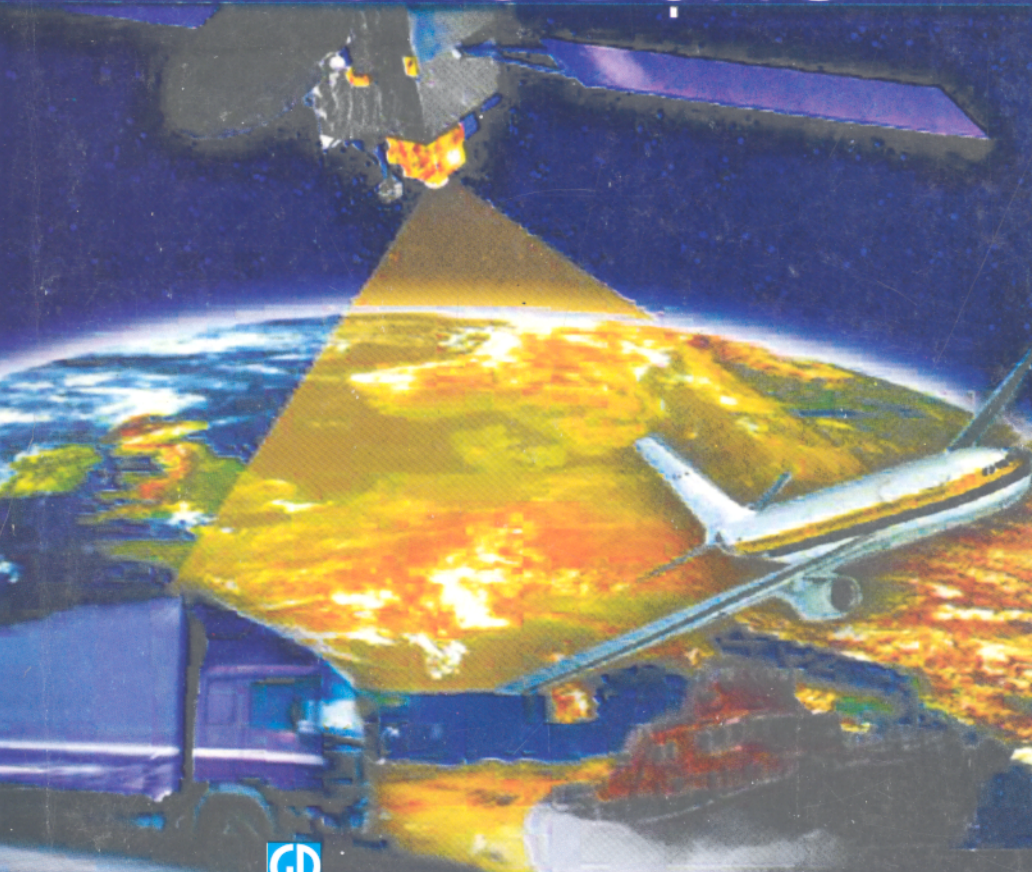


GS. TRẦN MẠNH TUẤN
ThS. ĐÀO THỊ HỒNG DIỆP

CÁC HỆ THỐNG VỆ TINH ĐỊNH VỊ TOÀN CẦU VÀ ỨNG DỤNG



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

GS. TRẦN MẠNH TUẤN
ThS. ĐÀO THỊ HỒNG DIỆP

**CÁC HỆ THỐNG
VỆ TINH ĐỊNH VỊ TOÀN CẦU
VÀ ỨNG DỤNG**

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

Lời nói đầu

Từ thời xa xưa, con người đã sử dụng thiên văn, la bàn và bản đồ để xác định vị trí và tìm đường trong các chuyến thám hiểm khai phá các miền đất lạ. Tuy nhiên phải đến năm 1995, khi các hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu GPS của Mỹ và GLONASS của Nga chính thức đi vào hoạt động, nhu cầu định vị và dẫn đường mới được giải quyết một cách cơ bản. Ngoài mục tiêu quân sự như ý tưởng thiết kế ban đầu, các hệ thống vệ tinh định vị đã được ứng dụng rộng rãi và hiệu quả trong nhiều lĩnh vực dân sự. Ngày nay, công nghệ định vị toàn cầu đã trở thành một ngành công nghiệp có doanh số hàng chục tỷ USD/năm và đang được phát triển mạnh mẽ. Tại nhiều trường đại học công nghệ ở nước ngoài, hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu đã được đưa vào giảng dạy ở một số khoa.

Với mục đích cung cấp thông tin, giúp bạn đọc có tài liệu tham khảo phục vụ cho việc nghiên cứu, ứng dụng và giảng dạy, cuốn sách "Các hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu và ứng dụng" được biên soạn gồm 5 chương. Chương 1 giới thiệu chung về các hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu và một số khái niệm cơ bản liên quan. Chương 2 giới thiệu sâu về hệ thống GPS của Mỹ, nhiều khái niệm và kỹ thuật trình bày trong chương này cũng được dùng tương tự trong các hệ thống vệ tinh định vị khác. Chương 3 và chương 4 tập trung giới thiệu những đặc thù của hệ thống GLONASS của Nga và hệ thống Galileo của Ủy ban châu Âu. Chương 5 giới thiệu các ứng dụng của hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu.

Hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu là một ví dụ tiêu biểu cho sự kết hợp giữa nghiên cứu cơ bản với nghiên cứu ứng dụng và phát triển công nghệ. Thật vậy, khi các nhà vật lý nghiên cứu về bản chất của vũ trụ, họ không thể hình dung các kết quả lý thuyết của họ sẽ được ứng dụng và góp phần hình thành một ngành công nghiệp lớn như ngày nay.

Năm 1944, nhà vật lý I.I. Rabi được nhận giải thưởng Nobel về phát minh cộng hưởng từ. Năm 1949, nhà vật lý Norman Ramsey – học trò của Rabi cũng được nhận giải thưởng Nobel do đã tạo ra đồng hồ nguyên tử chính xác đến một phần tỷ giây trên cơ sở phát triển kết quả của Rabi. Một hệ thống các vệ tinh nhân tạo có lắp đặt đồng hồ nguyên tử bay ở quỹ đạo trung bình cùng với các máy thu tín hiệu và phần mềm xử lý đã hình thành nên một công nghệ mới – công nghệ định vị toàn cầu hay công nghệ định vị nhờ vệ tinh.

Sách được biên soạn trên cơ sở các giáo trình của nước ngoài và các tài liệu trên Internet. Đây là lĩnh vực công nghệ cao, mang tính liên ngành, với nhiều nội dung chuyên sâu. Trong khuôn khổ có hạn của cuốn sách, chúng tôi tập trung trình bày các khái niệm, kết quả và thuật toán cơ bản cùng với những ứng dụng chính của các hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu. Vì nhiều nguyên nhân khác nhau, cuốn sách này không tránh khỏi những thiếu sót. Một số thuật ngữ đặc thù trong lĩnh vực định vị nhờ vệ tinh, do chưa thống nhất chọn được tiếng Việt thích hợp, nên chúng tôi ghi chú thêm tiếng Anh để tiện đối chiếu. Rất mong được sự đóng góp ý kiến của các bạn đọc qua các hộp thư điện tử sau: tmtuan@vast.ac.vn và dtthdao@gmail.com.

CÁC TÁC GIẢ

MỤC LỤC

Trang

LỜI NÓI ĐẦU.....	3
------------------	---

Chương 1

GIỚI THIỆU CHUNG CÁC HỆ THỐNG VỆ TINH ĐỊNH VỊ TOÀN CẦU

1.1. Định nghĩa và sơ lược về quá trình phát triển	9
1.2. Nguyên tắc chung của hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu	12
1.3. Hệ quy chiếu tọa độ	15
1.3.1. Hệ tọa độ gắn với Trái Đất	16
1.3.2. Hệ tọa độ gắn với vũ trụ.....	17
1.3.3. Hệ tọa độ địa phương.....	18
1.3.4. Ellipsoid, hệ tọa độ địa lý và Geoid	19
1.4. Hệ chuẩn thời gian	23
1.4.1. Thời gian thiên văn	25
1.4.2. Thời gian nguyên tử	25
1.5. Quỹ đạo vệ tinh	26

Chương 2

HỆ THỐNG GPS

2.1. Cơ cấu hệ thống GPS.....	31
2.1.1. Phần vũ trụ: chùm vệ tinh GPS	33
2.1.2. Phần điều khiển: các trạm điều khiển mặt đất	34
2.1.3. Phần người sử dụng	35

2.2. Tín hiệu của hệ thống GPS	37
2.3. Máy thu tín hiệu GPS	44
2.4. Các phép đo tín hiệu vệ tinh và tổ hợp của chúng nhằm xác định vị trí và tốc độ của máy thu	47
2.4.1. Phép đo mã	48
2.4.2. Phép đo pha của sóng mang	49
2.4.3. Phép đo Doppler	51
2.4.4. Sai phân các phép đo trong kỹ thuật DGPS	52
2.4.5. Tổ hợp tuyến tính của các giá trị đo pha khác tần số	59
2.5. Các nguồn sai số của phép đo tín hiệu vệ tinh định vị toàn cầu	65
2.5.1. Các sai số do vệ tinh	67
2.5.2. Các sai số khi truyền tín hiệu	69
2.5.3. Sai số do máy thu	89
2.6. Xác định vị trí, vận tốc và thời gian (PVT) của máy thu dùng các phép đo tín hiệu vệ tinh	89
2.6.1. Xác định vị trí máy thu	89
2.6.2. Xác định vận tốc máy thu	91
2.6.3. Phương pháp ước lượng bình phương tối thiểu	92
2.6.4. Phương pháp ước lượng dùng lọc Kalman	93
2.6.5. Ước lượng thời gian với tín hiệu định vị	95
2.6.6. Xác định giá trị số nguyên chưa biết và kết quả định vị với phép đo pha	95
2.6.7. Khái niệm DOP	98
2.7. Kỹ thuật DGPS kép và phương pháp định vị với độ chính xác cao	101
2.7.1. DGPS địa phương (LADGPS)	103
2.7.2. DGPS trên diện rộng (WADGPS)	105

Chương 3 HỆ THỐNG GLONASS

3.1. Hệ thống GLONASS	108
3.2. Tín hiệu của hệ thống GLONASS và những khác biệt so với hệ thống GPS	108
3.3. Chương trình phát triển của GLONASS trong tương lai	109

Chương 4 HỆ THỐNG GALILEO

4.1. Chương trình Galileo.....	111
4.2. Các dịch vụ dân sự của hệ thống Galileo.....	112
4.3. Cơ cấu của hệ thống Galileo.....	115

Chương 5 ỨNG DỤNG CỦA HỆ THỐNG VỆ TINH ĐỊNH VỊ TOÀN CẦU

5.1. Quân sự.....	121
5.2. Trắc địa, bản đồ, đo đạc địa chấn	123
5.3. Giao thông, vận tải.....	124
5.4. Dịch vụ cung cấp thông tin dựa trên vị trí khách hàng.....	129
5.5. Tìm kiếm và cứu hộ	133
5.6. Thể thao và giải trí	133
5.7. Nông nghiệp.....	135
5.8. Tích hợp GPS.....	136
5.9. Ứng dụng hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu tại Việt Nam ..	137
TÀI LIỆU THAM KHẢO	141

Chương 1

GIỚI THIỆU CHUNG CÁC HỆ THỐNG VỆ TINH ĐỊNH VỊ TOÀN CẦU

1.1. Định nghĩa và sơ lược về quá trình phát triển

Hiện nay, trên thế giới có ba hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu là: Hệ thống NAVSTAR (**N**avigation **S**ignal **T**iming and **R**anging) của Mỹ thường được biết đến với tên ngắn gọn hơn “Hệ thống định vị toàn cầu GPS (**G**lobal **P**ositioning **S**ystem)”; Hệ thống GLONASS (**G**lobalnaya **N**avigatsionnaya **S**putnikovaya **S**istema – **G**lobal **N**avigation **S**atellite **S**ystem) của Nga và hệ thống Galileo của Ủy ban châu Âu, trong đó hai hệ thống đầu đã đưa vào sử dụng chính thức từ năm 1995, hệ thống thứ ba đang được xây dựng. Mặc dù được phát triển độc lập và có một số khác biệt về mặt kỹ thuật, cả ba hệ thống này đều có mục đích xác định vị trí, vận tốc và thời gian (Positioning, Velocity and Time – PVT) của anten gắn liền với máy thu tín hiệu vệ tinh định vị.

