**I. Tổng quan về hệ dẫn đường quán tính INS**

**1. Cơ sở lý thuyết hệ dẫn đường quán tính**

Dẫn đường quán tính dựa trên cơ sở tính toán vị trí, vận tốc và các góc định hướng của một vật thể chuyển động bằng các sử dụng các thông số đo được từ các cảm biến gia tốc và cảm biến vận tốc góc. Các cảm biến quán tính và đo chuyển động đều dựa vào các định luật vật lý về tự nhiên và không chịu ảnh hưởng của các tín hiệu điện hay điện từ bên ngoài, điều này là cơ sở cho cảm biến quán tính hoạt động đáng tin cậy và khó bị nhiễu

Cảm biến quán tính dựa trên định luật II Newton:

 (2.1)

Trong đó:

F là vecto tổng các lực tác dụng lên vật thể.

m là khối lượng vật thể.

 là đạo hàm bậc nhất quá trình chuyển động của vật thể.

Phương trình trên dưới dạng vector gia tốc trọng trườn g:

 (2.2)

Vector gia tốc trọng trường a=F/m, thay vào công thức trên ta được:

 (2.3)

Các phương trình được ấn định cho hệ quán tính Newton. Đối với hệ tọa độ thứ i thay vào phương trình (2.3):



Với là vị trí trong hệ tọa độ thứ *i*, là gia tốc trọng trường của hệ tọa độ thứ *i* phụ thuộc vào vị trí thứ **x**, **a*i*** là gia tốc thành phần được đo bởi các cảm biến gia tốc. Từ các phương trình này có thể xác định vị trí **x*i*** và vận tốc của vật thể.

**2. Các hệ tọa độ tham chiếu trong hệ dẫn đường quán tính**

**Hệ tọa độ quán tính (i-frame)**

Trái tim của hệ thống tích hợp này chính là bộ lọc tối ưu Kalman có tọa độ gốc tại tâm của trái đất và các trục cố định đối với các vì sao trong đó trục z song song với trục quay của trái đất, trục x đi qua điểm xuân phân là giao điểm giữa quỹ đạo quay của trái đất và đường xích đạo của mặt trời và trục y nằm phía bên tay phải của khung toạ độ trực giao.

**Hệ tọa độ trái đất (e-frame)**

Có toạ độ gốc tại tâm trọng tâm của trái đất và các trục cố định đối với trái đất. Trục x có hướng đi qua kinh tuyến của đài thiên văn Greenwich, trục z song song với trục quay của trái đất và trục y nằm hoàn toàn bên phải của khung trực giao.

**Hệ toạ độ dẫn đường (n-frame)**

Hệ tọa độ dẫn đường là hệ toạ độ đo đạc cục bộ với tâm của nó trùng khớp với khung toạ độ của cảm biến, trục x chỉ về hướng đo đạc phía bắc, trục z vuông góc trực giao với đường elipsoid tham chiếu hướng xuống dưới, và trục y nằm bên phải của khung trực giao. Ví dụ như trong hình 2.2, đây là một hệ toạ độ dẫn đường theo hướng Bắc-Đông-Xuống (NED). Thuận lợi của hệ toạ độ NED là quay bên phải là chiều dương đối với trục x, và các trục là tương ứng với toạ độ góc roll, pitch và heading của phương tiện khi mà xe cộ nằm trên mặt phẳng và hướng về hướng bắc. Hơn nữa, hệ NED là rất phổ biến và do vậy các kết quả nghiên cứu có thể dễ dàng tìm kiếm cũng như kết hợp với nhau.

**Hệ toạ độ vật thể (b-frame):** là hệ trục toạ độ trực giao tương ứng với các hướng chuyển động roll-pitch-heading của vật thể.

Ma trận Cosin chỉ hướng (DCM) từ hệ toạ độ trái đất (e) sang toạ độ dẫn đường (n) có thể được biểu diễn như sau:

= Ry(-Rz() = 

Trong đó:

- là vĩ độ

- là kinh độ

- Ry và Rz là góc quay của hệ thống quanh trục y và trục z tương ứng

Vậy khi DCM tự hệ tọa độ dẫn đường sang hệ tọa độ trái đất sử dụng phép trực giao:



Ma trận Cosin chỉ hướng DCM từ hệ toạ độ dẫn đường (n) sang hệ toạ độ vật thể (b) được đưa ra trong công thức dưới đây:



trong đó  ,,  là ba thành phần góc Ơle Roll-Pitch-Heading tương ứng.

Tương tự, ma trận DCM từ hệ toạ độ vật thể (b) sang hệ toạ độ dẫn đường (n) thu được sử dụng phép trực giao:



= 

Các góc Ơ-le được xác định là:



Trong đó: : phần tử thứ (i, j) của DCM với 

: hàm trả về argtan của tọa độ x, y cho trước.

Vector vận tốc quay của hệ toạ độ (e) đối với hệ (i) chiếu trên hệ toạ độ (e) được cho bởi công thức sau:



Với  là độ lớn của tốc độ quay của trái đất và có giá trị là 7.2921158 rad/s.

