

Định vị GPS vi sai qua Internet

Y. GAO VÀ Z. LIU

Khoa Kỹ thuật địa tin học Đại học
Calgary 2500 University
Drive NW Calgary, Alberta, Canada T2N 1N4 Email:
gao@geomatics.ucalgary.ca

trường

Một hệ thống định vị GPS vi sai có thể cung cấp các giải pháp vị trí chính xác hơn so với một hệ thống độc lập thông qua việc áp dụng các hiệu chỉnh được tính toán tại một trạm tham chiếu hoặc một mạng lưới các trạm tham chiếu có tọa độ được khảo sát đã biết. Hiệu chỉnh sai lệch thường được truyền tới người dùng qua radio, đèn hiệu hoặc vệ tinh liên lạc. Trong bài báo này, khái niệm định vị GPS vi sai dựa trên Internet không dây đã được mô tả. Để đánh giá tính khả thi của phương pháp được đề xuất, một hệ thống nguyên mẫu đã được phát triển và thử nghiệm tại hiện trường bằng cách sử dụng truy cập Internet không dây dựa trên CDPD. Kết quả thực địa đã cho thấy độ chính xác định vị thỏa đáng và độ trễ dữ liệu khác biệt qua Internet. Ngoài những lợi thế của Internet đối với truyền thông không dây, việc sử dụng Internet để phát triển các phương pháp định vị mới cũng đã được thảo luận.

1. Giới thiệu

Các phép đo được thực hiện từ Hệ thống Định vị Toàn cầu (GPS) bị ảnh hưởng bởi một số nguồn lỗi bao gồm lỗi quỹ đạo vệ tinh, lỗi đồng hồ vệ tinh và hiệu ứng khí quyển. Do đó, định vị GPS tự động chịu tác động của tất cả các nguồn lỗi trên và chỉ có thể cung cấp độ chính xác định vị ở mức khoảng 15 mét. Độ chính xác định vị độc lập này có thể bị giảm xuống mức 100 mét trước khi Tính khả dụng chọn lọc (SA) bị tắt vào tháng 5 năm 2000. Để đạt được độ chính xác định vị cao hơn ở mức vài mét đến vài cm, GPS vi sai (DGPS) kỹ thuật phải được áp dụng.

Mục tiêu chính của DGPS là hủy/giảm các nguồn lỗi trong các phép đo GPS do dữ liệu quỹ đạo và đồng hồ vệ tinh GPS không chính xác, hiệu ứng bầu khí quyển cũng như các sai lệch liên quan đến vệ tinh GPS và máy thu. Tuy nhiên, khi sử dụng phương pháp DGPS, phải sử dụng ít nhất hai máy thu GPS với một máy đóng vai trò là trạm máy thu tham chiếu với tọa độ đã biết chính xác và máy còn lại là trạm xe tự hành cần định vị. Trạm tham chiếu được sử dụng để tạo ra các hiệu chỉnh vi sai được trạm tự hành áp dụng để hủy/giảm các nguồn lỗi nêu trên và sau đó để rút ra giải pháp vị trí được cải thiện. Do yêu cầu của một trạm tham chiếu, phương pháp này chỉ hiệu quả đối với các khoảng cách giữa trạm tham chiếu-rover ngắn vì các nguồn lỗi giữa trạm tham chiếu và trạm tự hành sẽ ít tương quan về mặt không gian hơn khi khoảng cách tách biệt của chúng tăng lên. Do đó, định vị DGPS sử dụng một trạm tham chiếu duy nhất thường được gọi là DGPS cục bộ (LADGPS).

Để tăng phạm vi hiệu quả của các hiệu chỉnh vi sai được tạo ra, nhiều trạm thu tham chiếu cố định thường được sử dụng để tạo thành một mạng tham chiếu. Tùy thuộc vào kích thước của mạng, có hai loại mạng tham chiếu khác nhau, đó là: a) Mạng DGPS diện rộng (WADGPS); b) Mạng DGPS khu vực (RADGPS).