Khái niệm *định vị* (positioning) dùng để chỉ khả năng xác định được vị trí của một đối tượng gắn với một hệ tọa độ không gian nhất định. Khái niệm *dẫn đường* (navigation) còn được gọi là đạo hàng, nhằm chỉ khả năng có thể dẫn dắt một đối tượng dịch chuyển trong không gian từ điểm A đến điểm B. Để dẫn đường một đối tượng, trước hết phải định vị được đối tượng đó. Vì vậy, trong một vài tài liệu như [12, 14, 25] người ta đồng nhất khái niệm định vị

với khái niệm dẫn đường và hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu còn được xem như đồng nhất với khái niệm hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu (Global Navigation Satellite System – GNSS). Tuy nhiên, cũng có định nghĩa hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu chặt chẽ hơn. Theo [26], hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu trước hết phải là một hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu, ngoài ra phải có thêm các tính chất sau: cung cấp thông tin dẫn đường theo thời gian thực, đạt được độ chính xác quy định để dẫn đường an toàn (Bộ Giao thông Mỹ quy định: khi dẫn đường cho máy bay hạ cánh, độ chính xác theo chiều ngang là 4,1 m và theo chiều cao là 0,6 m) và khả năng đánh giá kịp thời độ chính xác định vị. Nếu theo đúng cách định nghĩa này thì hiện tại vẫn chưa tồn tại hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu mà chỉ có hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu. Sau này, khi hệ thống Galileo hoạt động, việc sử dụng đồng thời hai hệ thống GPS và Galileo sẽ cho ta một hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu theo nghĩa chặt.

Công nghệ định vị toàn cầu (GPS Technology) là khái niệm bao gồm: các phương pháp và kỹ thuật định vị; hệ thống vệ tinh định vị, máy thu tín hiệu định vị và các phần mềm xử lý liên quan. Công nghệ định vị toàn cầu còn được gọi là công nghệ định vị nhờ vệ tinh, vì vệ tinh là thành phần quan trọng nhất để tạo khả năng định vị toàn cầu.

Quá trình phát triển của công nghệ định vị có thể chia thành ba giai đoạn:

i) *Giai đoạn trước Chiến tranh thế giới thứ II*: Trong giai đoạn này khả năng định vị và định hướng phụ thuộc chủ yếu vào việc quan sát các vì sao khi trời quang đãng hay la bàn kết hợp với bản đồ.

ii) *Giai đoạn Chiến tranh thế giới thứ II*: Người ta phát triển các hệ thống mặt đất định vị vô tuyến như GEE tại Anh để định vị cho

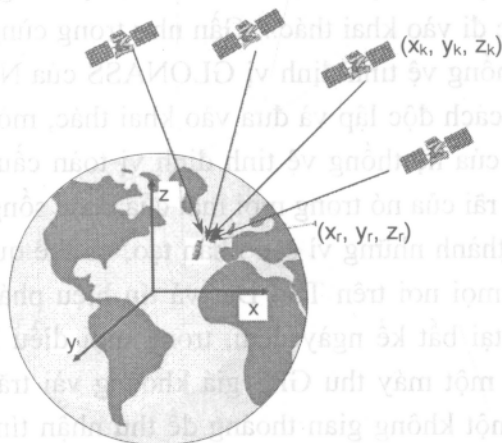
máy bay và hệ thống LORAN (Long-range navigation system) tại Mỹ để định vị tàu thủy.

iii) Giai đoạn từ nửa sau của thế kỷ XX đến nay: Sự phát triển vượt bậc của các lĩnh vực công nghệ vệ tinh, vi điện tử, cùng với các kết quả nghiên cứu thành công về dải phổ băng tần và tiêu chuẩn thời gian nguyên tử đã tạo ra những điều kiện để thực hiện ý tưởng định vị nhờ vệ tinh. Hệ Transit hoạt động từ năm 1967, lúc đầu mang tên hệ thống vệ tinh định vị cho hải quân. Hệ được thực hiện nhờ 4 – 7 vệ tinh bay ở quỹ đạo thấp (1.100 km), mỗi vệ tinh phát tín hiệu với tần số 150 MHz và 400 MHz. Transit được dùng để định vị các tàu ngầm của Mỹ mang đầu đạn hạt nhân Polaris cho đến khi ngừng hoạt động vào năm 1996. Sự thành công của hệ Transit đã thúc đẩy hình thành hệ thống GPS. Năm 1973, dự án xây dựng hệ Navstar GPS được Bộ Quốc phòng Mỹ phê duyệt. Vệ tinh đầu tiên của hệ GPS được phóng năm 1978 và đến năm 1993 quả vệ tinh thứ 24 (quả cuối cùng của hệ thống GPS) được phóng lên quỹ đạo. Tuy nhiên phải đến năm 1995, hệ thống GPS của Mỹ mới chính thức đi vào khai thác... Gần như trong cùng khoảng thời gian trên, hệ thống vệ tinh định vị GLONASS của Nga cũng được xây dựng một cách độc lập và đưa vào khai thác, mở đầu cho thời kỳ hoàng kim của hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu và khả năng ứng dụng rộng rãi của nó trong mọi mặt của cuộc sống. Các vệ tinh định vị đã trở thành những vì sao nhân tạo, có thể quan sát thấy ở hầu như khắp mọi nơi trên Trái Đất và tín hiệu phát ra từ chúng luôn luôn tồn tại bất kể ngày đêm, trong mọi điều kiện khí hậu. Ngày nay, với một máy thu GPS giá khoảng vài trăm USD, một bản đồ số và một không gian thoáng để thu nhận tín hiệu, bạn sẽ chẳng thể lạc đường. Hoặc với yêu cầu định vị cao hơn thế nữa,

bạn có thể mua hai máy thu GPS với giá khoảng vài chục ngàn USD cùng với sự thận trọng trong phân tích tín hiệu, bạn có thể theo dõi sự dịch chuyển của mặt đất chính xác tới vài milimét.

1.2. Nguyên tắc chung của hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu

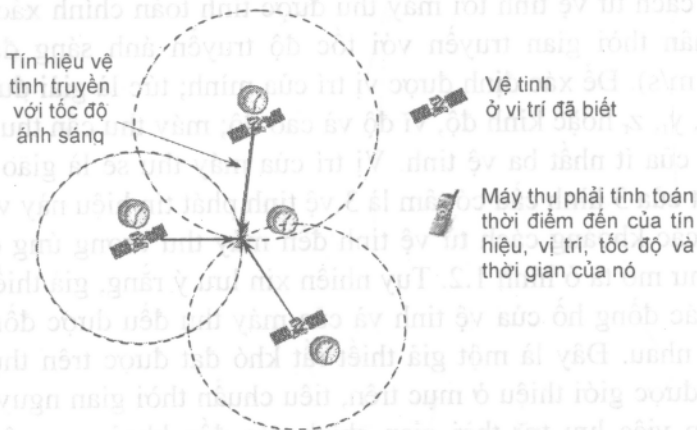
Các hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu đều hoạt động trên nguyên tắc sử dụng phép đo khoảng cách từ vệ tinh đến máy thu dựa trên giả thiết về sự đồng bộ hoá thời gian giữa các vệ tinh và máy thu. Các vệ tinh định vị toàn cầu liên tục phát đi các tín hiệu chứa đựng mã riêng biệt của vệ tinh, thông tin về vị trí và vận tốc của vệ tinh tại thời điểm truyền tín hiệu. Để xác định được vị trí của mình, máy thu phải thu nhận được các tín hiệu vệ tinh mà không có khả năng phát tín hiệu gì ngược trở lại cho các vệ tinh, như được mô tả ở hình 1.1. Việc thu nhận tín hiệu vệ tinh đối với các ứng dụng dân sự là miễn phí; liên tục bảy ngày một tuần, 24 giờ một ngày; không chịu ảnh hưởng nặng nề của thời tiết.



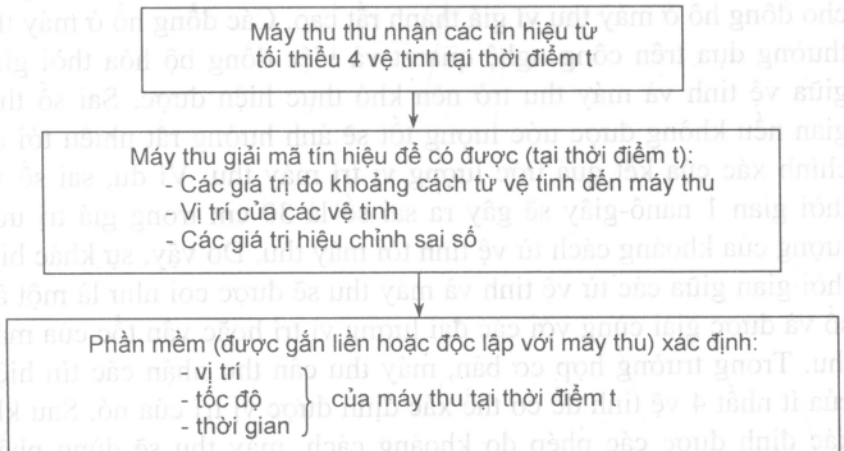
Hình 1.1. Mô tả việc thu nhận tín hiệu giữa vệ tinh và máy thu

Giả thiết rằng, các đồng hồ vệ tinh và đồng hồ máy thu được đồng bộ hóa, máy thu sẽ có thể tính toán được chính xác thời gian truyền tín hiệu dựa trên thông tin về thời điểm bắt đầu phát tín hiệu trong dữ liệu định vị (navigation data) được phát xuống cho máy thu và thời điểm thu nhận được tín hiệu tại máy thu. Từ đó, khoảng cách từ vệ tinh tới máy thu được tính toán chính xác bằng cách nhân thời gian truyền với tốc độ truyền ánh sáng đã biết (3×10^8 m/s). Để xác định được vị trí của mình; tức là giải được ba ẩn số x_r , y_r , z_r hoặc kinh độ, vĩ độ và cao độ; máy thu cần thu được tín hiệu của ít nhất ba vệ tinh. Vị trí của máy thu sẽ là giao điểm duy nhất của 3 hình cầu có tâm là 3 vệ tinh phát tín hiệu này và bán kính là các khoảng cách từ vệ tinh đến máy thu tương ứng đã đo được, như mô tả ở hình 1.2. Tuy nhiên xin lưu ý rằng, giả thiết ban đầu là các đồng hồ của vệ tinh và của máy thu đều được đồng bộ hoá với nhau. Đây là một giả thiết rất khó đạt được trên thực tế. Như đã được giới thiệu ở mục trên, tiêu chuẩn thời gian nguyên tử cho phép việc lưu trữ thời gian chính xác đến khoảng nanô-giây. Công nghệ này đang được sử dụng cho các đồng hồ lắp đặt tại các vệ tinh. Tuy nhiên, công nghệ này không được sử dụng rộng rãi cho đồng hồ ở máy thu vì giá thành rất cao. Các đồng hồ ở máy thu thường dựa trên công nghệ quartz và việc đồng bộ hóa thời gian giữa vệ tinh và máy thu trở nên khó thực hiện được. Sai số thời gian nếu không được ước lượng tốt sẽ ảnh hưởng rất nhiều tới độ chính xác của kết quả ước lượng vị trí máy thu. Ví dụ, sai số về thời gian 1 nanô-giây sẽ gây ra sai số là 30 cm trong giá trị ước lượng của khoảng cách từ vệ tinh tới máy thu. Do vậy, sự khác biệt thời gian giữa các từ vệ tinh và máy thu sẽ được coi như là một ẩn số và được giải cùng với các đại lượng vị trí hoặc vận tốc của máy thu. Trong trường hợp cơ bản, máy thu cần thu nhận các tín hiệu của ít nhất 4 vệ tinh để có thể xác định được vị trí của nó. Sau khi xác định được các phép đo khoảng cách, máy thu sẽ dùng phần mềm tương ứng để xác định vị trí, vận tốc và thời gian. Quy trình

xác định vị trí, tốc độ và thời gian của máy thu được mô tả ở hình 1.3 tại mỗi thời điểm t (epoch t). Trong trường hợp anten thu tín hiệu ở trạng thái tĩnh, vị trí tĩnh của nó trong toàn bộ khoảng thời gian thu tín hiệu là giá trị trung bình của các vị trí ước lượng được tại mọi thời điểm.