Chiếu vector này lên hệ tọa độ (n) và sử dụng công thức 2.1 ta được:



Tốc độ di chuyển của vật thể là tốc độ quay của hệ toạ độ (n) đối với hệ toạ độ (e) và được biểu diễn trong các số hạng tốc độ thay đổi của vĩ độ và kinh độ:



Trong đó:

, là vận tốc theo hướng đông và bắc

h: là độ cao elipsoid

M, N được tính theo công thức:



Với a, e là độ dài và độ lệch tâm của elipsoid tuyến tính tham chiếu.

Và công thức có thể tính được bằng công thức:



**3. Nguyên lý dẫn đường quán tính**

Theo thuyết tương đối hẹp của Galilean, các chuyển động diễn ra trên cơ sở toán học của hệ dẫn đường theo định luật cơ bản của Newton về quy luật cơ học chuyển động của phương tiện di chuyển trong hệ tọa độ quán tính. Quy luật này được mô tả như sau:

 (1)

Trong đó:

 là vector vị trí của phương tiện;

 là vector gia tốc cảm biến của phương tiện;

 là vector gia tốc trọng trường của phương tiện do lực hấp dẫn bề mặt trái đất gây ra.

 là gia tốc tuyệt đối của phương tiện

Phương trình trên mô tả cơ sở toán học của một chuyển động trong hệ tọa độ quán tính đơn giản. Với các bài toán chuyển động trong thực tế, việc vận dụng sẽ thuận tiện hơn khi chuyển giữa hệ tọa độ quán tính và hệ tọa độ không quán tính. Dựa vào phương trình đó, người ta xây dựng các mô hình toán thể hiện động lực học cho chuyển động, cũng như các thuật toán cho các hệ thống dẫn đường quán tính. Giá trị vector gia tốc cảm biến có thể đo  có thể đó bằng các cảm biến gia tốc bố trí trực giao; vector gia tốc trọng trường  thường được mô tả dưới dạng hàm đã biết của  tùy thuộc vào việc mô hình hóa trái đất.

Phương trình hàm số Cosin của (1) là:



Xét phương trình (2) trong hệ tọa độ quay với vận tốc góc , ta có:



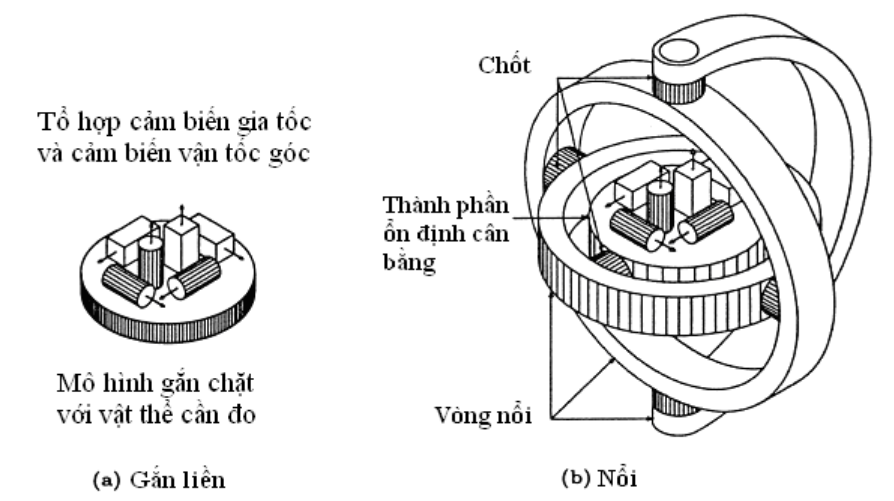
Trong đó, ,là đạo hàm của các vector  và  trong hệ tọa độ quay với vận tốc góc .

Đây là cơ sở lý thuyết cho phép ta xây dựng các thuật toán dẫn đường quán tính khác nhau. Thực tế, để xây dựng các thuật toán số cho hệ thống dẫn đường quán tính, người ta phải lựa chọn dạng cơ sở cho hệ tọa độ dẫn đường để xác định các tham số định vị và định hướng.

**II. Khối đo lường quán tính IMU**

IMU (viết tắt của Inertial Measurement Unit) là khối thiết bị điện tử có tính năng đó lường quán tính được. Ban đầu, thiết bị này được xây dựng trên cơ sở các cảm biến quán tính hoạt động theo nguyên tắc cơ khí. Đặc điểm của các cảm biến cơ khí thường có kích thước lớn, hoạt động kém hiệu quả, giá thành cao, tiêu tốn nhiều năng lượng và thường được sử dụng trong lĩnh vực quân sự. Sau này, với sự phát triển của khoa học công nghệ, đặc biệt trong lĩnh vực sản xuất các linh kiện bán dẫn với công nghệ gyro quang (FOG) và công nghệ vi cơ điện tử (MEMS), các hạn chế về kích thước, độ chính xác cũng như giá thành của các thiết bị này được giảm xuống. Đồng thời các ứng dụng của nó được phổ biến hơn không chỉ trong lĩnh vực quân sự mà cả trong lĩnh vực dân sự, ví dụ như trong các thiết bị định vị cá nhân, định vị phương tiện, trong lĩnh vực hàng không…

Một khối IMU được cấu tạo từ các cảm biến vi cơ, thường là 3 cảm biến gia tốc và 3 cảm biến vận tốc góc, hoặc cũng có thể là một cảm biến gia tốc 3 chiều kết hợp với 3 cảm biến vận tốc góc. Các cảm biến này kết cấu với nhau theo cấu trúc gắn liền hoặc theo cấu trúc nổi, được chỉ ra ở hình 1 và hình 2, từ đó có thể xác định 3 thành phần chuyển động quay và tịnh tiến của vật thể.



