

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

Bộ môn Trắc địa phổ thông và Sai số



BÁO CÁO HỌC THUẬT

**GIỚI THIỆU HỆ THỐNG TÍCH HỢP GNSS RTK VÀ INS CHO DẪN ĐƯỜNG
ĐỘ CHÍNH XÁC CAO**

Hà Nội , 6/2021

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

Bộ môn Trắc địa phổ thông và Sai số



BÁO CÁO HỌC THUẬT

**GIỚI THIỆU HỆ THỐNG TÍCH HỢP GNSS RTK VÀ INS CHO DẪN ĐƯỜNG
ĐỘ CHÍNH XÁC CAO**

Báo cáo viên:

TS Dương Thành Trung

Hà Nội, 6/2021

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU CHUNG VỀ GNSS và hệ thống tích hợp INS	2
CHƯƠNG 2: THIẾT KẾ HỆ THỐNG TÍCH HỢP GNSS RTK VÀ INS	7
2.1 Thiết kế phần cứng.....	7
2.2. Thuật toán tích hợp IMU và GNSS.....	10
2.3 Mô hình hệ thống	10
2.4 Mô hình trị đo trị đo GNSS:	10
2.5 Tính toán với EKF	11
2.5 Phần mềm xử lý và hiển thị	12
CHƯƠNG 3: THỰC NGHIỆM.....	13
KẾT LUẬN	16
TÀI LIỆU THAM KHẢO	16

MỞ ĐẦU

Hệ thống tích hợp giữa hệ thống định vị quán tính (INS) và hệ thống định vị toàn cầu (GPS) ngày nay được sử dụng rộng rãi cho các ứng dụng định vị, dẫn đường và các ứng dụng Trắc địa-Bản đồ áp dụng công nghệ mới. Trong một hệ thống tích hợp INS/GPS, INS sẽ cung cấp thông tin về vị trí và phương hướng (hay tư thế) của hệ thống mang một cách liên tục ở tần số cao (50 đến 200 Hz). Độ chính xác lời giải của hệ thống INS về cơ bản là không phụ thuộc vào môi trường đo nhưng sai số của lời giải sẽ tích lũy và tăng nhanh theo thời gian. Ở mặt khác, GPS cung cấp thông tin về vị trí (và vận tốc) ở tần số thấp hơn (1 đến 5 Hz) nhưng độ chính xác không phụ thuộc vào thời gian vận hành mà phụ thuộc vào môi trường đo đạc. Một hệ thống tích hợp INS/GPS có thể khắc phục được những nhược điểm của từng hệ thống INS hay GPS vận hành ở chế độ độc lập để cung cấp một cách liên tục các tham số về vị trí và phương hướng của hệ thống mang.

Ở các nước phát triển, các hệ thống INS/GPS đã được nghiên cứu và phát triển từ khá sớm và được áp dụng trong đa dạng các lĩnh vực. Tuy vậy vấn đề nằm ở chỗ giá thành cho một hệ thống INS/GPS cùng với phần mềm chuyên dụng cho các công tác Trắc địa-Bản đồ vẫn còn khá cao trong điều kiện ở Việt Nam, do vậy tính phổ biến và những nghiên cứu về hệ thống tích hợp INS/GPS ở nước ta vẫn còn nhiều hạn chế.

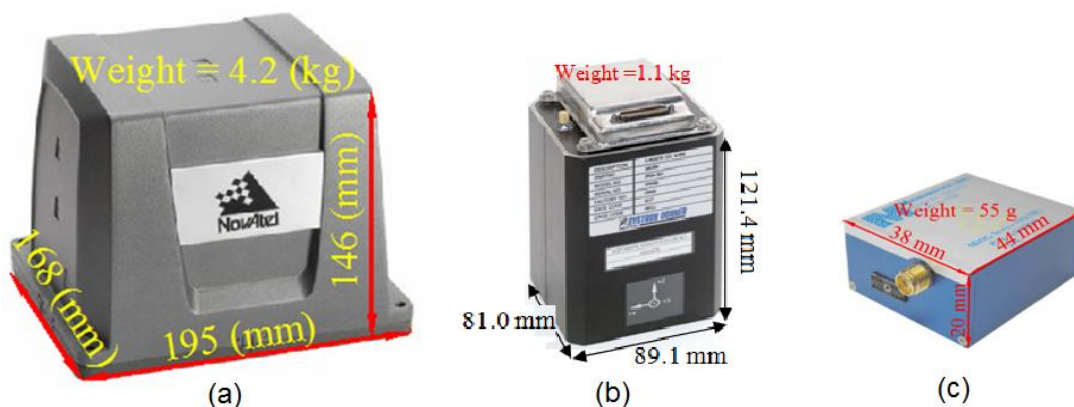
Ở Việt Nam, những nghiên cứu và thử nghiệm về hệ thống INS/GPS chủ yếu hướng đến những ứng dụng về dẫn đường cho phương tiện giao thông. Chưa có những phân tích đầy đủ về khả năng ứng dụng của hệ thống INS/GPS trong công tác Trắc địa-Bản đồ. Với yêu cầu độ chính xác cao cho các ứng dụng trong trắc địa-Bản đồ, chúng tôi đề xuất giải pháp phần cứng và các mô đun phần mềm xử lý số liệu tích hợp GNSS RTK và INS, với mục tiêu cung cấp giải pháp định vị một cách liên tục với độ chính xác cỡ cm.

CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU CHUNG VỀ GNSS và hệ thống tích hợp INS

1.1. Tính hình nghiên cứu trong và ngoài nước

1.1.1 Trên thế giới

Mặc dù đã được nghiên cứu và phát triển từ khá sớm (1960) nhưng các hệ thống INS trước đây thường bị hạn chế phổ biến trong các ứng dụng thương mại với hai lý do chính là nó thường liên quan đến các ứng dụng trong lĩnh vực quân sự và giá thành cho một hệ thống thường khá cao (hàng trăm ngàn đô la Mỹ/ bộ) [21]. Ưu điểm chính của các hệ thống INS là nó vận hành một cách độc lập để cung cấp các thông tin định vị, định hướng ở tần số đầu ra cao (50-200 Hz). Trong những năm gần đây, nhờ sự phát triển của công nghệ vi điện tử, các hệ thống INS sử dụng cảm biến quán tính vi điện tử (MEMS IMU) với kích thước nhỏ, nhẹ, giá thành thấp (vài trăm đến vài ngàn đô la Mỹ) đang là xu hướng khai thác sử dụng trong các hệ thống ứng dụng dân sự. Tuy vậy nhược điểm chính của các hệ thống INS sử dụng MEMS IMU là sai số của nó tăng rất nhanh theo thời gian do ảnh hưởng của các nguồn sai số hệ thống và nhiễu của MEMS IMU [14]. Ở mặt khác, ngay từ khi được xây dựng và được thương mại hóa một phần cho mục đích dân sự, hệ thống GPS đã được nghiên cứu và sử dụng một cách rộng rãi cho đa dạng các mục đích như định vị, dẫn đường và đo đạc bản đồ. Ưu điểm chính của GPS là nó có thể cung cấp thông tin về vị trí với độ chính xác ổn định (cỡ mét với định vị điểm đơn và cỡ cm với định vị vi phân) ở mọi thời điểm, mọi nơi trên bề mặt trái đất trong môi trường thông thoáng. Tuy nhiên GPS cũng có những nhược điểm là tần số đầu ra thấp (1 Hz), bị nhiễu hoặc mất thông tin định vị trong điều kiện môi trường bị nhiễu, khuất tín hiệu GPS như trong đường hầm, dưới mặt nước hay trong rừng rậm. Do vậy, để đảm bảo thông tin định vị, định hướng một cách tin cậy, liên tục trong mọi điều kiện môi trường cho các mục đích định vị dẫn đường và MMS, việc tích hợp giữa GPS và INS sử dụng MEMS IMU là một giải pháp hiệu quả đã và đang được nghiên cứu, ứng dụng rộng rãi trên thế giới [11]. Hình 1.1 minh họa một số hệ thống tích hợp INS/GPS thương mại.



