

ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

Nghiên cứu bộ thu mềm giải mã tín hiệu NavIC

LÝ VĂN HIẾU

hieu.lv204829@sis.hust.edu.vn

Ngành Kỹ thuật máy tính

Giảng viên hướng dẫn: TS. Hoàng Văn Hiệp

Chữ ký GVHD

Khoa: Kỹ thuật máy tính

Trường: Công nghệ thông tin và Truyền thông

HÀ NỘI, 06/2024

LỜI CẢM ƠN

Đầu tiên, em xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến TS. Hoàng Văn Hiệp, người đã định hướng, giúp đỡ tận tình và tạo mọi điều kiện để em có thể hoàn thành bản đồ án tốt nghiệp này.

Em cũng xin trân trọng cảm ơn các thầy cô Trường Công nghệ Thông tin và Truyền thông cũng như các thầy cô tại Đại học Bách khoa Hà Nội, những người đã tận tình giảng dạy cho em trong suốt quá trình học tập tại trường để em có được kết quả như ngày hôm nay.

Em xin trân trọng cảm ơn các thầy cô, anh chị cán bộ và các bạn sinh viên tại Trung tâm NAVIS – Đại học Bách Khoa Hà Nội, đã giúp đỡ về nhiều mặt trong quá trình nghiên cứu và triển khai thực nghiệm.

Cuối cùng, cho phép em được cảm ơn gia đình, bạn bè đã luôn là nguồn động viên to lớn đối với em trong suốt quá trình nghiên cứu thực hiện đồ án tốt nghiệp này.

LỜI CAM KẾT

Họ và tên sinh viên: Lý Văn Hiếu

MSSV: 20204829

Điện thoại liên lạc: 0837391866

Email: hieu.lv204829@sis.hust.edu.vn

Lớp: Kỹ thuật máy tính 02 - Khóa 65

Chương trình đào tạo: Kỹ thuật máy tính

Tôi – *Lý Văn Hiếu* – cam kết Đồ án Tốt nghiệp (ĐATN) là công trình nghiên cứu của bản thân tôi dưới sự hướng dẫn của TS. *Hoàng Văn Hiệp*. Các kết quả nêu trong ĐATN là trung thực, là thành quả của riêng tôi, không sao chép theo bất kỳ công trình nào khác. Tất cả những tham khảo trong ĐATN – bao gồm hình ảnh, bảng biểu, số liệu, và các câu trích dẫn – đều được ghi rõ ràng và đầy đủ nguồn gốc trong danh mục tài liệu tham khảo. Tôi xin hoàn toàn chịu trách nhiệm với dù chỉ một sao chép vi phạm quy chế của nhà trường.

Hà Nội, ngày tháng năm

Tác giả ĐATN

Họ và tên sinh viên

TÓM TẮT NỘI DUNG ĐỒ ÁN

Các hệ thống định vị sử dụng vệ tinh đang ngày càng phát triển hơn để phục vụ cho các nhu cầu, dịch vụ cần định hướng... Bên cạnh những hệ thống định vị lâu đời như GPS, GLONASS, một số hệ thống mới được ra đời như IRNSS/NavIC. Hệ thống định vị NavIC cung cấp dịch vụ định vị, dẫn đường, đồng bộ thời gian cho khu vực Ấn Độ và các vùng lân cận. Việt Nam nằm trong vùng có thể bắt được tín hiệu của NavIC nên tiềm năng ứng dụng của NavIC tại Việt Nam là rất lớn.

So với bộ thu cứng có nhiều khuyết điểm về tính linh hoạt và khả năng nâng cấp, bộ thu mềm (software receiver) đã được phát triển để cải thiện sự linh hoạt và đáp ứng các yêu cầu khó mà bộ thu cứng không làm được.

Do vậy hướng phát triển bộ thu mềm cho tín hiệu NavIC là hướng nghiên cứu có thể đem lại những ứng dụng tiềm năng lớn cho Việt Nam hiện tại và sau này. Đồ án này tập trung nghiên cứu xây dựng khôi giải mã bản tin cho tín hiệu của NavIC, ghép với các khôi được tùy chỉnh từ bộ thu mềm cho tín hiệu GPS để tạo thành một bộ thu mềm hoàn chỉnh. Kết quả tính toán của bộ thu được trình bày trong đồ án cho thấy quá trình thiết kế và xây dựng bộ thu mềm là chính xác. Tuy nhiên vẫn có thể cải thiện thêm ở một số hướng, sẽ được trình bày ở phần kết luận.

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU ĐỀ TÀI.....	1
1.1 Đặt vấn đề.....	1
1.2 Mục tiêu	1
1.3 Tổng quan về bộ thu mềm.....	2
1.3.1 Tổng quan về định vị vệ tinh	2
1.3.2 Tổng quan kiến trúc bộ thu mềm.....	4
1.4 Bố cục đồ án	6
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT	7
2.1 Frontend	7
2.2 Khối đồng bộ tín hiệu	9
2.2.1 Khai phá tín hiệu (Acquisition).....	9
2.2.2 Bám tín hiệu (Tracking).....	10
2.3 Khối giải mã bản tin	15
2.3.1 Đồng bộ frame.....	16
2.3.2 Hiệu chỉnh dữ liệu, tìm dữ liệu gốc	16
2.3.3 Kiểm tra bits đuôi và kiểm tra mã CRC	17
2.3.4 Lấy ra tham số điều hướng từ bản tin định vị	18
2.4 Khối tính toán vị trí	21
2.4.1 Tính toán vị trí vệ tinh	21
2.4.2 Tính toán vị trí bộ thu	23
CHƯƠNG 3. TRIỂN KHAI BỘ THU MỀM CHO TÍN HIỆU IRNSS - NAVIC	27
3.1 Triển khai khối đồng bộ tín hiệu.....	27
3.1.1 Acquisition	28

3.1.2 Tracking.....	29
3.2 Triển khai khôi giải mã bản tin.....	31
3.3 Triển khai khôi tính toán vị trí	36
CHƯƠNG 4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM.....	42
4.1 Thiết lập thí nghiệm.....	42
4.2 Kết quả thu được	42
4.2.1 Kết quả thu được của từng phần sau khi triển khai.....	42
4.2.2 Kết quả thu được của kịch bản thu	54
CHƯƠNG 5. KẾT LUẬN	58
5.1 Kết luận.....	58
5.2 Hướng phát triển trong tương lai	58
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	60

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1	Kiến trúc hệ thống định vị sử dụng vệ tinh [2]	3
Hình 1.2	Phương pháp tính toán vị trí	3
Hình 1.3	Kiến trúc bộ thu mềm	4
Hình 2.1	Các khối thành phần của bộ thu mềm	7
Hình 2.2	Máy thu tín hiệu	8
Hình 2.3	Cấu hình tham số để thu tín hiệu NavIC	8
Hình 2.4	Sơ đồ khai phá dữ liệu (ví dụ giá trị tương quan thấp)	10
Hình 2.5	Sơ đồ khai phá dữ liệu (ví dụ giá trị tương quan cao)	11
Hình 2.6	Sơ đồ thuật toán carrier tracking (Mạch Costas) [8]	12
Hình 2.7	Mối quan hệ giữa mã sớm (Early), mã đúng (Prompt), mã trễ (Late) [1]	13
Hình 2.8	Sơ đồ thuật toán code tracking [8]	14
Hình 2.9	Sơ đồ giải mã bản tin	15
Hình 2.10	Sơ đồ mã hóa FEC [4]	17
Hình 2.11	Quỹ đạo vệ tinh và các tham số Kepler [12]	22
Hình 2.12	Vị trí vệ tinh trên mặt phẳng quỹ đạo [12]	23
Hình 2.13	Sai lệch thời gian giữa thời gian vệ tinh và thời gian bộ thu	23
Hình 3.1	Sơ đồ triển khai bộ thu mềm	27
Hình 3.2	Sơ đồ thuật toán Acquisition sử dụng FFT	28
Hình 3.3	Lưu đồ thuật toán Acquisition	29
Hình 3.4	Lưu đồ thuật toán Tracking	30
Hình 3.5	Lưu đồ thuật toán giải mã bản tin định vị	33
Hình 3.6	Mã hóa FEC	34
Hình 3.7	Lưu đồ thuật toán lấy giá trị tham số điều hướng	35
Hình 3.8	Lưu đồ thuật toán của khối tính toán vị trí	36
Hình 3.9	Lưu đồ thuật toán tính toán vị trí vệ tinh	37
Hình 3.10	Lưu đồ thuật toán tính toán vị trí bộ thu	38
Hình 4.1	Tập lệnh thu tín hiệu tự động trong Window	42
Hình 4.2	Kết quả Acquisition của một số PRN	43
Hình 4.3	Kết quả carrier tracking của pha PLL	44
Hình 4.4	Kết quả carrier tracking của pha DLL	44
Hình 4.5	Kết quả code tracking	45
Hình 4.6	Kết quả của thành phần I_P sau khi giải điều chế	45

Hình 4.7	Kết quả tương quan của mã đồng bộ và đoạn dữ liệu	46
Hình 4.8	Phần đầu đoạn bit của 4 subframe sau khi chuyển về bit 1, 0 .	46
Hình 4.9	Bit đuôi của từng subframe	47
Hình 4.10	Giá trị các tham số điều hướng của PRN 10	47
Hình 4.11	Vị trí của vệ tinh (PRN 10) trên hệ tọa độ ECEF	48
Hình 4.12	Giả khoảng cách của PRN 10	48
Hình 4.13	Vị trí bộ thu được tính toán	48
Hình 4.14	Vị trí bộ thu tính toán được trên bản đồ	49
Hình 4.15	Kết quả Acquisition của các vệ tinh thu được tín hiệu	50
Hình 4.16	Chất lượng tín hiệu (C/N0) của các vệ tinh	51
Hình 4.17	Kết quả Tracking của các vệ tinh thu được tín hiệu	52
Hình 4.18	Kết quả sau khi giải mã bản tin của các vệ tinh	53
Hình 4.19	Kết quả sau khi tính toán (1 ngày dữ liệu)	54
Hình 4.20	Vị trí bộ thu tính toán so với vị trí thực tế	55
Hình 4.21	Quỹ đạo của các vệ tinh thu được tín hiệu	56
Hình 4.22	Quỹ đạo của vệ tinh trên thực tế [11]	57

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 2.1	Cấu trúc dữ liệu định vị IRNSS/NavIC	16
Bảng 2.2	Tham số xen kẽ	17
Bảng 2.3	Tham số mã hóa FEC	17
Bảng 2.4	Cấu trúc của subframe 1 & 2	18
Bảng 2.5	Cấu trúc của subframe 3 & 4	18
Bảng 2.6	Bố cục dữ liệu subframe 1	19
Bảng 2.7	Bố cục dữ liệu subframe 2	20
Bảng 2.8	Ý nghĩa tham số của subframe 2	20
Bảng 2.9	Ý nghĩa tham số của subframe 1	21
Bảng 2.10	Các tham số Kepler	22
Bảng 3.1	Các tham số của thuật toán Viterbi	34
Bảng 3.2	Cấu trúc Ercorr.	39
Bảng 3.3	Cấu trúc Topocent.	39
Bảng 3.4	Cấu trúc Togeo.	40
Bảng 3.5	Cấu trúc Tropo.	40
Bảng 4.1	Thông tin về các vệ tinh trong hệ thống IRNSS	57

DANH MỤC THUẬT NGỮ VÀ TỪ VIẾT TẮT

Thuật ngữ	Ý nghĩa
BPSK	Khoá dịch pha nhị phân (Binary Phase Shift Keying)
CDMA	Đa truy cập phân chia theo mã (Code Division Multiple Access)
CRC	Kiểm tra chu kỳ tuần hoàn (Cyclic Redundancy Check)
DLL	Vòng khóa trễ (Delay Lock Loop)
DOP	Độ chính xác phân giải (Dilution of Precision)
FEC	Sửa lỗi chuyển tiếp (Forward Error Correction)
FFT	Biến đổi Fourier nhanh (Fast Fourier Transform)
FLL	Vòng khóa tần số (Frequency Lock Loop)
GDOP	Độ chính xác phân giải hình học (Geometric Dilution of Precision)
GLONASS	Hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu của Nga (Russia's Global Navigation Satellite System)
GNSS	Hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu (Global Navigation Satellite System)
GPS	Hệ thống định vị toàn cầu (Global Positioning System)
HDOP	Độ chính xác phân giải nằm ngang (Horizontal Dilution of Precision)
IF	Tần số trung gian (Intermediate Frequency)
IODEC	Vấn đề về dữ liệu ephemeris và đồng hồ (Issue Of Data Ephemeris)
Clock)	Vấn đề về dữ liệu, tầng điện ly (Issue of Data, Ionosphere)
IODI	Vấn đề về dữ liệu, tầng điện ly (Issue of Data, Ionosphere)

Thuật ngữ	Ý nghĩa
IRNSS	Hệ thống vệ tinh dẫn đường khu vực Ấn Độ (Indian Regional Navigation Satellite System)
ISRO	Tổ chức nghiên cứu không gian Ấn Độ (Indian Space Research Organization)
PDOP	Độ chính xác phân giải vị trí (Position Dilution of Precision)
PRN	Nhiều giả ngẫu nhiên (Pseudo-Random Noise)
PVT	Vị trí, Vận tốc, Thời gian (Position Velocity Time)
SYNC	Đồng bộ hóa (Synchronization)
TDOP	Độ chính xác phân giải thời gian (Time Dilution of Precision)
TLM	Điều khiển từ xa (Telemetry)
TOW	Thời gian của tuần (Time Of Week)
TOWC	Đếm thời gian của tuần (Time Of Week Count)
URA	Độ chính xác phạm vi người dùng (User Range Accuracy)
UTC	Giờ phối hợp quốc tế (Coordinated Universal Time)
VDOP	Độ chính xác phân giải thẳng đứng (Vertical Dilution of Precision)
WGS	Tiêu chuẩn trắc địa thế giới (World Geodetic Standard)

CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU ĐỀ TÀI

1.1 Đặt vấn đề

Định vị vệ tinh (Satellite navigation) là phương pháp định vị dẫn đường đang ngày càng phát triển và đóng vai trò quan trọng trong nhiều lĩnh vực. Bên cạnh những hệ thống định vị toàn cầu lớn mạnh như GPS, GLONASS được ra đời từ rất sớm (những năm 80 của thế kỷ trước), hiện đã có những hệ thống định vị mới ra đời như IRNSS-NavIC của Ấn Độ.

NavIC (Navigation with Indian Constellation) là hệ thống định vị vệ tinh khu vực do Tổ chức Nghiên cứu Vũ trụ Ấn Độ (ISRO) phát triển và triển khai. Hệ thống này cung cấp dịch vụ định vị, dẫn đường, đồng bộ thời gian cho khu vực Ấn Độ và các vùng lân cận, *trong đó bao gồm cả Việt Nam*. NavIC có độ chính xác cao cung cấp độ chính xác định vị ở mức 10 mét, sử dụng tín hiệu L5 ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu so với GPS (sử dụng tín hiệu L1 và L2). Và do NavIC là hệ thống định vị do Ấn Độ phát triển và vận hành nên đảm bảo được tính an ninh và khả năng tiếp cận cho người dùng trong khu vực. Việt Nam nằm trong vùng có thể bắt được tốt tín hiệu của NavIC, cũng tức là tiềm năng ứng dụng của NavIC tại Việt Nam là rất lớn.

Các bộ thu tín hiệu định vị trước đây là các bộ thu cứng (hardware receiver), các bộ thu này cho phép xử lý tín hiệu tốc độ cao, tuy nhiên độ linh hoạt và khả năng nâng cấp, cập nhật hệ thống không cao do sẽ phải thiết kế và sản xuất lại từ đầu, dẫn đến chi phí cao. Một hướng nghiên cứu mới để giải quyết vấn đề này là xây dựng các bộ thu mềm (software receiver), trong đó các thành phần xử lý tín hiệu thời gian được thực hiện bằng chương trình phần mềm trên các vi xử lý lập trình được. Kỹ thuật này cho phép xây dựng các bộ thu linh hoạt hơn, dễ dàng thay đổi cập nhật hệ thống do việc thay đổi chỉ cần thực hiện trên chương trình phần mềm. Nhờ đó, việc nâng cấp bộ thu đáp ứng các yêu cầu mới (sử dụng các tín hiệu định vị mới, nâng cấp thuật toán xử lý tín hiệu, hoạt động trong các môi trường đặc thù như trong nhà, trong rừng,...) được thực hiện dễ dàng hơn.

Từ những ý nghĩa quan trọng của bộ thu mềm và tiềm năng ứng dụng của NavIC tại Việt Nam, đề tài này tập trung nghiên cứu xây dựng bộ thu mềm giải mã tín hiệu NavIC dựa trên nền tảng là bộ thu mềm giải mã tín hiệu GPS [1].

1.2 Mục tiêu

Mục tiêu của đồ án này là nghiên cứu xây dựng bộ thu mềm cho tín hiệu NavIC ở tần số băng tần L5 (NavIC có các tần số ở băng tần L5, S và hiện tại có cả L1)

để tính toán vị trí bộ thu với độ chính xác cao và đánh giá các kết quả thu được. Để làm được điều này, những nhiệm vụ trong đồ án cần giải quyết là nghiên cứu cơ sở lý thuyết về các khôi xử lý thông tin của bộ thu và xây dựng, triển khai chúng để tạo thành bộ thu mềm hoàn chỉnh.

Quá trình xây dựng sẽ dựa trên bộ thu mềm đã có: *Bộ thu mềm cho tín hiệu GPS*. Bộ thu mềm cho tín hiệu GPS được lấy từ tài liệu: *A software defined GPS and Galileo Receiver. A Single-Frequency Approach* của các 5 tác giả: Kai Borre, Dennis M. Akos, Nicolaj Bertelsen, Peter Rinder và Søren Holdt Jensen [1].

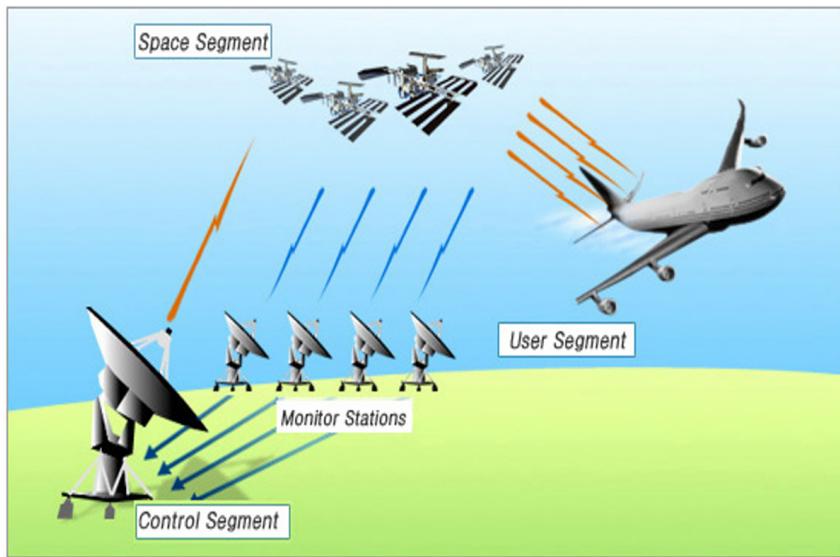
Nhiệm vụ chính của đồ án là xây dựng khôi giải mã bản tin cho bộ thu mềm, các khôi còn lại sẽ được tùy chỉnh từ bộ thu mềm cho tín hiệu GPS. Để thực hiện nhiệm vụ này, các công việc cần làm là: (i) Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về các khôi xử lý của bộ thu. (ii) Tìm hiểu các đặc trưng của tín hiệu và bản tin của NavIC. (iii) Tùy chỉnh 2 khôi theo các đặc trưng của tín hiệu. (iv) Xây dựng khôi giải mã bản tin, tạo thành bộ thu hoàn chỉnh.

Bộ thu mềm được phát triển bằng MATLAB. Đầu vào là file dữ liệu thu được từ vệ tinh bằng máy thu, đầu ra là vị trí của bộ thu tính toán được. Các nghiên cứu và triển khai thực tế được hỗ trợ bởi trung tâm NAVIS, tại tòa B1 trường Công nghệ thông tin và Truyền thông, Đại học Bách khoa Hà Nội.

1.3 Tổng quan về bộ thu mềm

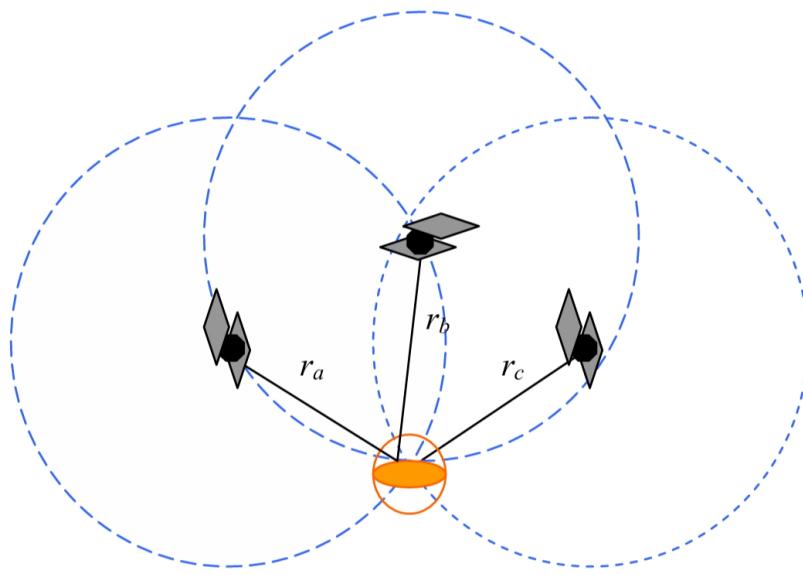
1.3.1 Tổng quan về định vị vệ tinh

Trong suốt chiều dài lịch sử của nhân loại, việc xác định vị trí và dẫn đường luôn là một trong những bài toán quan trọng, được áp dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực từ dân sự đến quân sự như giao thông, giám sát hành trình, khảo sát địa hình, bản đồ, và điều hướng các phương tiện. Trải qua từng giai đoạn, nhiều phương pháp định vị và dẫn đường đã ra đời, từ những phương pháp đơn giản như dựa vào các mốc cố định, đến những phương pháp khoa học và chính xác hơn như quan sát thiên văn, sử dụng bản đồ và các công cụ đo đạc khác. Tuy nhiên, các phương pháp này thường gặp hạn chế về độ phức tạp, độ chính xác và độ tin cậy. Cùng với sự tiến bộ của khoa học công nghệ, phương pháp định vị sử dụng vệ tinh đã ra đời, ban đầu phục vụ mục đích quân sự và sau đó được mở rộng ứng dụng trong nhiều lĩnh vực dân sự khác nhau.



Hình 1.1: Kiến trúc hệ thống định vị sử dụng vệ tinh [2]

Một hệ thống định vị sử dụng vệ tinh (Hình 1.1) thường gồm bốn thành phần sau: (i) hệ thống các vệ tinh trên quỹ đạo (space segment): có nhiệm vụ phát quảng bá tín hiệu định vị cho người dùng toàn cầu; (ii) hệ thống các trạm mặt đất (control segment): có chức năng giám sát, điều khiển các vệ tinh và đảm bảo các vệ tinh hoạt động ổn định, chính xác; (iii) các bộ thu của người dùng đầu cuối (user segment); (iv) hệ thống hỗ trợ định vị (monitor segment): gồm các thiết bị, hệ thống hỗ trợ nhằm tăng hiệu năng hoạt động (độ chính xác, độ tin cậy, khả năng sẵn sàng) của hệ thống định vị.



Hình 1.2: Phương pháp tính toán vị trí

Hệ thống định vị sử dụng vệ tinh hoạt động như sau [3]: các bộ thu định vị thông qua ăng-ten thu tín hiệu được phát từ vệ tinh. Ở pha xử lý đầu tiên, bộ thu tiến hành

đồng bộ tín hiệu nhận được với tín hiệu do bộ thu sinh ra. Sau đó, bộ thu giải điều chế tín hiệu nhận được và giải mã bản tin định vị từ dữ liệu thu được sau giải điều chế. Thông tin từ bộ đồng bộ tín hiệu và từ bản tin định vị được sử dụng để xác định vị trí của vệ tinh trên không gian. Dựa vào các thông tin trên, bộ thu tính toán xác định vị trí của người sử dụng. Về cơ bản, vị trí của bộ thu được xác định là giao điểm của các đường tròn với tâm là các vệ tinh, bán kính là khoảng cách từ vệ tinh đến bộ thu (Hình 1.2).

Giả sử vị trí của người sử dụng trong hệ toạ độ địa tâm (Earth Centered Earth Fixed – ECEF) [4] là (x,y,z) . Để giải được 3 ẩn số này, cần xác định được 3 phương trình mặt cầu, tương ứng với việc phải xác định được vị trí của 3 vệ tinh và khoảng cách từ bộ thu đến các vệ tinh đó. Hay nói cách khác, bộ thu phải “nhìn thấy” tối thiểu 3 vệ tinh để có thể tự xác định ra được vị trí của mình.