Cấu tạo của khối IMU

Điểm khác nhau của hai kiểu cấu trúc này là:

+ Khối IMU gắn liền thì cảm biến không bị thay đổi hướng theo đối tượng chuyển động.

+ Khối IMU nổi thì các cảm biến được gắn chặt so với vật chuyển động, do đó sẽ thay đổi trạng thái chuyển động theo vật đó.

Trên thực tế khối IMU có cấu trúc kiểu gắn chặt thường được sử dụng rộng rãi hơn bởi cấu trúc này đơn giản và có chi phí sản xuất thấp hơn mà vẫn đảm bảo được độ chính xác chấp nhận được. Việc kết hợp các cảm biến vi cơ trong IMU thường dẫn đến các sai số, bao gồm sai số từng cảm biến và sai số từng cụm cảm biến. Sai số từng cảm biến do cấu tạo từng loại cảm biến khác nhau trong IMU, còn với cụm cảm biến là sai số xảy ra do kết hợp từng cụm cảm biến với nhau. Sai số này ảnh hưởng tới sai số trong tính toán vị trí định vị, tốc độ và các góc định hướng.

**III. Kết hợp giữa hệ GPS với hệ đo quán tính trong xác định tọa độ**

**1. Bộ lọc Kalman**

Bộ lọc Kalman được phát minh năm 1960 với mục đích khắc phục một số hạn chế của bộ lọc Weiner. Thực chất bộ lọc Kalman là một bộ lọc tối ưu dùng để lọc tín hiệu bị nhiễu thống kê và lấy ra các thông tin cần thiết với điều kiện các tính chất của nhiễu thống kê đã được biết trước. Khác với bộ lọc thích nghi Weiner, bộ lọc Kalman sử dụng mô hình không gian trạng thái để xử lý tín hiệu rời rạc và ứng dụng trong định vị dẫn đường, trong khi bộ lọc Weiner lại sử dụng tính toán số học để tính đáp ứng xung FIR.

Một cách tổng quát, bộ lọc Kalman là một tập hợp các phương trình toán học mô tả một phương pháp tính toán truy hồi hiệu quả cho phép ước đoán trạng thái của một quá trình sao cho trung bình phương sai của độ lệch giữa giá trị thực và giá trị ước đoán là nhỏ nhất. Bộ lọc Kalman rất hiệu quả trong việc ước đoán các trạng thái trong quá khứ, hiện tại và tương lai ngay cả khi tính chính xác của hệ thống chưa được khẳng định. Bộ lọc Kalman ước lượng trạng thái của một quá trình được mô hình hóa một cách rời rạc theo thời gian bằng phương trình ngẫu nhiên tuyến tính sau:

  (3.1)

Trong đó  là vector trạng thái tại thời điểm  có  chiều.

Với giá trị đo lường 

 (3.2)

Trong đó  và  là hai vector biến ngẫu nhiên đại diện cho nhiễu hệ thống và nhiễu đo lường. Hai biến ngẫu nhiên này độc lập và được coi như phân bô Gauss với trung bình bằng 0 và ma trận hiệp phương sai lần lượt là Q và R.



Bài toán lọc Kalman chính là đi tìm giá trị ước lượng và ước đoán của trạng thái khi ta biết được sự biến thiên của nó và ta đo được một đại lượng  mà phụ thuộc tuyến tính vào .

Nếu giả sử  và  lần lượt là tiền nghiệm và hậu nghiệm ước lượng của giá trị tại thời điểm k. Giá trị tiên nghiệm thu được chỉ dựa vào mô hình hệ thống, còn giá trị hậu nghiệm là giá trị thu được sau khi đã có kết quả đo đạc . Khi đó sai số của ước đoán tiên nghiệm và hậu nghiệm lần lượt là:



Ma trận hiệp phương sai của 2 sai số trên được tính toán lần lượt theo công thức:



Hệ số  thỏa mãn phương trình sau:



Ta có thể thấy, cũng chính là giá trị hậu nghiệm của phép ước lượng  sẽ được tính bằng giá trị tiên nghiệm của nó cùng với thêm hoặc bớt một lượng dựa vào sai số giữa giá trị đo được và giá trị đo đạc ước đoán . K chính là độ khuếch đại của bộ lọc Kalman.

Vấn đề đặt ra là làm thế nào để chọn lựa giá trị K tối ưu, nghĩa là hiệp phương sai của sai số phép ước lượng hậu nghiệm là nhỏ nhất. Bằng cachs thay  vào trong biểu thức tính , rồi sau đó lấy đạo hàm của  theo , ta sẽ tìm ra được giá trị  mà tương ứng với nhỏ nhất.



 thay đổi theo thời gian  và chính là giá trị độ khuếch đại cần tìm của mạch lọc Kalman trong mỗi ước đoán.