Hình 1.2. Nguyên tắc xác định vị trí, tốc độ và thời gian của máy thu dùng hệ thống vệ tinh định vị



Hình 1.3. Quy trình định vị của hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu

Để tính toán ước lượng vị trí và thời gian của máy thu tín hiệu định vị, người ta thường dùng phương pháp ước lượng bình phương tối thiểu hoặc lọc Kalman. Cơ sở toán học của hai phương pháp này sẽ được trình bày ở trong chương sau. Trước khi đi vào các hệ thống định vị toàn cầu cụ thể, phần cuối của chương 1 đề cập tới một số khái niệm liên quan.

1.3. Hệ quy chiếu tọa độ

Khái niệm tọa độ và định nghĩa của các hệ tọa độ là rất quan trọng trong công nghệ định vị và ngành khoa học đạo hàng. Vị trí của các điểm trong không gian được biểu diễn bằng tọa độ của chúng. Trong vũ trụ bao la, vị trí của một đối tượng chỉ có nghĩa về mặt toán học và không gian khi được gắn trên một hệ tọa độ nhất định. Vị trí của cùng một vật, nhưng được chiếu lên các hệ tọa độ khác nhau thì sẽ có giá trị khác nhau. Trong ngành khoa học đạo hàng, cơ sở dữ liệu thông tin chủ yếu là vị trí của các điểm và mối quan hệ không gian giữa chúng. Do vậy, việc biểu diễn vị trí của các điểm lên cùng một hệ tọa độ là điều kiện cơ sở toán học đầu tiên không thể thiếu. Ví dụ, trong hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu, khoảng cách từ vệ tinh tới máy thu phải được xác định và việc này đòi hỏi vị trí của cả vệ tinh và máy thu phải được quy chiếu trên cùng một hệ tọa độ. Tương tự như vậy, mối quan hệ không gian của hai điểm trên mặt đất chỉ có thể biểu diễn được bằng toán học khi vị trí của chúng được quy chiếu trên cùng một hệ tọa độ.

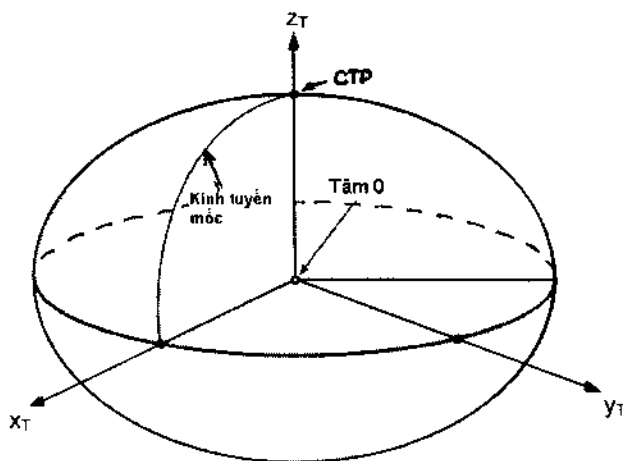
Việc định nghĩa một cách rõ ràng và chính xác các hệ tọa độ trong không gian là việc quan trọng để định vị được một cách chính xác. Có ba loại hệ tọa độ cần phải được phân biệt một cách rõ ràng trong công nghệ định vị là: (i) Hệ tọa độ gắn với Trái Đất (Conventional Terrestrial Reference System – CTRS hay còn được

gọi là Earth-centered Earth-fixed); (ii) Hệ toạ độ gắn với vũ trụ (Conventional Inertial Reference System – CIRS hay còn được gọi là Earth-centred Space-fixed) và (iii) Hệ toạ độ địa phương (Local Coordinate System hay còn được gọi là hệ toạ độ nằm ngang [15]).

1.3.1. Hệ toạ độ gắn với Trái Đất (CTRS)

Hệ toạ độ này được mô tả ở hình 1.4, trong đó T là ký hiệu cho Terrestrial, được định nghĩa cụ thể như sau:

- Tâm O đặt tại tâm của Trái Đất.
- Mặt phẳng cơ sở là mặt phẳng Xích đạo.
- Trục z gắn với trục tự quay của Trái Đất.
- Trục x đi qua giao điểm kinh tuyến mốc (kinh tuyến đi qua Greenwich đặt tại Anh) với mặt phẳng Xích đạo.
- Trục y nằm trên mặt phẳng Xích đạo, về phía phải và vuông góc với trục x.



Hình 1.4. Hệ toạ độ gắn với tâm Trái Đất

558.

Một lưu ý cần thiết đối với hệ toạ độ này là trục quay của Trái Đất, tức là trục z của hệ toạ độ, không cố định hoàn toàn mà chuyển động theo một đường gần tròn có đường kính khoảng 15 m như đã ước lượng được trong vòng một thế kỷ qua [14]. Để khắc phục hiện tượng này, vị trí trung bình của trục quay Trái Đất từ năm 1900 đến năm 1905 đã được tính toán và dùng làm vị trí chuẩn của trục z_T (trong tiếng Anh còn được gọi là Conventional Terrestrial Pole – CTP).

1.3.2. Hệ toạ độ gắn với vũ trụ (CIRS)

Nhằm đáp ứng nhu cầu tính toán và xác định quỹ đạo của các vệ tinh quay quanh Trái Đất, hệ toạ độ có tâm đặt tại tâm của Trái Đất nhưng gắn với vũ trụ được xây dựng. Hệ toạ độ này phải thoả mãn yêu cầu là một hệ cố định trong vũ trụ, hoặc chuyển động với một vận tốc cố định để việc mô phỏng sự chuyển động của các vệ tinh quanh Trái Đất có thể thực hiện được. Nói một cách khác, các vệ tinh định vị quay quanh Trái Đất có thể tuân theo các định luật Newton về chuyển động và hấp dẫn trong hệ toạ độ gắn với vũ trụ này. Hệ toạ độ này được định nghĩa như sau:

- Tâm O đặt tại tâm Trái Đất.
- Mặt phẳng cơ sở là mặt phẳng Xích đạo.
- Trục z gắn với trục tự quay của Trái Đất.
- Trục x hướng tới điểm xuân phân (vernal equinox).
- Trục y nằm trên mặt phẳng Xích đạo, về phía phải và vuông góc với trục x .

Định nghĩa này của hệ toạ độ gắn với vũ trụ trên thực tế không đáp ứng được yêu cầu nêu trên, vì Trái Đất chuyển động quanh

Mặt Trời; và do vậy, hệ sẽ chuyển động quanh Mặt Trời với vận tốc thay đổi. Tuy nhiên, hệ toạ độ này vẫn có thể được coi là gần cố định trong một khoảng thời gian ngắn sau khi cả ba trục x , y , z được xác định đồng thời. Ngoài ra, trục quay của Trái Đất không cố định so với các ngôi sao ở cách xa Trái Đất, đặc trưng bởi hiện tượng tiến động (precession) và chương động (nutation) do Trái Đất không phải là một hình cầu đồng nhất. Tuy nhiên, thật may mắn là ảnh hưởng của cả hai hiện tượng trên đều có thể xác định được chính xác.

1.3.3. Hệ toạ độ địa phương

Khác với các hệ toạ độ đã trình bày ở trên, hệ toạ độ địa phương được xây dựng nhằm đơn giản hoá cách biểu thị vị trí tương quan của các điểm so với nhau. Hệ toạ độ địa phương được định nghĩa như sau:

- Tâm O đặt tại vị trí quan sát.
- Mặt phẳng cơ sở là mặt phẳng đường chân Trời tại vị trí quan sát.
- Trục z hướng theo hướng Thiên đỉnh (Up).
- Trục x hướng theo hướng Bắc (North).
- Trục y hướng theo hướng Đông (East).

Vị trí của đối tượng trong hệ toạ độ này có thể được xác định bằng khoảng cách từ vị trí quan sát theo phương Bắc, theo phương Đông và theo phương Thiên đỉnh hoặc dùng hai góc gọi là góc phương vị (azimuth angle) và góc ngẩng (elevation angle). Góc phương vị là góc nằm trong mặt phẳng đường chân trời tính theo chiều kim đồng hồ từ hướng Bắc tới mặt phẳng trục giao đi qua đối tượng. Góc ngẩng là góc nâng của đối tượng phía trên mặt phẳng

đặt tại tâm của Trái Đất, có trục quay trùng với trục z_T . Kích thước của ellipsoid được đặc trưng bởi bán trục lớn a (semi-major) và bán trục nhỏ b (semi-minor). Độ lệch tâm e được tính bằng $(a^2 - b^2)/a^2$. Ngoài ra, khái niệm độ dẹt của ellipsoid được ký hiệu là $f = (a - b)/b$ cũng được sử dụng rộng rãi để định nghĩa một ellipsoid. Vì mặt địa hình của Trái Đất là không đồng đều nên việc xây dựng một ellipsoid có bề mặt trùng khít hoàn toàn với bề mặt địa hình toàn cầu là không thể thực hiện được. Do vậy, mỗi quốc gia thường dùng ellipsoid có bề mặt phù hợp nhất với bề mặt địa hình của mình. Bảng 1.1 cho giá trị bán trục lớn và độ dẹt của một số ellipsoid thông dụng nhất trên thế giới. Trước năm 1975, miền Bắc Việt Nam sử dụng ellipsoid Kraxovski cho hệ thống tọa độ HN-72, trong khi miền Nam Việt Nam sử dụng ellipsoid Everest trong trắc địa đo đạc. Ngày nay, toàn Việt Nam đang sử dụng một ellipsoid được xây dựng trên WGS84 (Ellipsoid World Geodetic System xây dựng năm 1984) phù hợp với địa hình nước ta, làm cơ sở cho hệ tọa độ VN-2000. Hệ thống vệ tinh định vị GPS dùng WGS84 để làm cơ sở cho hệ tọa độ GPS [16].

Bảng 1.1. Một số ellipsoid thông dụng

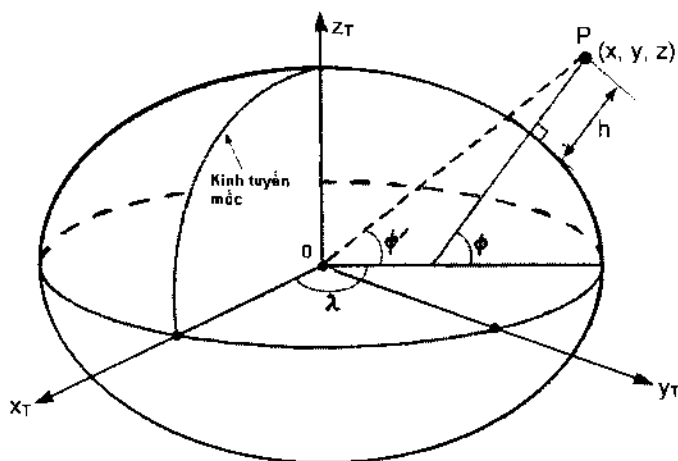
Tên	Năm	Bán trục lớn (m)	Độ dẹt
WGS84	1984	6378137	1/298,3
Everest	1830	6377296	1/300,8
Kraxovski	1940	6378245	1/298,3

1.3.4.2. Hệ tọa độ địa lý (Geographical Coordinate System)

Bây giờ ta có thể định nghĩa hệ tọa độ địa lý (thường được gọi trong tiếng Anh là Geographical Coordinate System hoặc Geodetic

Coordinate System hoặc ellipsoidal Coordinate System) của một điểm P gắn trên một ellipsoid nhất định nào đó như sau (hình 1.6):

- Kinh độ (λ) là góc nhị diện hợp bởi mặt phẳng kinh tuyến mốc qua Greenwich với mặt phẳng chứa kinh tuyến đi qua điểm P. Nếu điểm P nằm ở phía đông của kinh tuyến mốc sẽ có kinh độ đông, còn nếu nằm ở phía tây kinh tuyến mốc sẽ có kinh độ tây. Trị số kinh độ có giá trị từ 0 đến 180° .
- Vĩ độ (ϕ) là góc nằm trong mặt phẳng kinh tuyến chứa điểm P, được tạo bởi mặt phẳng Xích đạo của ellipsoid và đường vuông góc với ellipsoid tại điểm P.
- Cao độ (h) được đo dọc theo đường thẳng vuông góc với ellipsoid đi qua điểm P.