Tuy nhiên, do khoảng cách giữa bộ thu và vệ tinh được xác định thông qua thời gian lan truyền của tín hiệu định vị, và tham số này được đo thông qua hiệu số của đồng hồ đặt trên vệ tinh và đồng hồ máy thu. Giữa hai đồng hồ này có độ lệch và độ lệch này chủ yếu gây ra do đồng hồ bộ thu, do phải đáp ứng yêu cầu về kích thước, giá thành, v.v. nên đồng hồ bộ thu có độ chính xác không cao. Sai số này là hằng số đối với phép đo khoảng cách đến các vệ tinh tại một thời điểm, vì vậy, ta có thể coi độ lệch (hay sai số) đồng hồ máy thu được coi là ẩn số thứ 4. Do đó, để có thể xác định được nghiệm cho 4 ẩn số, bộ thu phải "nhìn thấy" ít nhất 4 vệ tinh tại cùng một thời điểm.

1.3.2 Tổng quan kiến trúc bộ thu mềm.

Sau khi bộ thu định vị thu tín hiệu từ vệ tinh, tín hiệu này được xử lý giải điều chế, giải mã để có được bản tin định vị. Các thông tin sau khi giải mã được sử dụng để tính toán vị trí. Quy trình xử này được mô tả trên Hình 1.3.



Hình 1.3: Kiến trúc bộ thu mềm

a, Thu tín hiệu

Bộ thu định vị thu tín hiệu tương tự từ ăng-ten, sau đó bộ thu chuyển tần số tín hiệu thu được về tần số trung gian (Intermediate Frequency - IF) và biến đổi tương tự-số. Tín hiệu đầu ra từ thiết bị thu sẽ là đầu vào cho quá trình phía sau.

b, Khai phá tín hiệu

Khai phá tín hiệu (acquisition) là bước tiếp theo, nhận đầu vào là tín hiệu của bước thu tín hiệu. Mục đích của bước này là xác định sự tồn tại của tín hiệu phát đi của một hay nhiều vệ tinh trong hệ thống định vị. Ba tham số cần có để xác định tín hiệu này là: mã trải phổ đặc trưng cho từng vệ tinh có trong hệ thống; tần số Doppler; độ trễ mã trải phổ. Việc xác định tín hiệu được thực hiện trên không gian tìm kiếm ba chiều với kích thước bằng miền giá trị của ba tham số trên. Mỗi điểm trên không gian tìm kiếm giúp bộ thu tạo ra một tín hiệu cục bộ. Tín hiệu này được so sánh với tín hiệu thu được thông qua việc tính giá trị hàm tương quan giữa 2 tín hiệu này. Tại vị trí có bộ 3 tham số trên gần với tín hiệu thu được nhất thì hàm tương quan sẽ đạt đỉnh. Sau đó bộ 3 tham số này sẽ được đưa vào làm đầu vào cho bước tiếp theo: bám tín hiệu (tracking).

c, Bám tín hiệu

Do các tham số đặc trưng cho tín hiệu (độ trễ mã trải phổ và tần số Doppler) được xác định trong bước khai phá tín hiệu có độ chính xác chưa cao, không thể dùng để giải điều chế tín hiệu thu được. Mặt khác, các tham số này có giá trị thay đổi theo thời gian. Do vậy, cần phải thực hiện bám tín hiệu để ước lượng các tham số tín hiệu với độ chính xác cao, đồng thời "bám" theo sự thay đổi của các tham số này. Các kết quả ước lượng của quá trình bám tín hiệu được sử dụng trong giải trải phổ và giải điều chế sóng mang tín hiệu thu được từ vệ tinh.

Kết quả trả về sau khi giải trải phổ và giải điều chế sóng mang là tín hiệu có dạng xung vuông. Sau đó bộ thu sẽ chuyển các xung vuông này thành dữ liệu nhị phân, tốc độ 50 bps (đối với NavIC/IRNSS L5), nghĩa là độ rộng 1 bit là 20 ms, ứng với 20 chu kỳ mã trải phổ. Quá trình này được gọi là đồng bộ bit, cách thực hiện là xác định sườn xung, xác định dấu và thay 20 giá trị liên tiếp bằng giá trị 1 hoặc -1 (do việc giải điều chế được tiến hành theo từng ms). Kết quả của quá trình đồng bộ bit sẽ được sử dụng làm đầu vào cho bước giải mã bản tin định vị.

d, Giải mã bản tin

Mục tiêu của giải mã bản tin định vị là từ dòng bit đầu vào giải mã ra bản tin định vị được gửi đi từ vệ tinh. Bản tin định vị thu được gồm các tham số quỹ đạo, tham số hiệu chỉnh đồng hồ cho bản thân vệ tinh đó và cho tất cả các vệ tinh trong hệ thống [5]. Các tham số này được sử dụng để xác định vị trí vệ tinh và hiệu chỉnh đồng hồ bộ thu trong bước tính toán kết quả định vị.

e, Tính toán vị trí

Từ các bản tin định vị của các vệ tinh thu được sau quá trình giải mã bản tin, quá trình tính toán vị trí sẽ thực hiện tính toán để xác định vị trí của bộ thu. Các kết quả tính toán sau đó sẽ được lưu trữ và hiển thị.

1.4 Bố cục đồ án

Phần còn lại của báo cáo đồ án tốt nghiệp này được tổ chức như sau.

Chương 2 trình bày về cơ sở lý thuyết của bộ thu mềm. Trong đó sẽ phân tích chi tiết về 3 khối thành phần cấu tạo nên bộ thu và một phần thu tín hiệu là frontend.

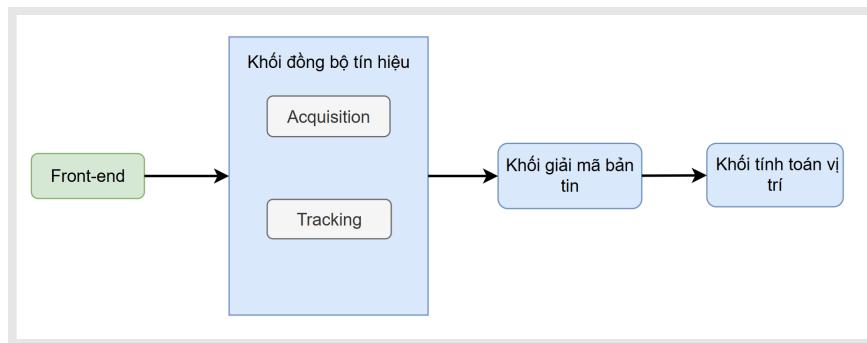
Trong Chương 3 sẽ giới thiệu về cách triển khai từng khối thành phần của bộ thu mềm, đi sâu vào việc áp dụng cơ sở lý thuyết để xây dựng từng khôi. Các thuật toán được sử dụng, các bước tính toán cũng sẽ được phân tích chi tiết.

Trong Chương 4, sau khi triển khai bộ thu mềm được xây dựng như ở Chương 3, bắt đầu tiến hành các thực nghiệm và thu thập kết quả. Toàn bộ kết quả sẽ được đưa ra và phân tích.

Cuối cùng, trong Chương 5 sẽ đưa ra các kết luận và định hướng tiếp tục trong tương lai của bộ thu mềm cho tín hiệu NavIC này.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Bộ thu mềm cho tín hiệu IRNSS - NavIC cũng có kiến trúc gồm các giai đoạn: Thu tín hiệu; Acquisition (Khai phá tín hiệu); Tracking (Bám tín hiệu); Navigation data extraction (Giải mã bản tin); Computation of position (Tính toán vị trí). Các giai đoạn này có thể được chia thành các khối: (i) Frontend - với nhiệm vụ thu tín hiệu; (ii) Khối đồng bộ tín hiệu - gồm Acquisition và Tracking; (iii) Khối giải mã bản tin định vị - gồm Navigation data extraction; (iv) Khối tính toán vị trí - gồm Computation of position.



Hình 2.1: Các khối thành phần của bộ thu mềm

2.1 Frontend

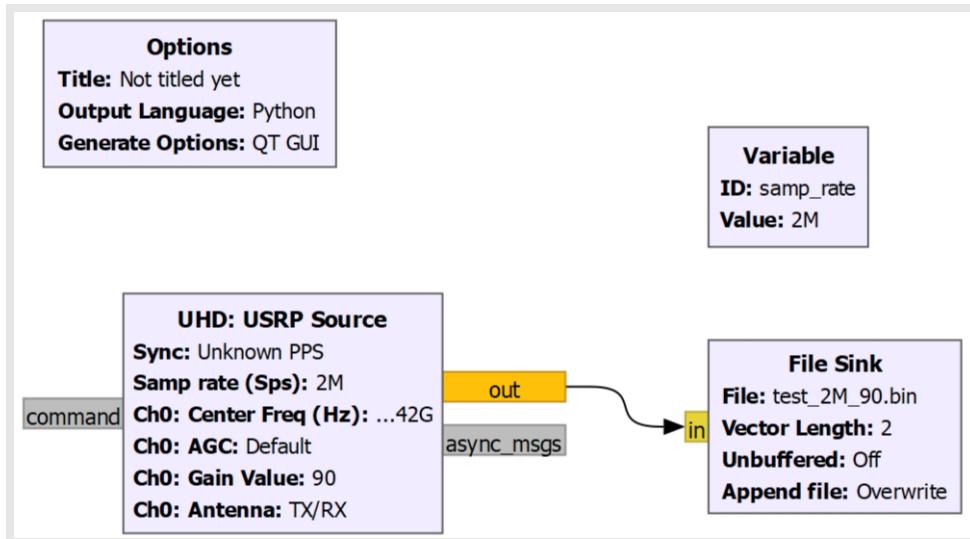
IRNSS cung cấp dịch vụ vị trí tiêu chuẩn (Standard Position Services - SPS), một dịch vụ mở không có mã hóa. Tín hiệu SPS được điều chế BPSK (Binary Phase Shift Keying - là một dạng điều chế tín hiệu số trong đó dữ liệu nhị phân được biểu diễn bằng sự thay đổi pha của sóng mang) trên băng tần L5.

Frontend có nhiệm vụ thu tín hiệu tương tự từ ăng ten, chuyển tần số tín hiệu từ tần số L5 (1176.45 MHz - với tín hiệu NavIC) [4] về tần số trung gian (Intermediate Frequency - IF) và biến đổi tương tự-số.



Hình 2.2: Máy thu tín hiệu

Máy thu tín hiệu được sử dụng trong quá trình thu tín hiệu phục vụ nghiên cứu là USRP x300 (Hình 2.2). Phần mềm được sử dụng để kết nối tới máy thu là GNU Radio Companion. Sau khi thiết lập IP Enthernet trên máy tính cùng dải IP với USRP (sử dụng Enthernet và đã mặc định IP tĩnh là 192.168.10.2), khởi chạy phần mềm GNU Radio Companion và cấu hình các tham số: tần số lấy mẫu (số mẫu tín hiệu được lấy trong một giây để chuyển đổi tín hiệu tương tự sang tín hiệu số - ở đây đặt là 2MHz); tần số trung tâm (là tần số L5); định dạng dữ liệu đầu ra. (Hình 2.3)



Hình 2.3: Cấu hình tham số để thu tín hiệu NavIC

Tín hiệu NavIC L5 ở đầu ra của frontend có dạng [6]:

$$r[n] = \sqrt{2C}d[n]c[n + \tau] \cos(2\pi(f_{IF} + f_D)nT_s + \phi) + n_W[n]$$

Trong đó C là công suất sóng mang (W), $d[n]$ là dữ liệu định vị, $c[n]$ là mã trai phổ PRN, đặc trưng cho mỗi vệ tinh, f_{IF} và f_D lần lượt là tần số trung gian (của front-end) và tần số Doppler gây ra do chuyển động tương đối giữa vệ tinh và bộ thu, $T_s = 1/F_s$ là chu kỳ lấy mẫu (s) (F_s là tần số lấy mẫu, Hz), ϕ là pha ban đầu sóng mang (rad), τ là độ lệch ban đầu của mã trai phổ do thời điểm bắt đầu thu dữ liệu có thể không trùng với thời điểm bắt đầu của chu kỳ mã trai phổ, và n_W là nhiễu trắng, phân bố chuẩn ($n_W \sim \mathcal{N}(0, \sigma_n^2)$).

Tín hiệu thu được sẽ được lưu trữ và sử dụng làm đầu vào trong khối đồng bộ tín hiệu.

2.2 Khối đồng bộ tín hiệu

2.2.1 Khai phá tín hiệu (Acquisition)

Bước acquisition (khai phá tín hiệu) có nhiệm vụ là xác định thô các tham số đặc trưng cho tín hiệu của mỗi vệ tinh phát ra. Các tham số này là: mã trai phổ (c), tần số Doppler (f_D) và độ trễ mã trai phổ (τ). Mã trai phổ - mã thu nhận thô C/A (Coarse/Acquisition) đặc trưng cho mỗi vệ tinh. Tần số Doppler là sự thay đổi tần số của tín hiệu NavIC do chuyển động giữa vệ tinh và máy thu tín hiệu. Độ trễ mã trai phổ là thời gian từ lúc phát tín hiệu từ vệ tinh đến lúc nhận tín hiệu tại thiết bị thu.

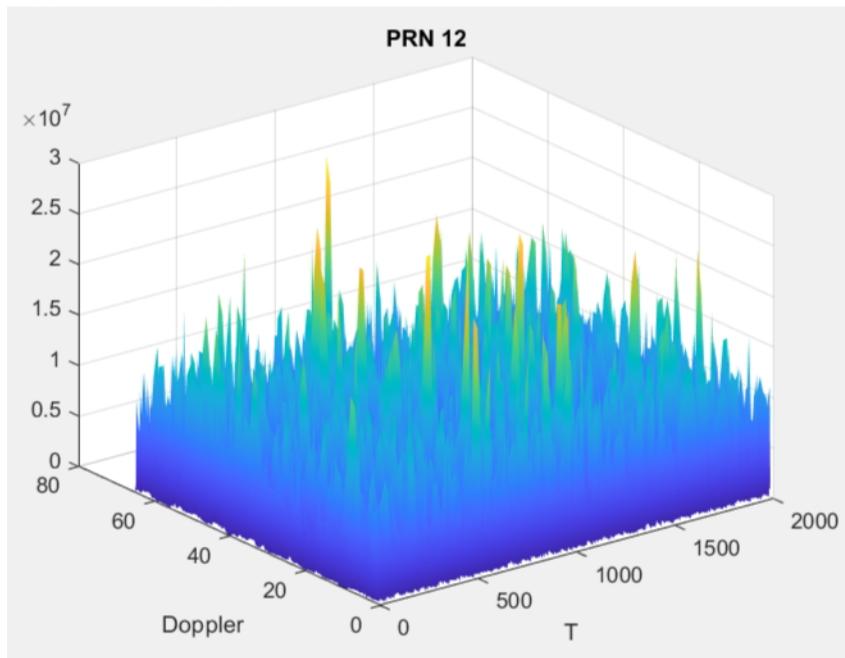
Với từng mã trai phổ, bộ thu sẽ tạo ra các tín hiệu thử với các giá trị f_D và τ khác nhau, rồi so sánh với tín hiệu thu được bằng cách tính giá trị tương quan giữa 2 tín hiệu. Không gian tìm kiếm là không gian rời rạc, mỗi điểm giao thoa thể hiện một tín hiệu thử, trong đó kích thước các bước tìm kiếm được xác định như sau:

$$\Delta f_D = \frac{1}{2T_{coh}} \text{ (Hz)}; \quad \Delta\tau = \frac{F_s}{2R_c} \text{ (samples)}$$

Trong đó T_{coh} là độ dài theo thời gian của đoạn tín hiệu được dùng để tính tương quan, R_c là tốc độ mã trai phổ. Đối với NavIC, $R_c = 1.023 \text{ MHz}$.

Một cách khái quát, việc ước lượng các giá trị f_D và τ mà bước acquisition thực hiện là việc tìm ra điểm giao thoa trên không gian tìm kiếm gần với điểm biểu diễn tín hiệu thực thu được. Nếu có thu được độ trễ và tần số, giá trị tương quan tại điểm giao thoa đúng nhất sẽ cao hơn hẳn so với xung quanh (Hình 2.5).

Cách thực hiện Acquisition có thể chia thành 2 phương pháp: hoặc tìm kiếm tuần tự - tìm kiếm lần lượt với từng điểm trong không gian tìm kiếm; hoặc tìm kiếm song song sử dụng phép biến đổi Fourier nhanh (FFT) - thực hiện tính toán với nhiều giao điểm một lúc. Có hai phương pháp sử dụng FFT: tìm kiếm song



Hình 2.4: Sơ đồ khai phá dữ liệu (ví dụ giá trị tương quan thấp)

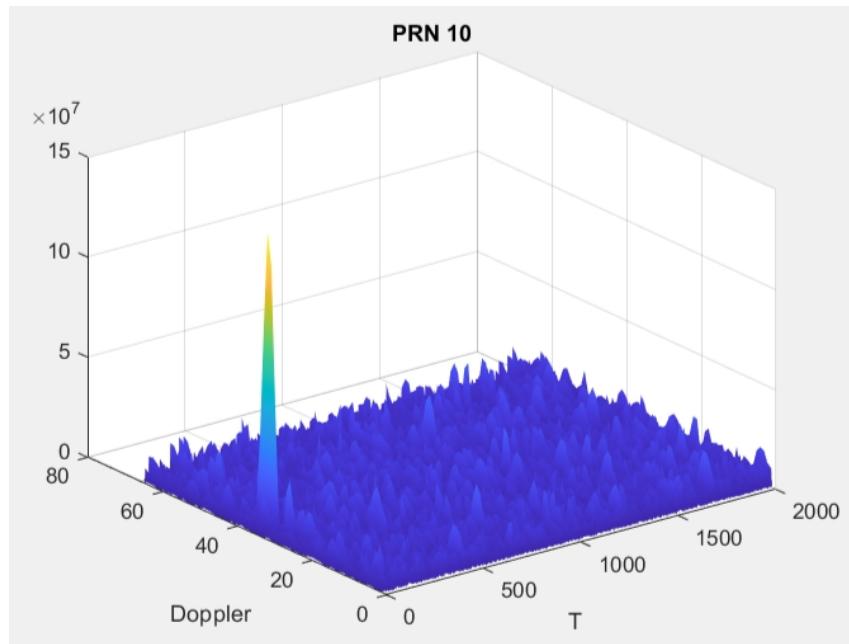
song trên chiều τ hoặc tìm kiếm song song trên chiều f_D . Trong các phương pháp trên, tìm kiếm tuần tự là thuật toán đơn giản nhất nhưng cũng có chi phí tính toán rất cao. Trong 2 phương pháp tính toán song song, thuật toán tìm kiếm song song trên chiều τ cho hiệu quả cao hơn [7]. Do đó, khi xây dựng acquisition, ta sử dụng thuật toán tìm kiếm song song trên chiều τ sử dụng FFT.

Nếu giá trị tương quan thấp thì sẽ bỏ qua, do có thể kết luận trong dữ liệu thu được không tìm thấy tín hiệu của vệ tinh có mã trại phổ đang xét (Hình 2.4. Thông thường, nếu giá trị tương quan lớn nhất lớn gấp khoảng 2.4 lần giá trị tương quan lớn thứ 2 thì kết luận được các tham số f_D , τ của mã trại phổ đang xét. Như trong hình 2.5, tại điểm đạt đỉnh, tức là bộ ba (c, f_D, τ) trên không gian tìm kiếm gần tương đương với tín hiệu thu được nhất. Sau đó, bước tracking (bám tín hiệu) sẽ sử dụng ba tham số này làm đầu vào.

2.2.2 Bám tín hiệu (Tracking)

Bám tín hiệu là bước tiếp theo của khôi đồng bộ tín hiệu, ở bước này sẽ thực hiện ước lượng chính xác và bám theo sự thay đổi liên tục của các tham số f_D và τ . Bám tín hiệu gồm 2 quá trình thực hiện song song: code tracking và carrier tracking [1].

Quá trình carrier tracking: tạo ra thành phần sóng mang có tần số và pha giống hệt như thành phần sóng mang của tín hiệu thu được. Carrier tracking được thực hiện bằng mạch vòng, xác định tương quan giữa thành phần sóng mang giữa 2 sóng mang và điều khiển bộ tạo sóng mang để điều chỉnh tần số cho đúng. Quá trình thực hiện gồm 2 pha: thực hiện bằng mạch vòng khoá tần số (Frequency Locked



Hình 2.5: Sơ đồ khai phá dữ liệu (ví dụ giá trị tương quan cao)

Loop - FLL) để xác định tần số (hay còn gọi là pull-in phase) và thực hiện bằng mạch vòng khoá pha (Phase Locked Loop - PLL) để xác định pha sóng mang.

Quá trình code tracking: ước lượng động giá trị của mã trãi phổ. Mục đích của quá trình này là xác định ra một mã trãi phổ tương tự với mã trãi phổ của tín hiệu thu được. Mã trãi phổ này được thực hiện bằng cách tính và so sánh tương quan của 3 mã trãi phổ lệch nhau 0.5 chip. Mạch vòng DLL sẽ tính và so sánh các giá trị tương quan này, và điều khiển cho bộ sin mã trãi phổ thay đổi tốc độ tạo mã cho phù hợp.

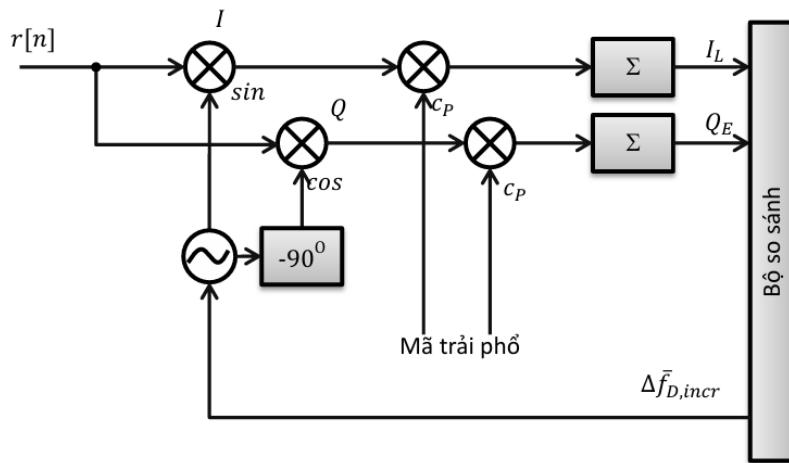
Các kết quả của bước khai phá tín hiệu được chuyển giao để khởi tạo các vòng lặp. Tiếp theo, tệp dữ liệu IF thô được mở lại để đọc kích thước khối đã được xác định trước của dữ liệu IRNSS L5 được lấy mẫu. Điều này tạo thành tín hiệu thô vào bộ trộn điều chế sóng mang. Đầu vào khác của bộ trộn này là từ bộ tạo tần số sóng mang.

Giá trị ban đầu của các mạch vòng là sử dụng kết quả của bước acquisition lúc trước. Do đó, kết quả của acquisition ảnh hưởng lớn đến hiệu quả xử lý của phần tracking: Kết quả của bước acquisition trước càng tốt thì hiệu quả của bước tracking cũng như hiệu quả của toàn bộ quá trình xử lý càng cao. Đối với tín hiệu NavIC L5, kết quả thực nghiệm cho thấy sai số của tần số sóng mang cho phép trong khoảng ± 250 Hz so với giá trị đúng. Với mã trãi phổ, sai số chỉ cho phép trong khoảng ± 1 chip [4]. Nếu sai số giữa kết quả thu được và giá trị của τ và f_D lớn hơn mức giới hạn ở trên, tracking sẽ không thể "bám" được tín hiệu. Điều này đồng nghĩa với việc không thể giải điều chế kể cả khi có bắt được tín hiệu vệ tinh và có thể dẫn

đến việc tính toán sai hoặc không thể tính toán được bản tin định vị.

a, Carrier tracking

Mục đích của quá trình carrier tracking là bám theo tín hiệu thu được, tạo ra thành phần sóng mang có tần số và pha giống với thành phần sóng mang của tín hiệu thu được. Carrier tracking được thực hiện bởi mạch vòng khóa tần số (FLL) hoặc mạch vòng khóa pha (PLL).



Hình 2.6: Sơ đồ thuật toán carrier tracking (Mạch Costas) [8]

Sơ đồ thuật toán cho quá trình carrier tracking được mô tả trên Hình 2.6. Trong đó, sóng mang và mã trai phẩy của tín hiệu đưa vào được so sánh với tín hiệu do bộ thu sinh ra thông qua việc tính giá trị hàm tương quan. Kết quả tương quan được dùng để đánh giá bằng hàm so sánh; kết quả so sánh $\Delta \bar{f}_{D,incr}$ sẽ điều chỉnh tần số sóng mang trong vòng lặp tiếp theo.