Tóm lại, thuật toán Kalman bao gồm 2 bước:

1) Ước lượng trạng thái tiên nghiệm.

2) Dựa vào kết quả đo để hiệu chỉnh ước lượng.

Tóm tắt lại hoạt động của mạch lọc Kalman bằng phương trình sau:

Giả sử ta có giá trị ước đoán  ở tại thời điểm (*k-1)*và biết được giá trị điều khiển . Giá trị ban đầu tại thời điểm 0 được chọn là . Lúc đó ta chỉ việc lần lượt tiến hành các tính toán từ *(1)* đến *(2)* ở bước 1 của thuật toán, rồi từ *(1)* đến *(3)* trong bước 2 như trong sơ đồ dưới.



Hình 3.1: Thuật toán Kalman cổ điển

Vấn đề khó khăn khi áp dụng bộ lọc Kalman là làm thế nào để mô hình hóa các trạng thái và đo đạc để có được 02 phương trình (3.1) và (3.2) để có thể áp dụng bộ lọc Kalman. Bài toán Kalman cổ điển áp dụng cho mô hình hệ thống tuyến tính, nhưng trên thực tế hầu hết các hệ thống của chúng ta đều là phi tuyến. Việc tuyến tính hóa các hệ thống phi tuyến cũng gây ra nhiều sai số khi áp dụng thuật toán Kalman, tuy nhiên với độ phi tuyến của hệ thống nhỏ thì ứng dụng bộ lọc Kalman là điều hoàn toàn khả thi. Thực tế việc áp dụng bộ lọc Kalman trong các hệ thống ngày nay đem lại hiệu quả cao trong các hệ thống điều khiển và công nghệ hàng không vũ trụ.

**2. Hệ thống định vị quán tính INS**

Hệ thống định vị quán tính INS hoạt động trên nguyên tắc của các hiện tượng quán tính. Trái tim của hệ thống này là sử dụng các khối đo lường quán tính IMU (Inertial Measurement Unit - IMU). Tùy vào thiết kế cũng như giá thành sản xuất của các khối IMU mà hệ thống này có sai số về vị trí và thời gian khác nhau. Tuy nhiên, các phương pháp căn chuẩn các thành phần trong hệ thống INS rất phức tạp nên lại đẩy giá thành của các sản phẩm này lên cao. Việc lựa chọn phương pháp ước lượng xấp xỉ là vấn đề mấu chốt để phát triển hệ thống INS. Đã có rất nhiều nghiên cứu đưa ra để cố gắng làm tăng độ chính xác của hệ thống INS.

Năm 2001, một phương pháp căn chuẩn mới đã được đề xuất, phương pháp này đã được phát triển và đánh giá rất cẩn thận. Phương pháp này không đòi hỏi phải đặt khối IMU lên một hệ tọa độ cục bộ. Hơn thế, việc ước lượng độ lệnh không của phương pháp này không bị ảnh hưởng bởi gia tốc trọng trường tham chiếu. Một nửa sai số về vị trí có thể được loại bỏ bằng việc căn chuẩn của các cảm biến gia tốc. Tất cả các thành phần tư thế tập trung trong ba phút với điều kiện non-holonomic 0.030 RMS có thể giảm thiểu sai số vị trí theo hướng ngang xuống dưới 40m trong vòng 20 phút hoạt động. Do đó, INS giá rẻ có thể được sử dụng như một hệ thống định vị độc lập khi bị mất tín hiệu GPS trên 10 phút.

Năm 2003, một phương pháp xử lý thống kê được đề xuất cho việc mô hình sai số của cảm biến trong hệ SINS. Những đặc trưng ngẫu nhiên của hệ cảm biến trong hệ SINS có thể được xác định bằng việc tính toán chuỗi tương quan của dữ liệu thu trong thời gian dài. Xử lý tự hồi quy như một cách tiếp cận khác trong việc mô hình hóa các sai số lệch không của cảm biến SINS (residual bias). Các phương pháp tối ưu khác để xác định các thông số của mô hình tự hồi quy cũng đã được nghiên cứu. Kết quả cho thấy rằng thực hiện mô hình tự hồi quy có thể cải thiện kết quả tới 40% - 60% trong hệ SINS khi nó hoạt động đơn lẻ và 15% - 35% trong hệ SINS/DGPS khi mà bị mất GPS.

Năm 2003, việc thiết kế và triển khai khối tích hợp gồm khối INS giá rẻ (sử dụng khối đo lường quán tính IMU) kết hợp với la bàn điện tử, GPS và một máy tính nhúng. INS có thể đưa ra các thông tin ước lượng liện tục về vị trí và hướng của vật chuyển động. Thường thì IMU có giá thành rất cao, tuy nhiên hệ thống này lại sử dụng IMU có giá thành tương đối rẻ. Và với việc sử dụng IMU giá rẻ sẽ cho độ chính xác và ổn định kém hơn, bởi vậy đây là phải kết hợp cùng với thông tin dữ liệu GPS, la bàn điện tử và bộ lọc Kalman vào hệ thống. Do đó khối IMU sẽ sử dụng cảm bién gia tốc, vận tốc góc để nội suy trong khoảng thời gian 01 giây cập nhật vị trí từ GPS.