Mạng WADGPS tập trung vào việc cung cấp các hiệu chỉnh khác biệt từ phạm vi toàn lục địa đến phạm vi toàn cầu trong khi mạng RADGPS ở phạm vi khu vực (Gao et al., 1997). Một số mạng WADGPS và RADGPS đã được triển khai cho đến nay và có nhiều mạng hiện đang được phát triển. Hệ thống tăng cường diện rộng (WAAS) của Hoa Kỳ là một ví dụ điển hình về mạng WADGPS có khoảng cách giữa các trạm tham chiếu thường là vài nghìn km

GAO, Y. VÀ LIU, Z.

xa nhau (Loh, 1995). Các hiệu chỉnh chênh lệch WAAS hiện khả dụng với độ chính xác vị trí có thể đạt được ở cấp độ mét mặc dù mạng vẫn chưa hoạt động đầy đủ. Mặt khác, mạng RADGPS bao gồm nhiều trạm tham chiếu được phân tách trong phạm vi vài trăm km và mạng SWEPOS của Thụy Điển là một ví dụ điển hình của các mạng như vậy (Hedling, et al., 1996).

Đối với các ứng dụng định vị thời gian thực, cho dù bạn có thể sử dụng loại mạng DGPS nào, một liên kết dữ liệu liên tục phải được thiết lập giữa mạng tham chiếu và các trạm tự động để người dùng DGPS nhận được các hiệu chỉnh chênh lệch được tạo từ mạng tham chiếu. Đối với định vị vi phân khu vực và cục bộ, radio và hệ thống thông tin liên lạc cục bộ thường được sử dụng trong khi đối với định vị vi sai diện rộng, thông tin liên lạc vệ tinh là phù hợp mặc dù sử dụng nó đắt hơn nhiều. Với sự tiến bộ của công nghệ Internet cùng với sự mở rộng nhanh chóng về phạm vi phủ sóng và khả năng tiếp cận, người ta đã chứng minh rộng rãi rằng Internet có thể trở thành một giải pháp thay thế hiệu quả và tiết kiệm chi phí cho nhiều ứng dụng bao gồm định vị vệ tinh vi sai mà chúng ta sẽ thảo luận trong bài viết này.

Bài viết này mô tả các kết quả nghiên cứu gần đây trong việc sử dụng Internet như một liên kết truyền thông cho các ứng dụng định vị và dẫn đường vi sai. Bài báo sẽ chỉ ra rằng các hệ thống định vị vi sai dựa trên Internet có lợi thế hơn khi so sánh với các hệ thống DGPS hiện đang được sử dụng. Công nghệ này sẽ không chỉ cải thiện tính linh hoạt trong việc sử dụng công nghệ DGPS mà còn mở ra cánh cửa cho nhiều ứng dụng GPS sáng tạo.

Bài báo được tổ chức như sau. Đầu tiên, bài báo sẽ cung cấp một mô tả ngắn gọn về Internet và các đặc điểm của nó với tư cách là một công cụ truyền thông. Sau đó, khái niệm về định vị vệ tinh vi sai sử dụng Internet và hệ thống nguyên mẫu Động học thời gian thực (RTK) dựa trên Internet sẽ được mô tả. Sau đó, cách tiếp cận từ di động đến di động dựa trên Internet cũng được mô tả như một giải pháp khả thi cho việc định vị DGPS bằng cách sử dụng nhiều trạm tham chiếu chuyển động (Luo, 2001). Kết quả thử nghiệm hiện trường cuối cùng được cung cấp để đánh giá độ chính xác định vị vi sai có thể đạt được của hệ thống nguyên mẫu và tính khả thi của nó trong môi trường vận hành.

2 Ưu điểm của Internet không dây

Internet được đặc trưng bởi chi phí thấp, khả năng truy cập dễ dàng, tính sẵn có, tính linh hoạt và khả năng mở rộng. Hiện tại chi phí để kết nối Internet là rất hợp lý và chắc chắn rằng chi phí này sẽ còn giảm hơn nữa trong tương lai. Trong vài năm qua, Internet đã được phát triển thành một trong những phương thức truyền thông quan trọng nhất. Trên thực tế, nhiều ứng dụng ngày càng được yêu cầu dựa trên Internet do khả năng truy cập nhanh và toàn cầu của nó. Internet cũng có thể mang lại nhiều lợi thế so với phương pháp truyền dữ liệu vô tuyến thông thường khi nó được sử dụng để định vị vệ tinh vi sai. Một số trong số họ được mô tả trong những điều sau đây.