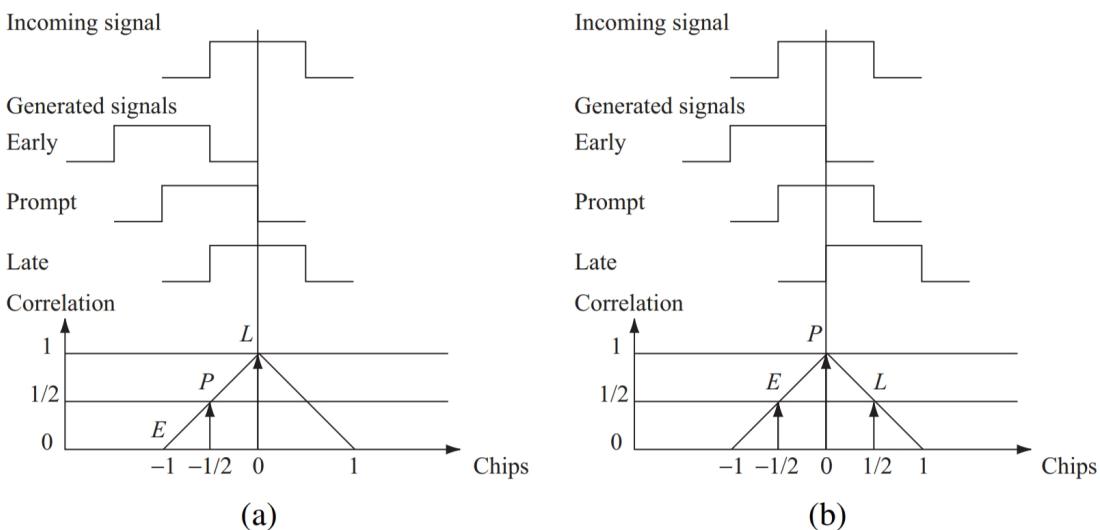
Giá trị đầu vào của carrier tracking sẽ được nhân với 2 giá trị sin, cos tương ứng được 2 kênh I (thực) và Q (ảo). Mục tiêu là tập trung năng lượng vào kênh I của mạch. Ta có thể chứng minh được rằng, với mã trai phẩy đã xác định đúng, ta có thể tính được độ sai pha giữa tín hiệu thực và sóng mang của bộ thu sinh ra [1]:

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{Q_P}{I_P} \right)$$

trong đó:

$$I_P = \frac{1}{2} d[n] \cos(\varphi)$$

$$Q_P = \frac{1}{2} d[n] \sin(\varphi)$$



Hình 2.7: Mối quan hệ giữa mã sớm (Early), mã đúng (Prompt), mã trễ (Late) [1]

là kết quả các phép nhân giữa tín hiệu thu được và thành phần sóng mang trên các kênh I và Q. Chỉ số P (Prompt) sẽ được giải thích trong phần code tracking bên dưới. Kết quả so sánh dựa vào độ sai pha tính bằng arctan là chính xác nhất, tuy nhiên chi phí tính toán cũng lớn nhất.

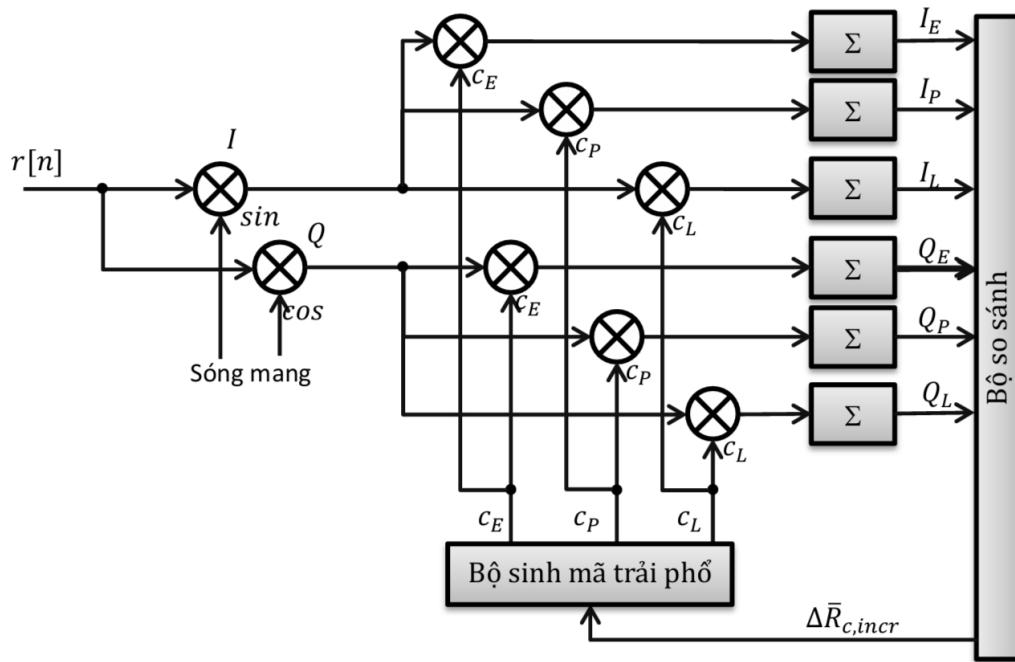
b, Code tracking

Mục đích của code tracking cũng tương tự carrier tracking, cũng bám theo tín hiệu và tạo thành phần giống với tín hiệu thu được đó nhưng thành phần tạo ra là mã trại phổ. Dùng một tính chất của mã trại phổ - tính tự tương quan (giá trị tự tương quan lớn nhất khi độ trễ bằng 0, giá trị tự tương quan xấp xỉ bằng 0 nếu độ trễ lớn hơn 1 chip), quá trình code tracking sẽ sử dụng mạch vòng khóa trễ (Delay Lock Loop - DLL) để thực hiện so sánh các giá trị tương quan giữa tín hiệu thu được và 3 bản mã trại phổ lệch nhau 0.5 chip. Từ đó điều chỉnh R_c để sinh ra thành phần mã trại phổ hợp lý. Ba mã trại phổ này lần lượt là mã sớm (Early), mã "đúng" (Prompt) và mã trễ (Late). Ta sẽ hiệu chỉnh để sao cho mã sớm và mã trễ bằng nhau thì khi đó, mã "đúng" sẽ được lấy là mã trại phổ và R_c lúc đó sẽ được lấy là tốc độ mã trại phổ [9] [10].

Trong Hình 2.7.a), do mã trễ có giá trị tương quan lớn hơn 2 mã còn lại nên mã trại phổ bị chậm, ta sẽ cần tăng tốc độ mã trại phổ. Tương tự nếu mã sớm có giá trị tương quan là lớn nhất thì mã trại phổ bị nhanh, cần giảm tốc độ mã trại phổ R_c . Hình 2.7.b) có giá trị tương quan của mã trễ và mã sớm bằng nhau nên tốc độ của mã trại phổ sẽ là đúng [1].

Hình 2.8 mô tả sơ đồ thuật toán code tracking. Trong đó, các tín hiệu sau khi được nhân với các thành phần sóng mang (I - thực, Q - ảo), kết quả thu được lại

nhân với các bản mã trễ phô (Early, Prompt, Late) và tính ra các giá trị tương quan. Các kết quả tương quan trên sẽ được đưa vào tính toán trong bộ so sánh. Sau đó, bộ so sánh sẽ đưa ra giá trị điều chỉnh $\Delta \bar{R}_{c,incr}$ cho tốc độ mã trễ phô.



Hình 2.8: Sơ đồ thuật toán code tracking [8]

Ngoài ra, trong phần tracking, ta có thể tính toán được giá trị C/N0 (Carrier-to-Noise Ratio), đó là tỷ lệ giữa công suất tín hiệu mang (carrier power) so với công suất nhiễu (noise power). Giá trị này dùng để đánh giá chất lượng tín hiệu, giá trị càng cao chứng tỏ chất lượng tín hiệu càng tốt. Cách tính giá trị C/N0 như sau [11]:

- Tính toán công suất tín hiệu:

$$Z = I^2 + Q^2$$

- Tính toán giá trị trung bình (mean) và phương sai (variance) của công suất tín hiệu (ví dụ dùng hàm trong MATLAB):

$$Z_m = \text{mean}(Z)$$

$$Z_v = \text{var}(Z)$$

- Tính toán công suất mang trung bình:

$$P_{av} = \sqrt{Z_m^2 - Z_v}$$

- Tính toán phương sai nhiễu:

$$N_v = 0.5 \times (Z_m - P_{av})$$

- Tính toán C/N_0 :

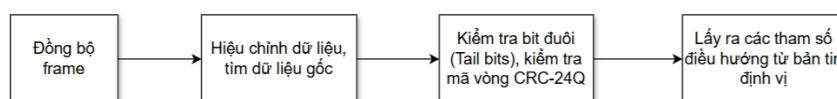
$$\frac{C}{N_0} = 10 \log_{10} \left(\left| \frac{1}{T} \times \frac{P_{av}}{2 \times N_v} \right| \right)$$

Trong đó: I, Q chính là I_P, Q_P . T là chu kỳ tính C/N0 (sau T ms sẽ tính toán lại giá trị C/N0).

Các kết quả ước lượng của quá trình tracking sẽ được sử dụng trong giải trãi phổ và giải điều chế sóng mang tín hiệu thu được từ vệ tinh. Kết quả trả về sau khi giải trãi phổ và giải điều chế sóng mang là tín hiệu có dạng xung vuông. Sau đó bộ thu sẽ chuyển các xung vuông này thành dữ liệu nhị phân, tốc độ 50 bps (đối với NavIC/IRNSS L5), nghĩa là mỗi bit rộng 20 ms. Quá trình này được gọi là đồng bộ bit, cách thực hiện là xác định sườn xung, xác định dấu và thay 20 giá trị liên tiếp bằng giá trị 1 hoặc -1. Kết quả này chính là các bản tin định vị (Navigation data) ứng với mỗi vệ tinh được theo dõi. Nhiệm vụ tiếp theo là giải mã bản tin định vị đó để lấy ra các tham số phục vụ cho tính toán vị trí vệ tinh và tính toán vị trí bộ thu.

2.3 Khôi giải mã bản tin

Khôi giải mã bản tin gồm các bước như trong hình 2.9. Bước đầu tiên là đồng bộ frame: từ bản tin định vị của mỗi vệ tinh đã tìm được, ta đi tìm vị trí bắt đầu của mỗi subframe. Sau đó ta xử lý các subframe đó: 20 bit liên tiếp (các bit 1, -1) của bản tin chuyển thành 1 bit (các bit 1, 0) dữ liệu; sắp xếp lại dòng bit; tìm ra dữ liệu gốc. Tiếp theo ta kiểm tra xem dữ liệu gốc đã đủ chính xác chưa bằng cách kiểm tra bit đuôi và kiểm tra mã vòng CRC (Trong hệ thống IRNSS sử dụng CRC-24Q). Cuối cùng, từ dữ liệu gốc, ta tìm được các tham số điều hướng (mỗi subframe chứa các dữ liệu của tham số khác nhau) để tính toán vị trí vệ tinh và tính toán vị trí bộ thu.



Hình 2.9: Sơ đồ giải mã bản tin

2.3.1 Đồng bộ frame

Đây là bước đầu tiên của quá trình giải mã bản tin, mục đích của bước này là tìm ra vị trí bắt đầu của mỗi subframe trong bản tin định vị của mỗi vệ tinh. Với NavIC/IRNSS L5, một "khung chính" (master frame) gồm 4 "khung con" (subframe), mỗi subframe có độ dài 600 ký tự và bắt đầu bằng 16 bits đồng bộ (Sync): "1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0" (mã Hexa: EB90). (Bảng 2.1)

Bảng 2.1: Cấu trúc dữ liệu định vị IRNSS/NavIC

Master frame 2400 ký hiệu (48s)							
Subframe 1		Subframe 2		Subframe 3		Subframe 4	
600 ký hiệu (12 s)		600 ký hiệu (12 s)		600 ký hiệu (12 s)		600 ký hiệu (12 s)	
Đồng bộ	Dữ liệu	Đồng bộ	Dữ liệu	Đồng bộ	Dữ liệu	Đồng bộ	Dữ liệu
16	584	16	584	16	584	16	584

Trong Bảng 2.1, 584 ký hiệu trong phần sau của mỗi subframe được tạo ra bằng cách mã hóa FEC 292 bit dữ liệu.

Do dữ liệu điều hướng lúc này đang ở dạng giá trị -1, 1 (do quá trình đồng bộ bit, 20 bits 1 liên tiếp ứng với 1 bit 1, 20 bits -1 liên tiếp ứng với 1 bit 0) nên 16 bits bắt đầu subframe được chuyển thành: "1 1 1 -1 1 -1 1 1 1 -1 -1 1 -1 -1 -1" và mỗi bit nhân lên 20 lần thành 320 bits 1, -1 để dễ dàng hơn trong việc tìm ra đoạn mở đầu subframe. Ở đây sử dụng cách tạo 320 bits 1, -1 từ 16 bits Sync như trên chứ không sử dụng cách chuyển bản tin ban đầu về dạng 1, 0 (20 bits 1/-1 liên tiếp chuyển thành 1 bit 1/0) rồi so khớp với 16 bits Sync vì: có thể trong bản tin định vị có một số bit bị sai lệch thì dẫn đến cách làm thứ 2 sẽ khiến kết quả xảy ra nhiều sai số hơn. Và với cách làm thứ 1 này, khi so khớp 320 bits với dữ liệu điều hướng, không cần phải đủ 320 bits đều phải giống chính xác mà chỉ cần khoảng 315 bits tương tự là đủ kết luận vị trí bắt đầu của một subframe.

Khi đã tìm được vị trí bắt đầu của khung con, từ vị trí đó lấy ra dữ liệu để cho một khung dữ liệu: 2400x20 bits dữ liệu điều hướng (cần nhân với 20 do đặc trưng của dữ liệu đầu vào của khối giải mã bản tin). Lượng dữ liệu này sẽ chắc chắn có subframe 1 và subframe 2 (hai subframe chứa dữ liệu của các tham số phục vụ việc tính toán vị trí), sau đó nó được dùng để tiếp tục thực hiện cho các bước phía sau.

2.3.2 Hiệu chỉnh dữ liệu, tìm dữ liệu gốc

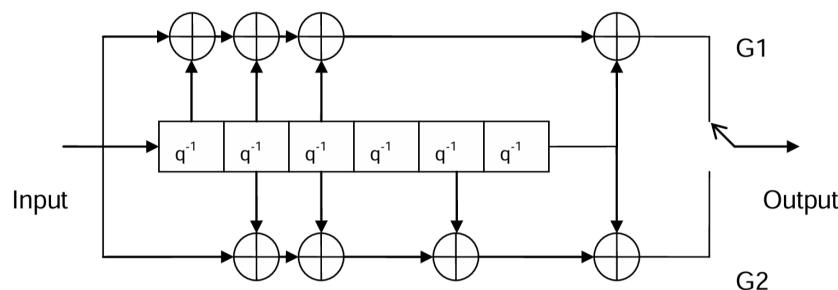
Việc đầu tiên trong bước hiệu chỉnh dữ liệu là sẽ gộp 20 bits 1/-1 lại thành 1 bit 1/0, sau khi gộp, thu được dữ liệu của mỗi frame: 2400 bits. Tiếp theo sẽ chia nhỏ ra thành từng subframe để xử lý. Tách bỏ đi 16 bits Sync đầu, mỗi subframe có 584 bits dữ liệu cần tiếp tục xử lý.

584 ký hiệu của dữ liệu điều hướng được xen kẽ sử dụng bộ xen kẽ khối với n cột và k hàng. Dữ liệu được viết theo cột và sau đó được đọc theo hàng. Bảng 2.2 chỉ ra các tham số của bộ xen kẽ.

Bảng 2.2: Tham số xen kẽ

Tham số	Sắp xếp
Kích thước bộ xen kẽ khối	584
Kích thước bộ xen kẽ khối (n cột x k hàng)	73 x 8

Sau khi hiệu chỉnh dữ liệu xong, tiếp tục đến bước tìm 292 bits dữ liệu gốc của mỗi subframe từ 584 bits dữ liệu đã được mã hóa FEC.



Hình 2.10: Sơ đồ mã hóa FEC [4]

Trong Hình 2.10 là sơ đồ mã hóa FEC với các tham số như trong Bảng 2.3. Đầu vào của quá trình mã hóa FEC là 292 bits dữ liệu chứa giá trị của các tham số điều hướng, đầu ra là 584 bits dữ liệu sau khi hiệu chỉnh đã nói ở trên. Việc cần làm để lấy ra được 292 bits dữ liệu gốc đó là làm ngược lại quá trình FEC: sử dụng bộ giải mã 171x133 Viterbi (tỷ lệ 1/2, mã chập).

Bảng 2.3: Tham số mã hóa FEC

Tham số	Giá trị
Tốc độ mã hóa	$\frac{1}{2}$
Sơ đồ mã hóa	Mã chập
Độ dài ràng buộc	7
Đa thức sinh	$G1 = (171)_8$ $G2 = (133)_8$
Trình tự mã hóa	G1 sau đó G2

Kết quả cuối cùng của bước này là các đoạn dữ liệu 292 bits.

2.3.3 Kiểm tra bits đuôi và kiểm tra mã CRC

Sau khi tìm được 292 bits dữ liệu, cần kiểm tra tính đúng đắn của dữ liệu. Đặc trưng trong mỗi subframe của NavIC là có chuỗi 6 bits đuôi (Tail): 6 bits cuối cùng của mỗi subframe là: "0 0 0 0 0 0".

Tiếp theo, khác với GPS và một số hệ thống định vị sử dụng vệ tinh khác dùng mã chẵn lẻ, NavIC sử dụng mã CRC - 24Q để kiểm tra và phát hiện lỗi trong dữ liệu. Đa thức CRC - 24Q sẽ được sử dụng cho các subframe. Hai mươi bốn bit của mã kiểm tra CRC sẽ cung cấp sự bảo vệ chống lại lỗi ngẫu nhiên cũng như lỗi đột biến với xác suất lỗi không phát hiện được $\leq 2^{-24} = 5.96 \times 10^{-8}$ cho tất cả các xác suất lỗi bit kênh [4].

2.3.4 Lấy ra tham số điều hướng từ bản tin định vị

Sau các bước kiểm tra, dữ liệu đủ "tốt" để có thể lấy ra các tham số dùng cho việc tính toán vị trí vệ tinh và tính toán vị trí bộ thu. Hai subframe 1 và 2 chứa các tham số dành cho việc tính toán, còn subframe 3 và 4 phục vụ cho dịch vụ tin nhắn và một số dịch vụ khác. Do vậy, dành cho việc tính toán vị trí vệ tinh và vị trí bộ thu, cần quan tâm nhiều hơn đến subframe 1 và 2.

Bảng 2.4: Cấu trúc của subframe 1 & 2

1	9	26	27	28	30	31	263	287
TLM	TOWC	ALERT	AUTONAV	SUBFRAME ID	SPARE	DATA	CRC	Tail
8 BITS	17 BITS	1 BIT	1 BIT	2 BITS	1 BIT	232 BITS	24 BITS	6 BITS

Bảng 2.5: Cấu trúc của subframe 3 & 4

1	9	26	27	28	30	31	37	257	263	287
TLM	TOWC	ALERT	AUTONAV	SUBFRAME ID	SPARE	MESSAGE ID	DATA	PRN ID	CRC	Tail
8 BITS	17 BITS	1 BIT	1 BIT	2 BITS	1 BIT	6 BITS	220 BITS	6 BITS	24 BITS	6 BITS

Cấu trúc các subframe của NavIC được thể hiện trong Bảng 2.4 và Bảng 2.5: hàng đầu tiên là vị trí bắt đầu các bits của trường trong hàng giữa, hàng cuối là số lượng bits của trường.

Trong đó các trường:

- **TLM:** Cung cấp thông tin về tình trạng của vệ tinh.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

- **TOWC:** Bộ đếm Thời gian Trong Tuần. Giá trị của TOWC được nhân với 12 để có được thời gian bằng giây là thời gian tính từ đầu tuần cho đến hiện tại.
- **ALERT:** Cờ hiệu chỉ trạng thái hoạt động của vệ tinh.
- **AUTONAV:** Cờ hiệu chỉ vệ tinh đang ở chế độ tự động định vị. Vệ tinh lưu trữ 7 ngày dữ liệu và tham số đồng hồ như các tập dữ liệu AutoNav. Vệ tinh có thể phát sóng các tham số định vị chính từ các tập dữ liệu AutoNav trong tối đa 7 ngày mà không cần liên lạc với mặt đất. Khi ở chế độ AutoNav, cờ hiệu AutoNav được đặt thành 1.
- **SUBFRAME ID:** Mã định danh của subframe.
- **SPARE:** Các bit dự phòng để mở rộng trong tương lai.
- **MESSAGE ID:** Mã định danh của loại thông điệp.
- **DATA:** Dữ liệu vệ tinh, bao gồm quỹ đạo, đồng hồ, và các thông số khác.
- **PRN ID:** Mã định danh của vệ tinh.
- **CRC:** Mã Kiểm tra Dữ Thừa Chu Kỳ.
- **Tail:** 6 bits: "0 0 0 0 0 0" đánh dấu kết thúc subframe.

Phần đầu của các subframe giống về mặt cấu trúc. Do đó ta có thể kiểm tra SUBFRAME ID trước bằng cách lấy ra 2 bits thứ 28, 29 để xem nó thuộc subframe nào. SUBFRAME ID có thể có các giá trị là 00, 01, 10, 11 tương ứng là subframe 1, 2, 3, 4. Sau khi kiểm tra sẽ xác định được đây là subframe nào để lấy ra giá trị các tham số định vị từ DATA một cách chính xác.

Số lượng (bits)	Tham số	Vị trí bit	Số lượng (bits)	Tham số	Vị trí bit
10	WN	31-40	1	L5 Flag	155
22*	a_{f0}	41-62	1	S Flag	156
16*	a_{f1}	63-78	15*	C_{uc}	157-171
8*	a_{f2}	79-86	15*	C_{us}	172-186
4	URA	87-90	15*	C_{ic}	187-201
16	t_{oc}	91-106	15*	C_{is}	202-216
8*	t_{GD}	107-114	15*	C_{rc}	217-231
22*	Δn	115-136	15*	C_{rs}	232-246
8	IODEC	137-144	14*	IDOT	247-260
10	Reserved	145-154	2	Spare	261-262

Bảng 2.6: Bộ cục dữ liệu subframe 1

Bộ cục phần DATA của subframe 1 và 2 được thể hiện trong Bảng 2.6 và Bảng

2.7. Ký hiệu * là cần lấy số bù 2. Ý nghĩa của các tham số được trình bày trong Bảng 2.9 và Bảng 2.8.

Số lượng (bits)	Tham số	Vị trí bit	Số lượng (bits)	Tham số	Vị trí bit
32*	M_0	31-62	32*	ω	175-206
16	t_{oe}	63-78	22*	$\dot{\Omega}$	207-228
32	e	79-110	32*	i_0	229-260
32	\sqrt{A}	111-142	2	Spare	261-262
32*	Ω_0	143-174			

Bảng 2.7: Bộ cục dữ liệu subframe 2

Tham số	Ý nghĩa	Hệ số tỷ lệ	Đơn vị
M_0	Dị thường trung bình	2^{-31}	semi-circles
t_{oe}	Thời gian ephemeris	16	sec
e	Độ lệch tâm	2^{-33}	dimensionless
\sqrt{A}	Căn bậc hai của trục bán chính	2^{-19}	$\sqrt{\text{metres}}$
Ω_0	Kinh độ nút tăng	2^{-31}	semi-circles
ω	Tham số cận điểm	2^{-31}	semi-circles
$\dot{\Omega}$	Tốc độ RAAN	2^{-41}	semi-circles/sec
i_0	Độ nghiêng	2^{-31}	semi-circles
-	Dự phòng	-	-

Bảng 2.8: Ý nghĩa tham số của subframe 2

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Tham số	Ý nghĩa	Hệ số tỷ lệ	Đơn vị
WN	Số tuần	1	week
a_{f0}	Độ lệch đồng hồ	2^{-31}	sec
a_{f1}	clock drift	2^{-43}	sec/sec
a_{f2}	Tốc độ clock drift	2^{-55}	sec/sec ²
URA	Độ chính xác vệ tinh	1	
t_{oc}	Thời gian đồng hồ	16	sec
T_{GD}	Tổng độ trễ nhóm	2^{-31}	sec
Δn	Sai số chuyển động trung bình	2^{-41}	semi-circles/sec
IODEC	Số phát hành dữ liệu quỹ đạo và đồng hồ	1	
-	Dự trữ	1	
-	Cờ báo L5	1	
-	Cờ báo S	1	
C_{uc}	Biên độ của phần điều chỉnh cosin với tham số vĩ độ	2^{-28}	radians
C_{us}	Biên độ của phần điều chỉnh sin với tham số vĩ độ	2^{-28}	radians
C_{ic}	Biên độ của phần điều chỉnh cosin với góc nghiêng	2^{-28}	radians
C_{is}	Biên độ của phần điều chỉnh sin với góc nghiêng	2^{-28}	radians
C_{rc}	Biên độ của phần điều chỉnh cosin với bán kính quỹ đạo	2^{-4}	meters
C_{rs}	Biên độ của phần điều chỉnh sin với bán kính quỹ đạo	2^{-4}	meters
IDOT	Tốc độ góc nghiêng	2^{-43}	semi-circles/sec
-	Dự phòng	2	

Bảng 2.9: Ý nghĩa tham số của subframe 1

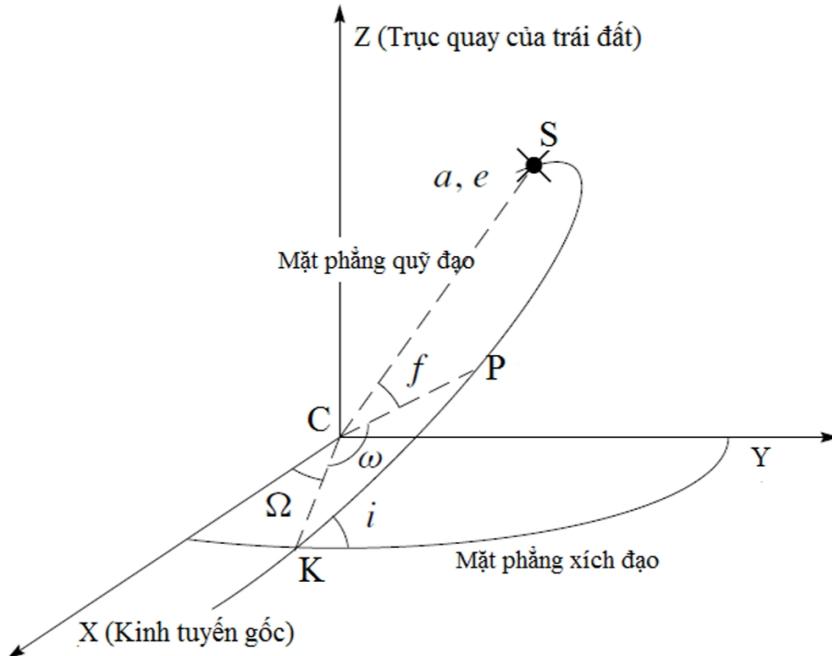
2.4 Khối tính toán vị trí

Các tham số thu được sau khi giải mã bản tin sẽ được sử dụng để tính toán vị trí của vệ tinh. Sau khi biết được vị trí của ít nhất 4 vệ tinh, dùng các phương pháp toán học sẽ tính toán được vị trí của bộ thu.