Năm 2005, tính khả thi của thiết kế hệ định vị quán tính dựa trên một cảm biến gia tốc đơn lẻ (hoặc một cảm biến vận tốc góc riêng biệt) để tính chuyển động tịnh tiến hoặc quay của một vật thể. Các phương trình điều hướng của cảm biến gia tốc được biểu diễn trong hệ tọa độ quán tính cố định. Một điều kiện quan trọng cần phải có đó là cấu hình của các cảm biến gia tốc. Nếu điều kiện thỏa mãn thì các chuyển động tịnh tiến hoặc chuyển động quay có thể được tinh toán một cách riêng biệt bằng cách sử dụng 02 phương trình của một hệ thống động lực học: một phương trình trạng thái cho vận tốc góc và một phương trình lối ra cho gia tốc tịnh tiến. Ảnh hưởng dẫn đến sai số đo do vị trí đặt và hướng của cảm biến gia tốc đều được phân tính, đồng thời các thuật toán giảm thiểu sai số cũng được phát triển.

Năm 2007, một phương pháp sử dụng các thông tin chuyển động của các vật thể trong việc giảm nhiễu các dữ liệu thô từ các cảm biến trong hệ thống INS đã được nghiên cứu. Các vật thể chuyển động có thể cung cấp thêm các thông tin bổ trợ. Vì mô hình vật thể chuyển động có đặc tính như một bộ lọc thông thấp, cho qua các giá trị thô của của cảm biến thu được và triệt nhiễu tần số cao. Quá trình này được sử dụng bởi bộ lọc Kalman. Khi so sánh phương pháp nay với những phương pháp loại bỏ nhiễu khác đã được nghiên cứu thì các thông số của phương pháp này có ý nghĩa vật lý và có thể được đánh giá trực tiếp từ bộ dữ liệu đã có. Cùng với đó, tích lũy về động lực học có thể đóng góp vào việc triệt tiêu nhiễu.

Nhìn chung, việc hệ thống định vị quán tính đã được nghiên cứu rất nhiều và nó cho thấy được tính hiệu quả của nó trong bài toán định vị. Việc kết hợp giữa hệ định vị quán tính với hệ GPS là một giải pháp đem lại hiệu quả cao cũng như hỗ trợ tốt hơn trong thiết kế các sản phẩm định vị dẫn đường.

**3. Hệ thống tích hợp INS/GPS**

Mỗi hệ thống định vị đều có những ưu điểm và mặt hạn chế riêng. Qua nghiên cứu, việc kết hợp hai hệ thống này giúp cải thiện chất lượng cũng như những mặt hạn chế của từng hệ thống: sử dụng GPS để căn chuẩn độ lệch không (bias) của các thiết bị quán tính và INS có thể được sử dụng để cải thiện độc chính xác định vị và thu thập dữ liệu từ máy thu GPS. Hai phương thức được sử dụng trong hệ tích hợp GPS/INS là: phương thức vòng hở và phương thức vòng kín.



*Hình 1.2: Sơ đồ kết hợp INS/GPS*

Việc kết hợp công nghệ GPS/INS mang đến một hệ thống hoạt động tốt hơn, đem lại hiệu quả hơn so với các hệ thống riêng lẻ GPS hoặc INS. Đồng thời chúng bù dữ liệu cho nhau sẽ tạo ra một hệ thống hoàn hảo đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật khắt khe. Trong các ứng dụng dựa trên hệ quy chiếu địa lý, dữ liệu vị trí và vận tốc nhận được từ GPS sẽ có kết quả tốt hơn khi cập nhật thêm các thông tin từ hệ thống INS.

Hệ định vị quán tính INS cung cấp dữ liệu về vị trí, vận tốc chính xác cho việc thu thập dữ liệu từ các máy thu GPS và tự thu thập dữ liệu khi tín hiệu GPS bị mất cũng như các tham số về hướng của hệ thống con dựa trên quan sát đối tượng. Bộ lọc Kalmal đóng vai trò quan trọng trong việc tích hợp hệ thống GPS với INS.

Trong hệ thống tích hợp GPS/INS, GPS cập nhật dữ liệu liên tục trong khoảng thời gian nhất định khi mà các máy thu GPS nằm trong vùng thu được tín hiệu từ ít nhất 4 vệ tinh. INS sẽ cập nhật dữ liệu trong mỗi lần dữ liệu GPS được cập nhật hoặc khi mà tín hiệu GPS bị mất. Ngoài ra, INS còn cập nhật được thông tin về hướng dịch chuyển. Thông thường, các sai số ngắn hạn của INS tương đối nhỏ, sẽ không ảnh hưởng nhiều tới độ chính xác định vị. Tuy nhiên, trong thời gian dài, các sai số này tích tụ lại và trở lên rất lớn ảnh hưởng tới chất lượng định vị do các sai số của hệ định vị INS thường không có tính hệ thống và là ngẫu nhiên, không thể dự đoán được. Sai số từ hệ GPS sinh ra cũng không tốt hơn INS nhưng chúng lại không bị giảm theo thời gian, tức là GPS có một độ ổn định và chính xác trong thời gian dài hơn. Các sai số GPS phần lớn có bản chất là tần số cao và mô hình hóa thành các nhiễu trắng khi thiết kế các bộ lọc.