Hình 1.1. Một số hệ thống INS/GPS thương mại: (a) Span LCI (Novatel, Canada), (b) C-MIGIT (BEI, USA), (c) MIDG (Robotics, USA)

Mặc dù về lý thuyết, một hệ thống tích hợp INS/GPS có thể cung cấp thông tin định vị, định hướng một cách liên tục với độ chính xác ổn định, vấn đề ở chỗ là trong điều kiện môi trường bị nhiễu hoặc mất tín hiệu GPS, sai số về vị trí của hệ thống sẽ tăng rất nhanh, đặc biệt là với hệ thống tích hợp sử dụng MEMS IMU giá thấp [11]. Ở khía cạnh khác, mặc dù được coi là có thể cung cấp thông tin định vị với độ chính xác ổn định, thực tế GPS cũng chịu ảnh hưởng bởi rất nhiều nguồn sai số và các nguồn sai số này gây ra những sai số trong trị đo GPS với độ lớn phụ thuộc vào môi trường đo, máy đo và phương pháp đo [42]. Do vậy xu hướng nghiên cứu chính trên thế giới hiện nay là tập trung vào các phương pháp nhằm nâng cao độ chính xác định vị, định hướng của các hệ thống INS/GPS sử dụng các cảm biến IMU và máy thu GPS giá thấp. Để đạt mục đích này, có ba cách tiếp cận chính, phổ biến trong các nghiên cứu là nâng cao độ chính xác của INS, nâng cao độ chính xác GPS và cải thiện phương pháp tích hợp INS/GPS.

Để nâng cao độ chính xác của INS, phương pháp thường được tập trung nghiên cứu là thông qua các phép kiểm nghiệm nhằm phát hiện các nguồn sai số hệ thống cũng như nhiễu gây ra bởi các cảm biến quán tính, từ đó hiệu chỉnh vào dữ liệu đầu ra của cảm biến hoặc giảm bớt sai số bằng các phương pháp xử lý số liệu thích hợp. Phương pháp kiểm nghiệm IMU có thể tham khảo tại các tài liệu [26], [27]. Nhược điểm chính của phương pháp này là nó đòi hỏi phải trang bị những thiết bị chuyên dụng trong phòng thí nghiệm để kiểm nghiệm, điều này trong một số trường hợp là không khả thi và làm tăng giá thành chung của hệ thống. Ở một hướng khác, giá trị của các loại sai số hệ thống trong IMU được ước lượng thông qua các phương pháp xử lý số liệu trong quá trình xử lý số liệu tích hợp INS/GPS [27]. Ưu điểm của phương pháp này là không yêu cầu những thiết bị và quy trình kiểm nghiệm đắt tiền. Tuy vậy nhược điểm là độ tin cậy trong ước lượng sai số không cao so với phương pháp kiểm nghiệm trong phòng thí nghiệm.

Đối với GPS, như đã đề cập ở trên, độ chính xác định vị bằng GPS phụ thuộc vào ba yếu tố chính là điều kiện môi trường, chất lượng máy thu và phương pháp định vị. Với những mục tiêu nghiên cứu chính đối với hệ thống tích hợp INS/GPS là cung cấp thông tin định vị, định hướng trong mọi điều kiện môi trường và làm giảm giá thành hệ thống, việc tập trung vào các phương pháp đo và xử lý số liệu GPS đang được ưu tiên nghiên cứu. Đối với các ứng dụng định vị dẫn đường và MMS, hai phương pháp định vị GPS phù hợp và cho độ chính xác cao thường được áp dụng là định vị đơn chính xác (Precise Point Positioning (PPP)) và định vị tương đối động (Kinematic positioning). Theo các tài liệu và nghiên cứu trong [20], [42] thì nếu các nguồn sai số được kiểm nghiệm tốt và sử dụng lịch vệ tinh chính xác, độ chính xác định vị của phương pháp PPP có thể đạt cỡ dm. Với định vị tương đối động, nếu khoảng cách từ trạm cơ sở đến máy thu di động không quá dài (<10km) và các số nguyên đa trị tương đối cạnh được xác định, độ chính

xác định vị có thể đạt đến cm [42]. Vậy nếu áp dụng các phương pháp định vị GPS này trong hệ thống tích hợp, độ chính xác định vị của hệ thống sẽ được cải thiện đáng kể so với phương pháp định vị điểm đơn (Single Point Positioning, với độ chính xác từ 1-4m).

Việc cải thiện phương pháp tích hợp INS/GPS là một cách tiếp cận khác nhằm nâng cao độ chính xác của hệ thống. Theo các tài liệu thì có 3 phương pháp tích hợp chính là phương pháp tích hợp lỏng, phương pháp tích hợp chặt và siêu chặt. Theo Chiang [11], phương pháp tích hợp lỏng có ưu điểm là đơn giản nhưng có nhược điểm là không tận dụng được các tín hiệu GPS trong trường hợp có ít hơn bốn vệ tinh GPS được quan sát. Ngược lại, tích hợp chặt và siêu chặt có thể tận dụng tốt các tín hiệu GPS trong môi trường bị nhiễu tín hiệu GPS, nhưng việc xử lý số liệu phức tạp làm cho phương pháp tích hợp chặt không được phổ biến bằng phương pháp tích hợp lỏng. Trong những trường hợp bị mất hẳn tín hiệu GPS, sai số định vị của hệ thống tích hợp tăng nhanh theo thời gian do khi đó chỉ còn lời giải định vị định hướng được cung cấp bởi INS. Để khắc phục tình trạng này, các cảm biến phụ trợ được tích hợp để nâng cao độ tin cậy của hệ thống. Martin và Alan (2011) [38] tích hợp thêm la bàn điện tử vào hệ thống phục vụ dẫn đường tích hợp cho máy bay không người lái. Niu và các tác giả (2007) [41], Kim và các tác giả (2011) [35], George và các tác giả (2011) [23] nghiên cứu và đánh giá hiệu quả của việc tích hợp thêm cảm biến vận tốc (odometer) vào hệ thống INS/GPS cho các ứng dụng dẫn đường mặt đất. Các kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng với các cảm biến phụ trợ, độ chính xác và tính ổn định của hệ thống tăng lên đáng kể.