2.4.1 Tính toán vị trí vệ tinh

Các vệ tinh đều có một quỹ đạo riêng của nó, vị trí và quỹ đạo của vệ tinh được xác định dựa trên các tham số Kepler [1]. Trong hình 2.11: C - là tâm trái đất, P -

là điểm gần tâm trái đất nhất trên quỹ đạo, S - Vị trí vệ tinh hiện tại, và 6 tham số Kepler như trong bảng 2.10.



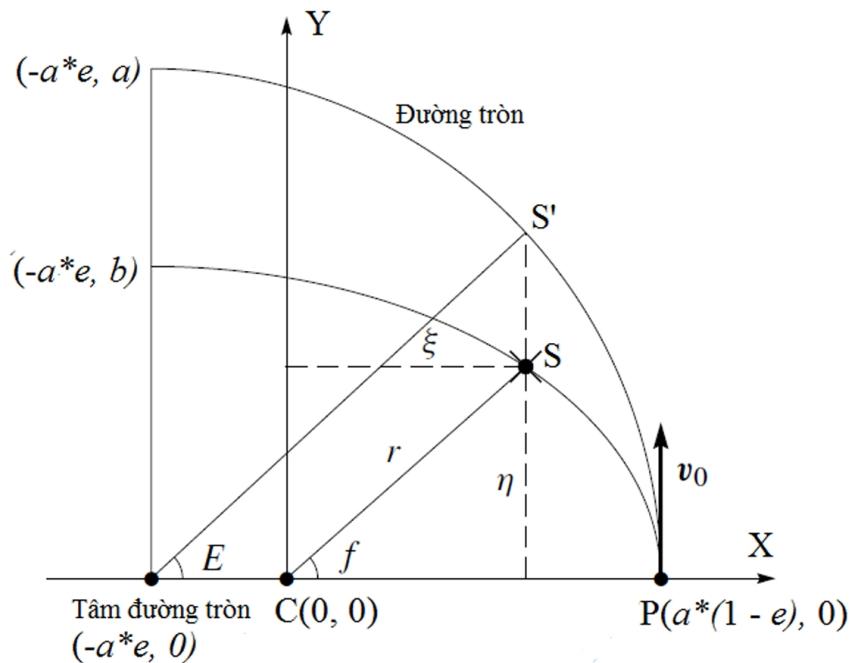
Hình 2.11: Quỹ đạo vệ tinh và các tham số Kepler [12]

Bảng 2.10: Các tham số Kepler

Ký hiệu	Tên tham số	Ý nghĩa
a	Bán trục chính của quỹ đạo (semi-major axis)	Cho biết kích thước và hình dạng quỹ đạo
e	Tâm sai của quỹ đạo (eccentricity)	
ω	Argument của cận điểm (argument of perigee)	
Ω	Xích kinh (right ascension)	Cho biết vị trí của quỹ đạo
i	Góc nghiêng (inclination)	
f	Góc thực (true anomaly)	Cho biết vị trí vệ tinh

Xét hệ trục tọa độ 2 chiều nằm trên mặt phẳng quỹ đạo vệ tinh với tâm đặt tại tâm Trái Đất, trục X là đường nối giữa tâm Trái Đất với cận điểm như Hình 2.12. Trong đó, E là góc lệch tâm (eccentric anomaly), b là bán trục nhỏ của quỹ đạo [1]. Từ đó ta tính được:

$$f = \tan^{-1} \frac{\eta}{\xi} = \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-e^2} \sin E}{\cos E - e}$$



Hình 2.12: Vị trí vệ tinh trên mặt phẳng quỹ đạo [12]

Trong đó:

$$\xi = r \cos f = a \cos E - a \cdot e = a(\cos E - e)$$

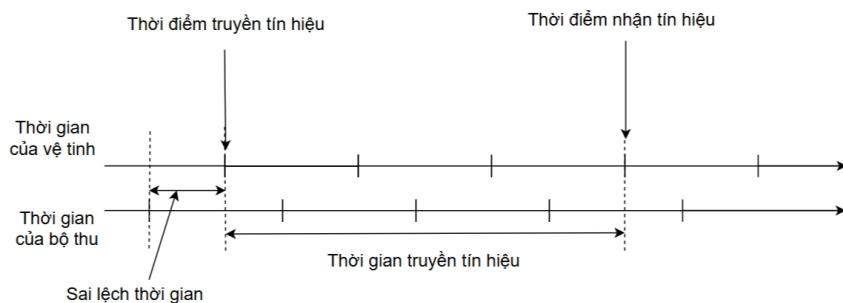
$$\eta = r \sin f = -\frac{b}{a} \cdot a \sin E = b \sin E = a\sqrt{1 - e^2} \sin E$$

Mà theo Keppler lại có:

$$M = E - e \sin E$$

Trong đó M là góc trung bình (mean anomaly). Từ đó có mối liên hệ giữa M, E và f. Giá trị M và 5 tham số Keppler còn lại được cung cấp trong các tham số thu được từ giải mã bản tin. Quỹ đạo và vị trí vệ tinh trên quỹ đạo được xác định khi có đủ giá trị của các tham số đưa ra.

2.4.2 Tính toán vị trí bộ thu



Hình 2.13: Sai lệch thời gian giữa thời gian vệ tinh và thời gian bộ thu

Trong Hình 2.13, sai lệch thời gian giữa thời gian vệ tinh và thời gian của bộ thu ký hiệu là δt_u , thời gian truyền tín hiệu ký hiệu là τ . Từ đó tính được thời gian truyền tín hiệu khi bộ thu nhận được tín hiệu từ vệ tinh phát ra (traveltime) là:

$$\text{traveltime} = \delta t_u + \tau$$

Sau khi đã tính được thời gian truyền, giả khoảng cách sẽ được tính bằng công thức:

$$\text{pseudorange} = \text{traveltime} \cdot c = \tau \cdot c + \delta t_u \cdot c$$

Trong đó: c là tốc độ ánh sáng.

Tuy nhiên, còn một số sai số khác ảnh hưởng đến giả khoảng cách ngoài sai số đồng hồ, nên giả khoảng cách trên thực tế sẽ là: [1]

$$\text{pseudorange} = \tau \cdot c + \delta t_u \cdot c + c \cdot t_a + E + \eta$$

Trong đó: (i) t_a : sai số do tín hiệu truyền qua tầng điện ly và tầng đối lưu, sai số này có thể tính được. (ii) E : sai số của lịch thiên văn, sai số này không tính được. η : các sai số khác như đa đường, sai số tính toán của bộ thu..., sai số này cũng không tính được.

Bỏ qua các sai số t_a , E , η , giá trị $\tau \cdot c$ sẽ là khoảng cách thực từ vệ tinh tới bộ thu, đảo dấu δt_u , giá trị pseudorange sẽ được tính như sau:

$$\rho_j = \sqrt{(x_{sj} - x_u)^2 + (y_{sj} - y_u)^2 + (z_{sj} - z_u)^2} - c \cdot \delta t_u$$

Trong đó:

- ρ_j : pseudorange của vệ tinh j .
- x_{sj}, y_{sj}, z_{sj} : 3 tọa độ của vị trí vệ tinh j .
- x_u, y_u, z_u : 3 tọa độ của vị trí bộ thu.

Giá trị pseudorange có thể được xấp xỉ bởi khai triển Taylor quanh 1 điểm có vị trí biết trước sử dụng để xấp xỉ: [1]

$$\hat{\rho}_j = \sqrt{(x_{sj} - \hat{x}_u)^2 + (y_{sj} - \hat{y}_u)^2 + (z_{sj} - \hat{z}_u)^2} - c \cdot \delta \hat{t}_u$$

Trong đó:

- $\hat{\rho}_j, \delta t_u$: giá trị xấp xỉ cho pseudorange và sai số đồng hồ
- $\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u$: 3 toạ độ của vị trí sử dụng để xấp xỉ.

Xét với xấp xỉ bậc nhất:

$$\Delta\rho_j = \rho_j - \hat{\rho}_j = a_{xj}\Delta x_u + a_{yj}\Delta y_u + a_{zj}\Delta z_u - c\Delta t_u$$

Trong đó: $\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta z_u, \Delta t_u$ là chênh lệch giữa vị trí thực của bộ thu và vị trí sử dụng để xấp xỉ, cần phải tính toán các giá trị này. Các hệ số a_{xj}, a_{yj}, a_{zj} được xác định qua công thức:

$$a_{xj} = \frac{x_j - \hat{x}_u}{\hat{\rho}_j}, \quad a_{yj} = \frac{y_j - \hat{y}_u}{\hat{\rho}_j}, \quad a_{zj} = \frac{z_j - \hat{z}_u}{\hat{\rho}_j}$$

Với $\hat{\rho}_j$ là khoảng cách từ vệ tinh j tới vị trí sử dụng để xấp xỉ. Trong thực tế, có thể sử dụng giá trị pseudorange của vệ tinh j thay cho $\hat{\rho}_j$. Từ phương trình cho 1 vệ tinh, với n vệ tinh ta sẽ có một hệ n phương trình. Dạng ma trận của hệ phương trình:

$$\Delta\rho = A \cdot \Delta x$$

Trong đó:

$$\Delta\rho = \begin{bmatrix} \Delta\rho_1 \\ \Delta\rho_2 \\ \vdots \\ \Delta\rho_n \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} a_{x1} & a_{y1} & a_{z1} & 1 \\ a_{x2} & a_{y2} & a_{z2} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{xn} & a_{yn} & a_{zn} & 1 \end{bmatrix}, \quad \Delta x = \begin{bmatrix} \Delta x_u \\ \Delta y_u \\ \Delta z_u \\ -c\Delta t_u \end{bmatrix}$$

Giải phương trình trên sẽ tính được giá trị Δx , trong trường hợp tổng quát với n vệ tinh, hệ phương trình này không thể giải bằng phương pháp thông thường mà cần giải bằng phương pháp bình phương tối thiểu như trong công thức: [1]

$$\Delta x = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot \Delta\rho$$

Trong đó: A^T là ma trận chuyển vị của A . Ma trận $(A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T$ cũng được gọi là giả nghịch đảo (pseudoinverse) của ma trận A .

Từ giá trị Δx tính được trong công thức và vị trí điểm ta sử dụng để xấp xỉ bộ

thu sẽ tính được vị trí của mình.

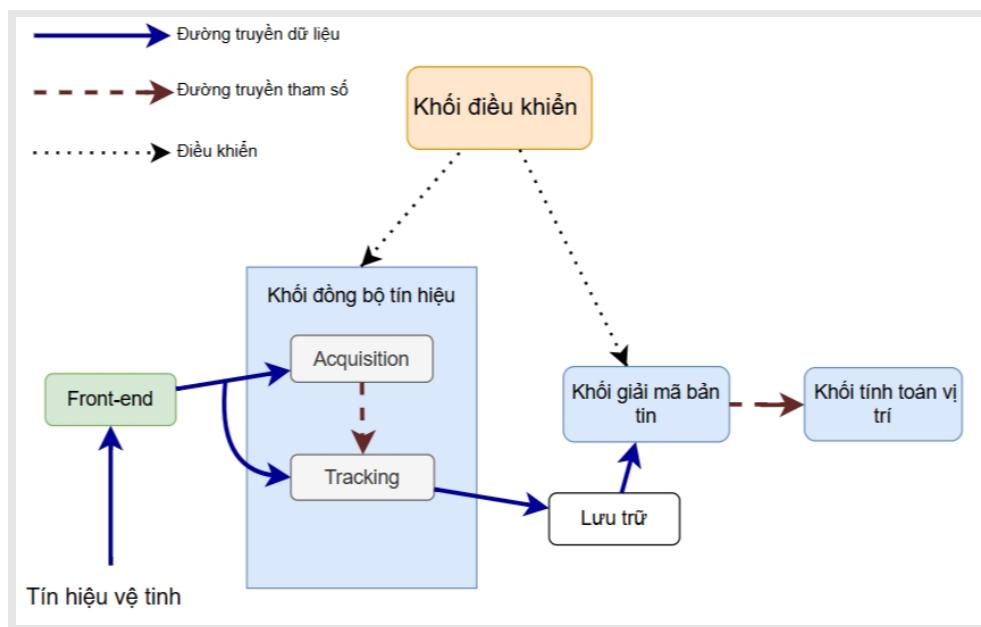
Ngoài ra, từ ma trận A , ta có thể tính được ma trận G đặc trưng cho sai số hình học của quá trình tính vị trí như sau [13] [14]:

$$G = (A^T \cdot A)^{-1} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{21} & g_{31} & g_{41} \\ g_{21} & g_{22} & g_{32} & g_{42} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{43} \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} \end{bmatrix}$$

Từ ma trận G này, bộ thu sẽ tính các giá trị suy giảm độ chính xác (Dilution Of Precision - DOP). Các giá trị DOP sẽ được sử dụng để đánh giá kết quả định vị.

CHƯƠNG 3. TRIỂN KHAI BỘ THU MỀM CHO TÍN HIỆU IRNSS - NAVIC

Với kiến trúc bộ thu mềm như đã trình bày ở chương trước, chương tiếp theo đây sẽ trình bày về cách triển khai các khối thành phần của bộ thu mềm cho tín hiệu NavIC.



Hình 3.1: Sơ đồ triển khai bộ thu mềm

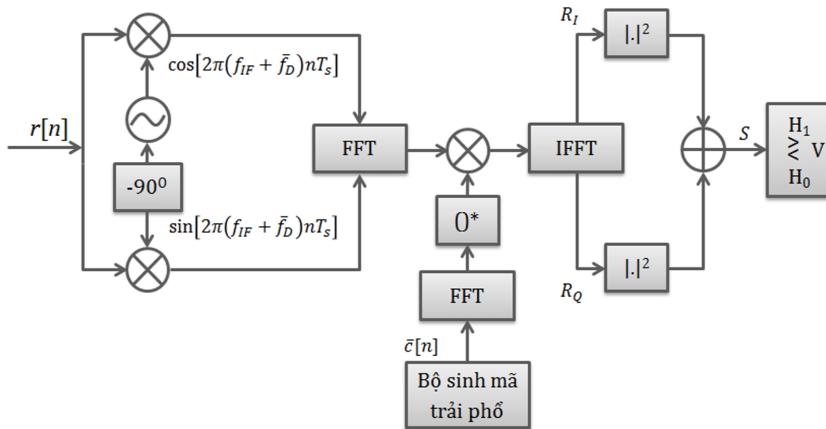
Sơ đồ triển khai được minh họa trong Hình 3.1. Bộ thu thực hiện tuần tự, lần lượt các bước được thực hiện. Luồng dữ liệu tín hiệu đi gần như toàn bộ quá trình, sau khi giải mã bản tin thì chỉ cần truyền các tham số lấy được đến khối tính toán vị trí. Khối điều khiển có vai trò điều khiển hoạt động của hệ thống. Khối điều khiển có thể khởi tạo khối đồng bộ tín hiệu và khối giải mã bản tin (khối giải mã bản tin khi lấy được tham số sẽ trực tiếp khởi tạo khối tính toán vị trí). Trường hợp sau khi tracking mà đã lưu lại toàn bộ dữ liệu lúc sau tracking thì khối điều khiển có thể trực tiếp khởi tạo khối giải mã bản tin và sử dụng dữ liệu đó để thực hiện hoạt động.

Phần Front-end, cách thu tín hiệu như đã trình bày ở chương trước.

3.1 Triển khai khối đồng bộ tín hiệu

Trong bộ thu mềm cho tín hiệu NavIC mà đồ án này xây dựng, khối đồng bộ tín hiệu được tùy chỉnh từ bộ thu mềm cho tín hiệu GPS đã có. Trong đó, sơ lược về cách triển khai khối này được trình bày bên dưới.

3.1.1 Acquisition



Hình 3.2: Sơ đồ thuật toán Acquisition sử dụng FFT

Acquisition sử dụng thuật toán tìm kiếm song song trên miền τ dùng biến đổi FFT. Thuật toán được mô tả trong Hình 3.2 [8]. Thuật toán gồm các bước:

Bước 1: Nhân tín hiệu thu được với một tín hiệu phức do bộ thu sinh ra, có tần số dịch Doppler \bar{f}_D .

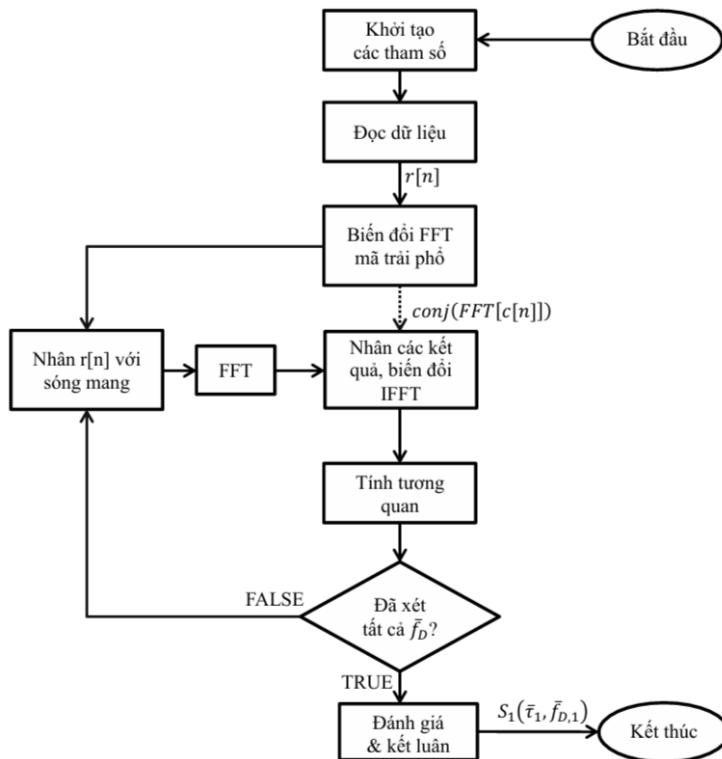
Bước 2: Thực hiện biến đổi FFT trên kết quả thu được.

Bước 3: Sinh mã trai phổ, biến đổi FFT và lấy liên hợp phức của kết quả.

Bước 4: Biến đổi FFT ngược tích của các kết quả ở bước 2 và bước 3.

Giá trị tuyệt đối của kết quả bước 4 chính là giá trị tương quan giữa tín hiệu thu được và tín hiệu thử do bộ thu mềm sinh ra.

Lưu đồ thuật toán cho acquisition như trên Hình 3.3 [8]. Bước khởi tạo của thuật toán bao gồm cả việc đọc dữ liệu sóng mang và mã trai phổ lưu sẵn trong bộ nhớ (nếu có). Các bước tính toán tiếp theo tương tự như trong sơ đồ thuật toán Hình 3.2. Đầu ra của quá trình acquisition là cặp giá trị $S_1(\tau_1, \bar{f}_{D,1})$, đặc trưng cho tín hiệu vệ tinh.



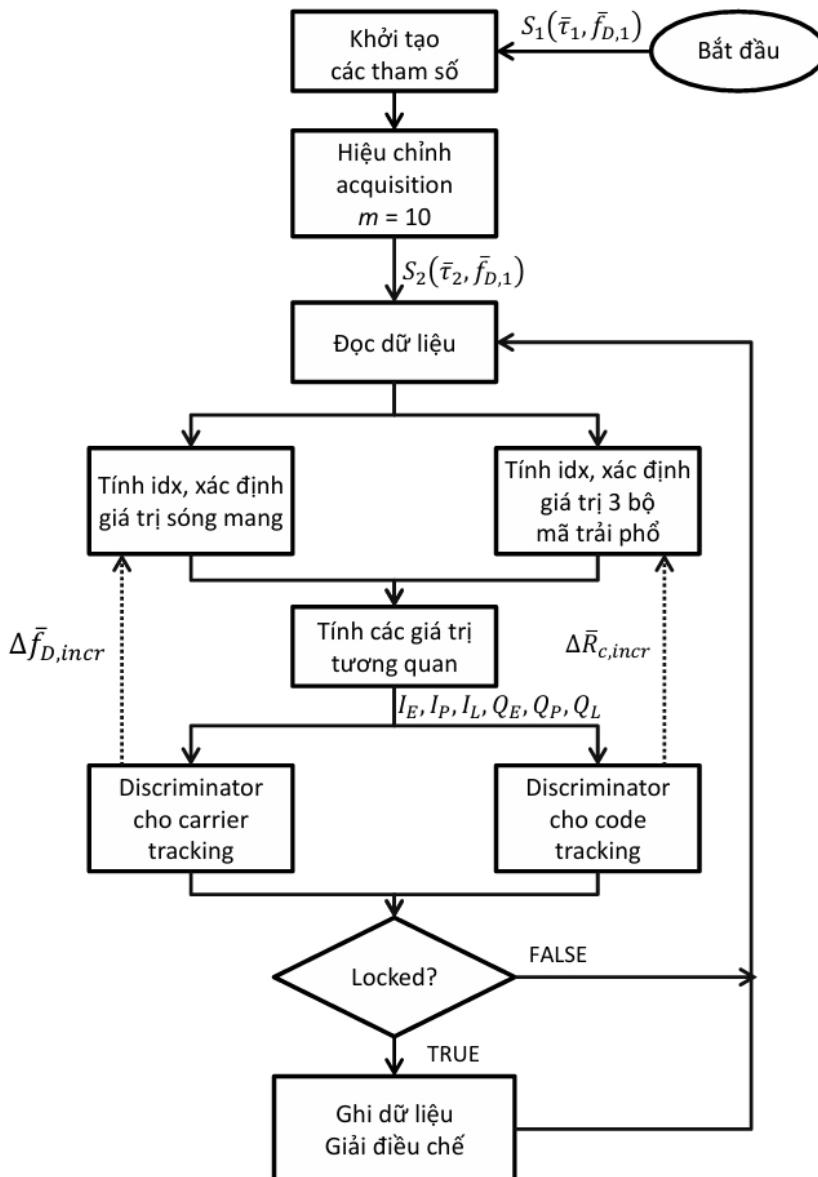
Hình 3.3: Lưu đồ thuật toán Acquisition

3.1.2 Tracking

Tracking kết hợp hai quá trình carrier tracking và code tracking (được mô tả trong Hình 2.6 và Hình 2.8), chúng xảy ra đồng thời và bổ trợ cho nhau. Hai quá trình tính toán cho từng khối dữ liệu 1 ms. Ban đầu bộ tạo sóng mang sẽ tạo ra thành phần sin và cos, bộ sinh mã trai phổ tạo ra 3 bộ mã trai phổ c_E , c_P và c_L lệch nhau 0.5 chip. Các bộ mã trai phổ và sóng mang này được nhân và tính tương quan với tín hiệu thu được $r[n]$, thu được 6 kết quả tương quan là I_E , I_P , I_L , Q_E , Q_P , Q_L . Các kết quả này được đưa vào bộ so sánh để tính các hàm so sánh cho carrier tracking và code tracking. Đầu ra của bộ so sánh là độ dịch điều chỉnh tốc độ tạo mã cho bộ sinh mã trai phổ $\Delta \bar{R}_{c,\text{incr}}$ và độ dịch điều chỉnh tần số cho bộ tạo sóng mang $\Delta \bar{f}_{c,\text{incr}}$. Những giá trị điều chỉnh này giúp cho khối tracking có thể bám theo dữ liệu.

Lưu đồ thuật toán hoàn chỉnh cho quá trình tracking được mô tả trong Hình 3.4 [8]. Thuật toán bắt đầu với kết quả thu được từ quá trình acquisition trước đó. Bước khởi tạo tham số sẽ khởi tạo các mảng lưu sóng mang và mã trai phổ đọc từ bộ nhớ. Tiếp đó, bước thứ 2 của thuật toán acquisition lai được thực hiện trên chiều mã trai phổ với $m=10$, cho ra kết quả $(S_2(\bar{\tau}_2, \bar{f}_{D,2}))$ với $\bar{\tau}_2$ chính xác hơn. Sau bước đọc khối 1 ms dữ liệu, bộ thu sẽ sinh mã trai phổ (3 bản lệch nhau 0.5 chip) và sóng mang, sau đó tính tương quan và tính giá trị các hàm so sánh. Nếu khối tracking đã lock được tín hiệu, kết quả tương quan sẽ được dùng làm kết quả giải điều chế.

Khởi tracking sau đó lại tiếp tục vòng lặp. Khi đọc hết số ms dữ liệu đặt ra thì dừng vòng lặp.