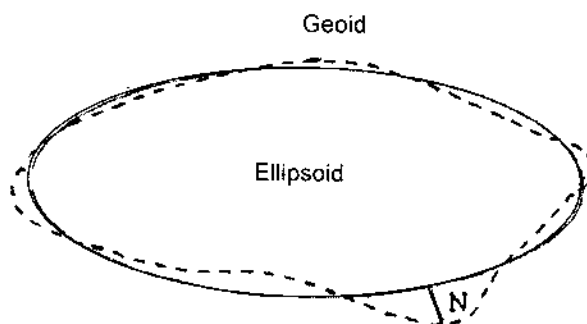
Hình 1.6. Toạ độ xyz và toạ độ địa lý của một điểm P

Một lưu ý là, do Trái Đất không phải là một hình cầu đều, đường vuông góc với ellipsoid qua điểm P không đi qua tâm O của Trái Đất. Vĩ độ tạo bởi mặt phẳng Xích đạo của ellipsoid và đường

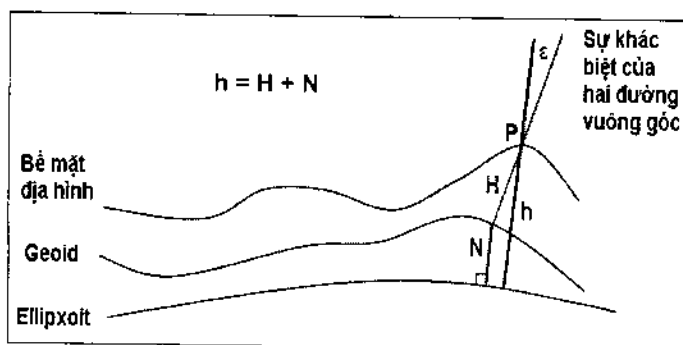
nổi từ điểm xét tới tâm O được gọi là vĩ độ địa tâm. Việc biểu diễn toạ độ của một điểm bằng toạ độ địa lý thông qua giá trị của kinh độ, vĩ độ và cao độ; nó cho phép việc hình dung phán đoán ngay lập tức vị trí của điểm này trên bề mặt Trái Đất, trong khi khả năng này là khó thực hiện được với toạ độ x, y, z .

1.3.4.3. Geoid và định nghĩa về độ cao tuyệt đối

Độ cao như vừa được định nghĩa ở trên đối với toạ độ địa lý của một điểm là độ cao so với bề mặt ellipsoid. Tuy nhiên, ellipsoid như chúng ta đã biết chỉ là một mô hình toán học của Trái Đất được dựng nên để thuận tiện cho việc mô hình hoá Trái Đất, không mang bất kỳ một đặc trưng vật lý nào và có thể thay đổi theo quy định riêng của từng nơi trên mặt đất. Do vậy, khái niệm độ cao tuyệt đối của một điểm được định nghĩa là độ cao của điểm đó so với mặt nước biển tĩnh (sea level) hay còn được gọi một cách chính xác hơn là so với mặt Geoid. Theo định nghĩa, Geoid là khối vật thể bao bọc bởi mặt nước đại dương trung bình ở trạng thái yên tĩnh trải dài xuyên qua các lục địa để tạo thành một mặt cong khép kín gọi là mặt thủy chuẩn của Trái Đất [16]. Bề mặt của Geoid luôn luôn vuông góc với hướng trọng lực của Trái Đất. Tại mỗi điểm trên Trái Đất, Geoid và mặt ellipsoid không hoàn toàn trùng khít như được mô tả ở hình 1.7. Độ cao Geoid (Geoidal height) N tại một điểm trên Geoid được xác định bằng chiều dài đường vuông góc với ellipsoid tại điểm đó, như được mô tả ở hình 1.8. Tại mỗi điểm P trên bề mặt Trái Đất, độ cao tuyệt đối H của nó so với Geoid (tức là so với bề mặt nước biển) có thể được tính toán nếu biết độ cao của nó so với ellipsoid và độ cao chênh lệch giữa ellipsoid đó và Geoid.



Hình 1.7. Ellipsoid và Geoid trong mối tương quan



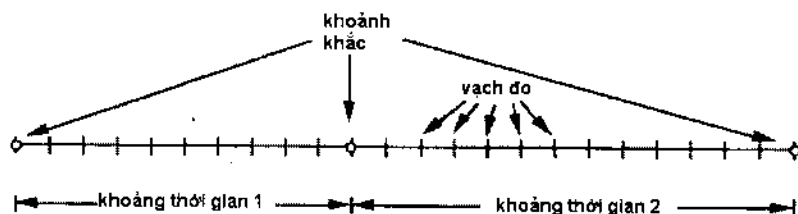
Hình 1.8. Định nghĩa độ cao trên Geoid và trên ellipsoid (trong đó N là độ cao chênh lệch của Geoid và ellipsoid, còn gọi là độ cao Geoid; H là độ cao tuyệt đối của một điểm so với Geoid và h là độ cao của một điểm so với ellipsoid)

1.4. Hệ chuẩn thời gian

Hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu cần có một hệ chuẩn thời gian chính xác và ổn định làm cơ sở cho các phép đo. Khả năng có thể đồng bộ hoá về thời gian một cách chính xác cho các tín hiệu phát ra từ các vệ tinh chính là cơ sở hoạt động quan trọng nhất của các hệ thống định vị nhờ vệ tinh. Phép đo khoảng cách từ vệ tinh tới máy thu được xác định bằng cách nhân thời gian truyền tín hiệu với tốc độ truyền ánh sáng. Do vậy, sai số 1 nanô-giây trong đồng

bộ hoá thời gian sẽ gây ra sai số là 30 cm trong phép đo khoảng cách từ vệ tinh tới máy thu và kéo theo đó là sai số tương ứng trong phép ước lượng vị trí. Độ chính xác trong đồng bộ hoá thời gian trở nên đặc biệt quan trọng đối với kỹ thuật định vị có độ chính xác cao.

Khái niệm về thời gian và các hệ chuẩn thời gian là một chủ đề phức tạp, có lịch sử bắt đầu từ nhiều thế kỷ về trước. Ở đây chúng tôi chỉ tóm tắt một cách sơ lược về khái niệm thời gian và các hệ chuẩn thời gian để làm nền tảng kiến thức cho công nghệ định vị toàn cầu. Khái niệm thời gian bao gồm định nghĩa về một epoch, một khoảng thời gian (time interval) và thang đo thời gian (time scale) như được mô tả ở hình 1.9. Một epoch là một khoảnh khắc khi một sự kiện hoặc hiện tượng nhất định xảy ra. Thời gian khác biệt giữa hai epoch được gọi là khoảng thời gian và được đo bằng các giá trị thang đo thời gian (ví dụ như giây, phút, giờ...).



Hình 1.9. Khái niệm thời gian và các định nghĩa kèm theo

Việc tính toán thời gian dựa trên nguyên lý rất đơn giản: quan sát một quá trình có chu kỳ và đếm số các chu kỳ. Hiện tượng ngày-đêm, hiện tượng trăng tròn, sự lặp lại vị trí của chuyển động quả lắc là những ví dụ cơ bản của quá trình có chu kỳ. Đồng hồ thực chất là một máy tạo ra hiện tượng có chu kỳ (frequency source – nguồn tần số) và đếm các chu kỳ của hiện tượng này. Độ chính xác của đồng hồ phụ thuộc vào hai yếu tố, một là sai số trong

việc bắt đầu thiết lập tần số (frequency setting-up) và hai là sai số trong việc duy trì tần số (frequency stability). Ngày nay chúng ta đã xây dựng được hai hệ thống thời gian: hệ thống thời gian thiên văn (astronomic time system) và hệ thống thời gian nguyên tử (atomic time system).

1.4.1. Thời gian thiên văn

Hệ thống thời gian thiên văn bao gồm hai đơn vị thời gian, ngày thiên văn và ngày Mặt Trời. Dựa vào chu kỳ nhật động của các sao, ngày thiên văn là khoảng thời gian giữa hai lần liên tiếp một sao cụ thể nào đó đi qua kinh tuyến tại nơi quan sát. Khác với ngày thiên văn, ngày Mặt Trời lại dựa vào chu kỳ nhật động của Mặt Trời, là khoảng thời gian giữa hai lần liên tiếp Mặt Trời đi qua kinh tuyến tại nơi quan sát. Cần lưu ý rằng, các ngày Mặt Trời thực trong một năm dài không bằng nhau do Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời với vận tốc không đều. Do vậy, khái niệm ngày Mặt Trời trung bình (mean solar day) đã được đưa ra. Ngày Mặt Trời trung bình có độ dài bằng bình quân của tất cả các ngày Mặt Trời thực trong một năm. Một cách tương đối, một ngày thiên văn ngắn hơn một ngày Mặt Trời trung bình khoảng bốn phút; do vậy, mỗi giờ Mặt Trời trung bình dài hơn giờ thiên văn 10 s. Chu kỳ quỹ đạo của một vệ tinh GPS bằng một nửa ngày thiên văn. Thời gian Mặt Trời trung bình quan sát được tại kinh độ đi qua Greenwich được gọi là GMT (Greenwich Mean Time).

4.1.2. Thời gian nguyên tử

Nhu cầu có được phương pháp tính toán và lưu trữ thời gian chính xác hơn đã thúc đẩy mạnh mẽ quá trình nghiên cứu; khái niệm thời gian nguyên tử đã được xây dựng thành công và vẫn

được dùng cho tới tận ngày nay. Theo đó, đơn vị thời gian cơ bản nhất là một giây SI (System of Units second). Một giây SI được định nghĩa là khoảng thời gian cần thiết của 9.192.631.770 chu kỳ phóng xạ, nó tương đương với quá trình chuyển đổi năng lượng của nguyên tử cesium-133 tại mức cơ sở. Một ngày SI gồm có 86.400 giây SI. Chuẩn thời gian dựa trên định nghĩa giây này được gọi là International Atomic Time (viết tắt là TAI). Tuy là một chuẩn thời gian chính xác và thống nhất toàn cầu, TAI không được chỉnh để bù trừ cho sai số gây ra do sự quay không đồng nhất của Trái Đất quanh trục của nó cũng như là sự quay quanh Mặt Trời của Trái Đất. Coordinated Universal Time (viết tắt là UTC) là TAI sau khi đã được chỉnh để bù trừ cho sai số nêu trên. UTC ngày nay là hệ chuẩn thời gian quốc tế và được lưu giữ tại 65 phòng lưu trữ trên toàn cầu, ví dụ như UTC (USNO) (United States Naval Observatory) và UTC (NIST) (National Institute of Standards and Technology) tại Mỹ; UTC (SU) (Soviet Union) tại Nga. Với tiêu chuẩn nguyên tử này, chúng ta có thể đo thời gian chính xác tới nanô-giây (10^{-9} giây) và picô-giây (10^{-12} giây). Giải thưởng Nobel về Vật lý năm 2005 đã công bố khả năng lưu trữ thời gian chính xác tới 10^{-15} giây. Thành quả này sẽ đóng vai trò quan trọng cho một bước tiến mới trong khả năng tính toán thời gian của con người và các ứng dụng của nó trong các ngành khoa học công nghệ. Việc ứng dụng phát minh này để lưu giữ thời gian trong hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu cũng sẽ giúp tăng độ chính xác trong định vị.

Chuẩn thời gian dùng cho các hệ thống vệ tinh định vị cụ thể sẽ được mô tả trong phần trình bày về mỗi hệ thống.