Đầu tiên, Internet không bị giới hạn bởi phạm vi truyền dữ liệu hiệu quả, điều này ngụ ý rằng trạm tự động có thể cách xa trạm cơ sở bao xa tùy theo nhu cầu của người dùng. Trên thực tế, về mặt lý thuyết, Internet có thể đến bất kỳ nơi nào trên thế giới và phạm vi liên lạc của nó không bị hạn chế bởi các yếu tố như yêu cầu về đường chân trời.

Thứ hai, Internet có thể được truy cập ở bất kỳ nơi nào có kết nối Internet, kể cả trong văn phòng hoặc tại hiện trường. Điều này cũng làm cho việc vận hành nhiều trang web tham khảo bổ sung cho mạng WADGPS lớn có giá cả phải chăng để cải thiện khả năng dự phòng của mạng. Sau đó, dự phòng được cải thiện có thể cung cấp dịch vụ liên tục ở mức cao hơn ngay cả khi một số trạm tham chiếu ngừng hoạt động đột ngột. Vì Internet hiện đang mở rộng hàng ngày nên khả năng truy cập của nó sẽ được tăng cường hơn nữa trong tương lai với chi phí giảm.

Ngoài ra, cách tiếp cận dựa trên Internet đặc biệt thuận lợi cho việc định vị khác biệt ở các khu vực có nhiều tín hiệu nghiêm trọng như khu vực đô thị và cho các ứng dụng có số lượng lớn người dùng xe tự hành như hệ thống quản lý tài sản di động và đội xe. Internet cũng được coi là tiêu chuẩn truyền thông để phát triển một lĩnh vực ứng dụng đang nổi lên nhanh chóng được gọi là dịch vụ dựa trên vị trí như thanh toán và quảng cáo nhận biết vị trí.

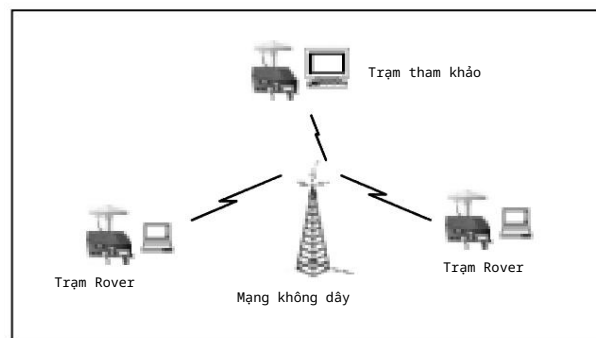
Định vị GPS vi sai qua Internet

3 Hệ thống nguyên mẫu DGPS dựa trên Internet Việc

triển khai mạng WADGPS dựa trên Internet đã được mô tả trong Muellerschon và cộng sự (2001) trong đó trọng tâm được đặt vào việc phát triển mạng sử dụng Internet để truyền dữ liệu trang web tham chiếu đến trung tâm xử lý. Trong phần này, chúng tôi tập trung vào việc phát triển một hệ thống nguyên mẫu định vị vi sai dựa trên Internet, nơi người sử dụng máy tự hành truy cập dữ liệu hiệu chỉnh vi sai qua Internet.

Hệ thống nguyên mẫu bao gồm một trạm tham chiếu và nhiều trạm tự hành. Cấu hình hệ thống được mô tả trong Hình 1. Trạm tham chiếu bao gồm một bộ thu điều hướng có khả năng tạo dữ liệu hiệu chỉnh vi sai RTCM và một máy tính chủ. Máy chủ tại trạm tham chiếu có thể được kết nối trực tiếp với Internet thông qua mạng cục bộ hoặc kết nối không dây với Internet thông qua modem không dây. Mặt khác, mỗi trạm rover bao gồm một máy thu định vị rover, một máy tính PC khách và một modem không dây.

Máy tính PC khách liên kết không dây với Internet bằng cách sử dụng modem không dây được cài đặt thông qua mạng truyền thông để nhận dữ liệu khác biệt từ trạm tham chiếu.