Cùng với sự phát triển các sản phẩm đóng gói công nghệ tích hợp INS/GPS như các sản phẩm của các hãng Novatel (Canada), BEI (Mỹ), SBG (Pháp), các chương trình chuyên sâu về công nghệ tích hợp INS/GPS cũng đã được đưa vào chương trình đào tạo sau đại học tại các trường Ohio State University (Mỹ) [28], University of Calgary (Canada) [29], National Cheng Kung University (Đài Loan) [30].

1.1.2. Nghiên cứu trong nước

Ở trong nước, cùng với việc phát triển và khai thác sử dụng các hệ thống MMS, như các hệ thống Lidar hàng không, hệ thống chụp ảnh hàng không sử dụng máy bay không người lái, các hệ thống định vị, định hướng INS/GPS cũng đã được đề cập đến [1], [4]. Tuy nhiên do đã được đồng bộ cùng các thiết bị khác từ phần cứng đến phần mềm, những nghiên cứu tập trung các hệ thống INS/GPS trên các hệ thống MMS này vẫn còn rất hạn chế. Theo những hướng ứng dụng khác, một số nghiên cứu tập trung về hệ thống INS/GPS có thể được kể đến như sau:

Luu Mạnh Hà (2007) [2] nghiên cứu phương pháp kiểm nghiệm và phân tích sai số của cảm biến quán tính MEMS IMU. Trong nghiên cứu, tác giả sử dụng các thiết bị thí nghiệm để kiểm định nhằm xác định các loại sai số hệ thống cũng như mô hình nhiễu gây ra bởi MEMS IMU. Các thông số đặc trưng về độ chính xác của IMU đã được xác định

trong kết quả nghiên cứu. Theo tác giả, việc xác định các loại sai số hệ thống cũng như mô hình nhiễu là rất cần thiết để sử dụng trong quá trình xử lý số liệu tích hợp nhằm nâng cao độ chính xác của hệ thống.

Trần Đức Tân và Nguyễn Phú Thùy (2009) [5] đã nghiên cứu phát triển và đánh giá độ chính xác của hệ thống INS/GPS sử dụng cảm biến IMU và máy thu GPS giá thấp ứng dụng cho các phương tiện dẫn đường mặt đất. Kết quả thử nghiệm trong nghiên cứu chỉ ra rằng độ chính xác về vị trí của hệ thống vào khoảng từ 3-4m và sai số phương hướng vào khoảng từ 2-3⁰. Với kết quả trên, có thể thấy rằng hệ thống là phù hợp với các ứng dụng dẫn đường phổ thông. Tuy nhiên, đối với các ứng dụng trong Trắc địa-Bản đồ, sai số định vị, định hướng như trên là chưa đảm bảo độ chính xác để thành lập các loại bản đồ tỷ lệ trung bình và lớn.

Vũ Văn Ninh và nhóm tác giả 2012 [6] đã giới thiệu giải pháp tích hợp INS/GPS trong đó sử dụng cấu trúc vòng kín trong phép tích hợp. Trong cấu trúc tích hợp này, phép lọc Kalman được sử dụng để ước lượng sai số của INS dựa trên thông tin định vị của cả INS và GPS. Các sai số này sau đó được sử dụng để hiệu chỉnh vào đầu ra của INS. Từ kết quả thử nghiệm, các tác giả của nghiên cứu kết luận rằng độ chính xác của hệ thống là chấp nhận được cho các ứng dụng dẫn đường phương tiện giao thông. Tuy nhiên việc đánh giá độ chính xác chỉ dựa trên việc so sánh giữa GPS hoạt động độc lập và hệ tích hợp INS/GPS chưa phản ánh hết được hiệu quả cũng như độ tin cậy của hệ thống trong nghiên cứu.

Nguyễn Văn Thắng và nhóm tác giả (2012) [3] đề xuất phương án cải thiện độ chính xác của hệ thống tích hợp INS/GPS sử dụng thông tin tham chiếu từ bản đồ số đường giao thông (SRA). Trong nghiên cứu này, khi tín hiệu GPS bị che khuất, tọa độ điểm gần nhất với hệ thống nằm trên tuyến đường mà thiết bị đang vận hành được sử dụng để cập nhật thông tin vị trí nhằm nâng cao độ chính về vị trí cho hệ thống. Kết quả từ thí nghiệm mô phỏng của nghiên cứu chỉ ra rằng, với phương án SRA đã đề xuất, trong khoảng 100 giây không có tín hiệu GPS, sai số vị trí điểm của hệ thống có thể đạt cỡ 1m so với 40m trong trường hợp không sử dụng SRA. Hạn chế của phương pháp này là độ chính xác của hệ thống phụ thuộc vào độ chính xác của hệ thống bản đồ đường phố, mà độ chính xác của hệ thống bản đồ này là không đồng nhất mà thay đổi theo khu vực, tỷ lệ bản đồ. Hơn nữa, ở nhiều khu vực bản đồ số đường phố chưa có sẵn.

1.2. Ưu nhược điểm của hệ thống tích hợp INS/GPS

Từ các nghiên cứu kể trên, có thể thấy rằng việc tích hợp hai hệ thống INS và GPS nhằm mục đích khắc phục những hạn chế của hai hệ thống INS và GPS ở chế độ độc lập. Bảng 1 dưới đây liệt kê các ưu, nhược điểm của từng hệ thống INS, GPS và hệ tích hợp INS/GPS.

Bảng 1.1. Ưu nhược điểm của hệ thống INS, GPS và hệ tích hợp INS/GPS

Tên hệ thống	Ưu điểm	Nhược điểm
GPS	<ul style="list-style-type: none">- Độ chính xác độc lập với thời gian vận hành.- Dễ dàng vận hành và sử dụng.- Ảnh hưởng ít đối với thể trọng trường.	<ul style="list-style-type: none">- Không có hoặc nhiều thông tin về hướng xoay.- Tần số đầu ra thấp (1Hz).- Phụ thuộc vào môi trường.
INS	<ul style="list-style-type: none">- Tần số đầu ra cao (50-200Hz).- Độc lập với môi trường.	<ul style="list-style-type: none">- Sai số tích lũy theo thời gian vận hành.- Nhạy cảm với thể trọng trường.
Hệ tích hợp GPS/INS	<ul style="list-style-type: none">- Độ chính xác ổn định theo thời gian.- Thông tin hướng xoay chính xác.- Tần số đầu ra cao (50-200Hz).- Vận hành trong mọi điều kiện môi trường.	<ul style="list-style-type: none">- Vận hành và xử lý số liệu phức tạp.- Giá thành cao.

1.3. Một số ứng dụng của hệ thống INS/GPS

1.3.1. Định vị trong môi trường nhiễu, khuất tín hiệu GPS

Trong môi trường bị che khuất hoàn toàn như trong đường hầm, dưới nước, trong rừng rậm, trong phòng, v.v., GPS không thể cho ra lời giải về tọa độ, khi đó một hệ thống INS/GPS sẽ giúp cung cấp thông tin về vị trí dựa trên lời giải từ đầu ra của hệ thống INS.

