \pm 0,014m$$

Như vậy, phương trình nội suy dị thường độ cao cho khu vực trên là:

$$\zeta_i = -26,21966 + 0.01499.X_i - 0,00894.Y_i$$

Giá trị dị thường độ cao nội suy cho điểm K là N<sub>k</sub> = 2,081m với sai số tương ứng là ±0.006 m.

Từ đó tính được độ cao thuỷ chuẩn của điểm K :

$$h_k = H_k - \zeta_k = 18.544 - 2.081 = 16.463 \text{ m.}$$

#### 7.4.3.2. Thuật toán song bình phương.

Thuật toán song bình phương còn gọi là thuật toán tuyến tính bậc hai .

Công thức nội suy là hàm của tọa độ có dạng:

$$\zeta_i = a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i + a_3 x_i^2 + a_4 y_i^2 + a_5 x_i y_i \quad (7.4.18)$$

trong đó các tham số a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub>, a<sub>5</sub> cần được xác định.

Để xác định được 6 tham số trên, ít nhất phải có 6 điểm song trùng. Trong trường hợp số điểm song trùng lớn hơn 6, các tham số đó được xác định theo phương pháp số bình phương nhỏ nhất. Trong trường hợp này các phương trình số hiệu chỉnh có dạng:

$$v_i = a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i + a_3 x_i^2 + a_4 y_i^2 + a_5 x_i y_i - \zeta_i \quad (7.4.19)$$

trong đó  $\zeta_i$  được tính theo công thức (7.4.8).

Tiếp theo là lập và giải hệ phương trình chuẩn để xác định 6 tham số a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub>, a<sub>5</sub> . Từ đó có thể nêu suy dị thường độ cao  $\zeta$  cho một điểm bất kỳ nằm trung vùng xét nếu biết tọa độ của điểm đó.

Trong trường hợp này công thức tính sai số trung phương đơn vị trọng số sẽ là:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-6}} \quad (7.4.20)$$

trong đó n là số lượng điểm song trùng (n>6).

#### 7.4.3.3. Thuật toán Spline

Phương pháp nội suy Spline được thực hiện theo công thức:

$$\zeta_j = \sum_{i=1}^n a_i \psi_{i,j}^2 \ln \psi_{i,j} + \tau_1 + \tau_2 \varphi_j + \tau_3 \lambda_j \quad (7.4.21)$$

trong đó :  $\varphi_j, \lambda_j$  là tọa độ của điểm cần nội suy,

:  $\psi_{i,j}$  là khoảng cách cầu giữa các cặp điểm i,j, được tính như sau:

$$\sin^2 \frac{\psi_{i,j}}{2} = \sin^2 \frac{(\varphi_j - \varphi_i)}{2} + \cos \varphi_i \cos \varphi_j \sin^2 \frac{(\lambda_j - \lambda_i)}{2} \quad (7.4.22)$$

các hệ số  $a_1, \tau_1, \tau_2, \tau_3$  là nghiệm của hệ phương trình:

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} & 1 & \varphi_1 & \lambda_1 \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} & 1 & \varphi_2 & \lambda_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nn} & 1 & \varphi_n & \lambda_n \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \varphi_1 & \varphi_2 & \dots & \varphi_n & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_1 & \lambda_2 & \dots & \lambda_n & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \\ \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \\ \vdots \\ \zeta_n \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7.4.23)$$

Thuật toán nội suy của mỗi mô hình được ghi trong tệp định nghĩa \*DEF. Thuật toán nội suy ghi trong tệp đó là thuật toán nội suy mặc định, có thể sử dụng thuật toán khác với thuật toán đã mặc định. Thí dụ Mô hình OSU91A có thuật toán mặc định là spline, song có thể sử dụng thuật toán song bình phương, hoặc song tuyến.

#### 7.4.3.4. Thuật toán Collocation

Thuật toán Collocation hay gọi đầy đủ là phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất LSC (*Least Squares Collocation*). Công thức nội suy Collocation có dạng:

$$l_A = C_{Al} C_{ll}^{-1} l \quad (7.4.24)$$

Trong đó  $l$  là véc tơ gồm các giá trị đã biết,  $C_{ll}$  là ma trận hiệp phương sai phụ thuộc vào khoảng cách của các giá trị đã biết đó,  $C_{Al}$  là véc tơ gồm các giá trị hiệp phương sai (theo khoảng cách) của điểm cần nội suy A với các điểm đã biết,  $l_A$  là giá trị nội suy.

Để nội suy dị thường độ cao tại điểm A là  $\zeta_A$  theo các giá trị dị thường độ cao đã biết  $\zeta_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) theo phương pháp Collocation người ta có công thức thực dụng sau:

$$\zeta_A = [C_{A1} \ C_{A2} \ \dots \ C_{An}] \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nn} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \\ \vdots \\ \zeta_n \end{bmatrix} \quad (7.4.25)$$

trong đó:  $C_{Ai}$  và  $C_{ii}$  là các ma trận gồm các giá trị của hàm hiệp phương sai theo khoảng cách đã xác định được.

Như vậy, để nội suy Collocation, trước hết phải xác định được hàm hiệp phương sai dị thường độ cao. Có một số dạng hàm hiệp phương sai lý thuyết có thể sử dụng như hàm hiệp phương sai Hirvonen:

$$C(d) = \frac{C_0}{1 + d^2 / d_0^2} \quad (7.4.26)$$

Cũng có thể sử dụng hàm hiệp phương sai lý thuyết Markov bậc 3 có dạng:

$$C(d) = C_0 \cdot e^{-\frac{d}{d_0}} \left( 1 + \frac{d}{d_0} - \frac{d^2}{2 \cdot d_0^2} \right) \quad (7.4.27)$$

Ngoài ra còn có một số dạng hàm hiệp phương sai lý thuyết khác như hàm mũ do W. M. Kaula đề xuất:

$$C(d) = C_0 e^{-\frac{d}{d_0}} \quad (7.4.28)$$

Trong các công thức (7.4.26),(7.4.27),(7.4.28), giá trị  $d$  là khoảng cách giữa các điểm có giá trị đã biết,  $d_0$  là tham số đặc trưng của hàm và  $C_0$  là phương sai.

Tham số đặc trưng  $d_0$  và phương sai  $C_0$  của các hàm hiệp phương sai lý thuyết sẽ được xác định theo phương pháp xấp xỉ hàm dựa trên các giá trị hiệp phương sai thực nghiệm.

#### 7.4.4. Xác định dị thường độ cao dựa vào số liệu trọng lực và phép nội suy.

Như chúng ta đã biết, dị thường độ cao trọng lực có thể xác định dựa vào số liệu trọng lực, theo công thức Stock:

$$\zeta = \frac{1}{4\pi\gamma R} \iint_S (g - \gamma) S(\psi) d\sigma \quad (7.4.29)$$

trong đó  $S(\psi)$  là hàm Stock.

Dị thường độ cao xác định theo công thức (7.4.29) là khoảng cách giữa mặt kvadigeoid so với mặt ellipsoid chuẩn, không phải là mặt ellipsoid WGS-84.

Trong trường hợp này hiệu độ cao thường tại điểm nào đó sẽ được tính:

$$\mathbf{h}_i = \mathbf{H}_i^{GPS} - (\zeta_i + \delta\zeta_i) \quad (7.4.30)$$

trong đó  $\mathbf{H}_i^{GPS}$  là độ cao của điểm xét so với ellipsoid chuẩn,  $\zeta_i$  được xác định theo (7.4.29).

Giá trị  $\delta\zeta_i$  trong (7.4.30) bao gồm sự khác nhau giữa 2 ellipsoid và sự chưa phù hợp giữa dị thường độ cao trọng lực tính theo (7.4.29) và dị thường độ cao thực tế. Từ công thức (7.4.30) ta rút ra:

$$\delta\zeta_i = \mathbf{H}_i^{GPS} - \zeta_i - \mathbf{h}_i \quad (7.4.31)$$

Trong trường hợp này nếu có một số lượng điểm song trùng không ít hơn 3, chúng ta sẽ thực hiện nội suy giá trị  $\delta\zeta_i$  theo thuật toán song tuyến:

Phương trình số hiệu chỉnh trong trường hợp này có dạng:

$$\mathbf{v}_i = \mathbf{c} + \mathbf{a} \cdot \mathbf{x}_i + \mathbf{b} \cdot \mathbf{y}_i - (\mathbf{H}_i^{GPS} - \zeta_i - \mathbf{h}_i) \quad (7.4.32)$$

Từ các phương trình (7.4.32), theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất chúng ta sẽ giải được 3 tham số  $a, b, c$ . Từ đó giá trị  $\delta\zeta_k$  của điểm  $k$  bất kỳ trong khu vực sẽ được tính:

$$\delta\zeta_k = \mathbf{c} + \mathbf{a} \cdot \mathbf{x}_k + \mathbf{b} \cdot \mathbf{y}_k \quad (7.4.33)$$

Cuối cùng, độ cao thường của điểm  $k$  được tính:

$$\mathbf{h}_k = \mathbf{H}_k^{GPS} - \zeta_k - \delta\zeta_k \quad (7.4.34)$$

trong đó  $\zeta_k$  là dị thường độ cao trọng lực của điểm k, tính theo (7.4.29).

Phương pháp này chỉ nội suy phần dư của dị thường độ cao theo mô hình tuyến tính, thường phù hợp hơn so với nội suy trực tiếp dị thường độ cao.

#### 7.4.5. Ứng dụng của đo cao GPS

Như đã phân tích ở trên, mấu chốt của đo cao GPS là xác định được dị thường độ cao hoặc hiệu dị thường độ cao giữa hai điểm với độ chính xác cần thiết. Sau khi bình sai mạng lưới GPS trong hệ tọa độ không gian địa tâm, chúng ta sẽ nhận được tọa độ bình sai X,Y,Z của các điểm. Bằng các công thức tính đổi tọa độ giữa hệ vuông góc địa tâm và hệ tọa độ trắc địa (1.3.4),(1.3.6), chúng ta dễ dàng nhận được độ cao trắc địa H cùng tọa độ trắc địa B,L của các điểm. Nếu tại các điểm của mạng lưới, chúng ta có giá trị độ cao Geoid N (hay dị thường độ cao  $\zeta$ ), theo công thức (7.4.1) chúng ta sẽ nhận được độ cao thuỷ chuẩn của các điểm. Nếu trong lưới GPS có 1 điểm có độ cao thuỷ chuẩn h, thì các điểm khác sẽ được xác định độ cao thuỷ chuẩn theo điểm đã biết này. Trong trường hợp này sẽ không sử dụng giá trị tuyệt đối của độ cao trắc địa mà thực chất là sử dụng hiệu độ cao trắc địa giữa các điểm trong lưới.

Để xác định độ cao thuỷ chuẩn cho một số điểm GPS có thể thực hiện theo 2 cách sau đây:

1. *Dẫn độ cao bằng thuỷ chuẩn hình học từ mốc độ cao nhà nước đến một số mốc trong lưới GPS*

2. *Bố trí một số điểm GPS trùng vào mốc thuỷ chuẩn nhà nước*. Trong trường hợp này nếu tại điểm thuỷ chuẩn không thể thu tín hiệu GPS được (do bị che chắn tín hiệu) thì có thể thực hiện đo lệch tâm, tức là bố trí một điểm phụ gần đó và xác định độ cao cho điểm phụ bằng thuỷ chuẩn hình học từ điểm thuỷ chuẩn nhà nước qua một vài trạm máy.

Các điểm GPS có độ cao hình học được gọi là các điểm song trùng. Các điểm này dùng kiểm tra việc xác định độ cao cho các điểm lưới GPS, làm cơ sở nội suy độ cao Geoid (hay dị thường độ cao) cho các điểm khác trong lưới, góp phần nâng cao độ chính xác xác định độ cao đồng thời cũng có thể sử dụng để chính xác hoá mô hình Geoid/Quasigeoid đã có trên khu vực này.

Qua nghiên cứu, khảo sát cho thấy, ở nước ta nếu sử dụng mô hình Geoid toàn cầu EGM2008, thì có thể đo cao GPS đạt độ chính xác tương đương thuỷ chuẩn hạng IV ở vùng đồng bằng và thuỷ chuẩn kỹ thuật ở vùng trung du và vùng núi. Tất nhiên cũng phải chú trọng tới độ chính xác đo GPS tương đối, kể cả vấn đề đo chiều cao anten máy thu GPS.

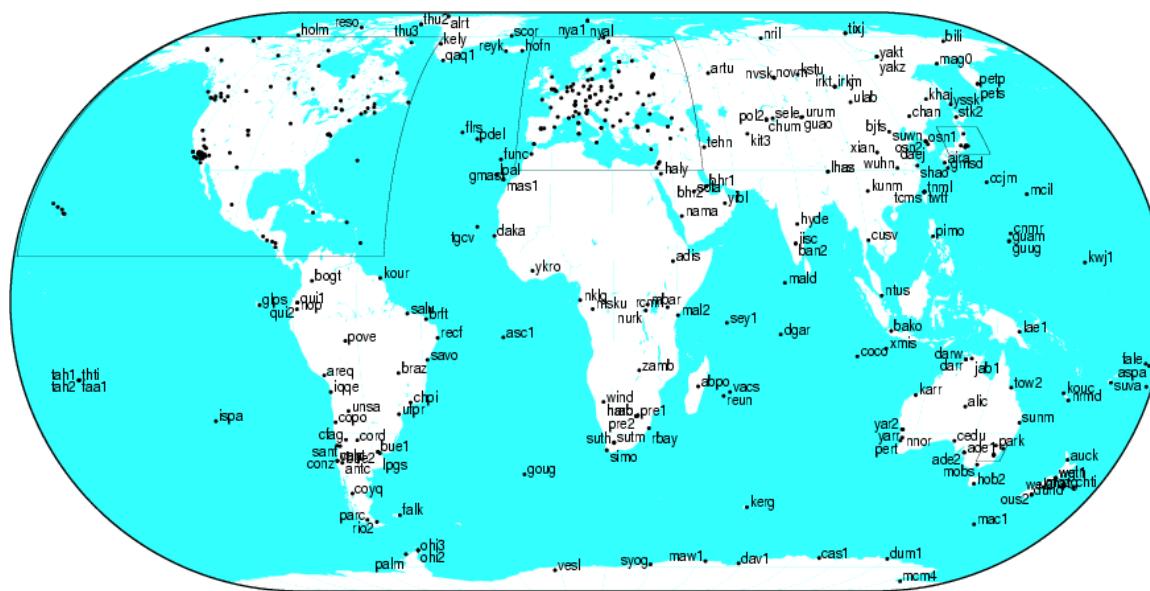
Hiện nay vấn đề sử dụng đo cao GPS để thay thế đo cao hình học hạng III,IV vẫn đang là vấn đề được nhiều người quan tâm. Ưu điểm của phương pháp đo cao GPS thì đã rõ nhưng nhược điểm của nó hiện nay là chưa bảo đảm độ tin cậy 100% trên tất cả các khu vực và trên mọi điều kiện địa hình. Chính vì thế, trong Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về xây dựng lưới độ cao, ban hành năm 2008 [5] vẫn chưa coi đo cao GPS là phương pháp có thể thay thế cho đo cao hình học hạng IV.

## 7.5. ÚNG DỤNG GNSS TRONG NGHIÊN CỨU ĐỊA ĐỘNG

Nghiên cứu địa động là một trong các nhiệm vụ của trắc địa cao cấp. Số liệu quan trắc địa động do hoạt động kiến tạo (địa chất) hoặc đo khai thác mỏ, khai thác nước vv... giúp định hướng trong quy hoạch phát triển bền vững (lãnh thổ) và hướng tới khả năng dự báo các tai biến tự nhiên như động đất, trượt lở đất vv...

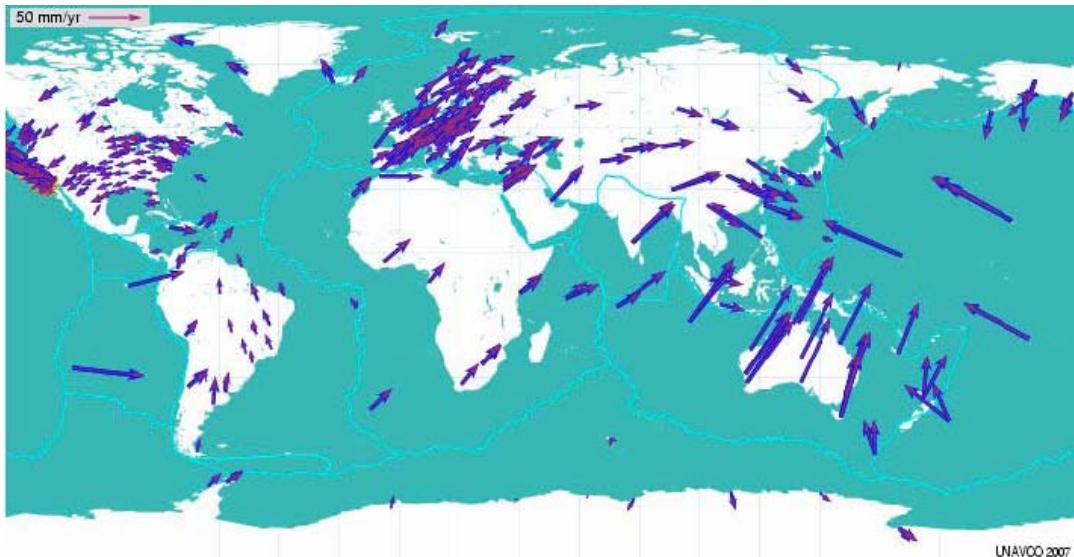
Từ khi công nghệ GPS được ứng dụng vào trắc địa, người ta đã sử dụng GPS như là một công cụ quan trọng trong nghiên cứu địa động. Tổ chức IGS là tổ chức quốc tế quan trọng trong việc phối hợp các quốc gia tham gia nghiên cứu địa động trên toàn cầu.

Cho đến nay, mạng lưới IGS đã có tới trên 500 trạm quan sát thường xuyên phân bố trên tất cả các châu lục. Tại các trạm IGS, người ta sử dụng máy thu đa tần số liên tục thu tín hiệu vệ tinh GNSS với tần suất ghi là 30s. Với hệ thống trạm thường trực IGS và khả năng cung cấp số liệu liên tục trên internet, chúng ta có thể khai thác các số liệu IGS phục vụ nghiên cứu địa động (giám sát các hoạt động địa kiến tạo) trên khu vực, trên lãnh thổ quốc gia. Sơ đồ các trạm IGS trên toàn cầu được thể hiện trên hình (7.31)



Hình 7.31. Các trạm IGS trên toàn cầu (2008)

Đặc điểm chung của các mạng lưới phục vụ nghiên cứu địa động là lưới cạnh dài. Chiều dài cạnh có thể hàng chục km, hàng trăm km thậm chí là hàng ngàn km. Trong nghiên cứu địa động toàn cầu, người ta không chỉ sử dụng công nghệ GNSS mà còn sử dụng một số công nghệ đo đạc trên khoảng cách dài như kỹ thuật giao thoa cạnh đáy dài VLBI, đo khoảng cách bằng laser đến vệ tinh SLR, đo khoảng cách bằng laser đến Mặt Trăng LLR, kỹ thuật DORIS vv... Trên hình 7.32 là bản đồ véc tơ chuyển dịch kiến tạo toàn cầu được xác định từ số liệu quan trắc địa động.

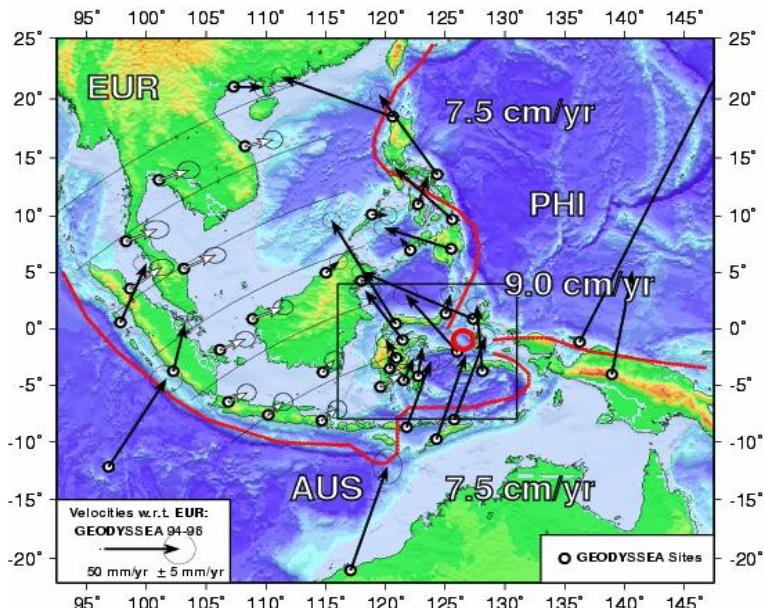


Hình 7.32. Bản đồ véc tơ chuyển dịch kiến tạo toàn cầu

Trong các năm 1994-1998, các nhà khoa học về địa động lực của 6 nước Châu Âu là Đức, Pháp, Hà Lan, Bỉ, Anh, Ý cùng các nhà khoa học của 8 nước ASEAN đã triển khai Dự án GEODYSSSEA, nghiên cứu địa động vùng Nam và Đông-Nam Châu Á. Dự án đã xây dựng mạng lưới cạnh dài “Geodyssea” gồm 42 trạm được xây dựng ở một số nước trong khu vực, mạng lưới bao trùm một diện tích khoảng  $4000 \times 4000 \text{ km}$  [1].