Hình 1: Định vị DGPS dựa trên Internet

Thời gian truyền để người dùng truy xuất dữ liệu hiệu chỉnh chênh lệch từ trạm thu tham chiếu xác định độ trễ dữ liệu chênh lệch cho định vị. Độ trễ dữ liệu dưới vài giây thường được yêu cầu đối với hầu hết các ứng dụng DGPS. Để giảm thiểu độ trễ truyền dữ liệu và ảnh hưởng tiếp theo của nó đối với độ chính xác định vị của DGPS, nên chọn cẩn thận các giao thức Internet để xác định cách dữ liệu được truyền qua Internet. Internet hiện đang sử dụng bộ Giao thức điều khiển truyền/Giao thức Internet (TCP/IP) để kết nối tất cả các mạng, tổ chức và người dùng trên toàn thế giới. Giao thức điều khiển truyền tải (TCP) và Giao thức gói dữ liệu người dùng (UDP) là hai giao thức vận chuyển quan trọng đã được sử dụng rộng rãi cho các ứng dụng Internet.

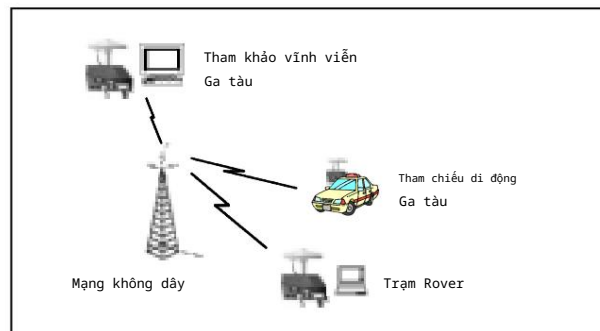
TCP cung cấp dịch vụ phân phối luồng và kết nối ảo cho các ứng dụng thông qua việc sử dụng xác nhận theo trình tự với việc truyền lại các gói khi cần thiết trong khi UDP cung cấp dịch vụ gửi thông báo đơn giản cho các dịch vụ hướng giao dịch. TCP có thể cung cấp khả năng truyền dữ liệu có độ tin cậy cao do phải mất thêm thời gian để đảm bảo độ tin cậy, kiểm soát luồng và bảo trì kết nối. Như một cái giá phải trả cho độ tin cậy vượt trội, giao thức TCP có thể không phù hợp với các ứng dụng thời gian thực có độ chính xác cao như định vị Động học Thời gian thực (RTK) vì nó yêu cầu xác nhận dữ liệu đến và truyền lại bất kỳ dữ liệu bị mất nào [Hada và cộng sự, 1999]. So với TCP, UDP có thể cung cấp khả năng truyền dữ liệu nhanh hơn mặc dù độ tin cậy không cao bằng TCP với khả năng mất dữ liệu. Vì việc truyền dữ liệu vi sai nhanh là điều cần thiết cho sự thành công của hệ thống định vị thời gian thực để lấy được vị trí chính xác, giao thức UDP đã được sử dụng trong nghiên cứu này để kiểm tra hiệu suất của hệ thống DGPS dựa trên Internet đã phát triển.

4 Internet Vượt ra ngoài Truyền thông Không dây

Mặc dù trọng tâm trước đây là sử dụng Internet như một công cụ truyền thông cho các ứng dụng định vị vệ tinh vi sai. Tuy nhiên, những lợi thế của Internet không dừng lại ở đó

mà có thể giúp tạo ra các phương pháp mới để sử dụng các hệ thống định vị vệ tinh. Sau đây, khái niệm định vị vệ tinh vi sai giữa di động với di động được mô tả làm ví dụ. Không còn nghi ngờ gì nữa, thông tin vị trí có độ chính xác cao sẽ không còn là một mặt hàng xa xỉ mà là cơ bản của cuộc sống hàng ngày trong tương lai gần.

Mặc dù việc thiết lập mạng tham chiếu gồm nhiều trạm tham chiếu có thể mở rộng phạm vi hiệu chỉnh vi sai đến các khu vực rộng lớn hơn, nhưng khoảng cách giữa người dùng đến bất kỳ trạm tham chiếu nào thường vẫn còn quá dài để định vị chính xác cao. Điều này đặc biệt đúng đối với các ứng dụng RTK. Việc triển khai thường xuyên các trạm tham chiếu có mật độ cao dường như quá tốn kém và khó thực hiện. Để giải quyết vấn đề mà không cần thêm các trạm tham chiếu cố định mới, các trạm tham chiếu di động có thể được sử dụng làm cầu nối để liên kết người sử dụng rover với các trạm tham chiếu cố định. Khái niệm này được mô tả trong Hình 2.