1.3.2. Dẫn đường ở vận tốc cao

Đối với các phương tiện, thiết bị di chuyển ở vận tốc cao (từ hàng trăm đến hàng ngàn km/giờ), thông tin về vị trí với tần số tối đa là 1Hz của GPS là không đủ để phục vụ cho việc theo dõi và điều khiển phương tiện. Với tần số thông tin đầu ra cao (50-200 Hz) và cung cấp thông tin về phương hướng, hệ tích hợp INS/GPS gần như là bắt buộc đối với các thiết bị bay di chuyển ở vận tốc cao.

1.3.3. Ứng dụng trong đo đạc bản đồ

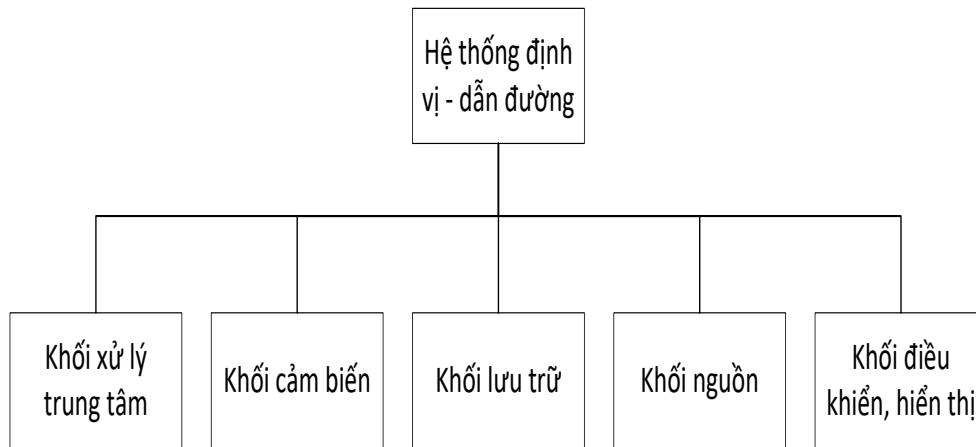
Trong các hệ thống bay chụp ảnh hàng không, hệ thống LiDar, việc xác định các tham số định hướng ngoài như tọa độ tâm chụp, các góc xoay của ảnh hoặc máy quét laser là cần thiết để xác định tọa độ của địa vật trong một hệ quy chiếu bản đồ. Với

phương pháp truyền thống, các tham số này được xác định dựa vào các điểm khống chế ảnh mặt đất thông qua việc bình sai mạng lưới tam giác không gian. Như vậy, việc xây dựng, đo đạc các điểm khống chế ảnh mặt đất thường khá tốn kém. Với việc trang bị một hệ thống INS/GPS, một khái niệm mới gọi là hệ thống tham chiếu tọa độ trực tiếp (Direct Geo-referencing) đang dần thay thế phương pháp sử dụng các điểm khống chế ảnh mặt đất để xác định một cách trực tiếp các tham số định hướng ngoài.

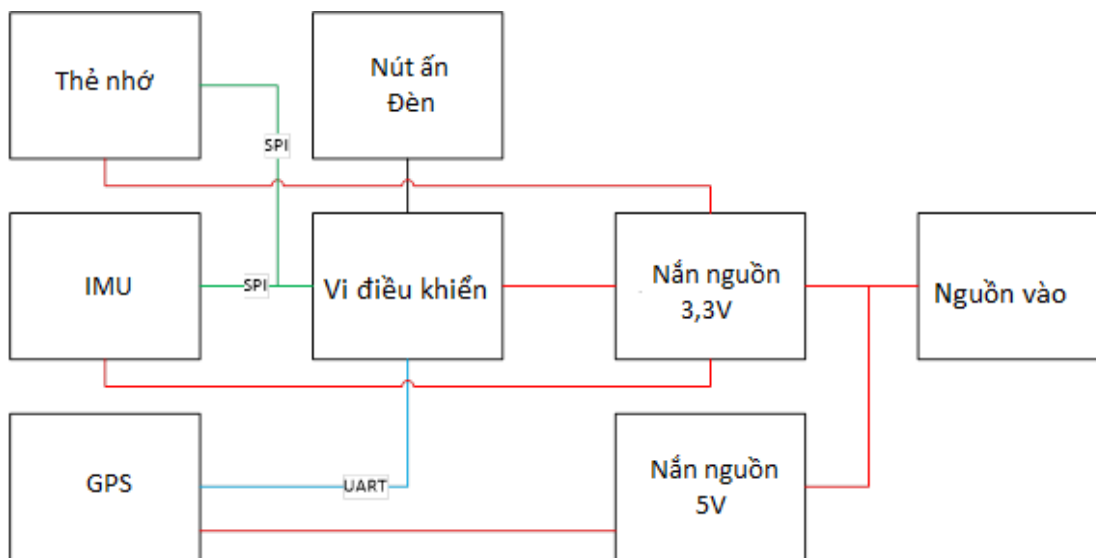
CHƯƠNG 2: THIẾT KẾ HỆ THỐNG TÍCH HỢP GNSS RTK VÀ INS

2.1 Thiết kế phần cứng

Hệ thống định vị - dẫn đường được thiết kế bao gồm 5 thành phần chính như mô tả ở (hình 2). Sơ đồ nguyên lý được mô tả ở (hình 3).