Trong mạng lưới này có 2 điểm trên lãnh thổ Việt Nam là điểm CAMP đặt tại Quảng Ninh và điểm NONN đặt tại Đà Nẵng.

Sau xử lý, nhận được kết quả với độ chính xác mặt bằng khoảng 4-7mm và về độ cao khoảng 10mm. Trên hình 7.33. là sơ đồ véc tơ chuyển dịch khu vực Đông Nam Á, được thiết lập dựa trên mạng lưới GEODYSSSEA, trong đó coi khu vực Châu Âu là không chuyển dịch.



Hình 7.33. Véc tơ chuyển dịch trong lưới Geodyssea

Ngoài dự án GEODYSSSEA, Việt Nam còn tham gia Dự án quan trắc địa khu vực Châu Á-Thái Bình Dương APRGP (*The Asia Pacific Regional Geodetic Project*) nghiên cứu chuyển dịch vỏ Trái đất ở khu vực, bắt đầu từ năm 1997. Dự án APRGP được tổ chức PCGIAP (*Permanent Committee on GIS Infrastructure for Asia and the Pacific*) điều hành trong đó có các nước trong khu vực tham gia như Việt Nam, Indonesia, Thái Lan, Malaysia, Singapor, Australia vv...

Trong những năm 1990 đến nay, ở nước ta, GPS đã được ứng dụng trong quan trắc hoạt động của đới đứt gãy Sông Hồng, nghiên cứu đứt gãy Lai Châu- Điện Biên, đứt gãy Sông Mã và tham gia nghiên cứu địa động lực Biển Đông vv...

Xung quanh Việt Nam có một số trạm thường trực trong mạng lưới IGS thường được sử dụng trong nghiên cứu địa động, đó là các điểm PIMO đặt tại Phi Líp Pin, điểm WUHN đặt tại Vũ Hán, điểm KUNM đặt tại Côn Minh, Trung Quốc, điểm DAEJ đặt tại Hàn Quốc, điểm IIISC đặt tại Ấn Độ, điểm BAKO đặt ở Indonesia, điểm NTUS ở Singapore vv... Số liệu đo liên tục dạng RINEX của các điểm IGS có thể tải về từ địa chỉ:  
<http://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/data/daily>

Để phối hợp với các điểm IGS, các điểm GNSS trong lưới nghiên cứu địa động thường được bố trí chôn sâu (tối đa 10m) và độ dài cao ít nhất là 24 giờ. Việc xử lý số liệu các mạng lưới GNSS trong nghiên cứu địa động thường được thực hiện bằng các phần mềm khoa học (chuyên dụng) như Bernese, Gamit/Globk vv...và sử dụng lịch vệ tinh chính xác.

Lịch vệ tinh chính xác được lấy từ địa chỉ: <http://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/> Khi xử lý lưới GPS nghiên cứu địa động bằng các phần mềm nói trên phải xét tới một số vấn đề liên quan như: chuyển đổi cực trái đất, địa triều vv..., các dữ liệu này được IGS cung cấp qua Internet.

Hiện nay, người ta cũng sử dụng GPS để quan trắc chuyển dịch biến dạng mặt đất do khai thác khoáng sản hoặc các hiện tượng trượt lở đất do tác động ngoại sinh. Lưới GPS phục vụ quan trắc thường có chiều dài cạnh không lớn và được quan trắc với độ chính xác cao theo các tuyến quan trắc được thiết kế trước. Trong một số trường hợp người ta phối hợp GPS và toàn đạc điện tử để quan trắc chuyển dịch biến dạng mặt đất trên phạm vi cục bộ.

## 7.6. MỘT SỐ ỨNG DỤNG GPS TRONG QUÂN SỰ

Hệ thống GPS của Mỹ cũng như GLONASS của Nga vốn là hệ thống định vị toàn cầu phục vụ cho mục đích quân sự do Bộ quốc phòng Mỹ xây dựng và bảo trì. Hệ thống GPS được sử dụng cho mục đích quân sự của Mỹ và đồng minh của Mỹ với khả năng tối đa của hệ thống GPS thông qua tín hiệu P-code, Y-code và M-code (*Military Code*), ngoài tín hiệu C/A code được sử dụng rộng rãi trong dân sự.

Ứng dụng thông thường nhất của GNSS trong quân sự là định vị, dẫn đường cho các phương tiện quân sự khác nhau như tàu chiến trên biển, máy bay trong không gian, xe tăng

trên mặt đất vv... Ngoài ra, GPS còn có vai trò quan trọng trong dẫn đường cho các tên lửa đạn đạo (*Ballistic Missiles*) và tên lửa hành trình (*Cruise Missiles*) với tầm hoạt động có thể đến hàng ngàn km. Giải pháp phối hợp công nghệ GPS với hệ thống dẫn đường quán tính INS hiện đang được sử dụng phổ biến trong dẫn đường vũ khí. Sau đây chúng ta có thể tìm hiểu một số ứng dụng cụ thể của GPS trong quân sự

#### 7.6.1. Định vị và trinh sát trong chiến tranh hiện đại

Định vị và dẫn đường là nhiệm vụ quan trọng trong quân sự, nó hỗ trợ cho chỉ huy triển khai thực hiện chiến thuật trong chiến đấu để đạt được hiệu quả cao nhất. Hiện nay các phương tiện quân sự như xe chỉ huy, xe tăng, xe vận tải, máy bay, tàu chiến vv... đều được trang bị thiết bị định vị GPS có khả năng khai thác tín hiệu P-code. Với tín hiệu P-code, độ chính xác định vị tuyệt đối tức cho máy bay có thể đạt trong giới hạn 40 ft, tức là khoảng 12m và vận tốc là 0,1m/s [46]. Nếu sử dụng kỹ thuật định vị vi phân DGPS thì độ chính xác cao hơn, sai số trong khoảng 5m (95%) và sai số vận tốc là 0,01m/s [48].

Trên hình 7.34 là thiết bị định vị dẫn đường GPS trên một phương tiện quân sự.



Hình 7.34. Thiết bị định vị dẫn đường bằng GPS trên phương tiện quân sự

Máy thu GPS cầm tay được sử dụng rộng rãi đối với các cá thể trên chiến trường. Máy thu GPS cầm tay có ưu điểm là gọn nhẹ, dễ thao tác sử dụng (hình 7.35). Bằng máy thu GPS cầm tay, người lính dễ dàng xác định tọa độ của mình trong hệ tọa độ (thực dụng) để báo cáo với chỉ huy trong chiến đấu. Máy thu GPS cầm tay kết hợp cùng với máy đo khoảng cách laser và la bàn giúp lính trinh sát nhanh chóng xác định tọa độ mục tiêu của đối phương để báo cáo ngay cho các đơn vị hỏa lực phối hợp chiến đấu.

Trong điều kiện chiến tranh, các máy thu GPS sử dụng trong quân sự có khả năng khai thác tín hiệu P-code và có khả năng chống gây nhiễu của đối phương (*Anti-Jam*). Trên hình 7.36a là máy thu GPS dạng cầm tay có anten tiêu chuẩn (thông thường) và hình 7.36b là máy thu GPS cầm tay có anten chống gây nhiễu.



Hình 7.35. Thao tác định vị GPS  
ở chiến trường



Hình 7.36. Máy thu GPS cầm tay trong quân sự

Một số thiết bị GPS cầm tay được tích hợp với bộ đàm để có khả năng liên lạc vô tuyến giữa chỉ huy và các cá thể sử dụng máy định vị trong chiến đấu (hình 7.37). Trên hình 7.38 là máy bộ đàm Radio tích hợp định vị GPS CSEL (*Combat Survivor/Evader Locator*).



Hình 7.37. Bộ đàm cầm tay tích hợp với GPS  
(Hook 112 SAR)



Hình 7.38. Bộ đàm cầm tay tích hợp  
với GPS (CSEL)

Trong chiến tranh hiện đại, vấn đề xác định vị trí của các phương tiện quân sự đối phương và điều khiển vũ khí để tiêu diệt là nhiệm vụ của bộ phận trinh sát chiến trường.

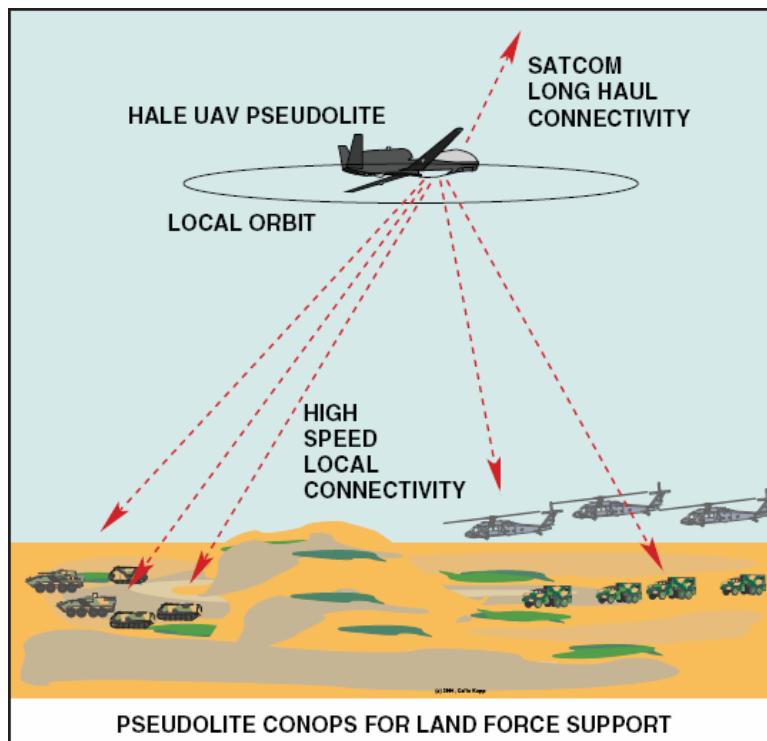
Trong một không gian chiến trường rộng lớn, nhiệm vụ trinh sát chiến trường thường được thực hiện bằng máy bay không người lái UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) (hình 7.39). Đây là loại máy bay được phát triển phục vụ cho mục đích quân sự và cho một số mục đích khác.



Hình 7.39. Máy bay không người lái UAV

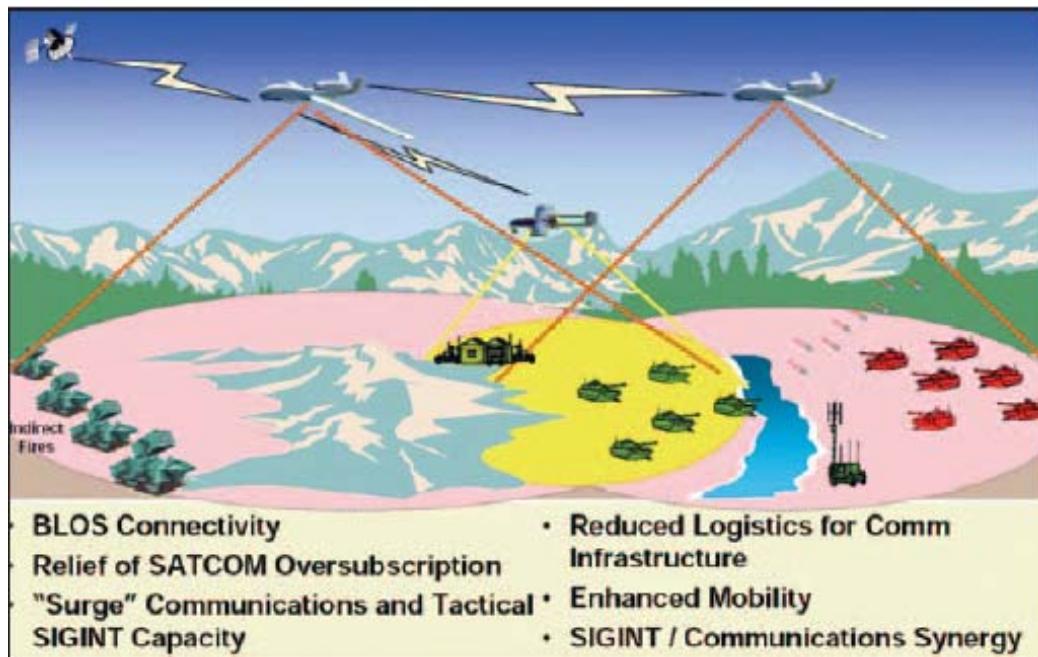
Máy bay không người lái được định vị dẫn đường bằng GPS hoặc bằng kỹ thuật DGPS. Để xác định hướng của máy bay, trên một máy bay có thể có đến 5 anten thu tín hiệu GPS bố trí ở các vị trí khác nhau của máy bay.

Trong trình sát bắn máy bay không người lái, UAV có thể đóng vai trò như giả vệ tinh bay theo “quỹ đạo cục bộ” và kết nối thông tin với vệ tinh SATCOM để hỗ trợ chiến đấu ở mặt đất (hình 7.40)



Hình 7.40. Máy bay không người lái hỗ trợ chiến đấu mặt đất

Trên hình 7.41 là một trường hợp sử dụng các máy bay không người lái để điều khiển các phương tiện chiến tranh trên chiến trường.



Hình 7.41. Máy bay không người lái trong chiến tranh hiện đại

### 7.6.2. Dẫn đường vũ khí bằng GPS

Trong lịch sử chiến tranh có sử dụng tên lửa đạn đạo hoặc tên lửa hành trình, độ chính xác và hiệu quả của loại vũ khí này phụ thuộc vào kỹ thuật dẫn đường vũ khí (Munition Guidance). Trong chiến tranh thế thứ II, khi kỹ thuật dẫn đường vũ khí còn ở trình độ sơ khai, độ chính xác ném bom thường của Mỹ là khoảng 1000m [47], độ chính xác của bom bay V1,V2 của Đức có sử dụng kỹ thuật dẫn đường bằng con quay là khoảng 1 hải lý [49]. Trong chiến tranh Triều Tiên, độ chính xác ném bom thường của Mỹ là khoảng 300m, trong chiến tranh ở Việt Nam độ chính xác là khoảng 120m [47].

Từ khi kỹ thuật dẫn đường vũ khí dựa trên công nghệ mới được phát triển, độ chính xác và hiệu quả của vũ khí đã được nâng lên đáng kể.

Hiện nay ngoài các phương pháp dẫn đường vũ khí bằng tín hiệu vô tuyến, bằng laser, bằng hệ thống quán tính (INS), dẫn đường vũ khí bằng GPS hoặc tích hợp GPS/INS là giải pháp công nghệ có hiệu quả và giá thành thấp hơn. Người ta tính rằng một bom dẫn đường bằng laser có giá thành tới 60000 USD nhưng dẫn đường bằng GPS kết hợp INS giá thành chỉ còn khoảng 18000 USD [45].

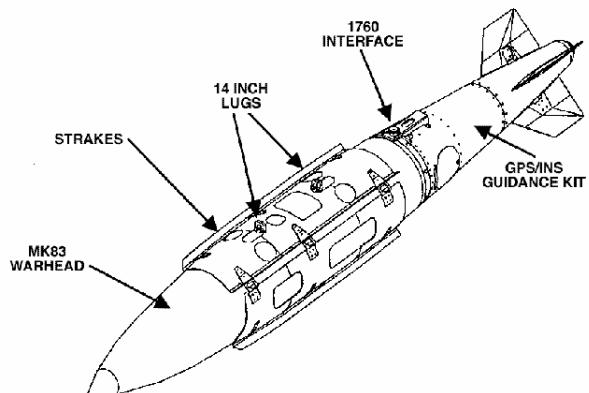
Với công nghệ dẫn đường hiện đại, Mỹ và một số nước đã sản xuất ra loại vũ khí thông minh (*Smart Munitions*). Đây là vấn đề được quan tâm của các nhà quân sự trong chiến tranh hiện đại.

Với loại bom tấn công trực tiếp liên kết JDAM (Joint Direct Attack Munitions) GBU-31/32 JDAM, được dẫn đường bằng INS với khoảng thời gian bay tự do nhỏ hơn 100s thì độ chính xác trong khoảng 30m, nhưng nếu sử dụng phối hợp kỹ thuật dẫn đường bằng GPS/INS thì độ chính xác nâng cao hơn, khoảng 13m hoặc nhỏ hơn [47].

Tên lửa DF-15A của Trung Quốc được dẫn đường bằng quán tính có điều khiển điểm rơi (*Terminal Control*) đạt độ chính xác khoảng 30-45m [47].

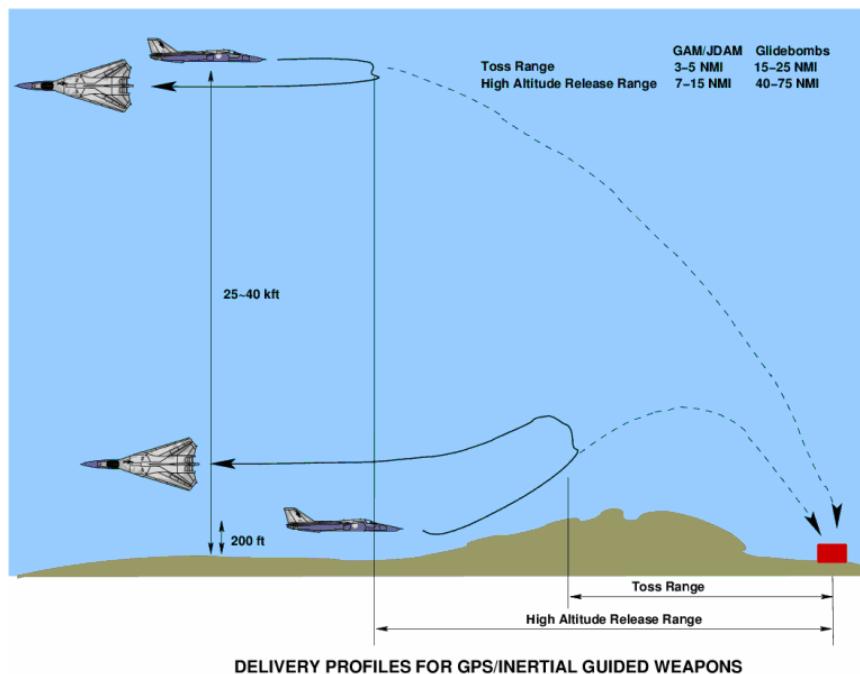
Trên hình 7.42 là bom tấn công trực tiếp GBU-32 JDAM dẫn đường bằng GPS/INS.

### GBU-32 JDAM Joint Direct Attack Munition



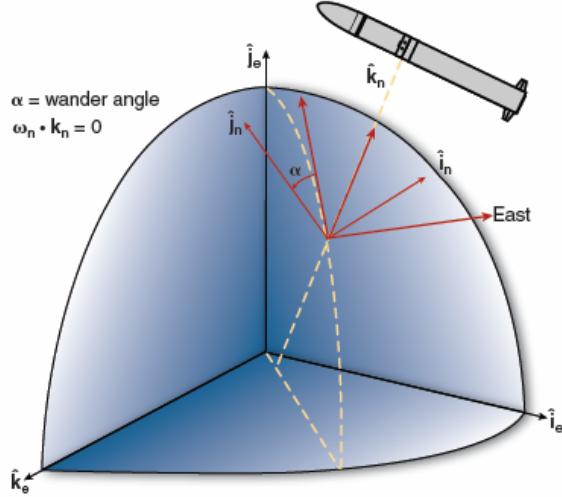
Hình 7.42. Bom GBU-32 JDAM được dẫn đường bằng GPS/INS

Trên hình 7.43 là các tình huống sử dụng bom GBU-32 JDAM ném từ máy bay.



Hình 7.43. Các tình huống ném bom tấn công trực tiếp GBU-32 JDAM

Trong dẫn đường tên lửa hành trình và tên lửa đạn đạo, hệ tọa độ không gian tức thời xác lập trên quỹ đạo chuyển động của tên lửa được sử dụng để tính toán các tham số điều khiển trạng thái bay, trong đó yếu tố góc trôi dạt  $\alpha$  (wander angle) là một tham số quan trọng (hình 7.44).