Hình 3.4: Lưu đồ thuật toán Tracking

Thuật toán tracking sinh sóng mang bằng phương pháp: Tính một số giá trị sin, cos và lưu vào 2 mảng. Sau đó tính giá trị cho một biến chỉ số để lấy giá trị sin, cos từ các mảng trên. Hai mảng nói trên đóng vai trò như vòng tròn đơn vị được chia làm một số phần, và biến chỉ số cần tính đóng vai trò như pha của sóng mang. Thay vì dùng pha sóng mang để tính giá trị sin và cos, ta dùng biến chỉ số (gọi là idx) để lấy giá trị từ các mảng “vòng tròn đơn vị”. Mảng giá trị cho hàm cos được xây dựng gồm 8 phần tử như sau:

$$\{2, 2, 1, -2, -2, -2, -1, 2\}$$

Các giá trị trên được tính và lượng tử hoá. Thành phần sóng mang do bộ thu

sinh ra được biểu diễn bằng công thức:

$$\cos \left(2\pi f_c \frac{n}{F_s} \right)$$

Trong đó $f_c = f_{IF} + f_D$. Ta chuyển đổi từ pha sóng mang (với vòng tròn đơn vị kích thước 2π) sang biến chỉ số mảng idx (cho “vòng tròn đơn vị” kích thước 8) như sau:

$$idx = 2\pi f_c \frac{n}{F_s} \times \frac{8}{2\pi} = \frac{8nf_c}{F_s}$$

Với hàm sin, cách tiếp cận hoàn toàn tương tự, chỉ khác với hàm cos là mảng giá trị cho hàm sin có pha lệch 90 độ, tương đương với lệch 2 phần tử mảng.

Việc chọn mảng lưu giá trị sóng mang bằng 8 ngoài giúp cho việc đảm bảo tính tuần hoàn của giá trị biến idx, tương đương với tính tuần hoàn của giá trị hàm sin, cos với chu kỳ 2π , mà với kích thước mảng bằng 8 như vậy sẽ chỉ cần 3 bit để biểu diễn chỉ số mảng, do đó với mỗi giá trị idx tính được, ta chỉ cần lấy ra 3 bit có nghĩa làm chỉ số là đủ. Ta cũng có thể chọn số phần tử mảng lớn hơn (và dùng nhiều bit hơn cho idx), tuy nhiên qua thực nghiệm, nhiều bit hơn cho idx không cải thiện nhiều kết quả của bước tracking. Nói cách khác, đầu ra của tracking vẫn đạt yêu cầu với số phần tử mảng sóng mang bằng 8.

Việc hiệu chỉnh kết quả acquisition là do tracking bắt đầu thực hiện tính toán từ vị trí codephase mà bước acquisition tính toán ra được, mà tốc độ mã trải phổ cũng chịu ảnh hưởng của tần số Doppler [15] như với tần số sóng mang, nên giá trị sẽ bị lệch đi $\Delta\tau$. Vậy nên để giải quyết vấn đề này cần hiệu chỉnh lại kết quả acquisition. Hiệu chỉnh kết quả $S_1(\bar{\tau}_1, \bar{f}_{D,1})$ tìm được từ phần acquisition bằng cách thực hiện acquisition bằng tìm kiếm tuần tự trong một không gian tìm kiếm nhỏ hơn xung quanh kết quả S_1 . Không gian tìm kiếm lúc này là $[\bar{\tau}_1 - m, \bar{\tau}_1 + m]$ chip; $[\bar{f}_{D,1} - h, \bar{f}_{D,1} + h]$ Hz. Kết quả của bước này là $S_2(\bar{\tau}_2, \bar{f}_{D,2})$.

Toàn bộ dữ liệu giải điều chế được ghi lại và lưu trữ. Những dữ liệu này sẽ phục vụ cho khôi giải mã bản tin.

3.2 Triển khai khôi giải mã bản tin

Khôi giải mã bản tin định vị có nhiệm vụ là từ dòng bit đầu vào giải mã ra bản tin định vị được gửi đi từ vệ tinh. Bản tin định vị thu được gồm các tham số quỹ đạo, tham số hiệu chỉnh đồng hồ cho bản thân vệ tinh đó và cho tất cả các vệ tinh trong hệ thống. Các tham số này được sử dụng để xác định vị trí vệ tinh và hiệu

chỉnh đồng hồ bộ thu trong bước tính toán kết quả định vị.

Lưu đồ thuật toán của khôi giải mã bản tin được thể hiện trên Hình 3.5.

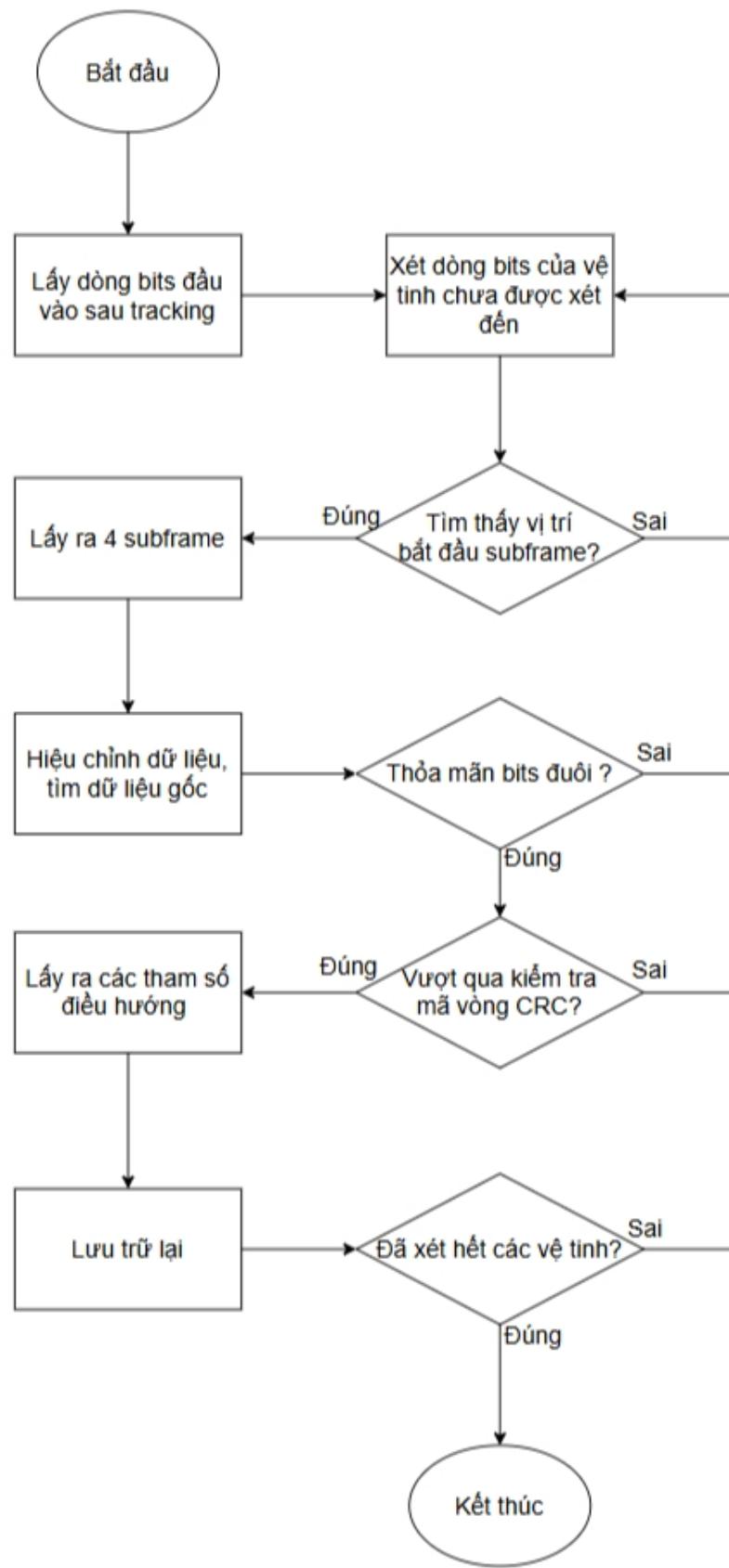
Dữ liệu đầu vào cho khôi giải mã bản tin là kết quả của phần tracking phía trước. Cụ thể là lấy ra đoạn bits "thực - đúng" I_P (Inphase - Prompt) trong kết quả của tracking. Sau đó, xét đến từng đoạn bits ứng với mỗi vệ tinh đặc tracking được tín hiệu.

Tiếp theo là đồng bộ frame hay thực chất đó là tìm vị trí bắt đầu một subframe. Đôi với IRNSS/NavIC, vị trí bắt đầu của mỗi subframe là đoạn mã bits đồng bộ (Sync code): "1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0", ở hệ Hexa là: "EB90". Cách để tìm ra vị trí bắt đầu là ta dùng thuật toán "xcorr" - một thuật toán cho phép tính độ tương quan chéo giữa 2 đoạn dữ liệu (có sẵn trong Matlab). Đầu tiên, lấy ra đoạn dữ liệu, sau đó chuyển đoạn dữ liệu thành các bits 1,-1 bằng cách nếu phần tử trong đoạn dữ liệu > 0 thì cho là 1, ngược lại cho bằng -1. Bits đồng bộ nhân mỗi phần tử lên 20 lần (do đặc trưng của dữ liệu) và dùng thuật toán "xcorr" tính độ tương quan chéo giữ đoạn bits dữ liệu và đoạn bits đồng bộ. Nếu độ tương quan đủ lớn (ở đây để ngưỡng cho độ tương quan là 315, giá trị tương quan chéo lớn nhất có thể là 320), mà giữa 2 lần độ tương quan vượt ngưỡng đề ra cách nhau 12000 bits (là 1 subframe 600 ký tự nhân với 20 lần) thì khẳng định được rằng đây là vị trí bắt đầu của subframe.

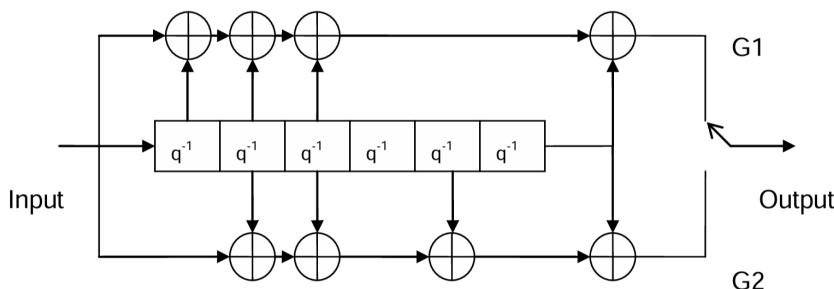
Từ vị trí bắt đầu một subframe tìm được của mỗi vệ tinh, ta lấy ra 4 subframe để chắc chắn rằng trong các subframe lấy ra có cả subframe 1 và subframe 2 trong đó. Đoạn dữ liệu lấy ra là $600*4*20$ các bit 1,-1.

Từ đoạn bits của 4 subframe đó, ta hiệu chỉnh từng subframe và từ đó đi tìm dữ liệu gốc. Các bước hiệu chỉnh lần lượt là chuyển đổi lại bit dạng 1,-1 về dạng 1,0 bằng cách: 20 bits 1/-1 liên tiếp chuyển thành 1 bit 1/0. Từ đó ta có mỗi subframe dài 600 ký tự, bỏ qua 16 bits đồng bộ, còn lại 584 ký tự được sắp xếp lại như sau: ghi theo hàng, đọc theo cột, với số lượng cột và hàng lần lượt là 73, 8. Sau bước hiệu chỉnh này, ta thu được 584 ký tự 1, 0 đã được sắp xếp lại phù hợp với được điểm của đoạn tin của tín hiệu NavIC.

Sau khi hiệu chỉnh, ta đi tìm dữ liệu gốc bằng cách mã hóa ngược FEC (cách mã hóa FEC như trong Hình 3.6). Cách thực hiện là áp dụng thuật toán Viterbi (có sẵn hàm trong Matlab). Các tham số của Viterbi được đưa ra trong Bảng 3.1.



Hình 3.5: Lưu đồ thuật toán giải mã bản tin định vị



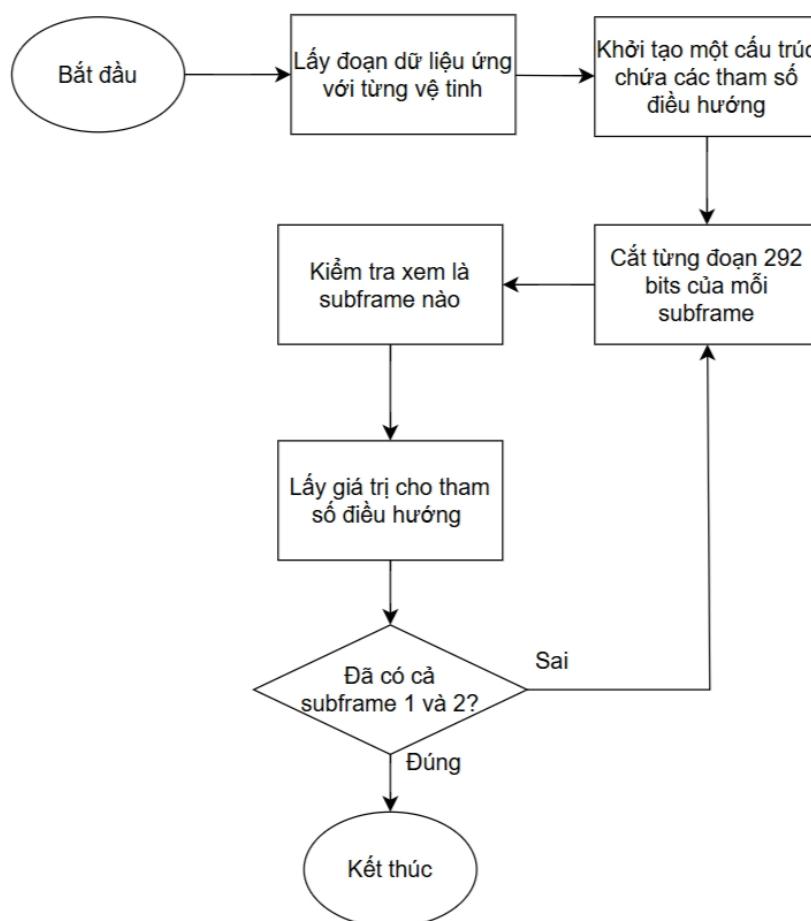
Hình 3.6: Mã hóa FEC

Bảng 3.1: Các tham số của thuật toán Viterbi

Tham số	Giá trị
Tỷ lệ	$\frac{1}{2}$
Sơ đồ mã hóa	Mã chập
Độ dài ràng buộc	7
Đa thức sinh	$G1 = (171)_8$ $G2 = (133)_8$
Trình tự mã hóa	G1 sau đó G2

Kết quả sau khi áp dụng thuật toán Viterbi là đoạn bits gốc dài 292 (bit) chứa dữ liệu của các tham số trước khi được vệ tinh mã hóa FEC và truyền đi. Sau đó, cần kiểm tra tính chính xác của đoạn dữ liệu bằng cách kiểm tra 6 bits đuôi. Đặc điểm của các đoạn subframe là 6 bits đuôi đều là các bit 0. Tiếp theo kiểm tra mã vòng CRC cho bốn đoạn subframe. Nếu đoạn dữ liệu vượt qua 2 lần kiểm tra này thì dữ liệu thu được được coi là đủ chính xác để lấy ra giá trị của các tham số điều hướng.

Bước tiếp theo là việc lấy ra các tham số điều hướng dựa vào đoạn dữ liệu và đặc điểm của từng subframe. Các đặc điểm của subframe 1 và 2 được trình bày trong phần "Khôi phục mã bản tin" trong chương trước. Các bước để tìm giá trị các tham số điều hướng được mô tả trên Hình 3.7.

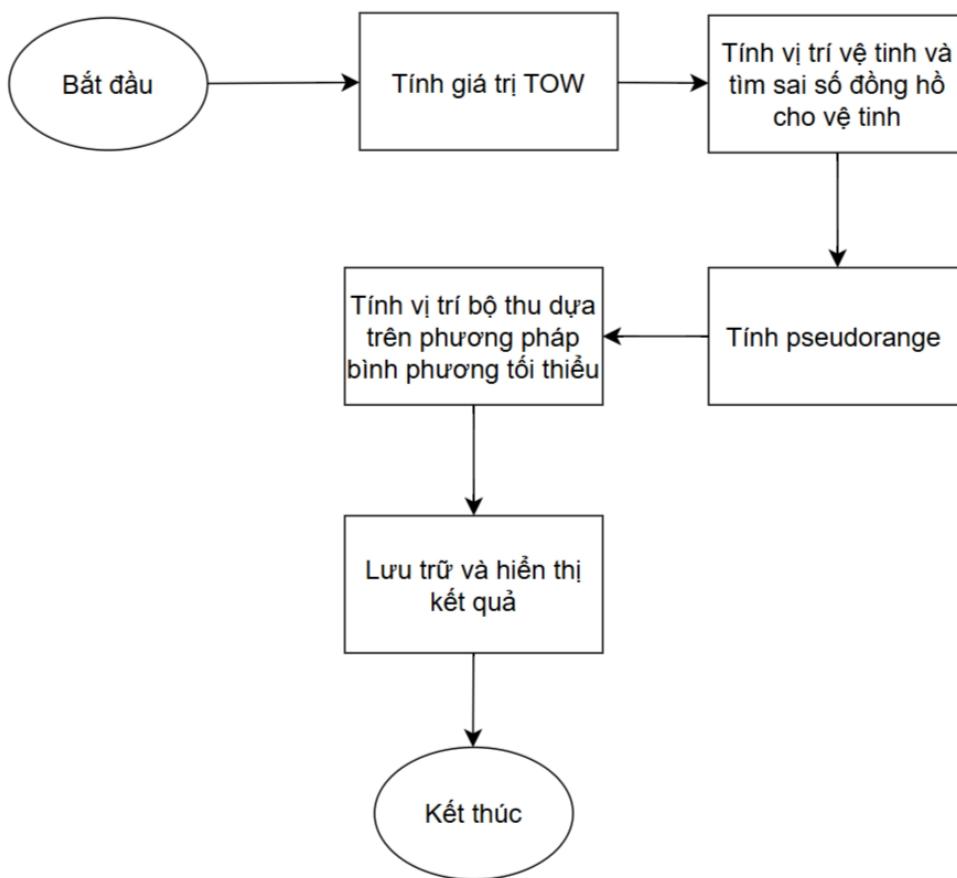


Hình 3.7: Lưu đồ thuật toán lấy giá trị tham số điều hướng

Đầu tiên là lấy đoạn dữ liệu 292*4 (thu được từ việc lấy dữ liệu gốc của 4 subframe) của vệ tinh đang xét. Sau đó khởi tạo một cấu trúc để lưu lại giá trị các tham số điều hướng tính được.

Ta cắt nhỏ dữ liệu thành các đoạn 292 bits của các subframe và kiểm tra giá trị SUBFRAME ID của đoạn này là bao nhiêu. Vị trí lấy ra SUBFRAME ID là 2 bits thứ 28 và 29 trong 292 bits dữ liệu. Giá trị của tham số này có thể là 00, 01, 10, 11 tương ứng với các subframe là 1, 2, 3, 4. Tùy thuộc vào từng subframe mà ta sẽ lấy ra được giá trị của các tham số điều hướng có trong nó. Nếu là subframe 3, 4 thì bỏ qua để xét qua subframe khác và khi đã lấy ra giá trị các tham số có trong dữ liệu của cả subframe 1 và subframe 2 thì dừng lại.

Ta cũng có thể xác định được thời gian hiện tại của bộ thu bằng phép tính toán với giá trị WN và giá trị TOWC. Giá trị WN là số tuần được tính bắt đầu từ 00:00:00 UT vào Chủ Nhật ngày 22 tháng 8 năm 1999 cho đến tuần hiện tại. Giá trị TOWC * 12 sẽ tính được số giây của tuần này đã trôi qua. Bằng cách đó ta có thể xác định được thời gian hiện tại của bộ thu (bỏ qua chêch lệch đồng hồ giữa bộ thu và vệ tinh).



Hình 3.8: Lưu đồ thuật toán của khối tính toán vị trí

Tất cả dữ liệu về giá trị của các tham số điều hướng và giá trị TOW được lưu lại và đưa tới khối tính toán vị trí để thực hiện các bước tính toán tìm ra vị trí bộ thu.

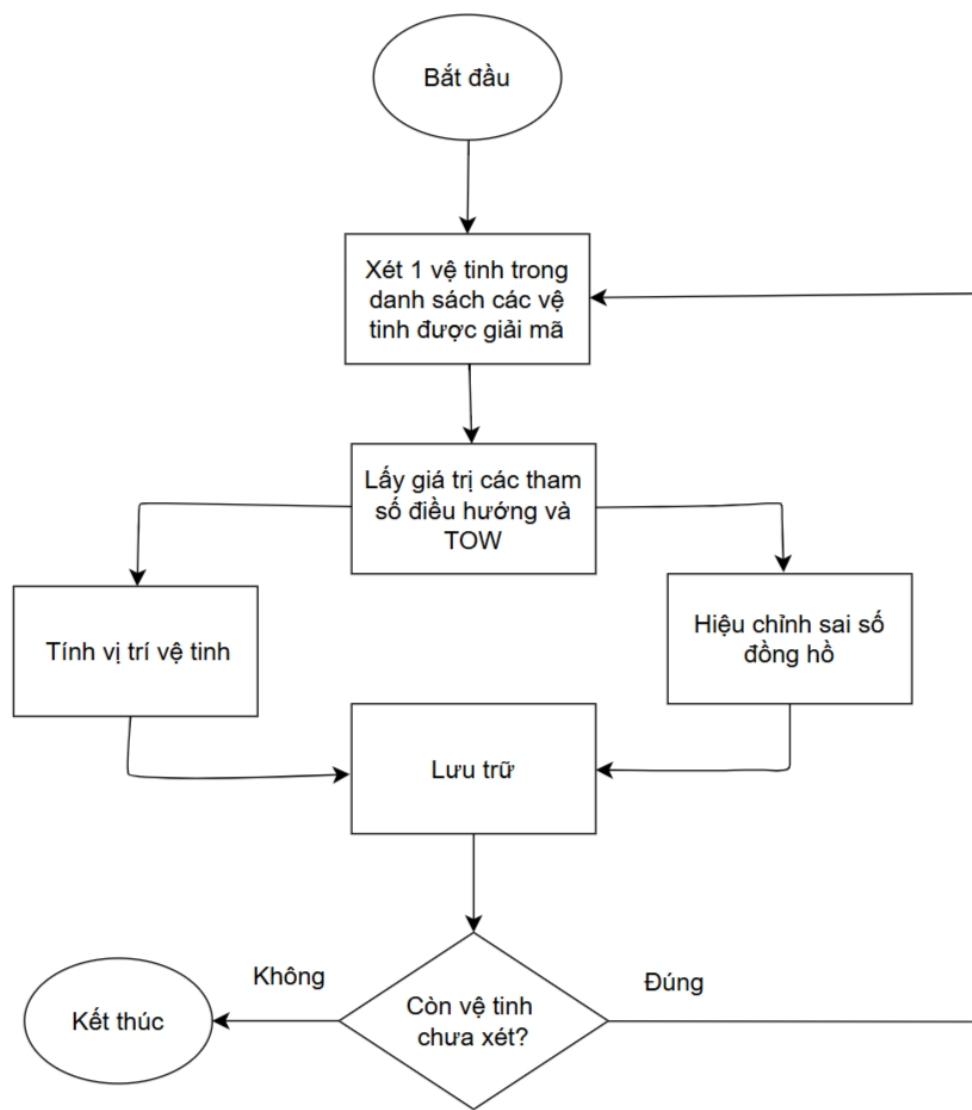
3.3 Triển khai khối tính toán vị trí

Khối tính toán vị trí cũng là một khối được tùy chỉnh từ bộ thu mềm cho tín hiệu GPS. Về các bước của khối tính toán vị trí, đầu tiên là tìm vị trí vệ tinh, sau đó tính giả khoảng cách và cuối cùng là tính vị trí của bộ thu. Dữ liệu đầu vào cho khối này được cung cấp từ khối giải mã bản tin trước đó.

Lưu đồ thuật toán của khối tính toán vị trí được thể hiện trên Hình 3.8.