Hình 2: Các thành phần chính của hệ thống

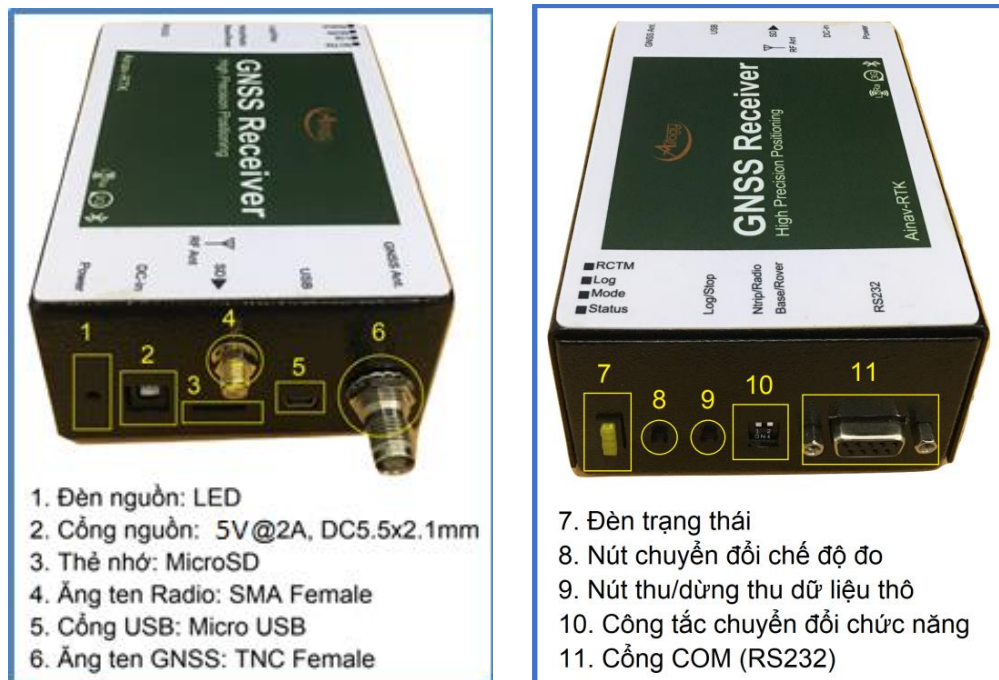


Hình 3: Sơ đồ khối của hệ thống

- Khối xử lý trung tâm: dùng vi điều khiển 32bit Cortex M3 LPC1768 của hãng NXP, có nhiệm vụ nhận lệnh điều khiển từ người dùng, nhận và xử lý dữ liệu từ cảm biến; đồng bộ thời gian và lưu trữ dữ liệu;
- Khối cảm biến: bao gồm hai thiết bị là cảm biến quán tính IMU và máy thu GNSS. Cảm biến IMU có nhiệm vụ đo đạc các thông số về gia tốc, vận tốc góc của hệ thống. Trong khi máy thu GNSS đưa ra các thông số về thời gian, vị trí và sai số của nó;
- Khối lưu trữ: sử dụng thẻ nhớ microSD để lưu dữ liệu;
- Khối nguồn để điều chỉnh nguồn vào và các IC ổn áp, đảm nhiệm chức năng cấp nguồn cho toàn bộ hoạt động của hệ thống.

- Khối điều khiển, hiển thị là một máy tính công nghiệp, có cài đặt phần mềm chuyên dụng để cài đặt các tham số vận hành cho thiết bị và để hiển thị các thông tin về vị trí, vận tốc và phương vị của phương tiện. Các thông số kỹ thuật cho hệ thống được thiết kế trong đề tài này như dưới đây.

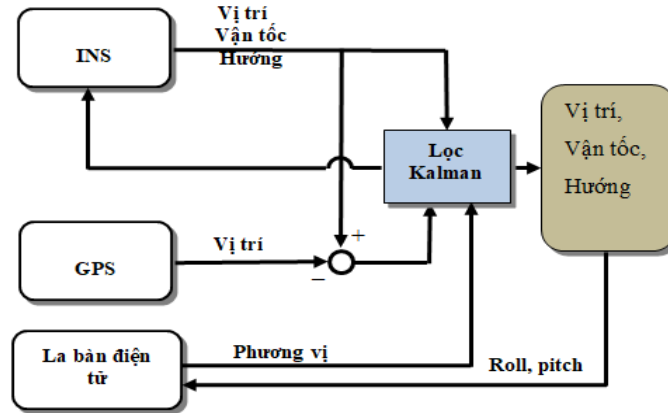
STT	Thông số	Giá trị	Đơn vị đo
1	Kích thước - Khối INS/GNSS - Khối Xử lý và hiển thị - Khối ăng ten	120 x 85 x 60 210 x 114 x 60 Ø145 x 150	mm mm mm
2	Tổng khối lượng	5	kg
3	Điện áp hoạt động	12-27	VDC
4	Công suất	< 50	W
5	Dung lượng thẻ nhớ	8	GB
6	Độ chính xác vị trí với GPS	3	m
7	Độ chính xác phương vị	3	Độ
8	Giải nhiệt hoạt động	-20 đến +70	Độ C



Hình 4. Cấu tạo của hệ thống dẫn đường tích hợp IMU/GNSS RTK

2.2. Thuật toán tích hợp IMU và GNSS.

Để xử lý số liệu tích hợp IMU và GNSS, chúng tôi sử dụng phép lọc Kalman mở rộng để cho ra ước lượng tối ưu, vừa giảm nhiễu cảm biến, vừa cung cấp thông tin định vị một cách liên tục và đầy đủ bao gồm vị trí, vận tốc và phương hướng của phương tiện. Sơ đồ tích hợp hệ thống được trình bày như hình 5.



Hình 5: Sơ nguyên lý của hệ thống

Để áp dụng phép lọc EKF, trước hết các mô hình toán học được thiết lập

2.3 Mô hình hệ thống

Mô hình hệ thống được xây dựng dựa trên mô hình sai số INS:

$$x_k = \Phi_{k-1;k} x_{k-1} + w_k \quad (3.1)$$

Trong đó: $x = [\delta r \ \delta v \ \delta \psi \ b_a \ b_g \ s_a \ s_g]^T_{21 \times 1}$ là véc tơ trạng thái, các thành phần của nó bao gồm sai số vị trí, vận tốc và hướng xoay, các sai số hệ thống của cảm biến gia tốc và con quay hồi chuyển; $\Phi_{k-1;k}$ là ma trận tính chuyển trạng thái từ thời điểm $k - 1$ đến k , w_k là nhiễu của hệ thống. Chi tiết về việc thiết lập mô hình sai số có thể tham khảo ở các tài liệu [1], [4]

2.4 Mô hình trị đo GNSS:

Trị đo GPS bao gồm vị trí và vận tốc được viết dưới dạng hàm của véc tơ trạng thái như sau: vị trí r_{GNSS} và v_{GPS} . Mô hình trị đo được thiết lập như sau:

$$\delta z = \begin{pmatrix} r_{INS} - r_{GNSS} \\ v_{INS} - v_{GNSS} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_r & 0 \\ 0 & H_v \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_r \\ \delta_v \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_r \\ v_v \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

Trong đó:

r_{INS} và r_{GNSS} là ký hiệu véc tơ vị trí được cung cấp bởi hệ thống INS và GNSS

v_{INS} và v_{GNSS} là ký hiệu véc tơ vận tốc được cung cấp bởi hệ thống INS và GNSS

$$H_r = H_v = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ là ma trận hệ số}$$

$\delta_r = (\delta x, \delta y, \delta z)^T$ và $\delta_v = (\delta vx, \delta vy, \delta vz)^T$ là véc tơ sai số về vị trí và vận tốc,

v_r, v_v là các thành phần nhiễu về vị trí và vận tốc.