Hình 7.44. Hệ tọa độ dùng trong dẫn đường tên lửa

Các thế hệ tên lửa hành trình AGM-86 của Mỹ là loại tên lửa có tầm hoạt động từ 680 đến 1100 km, vận tốc bay là 890km/h (0.73 mach). Tên lửa AGM-86 thường được phóng đi từ máy bay B-52. Thế hệ AGM-86 B được dẫn đường bằng phương pháp làm khớp địa hình TERCOM (*TERain COntour Matching system*). Thế hệ AGM-86 C được dẫn đường bằng GPS kết hợp INS. Tên lửa hành trình AGM-86D của Mỹ có độ chính xác cỡ 5m. Trên hình 7.45 là tên lửa hành trình AGM-86D.



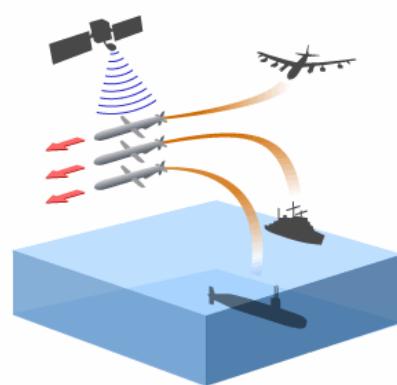
Hình 7.45. Tên lửa hành trình AGM-86D

Tên lửa hành trình Tomahawk của Mỹ là loại vũ khí tấn công hiện đại thông dụng hiện nay (hình 7.46). Thế hệ đầu tiên của loại tên lửa Tomahawk được chế tạo từ những năm 1980.

Tomahawk có chiều dài 5.56m, trọng lượng 1300kg, sải cánh 2,67m. Tên lửa Tomahawk có thể phóng đi từ máy bay, từ tàu chiến hoặc từ tàu ngầm (hình 7.47). Cự ly tấn công của Tomahawk có thể đến 1600km và bay với vận tốc 880km/h. Loại vũ khí này bay theo địa hình và được dẫn đường bằng kỹ thuật làm khớp địa hình TERCOM hoặc bằng kỹ thuật DSMAC (*Digital Scene Matching Area Correlation*) (hình 7.48 và hình 7.49). Thế hệ Tomahawk IV giai đoạn II đã sử dụng kỹ thuật dẫn đường bằng GPS, có cài đặt tọa độ điểm đích.



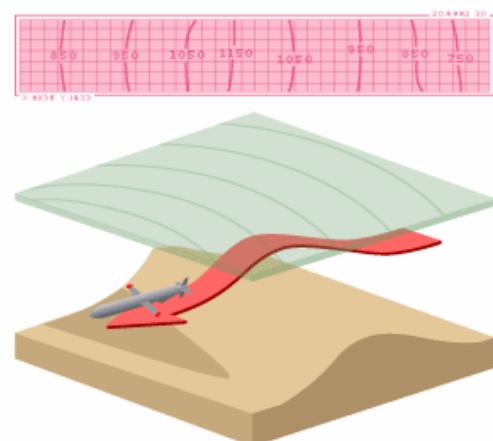
Hình 7.46. Tên lửa hành trình Tomahawk



Hình 7.47. Tomahawk được phóng đi



Hình 7.48. Kỹ thuật dẫn đường TERCOM và DSMAC



Hình 7.49. Hành trình theo địa hình của Tomahawk

Có thể nhận thấy rằng vai trò của công nghệ GNSS trong quân sự và trong chiến tranh hiện đại là hết sức quan trọng. Nhờ có công nghệ GNSS, hiệu quả phá hủy mục tiêu quân sự của vũ khí được phát huy tối đa, giảm thiểu tổn thất về người. Nhiệm vụ trinh sát và chỉ huy chiến trường được triển khai nhanh chóng và chính xác. Chính vì thế, các nước lớn trên thế giới đều tự xây dựng cho mình một hệ thống định vị vệ tinh riêng, đồng thời sử dụng kỹ thuật bảo mật để chủ động trong khai thác công nghệ vệ tinh phục vụ mục đích quân sự, quốc phòng.

## Chương 8

### XỬ LÝ SỐ LIỆU ĐO GNSS

#### 8.1. QUY TRÌNH XỬ LÝ SỐ LIỆU LUỚI GPS

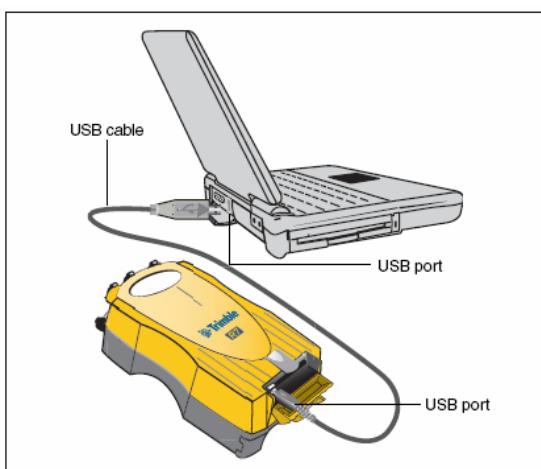
Trong mọi trường hợp đo lưới GPS, việc xử lý số liệu đo và kiểm tra chất lượng đo phải thực hiện thường xuyên, ít nhất là 1 lần trong ngày. Không nên để dồn số liệu của nhiều ngày đo rồi mới xử lý. Chúng ta biết rằng trong đo GPS có thể xảy ra hiện tượng trượt chu kỳ (*Cycle Slip*) đối với trị đo pha, do đó kiểm tra số liệu sẽ phát hiện hiện và hiệu chỉnh tượng trượt chu kỳ. Xử lý vectơ cạnh cho phép ta kết luận về chất lượng đo trước khi kết thúc công việc ngoại nghiệp. Nhờ đó có thể phát hiện những sai sót trong đo đạc để kịp thời đo lại hoặc đo bổ sung.

Công đoạn xử lý số liệu lưới GPS bao gồm 4 bước sau:

1. Trút số liệu từ máy thu vào máy tính
2. Xử lý véc tơ cạnh (baselines)
3. Kiểm tra lưới
4. Bình sai lưới

#### 8.1.1. Trút số liệu

Bước đầu tiên trong công đoạn xử lý là trút số liệu từ máy thu vào ổ đĩa cứng của máy vi tính. Việc trút số liệu được thực hiện nhờ phần mềm của hãng chế tạo máy thu cung cấp, thí dụ như modul độc lập dùng trút số liệu GUpload của hãng Trimble hoặc chức năng GUpload của GPSurvey 2.35 hoặc Trimble Geomatic Office hay sử dụng modul trút số liệu **Data Transfer** cho máy thu R-3. Đối với các máy thu của hãng TOPCON, sử dụng modul TOPCON LINK để trút số liệu. Cần lưu ý tới cổng trút số liệu và cáp trút số liệu. Các máy thu GNSS thế hệ mới có cổng giao tiếp với máy tính qua cổng USB (hình 8.1).



Hình 8.1. Kết nối máy thu GPS với máy tính

Một số máy GPS cũ như Trimble 4600LS, có cáp trút số liệu giao tiếp với máy tính qua cổng COM, mà hiện nay nhiều máy tính thế hệ mới không có cổng COM, chủ yếu là cổng USB. Cần có bộ chuyển đổi COM-USB khi trút số liệu cho loại máy thu này.

Số liệu trút từ máy thu vào máy tính gồm các trị đo pha L1, hoặc L1 và L2, các trị đo khoảng cách giả C1 và hoặc C1, P1, P2. Với một số máy thu còn kèm theo trị đo Doppler D1,D2. Trong tệp số liệu đo còn có tọa độ gần đúng (X,Y,Z) của điểm đặt máy cùng với số hiệu điểm, độ cao anten đã nhập từ khi khởi động máy (nếu có), Ngoài số liệu đo, số liệu được trút vào còn có tệp lịch vệ tinh quảng bá phục vụ cho các tính toán tiếp theo.

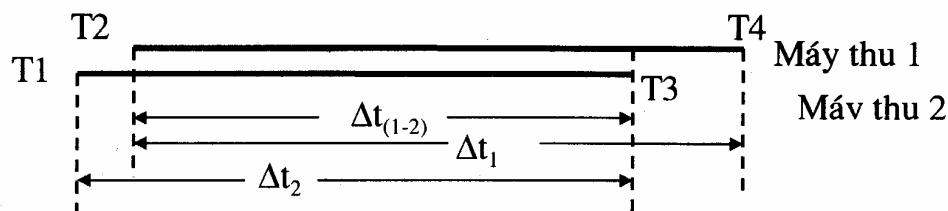
Có một số máy thu không có thao tác vào tên điểm và độ cao anten ở thực địa (như máy Trimble 4600LS), thì trong giai đoạn trút số liệu sẽ phải làm thủ tục này. Đối với các máy thu đã vào tên điểm trạm máy, độ cao anten ngay tại thực địa, thì cần kiểm tra lại các dữ liệu đã vào. Nếu phát hiện thấy sai cần chỉnh sửa ngay. Độ cao anten có thể nhập là độ cao đúng (*True Vertical*) và cũng có thể nhập vào độ cao đo (*Uncorrected Vertical*) phù hợp với chủng loại anten và cách đo đã quy định. Cần nhớ rằng, khi đo cao anten chúng ta đã đo chính xác đến 1mm, nhưng nếu nhập sai chủng loại anten hoặc sai kiểu đo cao anten thì sẽ phạm sai số cỡ vài cm hoặc lớn hơn trong kết quả cuối cùng.

Trong khi trút số liệu cần có sổ đo hoặc bảng tổng hợp ghi chép tại các trạm máy. Khi trút số liệu, có thể căn cứ vào thời gian bắt đầu, thời gian kết thúc và căn cứ tọa độ địa lý của điểm đo để phát hiện những nhầm lẫn về tên điểm.

Nói chung các tệp số liệu đo thu được cần lưu ngay vào thiết bị trung gian như USB, CD vv... Tốt nhất nên có bộ nhớ trung gian có dung lượng lớn để ghi các số liệu đo ngay sau khi trút nhằm bảo đảm an toàn dữ liệu đo.

### 8.1.2. Xử lý véc tơ cạnh

Việc xử lý cạnh được thực hiện dựa trên cơ sở thời gian chung và vệ tinh chung đối với hai máy thu. Khoảng thời gian chung khi đo tĩnh được thể hiện trên hình 8.2.



Hình 8.2. Nguyên tắc tính thời gian chung

Trên hình 8.2 thể hiện khoảng thời gian thu tín hiệu của máy thu 1 và máy thu 2 là  $\Delta t_1$  và  $\Delta t_2$ , trong đó:

$$\Delta t_1 = T4 - T2 ; \Delta t_2 = T3 - T1$$

T1 và T3 là các thời điểm bắt và tắt máy thu 2

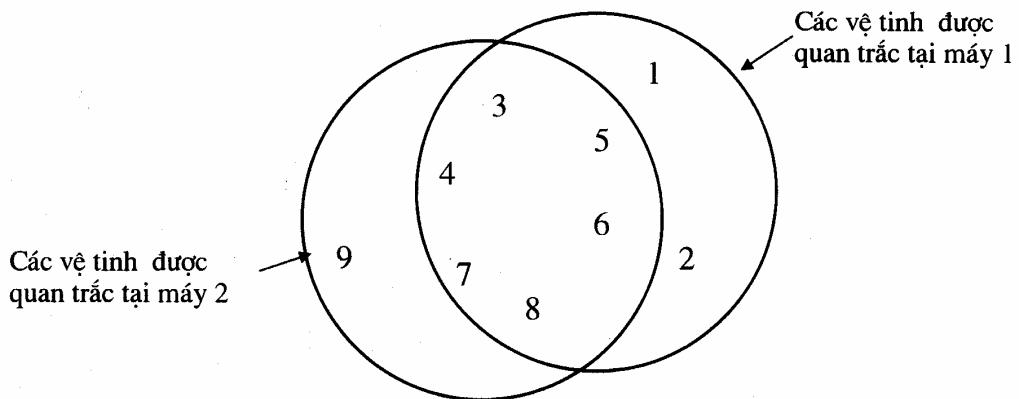
T2 và T4 là các thời điểm bắt và tắt máy thu 1

Thời gian chung, được sử dụng để tính cạnh là :

$$\Delta t_{(1-2)} = T3 - T2$$

Thời gian chung sẽ tính từ thời điểm của máy thu bắt sau đến thời điểm máy thu tắt trước của hai máy thu trong cùng ca đo. Khoảng thời gian đo thêm của máy tắt sau hay máy bắt trước đều không có giá trị tham gia tính cạnh. Như vậy trong khi thu tín hiệu nên đồng thời bắt máy và đồng thời tắt máy trong ca đo.

Khi tính cạnh, chỉ có những vệ tinh có số liệu ghi trong hai tệp của hai máy cùng ca đo mới có giá trị tham gia tính cạnh. Số vệ tinh chung được mô tả trên hình 8.3. Trong trường hợp này, tại máy thu 1 nhận được tín hiệu của 8 vệ tinh (1,2,3,4,5,6,7,8), còn máy thu 2 nhận được tín hiệu của 7 vệ tinh (3,4,5,6,7,8,9). Số lượng vệ tinh chung tham gia tính cạnh sẽ là 6, gồm các vệ tinh sau 3,4,5,6,7,8. Như vậy, cần phải bảo đảm sao cho các máy thu trong một ca đo, có số vệ tinh được quan sát đồng thời càng nhiều càng tốt. Để bảo đảm điều kiện trên cần lưu ý tới tình trạng che chắn tại các trạm máy. Khi chiều dài cạnh càng dài (cỡ hàng trăm, hàng ngàn km) thì số vệ tinh chung càng ít.



Hình 8.3. Số vệ tinh chung tham gia tính cạnh

Các phần mềm hiện đại cho phép xử lý nhiều tệp số liệu đo đồng thời để tính cạnh. Thường thường số liệu đo của một ngày được ghi vào một thư mục trong ổ đĩa cứng. Có hai chế độ xử lý, đó là xử lý từng vectơ và xử lý đồng thời nhiều vectơ. Có một số trường hợp, một trong các điểm trong ca đo khi quan trắc bị hỏng số liệu và tất cả các điểm được xử lý đồng thời, các sai số từ điểm hỏng sẽ nằm trong tất cả các vectơ và sai số sẽ được giữ lại. Chế độ xử lý vectơ đơn lẻ cho phép kiểm tra tốt hơn những cạnh sai hay điểm sai. Điểm sai có thể dễ dàng phát hiện nhờ số liệu thống kê như sai số trung phương đơn vị trọng số, sai số tiêu chuẩn bằng cách đổi chiều tham số của các cạnh được coi là chuẩn với các cạnh khác.Thêm vào đó, có thể

lấy tổng giá trị toạ độ theo một tuyến của ca đo, nếu như tổng giá trị số toạ độ theo vòng khép không nhỏ thì chứng tỏ một trong các điểm của ca đo có điều kiện đo kém.

Việc xử lý cho từng vectơ được thực hiện theo trình tự sau:

1. Tạo các tệp quỹ đạo
2. Tính giá trị tốt nhất vị trí điểm theo phương pháp giả khoảng cách
3. Đọc pha sóng tải để tạo số liệu pha (không hiệu số) và số liệu quỹ đạo vệ tinh.
4. Tạo hiệu pha và tính các hiệu chỉnh khác
5. Tính giá trị ước lượng vectơ sử dụng hiệu pha bậc 3. Phương pháp này cho phép phát hiện và bù lại hiện tượng trượt chu kỳ để nhận được kết quả tốt nhất .
6. Tính toán lời giải hiệu pha bậc 2 xác định véc tơ và giá trị (thực) của pha.
7. Ước lượng số nguyên đa trị của pha đã tính được từ bước trước, và có thể tiếp tục tính tiếp số nguyên đa trị chính xác.
8. Tính toán sai số lời giải dựa vào số nguyên đa trị chính xác nhất đã được tính ở bước trước.
9. Tính toán tiếp một số kết quả khác sử dụng số nguyên đa trị khác đi một chút (khác đi 1) từ các giá trị đã chọn.
10. Tính tỷ số phuơng sai RATIO theo tiêu chuẩn thống kê giữa lời giải xác định tốt nhất đã có với lời giải tốt kế tiếp. Tỷ số Ratio này phải ít nhất đạt giá trị 2 hoặc 3 , chứng tỏ lời giải chấp nhận tốt hơn 2 hoặc 3 lần so với các lời giải khác, có như vậy mới có đủ độ tin cậy đối với kết quả cuối cùng.

Có một số phương pháp khác nhau để đánh giá chất lượng từng cạnh. Những phân tích trước tiên phải dựa vào các chỉ tiêu thống kê đối với mỗi vectơ cạnh. Hai cạnh đo trình bày trên bảng 8.1 được đo tại Texas bằng máy thu 1 tần số [8]. Cả hai baseline đo trong khoảng thời gian 30 phút với 5 vệ tinh trong toàn chu kỳ đo và tần suất ghi tín hiệu là 20 giây. Trong bảng trình bày 3 dạng lời giải là Triple -difference (TRP), double-difference với giá trị đa trị xác định thực (FLT) và lời giải double-difference với giá trị đa trị xác định nguyên (FIX). Trong các cột trình bày gia số toạ độ không gian địa tâm .

Bảng 8.1. Thống kê cạnh (baselines)

| 1   | 2<br>DX<br>[m] | 3<br>DY<br>[m] | 4<br>DZ<br>[m] | 5<br>$\sigma_{Dx}$<br>[m] | 6<br>$\sigma_{Dy}$<br>[m] | 7<br>$\sigma_{Dz}$<br>[m] | 8<br>Ratio | 9<br>RMS<br>[m] |
|-----|----------------|----------------|----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|-----------------|
| TRP | -303.457       | 135.317        | 158.292        | 1.419                     | 1.011                     | 0.520                     |            | 0.003           |
| FLT | -303.431       | 135.314        | 158.284        | 0.068                     | 0.062                     | 0.027                     |            | 0.003           |
| FIX | -303.437       | 135.327        | 158.263        | 0.003                     | 0.006                     | 0.004                     | 30.1       | 0.004           |
| TRP | -191.888       | -343.451       | -546.721       | 6.686                     | 0.699                     | 1.488                     |            | 0.004           |

|     |          |          |          |       |       |       |     |       |
|-----|----------|----------|----------|-------|-------|-------|-----|-------|
| FLT | -192.221 | -343.366 | -546.721 | 0.538 | 0.069 | 0.102 |     | 0.007 |
| FIX | -192.217 | -343.192 | -546.689 | 0.027 | 0.107 | 0.051 | 1,7 | 0.052 |

Giá trị trong cột 5 đến cột 7 là sai số tiêu chuẩn (*standard errors*) của các giá số tọa độ đã cho trong cột 2 đến cột 4. Trong cột 8 là tỷ số phương sai Ratio và cột cuối cùng là sai số trung phương (RMS) tính bằng mét. Chỉ số quan trọng đối với chúng được cho trong cột 8 đó là tỷ số Ratio. Đối với cạnh thứ nhất tỉ số Ratio bằng 30,1 thể hiện độ tin cậy cao còn tỷ số Ratio của cạnh thứ hai chỉ là 1,7 trong trường hợp cạnh ngắn thì không khẳng định chất lượng là tốt. So sánh giá trị sai số tiêu chuẩn trong cột 5-7 ta thấy rằng cạnh thứ nhất khá nhỏ đối với lời giải FIX, còn cạnh thứ hai thì ngay lời giải FIX sai số cũng lớn. Giá trị RMS trong cột 9 cũng mang tính chất tương tự như vậy. Chúng ta có thể nhận thấy cạnh thứ hai có vấn đề qua số liệu ở bảng so sánh lời giải số đa trị xác định thực.

Bảng 8.2. Lời giải số đa trị xác định thực (Float)

| Cạnh thứ nhất |             | Cạnh thứ hai |             |
|---------------|-------------|--------------|-------------|
| Các vệ tinh   | Trị đa trị  | Các vệ tinh  | Trị đa trị  |
| 12-24         | -970431.089 | 03-16        | -184540.781 |
| 13-24         | -832899.977 | 17-16        | -155781.542 |
| 16-24         | 2235113.884 | 20-16        | 29969.388   |
| 20-24         | 61256.060   | 24-16        | 12931.837   |

Trong bảng trên khi tính sai phân bậc hai, các vệ tinh số 24 và 16 được lấy làm vệ tinh tham khảo (vệ tinh chuẩn) (*reference satellites*) cho cạnh thứ nhất và cạnh thứ hai. Có thể nhận thấy rằng, ở cạnh thứ nhất các số đa trị xác định thực đã khá gần với giá trị nguyên còn ở cạnh thứ hai thì giá trị thực không gần với giá trị nguyên. Thí dụ cặp vệ tinh 17-16 có hiệu số đa trị là -155781.542, khó có thể xác định đúng số nguyên đa trị. Khi đo các cạnh ngắn, ta có thể thực hiện tính toán lặp lại với vệ tinh tham khảo khác hoặc loại bỏ vệ tinh nghi ngờ là bị sai số lớn.