Bước đầu tiên của toàn bộ quá trình tính toán là tính giá trị TOW để sử dụng cho các bước sau. TOW là thời gian subframe được truyền đi tính bằng giây, các subframe có độ dài 600 ký tự tương ứng với 12 giây, do đó TOW của các subframe sẽ luôn tăng (trừ trường hợp giữa 2 tuần, khi đó TOW sẽ được khởi tạo về 0 mỗi khi bắt đầu 1 tuần mới), 2 subframe liên tiếp sẽ có TOW cách nhau 12 đơn vị. TOW được tính bằng công thức:

$$TOW = TOWC \cdot 12 - 12 \cdot 4$$



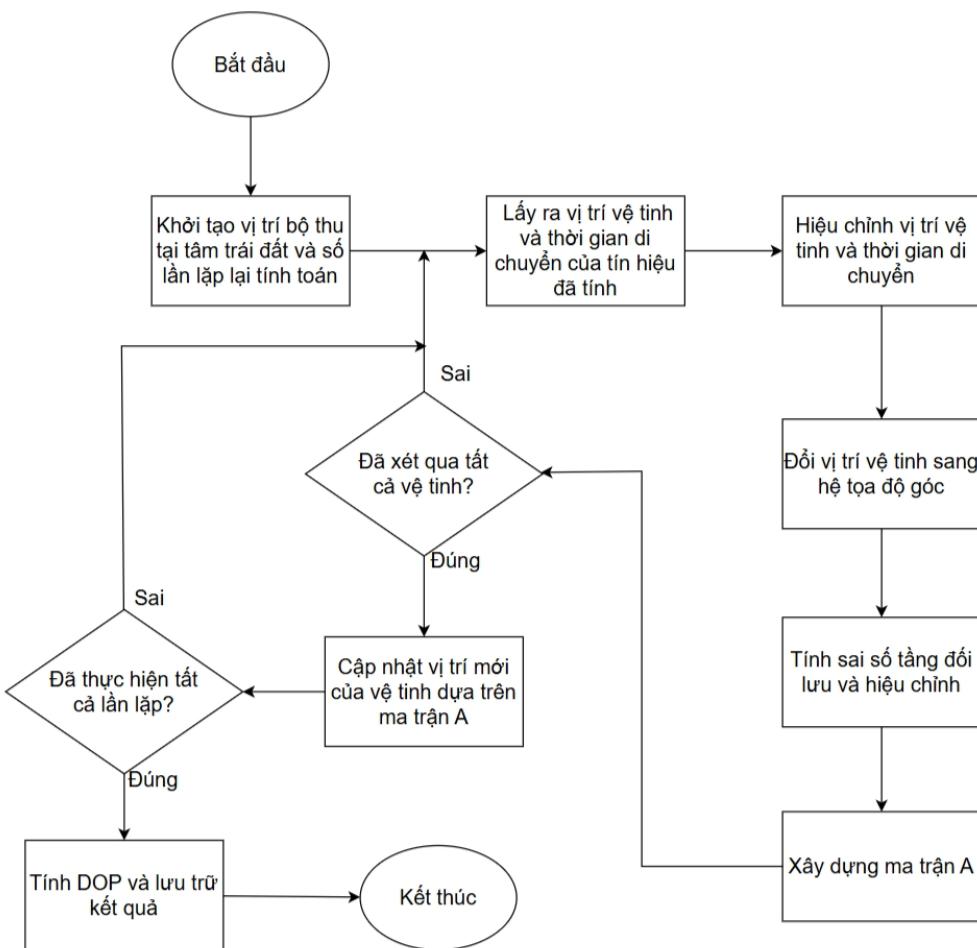
Hình 3.9: Lưu đồ thuật toán tính toán vị trí vệ tinh

Trong đó: TOWC (Time Of Week Count) là biến đếm thời gian trong tuần có giá trị tìm được khi giải mã bản tin. Ở đây trừ đi 12 giây nhân với 4 (do có 4 subframe mà mỗi subframe dài 12 giây) là để tính ra thời điểm mà lúc subframe đầu tiên trong master frame được truyền đi.

Ngay sau khi giá trị TOW được tính toán, bộ thu sẽ chuyển sang tính vị trí vệ tinh và tính toán lại sai số đồng hồ theo giá trị TOW này. Phần tính toán vị trí vệ tinh và sai số đồng hồ được thực hiện theo các bước như trong Hình 3.9.

Đầu vào của quá trình tính toán là danh sách các vệ tinh được giải mã tín hiệu, cùng với các giá trị tham số được giải mã và TOW được tính trên. Từ các thông số lấy ra được, tính toán vị trí X, Y, Z của từng vệ tinh trong hệ quy chiếu ECEF (Earth-Centered, Earth-Fixed).

Sau khi đã tính toán được vị trí vệ tinh, bước tiếp theo sẽ là tính toán giả khoảng



Hình 3.10: Lưu đồ thuật toán tính toán vị trí bộ thu

cách (pseudorange) và tính toán vị trí bộ thu.

Mục đích của tính pseudoranges là tính toán các giả khoảng cách từ bộ thu đến từng vệ tinh trong danh sách các vệ tinh được giải mã tín hiệu. Đầu tiên cần tính thời gian tín hiệu truyền từ vệ tinh đến bộ thu (travelTime). Sau đó từ thời gian đó tính ra giả khoảng cách bằng công thức (công thức này được giải thích trong phần "khối tính toán vị trí" ở chương trước):

$$\text{pseudoranges} = \text{travelTime} \times \left(\frac{c}{1000} \right)$$

Trong đó c là tốc độ ánh sáng trong không gian (khoảng 3×10^8 m/s). Chia cho 1000 là tốc độ ánh sáng phải được chuyển đổi từ mét trên giây sang mét trên mili giây.

Từ các giả khoảng cách từ bộ thu đến ít nhất 4 vệ tinh, ta sẽ tính toán được vị trí bộ thu. Lưu đồ thuật toán thực hiện tính toán vị trí bộ thu như trong Hình 3.10.

Quá trình thực hiện tính toán vị trí của bộ thu dựa trên phương pháp bình phương tối thiểu. Giá trị khởi tạo ban đầu cho vị trí của bộ thu là tại tâm trái đất (vị trí bộ

thu được khởi tạo ban đầu là các giá trị 0). Quy trình tính toán sẽ được thực hiện với một số lần lặp nhất định, trong chương trình sẽ khởi tạo giá trị này là 10.

Một số khối nhỏ được thực hiện trong quá trình tính toán được mô tả dưới đây:

- Khối “hiệu chỉnh vị trí vệ tinh” sẽ được thực hiện bởi phương thức e_r_corr. Phương thức này có tham số đầu vào là 1 cấu trúc kiểu Ercorr. Kết quả của phương thức này cũng sẽ được lưu vào phần tử của cấu trúc Ercorr ở đầu vào. Các phần tử của cấu trúc này và ý nghĩa các phần tử này được thể hiện ở Bảng 3.2.

Tên thuộc tính	Kiểu dữ liệu	Ý nghĩa
Traveltime	double	Giá trị thời gian truyền tín hiệu từ vệ tinh tới bộ thu (được tính ra ở bước trước)
X_sat	double[3]	Vị trí của vệ tinh trước khi hiệu chỉnh theo hệ tọa độ ECEF
X_sat_rot	double[3]	Vị trí vệ tinh sau khi hiệu chỉnh (theo hệ tọa độ ECEF)

Bảng 3.2: Cấu trúc Ercorr.

- Khối “Đổi vị trí vệ tinh sang hệ tọa độ gốc” được thực hiện bởi phương thức topocent. Các dữ liệu đầu vào và kết quả đầu ra của phương thức này được lưu vào 1 biến kiểu cấu trúc Topocent. Cấu trúc này được mô tả như trong Bảng 3.3.

Tên thuộc tính	Kiểu dữ liệu	Ý nghĩa
X	double[3]	Mảng lưu vị trí vệ tinh theo hệ tọa độ ECEF (đã hiệu chỉnh với phương thức e_r_corr ở trên)
dx	double[3]	Vector nối vị trí hiện tại bộ thu với vị trí vệ tinh
d	double	Độ dài của vector dx
az	double	Góc phương vị (tọa độ vệ tinh theo hệ tọa độ gốc)
el	double	Góc ngang (tọa độ vệ tinh theo hệ tọa độ gốc)

Bảng 3.3: Cấu trúc Topocent.

Ngoài ra trong phương thức này còn sử dụng phương thức togeod cho việc đổi tọa độ của vệ tinh từ hệ trục tọa độ ECEF sang hệ tọa độ trái đất (kinh độ, vĩ độ và độ cao). Tương tự với phương thức topocent phương thức togeod cũng lưu dữ liệu đầu vào và kết quả đầu ra vào một biến cấu trúc kiểu Togeod. Cấu

trúc này được mô tả ở Bảng 3.4.

Tên thuộc tính	Kiểu dữ liệu	Ý nghĩa
x	double	Tọa độ theo trục X (hệ tọa độ ECEF)
y	double	Tọa độ theo trục Y (hệ tọa độ ECEF)
z	double	Tọa độ theo trục Z (hệ tọa độ ECEF)
a	double	Bán trục chính của mặt elip tham chiếu
finv	double	Hằng số độ dẹt của 2 đầu trái đất (inverse of flattening)
dphi	double	Vĩ độ
lam	double	Kinh độ
h	double	Độ cao trên mặt elip tham chiếu

Bảng 3.4: Cấu trúc Toge.

Kết quả tính toán của phương thức togeod (hai thuộc tính dphi, lam và el) sau đó sẽ được lưu trữ lại.

- Khối “Tính sai số tầng đối lưu” được thực hiện bởi phương thức tropo. Đầu vào của phương thức này là một biến cấu trúc kiểu Tropo. Cấu trúc này gồm các thành phần như trong Bảng 3.5.

Tên thuộc tính	Kiểu dữ liệu	Ý nghĩa
sinel	double	sin của góc ngang của vệ tinh.
hsta	double	Độ cao của bộ thu (đơn vị km)
tkel	double	Nhiệt độ tại độ cao htkel (tính theo độ Kelvin)
p	double	Áp suất khí quyển với độ cao hp (đơn vị mb)
hum	double	Độ ẩm tại độ cao hhum (đơn vị %)
hp	double	Độ cao tính theo áp suất (đơn vị km)
htkel	double	Độ cao tính theo nhiệt độ (đơn vị km)
hhum	double	Độ cao tính theo độ ẩm (đơn vị km)

Bảng 3.5: Cấu trúc Tropo.

Kết quả trả về của phương thức tropo là giá trị sai số tầng đối lưu tính bằng mét (ký hiệu: trop).

Kết quả tính toán của các phương thức trên sẽ được sử dụng để khởi tạo hệ phương trình tính toán vị trí cập nhật hay nói cách khác là sử dụng để tính giá trị các phần tử của ma trận hệ số cho hệ phương trình. Ta sẽ cần các hệ số của 2 ma trận Δp và A (Xem phần "Khối tính toán vị trí" trong chương trước). Với mỗi vệ tinh ta sẽ có giá trị của các hệ số cho một hàng của 2 ma trận trên. Giả sử với vệ

tính i giá trị hệ số cho ma trận A và Δp được tính theo các công thức:

$$\Delta\rho[i] = \text{pseudorange} - d - \text{pos}[3] - \text{trop}$$

$$A[i][k] = (-(\text{X}_\text{sat}_\text{rot}[k] - \text{pos}[k])) / \text{pseudorange}$$

k nhận các giá trị 0, 1, 2.

$$A[i][3] = 1$$

Khi đã có đủ các hệ số của 2 ma trận này giá trị cập nhật vị trí sẽ được tính bằng tích của giả nghịch đảo của ma trận A và ma trận Δp . Sau khi vị trí được cập nhật sẽ tiếp tục tiến hành lần lặp tiếp theo.

Sau khi đã thực hiện xong tất cả các lần lặp, ta thu được kết quả của quá trình tính toán vị trí: tọa độ vị trí của bộ thu (X, Y, Z) trong hệ quy chiếu ECEF. Ngoài ra, ma trận A cũng sẽ được sử dụng để tính các giá trị DOP: GDOP, PDOP, HDOP, VDOP, TDOP (phản ánh độ chính xác của vị trí tính toán, các giá trị này càng nhỏ thì độ chính xác càng cao).

Vị trí bộ thu thu được có thể chuyển đổi từ hệ ECEF sang hệ tọa độ sinh trắc địa lý (Kinh độ, vĩ độ, độ cao) để thuận tiện hơn cho việc đánh giá vị trí. Dữ liệu về các vị trí được lưu trữ và hiển thị.

CHƯƠNG 4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Dựa trên cách triển khai bộ thu mềm như đã trình bày ở chương trước, chương tiếp theo đây sẽ đưa ra các kết quả thu được trong quá trình nghiên cứu bộ thu mềm cho tín hiệu NavIC.

4.1 Thiết lập thí nghiệm

Cách sử dụng máy thu USRP và cấu hình phần mềm GNU Radio Companion để thu tín hiệu đã được đề cập ở phần 1 chương 2. ăng-ten và máy thu được đặt ở tòa B1, Trường Công nghệ thông tin và Truyền thông, đại học Bách Khoa Hà Nội. Việc thu dữ liệu sẽ được tiến hành bằng cách thu trong 1 ngày và 3 ngày trong 1 tuần, mỗi tiếng thu tín hiệu trong khoảng 3 phút 20 giây. Thu dữ liệu sẽ được cài đặt tự động bằng cách sử dụng batch script trong Windows (Hình 4.1).

```
@echo off
:loop
echo Đang chạy lệnh: C:\ProgramData\radioconda\python.exe -u D:\NavIC\Data\ThuData\grc.py
start "" cmd /c "C:\ProgramData\radioconda\python.exe -u D:\NavIC\Data\ThuData\grc.py"
timeout /t 200 /nobreak >nul
taskkill /f /im python.exe
timeout /t 3400 /nobreak
goto loop
```

Hình 4.1: Tập lệnh thu tín hiệu tự động trong Window

Trong đó, khởi chạy lệnh để thực thi file *grc.py* (file cấu hình để thu tín hiệu của GNU Radio Companion). Vòng lặp: thực thi trong 200 giây (3 phút 20 giây) sau đó dừng lại, đợi 3400 giây (56 phút 40 giây) sau đó lại tiếp tục vòng lặp.

Các ngày được thu dữ liệu là: từ 9 giờ ngày 27/05/2024 đến 9 giờ ngày 28/05/2024; và từ 9 giờ ngày 31/05/2024 đến 9 giờ ngày 02/06/2024.

4.2 Kết quả thu được

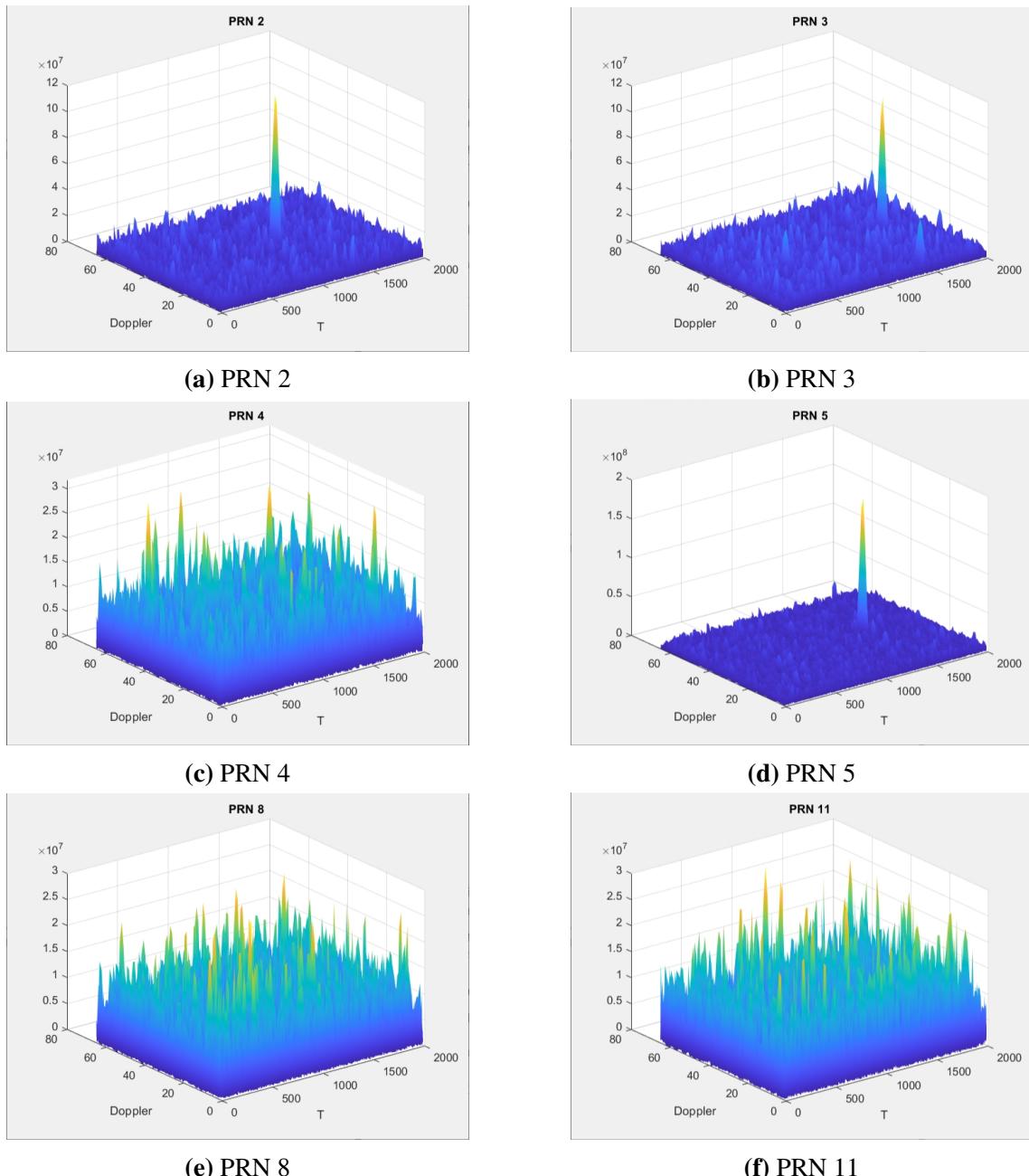
4.2.1 Kết quả thu được của từng phần sau khi triển khai

Dưới đây sẽ trình bày và phân tích kết quả của một file dữ liệu thu được từ máy thu, đây là file dữ liệu thu vào khoảng 9 giờ, ngày 27 tháng 5 năm 2024.

a, Kết quả Acquisition

Tín hiệu của vệ tinh được đánh giá là có thu được hay không sẽ phụ thuộc vào kết quả tính toán độ tương quan. Hình 4.2 là kết quả acquisition của một số trường hợp đối với các vệ tinh khác nhau. Trong đó, PRN (pseudorandom noise) cho biết mã trại phổ của vệ tinh nào được sử dụng. Các đồ thị này biểu diễn giá trị tương quan giữa tín hiệu thu được với các tín hiệu thử của một vệ tinh với các giá trị f_D và τ khác nhau. Ta thấy tại các giá trị f_D và τ đúng (Hình 4.2 a, b, d), giá trị hàm

tương quan đạt đỉnh cao hơn hẳn so với nền nhiễu xung quanh. Điều đó cho thấy trong tín hiệu thu được có thu được tín hiệu của vệ tinh. Trong trường hợp không thu được tín hiệu vệ tinh (Hình 4.2 c, e, f), ta thấy các giá trị tương quan xấp xỉ nhau và không có đỉnh rõ rệt như với trường hợp có thu được tín hiệu vệ tinh.

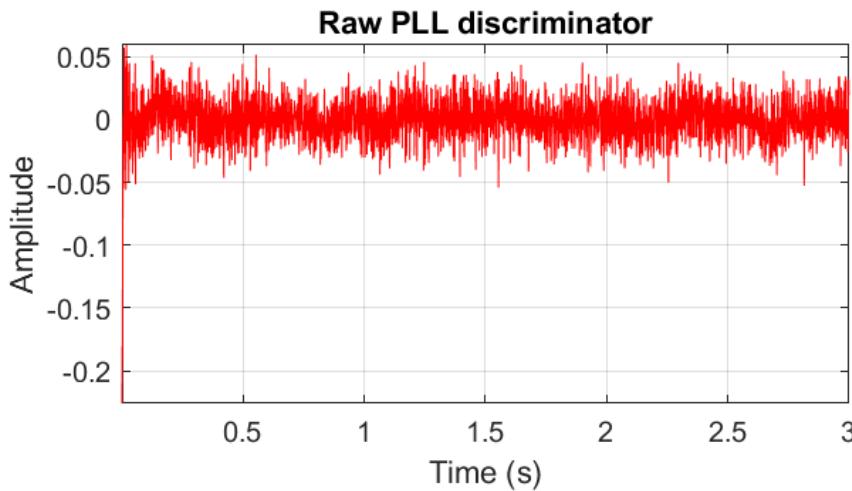


Hình 4.2: Kết quả Acquisition của một số PRN

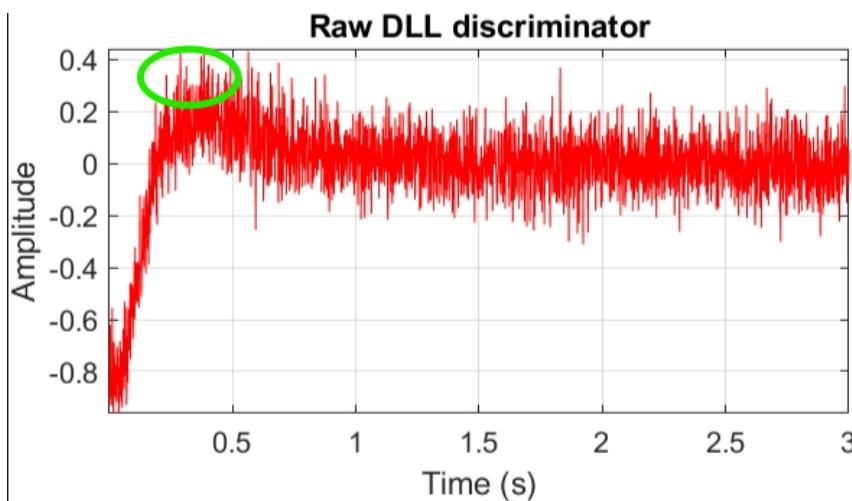
b, Kết quả Tracking

Tracking gồm 2 quá trình code tracking và carrier tracking thực hiện song song. Kết quả của các quá trình này được mô tả ở các Hình 4.3, 4.4, 4.5 (ví dụ tracking cho PRN 3).

Các đồ thi này thể hiện sự biến thiên theo thời gian của tần số sóng mang do bộ



Hình 4.3: Kết quả carrier tracking của pha PLL

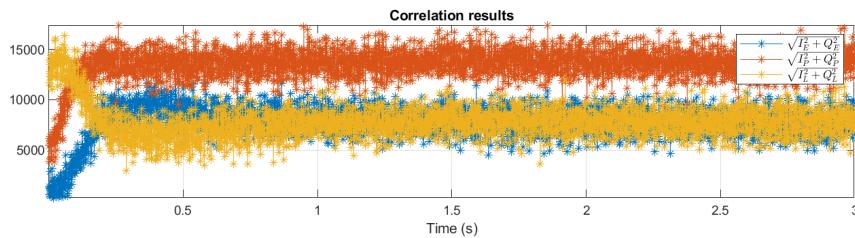


Hình 4.4: Kết quả carrier tracking của pha DLL

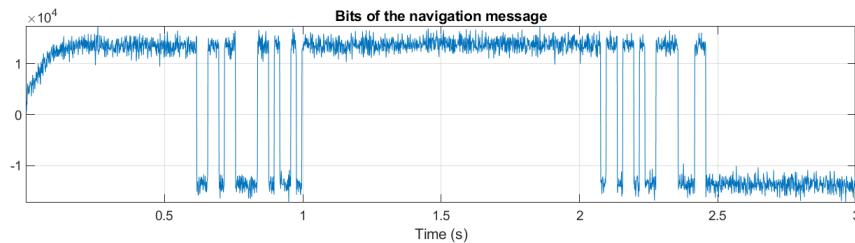
thu sinh ra: trực hoành biểu diễn thời gian [ms], trực tung biểu diễn độ lệch tần số [Hz] so với tần số trung gian của frontend (đặt là 0). Trên đồ thị carrier tracking DLL, ta thấy rõ sự biến đổi của tần số sóng mang của bộ thu từ trạng thái chưa lock sang trạng thái lock (sau khoảng 300 ms kể từ lúc bắt đầu chạy tracking). Ở trạng thái lock, tần số dao động trong khoảng hẹp hơn hẳn so với ban đầu (xấp xỉ 0.4 Hz). Ở đồ thị tracking PLL, tần số sóng mang tiếp tục được duy trì dao động trong khoảng 0.1 Hz như với FLL.

Kết quả code tracking được mô tả trên đồ thị Hình 4.5. Trực hoành của đồ thị biểu diễn thời gian [ms], trực tung là giá trị tương quan của 3 bản mã trải phổ lệch nhau 0.5 chip. Các giá trị biểu diễn trên đồ thị này được tính từ 6 kết quả tương quan theo sơ đồ Hình 2.8 như sau:

$$\text{early: } R_E[n] = (I_E[n])^2 + (Q_E[n])^2 \quad (10)$$



Hình 4.5: Kết quả code tracking



Hình 4.6: Kết quả của thành phần I_P sau khi giải điều chế

$$\text{prompt: } R_P[n] = (I_P[n])^2 + (Q_P[n])^2 \quad (11)$$

$$\text{late: } R_L[n] = (I_L[n])^2 + (Q_L[n])^2 \quad (12)$$

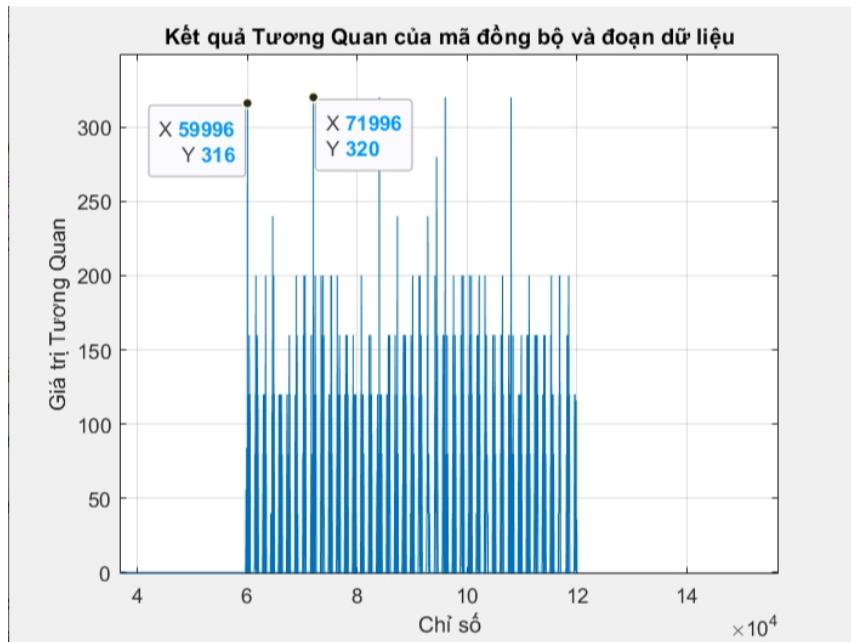
Đồ thị cho thấy khi DLL ở trạng thái lock sau khoảng 200 ms, thì mã “đúng” (Prompt) cho giá trị tương quan lớn nhất, còn các mã sớm và trễ 0.5 chip có tương quan xấp xỉ nhau.