2.5 Tính toán với EKF

Dựa vào mô hình toán học hệ thống trong công thức (3.1), Véc tơ trạng thái và ma trận hiệp phương sai tương ứng ở thời điểm k được ước tính dựa trên các tham số đó ở thời điểm $k-1$.

$$\hat{x}_k^- = \Phi_{k-1;k} \hat{x}_{k-1} \quad (3.5)$$

$$P_k^- = \Phi_{k-1;k} P_{k-1} \Phi_{k-1;k}^T + Q_k \quad (3.6)$$

Khi có các trị đo hỗ trợ, véc tơ trạng thái và ma trận hiệp phương sai được cập nhật dựa theo công thức sau:

$$K_k = P_k^- H_k^T \left[H_k P_k^- H_k^T + R_k \right]^{-1} \quad (3.7)$$

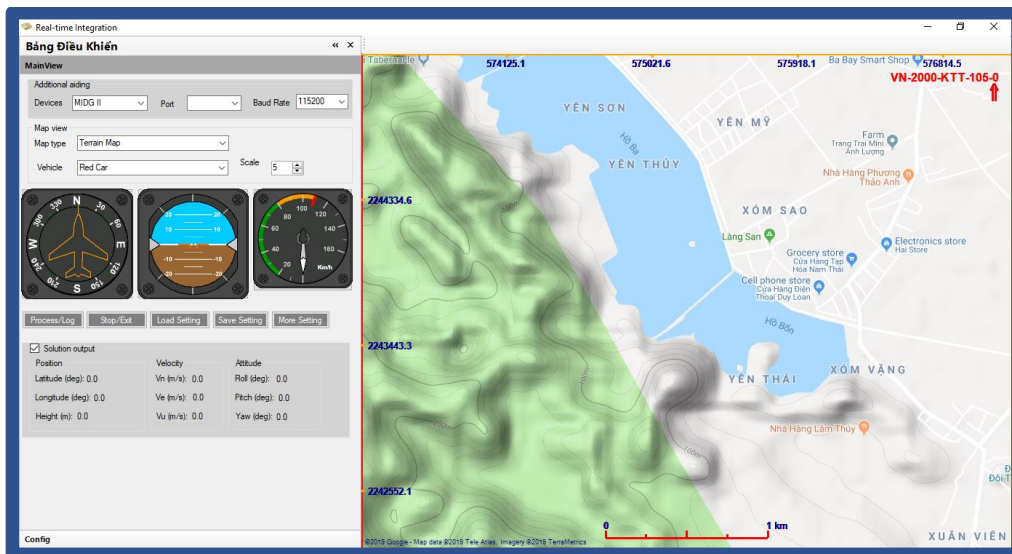
$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H \hat{x}_k^-) \quad (3.8)$$

$$P_k = P_k^- - K_k H_k P_k^- \quad (3.9)$$

Trong đó: \hat{x}_k^-, P_k^- là véc tơ trạng thái và ma trận hiệp phương sai dự đoán sai tại thời điểm k , \hat{x}_{k-1}, P_{k-1} là véc tơ trạng thái và ma trận hiệp phương sai tại thời điểm $k-1$, \hat{x}_k, P_k là véc tơ trạng thái và ma trận hiệp phương sai cập nhật tại thời điểm k , là ma trận hiệp phương sai của nhiễu hệ thống và R_k là ma trận hiệp phương sai của nhiễu trị đo.

2.6 Phần mềm xử lý và hiển thị

Để thực thi việc xử lý số liệu tích hợp, một mô đun phần mềm được lập dựa trên ngôn ngữ Visual C#. Phần mềm có khả năng thu nhận dữ liệu đầu ra của các cảm biến IMU và GPS để xử lý tức thời để cung cấp các thông tin định vị, dẫn đường. Phần mềm cũng có chức năng tải bản đồ trực tuyến và ngoại tuyến để cung cấp thông tin bản đồ một cách liên tục, trực quan. Hình 6 là giao diện của bản đồ.



Hình 6: Giao diện phần mềm xử lý số liệu tích hợp

CHƯƠNG 3: THỰC NGHIỆM

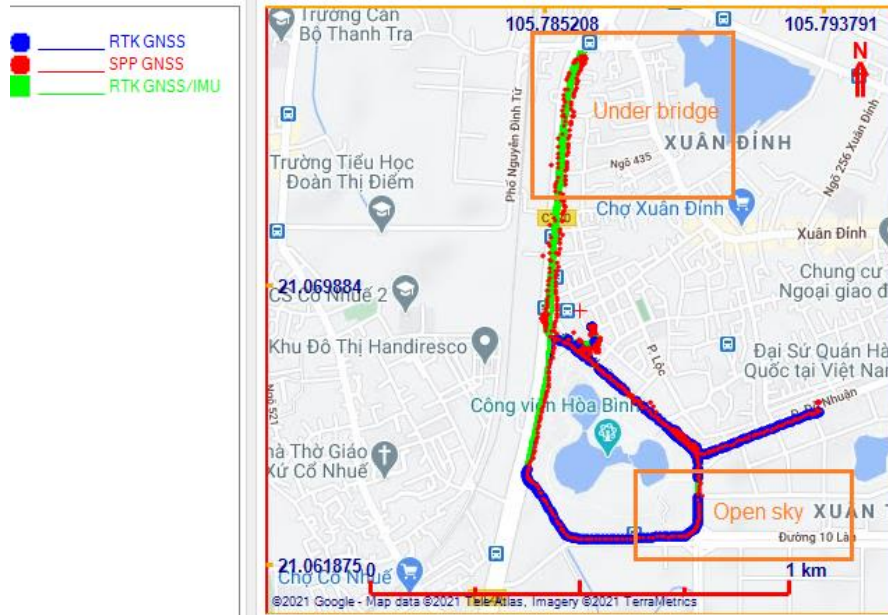
Để tiến hành thực nghiệm, chúng tôi lắp đặt hệ thống tích hợp IMU/GNSS RTK và một máy thu GPS thông thường trên cùng một phương tiện. Khu vực thử nghiệm thuộc huyện Bắc Từ Liêm, Hà Nội, hành trình thử nghiệm đi qua các điều kiện môi trường khác nhau như khu vực thông thoáng, khu dân cư, gầm cầu vượt. Số liệu thu được từ hai thiết bị sau được hiển thị trên bản đồ như hình 8,9 và bảng 2,3.