Theo [28], tiêu chuẩn đối với cạnh là:

Bảng 8.3. Tiêu chuẩn đối với cạnh

| Chiều dài cạnh      | Dạng lời giải       | RMS(m)  | Ratio |
|---------------------|---------------------|---------|-------|
| $D \leq 5\text{km}$ | L1 fix              | < 0,015 | > 3   |
| $D > 5\text{ km}$   | Ionosphere free fix | < 0,020 | > 3   |

### 8.1.3. Kiểm tra mạng lưới

Trước khi bình sai lưới cần kiểm tra chất lượng lưới. Lưới GPS được tạo thành từ nhiều vectơ cạnh. Nếu tất cả các cạnh đều đạt chỉ tiêu của chất lượng cạnh riêng rẽ thì thông thường toàn bộ lưới sẽ đạt yêu cầu. Như đã nói ở phần trước, trong lưới GPS, các vectơ cạnh thường

được đo khép kín (có thể là các vectơ cùng ca đo, hoặc khác ca đo). Dựa vào đặc điểm kết cấu hình học này chúng ta có thể kiểm tra lần cuối chất lượng đo của các vectơ cạnh trong mạng lưới nhờ tính toán các sai số khép hình. Tương tự như sai số khép hình trong mạng lưới tam giác đo góc, các sai số khép hình trong lưới GPS cũng mang tính chất của sai số thực của hàm các trị đo.

Việc tính sai số khép hình trong lưới GPS được thực hiện trong các hình khép kín theo công thức sau:

$$f_x = \sum_{i=1}^n \Delta X'_i; \quad f_y = \sum_{i=1}^n \Delta Y'_i; \quad f_z = \sum_{i=1}^n \Delta Z'_i \quad (8.1.1)$$

Sai số khép toàn phần được tính:

$$f_{x,y,z} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2 + f_z^2} \quad (8.1.2)$$

Sai số khép  $f_x, f_y, f_z$  thực chất là hàm của các trị đo  $\Delta X', \Delta Y', \Delta Z'$  (là các thành phần của vectơ cạnh).

Sai số khép tương đối được tính:

$$\frac{f_{x,y,z}}{[D]} = \frac{1}{T}; \quad \text{với } T = \frac{[D]}{f_{x,y,z}} \quad (8.1.3)$$

Một số nguồn sai số không thể hiện trong sai số khép tạo bởi các cạnh trong cùng một ca đo như sai số đo cao anten, sai số dọi điểm, thậm chí là đặt nhầm điểm.

Sai số khép hình tạo bởi các cạnh khác ca đo thể hiện hầu hết các nguồn sai số trong đo GPS, kể cả sai số do điều kiện khí tượng thay đổi giữa các ca đo. Giá trị sai số khép tương đối ( $1/T$ ) được quy định riêng cho từng cấp lưới.

#### 8.1.4. Bình sai mạng lưới GPS

Có thể bình sai trong hệ toạ độ vuông góc không gian địa tâm X,Y,Z những cũng có thể bình sai lưới GPS trong hệ toạ độ trắc địa B,L,H. Đối với lưới GPS trắc địa công trình, xây dựng trên phạm vi hẹp có thể bình sai trong hệ toạ độ vuông góc không gian địa diện chân trời x,y,z. Cũng có thể thực hiện bình sai lưới GPS theo phương pháp tách biệt, gồm lưới mặt bằng (x,y) và lưới độ cao trắc địa H.

Số liệu gốc tối thiểu cho một mạng lưới GPS là 3 giá trị toạ độ X,Y,Z (hoặc B,L,H) của một điểm trong lưới. Nếu có từ hai điểm gốc trở lên sẽ là lưới phụ thuộc. Nếu số liệu gốc ít hơn 3 sẽ là lưới tự do có số khuyết.

##### 1. Các ký hiệu

Trước hết cần thống nhất các ký hiệu sau:

$X_i, Y_i, Z_i$  là toạ độ vuông góc không gian địa tâm của điểm i

$\Delta X_{i,j}, \Delta Y_{i,j}, \Delta Z_{i,j}$  là các thành phần vec tơ hệ toạ độ không gian địa tâm giữa điểm i và điểm j, còn gọi là các giá số toạ độ không gian địa tâm giữa hai điểm đó.

B là độ vĩ trắc địa

L là độ kinh trắc địa

H là độ cao trắc địa, còn gọi là độ cao ellipsoid

N là độ cao Geoid

h là độ cao thuỷ chuẩn ( $h = H - N$ )

a,b là bán trục lớn và bán trục bé của ellipsoid

## 2. Thuật toán bình sai gián tiếp lưới GPS trong hệ toạ độ vuông góc không gian địa tâm.

Mỗi điểm cần xác định trong lưới GPS sẽ có 3 ẩn số là X,Y,Z. Nếu lưới có m điểm cần xác định, sẽ có 3.m ẩn số.

Với mỗi cạnh đo giữa 2 điểm i,j, tương ứng với 3 trị đo là  $\Delta X_{ij}, \Delta Y_{ij}, \Delta Z_{ij}$  và ma trận hiệp phương sai  $M_{XYZ}$ , chúng ta sẽ lập được 3 phương trình số hiệu chỉnh sau:

$$\begin{aligned} \mathbf{V}\Delta\mathbf{X}_{i,j} &= -\mathbf{d}\mathbf{X}_i + \mathbf{d}\mathbf{X}_j + (\mathbf{X}_j^0 - \mathbf{X}_i^0) - \Delta\mathbf{X}_{i,j} \\ \mathbf{V}\Delta\mathbf{Y}_{i,j} &= -\mathbf{d}\mathbf{Y}_i + \mathbf{d}\mathbf{Y}_j + (\mathbf{Y}_j^0 - \mathbf{Y}_i^0) - \Delta\mathbf{Y}_{i,j} \\ \mathbf{V}\Delta\mathbf{Z}_{i,j} &= -\mathbf{d}\mathbf{Z}_i + \mathbf{d}\mathbf{Z}_j + (\mathbf{Z}_j^0 - \mathbf{Z}_i^0) - \Delta\mathbf{Z}_{i,j} \end{aligned} \quad (8.1.4)$$

Trong đó:  $\mathbf{X}_i^0, \mathbf{Y}_i^0, \mathbf{Z}_i^0, \mathbf{X}_j^0, \mathbf{Y}_j^0, \mathbf{Z}_j^0$  là toạ độ gần đúng của các điểm i,j.  $\mathbf{d}\mathbf{X}, \mathbf{d}\mathbf{Y}, \mathbf{d}\mathbf{Z}$  là các số hiệu chỉnh toạ độ.

Trong hệ (8.1.4) ta ký hiệu các số hạng tự do :

$$\begin{aligned} \mathbf{l}\mathbf{x}_{i,j} &= (\mathbf{X}_j^0 - \mathbf{X}_i^0) - \Delta\mathbf{X}_{i,j} \\ \mathbf{l}\mathbf{y}_{i,j} &= (\mathbf{Y}_j^0 - \mathbf{Y}_i^0) - \Delta\mathbf{Y}_{i,j} \\ \mathbf{l}\mathbf{z}_{i,j} &= (\mathbf{Z}_j^0 - \mathbf{Z}_i^0) - \Delta\mathbf{Z}_{i,j} \end{aligned} \quad (8.1.5)$$

Vì các phương trình (8.1.4) là các phương trình tuyến tính, không phải khai triển Taylor do đó có thể không cần tính trước toạ độ gần đúng  $X^0, Y^0, Z^0$  mà coi luôn toạ độ bình sai X,Y,Z của các điểm cần xác định là các ẩn số trong bài toán bình sai lưới GPS.

Các phương trình số hiệu chỉnh (8.1.4) có thể viết ở dạng ma trận:

$$\mathbf{V} = \mathbf{A} \cdot \Delta\mathbf{X} + \mathbf{L} \quad (8.1.6)$$

trong đó ma trận A có dạng:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & +1 & \dots \\ 0 & -1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & -1 & 0 & \dots \\ .. & .. & .. & .. & .. \\ .. & .. & .. & .. & .. \end{bmatrix}; \quad \Delta\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \mathbf{d}\mathbf{X}_i \\ \mathbf{d}\mathbf{Y}_i \\ \mathbf{d}\mathbf{Z}_i \end{bmatrix}; \quad \mathbf{L} = \begin{bmatrix} \mathbf{l}\mathbf{x} \\ \mathbf{l}\mathbf{y} \\ \mathbf{l}\mathbf{z} \end{bmatrix} \quad (8.1.7)$$

Ma trận trọng số của hệ phương trình trên có dạng:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{M}_1^{-1} & & & \\ & \mathbf{M}_2^{-1} & & \\ & & .. & \\ & & & \mathbf{M}_n^{-1} \end{bmatrix} \quad (8.1.8)$$

Trong đó  $M_i$  là các ma trận hiệp phương sai nhận được khi giải cạnh GPS, là ma trận có kích thước 3x3.

Công việc bình sai lưới được thực hiện theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất , tức là:

$$\mathbf{V}^T \mathbf{PV} = \min \quad (8.1.9)$$

Ở đây chúng ta áp dụng phương pháp bình sai các đại lượng tương quan (phụ thuộc), vì ma trận P không phải là ma trận đường chéo.

Công việc bình sai thực hiện qua các bước:

- lập hệ phương trình chuẩn
- giải hệ phương trình chuẩn
- tính tọa độ X,Y,Z sau bình sai (và tính đổi về tọa độ trắc địa B,L,H)
- tính giá số tọa độ  $\Delta X_{ij}, \Delta Y_{ij}, \Delta Z_{ij}$  sau bình sai
- đánh giá độ chính xác.

### 8.1.5. Tính đổi tọa độ

Khi bình sai lưới GPS trong hệ địa tâm, chúng ta phải tính đổi tọa độ X,Y,Z sau bình sai của các điểm về tọa độ trắc địa B,L,H. Sau đây là một số công thức có thể sử dụng để tính đổi tọa độ.

#### 8.1.5.1. Tính đổi tọa độ vuông góc không gian địa tâm X,Y,Z về tọa độ trắc địa B,L,H

Để tính đổi tọa độ vuông góc không gian địa tâm X,Y,Z sang tọa độ trắc địa B,L,H ta có thể sử dụng các công thức sau :

$$\operatorname{tg} B_{(k)} = \frac{Z}{D - e^2 a [1 + (1 - e^2) \operatorname{tg}^2 B_{(k-1)}]^{1/2}} \quad \text{nếu } D > Z \quad (8.1.10)$$

hoặc

$$\operatorname{ctg} B_{(k)} = \frac{D - e^2 a \cdot \operatorname{ctg} B_{(k-1)} (1 - e^2 + \operatorname{ctg}^2 B_{(k-1)})^{-1/2}}{Z} \quad \text{nếu } D \leq Z \quad (8.1.11)$$

Trong đó k là chỉ số lần tính lặp .

$$D = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

Vị trí của nước ta có độ vĩ B nhỏ hơn  $24^0$ , nên  $D > Z$  do đó ta sẽ sử dụng công thức (8.1.10) để tính B .

Khi tính lặp độ vĩ B theo các công thức (8.1.10) và (8.1.11) ta lấy giá trị gần đúng đầu tiên  $B_0$  theo công thức :

$$\operatorname{ctg} B_0 = \frac{D(1-e^2)}{Z} \quad (8.1.12)$$

Độ kinh L được tính theo công thức :

$$\operatorname{tg} L = \frac{Y}{X} \quad (8.1.13)$$

Độ cao trắc địa H được tính theo công thức :

$$H = D \sec B - N = Z \cosec B - (1-e^2)N \quad (8.1.14)$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 B}} \quad (8.1.15)$$

Ngoài ra còn một số công thức khác có thể sử dụng để tính đổi từ X,Y,Z sang B,L,H như công thức Altamimi hoặc công thức Bowring, các công thức này không cần tính lặp nhích dần.

#### 8.1.5.2. Tính đổi tọa độ trắc địa B,L về tọa độ vuông góc phẳng

Sau khi có tọa độ trắc địa B,L của các điểm GPS, người ta thường phải tính đổi tọa độ trắc địa về tọa độ vuông góc phẳng x,y theo phép chiếu hình trụ ngang giữ góc (*Transverse Mercator Projection*), gọi là lưới chiếu UTM. Tọa độ vuông góc phẳng x,y được xác lập theo mũi chiếu có kinh tuyến trung ương  $L_0$ .

Sau đây là công thức tổng quát của phép chiếu hình trụ ngang đồng góc, với tỷ lệ chiếu trên kinh tuyến trực là  $m_0$  [3].

$$\begin{aligned} x &= m_0 [X_0 + N \sin B \cdot \frac{l^2}{2} \cdot \cos B + N \sin B \cdot \frac{l^4}{24} \cdot \cos^3 B \cdot (4\psi^2 + \psi - t^2) + \\ &\quad N \sin B \cdot \frac{l^6}{720} \cdot \cos^5 B \cdot \{8\psi^4 \cdot (11 - 24t^2) - 28\psi^3 \cdot (1 - 6t^2) + \psi^2 \cdot (1 - 32t^2) - \\ &\quad \psi(2t^2) + t^4\} + N \sin B \cdot \frac{l^8}{40320} \cdot \cos^7 B \cdot (1385 - 3111t^2 + 543t^4 - t^6)] \end{aligned} \quad (8.1.16)$$

trong đó  $X_0$  là chiều dài cung kinh tuyến từ xích đạo đến độ vĩ B.

$$\begin{aligned} y &= m_0 [Nl \cdot \cos B + N \cdot \frac{l^3}{6} \cdot \cos^3 B \cdot (\psi - t^2) + N \cdot \frac{l^5}{120} \cdot \cos^5 B \cdot \{4\psi^3 \cdot (1 - 6t^2) + \psi^2 \cdot (1 + 8t^2) - \\ &\quad 2\psi \cdot t^2 + t^4\} + N \cdot \frac{l^7}{5040} \cdot \cos^7 B \cdot (61 - 479t^2 + 179t^4 - t^6)] \end{aligned} \quad (8.1.17)$$

trong đó hiệu độ kinh  $l=L-L_0$ , với  $L_0$  là độ kinh của kinh tuyến trung ương

$$t = tg B \quad (8.1.18)$$

$$\psi = \frac{N}{M} = \frac{(1 - e^2 \sin^2 B)}{(1 - e^2)} \quad (8.1.19)$$

$m_0$  là tỷ lệ biến dạng trên kinh tuyến trung ương. Nếu là phép chiếu Gauss-Krueger thì  $m_0=1$ , nếu là phép chiếu UTM theo múi  $6^0$  thì  $m_0=0,9996$ , và nếu là phép chiếu UTM theo múi  $3^0$  thì  $m_0=0,9999$ .

Toạ độ vuông góc phẳng được tính theo (8.1.16) và (8.1.17) thường được cộng thêm vào hằng số quy ước để tránh giá trị toạ độ âm và trước toạ độ y còn có số hiệu múi chiếu. Nước ta ở Bắc bán cầu cho nên chỉ cộng vào y 500 km.

### 8.1.5.3. Tính đổi toạ độ vuông góc phẳng $x,y$ sang toạ độ trắc địa $B,L$

Trong tính toán bình sai, có thể gặp trường hợp phải tính đổi toạ độ vuông góc phẳng  $x,y$  về toạ độ trắc địa  $B,L$  cho một vài điểm khởi tính. Sau đây sẽ trình bày một số công thức có thể sử dụng để tính đổi toạ độ vuông góc phẳng về toạ độ trắc địa.

Công thức tính toạ độ trắc địa  $B$  có dạng:

$$\begin{aligned} B = B_0 - \frac{t_0}{m_0 M_0} \left( \frac{y^2}{2m_0 N_0} \right) + \frac{t_0}{m_0 M_0} \left( \frac{y^4}{24m_0^3 N_0^3} \right) \cdot \{-4\psi_0^2 + 9\psi_0(1-t_0^2) + 12t_0^2\} - \\ - \frac{t_0}{m_0 M_0} \left( \frac{y^6}{720.m_0^5.N_0^5} \right) \cdot \{8.\psi_0^4(11-24.t_0^2) - 12.\psi_0^3.(21-71.t_0^2) + 15.\psi_0^2(15-98.t_0^2+15.t_0^4) + \\ + 180.\psi_0(5.t_0^2-3.t_0^4) + 360.t_0^4\} + \frac{t_0}{m_0 M_0} \left( \frac{y^8}{40320.m_0^7.N_0^7} \right) \cdot (1385 + 3633.t_0^2 + 4095t_0^4 + 1575t_0^6) \end{aligned} \quad (8.1.20)$$

Công thức tính hiệu độ kinh trắc địa  $l$  có dạng:

$$\begin{aligned} l = \sec B_0 \left( \frac{y}{m_0 N_0} \right) - \sec B_0 \left( \frac{y^3}{6m_0^3 N_0^3} \right) (\psi_0 + 2t_0^2) + \sec B_0 \left( \frac{y^5}{120m_0^5 N_0^5} \right) \cdot \{-4\psi_0^3(1-6t_0^2) + \\ + \psi_0^2(9-68t_0^2) + 72\psi_0 t_0^2 + 24t_0^4\} - \sec B_0 \left( \frac{y^7}{5040m_0^7 N_0^7} \right) (61 + 662t_0^2 + 132t_0^4 + 72t_0^6) \end{aligned} \quad (8.1.21)$$

Trong đó  $B_0$  là độ vĩ gần đúng ứng với chiều dài cung kinh tuyến là  $x/m_0$

$$t_0 = \tan B_0 \quad N_0 = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 B_0}}; \quad M_0 = \frac{(1-e^2)N_0}{1-e^2 \sin^2 B_0} \quad (8.1.22)$$

$$\psi_0 = \frac{N_0}{M_0} = \frac{1-e^2 \sin^2 B_0}{1-e^2} \quad (8.1.23)$$

Độ vĩ  $B_0$  ứng với chiều dài cung kinh tuyến là  $x/m_0$  được tính theo công thức sau:

$$B_0 = \frac{1}{A_0} \left[ \frac{x}{m_0 c} - (A_2 + A_4 \cdot \cos^2 B_0 + A_6 \cdot \cos^4 B_0 + A_8 \cdot \cos^6 B_0) \cdot \cos B_0 \cdot \sin B_0 \right] \quad (8.1.24)$$

trong đó :

$$A_0 = 1 - \frac{3}{4}e'^2 + \frac{45}{64}e'^4 - \frac{175}{256}e'^6 + \frac{11025}{16384}e'^8 + \dots$$

$$A_2 = A_0 - 1$$

$$A_4 = \frac{15}{32}e'^4 - \frac{175}{384}e'^6 + \frac{3675}{8192}e'^8 + \dots \quad (8.1.25)$$

$$A_6 = -\frac{35}{96}e'^6 + \frac{735}{2048}e'^8 + \dots$$

$$A_8 = \frac{315}{1024}e'^8 + \dots$$

trong đó  $e'$  là tâm sai thứ hai của Ellipsoid, được tính theo công thức:

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad (8.1.26)$$

Trong công thức (8.1.24) giá trị  $c$  là bán kính Cực, được tính theo công thức:

$$c = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2}} \quad (8.1.27)$$

Giá trị  $B_0$  tính theo công thức (8.1.24) có đơn vị là radian. Khi tính toán phải áp dụng phương pháp tính lặp vì giá trị  $B_0$  nằm ở cả hai vế. Cũng có thể áp dụng công thức tính chiều dài cung kinh tuyến để tìm  $B_0$  theo phương pháp lặp, công thức có dạng:

$$\frac{x}{m_0} = c \left[ A_0 \cdot B + (A_2 + A_4 \cdot \cos^2 B + A_6 \cdot \cos^4 B + A_8 \cdot \cos^6 B + \dots) \cdot \cos B \cdot \sin B \right] \quad (8.1.28)$$

Sau khi tính được hiệu độ kinh  $l$  theo công thức (8.1.21) ta tính độ kinh theo công thức sau:

$$L = L_0 + l \quad (8.1.29)$$

trong đó  $L_0$  là độ kinh của kinh tuyến trung ương mũi chiếu

Ngoài các công thức trên còn có các công thức tính góc hội tụ kinh tuyến  $\gamma$  và tỷ lệ biến dạng dài  $m$ .