Với các khối carrier tracking và code tracking đều ở trạng thái lock, ta có thể thu được dữ liệu ở dạng nhị phân sau khi giải điều chế khỏi thành phần sóng mang và mã trai phổi. Kết quả này được mô tả trên Hình 4.6. Trên đồ thị này, trực hoành biểu diễn giá trị thời gian [ms], trực tung biểu diễn giá trị tương quan I_P (Inphase - Prompt). Nhìn vào đồ thị, ta thấy rõ dạng xung vuông của dữ liệu sau khi đã loại bỏ thành phần sóng mang và mã trai phổi. Từ đó, ta xác định dữ liệu ở dạng nhị phân, sau đó giải mã ra bản tin định vị.

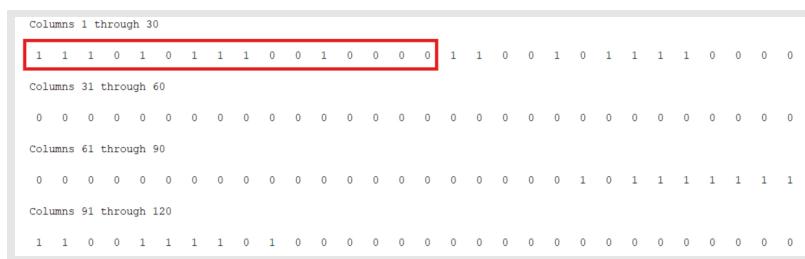
c, Kết quả của khối giải mã bản tin

Khối giải mã bản tin định vị thực hiện việc đồng bộ frame, giải mã ra các tham số phục vụ cho việc tính toán vị trí từ dữ liệu của các subframe. Ta sẽ xem xét kết quả của từng chức năng của khối này.

Quá trình đồng bộ frame hay xác định điểm bắt đầu của các subframe được thực hiện qua việc tính tương quan giữa dòng bit đầu vào và đoạn mã đồng bộ của các subframe. Ví dụ về kết quả tương quan của PRN 3 được thể hiện trong Hình 4.7.



Hình 4.7: Kết quả tương quan của mã đồng bộ và đoạn dữ liệu



Hình 4.8: Phần đầu đoạn bit của 4 subframe sau khi chuyển về bit 1, 0

Trên hình, vị trí bắt đầu đếm tính tương quan chéo là tại vị trí gần 60000, bỏ qua phần bit đầu với mục đích tránh một số lỗi gấp phai khi bộ thu chưa ổn định (có thể đặt ví trí bắt đầu tính thấp hơn). Trong kết quả tương quan, có 5 điểm có giá trị đạt đỉnh (tri tuyệt đối lớn hơn 315) là các điểm có vị trí: 59996, 71996, 83996, 95996 và 107996. Ví dụ xét 2 điểm liên tiếp nhau có vị trí 59996 và 71996 cách nhau đúng 12000 (tương ứng $600 * 20$) bit, chính là lượng bits của một subframe (các bit vẫn ở dạng 1, -1). Như vậy ở PRN này, điểm được chọn làm vị trí bắt đầu subframe đầu tiên là tại vị trí 59996 trong dữ liệu đầu vào.

Dữ liệu 4 subframe khi lấy từ dữ liệu vào là 48000 bit dữ liệu (các bit 1, -1) cũng chính là $600 * 20 * 4$: mỗi subframe 600 bit 1, 0; mỗi bit tương ứng với 20 bit 1, -1.

Dữ liệu của 4 subframe sau khi chuyển lại bit dạng 1, 0 của PRN 3 đang xét như trong Hình 4.8, ta thấy 16 bit đầu tiên của mỗi subframe đúng với 16 bit đồng bộ: "1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0". Đến bước này, dữ liệu đang có là 2400 bit 1, 0.

Tiếp theo sẽ bóc tách 16 bit đồng bộ của mỗi subframe ra, lấy $584 * 4$ bit dữ liệu

CHƯƠNG 4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Columns 253 through 273	0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 0	1 0
Columns 274 through 294	0 1 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0	
Columns 547 through 567	0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1 0 1 1	
Columns 568 through 588	1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1	
Columns 841 through 861	0 0 0 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 0 0 0	
Columns 862 through 882	1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0	
Columns 1.135 through 1.155	0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0	
Columns 1.156 through 1.168	0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	

Hình 4.9: Bit đuôi của từng subframe

của 4 subframe để đưa vào tính toán ra dữ liệu gốc trước khi mã hóa FEC. Dữ liệu sau khi mã hóa và thỏa mã bit đuôi sẽ có dạng như Hình 4.9. Mỗi subframe đều có 6 bit đuôi "0 0 0 0 0 0", và các dữ liệu được ghép lại để thuận tiện cho việc kiểm tra mã vòng CRC-24Q và giả mã. Đoạn dữ liệu đã qua xử lý: 292×4 tương đương 1168 bit 1, 0.

```
Giá trị các tham số điều hướng của PRN 10:  
weekNumber: 1292  
deltan: 6.5388e-09  
C_uc: -5.0329e-06  
C_us: 1.4510e-05  
C_ic: -2.1234e-07  
C_is: 1.0803e-07  
C_rc: -440.8750  
C_rs: -146.8125  
iDot: -9.0682e-10  
M_0: 2.9865  
t_oe: 108000  
e: 3.6395e-04  
sqrtA: 6.4935e+03  
omega_0: 0.3998  
omega: 0.4669  
omegaDot: -5.5174e-09  
i_0: 0.0710  
IODEC: 3  
T_GD: -3.2596e-09  
a_f2: 0  
a_f1: 4.8658e-11  
a_f0: 1.7629e-04  
t_oc: 108000
```

Hình 4.10: Giá trị các tham số điều hướng của PRN 10

Đoạn dữ liệu dài 1168 bit trên nếu thỏa mãn kiểm tra CRC thì sẽ được đưa vào giải mã bản tin. Kết quả sau khi giải mã bản tin là một mảng cấu trúc, mỗi phần tử của mảng là một cấu trúc chứa giá trị các tham số điều hướng của một vệ tinh. Ví

dụ giải mã bản tin của PRN 10 thu được kết quả như Hình 4.10. Ý nghĩa của các tham số điều hướng được giải thích trong Bảng 2.9 và Bảng 2.8. Giá trị TOW cũng có thể được tính ngay trong phần này.

d, Kết quả sau khi tính toán vị trí

Khối tính toán vị trí thực hiện việc tính vị trí vệ tinh, tính giả khoảng cách (pseudorange) và cuối cùng tính vị trí của bộ thu.

Vị trí của vệ tinh trên hệ tọa độ ECEF:
 X: -26798575.0604
 Y: 32537683.8441
 Z: -1529691.2197

Hình 4.11: Vị trí của vệ tinh (PRN 10) trên hệ tọa độ ECEF

Giả khoảng cách từ bộ thu đến vệ tinh: 436048.1302 mét.

Hình 4.12: Giả khoảng cách của PRN 10

Dựa vào kết quả giải mã bản tin của PRN 10 ở trên và giá trị TOW, ta có thể tính toán ra được vị trí của vệ tinh và giả khoảng cách pseudorange (Hình 4.11, Hình 4.12).

```

Vị trí bộ thu:
    channel: [1×1 struct]
        DOP: [5×1 double]
            X: -1.6266e+06
            Y: 5.7306e+06
            Z: 2.2719e+06
            dt: -1.6094e+07
        latitude: 21.0044
        longitude: 105.8462
            height: 87.6381
        utmZone: 48
            E: 5.8784e+05
            N: 2.3231e+06
            U: -53.7561

```

Trong đó, DOP là các giá trị:

```

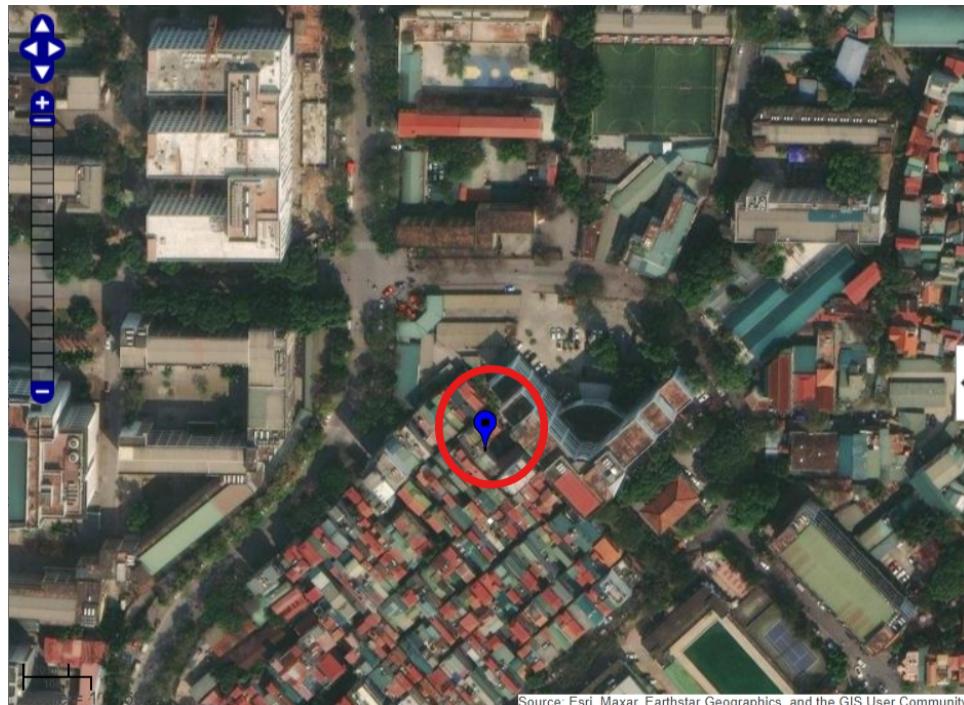
GDOP: 2.9452
PDOP: 2.0767
HDOP: 1.579
VDOP: 1.3488
TDOP: 2.0884

```

Hình 4.13: Vị trí bộ thu được tính toán

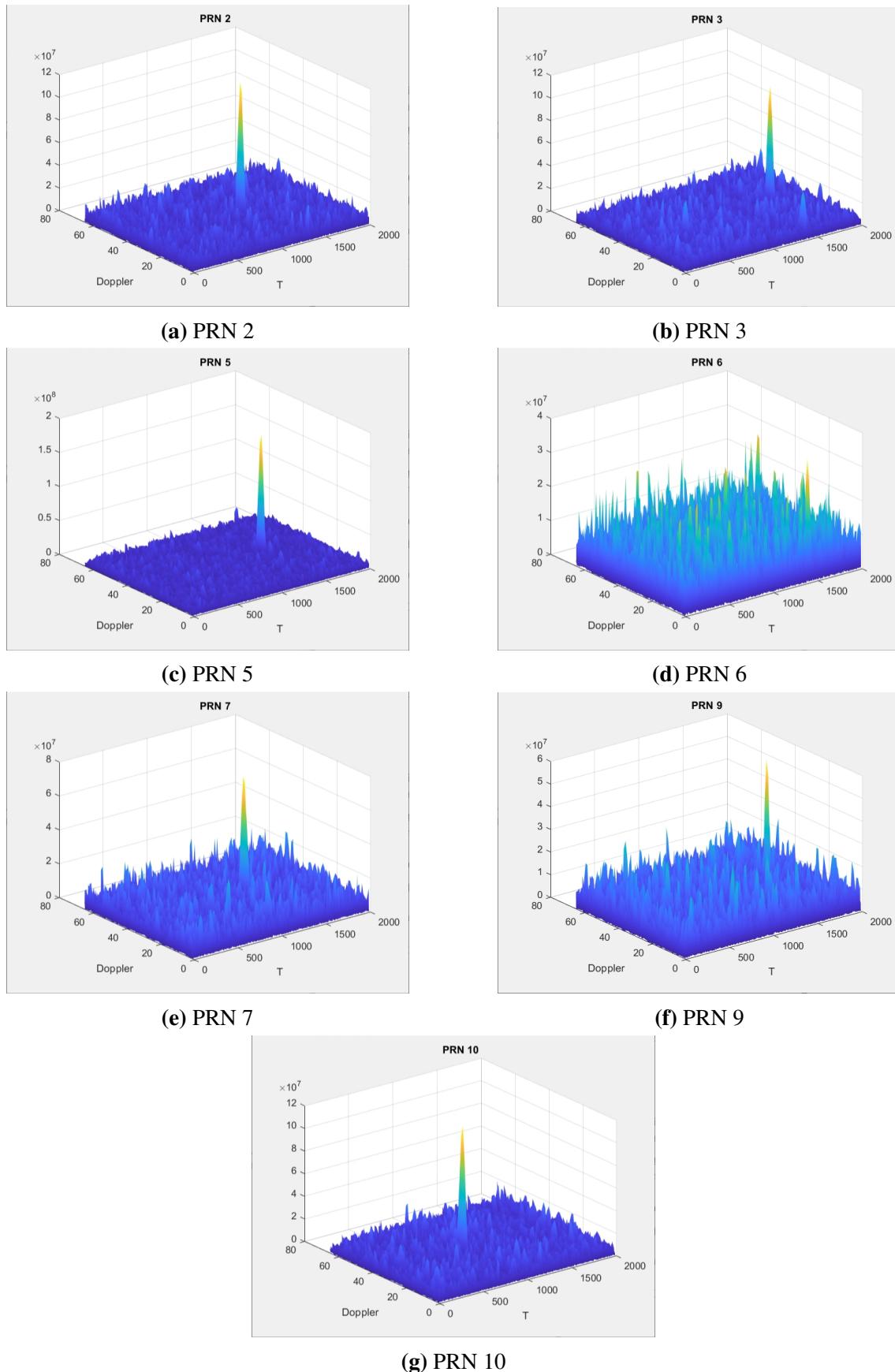
Vị trí bộ thu sẽ được tính toán từ ít nhất 4 vị trí vệ tinh tìm được và các giả khoảng cách tương ứng. Hình 4.13 đưa ra các kết quả tính toán vị trí bộ thu. Trong đó, channel chứa dữ liệu về PRN ID và các góc ngang, góc phương vị ứng với từng vệ tinh đó.

Từ các kết quả trên, ta có thể hiển thị vị trí máy thu thu lên bản đồ như trong Hình 4.14. Kết quả bộ thu mềm tính toán được chênh lệch với vị trí thực tế trung bình khoảng 20 đến 40 mét. Như vậy, kết quả định vị của bộ thu có thể kết luận là tương đối chính xác. Điều này cũng chứng minh được kết quả tính toán của các phần phía trước như giải mã bản tin, xác định vị trí vệ tinh và tính pseudorange được bộ thu thực hiện thành công.

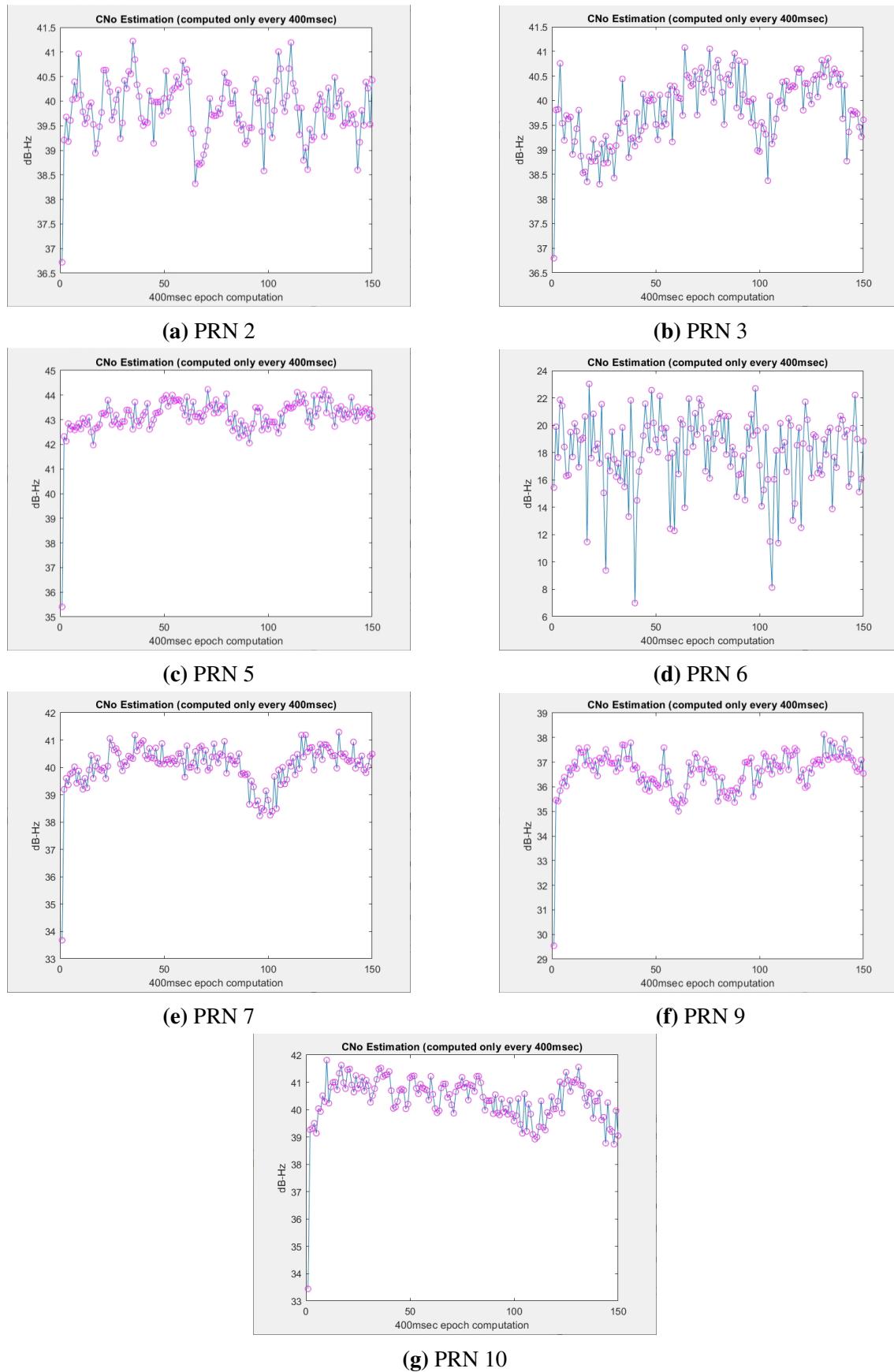


Hình 4.14: Vị trí bộ thu tính toán được trên bản đồ

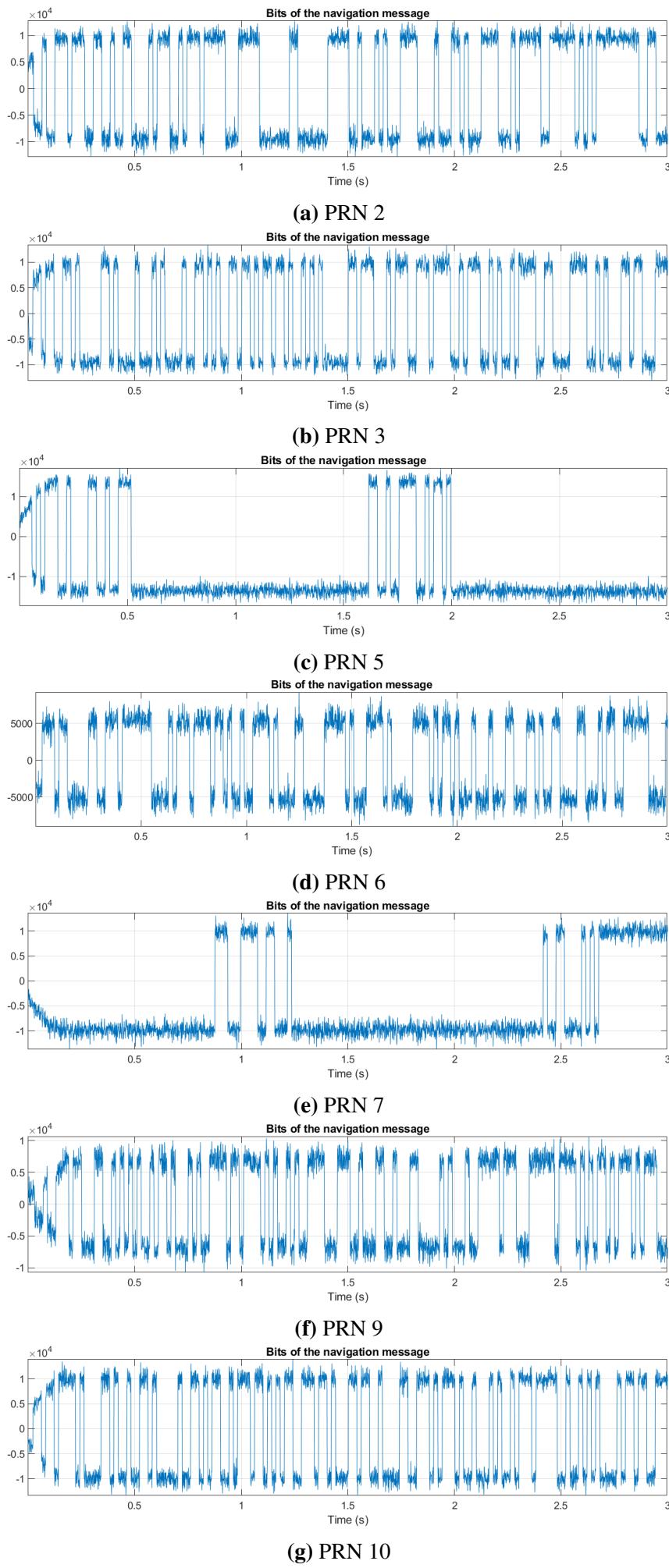
Các kết quả đưa ra chỉ là của một vài vệ tinh (PRN 3, PRN 10) để lấy ví dụ. Sau đây sẽ là kết quả của toàn bộ vệ tinh thu được (Hình 4.15, Hình 4.17, Hình 4.18). Trong đó có tính cả chỉ số C/N0 của các vệ tinh tương ứng. Thông thường, chất lượng tín hiệu C/N0 lớn hơn 40 là tín hiệu rất tốt, trong khoảng từ 35-40 là tín hiệu ở mức trung bình, nhỏ hơn 30 sẽ là tín hiệu kém. Tuy nhiên ở PRN 6 có chút đặc biệt, sẽ được đề cập đến ở phần "Kết quả thu được của kịch bản thu" bên dưới.