Hình 2: Khái niệm Trạm tham chiếu di động

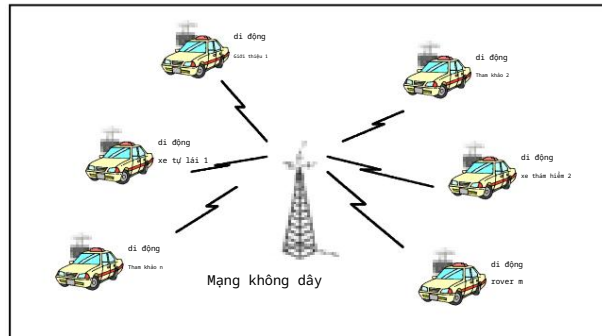
Từ Hình 2, chúng ta thấy rằng giải pháp di động đến di động được đề xuất sử dụng một trạm tham chiếu di động mà khoảng cách giữa trạm cố định hoặc người sử dụng rover nhỏ hơn khoảng cách giữa người sử dụng rover và trạm tham chiếu cố định. Vì độ dài đường cơ sở giữa trạm tham chiếu cố định và trạm tham chiếu di động ngắn hơn nên vị trí của trạm tham chiếu di động có thể được xác định chính xác bằng công nghệ RTK khi độ phân giải nhập nhằng số nguyên trở nên khả thi. Sự khác biệt giữa trạm tham chiếu di động và trạm tham chiếu cố định là trạm tham chiếu di động thường được gắn trên xe nên trạm tham chiếu di động phải truy cập Internet không dây. Khi vị trí chính xác của trạm tham chiếu di động được biết trong thời gian thực, nó có thể được áp dụng để phục vụ như một trạm tham chiếu cho người sử dụng máy tự hành. Vì độ dài đường cơ sở giữa trạm tham chiếu di động và người sử dụng rover ngắn hơn khoảng cách khi người sử dụng rover khác biệt trực tiếp đối với trạm tham chiếu cố định, nó cho phép người sử dụng rover tiến hành định vị RTK với độ chính xác cao vì độ phân giải nhập nhằng số nguyên trở thành khả thi ngay bây giờ.

Khái niệm trên có thể được mở rộng cho nhiều tình huống nền tảng di động tổng quát hơn, nơi định vị RTK chính xác được thực hiện đối với nhiều trạm tham chiếu di động hoặc di động (Luo, 2001). Vì mỗi người dùng di động cần truy cập hiệu chỉnh vi sai từ nhiều trạm tham chiếu di động, băng thông hẹp, sử dụng nhiều tần số cũ ng như nhiều tín hiệu sẽ khiến phương pháp này hoàn toàn không thực tế nếu sử dụng radio thông thường để truyền dữ liệu vi sai. Về vấn đề này, Internet cung cấp một giải pháp thay thế tuyệt vời không có rào cản về băng thông và các mối lo ngại về tần số/nhiều. Khái niệm này được mô tả trong Hình 3.

5 Kiểm tra hiện trường và phân tích dữ liệu

Hệ thống nguyên mẫu dựa trên Internet được mô tả trong Phần 3 đã được thử nghiệm tại hiện trường để đánh giá hiệu suất định vị và tính khả thi của nó trong các môi trường hoạt động. Phân tích hiệu suất được thực hiện ở chế độ động học sử dụng công nghệ Động học thời gian thực (RTK) dựa trên pha.

Định vị GPS vi sai qua Internet



Hình 3: Khái niệm về Hệ thống RTK Mobile-to-Mobile

Thiết bị không dây được sử dụng trong thử nghiệm bao gồm Ethernet NIC liên kết trạm tham chiếu với Internet và Thẻ PC không dây Merlin từ Novatel Wireless Inc để cho phép người dùng rover truy cập Internet không dây qua mạng Dữ liệu gói kỹ thuật số di động (CDPD). Tại thành phố Calgary, dịch vụ CDPD được cung cấp bởi TelusTM Corporation với tốc độ hoạt động là 19,2 Kb/giây, đủ cao để truyền bản tin RTCM trong định vị RTK.