Ta có thể thấy tính chất bù giữa INS và GPS. Một mặt, INS cần sự ổn định trong thời gian dài của GPS để có thể loại trừ các nhiễu không thể dự đoán trước được cũng như phần không mô hình hóa được của sai số hệ thống. Do vậy, vị trí và vận tốc đọc từ GPS được sử dụng làm các số đo cập nhật cho vị trí, vận tốc và hướng đọc từ INS. Trái lại, thông tin vị trí và hướng có độ chính xác cao trong thời gian ngắn của INS sẽ cung cấp một quỹ đạo nội suy giữa các lần cập nhật GPS. Thêm vào đó, INS trong hệ thống dẫn đường có thể nội suy khi mất tín hiệu GPS và sẽ phục hồi sau khi mất tín hiệu trong thời gian ngắn nhất định.

INS có thể kết hợp với GPS ở nhiều mức độ khác nhau. Giá trị vị trí, vận tốc và phương hướng của INS được sử dụng như lối vào của bộ thu GPS, bổ trợ thông tin định vị cho GPS. Định vị là một lĩnh vực rất phổ biến của động lực học phi tuyến và vấn đề cốt lõi của việc phát triển hệ thống định vị là ước lượng trạng thái của hệ thống động lực học. Tuy nhiên, trong việc ước lượng hệ thống động lực học phi tuyến thì rất khó đề đưa ra một lời giải chung cho tất cả các bài toán đặt ra

**4. Các phương pháp tích hợp GPS/INS**

Có rất nhiều kiến trúc khác nhau để kết hợp hệ dẫn đường quán tính INS với GPS, chúng được phân loại tùy vào mức độ mà mỗi thành phần có thể hỗ trợ cho nhau. Nếu chỉ xét việc hỗ trợ của các sai số sau khi được đánh giá đến giá trị đầu ra ta sẽ có phương pháp tích hợp và truyền thẳng. Phương pháp phản hồi các đánh giá sai số trong các thành phần dẫn đường sẽ được phản hồi ngược trở lại quá trình tính toán.

Trong phương pháp thẳng, hoạt động của hệ thống quán tính sẽ hoạt động độc lập với các dữ liệu bên ngoài. Nhược điểm của phương pháp truyền thẳng là quá trình tính toán có thể dẫn đến việc tăng không giới hạn các sai số, dẫn đến việc bộ lọc Kalman sẽ nhận các giá trị đo lường có sai số cao. Với các bộ lọc tuyến tính, việc các sai số của giá trị đầu vào cao sẽ không thể thực hiện được do đặc điểm của các bộ lọc này chỉ áp dụng cho các giá trị đầu vào có sai số tương đối nhỏ. Do vậy với việc sử dụng phương pháp thẳng sẽ không khả thi mà phương pháp phản hồi sẽ là lựa chọn tối ưu.



*Hình 1: Phương pháp truyền thằng (vòng lặp mở)*

Trong phương pháp phản hồi, giá trị gia tốc và vị trí có thể thu được được tính như sau:



Giá trị hồi tiếp của ma trận Cosin chỉ hướng:



Sau khi thực hiện xong một quá trình hồi tiếp, vector sai số trạng thái sẽ được đặt về 0. Vì trong bộ lọc Kalman tích hợp INS/GPS, vector trạng thái được đặt về 0 đến khi số đo tiếp tục được đọc, nếu như mô hình hồi tiếp được xác lập với mọi thời điểm lấy số đo, giai đoạn dự đoán trạng thái sẽ không cần thiết thực hiện tại mọi thời điểm.



*Hình 2: Phương pháp phản hồi*

Khi kết hợp giữa INS/GPS dựa trên kiến trúc xử lý của hệ thống và mức độ trộn dữ liệu, ta có các phương pháp sau: tích hợp cặp lỏng, tích hợp cặp chặt, phân tán và tập trung.

**Tích hợp cặp lỏng INS/GPS**



*Hình 1.3: INS/GPS theo cấu trúc kết hợp lỏng (loosely coupled)*

Tích hợp cặp lỏng là phương pháp đơn giản nhất. Trong sơ đồ 1.3 là cơ chế của tích hợp INS/GPS theo cấu trúc kết hợp lỏng sử dụng bộ lọc Kalman. Trong sơ đồ này, GPS và các cảm biến quán tính sẽ đưa ra dữ liệu một cách độc lập (vị trí, vận tốc, hướng). Hai dữ liệu độc lập sau đó kết hợp lại với nhau tạo thành bộ dữ liệu trộn giữa INS/GPS. Bộ lọc Kalman của hệ INS sử dụng kết quả của bộ lọc Kalman của hệ GPS để ước lượng sai số cảm biến mà INS không thể tự ước lượng được. Mô hình sử dụng cho bộ lọc Kalman INS để ước lượng tham số INS cũng như mô hình sử dụng trong phương pháp tích hợp chặt. Nhiễu cảm biến trong dữ liệu về vị trí và vận tốc từ bộ thu GPS được mô hình hóa là nhiễu ngẫu nhiên phân bố theo hàm mũ.