## 8.2. PHẦN MỀM XỬ LÝ SỐ LIỆU GPS

### 8.2.1. Giới thiệu chung

Có thể phân các phần mềm xử lý số liệu GNSS thành 2 nhóm:

- Nhóm thứ nhất là các phần mềm thông dụng**, được các hãng chế tạo máy thu thành lập và chuyển giao kèm theo máy thu cho người sử dụng, phục vụ cho công tác xử lý số liệu đo GPS. Thông thường phần mềm của hãng nào sẽ làm việc tương thích với chủng loại máy thu của hãng đó. Tuy nhiên, tất cả các phần mềm đều chấp nhận khuôn dạng dữ liệu RINEX, do đó có thể sử dụng chung nhiều loại máy thu (của nhiều hãng) để giải quyết các nhiệm vụ trắc địa.

- Nhóm thứ hai là các phần mềm chuyên dụng**, còn gọi là phần mềm khoa học được các tổ chức khoa học, như các trường đại học, các viện nghiên cứu ... thành lập phục vụ cho các mục đích nghiên cứu khoa học, sử dụng để xử lý số liệu GNSS độ chính xác cao. Có thể kể ra một số phần mềm thuộc nhóm này như: phần mềm GAMIT-GLOBK của Đại học Công nghệ Massachusetts (MIT) và Quỹ khoa học quốc gia Mỹ (NSF), phần mềm BERNESE của Viện Thiên văn, Đại học Bern Thụy Sĩ (AIUB), phần mềm GIPSY-OASIS của Cơ quan không gian

vũ trụ Mỹ NASA vv.... Trong đó, phần mềm GIPSY-OASIS không chỉ sử dụng cho xử lý định vị chính xác điểm trên mặt đất mà còn sử dụng để xử lý chính xác hóa các tham số quỹ đạo vệ tinh và có khả năng xử lý ở chế độ tức thời hoặc tựa tức thời. Các phần mềm chuyên dụng như GAMIT-GLOBK, BERNSE xử lý dữ liệu GPS và dữ liệu GNSS ở dạng RINEX.

Trong bài giảng này chỉ giới thiệu các phần mềm thông dụng hiện đang được sử dụng rộng rãi ở Việt Nam. Các phần mềm này do một số hãng chế tạo máy thu GPS chuyên giao cho người sử dụng kèm theo máy thu như:

- GPSurvey 2.35; Trimble Geomatic Office (TGO), Trimble Total Control (TTC), Trimble Business Center (TBC) vv..... của Hãng Trimble (Mỹ)
- Pinnacle của Hãng Topcon (Nhật Bản)
- Leica Geo Office (LGO) của hãng Leica (Thụy Sĩ)
- GNSS Solutions, GNSS Studio Office của Magellan và Thales vv....

Trong đó có những phần mềm không chỉ sử dụng cho xử lý số liệu GPS mà còn sử dụng để xử lý số liệu đo bằng toàn đạc điện tử, thủy chuẩn điện tử như phần mềm LGO của Leica.

Để khai thác hiệu quả các phần mềm trên, một số cá nhân, tổ chức đã viết thêm một số modul hỗ trợ chuyển kết quả xử lý bằng các phần mềm trên về khuôn dạng trình bày kết quả bình sai theo các bảng biểu, thuận tiện cho người sử dụng.

Sâu đây, sẽ giới thiệu về phần mềm GPSurvey 2.35 của Trimble, hiện đang được sử dụng rộng rãi ở nước ta.

### **8.2.2. Phần mềm GPSurvey 2.35**

Phần mềm GPSurvey 2.3 và GPSurvey 2.35 là các phần mềm kèm theo các máy thu GPS của hãng Trimble Navigation (Mỹ), được dùng để lập kế hoạch đo và xử lý số liệu đo GPS. GPSurvey 2.35 được sử dụng ở nước ta từ những năm 1997. Bộ cài GPSurvey 2.35 có dung lượng khoảng 30 Mb, sử dụng không cần khóa cứng. GPSurvey chạy trong môi trường Microsoft Windows, gồm 3 modul:

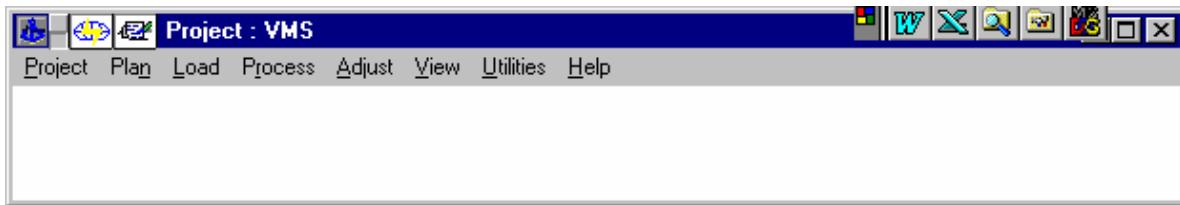
- **GPSurvey Manager** : Là Modul quản lý chung
- **Baseline Processor ( WAVE )** : là modul tính cạnh (*baseline*)
- **Network Adjustment ( TRIMNET Plus )** : là chương trình bình sai lưới

Toàn bộ GPSurvey chiếm khoảng 18.5 MB trên ổ cứng. Phần mềm GPSurvey cần thêm dung lượng khoảng 2.5 MB để chứa các số liệu thí dụ minh họa và một số các thông tin phụ trợ .

Ngoài ra khi mở thư mục (*Project*) và để chứa các kết quả khi chạy trong chương trình cần có thêm 2 đến 3 MB trong ổ cứng . Lượng bộ nhớ cần dự trữ trong ổ cứng phụ thuộc vào project tạo ra lớn hay nhỏ. Để cài đặt TRIMNET Plus, cần có thêm 4 MB ổ cứng và khoảng 1MB chứa tệp số liệu Geoid .

Sau khi cài đặt phần mềm GPSurvey, trong nhóm chương trình này sẽ có các thông tin bổ sung, trợ giúp, hướng dẫn cho người sử dụng chương trình.

Khi khởi động phần mềm, sẽ xuất hiện giao diện của phần mềm như hình 8.4



Hình 8.4. Giao diện của phần mềm GPSurvey 2.35

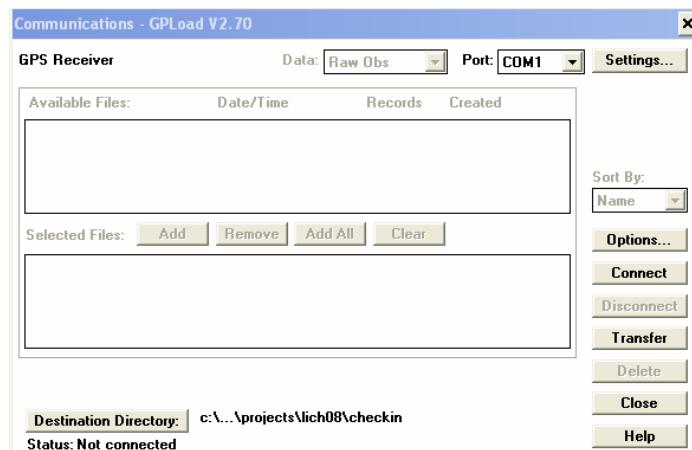
Trên menu của chương trình có các chức năng sau :

- **Project:** Tạo mới (*new*) hoặc mở (*open*) một dự án (*Project*), ngoài ra còn có các chức năng khác như xoá (*delete*), thoát (*exit*).vv
- **Plan:** Lập lịch đo , tương tự như Quick Plan.
- **Load:** Đưa số liệu vào để xử lý. Số liệu có thể nhập từ máy thu (*receiver*), từ tệp (*DAT File*), từ tệp đã giải cạnh (*SSF file*).vv...
- **Process:** Vào chương trình tính cạnh (*baseline*) WAVE.
- **Adjust:** Vào chương trình bình sai lưới Trimnet Plus
- **View:** Sơ đồ lưới (Network map)
- **Utilities:** Các ứng dụng
- **Help:** Trợ giúp

Trong **Utilities** nên thực hiện đặt các tham số mặc định cho phần mềm hoạt động như múi giờ, loại máy thu, kiểu anten, phương pháp đo cao anten vv....

### 8.2.2.1. Trút số liệu

Để trút số liệu đo từ bộ nhớ máy thu sang máy tính (đã cài phần mềm GPSurvey 2.35) cần kết nối máy thu với máy tính bằng cáp trút chuyên dụng.



Hình 8.5. Cửa sổ trút số liệu (GPLoad)

Chức năng **Load** cho phép trút số liệu từ máy thu GPS vào máy tính, ngoài ra **Load** còn có thể trút số liệu từ các bộ lưu số liệu ngoài (CD, USB vv...). Khi trút số liệu cần chọn cổng COM tương thích. Trong trường hợp máy tính không có cổng COM mà chỉ có cổng USB, cần có bộ chuyển đổi cổng COM-USB.

Bằng **Load** chúng ta cũng có thể chuyển dữ liệu véc tơ cạnh đã xử lý (tệp ssf) từ ngoài vào thư mục của **Project** trong GPSurvey. Trên hình (8.5) là cửa sổ trút số liệu **GPLoad**.

### 8.2.2.2. Xử lý cạnh

Trong phần mềm GPSurvey có modul xử lý vectơ cạnh WAVE (*Weighted Ambiguity Vector Estimator* - Uớc lượng vectơ cạnh đa trị theo trọng số). Việc tính toán thường được bắt đầu từ lời giải **Code**, tiếp theo là lời giải **Triple difference** (sai phân bậc ba) và **Double-difference** (sai phân bậc hai) của pha sóng tải. Dựa trên số liệu đo và chế độ cài đặt, chương trình sẽ đưa ra lời giải tốt nhất.

Kết quả giải cạnh không chỉ cho các giá số toạ độ không gian địa tâm  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  giữa các cặp điểm mà còn cho các thông tin khác như các giá số toạ độ trong hệ địa diện  $\Delta N, \Delta E, \Delta U$ , chiều dài nghiêng, phương vị thuận và ngược, hiệu số độ cao trắc địa. Các giá số toạ độ  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  là các đại lượng tương quan (phụ thuộc nhau), kèm theo ma trận hiệp phương sai hậu nghiệm (*Aposteriori Covariance matrix*).

Khi xử lý các tệp số liệu trong cùng ca đo bằng chương trình WAVE ở chế độ mặc định sẽ chỉ nhận được các cạnh độc lập(*Independent set*), số cạnh độc lập bằng  $(n-1)$ , trong đó  $n$  là số máy sử dụng trong ca đo. Các cạnh độc lập khi tính ở chế độ mặc định sẽ là  $(n-1)$  cạnh có chiều dài ngắn hơn. Muốn nhận được tất cả cạnh phải vào PROCESS/SETUP và chọn chế độ **All baselines**.

Để nhận được kết quả tốt, người làm công tác xử lý số liệu thường thực hiện qua 2 bước sau:

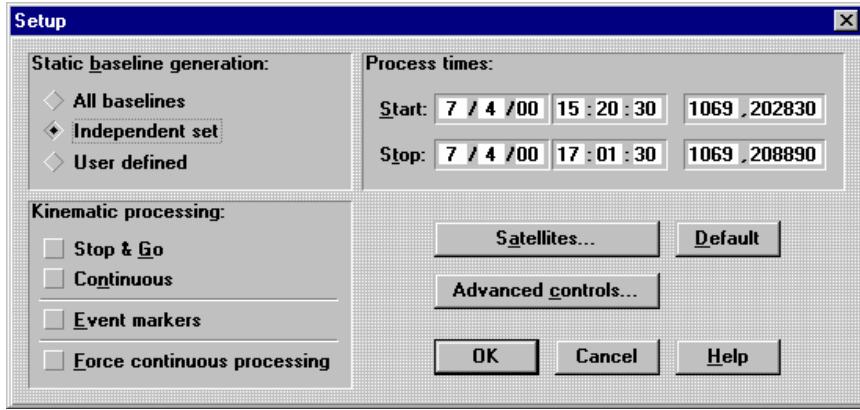
**Bước 1.** Xử lý theo các tham số mặc định của phần mềm (*Default*).

Trong bước này, sẽ sử dụng các trị đo của tất cả các vệ tinh quan sát được trong toàn bộ thời gian của ca đo. Thông thường, sau bước xử lý này đa số các cạnh cho kết quả tốt, trừ những trường hợp tại trạm đo có vấn đề, như bị che chắn, có các tác động nhiễu, đa đường dẫn .vv....

**Bước 2.** Đối với những cạnh không đạt trong bước 1, cần xử lại ở chế độ can thiệp nâng cao.

Trong bước này, người xử lý có thể cắt bỏ những vệ tinh có dấu hiệu “xấu”, điều này có thể nhận biết sau khi xem kết quả giải cạnh ở bước 1. Cũng có thể cắt bỏ thời gian đầu hoặc cuối, tăng góc ngưỡng trên 15 độ vv... Để xử lý ở chế độ can thiệp, đòi hỏi người làm công tác xử lý phải có kinh nghiệm.

Trên hình 8.6 là cửa sổ SETUP, trên đó ta có thể thực hiện cắt bỏ thời gian, chọn tính toàn bộ cạnh (**All Baselines**) hoặc chỉ tính cạnh độc lập (**Independent Set**) vv...



Hình 8.6. Cửa sổ Setup

Để cắt bỏ vệ tinh, ta chọn Satellites trên cửa sổ Setup, sẽ nhận được cửa sổ vệ tinh **Satellites** như hình (hình 8.7). Trên cửa sổ này xuất hiện tất cả các vệ tinh mà máy thu đã nhận được tín hiệu (đã được đánh dấu  $\checkmark$ ). Muốn cắt bỏ vệ tinh nào đó ta chỉ cần bỏ dấu  $\checkmark$  ở vệ tinh tương ứng.



Hình 8.7 . Cửa sổ vệ tinh

#### ***Đối với số liệu của máy thu hai tần:***

Với số liệu hai tần, việc tính toán sẽ tiến hành trên cơ sở phối hợp hai tần số để cho lời giải tối ưu. Lời giải "cổng rộng"(Wide Lane) dựa trên tổ hợp tuyến tính hiệu số của 2 sóng tải L1-L2, cho ra bước sóng hiệu dụng là 86cm. Chương trình còn cho phép phối hợp sóng L1+L2 để tính toán lời giải "cổng hẹp" (Narrow Lane), với bước sóng hiệu dụng là 11cm. Mỗi kết quả tính toán sẽ góp phần cho lời giải tối ưu .

Khi tiến hành xử lý số liệu hai tần, đầu tiên chương trình WAVE sẽ tính toán trên cơ sở tổ hợp tuyến tính pha sóng tải "cổng rộng" và "cổng hẹp" để cho lời giải cuối cùng dạng **Iono Free Fixed**. Nếu việc tìm kiếm lời giải "cổng hẹp" không thành công thì sẽ hình thành lời giải

**Iono Free Float**. Cũng có thể buộc chương trình tính và cho lời giải **Wide Lane Fixed** bằng cách sử dụng thay đổi chế độ tính nhờ *Advanced Controls* trong *Process/ Setup*. Khi đó chọn dạng tần số trong lời giải cuối cùng là **Wide Lane** và tắt **Iono Correction**. Tuy nhiên cũng cần thận trọng đối với lời giải này, việc lựa chọn cần dựa trên một số tình huống sau:

- Lời giải **Iono Free Fixed**

Lời giải **Iono Free Fixed** là tối ưu trong khoảng rộng các điều kiện. Lời giải này đã khắc phục được sai số tầng Ion và ổn định lời giải với yếu tố hình học tốt nhất.

- Lời giải **Wide Lane Fixed**

Lời giải này không nên sử dụng cho cạnh ngắn, nó được tính không dựa trên các tham số mặc định, và không hiệu chỉnh tầng Ion. Nói chung lời giải **Wide Lane Fixed** tồn tại nhiều hơn so với lời giải **Iono Free Fixed** song nó cũng có thể thoả mãn để sử dụng. Khi sử dụng các cạnh của lời giải **Wide Lane Fixed** tạo thành mạng lưới cần thận trọng kiểm tra lưới nhờ các trị đo thừa, như các vòng khép độc lập, hoặc sử dụng chương trình bình sai lưới. Nên sử dụng lời giải **Wide Lane Fixed** đối với khoảng cách trung bình từ 15km đến 30km.

- Lời giải **Iono Free Float**

Lời giải này sử dụng cho cạnh ngắn và cạnh trung bình không tốt, vì vậy cần thận trọng khi sử dụng lời giải **Iono Free Float** đối với các cạnh ngắn và cạnh trung bình, và nói chung nên tránh sử dụng lời giải này nếu có thể.

Đối với cạnh dài trên 30km, cần thận trọng xem xét lời giải **Iono Free Float**. Đối với cạnh rất dài, lời giải **Iono Free Float** có thể là lời giải tốt. Việc kéo dài thời gian thu tín hiệu tại các trạm sẽ góp phần làm tốt hơn kết quả của lời giải này như giảm sai số tầng Ion, tăng độ chặt chẽ quan hệ hình học. Đối với cạnh rất dài, để lời giải **Iono Free Float** cho kết quả tốt cần kéo dài thời gian quan trắc đến vài giờ. Đối với cạnh ngắn (nhỏ hơn 5-8km), có thể chỉ chọn sử dụng một tần L1 ( mặc dù thiết bị thu có thể là 2 tần số).

**Đối với số liệu máy thu một tần:**

Khi xử lý số liệu của máy thu một tần số L1, modul WAVE sẽ ưu tiên cho lời giải L1-Fixed là lời giải cuối cùng nếu việc giải mã L1 thành công. Nếu việc tìm kiếm số nguyên đa trị đối với L1 không thành công thì WAVE sẽ cho ra lời giải L1-Float. Đối với cạnh ngắn, thường chỉ cho lời giải L1- Float khi thời gian thu tín hiệu quá ngắn hoặc có nhiều bất thường. Đối với cạnh có chiều dài cỡ 10 đến 15km hoặc dài hơn, việc nhận được lời giải L1-Fixed sẽ khó khăn hơn do ảnh hưởng của tầng Ion đối với một tần số.

Về bản chất, lời giải L1-Float kém hơn lời giải L1-Fixed. Trong các ứng dụng chuẩn, tránh sử dụng lời giải L1-Float. Nếu gặp lời giải này phải xử lí lại số liệu hoặc đo lại ngoại nghiệp.

Các bước cơ bản trong **xử lý số liệu đo động** tương tự như đối với đo tĩnh. Các tệp số liệu

được nhập từ máy thu vào máy tính cần được kiểm tra tên tệp và độ cao anten. Trong tính toán cụ thể có những điểm khác biệt tuỳ thuộc vào phần mềm sử dụng, thí dụ như phần mềm mới hơn thực hiện tính tự động còn phần mềm khác thì thao tác bằng tay trong các lần tính lặp. Việc kiểm tra chủ yếu đối với các vectơ động là tính toán các vị trí của máy động và kiểm tra sự phù hợp của kết quả nhận được từ một vài lần đo lặp lại tại cùng một điểm. Nếu có một vài điểm đã biết toạ độ dùng để so sánh với kết quả đo động là phương pháp kiểm tra tốt nhất.

### 8.2.2.3. Đánh giá chất lượng cạnh sau xử lý và kiểm tra lưới

#### a. Đánh giá chất lượng cạnh

Khi sử dụng chương trình WAVE để giải vectơ cạnh, chúng ta có thể đánh giá chất lượng cạnh theo các chỉ tiêu sau :

- Dạng lời giải (*Solution type*)
- Tỷ số phuơng sai (*Ratio*)
- Phuơng sai chuẩn (*Reference variance*)
- Biểu đồ tín hiệu của vê tinh đã thu được (*SV residual plots*)

Giá trị RATIO là tỷ số của phuơng sai lời giải được chọn là tốt thứ hai và lời giải tốt nhất. Giá trị mặc định của RATIO là 1.5, nếu tỷ số đó nhỏ hơn 1.5 chứng tỏ sự khác biệt về độ tin cậy giữa các lời giải không nhiều, khi đó sẽ không có lời giải FIXED mà chỉ cho lời giải FLOAT. RATIO càng lớn càng thể hiện lời giải tốt nhất có độ tin cậy cao. Có thể đặt lại giá trị mặc định của RATIO (1.5) bằng giá trị nhỏ hơn, như vậy sẽ không tốt vì có thể kết quả sẽ đưa ra lời giải FIXED nhưng không đáng tin cậy. Trong trường hợp này ta đã hạ thấp tiêu chuẩn lựa chọn lời giải FIXED .