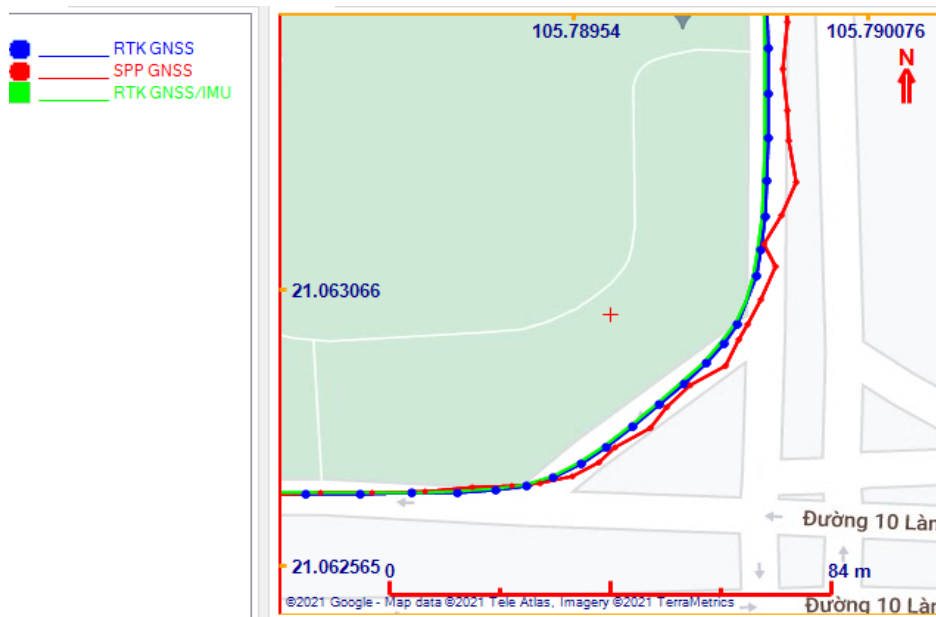
Hình 7: Lắp đặt hệ thống thử nghiệm



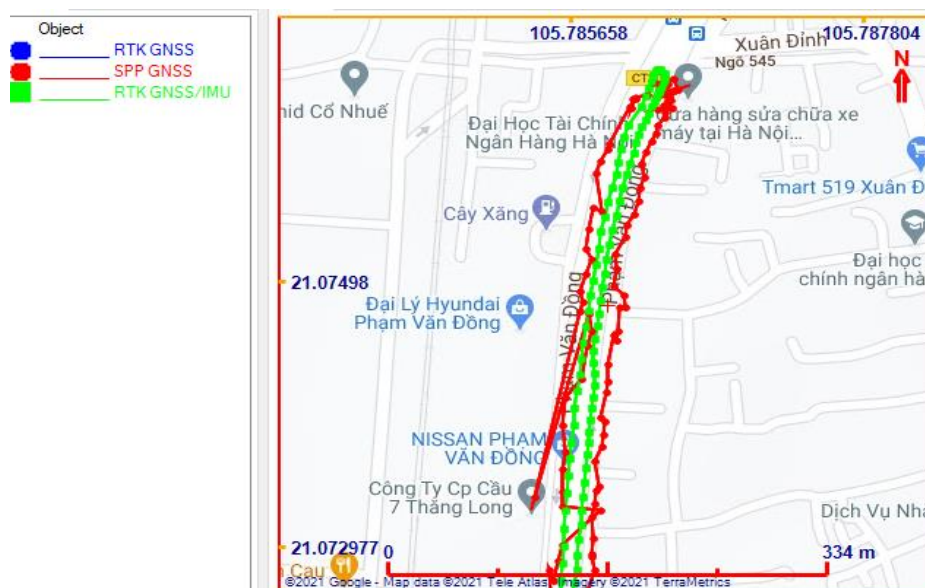
Hình 8: Lắp đặt hệ thống thử nghiệm



Hình 9: Hành trình thử nghiệm



Hình 10: Trong môi trường thông thoáng



Hình 10: Trong môi trường khuất nhiều GNSS

Bảng 2: So sánh trong môi trường thông thoáng

	Availability(%)	Min(m)	Max(m)	Mean(m)	Std. Deviation(m)
SSP GNSS	99	0.450	9.610	2.400	1.560
RTK GNSS	95	0.002	0.720	0.030	0.026
RTK GNSS+IMU	99	0.003	0.810	0.040	0.035

Bảng 3: So sánh trong môi trường khuất nhiều GNSS

	Availability(%)	Min(m)	Max(m)	Mean(m)	Std. Deviation(m)
SSP GNSS	72	0.120	20.600	4.650	5.560
RTK GNSS	0	-	-	-	-
RTK GNSS+IMU	99	0.015	1.530	0.240	0.340

Kết quả thử nghiệm thấy rằng trong môi trường thông thoáng, cả ba hệ thống đều có thể cung cấp thông tin vị trí từ 95 đến 99%. RTK GNSS và RTK GNSS+IMU có thể cung cấp lời giải định vị với độ chính xác cỡ cm đối với lời giải fixed. Độ chính xác của SSP GNSS khoảng vài mét.

Trong điều kiện khuất nhiều tín hiệu GNSS, trong hầu hết thời gian, GNSS RTK không thể cung cấp lời giải fixed. SSP GNSS cung cấp lời giải đến 70%, tuy nhiên sai số lớn, có thể lên đến 20m. Trong khi đó, RTK GNSS+IMU vẫn cung cấp lời giải 99%, độ chính xác khoảng 0.3m.

KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã đề xuất phương pháp tích hợp GNSS RTK và IMU đối với phần cứng và phần mềm, phục vụ giảng dạy và nghiên cứu khoa học và chuyển giao công nghệ.

Đã tiến hành thực nghiệm trong các điều kiện môi trường khác nhau với các phương án thử nghiệm khác nhau để đánh giá độ chính xác.

Kết quả thử nghiệm cho thấy rằng hệ thống tích hợp GNSS RTK có nhiều ưu điểm so với các hệ thống GNSS RTK về khả năng cung cấp lời giải và SSP GNSS về độ chính xác, đặc biệt là trong môi trường khuất nhiều tín hiệu GNSS.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lương Chính Kế (2004), "*Tam giác ảnh không gian tuyệt đối với ứng dụng công nghệ GPS/INS*", Báo cáo khoa học tại hội nghị khoa học lần thứ nhất của Viện Nghiên cứu Địa chính, Bộ tài nguyên và môi trường, Hà Nội, Việt Nam.
2. Luu Manh Ha, Tran Duc Tan, Nguyen Thanh Long, Nguyen Dinh Duc , Nguyen Phu Thuy (2007), "*Errors Determination Of The MEMS IMU*", Journal of Science VNUH, July. 01/2007.
3. Nguyen Van Thang, Pham Manh Thang , Tran Duc Tan (2012), "*The performance improvement of a low cost INS/GPS integration system using the street return algorithm*", Vietnam Journal of Mechanics. 01/2012, 34(4):271-280.
4. Trần Đức Phú (2010), "*Giới thiệu ứng dụng công nghệ LIDAR trong mô hình hóa lũ*", Tạp chí khoa học công nghệ Hằng Hải, Số 23.
5. Tran Duc Tan , Nguyen Phu Thuy (2009), "*Accuracy enhancement of a low cost INS/GPS integration system for land application*", Science & Technology Development, Vol 12, No.04 – 2009.
6. Vũ Văn Ninh, Nguyễn Đức Anh , Trần Đức Tân (2012), "*Về một cấu hình kết hợp hiệu quả giữa hệ thống dẫn đường quán tính và hệ thống định vị toàn cầu cho các*

phương tiện chuyển động trên mặt đất", Hội nghị toàn quốc lần thứ 6 về Cơ Điện tử - VCM-2012.