Cấu hình này phù hợp với các cảm biến quán tính chất lượng cao khi tín hiệu GPS từ máy thu bị mất trong một khoảng thời gian dài. Với các cảm biến giá rẻ có chất lượng thấp hơn thì nó chỉ cung cấp một vài dữ liệu chính xác cho việc mất tín hiệu GPS tạm thời và đầu ra của cảm biến phải được căn chỉnh từ trước cho việc mất tín hiệu GPS. Trong trường hợp này, tích hợp lỏng GPS/INS được coi gồm cả quá trình phản hồi và do vậy hiệu số giữa kết quả của INS với GPS sẽ được phản hồi tới các cảm biến quán tính để thực hiện việc căn chỉnh. Nói chung, các cảm biến quán tính chất lượng thấp là phù hợp cho các ứng dụng mà tín hiệu GPS mất không thường xuyên hoặc là bị mất trong thời gian ngắn.

Lợi ích của phương thức kết hợp lỏng là GPS có thể được coi như một hộp đen. Bộ lọc định vị hỗn hợp trở lên đơn giản hơn khi các thông tin về GPS đã được xử lý ở khối khác. Tuy nhiên nếu mất tín hiệu GPS, khối GPS sẽ ngừng cung cấp thông tin và các thông tin bổ trợ cho khối INS/GPS cũng mất theo.

**Tích hợp chặt GPS/INS**



*Hình 1.3: INS/GPS theo cấu trúc kết hợp chặt (tightly coupled)*

Tích hợp chặt INS/GPS là phương pháp có độ phức tạp cao hơn. Tương tự với phương pháp tích hợp lỏng, phương pháp này có những lợi ích tương tự và hơn nữa, độ chính xác của phương pháp này tốt hơn vì các số đo dựa trên GPS được sử dụng trong quá trình trộn là không liên quan nhiều đến các số đo vận tốc và vị trí được sử dụng trong kết hợp lỏng. Đồng thời, quá trình phản hồi thời gian thực của giá trị vận tốc trong bộ INS tới bộ thu GPS cho phép dự đoán chính xác các mã giả ngẫu nhiên và pha GPS tại giai đoạn tiếp theo cho phép tạo ra một vòng lặp theo của bộ thu có băng thông nhỏ hơn trong một môi trường có tính động cao và kết quả sẽ tăng thêm độ chính xác. Với tốc độ tính toán của các thiết bị hiện nay có hiệu năng cao, việc sử dụng phương pháp tích hợp chặt ngày càng được quan tâm và áp dụng.

**Các thuật toán xử lý**

Có hai loại thuật toán xử lý cơ bản: tập trung và phân tán. Trong thuật toán xử lý tập trung, dữ liệu cảm biến thô được kết hợp xử lý tại trung tâm để tính toán ra vị trí và thường ứng dụng trong kết hợp chặt. Trong xử lý phân tán, bản chất là phương pháp xử lý tuần tự, các bộ xử lý của các hệ thống riêng lẻ sẽ cung cấp các kết quả riêng, sau đó chúng được cấp các mức độ ưu tiên khác nhau để kết hợp lại thông qua một bộ xử lý chính.



*Hình 1: Hệ tích hợp INS/GPS tập trung vòng mở*



*Hình 2: Hệ tích hợp INS/GPS tập trung vòng đóng*



*Hình 3: Hệ tích hợp INS/GPS phân tán vòng mở*



*Hình 3: Hệ tích hợp INS/GPS phân tán vòng đóng*

So sánh giữa hệ GPS/INS tập trung và phân tán:

|  |  |
| --- | --- |
| Tích hợp GPS/INS phân tán | Tích hợp GPS/INS tập trung |
| Gồm bộ thu GPS, IMU và một bộ lọc tích hợp | Gồm bộ thu GPS, IMU và một bộ lọc tích hợp |
| Sử dụng vị trí và vận tốc từ GPS trong mỗi khoảng từ 1-10s | Giải đo của các bộ thu từ mỗi vệ tinh là tốc độ 1 Hz |
| Không có lời giải nếu nhỏ hơn 4 vệ tinh | Tốt nhất là càng nhiều vệ tinh càng tốt |
| Dễ bị ảnh hưởng do nghẽn băng thông | Không bị ảnh hưởng do nghẽn băng thông (do băng thông bám sát giảm) |
| Hiệu suất hoạt động thấp trong trường hợp tính động học cao (các bộ thu có thể bị khoá và mất rất nhiều thời gian để mở khoá pha) | Có độ tin cậy trong trường hợp tính động học cao (với sự trợ giúp của các số đo quán tính, các vòng lặp theo dõi nhanh chóng mở khoá pha) |
| Là phương pháp đơn giản và mềm dẻo (có thể sử dụng với đa cảm biến) | - Rất khó áp dụng với hỗ trợ đa cảm biến (không thể tăng thêm các nguồn thông tin thêm khác) |