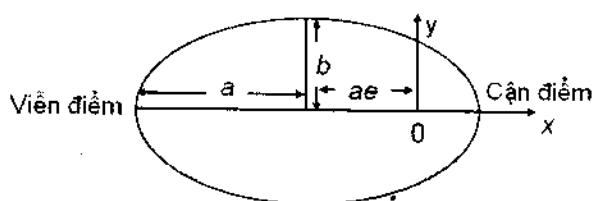
1.5. Quỹ đạo vệ tinh

Sự chuyển động của bất kỳ vệ tinh nào quanh Trái Đất giống như chuyển động của hành tinh quanh Mặt Trời cũng đều tuân theo

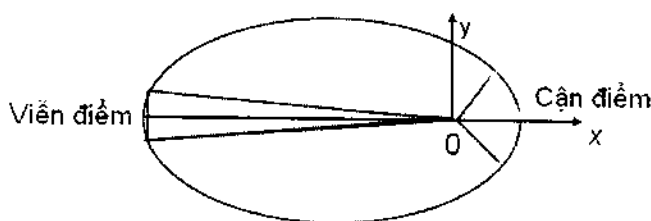
ba định luật Kepler (tên một nhà thiên văn người Đức (1571–1630)). Trong các hình vẽ dưới đây, viễn điểm (apogee) là điểm nằm trên quỹ đạo vệ tinh và ở xa nhất so với tâm Trái Đất; cận điểm (perigee) là điểm nằm trên quỹ đạo vệ tinh và ở gần nhất so với tâm Trái Đất. Ba định luật Kepler được phát biểu như sau :

1) Quỹ đạo của vệ tinh là một ellipse, với Trái Đất là một tiêu điểm, trong đó a là bán trục lớn, b là bán trục nhỏ, O là vị trí tiêu điểm (hình 1.10).

2) Đường thẳng nối tiêu điểm (tức là Trái Đất trong trường hợp này) tới vệ tinh quét những diện tích bằng nhau trong khoảng thời gian bằng nhau (hình 1.11).



Hình 1.10. Hình dạng ellipse của quỹ đạo vệ tinh quay quanh Trái Đất



Hình 1.11. Các diện tích bằng nhau quét bởi đường thẳng nối tiêu điểm và vệ tinh trong các khoảng thời gian bằng nhau

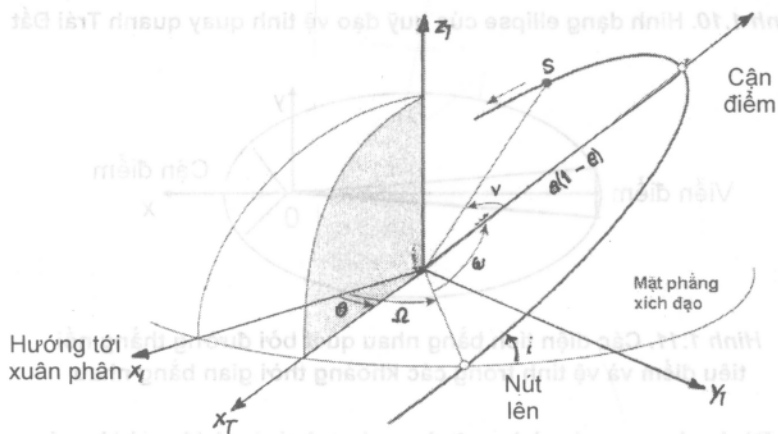
3) Bình phương chu kỳ quỹ đạo của vệ tinh tỷ lệ với lập phương của độ dài bán trục lớn a .

$$T^2 = ka^3; \quad (1.1)$$

trong đó T là chu kỳ quỹ đạo; a là độ dài bán trục lớn và k là hệ số.

Quỹ đạo của một vệ tinh được xác định thông qua sáu thông số Kepler đặc trưng, trong đó hai thông số đầu dùng để xác định kích thước quỹ đạo (orbit size) và bốn thông số còn lại dùng để xác định hướng của quỹ đạo trong không gian (orbit orientation), như được mô tả ở hình 1.12. Trước khi nêu ra định nghĩa của sáu thông số này, chúng tôi định nghĩa một số khái niệm và thuật ngữ có liên quan:

- *Hướng tới xuân phân (vernal equinox direction)*: là hướng nối tâm Trái Đất với tâm Mặt Trời tại điểm xuân phân.
- *Nút lên (ascending node)*: là điểm giao giữa quỹ đạo vệ tinh và mặt phẳng Xích đạo khi vệ tinh đi từ hướng nam lên hướng bắc.
- *Nút xuống (descending node)*: là điểm giao giữa quỹ đạo vệ tinh và mặt phẳng Xích đạo khi vệ tinh đi từ hướng bắc xuống hướng nam.



Hình 1.12. Xác định quỹ đạo vệ tinh qua sáu thông số Kepler

Các thông số Kepler đặc trưng dùng để xác định quỹ đạo của vệ tinh gần bao gồm:

- Bán trục lớn (semi-major axis) a .
- Độ lệch tâm (eccentricity) e .
- Độ nghiêng quỹ đạo (inclination) i : là góc tạo bởi mặt phẳng Xích đạo và một nửa mặt phẳng quỹ đạo vệ tinh tính từ nút lên đến nút xuống.
- Góc phải của nút lên (right ascension of the ascending node) Ω : là góc đo được trên mặt phẳng Xích đạo, được tạo thành bởi đường thẳng hướng tới điểm xuân phân và đường thẳng hướng tới nút lên.
- Góc tới cận điểm (argument of perigee) ω : là góc đo được trên mặt phẳng quỹ đạo, tạo bởi đường thẳng hướng tới nút lên và đường hướng tới cận điểm.
- Vị trí hiện tại của vệ tinh (mean anomaly) v : là góc nằm trên mặt phẳng quỹ đạo của vệ tinh, tính từ cận điểm đến vệ tinh.

Trên thực tế, có rất nhiều yếu tố làm cho quỹ đạo của vệ tinh quay quanh Trái Đất bị sai lệch so với trường hợp lý tưởng. Một tập hợp nói rộng gồm 15 thông số tựa Kepler (expanded quasi – Keplerian parameters) thường được dùng để tính toán quỹ đạo vệ tinh. Tuy nhiên, trong khuôn khổ có hạn của cuốn sách, chúng tôi không trình bày chuyên sâu, độc giả có thể tham khảo ở các cuốn sách khác (ví dụ [7, 14]).

Chương 2

HỆ THỐNG GPS

Thiết kế của hệ thống GPS được thông qua vào năm 1973. Năm 1978, vệ tinh đầu tiên trong hệ GPS đã được phóng thành công và tín hiệu GPS đã được thu thử nghiệm với các máy thu đầu tiên [14]. Mục đích ban đầu của dự án xây dựng hệ thống GPS là để trợ giúp cho các mục đích quân sự của Mỹ, nên Bộ Quốc phòng Mỹ trực tiếp kiểm soát dự án. Dưới sức ép về vụ bắn nhầm máy bay dân sự của Hàn Quốc bay vào vùng trời cấm bay của Nga (năm 1978), kế hoạch phát triển hệ thống GPS để dùng trong các ứng dụng dân sự đã được chú trọng hơn [14]. Đến năm 1995, Bộ Quốc phòng Mỹ tuyên bố hệ GPS đã hoàn chỉnh và chính thức đi vào hoạt động. Tổng giá thành xây dựng cho đến thời điểm đó đã lên đến 12 tỷ USD, chi phí vận hành và bảo dưỡng hàng năm ước tính khoảng 500 triệu USD.

Tín hiệu của các vệ tinh GPS bao phủ toàn cầu và không bị ảnh hưởng của thời tiết. Nhìn chung, hệ thống GPS được quản lý một cách hết sức chặt chẽ, nhằm đảm bảo an ninh cho nước Mỹ. Ngoài một phần tín hiệu được phát miễn phí cho các sử dụng mang tính dân sự, hệ thống GPS còn phát các tín hiệu dành riêng cho các mục đích quân sự mà các máy thu dân dụng không thu nhận được. Hơn thế nữa, Bộ Quốc phòng Mỹ được toàn quyền kiểm soát và có thể thay đổi chế độ hoạt động của một số vệ tinh nhằm hạn chế tín hiệu GPS trên một vùng nào đó. Họ cũng có thể điều chỉnh mức độ

chính xác trong định vị dùng hệ thống GPS đối với những người dùng không đăng ký, bằng cách đưa thêm sai số thời gian trong các đồng hồ vệ tinh hoặc sai số quỹ đạo của các vệ tinh, còn được gọi là sai số của tính sẵn sàng để dùng có lựa chọn (Selective Availability), sau này gọi tắt là sai số SA. Bước vào thế kỷ XXI, với sự phát triển mạnh mẽ và hứa hẹn rất nhiều lợi nhuận từ các ứng dụng dân sự của GPS, Bộ Quốc phòng Mỹ đã chính thức tuyên bố khoá chức năng SA của hệ thống GPS vào ngày 1/5/2000. Nhằm nâng cấp, hiện đại hoá hệ thống GPS, Chính phủ Mỹ đã phê duyệt dự án GPS II và GPS III với nhiều ứng dụng kỹ thuật và thiết kế mới trong vệ tinh cũng như tăng cường thêm tín hiệu GPS ở các dải sóng khác để hỗ trợ hơn nữa các ứng dụng của GPS trong dân sự.

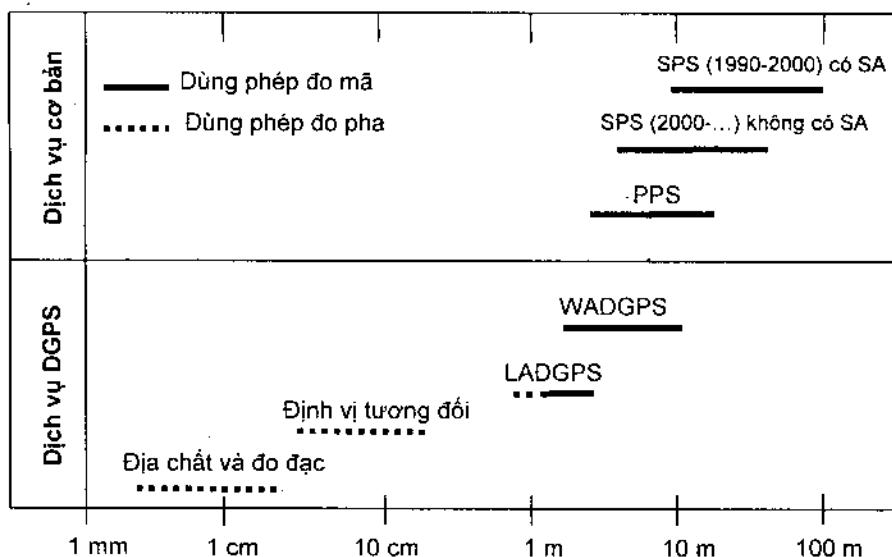
2.1. Cơ cấu hệ thống GPS

Hệ thống GPS được chia ra thành ba phần (còn gọi là đoạn) chính: phần vũ trụ (space segment), phần điều khiển (control segment) và phần người sử dụng (user segment). Bộ Quốc phòng Mỹ phụ trách việc sản xuất và phóng các vệ tinh cũng như việc quản lý các trạm điều khiển vệ tinh ở mặt đất. Phần người sử dụng bao gồm nhiều thành phần, có nhiệm vụ quản lý và phát triển các ứng dụng GPS, bao gồm cả việc xây dựng các thiết bị sử dụng hệ thống như anten và máy thu.

Đối với các máy thu dân dụng phổ biến, hệ thống GPS cung cấp hai loại dịch vụ cơ bản (cho vị trí, tốc độ và thời gian của máy thu hiển thị ngay trên màn hình): (i) loại dịch vụ định vị cơ bản (Standard Positioning Service – SPS) và (ii) loại dịch vụ định vị “chính xác” (Precise Positioning Service – PPS). Ngoài hai loại dịch vụ này, các máy thu chất lượng cao dùng phép đo pha có độ chính xác cao để tính toán các khoảng cách từ máy thu đến vệ tinh

và xử lý chúng bằng các thuật toán cao cấp. Kết quả định vị với các máy thu loại này thường có độ chính xác tới vài centimet.