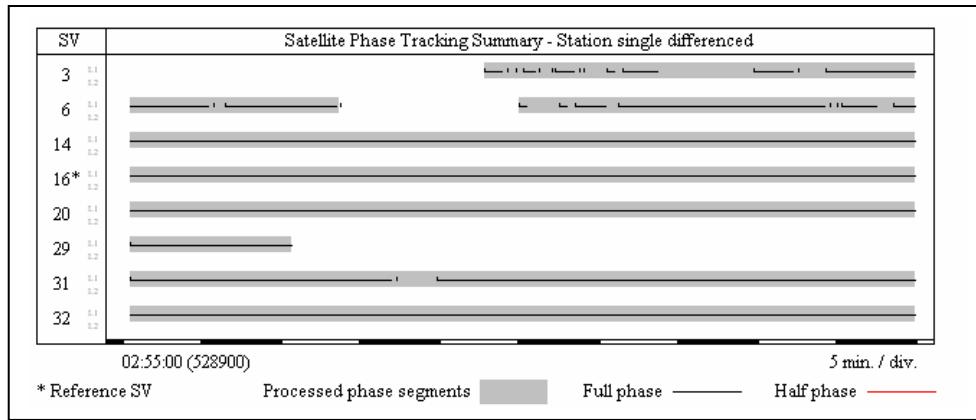
Phuơng sai chuẩn cũng là cơ sở quan trọng để đánh giá chất lượng lời giải. Đó là sai số trung phuơng đơn vị trọng số, nó không có thứ nguyên (không đơn vị). Trường hợp lý tưởng phuơng sai chuẩn có giá trị xấp xỉ 1. Đối với máy thu một tần số có thể chấp nhận phuơng sai trong khoảng từ 1 đến 9. Thông thường cạnh càng dài thì giá trị phuơng sai chuẩn càng lớn.

Trong trường hợp đo động (chỉ có ít nhất hai lần ghi số liệu) có thể chấp nhận phuơng sai lớn hơn , khoảng 5.0 hoặc 6.0 . Nếu phuơng sai quá lớn, có thể đã bị những sai số như :

- Số liệu bị nhiễu (do cây, vật cản che chắn tín hiệu hoặc vê tinh quá gần chân trời ...)
- Có dấu hiệu của sai số số nguyên đa trị
- Có sai số hệ thống do sử dụng máy thu một tần trên khoảng cách dài, khi đó chịu ảnh hưởng của tầng ion .
- Chọn cài đặt lời giải FIXED không đúng .

**Biểu đồ tín hiệu (SV residual plots)** cũng cho ta nhận xét về chất lượng đo GPS, nếu tín hiệu của quá nhiều vê tinh có tình trạng bị gián đoạn thì chất lượng lời giải thường không tốt. Trên hình 8.8. thể hiện tình trạng tín hiệu pha của vê tinh quan sát được của 2 điểm đầu cạnh

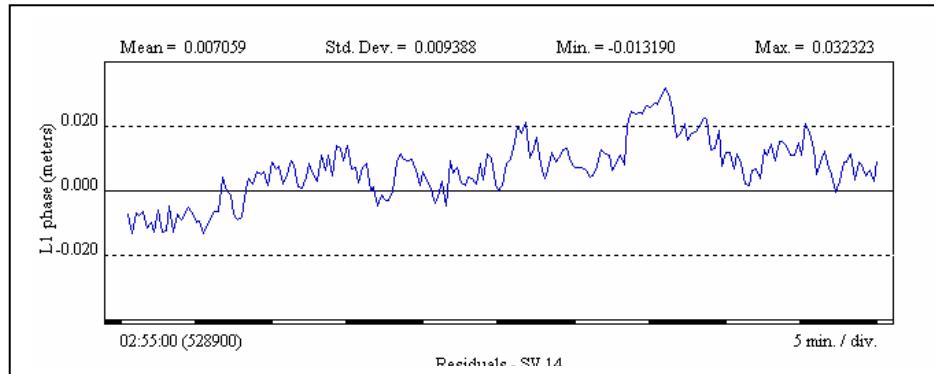
trong suốt thời gian của ca đo.



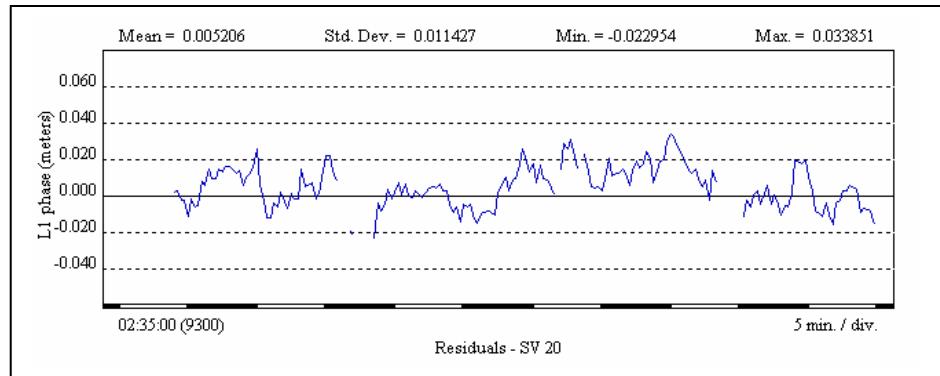
Hình 8.8. Tình trạng tín hiệu vệ tinh ảnh hưởng đến trị đo pha

Có thể nhận thấy rằng các vệ tinh 3, 6 bị gián đoạn tín hiệu. Vệ tinh 29 chỉ nhận được tín hiệu trong khoảng 10 phút đầu tiên của ca đo. Tín hiệu của vệ tinh 31 cũng bị gián đoạn khoảng 2 phút.

Trên hình 8.9 thể hiện tín hiệu vệ tinh thu được liên tục, còn trên hình 8.10, thể hiện tín hiệu vệ tinh bị gián đoạn nhiều lần trong thời gian thu. Thường các vệ tinh gần chân trời (độ cao thấp) có tín hiệu hay bị gián đoạn



Hình 8.9. Tín hiệu vệ tinh liên tục



Hình 8.10. Tín hiệu vệ tinh bị gián đoạn

Theo kinh nghiệm, các vectơ cạnh có chất lượng xấu thường là bị ảnh hưởng của các tín hiệu nhiễu, bị lẫn tín hiệu đa đường dẫn, bị hiện tượng gián đoạn tín hiệu quá dài vv... Vấn đề là phải phát hiện và loại bỏ các vệ tinh có chất lượng tín hiệu kém. Khi xử lý ở chế độ can thiệp có thể can thiệp như sau:

- cắt bỏ vệ tinh có nhiều thời gian bị gián đoạn tín hiệu (xem SV residual plots)
- cắt bỏ vệ tinh có góc cao nhỏ (thấp)
- cắt bỏ thời gian đầu hoặc cuối ca đo khi cần thiết vv...

Một vectơ cạnh đạt yêu cầu là phải bảo đảm một số chỉ tiêu cần thiết như:

- dạng lời giải : Với cạnh ngắn, tốt nhất là lời giải FIXED
- Tỷ số phương sai ( RATIO): Càng lớn càng tốt
- Phương sai chuẩn : càng nhỏ càng tốt.
- Sai số khoảng cách (RMS) : càng nhỏ càng tốt vv..

Các thông tin (tóm tắt) của một cạnh sau khi giải bằng WAVE gồm:

- Tên dự án, công trình (Project Name)
- Thời gian đã xử lý (Processed)
- Tệp xuất lời giải cạnh (Solution Output File)
- Cạnh đo từ trạm ( From Station)
- Tệp số liệu (Data File)
- Độ cao anten (Antenna Height)
- Chất lượng vị trí điểm (Position Quality)
- Vị trí trong hệ WGS-84 (WGS 84 Position)
- Cạnh đo đến trạm (To Station)
- Thời gian bắt đầu (Start Time)
- Thời gian kết thúc (Stop Time)
- Thời gian đặt máy ( Occupation Time); Khoảng ghi số liệu đo (Meas Interval)
- Dạng lời giải (Solution Type)
- Lịch vệ tinh (Ephemeris)
- Số liệu khí tượng (Met. Data)
- Khoảng cách nghiêng (Baseline Slope Distance)
- Phương vị pháp tuyến (Normal Section Azimuth)
- Góc nghiêng (Vertical Angle)
- Các thành phần gia số tọa độ ( Baseline Components)
- Độ lệch chuẩn (Standard Deviations)
- Ma trận hiệp phương sai hậu nghiệm (Aposteriori Covariance Matrix)
- Tỷ số phương sai (Variance Ratio)
- Phương sai chuẩn (Reference Variance)

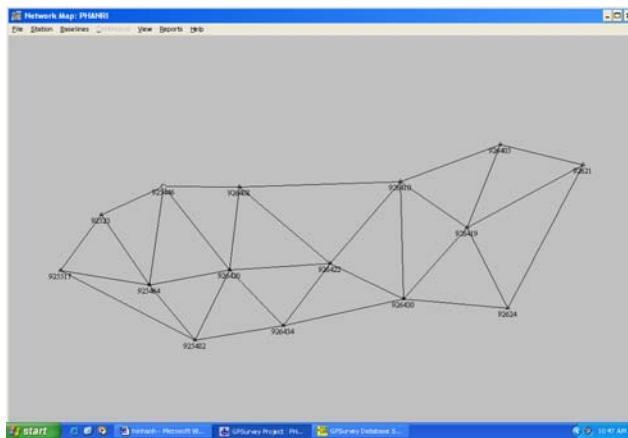
- Trị đo (Observable) ; Tổng số/dã loại bỏ (Count/Rejected); Sai số trung phương cạnh (RMS)  
 Nguyên bản tiếng Anh của báo cáo tóm tắt lời giải cạnh như sau:

|   |  |           |    |          |  |           |
|---|--|-----------|----|----------|--|-----------|
| Project Name:                               | BINHGIANG  |           |    |          |  |           |
| Processed:                                  | Tuesday, November 06, 2007 17:25                         |           |    |          |  |           |
| Solution Output File (SSF):                 | WAVE 2.35<br>00000329.SSF                                |           |    |          | IMPORTED   |           |
| From Station:                               | 117461   |           |    |          |  |           |
| Data file:                                  | 31213561.DAT   |           |    |          |  |           |
| Antenna Height (meters):                    | 2.063 True Vertical                                      |           |    |          | 2.000 Uncorrected                                |           |
| Position Quality:                           | Point Positioning  |           |    |          |  |           |
| WGS 84 Position:                            | 20° 52' 13.517815" N<br>106° 11' 15.573565" E<br>-28.417 |           |    |          | X -1662157.734<br>Y 5725787.329<br>Z 2257985.552 |           |
| To Station:                                 | GPS-03   |           |    |          |  |           |
| Data file:                                  | 21573562.DAT   |           |    |          |  |           |
| Antenna Height (meters):                    | 1.381 True Vertical                                      |           |    |          | 1.320 Uncorrected                                |           |
| WGS 84 Position:                            | 20° 50' 21.174495" N<br>106° 11' 04.894809" E<br>-27.740 |           |    |          | X -1662204.313<br>Y 5727055.225<br>Z 2254757.132 |           |
| Start Time:                                 | 12/22/07 08:31:45.00 GPS                                 |           |    |          |  |           |
| Stop Time:                                  | (1458 549105.00)   |           |    |          |  |           |
| Occupation Time Meas. Interval (seconds):   | 12/22/07 09:15:45.00 GPS<br>00:44:00.00                  |           |    |          | (1458 551745.00)<br>15.00                        |           |
| Solution Type:                              | L1 fixed double difference                               |           |    |          |  |           |
| Ephemeris:                                  | Broadcast  |           |    |          |  |           |
| Met Data:                                   | Standard   |           |    |          |  |           |
| Baseline Slope Distance Std. Dev. (meters): | 3468.778   |           |    |          | 0.001130   |           |
| Normal Section Azimuth:                     | 185° 06' 22.846280"<br>-0° 00' 16.120899"                |           |    |          |  |           |
| Vertical Angle:                             | Forward<br>5° 06' 19.044641"<br>-0° 01' 36.664745"       |           |    |          |  |           |
| Baseline Components (meters):               | dx   | -46.579   | dy | 1267.896 | dz   | -3228.420 |
| Standard Deviations (meters):               |  | 0.001017  |    | 0.002150 |  | 0.001334  |
|   | dn   | -3455.012 | de | -308.737 | du   | -0.271    |
|   |  | 0.001127  |    | 0.000744 |  | 0.002369  |
|   |  |           |    |          | dh   | 0.677     |
|   |  |           |    |          |  | 0.002369  |
| Aposteriori Covariance Matrix:              | 1.033485E-006<br>-1.416483E-006<br>-5.584946E-007        |           |    |          |  |           |
|   | 4.624211E-006<br>1.295245E-006                           |           |    |          |  |           |
|   | 1.779187E-006  |           |    |          |  |           |
| Variance Ratio:                             | 13.5   |           |    |          |  |           |
| Reference Variance:                         | 8.181  |           |    |          |  |           |
| Observable Count/Rejected RMS:              | L1 phase   |           |    |          | 1033/5 0.010                                     |           |

## b. Kiểm tra sai số khép hình

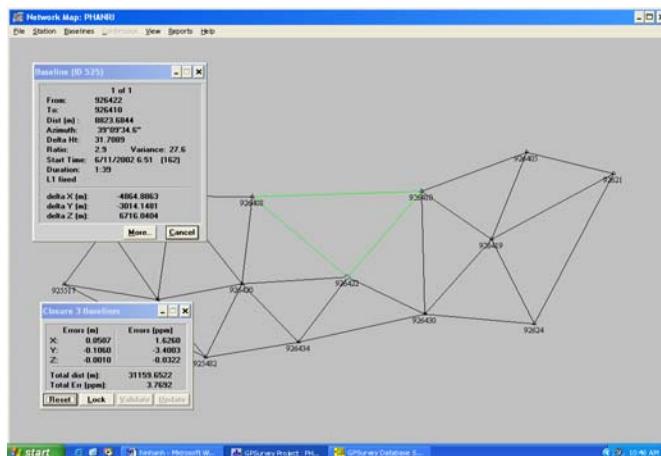
Dựa vào các hình khép kín chúng ta sẽ tính được sai số khép hình theo các cạnh đã đo. Nếu các cạnh được xác định trong 1 ca đo thì sẽ tính được sai số khép cùng ca đo. Nếu các cạnh khác ca đo thì sẽ tính được sai số khép khác ca đo. Sai số khép cùng ca đo thường nhỏ hơn sai số khép khác ca đo. Thông thường việc kiểm tra sai số khép hình trong lưới GPS được thực hiện tự động nhờ chức năng sẵn có của phần mềm xử lý số liệu GPS.

Khi xử lý vector cạnh GPS bằng phần mềm GPSurvey 2.35, việc tính sai số khép hình sẽ được thực hiện ngay trên sơ đồ lưới trong VIEW/NETWORK MAP. Sau khi kích chuột vào VIEW/ NETWORK MAP sẽ hiện toàn bộ sơ đồ mạng lưới. Sơ đồ mạng lưới được dựng lại theo các cạnh đã giải và có dạng tệp SSF trong TRIMVEC. Cửa sổ NETWORK MAP có dạng (hình 8.11):



Hình 8.11. Cửa sổ NETWORK MAP

Việc tính sai số khép được thực hiện nhờ chức năng CLOSURE trong BASELINES. Khi chọn CLOSURE, sẽ hiện thêm hai cửa sổ nhỏ (hình 8.12).



Hình 8.12. Cửa sổ tính sai số khép hình

Trong đó một cửa sổ (lớn) thông báo về baseline (BASELINE [ID...]), một cửa sổ (nhỏ) thông báo về sai số khép ( NEW CLOSURE ) .

Sai số khép có thể tính theo các giá số toạ độ không gian địa tâm  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  hoặc tính theo các giá số toạ độ không gian địa diện  $\Delta N, \Delta E, \Delta U$ . Để chọn cách tính ta sử dụng FORMAT trong BASELINES. Việc tính sai số khép hình được thực hiện bằng cách dùng chuột chọn và đánh dấu lần lượt các của hình khép. Khi chọn màu sắc của cạnh sẽ thay đổi. Sau khi chọn hết cạnh của một hình trên cửa sổ nhỏ sẽ thông báo sai số khép hình ở dạng  $f_x, f_y, f_z$  và sai số khép tương đối  $f_{xyz}/[D]$  dưới dạng phần triệu (ppm).

Kết quả tính sai số khép hình được cho dưới dạng  $x.ppm$  ( tức là  $x$  phần triệu). Từ  $x$  phần triệu (ppm) có thể tính sai số tương đối vòng khép theo công thức sau:

$$\frac{f_{x,y,z}}{[D]} = \frac{1}{1000000 / x} \quad (8.2.1)$$

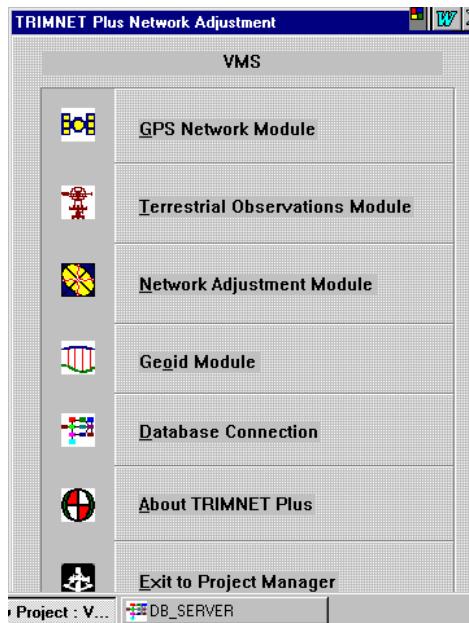
Trong đó  $[D]$  là chu vi của hình khép kín.

#### 8.2.2.4. Bình sai lưới GPS bằng Modul Trimnet Plus

Nếu chỉ đơn thuần bình sai lưới GPS, tất cả các cạnh (*baseline*) cần phải được tính trước bằng modul tính cạnh WAVE. Trước khi bình sai cần kiểm tra sai số khép các vòng khép kín. Khi tất cả các vòng khép kín đều đạt hạn sai, chúng tỏ trong lưới không có chứa sai số thô, ta có thể bình sai lưới GPS .

#### 1. Khởi động GPS Network Module

Từ cửa sổ chính của Modul *Trimnet Plus Network Adjustment*, (hình 8.13), ta vào GPS Network Module, khi đó trên màn hình sẽ xuất hiện cửa sổ **GPS Network Module**



Hình 8.13. Cửa sổ Trimnet Plus Network Adjustment

Nếu trong thư mục TRIMVEC đã có các tệp giải cạnh \*SSF, sau khi chọn lệnh **GPS Network Modul** (Lưới GPS) ở cửa sổ trên, modul Trimnet Plus sẽ đọc các tệp SSF từ TRIMVEC để hình thành mạng lưới GPS và cho hiển thị ngay sơ đồ lưới trên màn hình.

Trên cửa sổ chính **GPS Network Module** ta chọn **Network Adjustment** (bình sai lưới), khi đó sẽ có cửa sổ **Network Adjustment Modul**. Trên cửa sổ này có thể định nghĩa thêm ellipsoid mới (*Datum Definition*). Nếu trong danh sách **Datum** có ellipsoid cần chọn thì ta chọn bằng **Change Datum**, nếu trong danh sách chưa có ellipsoid cần chọn, ta phải định nghĩa ellipsoid bằng **Add New Datum**. Định nghĩa một ellipsoid mới bằng cách khai báo 2 tham số a,b hoặc a, và 1/f, sau đó chọn ellipsoid vừa định nghĩa. Trong cơ sở dữ liệu phần mềm đã có sẵn các ellipsoid như WGS-84, WGS-72, NAD-83, NAD-27. Chúng ta có thể định nghĩa một ellipsoid mới thi dụ: ellipsoid Kraxovski có 2 tham số đã biết: a= 6378245.000 m; f= 1/298.3

Tiếp theo có thể thay đổi hệ tọa độ từ Hệ tọa độ địa lý (*Geographic*) sang hệ tọa độ vuông góc phẳng theo phép chiếu UTM vv...

Để thay đổi hệ tọa độ, chọn lệnh **Change Corrdinate System**. Có một số phép chiếu tọa độ phẳng quen thuộc đó là phép chiếu hình trụ ngang đồng gốc UTM (*Transvecse Mercator*).

Theo phép chiếu UTM, ta cần định nghĩa các tham số sau:

- Kinh tuyến trung ương (trục)  $L_0$ ,
- Vĩ tuyến chuẩn  $B_0 = 0^\circ 00' 00''$ ,
- Tỷ lệ chiếu dài trên kinh tuyến trung ương  $m_0$ ,
- Hằng số cộng vào tọa độ X là 0 m, hằng số cộng vào tọa độ Y là 500 000. m.

Cần nhớ rằng trong phần mềm Trimnet Plus, người ta sử dụng ký hiệu Y thay cho X và X thay cho Y, mà ta vẫn thường dùng.