Một thử nghiệm trường động học đã được tiến hành ở Calgary vào ngày 11 tháng 2 năm 2001. Hai máy thu tần số đơn Ashtech GPS+GLONASS được sử dụng làm máy thu tham chiếu và máy tự hành tương ứng. Ăng-ten cho máy thu tham chiếu được thiết lập trên mái của Tòa nhà Kỹ thuật tại Đại học Calgary với tọa độ đã biết chính xác (Hình 4). Trong thời gian thử nghiệm, máy thu tham chiếu được kết nối với máy tính của máy chủ, từ đó dữ liệu khác biệt được thực hiện trực tuyến qua Internet. Bộ thu của rover được lắp đặt trong một chiếc xe và ăng-ten thu được lắp đặt trên nóc xe (Hình 5). Được kết nối với máy tính xách tay, bộ thu rover truy xuất dữ liệu chênh lệch tham chiếu từ modem CDPD được cài đặt trên máy tính xách tay.



Hình 4: Trạm thu tham chiếu



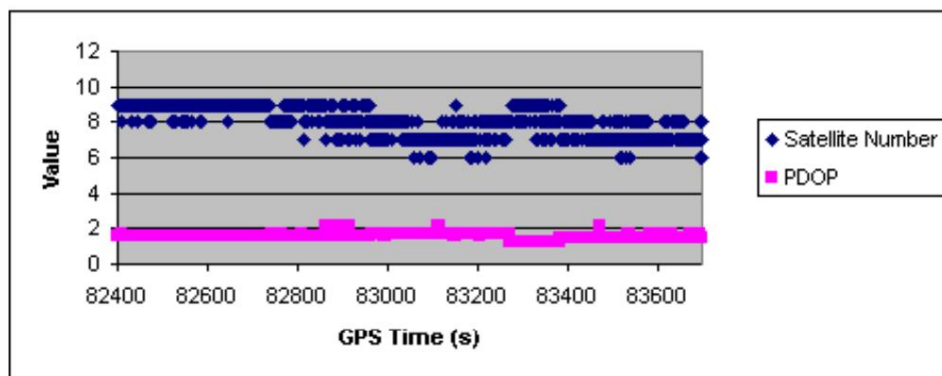
Hình 5: Trạm xe Rover

Trong quá trình thử nghiệm tại hiện trường, chiếc xe đã được lái ra khỏi khuôn viên trường và chiều dài đường cơ sở tối đa giữa máy thu tham chiếu và máy thu của xe tự hành lên tới khoảng 12 km. Tốc độ dữ liệu 1 Hz đã được sử dụng cho thử nghiệm động học. Ngoài các đầu ra vị trí RTK thời gian thực, các phép đo thô từ cả máy thu tham chiếu và máy thám hiểm cũng được lưu lại để xử lý sau.

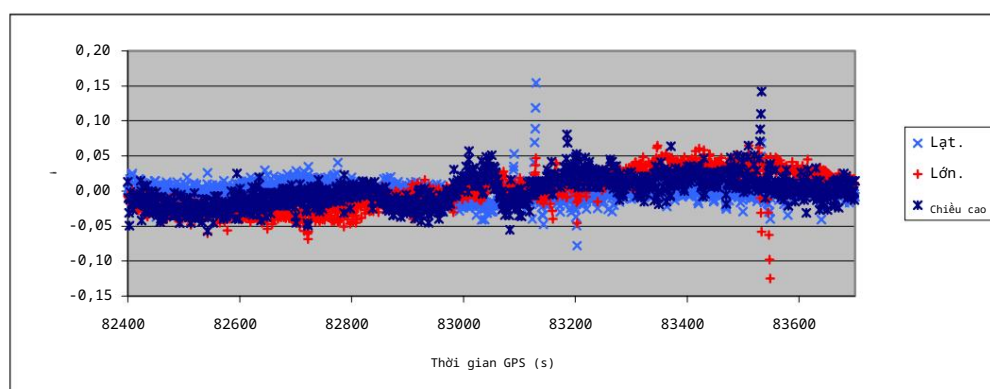
Để đánh giá độ chính xác định vị động học, phải thiết lập quỹ đạo tham chiếu có độ chính xác cao của phương tiện. Trong cuộc điều tra này, các phép đo thô được thu thập trong quá trình kiểm tra động học đã được xử lý hậu kỳ bằng cách sử dụng gói phần mềm thương mại và kết quả vị trí sau đó được sử dụng làm tài liệu tham khảo. So với kết quả vị trí tham chiếu, sau đó có thể đánh giá độ chính xác của đầu ra vị trí RTK thời gian thực.