Bảng 2.1. Tóm tắt khả năng định vị dùng hệ thống GPS



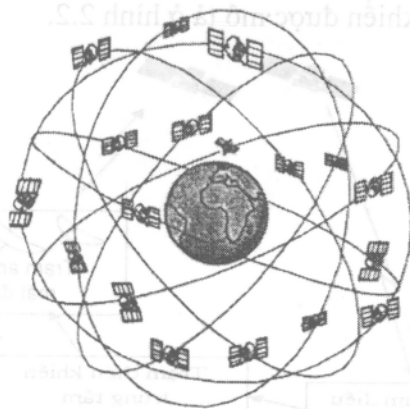
Bảng 2.1 trình bày tóm tắt mọi khả năng định vị dùng hệ thống GPS. Tất cả các loại hình dịch vụ sẽ không được mô tả cụ thể trong mục này. Tuy nhiên, các kỹ thuật cơ bản của phép định vị có độ chính xác cao như kỹ thuật sử dụng phép đo pha, kỹ thuật DGPS, và kỹ thuật tổ hợp tín hiệu khác tần số sẽ được trình bày trong cuốn sách này. Hai loại hình dịch vụ SPS và PPS được Bộ Quốc phòng Mỹ chỉ định tương ứng dùng cho ứng dụng dân sự không có đăng ký và có đăng ký. Tuy được gọi là “chính xác”, nhưng dịch vụ PPS chỉ khác so với dịch vụ SPS là nó không bị đưa thêm sai số SA vào. Theo thiết kế, dịch vụ SPS sẽ cung cấp độ chính xác tối thiểu là 100 m cho chiều ngang và 156 m cho chiều cao [14]. Sau khi SA được khoá lại vào năm 2000, dịch vụ SPS cung cấp độ chính xác

863.

tương đương với dịch vụ PPS, cho độ chính xác 10 m (95%) cho chiều ngang và khoảng 15 m cho chiều cao [14, 17]. Kết quả tính toán thời gian tại máy thu GPS theo thống kê đạt được độ chính xác trong khoảng 200 nanô-giây so với giá trị thực của UTC (UNSO) đối với dịch vụ PPS và trong khoảng 340 nanô-giây (95%) đối với dịch vụ SPS khi còn SA [7].

2.1.1. Phần vũ trụ: chùm vệ tinh GPS

Chùm vệ tinh GPS gồm 24 vệ tinh chủ đạo và một vài vệ tinh dự trữ, được phân bố trên 6 quỹ đạo gần tròn, ký hiệu từ A đến F, với đường kính bằng 20.138 km và nghiêng 55° so với mặt phẳng Xích đạo, như được mô tả ở hình 2.1 [7, 14]. Trên mỗi quỹ đạo, 4 vệ tinh chính được ký hiệu từ 1 đến 4 và được phân bố đều. Chu kỳ của các vệ tinh là 12 giờ. Cấu trúc quỹ đạo vệ tinh này cho phép người sử dụng hệ thống GPS trên mặt đất có thể “nhìn thấy” tối thiểu là 4 vệ tinh và trung bình từ 6 đến 8 vệ tinh nếu không bị cản trở bởi các cấu trúc hạ tầng dưới mặt đất [14]. Một số thông số của các vệ tinh GPS II được thống kê trong bảng 2.2.



Hình 2.1. Hệ thống GPS

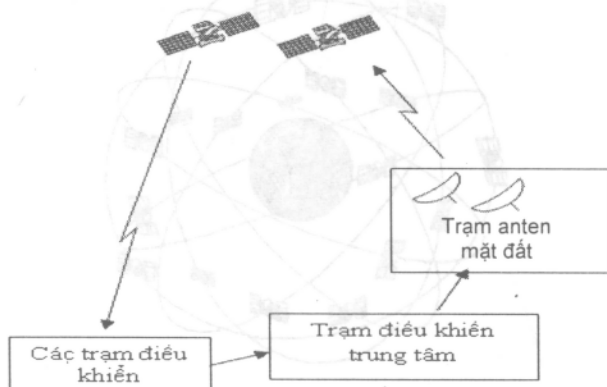
Bảng 2.2. Một số thông số của vệ tinh GPS II [14]

	Nhóm II/IIA	Nhóm IIR	Nhóm IIF
Số lượng	28	21	12
Thời gian phóng	1989	1997	2005*
Khối lượng (kg)	900	1100	1700*
Năng lượng Mặt Trời (W)	1100	1700	2900*
Tuổi thọ thiết kế (năm)	7,5	10	15
Giá thành (USD)	43 triệu	30 triệu	28 triệu*

* Ước lượng

2.1.2. Phần điều khiển: các trạm điều khiển mặt đất

Các trạm điều khiển mặt đất là đầu não của toàn bộ hệ thống, bao gồm một trạm điều khiển trung tâm (Master Control Station – MCS) đặt tại căn cứ không quân Schriever, Colorado Springs ở bang Colorado (Mỹ) và 5 trạm điều khiển khác được đặt ở quanh Trái Đất dọc theo đường Xích đạo, cụ thể là ở đảo Ascension, Diego Garcia, Kwajalein, Hawaii và Colorado Springs. Cấu trúc của bộ phận điều khiển được mô tả ở hình 2.2.



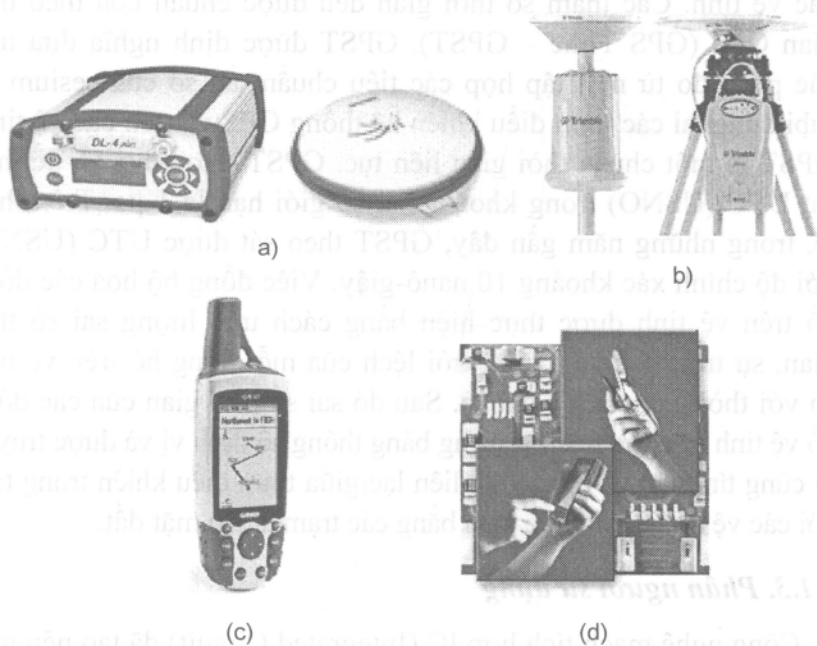
Hình 2.2. Cấu trúc bộ phận điều khiển của hệ thống vệ tinh GPS

Trạm điều khiển trung tâm làm nhiệm vụ theo dõi trạng thái của các vệ tinh, quản lý quỹ đạo vệ tinh và duy trì thời gian GPS để từ đó dự đoán các thông số quỹ đạo và đưa ra giá trị thời gian GPS đồng bộ giữa các vệ tinh, nhằm cập nhật dữ liệu định vị của các vệ tinh. Để làm được nhiệm vụ này, trạm điều khiển trung tâm cần sự trợ giúp của các trạm điều khiển khác (không phải trung tâm) nằm rải rác toàn cầu. Các trạm điều khiển này được trang bị những máy thu tín hiệu GPS chất lượng rất cao, thiết bị đo khí tượng và các thiết bị liên lạc với trạm điều khiển trung tâm. Dữ liệu GPS thu được bằng các máy thu chất lượng cao sẽ dùng để trợ giúp việc tính toán quỹ đạo chính xác của các vệ tinh và sai số thời gian trên các vệ tinh. Các tham số thời gian đều được chuẩn hóa theo thời gian GPS (GPS Time – GPST). GPST được định nghĩa dựa trên các phép đo từ một tập hợp các tiêu chuẩn tần số của cesium và rubi dùng tại các trạm điều khiển hệ thống GPS và trên các vệ tinh. GPST là một chuẩn thời gian liên tục. GPST được duy trì để theo sát UTC (USNO) trong khoảng sai số giới hạn là 1 μ s. Trên thực tế, trong những năm gần đây, GPST theo sát được UTC (USNO) với độ chính xác khoảng 10 nanô-giây. Việc đồng bộ hoá các đồng hồ trên vệ tinh được thực hiện bằng cách ước lượng sai số thời gian, sự trôi lệch và tốc độ trôi lệch của mỗi đồng hồ trên vệ tinh so với thời gian GPST chuẩn. Sau đó sai số thời gian của các đồng hồ vệ tinh sẽ được mã hoá trong bảng thông số định vị và được truyền đi cùng tín hiệu vệ tinh. Việc liên lạc giữa trạm điều khiển trung tâm với các vệ tinh được thực hiện bằng các trạm anten mặt đất.

2.1.3. Phần người sử dụng

Công nghệ mạch tích hợp IC (Integrated Circuit) đã tạo nên một cuộc cách mạng lớn trong công nghệ điện tử nói chung và trong công nghệ máy thu GPS nói riêng, tạo ra những máy thu có kích cỡ nhỏ, khối lượng nhẹ, giá thành thấp. Vào năm 1980, máy thu GPS

đầu tiên dành cho các ứng dụng định vị có độ chính xác cao đã được sản xuất và bán với giá hàng trăm ngàn USD. Ngày nay, một máy thu có nhiều chức năng hơn và gọn nhẹ hơn có thể được bán với giá vài chục ngàn USD. Hiện nay trên thị trường toàn cầu có hàng trăm loại máy thu GPS khác nhau. Hình 2.3 giới thiệu về một số máy thu GPS điển hình ngày nay. Giá thành của chúng dao động rất rộng, từ vài trăm đến vài chục ngàn USD, phụ thuộc vào ứng dụng và độ chính xác trong định vị mà chúng cho phép (bảng 2.3). Công nghệ GPS ngày nay đang được kết hợp trong nhiều ngành công nghệ khác, và đang trở thành một phần quan trọng trong cuộc sống hàng ngày của con người.



Hình 2.3. Một số máy thu GPS:

- a) Máy thu và anten GPS loại cao cấp của hãng NovAtel (Mỹ);
- b) Máy thu và anten GPS loại cao cấp của hãng Trimble (Đức);
- (c) Máy thu GPS cầm tay; (d) Chip GPS.