Hình 4.15: Kết quả Acquisition của các vệ tinh thu được tín hiệu



Hình 4.16: Chất lượng tín hiệu (C/N_0) của các vệ tinh



Hình 4.17: Kết quả Tracking của các vệ tinh thu được tín hiệu

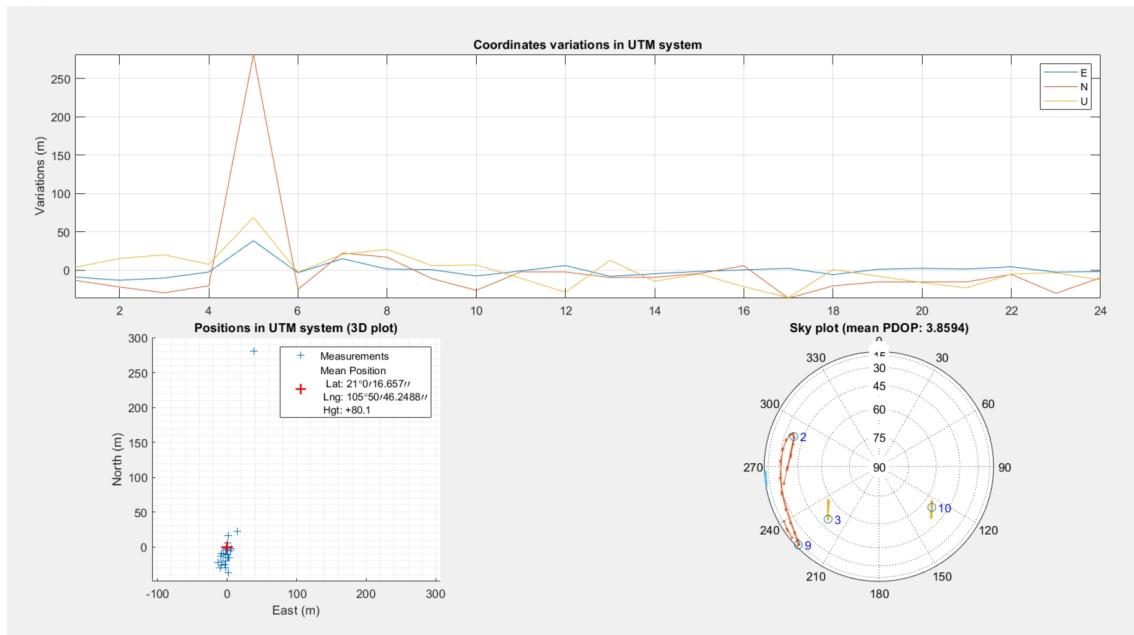
CHƯƠNG 4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

<pre>Giá trị các tham số điều hướng của PRN 2: weekNumber: 1292 deltan: 3.3573e-09 C_uc: -1.5125e-06 C_us: 1.7632e-05 C_ic: 2.2352e-08 C_is: 1.4156e-07 C_rc: -450.4375 C_rs: -32.7500 iDot: -1.0140e-09 M_0: -0.6185 t_oe: 110160 e: 0.0023 sqrtA: 6.4933e+03 omega_0: 0.1608 omega: -3.1163 omegaDot: -2.7387e-09 i_0: 0.5071 IODEC: 187 T_GD: -1.8626e-09 a_f2: 0 a_f1: 2.1373e-11 a_f0: 2.1815e-04 t_oc: 110160</pre>	<pre>Giá trị các tham số điều hướng của PRN 3: weekNumber: 1292 deltan: 7.0860e-09 C_uc: 3.5167e-06 C_us: 1.8109e-05 C_ic: -3.7253e-09 C_is: 2.0117e-07 C_rc: -551 C_rs: 119.2500 iDot: 8.2968e-10 M_0: -0.7035 t_oe: 110160 e: 0.0021 sqrtA: 6.4934e+03 omega_0: -2.4251 omega: 0.0449 omegaDot: -5.8645e-09 i_0: 0.0803 IODEC: 187 T_GD: -1.3970e-09 a_f2: 0 a_f1: 5.1841e-11 a_f0: 4.8255e-04 t_oc: 110160</pre>	<pre>Giá trị các tham số điều hướng của PRN 6: weekNumber: 1292 deltan: 9.1318e-09 C_uc: 1.1429e-05 C_us: 1.5292e-05 C_ic: -1.5646e-07 C_is: 2.2724e-07 C_rc: -461.1250 C_rs: 352.4375 iDot: 9.6218e-10 M_0: 1.2672 t_oe: 110160 e: 0.0018 sqrtA: 6.4935e+03 omega_0: -2.1941 omega: -3.0381 omegaDot: -7.9146e-09 i_0: 0.0611 IODEC: 187 T_GD: -1.8626e-09 a_f2: 0 a_f1: -3.6835e-11 a_f0: 4.9192e-04 t_oc: 110160</pre>
<p style="text-align: center;">(a) PRN 2</p> <pre>Giá trị các tham số điều hướng của PRN 9: weekNumber: 1292 deltan: 2.4201e-09 C_uc: -1.8466e-05 C_us: 1.6220e-05 C_ic: 6.3330e-08 C_is: -1.3411e-07 C_rc: -428 C_rs: -567.9375 iDot: 6.2788e-10 M_0: 2.1281 t_oe: 108000 e: 0.0018 sqrtA: 6.4934e+03 omega_0: -2.7589 omega: -3.0989 omegaDot: -2.1201e-09 i_0: 0.5074 IODEC: 3 T_GD: -1.8626e-09 a_f2: 0 a_f1: -4.1496e-11 a_f0: 2.9987e-04 t_oc: 108000</pre>	<p style="text-align: center;">(b) PRN 3</p> <pre>Giá trị các tham số điều hướng của PRN 10: weekNumber: 1292 deltan: 6.5388e-09 C_uc: -5.0329e-06 C_us: 1.4510e-05 C_ic: -2.1234e-07 C_is: 1.0803e-07 C_rc: -440.8750 C_rs: -146.8125 iDot: -9.0682e-10 M_0: 2.9865 t_oe: 108000 e: 3.6395e-04 sqrtA: 6.4935e+03 omega_0: 0.3998 omega: 0.4669 omegaDot: -5.5174e-09 i_0: 0.0710 IODEC: 3 T_GD: -3.2596e-09 a_f2: 0 a_f1: 4.8658e-11 a_f0: 1.7629e-04 t_oc: 108000</pre>	<p style="text-align: center;">(c) PRN 6</p> <pre>Giá trị các tham số điều hướng của PRN 9: weekNumber: 1292 deltan: 2.4201e-09 C_uc: -1.8466e-05 C_us: 1.6220e-05 C_ic: 6.3330e-08 C_is: -1.3411e-07 C_rc: -428 C_rs: -567.9375 iDot: 6.2788e-10 M_0: 2.1281 t_oe: 108000 e: 0.0018 sqrtA: 6.4934e+03 omega_0: -2.7589 omega: -3.0989 omegaDot: -2.1201e-09 i_0: 0.5074 IODEC: 3 T_GD: -1.8626e-09 a_f2: 0 a_f1: -4.1496e-11 a_f0: 2.9987e-04 t_oc: 108000</pre>
<p style="text-align: center;">(d) PRN 9</p>	<p style="text-align: center;">(e) PRN 10</p>	

Hình 4.18: Kết quả sau khi giải mã bản tin của các vệ tinh

4.2.2 Kết quả thu được của kịch bản thu

Với tập dữ liệu thu trong 1 ngày, kết quả tính toán được vẽ lên bằng các biểu đồ như trong Hình 4.19.



Hình 4.19: Kết quả sau khi tính toán (1 ngày dữ liệu)

Đồ thị đầu tiên biểu diễn sự biến thiên của các tọa độ trong hệ thống tọa độ UTM (Universal Transverse Mercator) theo các điểm dữ liệu khác nhau. Tại điểm dữ liệu thứ 5, có một biến thiên rất lớn ở tọa độ Bắc (N), một đỉnh cao đột ngột lên đến khoảng 250 mét, tọa độ Đông (E) và Độ cao (U) cũng có một số biến thiên tại điểm này, nhưng không lớn bằng tọa độ Bắc. Tại điểm này, bộ thu mềm tính toán vị trí ra sai số khá lớn, lý do có thể là do nhiễu. Từ điểm thứ 6 trở đi, các tọa độ trở nên ổn định hơn với các biến thiên nhỏ và dao động quanh giá trị 0.

Đồ thị thứ hai biểu diễn các vị trí trong hệ thống tọa độ UTM dưới dạng đồ thị 3D, tập trung vào hai trục chính là Đông (East) và Bắc (North). Dấu cộng màu xanh (Measurements) biểu diễn các vị trí thực tế được đo đạc, dấu cộng màu đỏ (Mean Position) biểu diễn vị trí trung bình của các điểm đo đạc. Phần chú giải đưa ra kinh độ, vĩ độ và độ cao của vị trí trung bình. Các điểm đo đạc chủ yếu tập trung trong một khu vực nhỏ quanh vị trí trung bình, với khoảng cách không quá lớn so với trung tâm. Tuy nhiên có 1 điểm bị cách xa khoảng gần 300m so với vị trí trung bình. Kết hợp với đồ thị thứ nhất, ta có thể kết luận điểm vị trí tính toán này có sự sai lệch khá lớn so với các vị trí tính toán được khác.

Đồ thị thứ ba "Sky plot" biểu diễn vị trí của các vệ tinh trên bầu trời theo góc phương vị (azimuth) và góc ngang (elevation). Giá trị PDOP (Position Dilution of

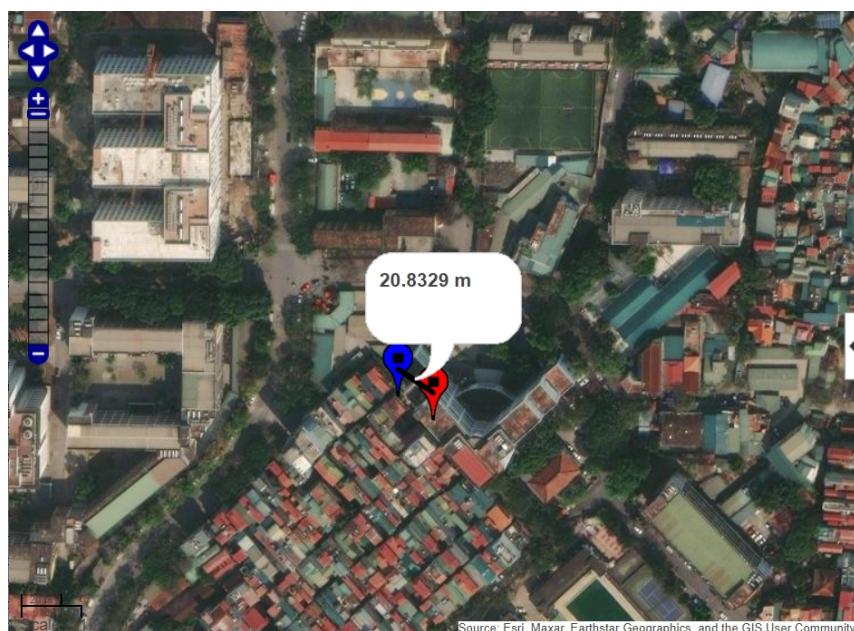
CHƯƠNG 4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Precision) là 3.8594 cho thấy độ chính xác của vị trí tính toán được là đủ tốt (PDOP thường được phân loại: PDOP < 2: Rất tốt; 2 < PDOP < 5: Tốt; 5 < PDOP < 10: Trung bình; PDOP > 10: Kém). Đồ thị thể hiện các vệ tinh mà bộ thu có thể "nhìn" thấy là các vệ tinh thứ 2, 3, 6, 9, 10. Các vị trí tính toán được từ từng thời điểm trong một ngày đều được vẽ lên đồ thị, các vị trí của mỗi vệ tinh được nối lại thể hiện quỹ đạo của vệ tinh.

Từ các kết quả tính toán và dựa vào chỉ số C/N0, ta thấy tại vị trí của máy thu, thời điểm mà tín hiệu thu được có chất lượng tốt hơn các thời gian khác là vào khoảng từ 17 giờ đến 23 giờ (chỉ số chất lượng tín hiệu C/N0 là cao hơn).

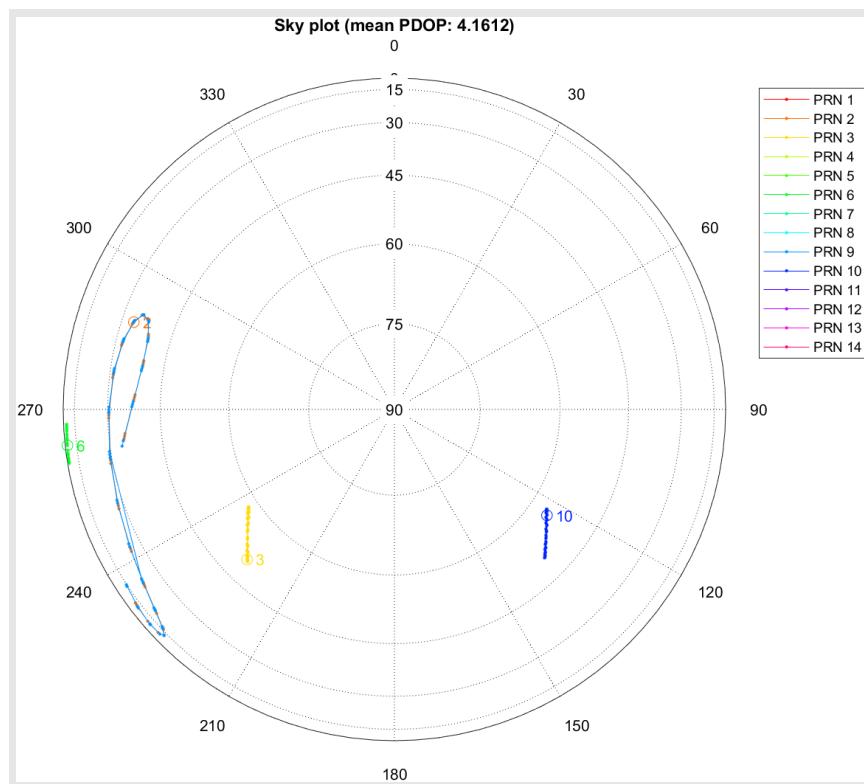
Với góc nhìn từ bộ thu: các vệ tinh 3 và 10 có quỹ đạo như 1 đường thẳng và góc ngang khá cao, nên có thể kết luận vệ tinh thứ 3 và 10 được nhìn thấy rõ nhất, hay tín hiệu thu được từ vệ tinh thứ 3 và 10 là tốt nhất trong các vệ tinh nhìn thấy. Với vệ tinh thứ 2 và 9, quỹ đạo của chúng gần như trùng với nhau. **Vệ tinh thứ 6 có góc ngang rất thấp, điều đó cũng chứng minh tín hiệu thu được từ vệ tinh này là rất kém, tuy nhiên, khi giải mã bản tin từ tín hiệu thu được, ta vẫn xác định được nó một cách khá chính xác.**

Hình 4.20 cho thấy vị trí tính toán được khi sử dụng bộ thu mềm (màu xanh) và vị trí thực tế (màu đỏ). Vị trí thực tế được tính toán bằng bộ thu thương mại của U-blox với tín hiệu GPS, độ chính xác rất cao, mặc định đó là vị trí thực tế. Trên hình ta có thể thấy khoảng cách giữa vị trí thực tế và vị trí mà bộ thu mềm cho tín hiệu NavIC tính toán là khoảng 21m. Đây là một sai số khá nhỏ và có thể kết luận bộ thu mềm được xây dựng khá tốt nhưng vẫn có thể cải thiện được thêm.



Hình 4.20: Vị trí bộ thu tính toán so với vị trí thực tế

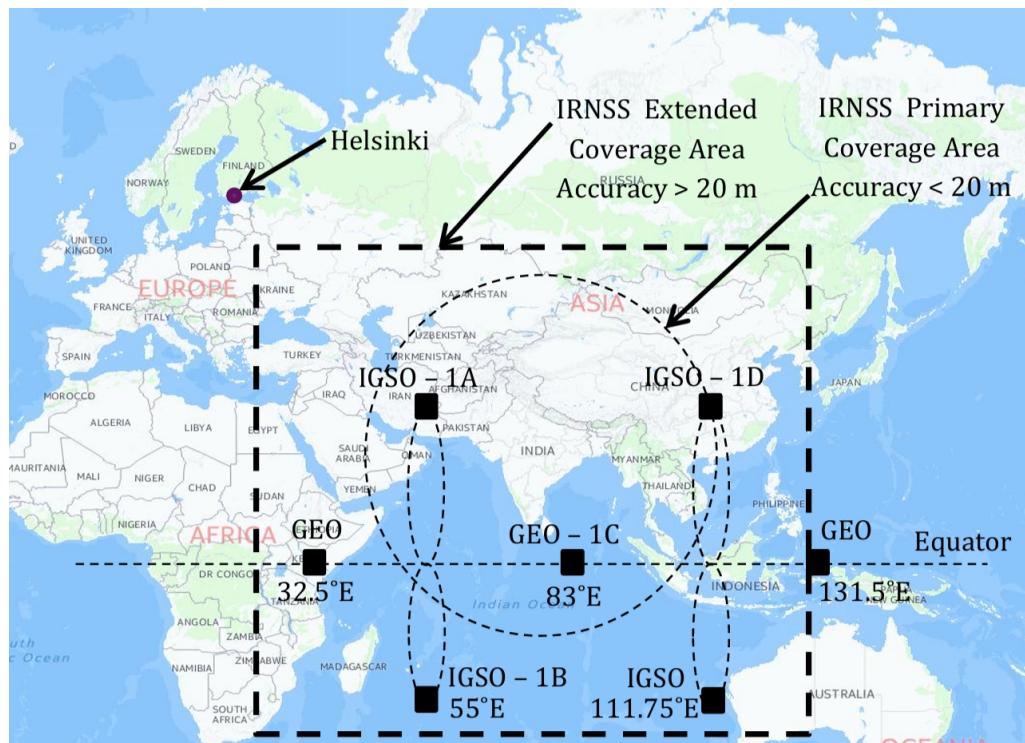
Với kịch bản mỗi giờ thu dữ liệu trong 3 phút 20 giây, liên tục trong 3 ngày, ta thu được kết quả và theo dõi được quỹ đạo của vệ tinh một cách chi tiết hơn như Hình 4.21. Ta thấy rằng quỹ đạo của các vệ tinh được tính toán là tương tự so với quỹ đạo thực của vệ tinh (Hình 4.22).



Hình 4.21: Quỹ đạo của các vệ tinh thu được tín hiệu

Tính đến năm 2016, có bảy vệ tinh trong hệ thống không gian của IRNSS. Tên các vệ tinh và quỹ đạo của chúng được đưa ra trong Bảng 4.1. Tuy nhiên, do các vệ tinh có ID 1, 7 gặp lỗi nên vệ tinh với PRN ID 9, 10 được phóng lên thay thế cho vị trí các vệ tinh đó [16] [17]. Vậy nên quỹ đạo vệ tinh tính toán được là tương đối chính xác. Các vệ tinh địa tĩnh là các vệ tinh có PRN ID 3, 6, 10; ta có thể thấy quỹ đạo của nó ít thay đổi hơn so với 2 vệ tinh có PRN ID 2, 9 và chỉ thay đổi lên xuống quanh 1 vị trí (Hình 4.21).

Với tín hiệu thu được và bám theo được như phía trên đã đề cập, hai vệ tinh có PRN ID 5, 7 đều thu được và tín hiệu của chúng còn rõ ràng nhất so với các tín hiệu còn lại. Nhưng chúng lại không thể giải mã bản tin được do trong bản tin có lỗi (không thỏa mãn kiểm tra CRC). **Điều này là do hai vệ tinh có PRN ID 5, 7 đang gặp lỗi và hiện tại chỉ được sử dụng cho dịch vụ phát sóng tin nhắn ngắn của NavIC** [18] [19] [17]. Dù vậy, số lượng vệ tinh còn hoạt động tốt là 5 vệ tinh, có thể cung cấp độ chính xác định vị dưới 5 mét trong khu vực Ấn Độ và dưới 10 mét trong khu vực lân cận, trong đó có Việt Nam.



Hình 4.22: Quỹ đạo của vệ tinh trên thực tế [11]

Bảng 4.1: Thông tin về các vệ tinh trong hệ thống IRNSS

Vệ tinh	PRN ID	Quỹ đạo
IRNSS-1A	1	Địa đồng bộ (IGSO) / 55°E, quỹ đạo nghiêng 29°
IRNSS-1B	2	Địa đồng bộ (IGSO) / 55°E, quỹ đạo nghiêng 29°
IRNSS-1C	3	Địa tĩnh (GEO) / 83°E, quỹ đạo nghiêng 5°
IRNSS-1D	4	Địa đồng bộ (IGSO) / 111,75°E, quỹ đạo nghiêng 31°
IRNSS-1E	5	Địa đồng bộ (IGSO) / 111,75°E, quỹ đạo nghiêng 29°
IRNSS-1F	6	Địa tĩnh (GEO) / 32,5°E, quỹ đạo nghiêng 5°
IRNSS-1G	7	Địa tĩnh (GEO) / 131,5°E, quỹ đạo nghiêng 5,1°

CHƯƠNG 5. KẾT LUẬN

5.1 Kết luận

Bộ thu mềm cho tín hiệu NavIC được xây dựng trong đồ án là một hướng nghiên cứu mới, mở ra tiềm năng phát triển các dịch vụ sử dụng định vị vệ tinh của hệ thống IRNSS trong tương lai. Bộ thu mềm có nhiều ưu điểm hơn so với bộ thu cứng như tính dẻo dai, linh hoạt, dễ nâng cấp, dễ khai thác nguồn tín hiệu mới.

Kết quả nghiên cứu đã hoàn thiện khôi chức năng giải mã bản tin định vị, kết hợp với các khôi được tùy chỉnh từ bộ thu mềm cho tín hiệu GSP đã tạo thành bộ thu mềm hoàn chỉnh cho tín hiệu NavIC. Các kết quả thực nghiệm cho thấy bộ thu mềm đáp ứng tốt các yêu cầu về thời gian tính toán và độ chính xác cao. Cụ thể hơn, đồ án đã giải quyết được những công việc sau:

- (i) Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về các khôi xử lý của bộ thu.
- (ii) Tìm hiểu các đặc trưng của tín hiệu và bản tin của NavIC.
- (iii) Tùy chỉnh 2 khôi của bộ thu mềm cho tín hiệu GPS theo các đặc trưng của tín hiệu NavIC.
- (iv) Xây dựng khôi giải mã bản tin, tạo thành bộ thu hoàn chỉnh.
- (v) Phân tích kết quả đạt được.

Công trình nghiên cứu đã khai thác được nguồn tín hiệu vệ tinh định vị của hệ thống IRNSS/NavIC. Điều này có thể đem đến các ứng dụng mới trong tương lai như ứng dụng trong giao thông vận tải, dịch vụ cứu hộ,...

Tuy nhiên, vẫn còn có những vấn đề tồn đọng cần giải quyết: Độ chính xác chưa phải cao nhất và muốn ứng dụng được bộ thu mềm vào thực tế thì cần xây dựng hệ thống xử lý đa luồng đáp ứng chạy với thời gian thực.

5.2 Hướng phát triển trong tương lai

Trong tương lai, bộ thu mềm có thể được cải thiện để giảm sai số của vị trí tính toán được từ trên 20 mét xuống còn dưới 10 mét. Đồng thời, nên xây dựng hệ thống bộ thu mềm chạy trên thời gian thực thì mới có nhiều cơ hội để ứng dụng bộ thu vào thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] K. Borre, D. M. Akos, N. Bertelsen, P. Rinder **and** S. H. Jensen, *A software defined GPS and Galileo Receiver. A Single-Frequency Approach.* Boston, MA: Birkhäuser, 2006, ISBN: 978-0-8176-4390-4.
- [2] U. Zahidi, “Performance analysis and implementation of conventional and egnos-based differential gps setups,” *International Journal of Navigation*, 2004.
- [3] G. Povero, *Gnss introduction*, Slide, Istituto Superiore Mario Boella, 2006.
- [4] Indian Space Research Organization, *IRNSS SIS ICD for Standard Positioning Service, Version 1.1.* Bangalore: ISRO Satellite Centre, Indian Space Research Organization, **august** 2017, Reviewed by L. Mruthyunjaya, Approved by Ramasubramanian R.
- [5] L. Xu, N. I. Ziedan, W. Guo **and** X. Niu, “Navsdr: A gpu-based modular gps software receiver,” *inProceedings of the 28th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2015)* Tampa, Florida, 2015, **pages** 3198–3205.
- [6] N. G. J. P. Office, “Navstar gps interface specification is-gps-200 revision f,” Navstar GPS Joint Program Office, Sep 2011, techreport, 2011.
- [7] T. H. Ta, “Acquisition architecture for modern gnss signal,” phdthesis, Polytechnique University of Turin, 2010.
- [8] H. T. Tran, “Nghiên cứu phát triển bộ thu mềm gps thời gian thực,” mathesis, Hanoi University of Science **and** Technology, 2012.
- [9] M. Z. H. Bhuiyan, S. Söderholm, S. Thombre, L. Ruotsalainen **and** H. Kuusniemi, “Implementation of a software defined beidou receiver,” *inProceedings of the Chinese Satellite Navigation Conference* Nanjing, China, 2014.
- [10] S. Thombre, M. Z. H. Bhuiyan, S. Söderholm, M. Kirkko-Jaakkola, L. Ruotsalainen **and** H. Kuusniemi, “Tracking irnss satellites for multi-gnss positioning in finland,” *InsideGNSS*, 2014.
- [11] S. Thombre, M. Z. H. Bhuiyan, S. Söderholm, M. Kirkko-Jaakkola, L. Ruotsalainen **and** H. Kuusniemi, “A software multi-gnss receiver implementation for the indian regional navigation satellite system,” *IETE Journal of Research*, **october** 2015. DOI: 10.1080/03772063.2015.1093968.
- [12] D. M. Truong, “Nghiên cứu phát triển bộ thu mềm gps thời gian thực,” mathesis, Hanoi University of Science **and** Technology, 2012.

- [13] C. Fernández-Prades, J. Arribas **and** P. Closas, “Assessment of software-defined gnss receivers,” 2015, **pages** 1–9. DOI: 10.1109/CSCESM.2015.7901714.
- [14] E. D. Kaplan, *Understanding GPS. Principles and Applications*. Artech House Publishers, 1996, **chapter** 4,5.
- [15] T. H. Ta **and** F. Dovis, “High sensitivity acquisition techniques for gnss signals,” *inGlobal Navigation Satellite Systems* InTech Publisher, 2011.
- [16] The Times of India. “India completes navic constellation with 7th satellite.” Retrieved 11 April 2018. (**april** 2018), **url:** <https://timesofindia.indiatimes.com/india/india-completes-navic-constellation-with-7th-satellite/articleshow/63716669.cms>.
- [17] Indian Space Research Organization, *Annual report 2020-2021*, PDF, Archived from the original (PDF) on 25 April 2021, Retrieved 6 March 2021, **april** 2021. **url:** https://web.archive.org/web/20210425173704/https://www.isro.gov.in/sites/default/files/anual_report_2020-2021_english.pdf.
- [18] *Navic and gagan system updates*, PDF, Retrieved 1 June 2023, **june** 2023. **url:** <https://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2022/ICG16/05.pdf>.
- [19] *Navic (irnss) standard positioning service performance report oct-dec 2021*, PDF, Retrieved 1 June 2023, IRNSS 1E is not available for performance evaluation since August 04, 2021, **december** 2021. **url:** https://www.isro.gov.in/media_isro/pdf/Missions/pe_report_q4_2021.pdf.