
HỆ THỐNG DẪN ĐƯỜNG QUÁN TÍNH

INERTIAL NAVIGATION SYSTEM

KS. NGUYỄN QUANG HUY

Học viện Hải quân (Học viên Cao học khoá 2007)

PGS.TS. NGUYỄN VIỆT THÀNH

Trường Đại học Hàng hải

Tóm tắt:

Bài báo giới thiệu các phương pháp dẫn đường truyền thống, khái niệm cơ bản của hệ thống dẫn đường quán tính có đế (Gimbal INS) và không đế (Strapdown INS).

Abstract

This paper presents the traditional methods of navigation, the basic concept of the Gimbal Inertial Navigation System (Gimbal INS) and Strapdown Inertial Navigation System (Strapdown INS).

1. Giới thiệu tổng quan các phương pháp dẫn đường hiện nay

1.1. Dẫn đường bằng mục tiêu (Pilotage):

Phương pháp dẫn đường bằng mục tiêu là phương pháp dẫn đường và xác định vị trí phương tiện giao thông bằng những mục tiêu nhìn thấy. Những mục tiêu nhìn thấy có thể là đỉnh ngọn núi, hải đăng, chập tiêu v.v... Phương pháp dẫn đường bằng mục tiêu là phương pháp cổ xưa và đơn giản nhất.

1.2. Dẫn đường bằng dự tính (Dead reckoning):

Phương pháp dẫn đường dự tính là phương pháp dẫn đường dựa vào vị trí xuất phát ban đầu, tốc độ di chuyển, thời gian và hướng di chuyển để dự tính vị trí của phương tiện. Phương pháp này nếu không có ảnh hưởng của ngoại cảnh như dòng chảy, gió và sóng thì cho độ chính xác cao.

1.3. Dẫn đường bằng thiên văn học (Celestial navigation):

Phương pháp dẫn đường thiên văn học là dựa vào việc quan sát các thiên thể đã biết trên bầu trời như mặt trời, mặt trăng và các vì sao. Phương pháp này sử dụng sextant để đo độ cao và góc giữa các thiên thể, dùng đồng hồ (thời kế) để đo thời gian và dùng lịch thiên văn để tính toán vị trí của tàu. Phương pháp dẫn đường thiên văn học là phương pháp được sử dụng nhiều trong ngành hàng hải trước kia.

1.4. Dẫn đường bằng vô tuyến điện (Radio navigation):

Phương pháp dẫn đường vô tuyến điện là phương pháp sử dụng thiết bị phát sóng vô tuyến điện từ một hoặc một số trạm phát cố định có vị trí đã biết. Tại điểm thu sóng, máy thu sẽ tính toán thời gian, phương vị, khoảng cách đến các trạm phát và kết quả thu được cho ta vị trí máy thu - vị trí người quan sát. Phương pháp sử dụng GPS/GNSS cũng được coi là phương pháp vô tuyến điện, các vệ tinh hệ thống định vị toàn cầu được coi là các trạm phát vô tuyến điện. Hay nói chính xác hơn, chính là các trạm phát vô tuyến điện ở trong vũ trụ (space-based radio wave transmitters). Hiện nay, phương pháp này được sử dụng nhiều nhất trong hàng hải.

1.5. Dẫn đường quán tính (Inertial navigation):

Phương pháp dẫn đường quán tính dựa vào vị trí, vận tốc và động thái ban đầu đã biết của phương tiện. Từ đó, đo tốc độ động thái và gia tốc rồi dùng phương pháp tích phân để tìm ra vị trí của phương tiện. Đây là phương pháp dẫn đường duy nhất không dựa vào thiết bị bảo đảm hàng hải bên ngoài. Nếu phương pháp dẫn đường vô tuyến chịu ảnh hưởng của sóng vô tuyến điện và không sử dụng được trong những khu vực không có sóng thì phương pháp dẫn đường quán tính có thể khắc phục được. Tuy nhiên, sau một thời gian, do ảnh hưởng của nhiều yếu tố, dẫn đường quán tính sẽ xuất hiện sai lệch trong việc xác định vị trí, nếu không có sự điều chỉnh.

Các thành phần cơ bản của một hệ thống dẫn đường quán tính:

INS = IMU + Navigation computer

Trong đó INS: hệ thống dẫn đường quán tính (Inertial Navigation System)

- IMU (có khi còn gọi là IRU) (đơn vị đo quán tính) = Acc + Gyros

+Acc: gia tốc kế (Accelerometer)

+Gyros: con quay (Gyroscope)

- Navigation computer: Máy tính hàng hải làm nhiệm vụ chuyển đổi các hệ tọa độ, tính toán gia tốc trọng trường và thực hiện các thuật toán tích phân.