**Các hạn chế của tích hợp GPS/INS**

Việc tích hợp các giá trị đo GPS/INS sử dụng bộ lọc Kalman sẽ dẫn đến việc phải bù sai số quán tính, quá trình này phụ thuộc vào tốc độ di chuyển của thiết bị, tốc độ cập nhật và độ chính xác của các cảm biến quán tính. Các sai số cảm biến quán tính có thể phân loại thành 2 nhóm chính là sai số dài hạn và ngắn hạn. Lấy ví dụ, độ chính xác về hướng sẽ thấp đi do các sai số thay đổi nhanh do ảnh hưởng của các nhiễu hệ thống và sự rung xóc làm cho chất lượng tín hiệu GPS nhận được trong thời gian ngắn bị giảm xuống. Chính vì vậy các sai số quán tính trong thời gian ngắn cần phải được xử lý trước khi đưa vào tính toán và tích hợp thông qua một bộ lọc đặt trước đó.

Một hạn chế khác là khi sử dụng bộ lọc Kalman, vấn đề là nó chỉ hoạt động dưới một mô hình đã được định nghĩa trước và dữ liệu đầu ra của cảm biến phải đủ chính xác. Thực tế, việc xây dựng được một mô hình chính xác cho mỗi khối cảm biến quán tính làm việc hiệu quả trong tất cả các trường hợp và phản ánh được các sai số dài hạn của cảm biến là vấn đề khó khăn.

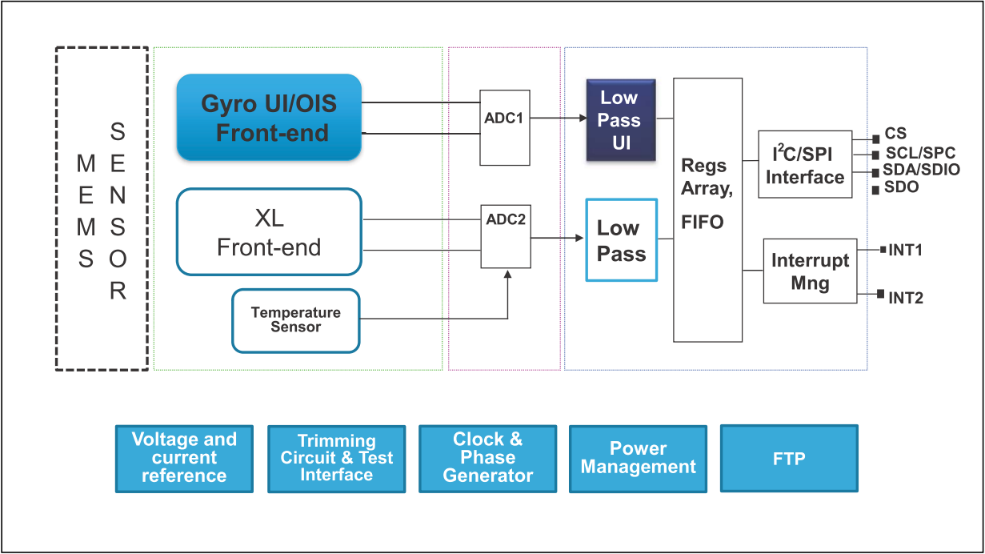
**5. Lựa chọn chip IMU**

Với yêu cầu thiết kế nhỏ gọn, việc lựa chọn các linh kiện nhỏ, tiết kiệm năng lượng và đáp ứng yêu cầu là cần thiết. Trong đề tài, nhóm thực hiện đề tài lựa chọn chip IMU LSM6DSL của hãng STMicroelectronic:



Cảm biến này là một hệ thống được gói gọn trong một chip có hiệu năng cao bao gồm cảm biến gia tốc và con quy hồi chuyển 3 hướng loại kỹ thuật số. Cùng với chế độ tiết kiệm năng lượng có thể giảm mức điện áp xuống còn 0.65 mA khi vẫn đang hoạt động với hiệu suất cao, kết hợp với tính năng thường xuyên duy trì mức năng lượng thấp, khả năng chống nhiễu tốt từ cả cảm biến gia tốc và con quy hồi chuyển. Đây là dòng chip cảm biến có tốt có khả năng phát hiện hướng và chuyển động linh hoạt rất phù hợp dành cho các nhà phát triển ứng dụng lựa chọn.

Dòng cảm biến sử dụng cả 2 giao tiếp I2C và SPI, cùng với cấu trúc các thanh ghi điều khiển cũng như thanh ghi dữ liệu rất đơn giản, thuận tiện cho việc truy xuất dữ liệu cũng như điều khiển hoạt động của cảm biến. Các khối cơ bản của cảm biến như sau:



Các khối cơ bản của cảm biến

Bảng…: Mô tả các chân chức năng của chip IMU

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Chân | Ký hiệu | Loại | Mô tả |
|  |  |  |  |