7. Bossler J. D. , and Novak K. (1993), "*Mobile Mapping System*", New Tools for the Fast Collection of GIS Information, GIS'93, Ottawa, Canada, March 23–25.
8. Bossler J. D. , and Schmidlay R. W. (1997), "*Airborne Integrated Mapping System Promises Large-Scale Mapping Advancements*", GIS World, 10(6), pp. 46–48.
9. Bossler J. D. , Novak K. (1993), "*Mobile Mapping System: New Tools for the Fast Collection of GIS Information*", GIS'93, Ottawa, Canada, March 23–25.
10. Brown R. G. , Hwang P. Y. C. (1992), "*Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering*", John Wiley & Sons Inc, New York, USA.
11. Chiang K.-W., Duong T. T. , and Liao J.-K. (2013), "*The Performance Analysis of a Real-Time Integrated INS/GPS Vehicle Navigation System with Abnormal GPS Measurement Elimination*", Sensors, 13, pp. 10599–10622.
12. Chiang K.-W., Duong T. T. , and Liao J.-K. (2013), "*The Performance Analysis of a Real-Time Integrated INS/GPS Vehicle Navigation System with Abnormal GPS Measurement Elimination*", Sensors. 13, pp. 10599–10622.
13. Chiang K.-W. T., M.-L.; Chu, C.-H, (2012), "*The Development of an UAV Borne Direct Georeferenced Photogrammetric Platform for Ground Control Point Free Applications*", Sensors, 12, 9161-9180.
14. Chiang K. W. , and Huang Y. W. (2008), "*An intelligent navigator for seamless INS/GPS integrated land vehicle navigation applications*", Appl. Soft Comput. 8, pp. 722–733.
15. Dissanayake G., Sukkarieh S., Nebot E. , Durrant-Whyte H. (2001), "*The aiding of a low cost, strapdown inertial unit using modeling constraints in land vehicle applications*", IEEE Trans. on Robotics and Automation. 17, pp. 731–747.
16. Duong Thanh Trung (2013), "*INTEGRATION STRATEGIES AND ESTIMATION ALGORITHMS TO IMPROVE THE NAVIGATION ACCURACY OF LANDBASED MOBILE MAPPING SYSTEMS*", Doctor of Philosophy. National Cheng Kung University Department of Geomatics.

17. Duong T. T. , Chiang K. W. (2012), "*Non-linear, non-Gaussian estimation for INS/GPS integration*", Sensor Letter. 10(6), pp. 1081-1086.
18. Eisenbeiss H. (2008), "*UAV photogrammetry in plant sciences and geology*", In: 6th ARIDA Workshop on "Innovations in 3D Measurement, Modeling and Visualization, Povo (Trento), Italy.
19. El-Sheimy N. (1996), "*The Development of VISAT-A Mobile Survey System for GIS Applications*", Ph.D. Dissertation, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Calgary, AB, Canada.
20. Gao Y. (2006), "*Precise Point Positioning and Its Challenges*", Inside GNSS, pp. 16–18.
21. George T. Schmidt (2003), "*INS/GPS Technology trends*", RTO-EN-SET-064.
22. Georgy J., Karamat T., Iqbal U. , Noureldin A. (2011), "*Enhanced MEMS-IMU/odometer/GPS integration using mixture particle filter*", GPS Solutions. 15(3), pp. 239-252.
23. Georgy J., Karamat, T., Iqbal, U., Noureldin, A., (2011), "*Enhanced MEMS-IMU/odometer/GPS integration using mixture particle filter*", GPS Solutions, 15(3), pp. 239-252.
24. Groves P. D. (2008), "*Principles of GNSS, inertial, and multi-sensor integrated navigation systems*", Artech House, Boston, USA.
25. Haug A. J. (2005), "*A Tutorial on Bayesian Estimation and Tracking Techniques Applicable to Nonlinear and Non-Gaussian Processes*", MITRE technical report.
26. Hayal A. G. (2010), "*Static Calibration of the Tactical Grade Inertial Measurement Units*", The Ohio State University.
27. Hou H. (2004), "*Modeling Inertial Sensors Errors Using Allan Variance*", CALGARY, ALBERTA: Department of Geomatics Engineering, UNIVERSITY OF CALGARY.
28. "<http://ceg.osu.edu/content/geodetic-engineering>".
29. "<http://schulich.ucalgary.ca/node/40>".
30. "<http://www.geomatics.ncku.edu.tw/geomatics/lessons>".

31. Huang Y. W. , Chiang K. W. (2010), "*Improving the performance of MEMS IMU/GPS POS system for land-based MMS utilizing tightly coupled integration and odometer*", ISPRS Archives. Volume XXXVIII - Part 1.
32. Jeffrey C. (2010), "*An Introduction to GNSS*", Novatel Inc, Calgary, Alberta, Canada.
33. Kennedy S. , Rossi J. (2008), "*Performance of a deeply coupled commercial grade GPS/INS system from KVH and NovAtel Inc*", Position, Location and Navigation Symposium, IEEE/ION. Monterey, CA.
34. Kim S.-B., Bazin J.-C. L., H.-K., Choi K.-H. , Park S.-Y. (2011), "*Ground vehicle navigation in harsh urban conditions by integrating inertial navigation system, global positioning system, odometer and vision data*", IET Radar Sonar Navig. 5(8), pp. 814 –823.
35. Kim S.-B., Bazin, J.-C. Lee, H.-K., Choi, K.-H., Park S.-Y., (2011), "*Ground vehicle navigation in harsh urban conditions by integrating inertial navigation system, global positioning system, odometer and vision data*", IET Radar Sonar Navig., 5(8), pp. 814 –823.
36. Liu C. Y. (2012), "*The Performance Evaluation of a Real-time Low-Cost MEMS INS/GPS Integrated Navigator with Aiding from ZUPT/ZIHR and Non-Holonomic Constraint for Land Applications*", In Proceedings of the 25th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS), Nashville, TN, USA, September 17–21.
37. Martin B. , Alan F. L. (2011), "*Invariant Extended Kalman Filter Design for a Magnetometer-plus-GPS Aided Inertial Navigation System*", 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference (CDC-ECC) Orlando, FL, USA.
38. Martin B. a. A. F. L. (2011), "*Invariant Extended Kalman Filter Design for a Magnetometer-plus-GPS Aided Inertial Navigation System*", 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference (CDC-ECC) Orlando, FL, USA, December 12-15, 2011.

39. Maybeck P. S. (1994a), "*Stochastic Models, Estimation, and Control*". Volume 1, Navtech Book & Software Store.
40. Mohamed Abdel-tawwab Abdel-salam (2005), "*Precise point positioning using undifferenced code and carrier phase observations*", Doctor of Philosophy. Department of Geomatics Engineering, University of Calgary.
41. Niu X., Nassar, S. and El-Sheimy, N., (2007), "*An accurate land-vehicle MEMS IMU/GPS navigation system using 3D auxiliary velocity updates*", Journal of the Institute of Navigation, 54(3), pp. 177–188.
42. Parkinson B. W. , and Spikker Jr J. J. (1996), "*Global Positioning system: Theory and Application*", American of Aeronautics and Astronautics, Inc, Washington DC, USA.
44. Rauch H., Tung F. , and Striebel C. (1965), "*Maximum likelihood estimates of linear dynamic systems*", AIAA J, 3, pp. 1445–1450.
45. Saastamoinen J. (1972), "*Atmospheric Correction for the Troposphere and Stratosphere in Radioranging of Satellites*", Geophysical Monograph Series. American Geophysical Union, Washington D.C.. 15: 2-1. doi: 10.1029/GM015p0247.
46. Seeber G. (2003), "*Satellite Geodesy*", Walter de Gruyter, Berlin, New York, USA.
47. Shin E. H. (2005), "*Estimation Techniques for Low-Cost Inertial Navigation*", UCGE Reports Number 20156.
48. Titterton D. H. , Weston J. L. (2004), "*Strapdown inertial navigation technology*", second edition. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston, USA.
49. Wendel J. , Trommer G. F. (2004), "*Tightly coupled GPS/INS integration for missile application*", Aerosp. Sci. Technol. 8, pp. 627–634.