2. Phân loại hệ thống dẫn đường quán tính

Có 2 kiểu hệ thống dẫn đường quán tính: có đế - Gimbal và không đế - Strapdown:

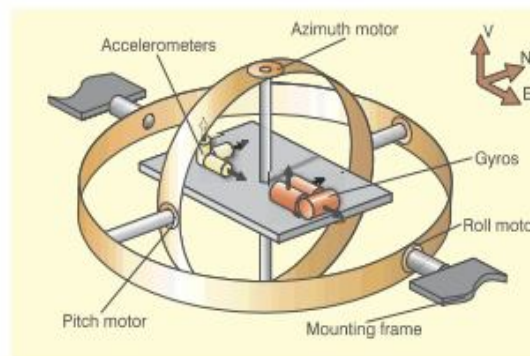
2.1. Kiểu thứ nhất có đế (Gimbal):

Có các cảm biến gia tốc (3 gia tốc kế) và 3 cảm biến góc (con quay 3 bậc tự do) gắn trên đế ổn định. Đế này được treo trong khung các đấng ba bậc tự do. Đế ổn định sẽ độc lập với chuyển động của phương tiện mang nó và 3 trục của đế ổn định luôn luôn không đổi trong suốt quá trình chuyển động mà cụ thể là song song với hệ tọa độ dẫn đường. Con quay góc gắn trên đế sẽ đo bất kỳ sự sai lệch nào về góc của đế so với hệ tọa độ dẫn đường và đầu ra của nó sẽ tác động trở lại đế thông qua lực mômen tác động lên trục các đấng để duy trì đế ổn định. Ưu điểm của những hệ thống kiểu này có độ chính xác rất cao do sử dụng các cảm biến chính xác và do không gắn trực tiếp với vật thể chuyển động nên nguồn tín hiệu đo có độ chính xác cao. Tuy nhiên, hệ thống này đòi hỏi các thiết bị đo rất phức tạp và đắt tiền. Ngoài ra, còn có nhược điểm là khối lượng lớn, khó hiệu chỉnh và thử nghiệm cục bộ.

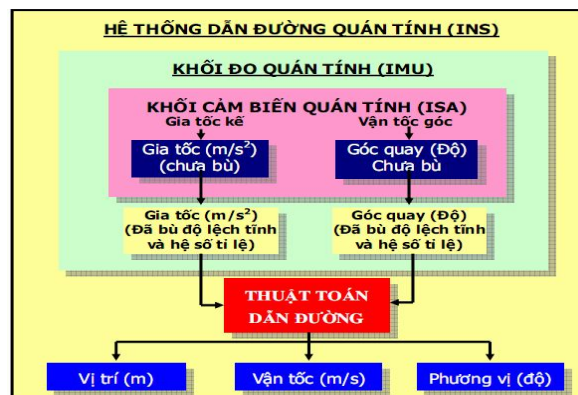
2.2. Kiểu thứ hai (Strapdown):

Sử dụng bộ 3 gia tốc kế và 3 con quay đo tốc độ góc gắn cố định với các trục của phương tiện chuyển động (gắn với hệ tọa độ liên kết nếu là tên lửa). Lúc này, các trục của cảm biến gia tốc và tốc độ góc không được ổn định trong không gian mà sẽ thay đổi theo hướng chuyển động của phương tiện. Các con quay sẽ xác định tốc độ góc quay của hệ tọa độ liên kết với hệ tọa độ dẫn đường. Việc tích phân tiếp theo các tọa độ góc này cho phép tính ra các cosin định hướng xác định vị trí tương đối của các tọa độ vừa nêu và tính chuyển các gia tốc đo được sang các gia tốc dùng trong hệ tọa độ dẫn đường. Cuối cùng, sau khi tích phân chúng trong hệ tọa độ dẫn đường, sẽ nhận được tốc độ và tọa độ của phương tiện. Ưu điểm chính của loại này là cấu trúc đơn giản (không đế), giá thành thấp (ứng dụng công nghệ MEMS) và độ chính xác có thể chấp nhận được. Mặt khác việc tính toán các tọa độ tức thời và góc định hướng được thực hiện hoàn toàn tự động bằng máy tính trên cơ sở đo tốc độ góc quay của hệ tọa độ liên kết và gia tốc theo các trục của nó. Do gắn trực tiếp với phương tiện chuyển động nên các số liệu đo từ các cảm biến đo gia tốc và vận tốc sẽ có sai số lớn hơn so với hệ thống thứ nhất.