Bảng 2.3. Các loại máy thu GPS

<i>Loại máy thu, chức năng</i>	<i>Giá thành (USD)</i>
Loại nhỏ cầm tay; dùng trong giải trí, thể thao (leo núi, dã ngoại, chèo thuyền...)	100 – 300
Loại lắp đặt trong xe hơi, bao gồm cả bản đồ đường giao thông và chỉ dẫn	400 – 2000
Loại dùng trong hàng hải, có màn hình cỡ lớn và hệ thống liên lạc điện tử	400 – 3000
Loại dùng trong hàng không, có bản đồ	3000 – 15000
Loại dùng trong trắc địa và bản đồ; dùng DGPS cho độ chính xác từ 1 m đến vài centimet	3500 – 30000

2.2. Tín hiệu của hệ thống GPS

Tín hiệu của hệ thống GPS bao gồm ba thành phần chính: sóng mang (carrier), mã (code) và dữ liệu định vị (navigation data). Các vệ tinh GPS truyền các tín hiệu liên tục dùng hai tần số trong dải băng L được gọi là L1 (Link 1) dành cho các ứng dụng dân sự, và L2 (Link 2) dành cho các ứng dụng quân sự. Tần số trung tâm của sóng L1 là 1575,42 MHz và của sóng L2 là 1227,60 MHz. Trên thực tế, hệ thống GPS còn dùng sóng L3 và L4 cho các ứng dụng tuyệt mật của quân đội Mỹ. Hai dải sóng mang L1 và L2 có bước sóng tương ứng là:

$$\lambda_1 = \frac{c}{f_1} = \frac{3 \times 10^8}{1575420} = 19,04 \text{ [cm]} \quad (2.1)$$

$$\lambda_2 = \frac{c}{f_2} = \frac{3 \times 10^8}{1227600} = 24,44 \text{ [cm]}$$

Mã là một dãy duy nhất các giá trị -1 và 1 được tạo ra cho mỗi vệ tinh, sao cho tất cả các vệ tinh có thể truyền tín hiệu đồng thời dùng chung một tần số mà không bị nhiễu. Việc mỗi vệ tinh truyền một mã khác nhau cho phép máy thu nhận biết được vệ tinh. Kỹ thuật này được gọi là đa truy nhập theo mã (Code Division Multiple Access – CDMA). Trong thuật ngữ tiếng Anh về GPS, các dãy mã còn được gọi là mã pseudo-random noise (PRN). Mỗi vệ tinh truyền hai mã khác nhau: một được gọi là mã C/A (viết tắt của Clear/Access hoặc Coarse/Acquisition), còn lại là mã P được mã hoá thành mã Y và ký hiệu là P(Y) (chữ viết tắt của Precise (encrypted) hoặc Private (encrypted)). Mã C/A được dành cho các ứng dụng dân sự và hiện chỉ được truyền đi trên sóng mang L1. Mỗi giá trị -1 hoặc 1 của mã được gọi là một chip. Một dãy mã C/A bao gồm 1023 chip và lặp lại sau 1 milligiây. Bước sóng của một mã C/A khoảng 300 m và tần số của các chip là 1,023 MHz; tức là 1,023 MHz trên 1 giây. Mã P cũng là một dãy duy nhất các giá trị -1 và 1 nhưng dài hơn nhiều lần so với mã C/A, bao gồm 10^{14} chip và được truyền đi trên cả hai sóng mang L1 và L2. Tần số của các chip mã P là 10,23 MHz, tức là 10,23 MHz trên 1 giây, nhanh hơn 10 lần so với mã C/A. Bước sóng của một dãy mã P là 30 m. Do có bước sóng ngắn hơn, việc dùng mã P có ưu điểm là cho độ chính xác cao hơn so với mã C/A trong việc ước lượng khoảng cách từ vệ tinh tới máy thu. Chính vì khả năng này mà việc

dùng mã P(Y) của GPS được giới hạn chỉ cho những máy thu có đăng ký.

Dữ liệu định vị được trộn lẫn với sóng mang và truyền đi liên tục bởi mỗi vệ tinh. Dữ liệu định vị cung cấp những thông tin về tình trạng hoạt động của vệ tinh, vị trí và tốc độ của vệ tinh (ephemeris), sai số đồng hồ của vệ tinh (clock parameters). Ngoài ra, các thông tin về vị trí và tốc độ của tất cả các vệ tinh khác của hệ thống GPS (almanac) cũng được cung cấp trong dữ liệu định vị. Dữ liệu định vị cũng là một dãy các số ± 1 và mỗi giá trị này được gọi là một bit. Dữ liệu định vị được truyền đi với tốc độ 50 bit trên giây và mỗi bit dài 20 milli giây. Một khoảng thời gian khoảng 12,5 phút là cần thiết để truyền được toàn bộ bảng dữ liệu [14]. Những thông tin về vị trí, tốc độ và sai số đồng hồ của vệ tinh được cập nhật sau mỗi 30 giây.

Cả ba thành phần kể trên của tín hiệu GPS được truyền tải đồng thời dựa trên một chuẩn nguyên tử về thời gian có tần số là 10,23 MHz. Rõ ràng ta có thể thấy mối quan hệ giữa tần số sóng mang L_1 , L_2 và tần số chuẩn này là như sau:

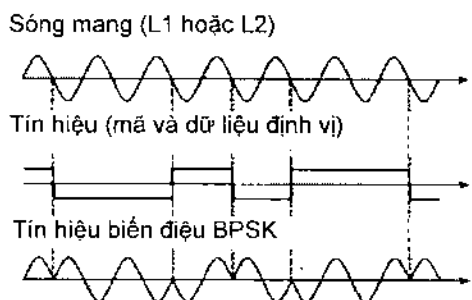
$$\begin{aligned} f_{L1} &= 1575,42 \text{ [MHz]} = 2 \times 77 \times 10,23 \text{ [MHz]} \\ f_{L2} &= 1227,60 \text{ [MHz]} = 2 \times 60 \times 10,23 \text{ [MHz]} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Để có thể kết hợp được với sóng mang và truyền đi, các mã của vệ tinh được kết hợp với dữ liệu định vị dùng phép cộng module 2: tức là, nếu giá trị của chip mã và giá trị của bit dữ liệu định vị là giống nhau thì kết quả là -1 và nếu hai giá trị này là khác nhau thì kết quả là 1 . Tín hiệu nhị nguyên được tạo ra sau phép tổ hợp này sẽ được pha trộn với sóng mang bằng kỹ thuật biến điệu. Dạng biến điệu dùng ở đây được gọi là Binary Phase Shift Keying (BPSK): tức là giá trị -1 của tín hiệu kết hợp sẽ không làm thay

đôi sóng mang, trong khi giá trị 1 của tín hiệu kết hợp sẽ làm cho sóng mang phải nhân với -1 (điều này tương ứng với việc thay đổi pha của sóng mang một góc 180°). Quy trình kết hợp mã và dữ liệu định vị cũng như là biến điệu sóng mang được minh họa ở hình 2.4 và có thể được viết dưới dạng công thức sau:

$$s^{(k)}(t) = D(t) \oplus c(t) \otimes f(t) \quad (2.3)$$

trong đó $s^{(k)}(t)$ là tín hiệu vệ tinh GPS khi rời khỏi anten vệ tinh k ; $D(t)$ là dữ liệu định vị; $c(t)$ là mã; $f(t)$ là sóng mang; $\oplus$ là phép toán cộng module 2 và $\otimes$ là phép toán biến điệu BPSK.



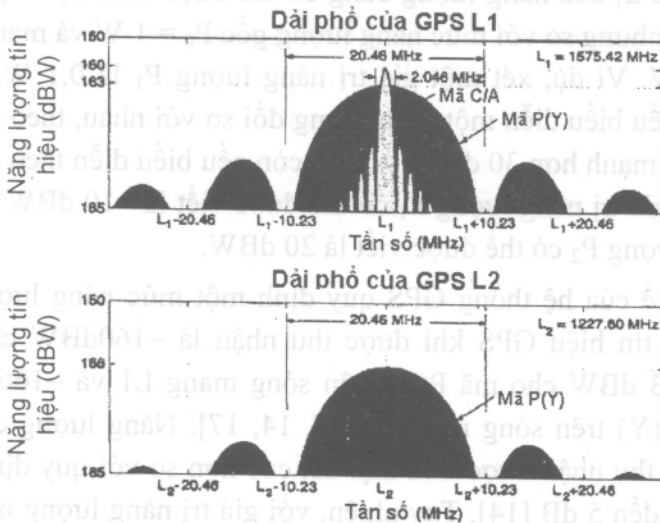
Hình 2.4. Tổ hợp mã, dữ liệu định vị và biến điệu sóng mang

Như đã mô tả ở trên, mã C/A chỉ được truyền trên một sóng mang L1, trong khi mã P(Y) thì được truyền trên cả hai sóng mang L1 và L2. Như vậy, có nghĩa là sóng mang L1 ngoài việc truyền mã C/A, còn phải truyền cả mã P(Y). Việc này được thực hiện bằng cách tạo ra hai sóng mang có cùng tần số L1: một sóng đồng pha với quả lắc đồng hồ chuẩn (còn gọi là in-phase) và một sóng lệch pha 90° so với sóng đồng pha (quadrature-phase). Thành phần đồng pha thì được biến điệu để mang mã P(Y), còn thành phần lệch pha thì để mang mã C/A. Như vậy, tín hiệu của vệ tinh k là:

$$s^{(k)}(t) = \sqrt{2P_{Y,L1}} y^{(k)}(t) D^{(k)}(t) \cos(2\pi f_{L1}t + \theta_{L1}) + \sqrt{2P_C} x^{(k)}(t) D^{(k)}(t) \sin(2\pi f_{L1}t + \theta_{L1}) + \sqrt{2P_{Y,L2}} y^{(k)}(t) D^{(k)}(t) \cos(2\pi f_{L2}t + \theta_{L2}) \quad (2.4)$$

trong đó P_C , $P_{Y,L1}$, $P_{Y,L2}$ tương ứng là biên độ tín hiệu của mã C/A trên L1, biên độ tín hiệu của mã P(Y) trên L1 và biên độ tín hiệu của mã P(Y) trên L2; $x^{(k)}$, $y^{(k)}$ là dãy mã C/A và P(Y) gán cho vệ tinh k ; $D^{(k)}$ là dữ liệu định vị của vệ tinh k ; f_{L1} , f_{L2} là tần số của sóng mang L1 và L2; θ_{L1} , θ_{L2} là pha của hai tín hiệu.

Việc biến điệu sóng mang để truyền theo mã và dữ liệu định vị làm cho năng lượng sóng mang bị dàn trải ra mà không còn tập trung ở tần số trung tâm nữa. Năng lượng của tín hiệu mang mã C/A trải rộng trên một dải tần số là 2 MHz, trong khi năng lượng của tín hiệu mang mã P(Y) là 20 MHz mà điểm trung tâm vẫn là tần số của sóng mang như được mô tả ở hình 2.5.



Hình 2.5. Dải phổ của tín hiệu GPS

Để đáp ứng những quy định quốc tế trong việc chống cường độ sóng cao gây nhiễu cho các nguồn thu phát tín hiệu của các hệ thống khác, tín hiệu GPS bị giới hạn trong một mức năng lượng cố định. Năng lượng đầu vào tại anten của mỗi vệ tinh là 50 W và một nửa mức đó là dùng cho mã C/A. Do vậy tín hiệu GPS thu nhận được ở Trái Đất là vô cùng yếu.

Trước hết, nhắc lại khái niệm đơn vị năng lượng dùng cho tín hiệu GPS. Nếu giả sử tồn tại hai mức năng lượng P_1 và P_0 , ta có thể biểu diễn năng lượng tương đối của chúng, tức là độ mạnh của năng lượng P_1 so với P_0 , dùng đơn vị decibel (dB) được định nghĩa như sau:

$$\left. \frac{P_1}{P_0} \right|_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_0} \right) \quad (2.5)$$

Các giá trị của năng lượng cũng có thể được diễn đạt một cách tương tự, nhưng so với mức năng lượng gốc $P_0 = 1 \text{ W}$ và mang đơn vị là dBW. Ví dụ, xét một giá trị năng lượng P_1 là 0,1 W, P_2 là 100 W. Nếu biểu diễn một cách tương đối so với nhau, theo đơn vị dB, thì P_2 mạnh hơn 30 dB so với P_1 , còn nếu biểu diễn theo đơn vị dBW thì giá trị năng lượng P_1 có thể được viết là -10 dBW và giá trị năng lượng P_2 có thể được viết là 20 dBW.

Thiết kế của hệ thống GPS quy định một mức năng lượng tối thiểu cho tín hiệu GPS khi được thu nhận là -160dBW cho mã C/A; -163 dBW cho mã P(Y) trên sóng mang L1 và -166 dBW cho mã P(Y) trên sóng mang L2 [7, 14, 17]. Năng lượng của tín hiệu GPS thu nhận được trên mặt đất cao hơn so với quy định này khoảng 3 đến 5 dB [14]. Tuy nhiên, với giá trị năng lượng này, tín hiệu GPS là yếu hơn nhiều lần so với mức nhiễu trung bình thu nhận được tại anten ở mặt đất. Việc tách được tín hiệu GPS trên

nền nhiễu cao gấp nhiều lần như vậy hoàn toàn phải dựa vào kiến thức về cấu trúc và tính chất của các dãy mã PRN được truyền đi với tín hiệu vệ tinh. Tín hiệu yếu là một nhược điểm lớn của việc định vị nhờ vệ tinh, vì tín hiệu vệ tinh rất dễ bị chắn bởi cấu trúc hạ tầng, kể cả tán cây trên mặt đất ở xung quanh máy thu. Việc này gây nhiều cản trở cho các ứng dụng, đặc biệt là trong dân sự. Để khắc phục nhược điểm này, chương trình hiện đại hoá hệ thống GPS có chỉ ra việc dùng thêm một tần số khác (L5), truyền cả mã C/A trên L2 và tăng năng lượng tín hiệu.