Chúng ta biết rằng phép chiếu tọa độ phẳng Gauss-Kriuger và phép chiếu UTM chỉ khác nhau tỷ lệ biến dạng dài trên kinh tuyến trục  $m_0$ , với phép chiếu Gauss-Kriuger  $m_0 = 1$ , với phép chiếu UTM dùng múi 6 độ, thì  $m_0 = 0.9996$ , nếu sử dụng múi 3 độ thì  $m_0 = 0.9999$ .

Như đã biết, sử dụng phép chiếu tọa độ phẳng UTM hay Gauss-Kruger sẽ làm biến dạng chiều dài. Với chiều dài cạnh không lớn hơn 10km, biến dạng chiều dài được tính theo công thức sau:

$$\delta_U = \left( m_0 - 1 + \frac{m_0 y_m^2}{2R_m^2} \right) D \quad (8.2.2)$$

trong đó D là chiều dài cạnh,  $R_m$  là bán kính trung bình của Trái đất,  $y_m$  là hoành độ trung bình của cạnh trong hệ tọa độ phẳng.

Khi lưới GPS được đo ở khu vực núi cao, có độ cao trắc địa H khá lớn thì chiều dài cạnh còn bị biến dạng do chuyển cạnh đo từ mặt đất lên mặt Ellipsoid, gọi là biến dạng do độ cao. Biến dạng này được tính theo công thức:

$$\delta_H = -\frac{H_m}{R_m} D \quad (8.2.3)$$

trong đó  $H_m$  là độ cao trắc địa cao trung bình của cạnh đo.

## 2. Bình sai lưới GPS.

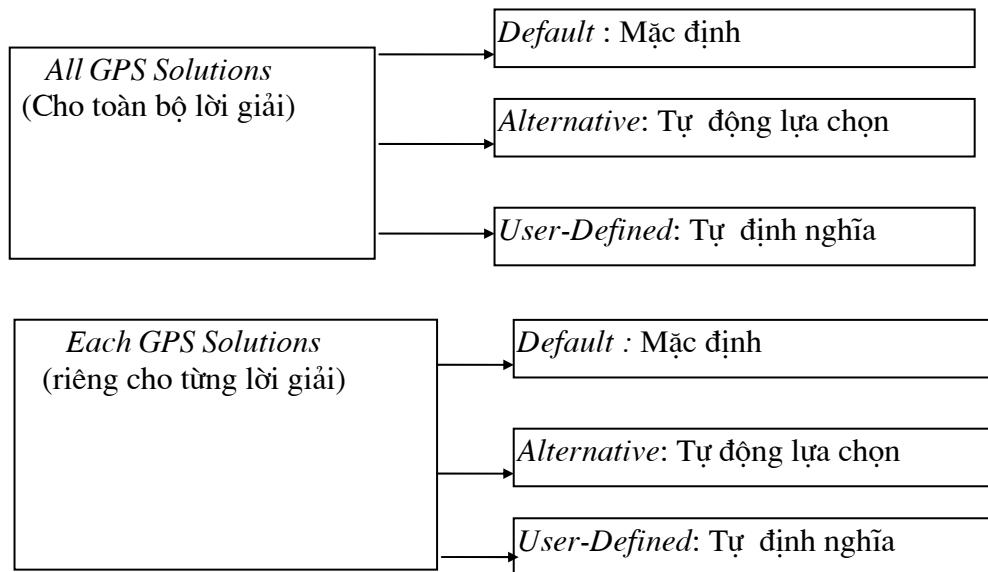
Bình sai lưới GPS là công đoạn cuối cùng trong xử lý số liệu lưới GPS. Bình sai lưới được thực hiện bằng Modul Trimnet Plus. Để bình sai lưới, cần thoát khỏi cửa sổ chọn hệ toạ độ để quay về cửa sổ **Network Adjustment Module**. Trên đó ta vào **Adjustment Menu** để tiến hành bình sai lưới.

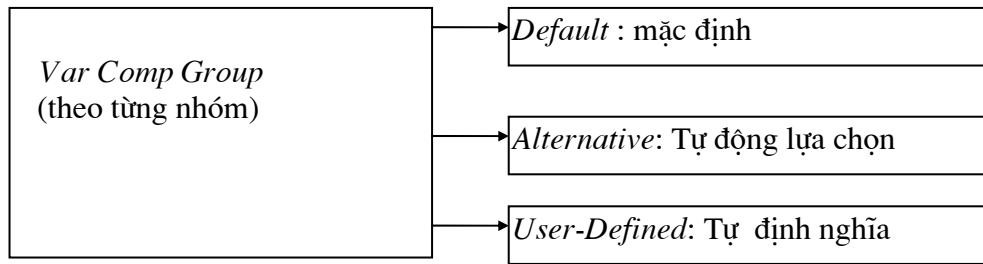
Nếu lưới có nhiều điểm gốc, trước hết cần bình sai với số liệu gốc tối thiểu hoặc bình sai tự do, là **bình sai lần thứ nhất**. Kết quả bình sai lần thứ nhất sẽ phát hiện được sai số thô nếu có và biết được chất lượng thực tế của mạng lưới vì trong kết quả bình sai lần này không chịu ảnh hưởng của sai số số liệu gốc.

Trước khi **bình sai lần thứ hai**, cần so sánh toạ độ các điểm gốc còn lại đã xác định được theo điểm gốc đã sử dụng (FIX). Nếu sự sai khác nằm trong giới hạn cho phép, chứng tỏ không có nhầm lẫn về số liệu gốc, có thể bình sai lần hai. Trong bình sai lần thứ hai, nên chọn trọng số qua dòng lệnh **Weighting Strategy**, theo đó có thể chọn tính trọng số cho các loại trị đo như:

- *GPS Observations* : Trị đo GPS
- *Terrestrial Observations* : Trị đo mặt đất
- *Geoid Observations* : "Trị đo" Geoid

Trong cửa sổ trên chọn *GPS Observations*, phần mềm cho phép sử dụng các phương pháp tính trọng số theo tổ hợp của 3 cách chọn trị đo và 3 cách tính trọng số, như vậy có đến 9 phương pháp tính trọng số, bao gồm:





Khi bình sai ta nên sử dụng trọng số cho tất cả lời giải (*All GPS Solutions*), hoặc riêng cho từng lời giải (*Each GPS Solutions*) theo phương pháp tự động lựa chọn *Alternative*. Với cách tính trọng số này ta thực hiện tính lặp cho đến khi sai số trung phương đơn vị trọng số (*Network Reference Factor*) bằng hoặc xấp xỉ 1, và kết quả phép thử  $\chi^2$  - bình phương (*Chi-Square Test*) có giá trị  $\alpha=95\%$  đạt PASS thì công việc bình sai lưới đã hoàn tất. Có thể xem kết quả bình sai nhờ *Displays* trong cửa sổ chính **GPS Network Module**.

Kết quả bình sai được ghi lại trong thư mục NETADJ với các tệp dạng văn bản \*.LOG, gồm:

- Tệp Coors.log ghi lại tọa độ sau bình sai
- Tệp Covar.log ghi lại sai số chiều dài cạnh, phương vị cạnh sau bình sai
- Tệp Observs.log ghi lại các trị đo sau bình sai
- Tệp Stats.log ghi yếu tố thống kê kết quả bình sai vv...

Có thể in các tệp kết quả bình sai ở dạng văn bản trong NC hoặc trong Microsoft Word. Để in kết quả theo mẫu quy định, cần lập chương trình biên tập kết quả lưới GPS. Chương trình này sẽ đọc các tệp kết quả bình sai bằng Trimnet Plus và ghi lại thành các tệp văn bản dạng bảng biểu có ghi chú bằng tiếng Việt.

### **3. Bình sai hỗn hợp lưới GPS và trị đo mặt đất**

Trong một vài mạng lưới GPS cạnh ngắn như lưới trắc địa công trình, người ta có thể tiến hành đo GPS kết hợp với các trị đo truyền thống (đo góc ngang, đo chiều dài cạnh bằng máy toàn đạc điện tử), khi đó sẽ nảy sinh bài toán bình sai hỗn hợp các trị đo GPS với các trị đo mặt đất. Modul Trimnet Plus có khả năng bình sai hỗn hợp các trị đo GPS cùng với trị đo mặt đất. Các trị đo mặt đất bao gồm: trị đo hướng (*Directions*); trị đo góc ngang (*Horizontal angles*); trị đo phương vị (*Azimuths*); trị đo dài (*Distances*) vv...

Để bình sai lưới GPS với các trị đo mặt đất, cần thực hiện các bước sau:

#### **1. Khởi động Modul lưới mặt đất.**

Trước khi nhập trị đo cần khai báo sai số đo để phục vụ cho bước tính trọng số trị đo. Trong Modul Trimnet Plus đã có các tham số mặc định về độ chính xác của các trị đo mặt đất, như trong bảng 8.4. Nếu người tính muốn thay đổi các giá trị tham số mặc định đó thì phải thao tác lệnh *Default Observation Parameters* trước khi vào giá trị các trị đo.

Bảng 8.4. Các tham số mặc định trị đo lưới mặt đất

| Trị đo                                     | Sai số TP tối thiểu |            | Giới hạn loại bỏ |
|--|---------------------|------------|------------------|
|  | a                   | b<br>(ppm) |                  |
| Angles -Góc ngang                          | 1.0"                |            | 2.5"             |
| Directions -Hướng                          | 1.0"                |            | 2.5"             |
| Azimuths-Phương vị                         | 1.0"                |            | 2.5"             |
| EDM Distances -Cạnh đo dài điện tử         | 0.005 m             | 5 ppm      | 0.020m           |
| Microwave Distances-Cạnh sóng ngắn         | 0.010 m             | 10 ppm     | 0.050m           |
| Tape Distances -Cạnh thước thép            | 0.001 m             | 10 ppm     | 0.030            |
| Stadia Distances : Cạnh Stadia             | 0.300 m             | 10000      | 1.000m           |
| One-way Vertical Angles: Góc đứng 1 chiều  | 10"                 |            | 30"              |
| Reciprocal Vertical Ang.: Góc đứng 2 chiều | 5"                  |            | 20"              |
| Delta Elevations : Hiệu số độ cao          | 0.003 m             |            |                  |
| Delta Geoid Heights: Hiệu số độ cao Geoid  | 0.100 m             | 20 ppm     | 0.005            |
| Observed Geoid Heights : Độ cao Geoid      | 1.000 m             |            |                  |

Giới hạn loại bỏ được sử dụng để khi vào số liệu các lần đo, nếu giá trị lần đo nào đó chênh lệch với trị trung bình quá lớn (vượt giới hạn đã cho) thì nó coi là có sai số thô và sẽ không được tính vào trị trung bình cộng, giá trị đó bị loại và trên dòng tương ứng ở cột bên (*Status*) ghi chú *Rejected* (bị loại). Chúng ta cũng có thể khai báo lại giá trị giới hạn loại bỏ.

## 2. Nhập trị đo (mặt đất)

Chọn lệnh *Data Entry* trên cửa sổ **Observations Menu** để vào số liệu đo. Ngay sau đó sẽ xuất hiện cửa sổ chọn dạng số liệu vào (**Data Entry Control**):

Số liệu đo lối mặt đất có thể gồm góc đo, hướng đo, phương vị và chiều dài đo.

### Nhập góc ngang.

Góc ngang được nhập từ số đo góc ngang, đã lấy trung bình từ các vòng đo hoặc chưa lấy trung bình từ các vòng đo. Nếu chưa lấy trung bình, khi vào giá trị các lần đo, chúng sẽ bị loại bỏ theo nguyên tắc nêu trên. Nếu giá trị góc đã lấy trung bình, ta chỉ cần vào một giá trị (một lần).

Mỗi góc ngang bao giờ cũng liên quan đến 3 điểm:

- BACKSIGHT POINT : Tên điểm ngắm trái
- INSTRUMENT POINT : Tên điểm đặt máy
- FORESIGHT POINT : Tên điểm ngắm phải
- H.T. là độ cao điểm ngắm; H.I. là độ cao máy; n là số vòng đo (lần đo)
- Mean Angle : Giá trị trung bình cộng của góc.

### Nhập hướng đo

Để nhập hướng đo, ta chọn *Directions* trong cửa sổ **Data Entry Control**. Trong cửa sổ vào hướng đo phải vào tên trạm máy (*Instrument Point*), số hướng đo tại trạm (*Number of Observed Targets*) và tên từng hướng ngắm (*Target #- Station Name*). Sau khi kê khai xong nội dung bảng trên, ta ấn **ENTER** để tiếp tục vào số liệu.

### Nhập phương vị

Vào *Azimuths* trong cửa sổ **Data Entry Control** để nhập số liệu phương vị.

Phương vị được chia làm 3 loại sau:

- *Astronomical* : Phương vị thiên văn
- *Normal Section* : Phương vị trắc địa (theo pháp tuyến)
- *Grid*: Phương vị trong hệ toạ độ vuông góc (góc định hướng)

Tùy thuộc vào loại phương vị đo ta chọn "lối vào" cho thích hợp, trong đó có các yếu tố:

- **INSTRUMENT POINT** : Tên điểm máy
- **FORESIGHT POINT** : Tên điểm ngắm

Có thể vào số liệu đo của từng lần đo, chương trình sẽ tự tính giá trị trung bình và loại bỏ trị đo có sai thô theo nguyên tắc đã nêu.

### Nhập chiều dài đo.

Vào *Distances* trong cửa sổ **Data Entry Control** để nhập số liệu chiều dài đo. Chiều dài được phân làm 4 loại như sau:

- *Slope Distances* : Chiều dài nghiêng
- *Horizontal Distances* : Chiều dài ngang
- *Ellipsoid Distances* : Chiều dài trên ellipsoid
- *Grid Distances* : Chiều dài trên hệ toạ độ vuông góc phẳng

Tùy thuộc vào chiều dài sử dụng, ta chọn "lối vào" để nhập số liệu cho thích hợp. Trong đó:

- **INSTRUMENT POINT** : Tên điểm máy
- **FORESIGHT POINT** : Tên điểm đặt gương

Sau khi đã vào hết số liệu đo, nếu có sai sót, có thể chỉnh sửa nhờ *Modify Observations* trong cửa sổ **Observations Menu**. Sau khi không còn sai sót ta tiến hành tính toạ độ gần đúng cho các điểm cần xác định phục vụ cho bình sai lưới.

### 3. Bình sai lưới

Sau khi đã tính xong toạ độ gần đúng, ta trở về menu chính (MAIN MENU) và chọn *Network Adjustment Module* để bình sai lưới. Nếu không sử dụng mô hình Geoid, việc bình sai lưới được thực hiện qua 2 bước sau:

- Bước 1. Trước hết ta bình sai với số liệu gốc tối thiểu,
- Bước 2. Bình sai cùng toàn bộ số liệu gốc.

Kết quả bình sai lưới mặt đất gồm các tệp văn bản thống kê toạ độ, độ chính xác sau bình sai và các hình ellip sai số cùng đồ thị phân bố của các số hiệu chỉnh trị đo.

#### 4. Bình sai lưới GPS có sử dụng mô hình Geoid

Như đã trình bày ở phần trước, người ta xây dựng các mô hình Geoid nhằm phục vụ cho các công tác nghiên cứu hình dạng Trái đất, xử lý số liệu trắc địa, đặc biệt là vấn đề xác định độ cao bằng công nghệ GPS. Hiện nay có thể sử dụng các mô hình Geoid toàn cầu như OSU91A, EGM96, EGM2008 vv... để tham gia bình sai cùng mạng lưới GPS. Trước khi bình sai cần kiểm tra xem trong cơ sở dữ liệu DATA của GPSurvey đã có các mô hình Geoid cần sử dụng chưa. Các mô hình này có khuôn dạng \*.GGF. Cũng có thể xây dựng mô hình Geoid cục bộ chính xác để khai thác sử dụng cho mục đích trên.

Để tính độ cao Geoid N cho một điểm bất kỳ, cần phải dựa vào độ cao Geoid của các điểm mốc lưới đã biết và nội suy theo thuật toán nào đó.

Với cách này, tại các điểm lưới GPS, sau khi có được độ cao trắc địa H (của các điểm lưới GPS), chỉ cần nội suy độ cao Geoid theo mô hình đã có ta sẽ được ngay độ cao thuỷ chuẩn h (độ cao chính) theo công thức đơn giản:

$$h = H - N \quad (8.2.4)$$

Trong mạng lưới GPS cần có ít nhất 1 điểm (O) đã biết độ cao thuỷ chuẩn ( $h_o$ ), khi đó việc tính độ cao  $h_i$  cho điểm (i) trong lưới GPS thực chất là sử dụng hiệu độ cao trắc địa và hiệu độ cao Geoid.

$$h_i = h_o + \Delta H_{i-o} - \Delta N_{i-o} \quad (8.2.5)$$

$$\text{trong đó: } \Delta H_{i-o} = H_i - H_o; \quad \Delta N_{i-o} = N_i - N_o \quad (8.2.6)$$

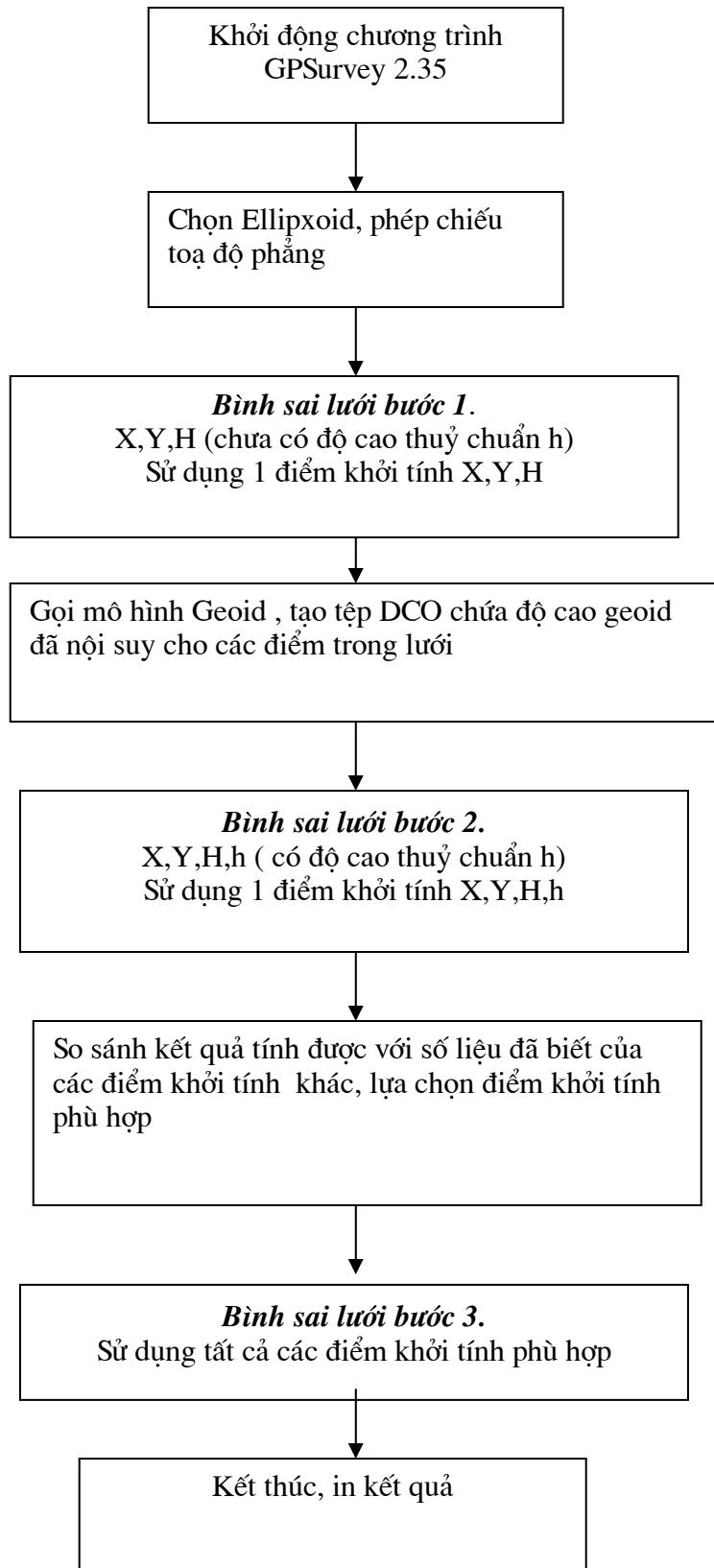
Modul Trimnet Plus cho phép chúng ta phối hợp bình sai các trị đo GPS có sử dụng mô hình Geoid để xác định thêm thành phần độ cao chính h của các điểm trong lưới. Các giá trị độ cao Geoid còn được coi như "trị đo" (*Observed Geoid Heights*) để tham gia bình sai theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất.