Từ lý thuyết, ta có thể lập sơ đồ cho hệ thống dẫn đường quán tính như hình 2.



Hình 1. Hệ có đế (Gimbal).

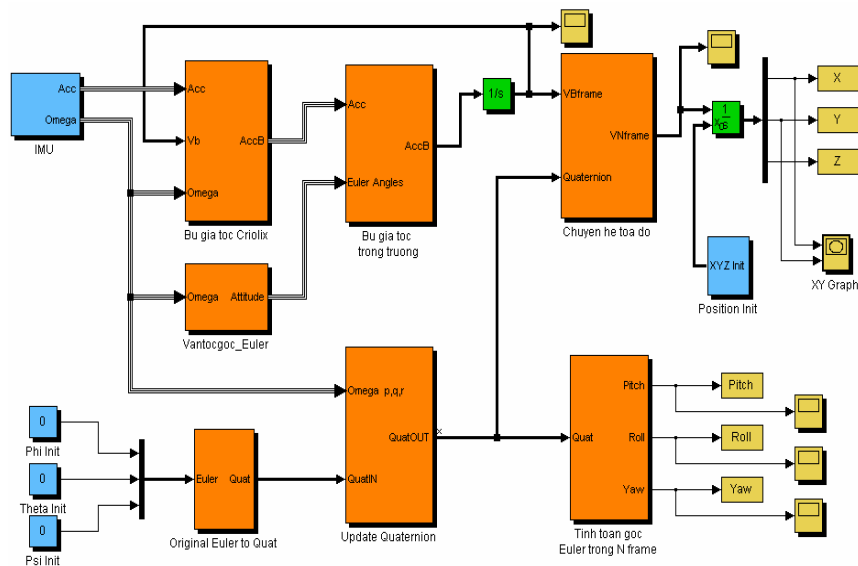


Hình 2. Sơ đồ hệ thống dẫn đường quán tính.

Với công cụ MATLAB/ Simulink, việc mô phỏng hệ thống dẫn đường quán tính theo mô hình dưới đây giúp chúng ta hình dung tổng thể khi đánh giá hệ thống dẫn đường quán tính Strapdown INS và ứng dụng vào thực tế.

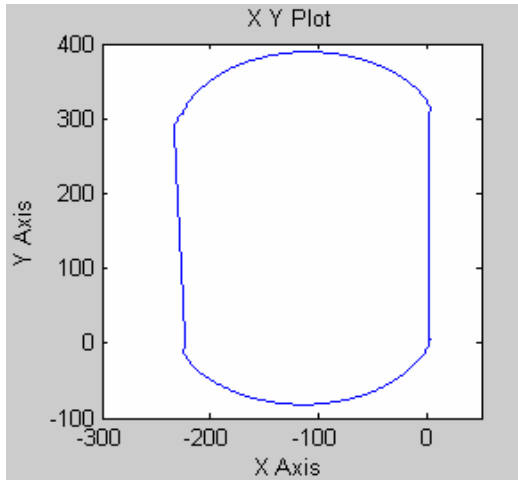
Toàn bộ hệ thống INS sẽ được mô phỏng qua công cụ MATLAB/Simulink bao gồm các khối chính sau:

1. Khối giả lập các tín hiệu cảm biến;
2. Khối bù gia tốc Criolis;
3. Khối tính toán các góc Euler vận tốc góc;
4. Khối bù gia tốc trọng trường;
5. Khối tính toán Quaternion ban đầu từ góc Euler;
6. Khối chuyển từ hệ tọa độ vật thể (body frame) sang hệ tọa độ dẫn đường (navigation frame);
7. Khối update Quaternion;
8. Khối tính toán góc Euler trong hệ tọa độ dẫn đường (N frame).

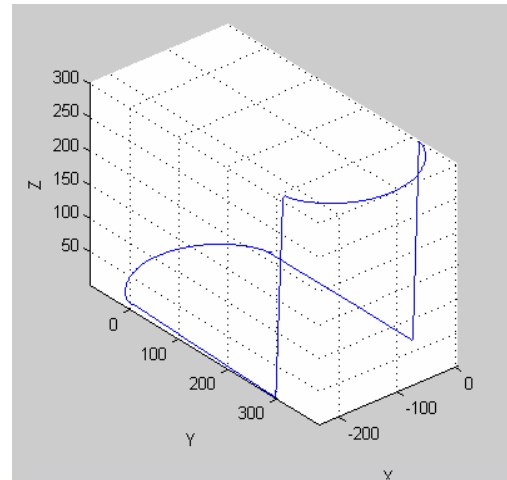


Hình 3. Mô hình hệ thống dẫn đường quán tính Strapdown INS.