Trong Hình 6 là các giá trị PDOP và số lượng vệ tinh có thể nhìn thấy đối với thử nghiệm động học, trong đó giá trị PDOP là khoảng 2,0 trong khi số lượng vệ tinh có thể nhìn thấy là từ 7 đến 9. Trong Hình 7 là chuỗi thời gian của vị trí sự khác biệt giữa tham chiếu và kết quả vị trí thời gian thực. Kết quả đã chỉ ra rằng độ chính xác định vị động học ở mức vài cm cho tất cả các thành phần tọa độ.

Độ trễ dữ liệu chênh lệch trung bình qua Internet đối với thử nghiệm động học là khoảng 1 giây trong khi giá trị độ trễ tối thiểu và tối đa lần lượt là 0,5 giây và 3,3 giây. Các điểm có độ trễ lớn là dấu hiệu cho thấy lưu lượng truy cập lớn giữa tài liệu tham khảo và máy thu của người điều khiển qua Internet.



Hình 6: PDOP và Số lượng vệ tinh có thể nhìn thấy



Hình 7: Độ chính xác định vị RTK dựa trên Internet động học

6. Kết luận

Khái niệm định vị GPS vi sai sử dụng Internet đã được mô tả trong bài viết này. Ngoài các lợi thế của Internet cho truyền thông không dây, việc sử dụng Internet để phát triển các ứng dụng sáng tạo sử dụng hệ thống định vị vệ tinh cũng đã được khám phá bao gồm cả

Định vị GPS vi sai qua Internet

giới thiệu một giải pháp di động đến di động mới cho nhiều định vị vi sai tham chiếu di chuyển và điều hướng.

Để xác thực khái niệm này, một hệ thống nguyên mẫu đã được phát triển và thử nghiệm tại hiện trường. Kết quả thử nghiệm đã chứng minh rằng độ trễ truyền dữ liệu qua Internet thường ở mức một giây trong khi độ chính xác định vị đạt được ở mức centimet khi sử dụng công nghệ Động học Thời gian Thực (RTK). Do những tiến bộ nhanh chóng của công nghệ Internet và khả năng truy cập ngày càng tăng của nó trong tương lai gần, Internet sẽ giúp phát triển các hệ thống và thiết bị định vị mới để hỗ trợ nhiều ứng dụng bao gồm các dịch vụ dựa trên vị trí mới nổi.

Nhìn nhận

Nghiên cứu này được hỗ trợ một phần bởi Chương trình Geomatics cho Quyết định Sáng suốt (GEOIDE) và chương trình Điều phối Nghiên cứu Đại học về Sức mạnh Tổng hợp và Hiệu quả (COURSE).

Người giới thiệu

Gao, Y., Li, ZF và McLellan, JF, 1997. GPS vi sai khu vực dựa trên pha sóng mang cho định vị và điều hướng ở mức độ decimet, Kỷ yếu của ION GPS-97, Cuộc họp kỹ thuật quốc tế lần thứ 10 của Ban vệ tinh thuộc Viện nghiên cứu Điều hướng, Thành phố Kansas, Missouri, ngày 16-19 tháng 9 năm 1997, trang 1305-1313.

Hada, H., Sunahara, H., Uehara, K., Murai, J., Petrovski, I., Torimoto, H. và Kawaguchi S., 1999. Dịch vụ chỉnh sửa sai lệch và RTK mới cho người dùng di động, dựa trên Internet, Kỷ yếu của ION GPS'1999, Nashville, Tennessee, ngày 14-17 tháng 9 năm 1999.

Hedling, G. và Jonsson, B., 1996. Những phát triển mới trong Mạng SWEPOS, Kỷ yếu của ION GPS-96, Thành phố Kansas, Missouri, 17-20 tháng 9 năm 1996, trang 1803-1808.

Loh, R., 1995. Hàng không liên mạch: Hệ thống tăng cường diện rộng của FAA, Thế giới GPS, 6(4): 20-30.

Luo, N., 2001. Định vị tương đối chính xác của nhiều nền tảng di chuyển bằng thiết bị quan sát pha sóng mang GPS, Báo cáo UCGE số 20147, Khoa Kỹ thuật địa chất, Đại học Calgary.

Muellerschoen, R., Bar-Sever, Y., Bertiger W. và Stowers, D., (2001). DGPS toàn cầu của NASA cho Người dùng có độ chính xác cao". Thế giới GPS, 12(1): 14-20.