Lưu ý rằng, mô hình Geoid không phải là bề mặt Geoid thực, nó luôn có sai số. Sai số của mô hình Geoid sẽ ảnh hưởng đến độ chính xác của giá trị độ cao xác định được.

Để bình sai kết hợp lưới GPS và số liệu mô hình Geoid ta thực hiện các bước sau

1. Khởi động Module lưới GPS (*GPS Network Module*)
2. Thực hiện bình sai lưới GPS với số liệu gốc tối thiểu
3. Gọi mô hình Geoid (EGM-2008) trong *Terrestrial Network Module / Load Geoid Module*.
4. Tạo tệp số liệu Geoid dạng tệp \*DCO (*Create DCO File*)
5. Bình sai lưới GPS cùng số liệu Geoid trong tệp \*DCO theo số liệu gốc tối thiểu (sau đó nhận xét về kết quả và đánh giá số liệu gốc chưa tham gia bình sai)
6. Bình sai lưới GPS cùng số liệu Geoid với toàn bộ số liệu gốc.
7. In kết quả.

Quy trình bình sai lưới GPS bằng phần mềm GPSurvey 2.35 có sử dụng mô hình Geoid thể hiện trên sơ đồ sau:



## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đặng Nam Chinh. Các phương pháp trắc địa trong nghiên cứu địa động và chuyển dịch mặt đất. Bài giảng cao học trắc địa- Đại học Mỏ-Địa chất 3/ 2011.
- [2]. Đỗ Ngọc Đường, Đặng Nam Chinh. Hướng dẫn thực tập TĐCC- ĐH MĐC-2000.
- [3]. Đỗ Ngọc Đường, Đặng Nam Chinh. Bài giảng Công nghệ GPS; bộ môn TĐCC-ĐH M-ĐC 2007.
- [4]. Phạm Hoàng Lân. Bài giảng công nghệ GPS (cho cao học trắc địa)- ĐH MĐC-1997.
- [5]. Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về xây dựng lưới tọa độ. QCVN 04:2009/BTNMT. Hà Nội- 2009.
- [6]. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về xây dựng lưới độ cao (QCVN 11: 2008/ BTNMT), Hà Nội, 2008.
- [7]. TCXDVN 364:2006. " Tiêu chuẩn kỹ thuật đo và xử lý số liệu GPS trong trắc địa công trình".
- [8].B. Hofmann- Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins. Global Positioning System- Theory and Practice. Third, Revised Edition. Springer- Verlag , Wien, New York- 1994.
- [9]. Gunter Seeber. Satellite Geodesy - Walter de Gruyter. Berlin, New York 2003.
- [10]. Surveying Using Global Navigation Satellite System. RMIT- University, Department of Geospatial Science for Surveyor-General Victoria 2003, Minor amendments 2006.
- [11]. Jana Krynskiego. Nowe obowiązujące niebieskie i ziemskie systemy i uklady odniesienia oraz ich wzajemne relacje. IGiK -Warszawa 2004.
- [12]. 4600 LS Survey Operation Manual. Trimble Navigation Limited. USA April 1997
- [13]. Trimble Geomatic office. Software user Guide- Trimble. Ltd. 1999.
- [14]. NAVSTAR Global Positioning System Surveying. US Army Corps of Engineers. EM 1110-1-1003. 1. July 2003.
- [15]. Guidelines and Specifications for GPS Surveys of ISN Markers. Singapore Land Authority. Version. 2.2- June 2006.
- [16]. Janusz Narkiewicz. Globalny System Pozycyjny - GPS . Wydawnictwa Komunikacji i Lacznosci -WKL. Warszawa-2003
- [17]. Heinz Habrich. Geodetic Applications of the Global Navigation Satellite System (GLONASS) and of GLONASS/GPS Combinations.
- [18]. Christopher Jekeli. Geometric Reference Systems in Geodesy. Ohio State University- July 2006.
- [19]. R.E. Deakin, M.N. Hunter. Geometric Geodesy. RMIT University. Melbourne, Australia. January-2010.
- [20]. Quy trình kỹ thuật đo GPS ở khu vực đô thị. Bắc kinh 1997.(bản tiếng Trung Quốc).

- [21]. Trimnet Plus- Survey Network Software User's Manual. Trimble Navigation Limited USA - 1997.
- [22]. Kevin Dixon. Stafire: A Global SBAS for Sub-Decimeter Precise Point Positioning. ION GNSS 19<sup>th</sup> International Technical Meeting of the satellite Division, 26-29 September 2006. Fort Worth, TX.
- [23]. Mohamed Abdel-tawwab Abdel-salam. Precise Point Positioning Using Un-Difference Code and Carrier Phase Observations (U. Calgary). OCGE Reports Number 20229.
- [24]. GB-1000. Operator's Manual. TOPCON. Inc. 2004
- [25]. Mobinder S. Grewal, Lawrence R. Weill, and Angus P. Andrews. Global Positioning System, Inertial Navigation, and Integration. Second Edition. Wiley-Interscience. 2007
- [26]. Seelye Martin. An Introduction to Oceana Remote Sensing. Cambridge University Press.2006.
- [27].Neil Ashby. Relativistic Effects in the Global Positioning System. Department of Physics, University of Colorado. Bounder, CO 80309-0390 (2006).
- [28]. Guidelines and Specifications for GPS Surveys of ISN Markers. Version 2.2. June 2006. Singapore Land Authority Survey Services. Singapore 068811.
- [29].He-Chin Chen, Yu-Sheng Huang ..vv The Performance comparison between GPS and Beidou-2/COMPASS: A perspective from Asia. Journal Chinese Institute of Engineers, Vol. 32,No. 5, pp. 679-689 (2009).
- [30]. Cao Chong. Status of COMPASS/Beidou Development. Stanford's 2009 PNT Challenges and Opportunities Symposium. October 21-22,2009.
- [31].Xiaoya Wang, Bin Wu .... Impact of SLR Tracking on COMPASS/Beidou. International Technical Laser Workshop on SLR Tracking of GNSS Constellations. Metsovo. Greece, Sept. 14-19,2009.
- [32]. T. Grelier, A. Ghion, J. Dantepal, L. Ries vv... Compass Signal Structure and First Measurements. University FAF Munich, Germany.
- [33]. Paul Kemppi. Next generation satellite navigation systems. TVV Research notes 2408, ESPOO 2007.
- [34]. Binghao Li, Shaocheng Zhang, Andrew G Dempster and Chris Rizos. RNSSs Positioning in the Asia-Oceania Region.
- [35]. H. Stewart Cobb. GPS Pseudolites: Theory, Design, and Applications. SUDAAR 707, September 1997.
- [36]. C. O'Driscoll, D. Borio, J. Fortuny. Scoping Study on Pseudolites. JRC Scientific and Technical Reports. EUR 24798 EN.
- [37].Parimal Majithiya, Kriti Khatri, J.K.Hota. Indian Regional Navigation Satelite System.  
[www.insidegnss.com](http://www.insidegnss.com)

- [38]. Vyasaraj Guru Rao, Gerard Lachapelle, Vijay Kumar S B. Analysis of IRNSS over Indian Subcontinent. ION ITM 2011, session B5, San Diego, CA, 24-26, January 2011.
- [39]. G. Madhavan Nair. Satellites for Navigation. Press information Bureau Government of India, Bangalore.
- [40]. Mobinder S. Grewal, Lawrence R. Weill, and Angus P. Andrews. Global Positioning System, Inertial Navigation, and Integration. Second Edition. Wiley-Interscience. 2007
- [41]. Alfred Leick. GPS Satellite Surveying - Orono-Maine 1995.
- [42]. Yongcheol SUH, Yusuke KONISHI, Tomohiro HAKAMATA, Ryosuke SHIBASAKI. The Effects of Quasi-Zenith Satellite System in Urban Environments. Center for Spatial Information Science, University of Tokyo.
- [43]. Alison Brown and Bruce Johnson, GPS M'-Code and P-Code Signal Simulation Using an Open Source Radio Platform. Proceeding of ION GNSS 2011, Portland, Oregon, September 2011.
- [44]. Mitigating the Threat of GPS Jamming-Anti-Jam Technology for Land Vehicles. NovAtel White Paper-June 2011.
- [45]. Rob Barnett. GPS and Weapons Technology. 10/2006.
- [46]. Carlo Kopp. GPS Aided Guided Munitions- Parts I-V.(2008).
- [47]. Geoffrey Forden. The Military Capabilities and Implications of China's Indigenous Satellite-Based Navigation System.Taylor & Francis Group-2004.
- [48]. National Security Assessment.
- [49]. Carlo Kopp. Cruise missile guidance techniques. Military Technology. Defence Today.
- [50]. Jan Leyssens. GNSS positioning for UAV Applications. Septentrio, Leuven, Belgium.
- [51]. S. Todorova, T. Hobiger, H. Schuh. Combination of GPS and satellite altimetry data for global ionosphere maps. Institute of Geodesy and Geophysics, Vienna University of Technology, Vienna, Austria.
- [52]. A.G. Mourad; N.A. Frazier; ... Satellite Applications to Marine Geodesy. NASA. Washington, D.C. January/1969.

## MỤC LỤC

| Nội dung  | Trang |
|---|-------|
| Mở đầu .....  | 2     |
| Chương 1. <b>Nhiệm vụ và các bài toán cơ bản của trắc địa vệ tinh</b> .....       | 4     |
| 1.1. Lịch sử phát triển và nhiệm vụ của trắc địa vệ tinh .....                    | 4     |
| 1.1.1. <i>Lịch sử phát triển của trắc địa vệ tinh</i> .....                       | 4     |
| 1.1.2. <i>Nhiệm vụ của trắc địa vệ tinh</i> .....                                 | 7     |
| 1.2. Các bài toán và các nguyên lý định vị vệ tinh .....                          | 8     |
| 1.2.1. <i>Bài toán hình học và bài toán động học</i> .....                        | 8     |
| 1.2.2. <i>Nguyên lý định vị tuyệt đối và định vị tương đối</i> .....              | 10    |
| 1.3. Các phương pháp quan sát VTNT .....  | 11    |
| 1.3.1. <i>Đo hướng tới vệ tinh</i> .....  | 11    |
| 1.3.2. <i>Đo khoảng cách đến các vệ tinh</i> .....                                | 13    |
| 1.3.3. <i>Các trị đo Doppler</i> .....  | 16    |
| 1.3.4. <i>Các trị đo từ vệ tinh đến vệ tinh</i> .....                             | 18    |
| 1.4. Đo cao từ vệ tinh .....  | 19    |
| Chương 2. <b>Các kiến thức cơ sở</b> .....  | 23    |
| 2.1. Các hệ thống tọa độ .....  | 23    |
| 2.1.1. <i>Một số khái niệm và phân loại</i> .....                                 | 23    |
| 2.1.2. <i>Các hệ tọa độ cố định trong không gian</i> .....                        | 25    |
| 2.1.3. <i>Các hệ tọa độ cố định với Trái đất</i> .....                            | 26    |
| 2.1.4. <i>Hệ tọa độ cố định với vệ tinh</i> .....                                 | 35    |
| 2.2. Các hệ thống thời gian .....   | 36    |
| 2.2.1. <i>Cơ sở tính thời gian, các loại đồng hồ và các hệ thống giờ</i> .....    | 36    |
| 2.2.2. <i>Các yêu cầu chung đối với hệ thống giờ trong trắc địa vệ tinh</i> ..... | 38    |
| 2.2.3. <i>Giờ nguyên tử quốc tế, giờ GPS và giờ động lực</i> .....                | 39    |
| 2.3. Lan truyền tín hiệu và các hiệu ứng .....                                    | 41    |
| 2.3.1. <i>Sóng tải và điều biến</i> .....   | 41    |
| 2.3.2. <i>Hiệu ứng khí quyển ảnh hưởng đến tín hiệu vệ tinh</i> .....             | 43    |
| 2.3.3. <i>Hiệu ứng của thuyết tương đối</i> .....                                 | 50    |
| Chương 3. <b>Chuyển động của vệ tinh nhân tạo</b> .....                           | 57    |
| 3.1. Ba định luật Kepler .....  | 57    |
| 3.1.1. <i>Ba định luật Kepler</i> .....   | 57    |
| 3.1.2. <i>Một vài thí dụ tính toán</i> .....                                      | 58    |
| 3.2. Các yếu tố quỹ đạo vệ tinh .....   | 59    |
| 3.2.1. <i>Quỹ đạo không bị nhiễu</i> .....  | 59    |

|   |     |
|---|-----|
| 3.2.2. Các nguyên nhân gây nhiễu quỹ đạo . . . . .                            | 61  |
| 3.3. Tính tọa độ vệ tinh . . . . .  | 62  |
| 3.3.1. Tính tọa độ vệ tinh theo các yếu tố quỹ đạo Kepler . . . . .           | 62  |
| 3.3.2. Tính tọa độ theo tọa độ, vận tốc, gia tốc tại thời điểm lịch . . . . . | 66  |
| Chương 4. Hệ thống định vị toàn cầu GPS . . . . .                             | 67  |
| 4.1. Cấu trúc của hệ thống GPS . . . . .                                      | 67  |
| 4.1.1. Đoạn không gian . . . . .  | 67  |
| 4.1.2. Đoạn điều khiển . . . . .  | 70  |
| 4.1.3. Đoạn sử dụng . . . . .   | 71  |
| 4.2. Tín hiệu vệ tinh GPS và thông tin đạo hàng . . . . .                     | 72  |
| 4.2.1. Đặc điểm tín hiệu vệ tinh GPS . . . . .                                | 72  |
| 4.2.2. Thông tin đạo hàng . . . . .   | 78  |
| 4.2.3. Lịch vệ tinh . . . . .   | 80  |
| 4.3. Trị đo khoảng cách giả . . . . .   | 88  |
| 4.3.1. Nguyên tắc đo khoảng cách giả theo tín hiệu code . . . . .             | 88  |
| 4.3.2. Nguyên tắc đo khoảng cách giả theo pha sóng tải . . . . .              | 91  |
| 4.4. Trị đo pha sóng tải . . . . .  | 93  |
| 4.4.1. Trị đo pha sóng tải . . . . .  | 93  |
| 4.4.2. Các sai phân của pha sóng tải . . . . .                                | 95  |
| 4.4.3. Các tổ hợp tuyến tính của pha sóng tải . . . . .                       | 98  |
| 4.5. Định vị tuyệt đối . . . . .  | 100 |
| 4.5.1. Định vị tuyệt đối khoảng cách giả . . . . .                            | 100 |
| 4.5.2. Định vị tuyệt đối chính xác (PPP) . . . . .                            | 105 |
| 4.5.3. Bài tập mẫu định vị tuyệt đối khoảng cách giả . . . . .                | 105 |
| 4.6. Định vị tương đối . . . . .  | 110 |
| 4.6.1. Các phương trình cơ bản trong định vị tương đối . . . . .              | 111 |
| 4.6.2. Phân loại định vị tương đối . . . . .                                  | 113 |
| 4.7. Các nguồn sai số trong định vị vệ tinh . . . . .                         | 115 |
| 4.7.1. Sai số phụ thuộc vào vệ tinh . . . . .                                 | 116 |
| 4.7.2. Sai số phụ thuộc vào môi trường lan truyền tín hiệu . . . . .          | 117 |
| 4.7.3. Sai số phụ thuộc vào máy thu . . . . .                                 | 120 |
| 4.8. Các máy thu GPS . . . . .  | 122 |
| 4.8.1. Nguyên lý cấu tạo máy thu GPS và phân loại . . . . .                   | 122 |
| 4.8.2. Các máy thu GPS trong công tác trắc địa . . . . .                      | 125 |
| Chương 5. Các hệ thống định vị vệ tinh khác . . . . .                         | 130 |
| 5.1. Hệ thống GLONASS . . . . .   | 130 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.1.1. Cấu trúc của hệ thống GLONASS .....                                      | 130 |
| 5.1.2. Hệ tọa độ PZ-90 và thông tin đạo hàng .....                              | 132 |
| 5.2. Hệ thống GALILEO .....   | 133 |
| 5.2.1 Cấu trúc của hệ thống .....   | 134 |
| 5.2.2 Đặc điểm tin hiệu và phương pháp định vị .....                            | 136 |
| 5.3. Hệ thống COMPASS .....   | 137 |
| 5.4. Một số hệ thống định vị vệ tinh khu vực .....                              | 140 |
| 5.4.1. Hệ thống vệ tinh tựa thiên đỉnh QZSS của Nhật Bản .....                  | 140 |
| 5.4.2. Hệ thống vệ tinh dẫn đường khu vực của Ấn Độ (IRNSS) .....               | 142 |
| Chương 6. Định vị GPS vi phân và các hệ thống tăng cường .....                  | 145 |
| 6.1. Định vị GPS vi phân .....  | 145 |
| 6.1.1. Khái niệm và phân loại .....   | 145 |
| 6.1.2. Định vị GPS vi phân trạm tham chiếu đơn .....                            | 146 |
| 6.2. Các hệ thống định vị GNSS tăng cường .....                                 | 148 |
| 6.2.1. Các hệ thống tăng cường dựa trên cơ sở mặt đất .....                     | 148 |
| 6.2.2. Các hệ thống tăng cường dựa trên cơ sở vệ tinh .....                     | 152 |
| 6.3. Hệ thống các trạm tham chiếu làm việc liên tục CORS .....                  | 155 |
| 6.3.1. Khái niệm chung .....  | 155 |
| 6.3.2. Một số hệ thống trạm tham chiếu làm việc liên tục .....                  | 157 |
| 6.4. Phân tích sai số trong định vị vi phân và các ứng dụng .....               | 159 |
| 6.4.1. Phân tích sai số .....   | 159 |
| 6.4.2. Một số ứng dụng của DGPS .....   | 160 |
| Chương 7. Các ứng dụng của GNSS .....   | 161 |
| 7.1. Ứng dụng GNSS trong xây dựng các mạng lưới trắc địa .....                  | 161 |
| 7.1.1. Những vấn đề chung .....   | 161 |
| 7.1.2. Một số đặc điểm trong xây dựng mạng lưới GPS .....                       | 163 |
| 7.1.3. Thiết kế ca đo và công tác chuẩn bị .....                                | 166 |
| 7.1.4. Công tác đo đạc ngoại nghiệp .....                                       | 175 |
| 7.2. Ứng dụng GPS trong trắc địa công trình .....                               | 178 |
| 7.2.1. Đo lập các mạng lưới cơ sở TĐCT và lưới thi công công trình .....        | 178 |
| 7.2.2. Đo lập các mạng lưới quan trắc biến dạng và chuyển dịch công trình ..... | 182 |
| 7.3. Đo GPS động và các ứng dụng trong trắc địa-bản đồ .....                    | 183 |
| 7.3.1. Các phương pháp đo động và thiết bị đo động .....                        | 183 |
| 7.3.2. Công tác đo đạc ngoại nghiệp .....                                       | 186 |
| 7.3.3. Các ứng dụng GPS động .....  | 190 |
| 7.4. Đo cao GPS .....   | 192 |

|   |     |
|---|-----|
| <i>7.4.1. Nguyên lý đo cao GPS</i>                                      | 192 |
| <i>7.4.2. Mô hình Geoid</i>   | 194 |
| <i>7.4.3. Một số phương pháp nội suy xác định độ cao thường</i>         | 197 |
| <i>7.4.4. Xác định độ cao dựa vào số liệu trọng lực và phép nội suy</i> | 202 |
| <i>7.4.5. Ứng dụng của đo cao GPS</i>                                   | 203 |
| <i>7.5. Ứng dụng GNSS trong nghiên cứu địa động</i>                     | 204 |
| <i>7.6. Một số ứng dụng GPS trong quân sự</i>                           | 206 |
| <i>7.6.1. Định vị và trinh sát trong chiến tranh hiện đại</i>           | 207 |
| <i>7.6.2. Dẫn đường vũ khí bằng GPS</i>                                 | 210 |
| <b>Chương 8. Xử lý số liệu đo GNSS</b>                                  | 214 |
| <i>8.1. Quy trình xử lý số liệu lưới GPS</i>                            | 214 |
| <i>8.1.1. Trút số liệu</i>  | 214 |
| <i>8.1.2. Xử lý véc tơ cạnh</i>   | 215 |
| <i>8.1.3. Kiểm tra mạng lưới</i>  | 218 |
| <i>8.1.4. Bình sai mạng lưới GPS</i>                                    | 219 |
| <i>8.1.5. Tính đổi tọa độ</i>   | 221 |
| <i>8.2. Phần mềm xử lý số liệu GPS</i>                                  | 224 |
| <i>8.2.1. Giới thiệu chung</i>  | 224 |
| <i>8.2.2. Phần mềm GPSurvey 2.35</i>                                    | 225 |
| <b>Tài liệu tham khảo</b>   | 243 |