Để tiến hành mô phỏng, ta sẽ giả lập các tín hiệu từ 3 bộ cảm biến gia tốc theo 3 trục vật thể chuyển động và 3 bộ cảm biến vận tốc góc cũng theo 3 trục này. Với việc giả lập này ta sẽ tạo nên 1 quỹ đạo định trước. Vì thế ta có thể giả lập các tín hiệu cảm biến tùy ý để tạo nên quỹ đạo mong muốn bằng cách sử dụng khối tạo tín hiệu trong Simulink. Các kết quả tính toán các tham số vị trí, vận tốc, phương vị cũng như quỹ đạo sẽ được biểu diễn dưới dạng đồ thị 2D và 3D. Quá trình mô phỏng bắt đầu tại thời điểm 0 giây và kết thúc ở giây thứ 25 trở về vị trí xuất phát ban đầu là $(X, Y, Z) = (0, 0, 0)$. Hình 4 dưới đây là quỹ đạo 2D cũng là hình chiếu của quỹ đạo 3D (hình 5) lên mặt phẳng OXY.



Hình 4. Quỹ đạo oval dạng 2D.



Hình 5. Quỹ đạo oval dạng 3D.

Quá trình mô phỏng cho thấy quỹ đạo tính toán thể hiện chính xác trên số liệu của các cảm biến lí tưởng. Kết thúc quá trình, đường chuyển động của vật thể trùng hoàn toàn với vị trí ban đầu. Điều này có thể khẳng định tính chính xác của thuật toán dẫn đường mà mô hình đã mô phỏng.

Bằng mô hình đã xây dựng, có thể sử dụng các giá trị đo từ các cảm biến thực để khảo sát các đặc tính của hệ thống dẫn đường quán tính, cho phép đánh giá ảnh hưởng của các tham số của cảm biến đến kết quả tính toán thực tế.

3. Kết luận

Với phương pháp giả lập một tín hiệu cảm biến để xây dựng một quỹ đạo định trước, mô hình mô phỏng đã kiểm tra tính chính xác của thuật toán dẫn đường. Cùng với việc phân tích kết quả mô phỏng cho thấy khả năng sử dụng mô hình như là một công cụ hỗ trợ cho việc nghiên cứu, khảo sát thực nghiệm và giảng dạy trong thực tế. Hệ thống dẫn đường quán tính INS có 2 ưu điểm nổi bật khi so sánh với các hệ thống dẫn đường khác là khả năng hoạt động tự trị và độ chính xác cao trong những khoảng thời gian ngắn. Lỗi nghiêm trọng nhất của hệ thống dẫn đường quán tính INS là do các cảm biến quán tính gây ra. Chính vì thế trong những ứng dụng thời gian dài thì hệ thống dẫn đường quán tính INS thường sử dụng với các hệ thống hỗ trợ khác như hệ thống dẫn đường vô tuyến (Loran, Omega và Tacan), hệ thống dẫn đường vệ tinh (GPS, GLONASS và Transit), JTIDS, DME... Các hệ thống này hoạt động ổn định theo thời gian và vì thế cần tích hợp INS và các hệ thống hỗ trợ này. Sự kết hợp GPS và INS là lý tưởng nhất vì hai hệ thống này có khả năng bù trừ nhau hiệu quả. Hệ thống dẫn đường quán tính không cần thiết bị bảo đảm hàng hải bên ngoài và được định kỳ hiệu chỉnh lại vị trí nhờ các thông số từ GPS: vị trí, tốc độ... để cập nhật và tiếp tục cho vị trí chính xác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Sultan Kocaman, *GPS and INS Integration with Kalman Filtering for Direct Georeferencing of Airborne Imagery*, Institute of Geodesy and Photogrammetry Zurich, 2003.
- [2]. Paul D. Groves, *Principles of GNSS, Inertial and Multisensor Integrated Navigation Systems*, Artech House, 2008.
- [3]. A.D.King, *Inertial Navigation forty years of evolution*, Marconi Electronic systems Ltd, 1998.
- [4] Sherryl H. Stovall, *Basic Inertial Navigation*, Naval Air Warfare Center Weapons Division, September 1997.

Người phản biện: PGS. TS Lê Đức Toàn