Các mã PRN của tín hiệu GPS có hai đặc tính rất quan trọng, nó giúp cho việc tách và thu nhận tín hiệu khỏi tầng nhiễu lớn hơn rất nhiều lần. Tính chất thứ nhất của các dãy mã PRN là tính không đồng bộ của hai dãy mã PRN thuộc hai vệ tinh khác nhau, tức là giá trị của hàm tương quan chéo luôn luôn có kết quả xấp xỉ bằng không. Tính chất này được biểu diễn dưới dạng công thức sau:

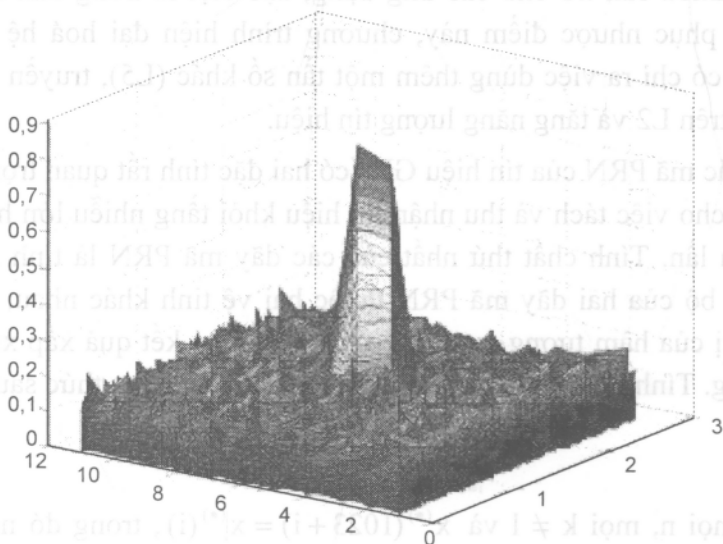
$$\sum_{i=0}^{1022} x^{(k)}(i) \cdot x^{(l)}(i+n) \approx 0 ; \quad (2.6)$$

với mọi n , mọi $k \neq l$ và $x^{(*)}(1023+i) = x^{(*)}(i)$, trong đó n là độ lệch chip của hai dãy mã; $x^{(k)}(i)$ là giá trị chip i của dãy mã PRN thuộc vệ tinh k ; $x^{(l)}(i+n)$ là giá trị chip $i+n$ của dãy mã PRN thuộc vệ tinh l . Tính chất quan trọng thứ hai của dãy mã PRN là tính không tương đồng với chính bản thân nó, tức là giá trị của hàm tự tương quan là bằng 0, nếu độ lệch chip là khác 0. Tính chất này được biểu diễn dưới dạng công thức:

$$\sum_{i=0}^{1022} x^{(k)}(i) \cdot x^{(k)}(i+n) \approx 0 ; \text{ với mọi } n \text{ sao cho } |n| \geq 1, \quad (2.7)$$

trong đó n là độ lệch chip của hai dãy mã; $x^{(k)}(i)$ là giá trị chip i của dãy mã PRN thuộc vệ tinh k ; $x^{(k)}(i+n)$ là giá trị chip $i+n$

của dãy mã PRN thuộc vệ tinh k . Với $n = 0$, tức là hai dãy mã PRN của hai vệ tinh là trùng khít hoàn toàn, giá trị của hàm tự tương quan là lớn nhất (giá trị bằng 1023). Khi ta vẽ trên đồ thị, giá trị đỉnh điểm này sẽ tương ứng với một đỉnh nhọn (sharp peak) rất dễ phân biệt được hiển thị như trong hình 2.6 là một ví dụ.



Hình 2.6. Giá trị cực đại dễ phân biệt của hàm tự tương quan khi tín hiệu đến từ vệ tinh trùng khít với tín hiệu tự phát của máy thu

2.3. Máy thu tín hiệu GPS

Các máy thu tín hiệu GPS và tương tự cho các máy thu của các hệ thống vệ tinh định vị khác ở mặt đất có các chức năng chính sau:

- Thu nhận các tín hiệu được truyền xuống mặt đất từ các vệ tinh nằm rải rác trên bầu trời.
- Phân biệt được các tín hiệu vệ tinh trong số các vệ tinh quan sát thấy trên bầu trời.

- Giải mã dữ liệu vệ tinh để xác định vị trí, tốc độ và thời điểm truyền tín hiệu của các vệ tinh.
- Xác định giá trị của phép đo mã, phép đo pha và độ dịch chuyển Doppler tương ứng với các vệ tinh.
- Tính toán và ước lượng vị trí, tốc độ và thời gian của máy thu nhờ phần mềm tương ứng.

Các tín hiệu GPS được thu nhận bởi một anten định hướng. Nếu máy thu biết thông tin về vị trí của các vệ tinh trên bầu trời (tức là almanac) và vị trí xấp xỉ của người sử dụng (không cần có độ chính xác cao), máy thu có thể xác định được vệ tinh nào đang ở trong tầm quan sát. Sự khởi động này gọi là khởi động ấm (warm start). Trong trường hợp máy thu không có các thông số almanac và cũng không biết được vị trí ước lượng ban đầu của nó thì nó sẽ phải khởi động quá trình dò, thu nhận một vệ tinh bất kỳ và thu thập thông số almanac để biết được thông tin về vị trí của các vệ tinh khác. Quá trình khởi động này được gọi là khởi động nguội (cold start). Việc định vị dùng khởi động nguội sẽ mất nhiều thời gian ban đầu hơn là khởi động ấm.

Khi biết được một vệ tinh k nhất định nào đó đang ở tầm quan sát, máy thu sẽ vận dụng kiến thức về cấu trúc mã của tín hiệu vệ tinh đó để tìm kiếm, tách tín hiệu từ nền nhiễu và sau đó duy trì việc thu tín hiệu từ vệ tinh này. Quá trình này được thực hiện dựa trên nguyên tắc hoạt động của máy thu nhằm tự tạo ra một mã giống hệt (replica) như mã của vệ tinh đang cần tìm kiếm. Sau đó máy thu sẽ dịch chuyển dãy mã tự tạo theo thời gian để xem liệu có thể trùng khớp nó với dãy mã của tín hiệu vệ tinh đang thu nhận. Dựa vào hai tính chất đã nêu trên của các dãy mã PRN, nếu dãy mã tự tạo trùng khớp hoàn toàn với dãy mã đến từ vệ tinh, tức là hàm tự

tương quan cho giá trị cực đại với một đỉnh dễ phân biệt, thì tín hiệu đến chính là đến từ vệ tinh k. Quá trình này được gọi là quá trình nhận biết tín hiệu (acquisition). Việc nhận biết tín hiệu mã C/A không mất nhiều thời gian, vì dãy mã C/A chỉ dài 1023 bit. Việc nhận biết tín hiệu mã P(Y) mất nhiều thời gian hơn do chiều dài của dãy mã này lớn hơn. Sau khi tín hiệu tự tạo và tín hiệu đến là trùng khớp, tức là máy thu đã nhận biết được tín hiệu vệ tinh, mã PRN và dữ liệu vệ tinh sẽ được tách ra khỏi sóng mang.

Việc xác định thời gian truyền của một tín hiệu vệ tinh là khá đơn giản về mặt định nghĩa: Thời gian dịch chuyển cần thiết để trùng khớp mã tự tạo và mã thu được từ vệ tinh chính là thời gian truyền tín hiệu. Thời điểm chính xác khi tín hiệu được truyền đi từ vệ tinh được đánh dấu bằng đồng hồ nguyên tử có độ chính xác cao (tới đơn vị nanô-giây) lắp đặt tại vệ tinh và được truyền đi trong dữ liệu định vị. Thời điểm nhận tín hiệu vệ tinh được xác định phần lớn là nhờ đồng hồ quartz lắp đặt tại máy thu. Ở đây, chúng ta cần lưu ý rằng, đồng hồ quartz của máy thu có độ chính xác thấp hơn nhiều so với đồng hồ nguyên tử của vệ tinh và điều này tạo ra một sai số quan trọng trong việc đồng bộ thời gian giữa vệ tinh và máy thu. Vì tốc độ truyền tín hiệu là rất lớn (3×10^8 m/s), chúng ta có thể thấy sai số 1 nanô-giây thời gian là tương đương với sai số 30 cm của khoảng cách. Sau khi xác định được thời gian truyền tín hiệu, nhân với tốc độ ánh sáng, ta thu được giá trị khoảng cách từ vệ tinh tới máy thu. Tuy nhiên cần lưu ý rằng, giá trị khoảng cách này chứa đựng rất nhiều sai số, cụ thể là sai số đồng hồ của vệ tinh và máy thu, sai số do ảnh hưởng của tầng khí quyển lên đường truyền tín hiệu và các nhiễu khác. Chính vì vậy, trong thuật ngữ định vị GPS thì giá trị khoảng cách này được gọi là

“giá trị khoảng cách giả” (pseudo-range) hay theo nghĩa bóng, tức là có sai số chứ không phải là khoảng cách thực (range). Khoảng cách đo được từ bốn vệ tinh hoặc nhiều hơn được dùng để xác định vị trí của máy thu. Sự dịch chuyển Doppler (Doppler shift) gây ra do chuyển động tương đối của vệ tinh và máy thu chính là giá trị của tốc độ tương đối trên đường truyền ánh sáng và có thể chuyển thành tốc độ biến đổi của khoảng cách (range rate). Tương tự như tính vị trí, tốc độ của máy thu cũng có thể xác định được bằng những phép đo về tốc độ biến đổi khoảng cách này. Một máy thu GPS sẽ thực hiện những công việc kể trên một cách tự động và liên tục.

Máy thu GPS có thể tính toán vị trí, tốc độ và thời gian của mình và hiển thị lên màn hình. Các giá trị này còn được gọi là giá trị tính toán của máy thu (in-receiver solutions hoặc là internal solutions). Bên cạnh giá trị vị trí, vận tốc và thời gian đã được tính toán này, các máy thu chất lượng cao còn cho phép người dùng có thể tiếp cận được với các giá trị đo khoảng cách từ vệ tinh tới máy thu đã ước lượng được. Người sử dụng sau đó có thể dùng các giá trị đo này để tính toán vị trí, tốc độ và thời gian bằng phần mềm độc lập với máy thu. Cách này cho phép các thuật toán tích cực được thử nghiệm và áp dụng nhằm nâng cao kết quả định vị.

2.4. Các phép đo tín hiệu vệ tinh và tổ hợp của chúng nhằm xác định vị trí và tốc độ của máy thu

Như đã được giới thiệu ở Chương 1, việc xác định vị trí của máy thu được thực hiện dựa trên khả năng xác định được chính xác khoảng cách hình học từ ít nhất bốn vệ tinh tới máy thu. Hệ thống GPS cung cấp cho người dùng hai loại phép đo để xác định khoảng cách từ vệ tinh tới máy thu: phép đo mã và phép đo pha. Để xác

định được vận tốc của máy thu, sự biến đổi khoảng cách của vệ tinh tới máy thu cần được ước lượng dựa trên giá trị biến đổi Doppler. Giá trị đo này được gọi là giá trị đo Doppler. Sau đây là phần trình bày chi tiết các phép đo kể trên nhằm xác định vị trí, vận tốc và thời gian của máy thu.

2.4.1. Phép đo mã (code measurements)

Một phép đo cơ bản nhất của tín hiệu vệ tinh GPS là đo thời gian truyền tín hiệu từ các vệ tinh tới máy thu. Đây chính là hiệu của thời gian tại máy thu khi thu nhận tín hiệu và thời gian tại vệ tinh khi bắt đầu truyền tín hiệu. Thời gian truyền tín hiệu cũng chính là thời gian cần thiết để dịch chuyển và trùng khớp mã PRN tự tạo của máy thu và mã PRN đến từ vệ tinh [14]. Do vậy, phép đo này còn được gọi là phép đo mã. Giả thiết rằng, khi đã biết khoảng thời gian truyền tín hiệu của vệ tinh là τ , với một độ chính xác nhất định, khoảng cách ước lượng từ vệ tinh đến máy thu là ρ sẽ được tính:

$$\rho = \tau \times c, \quad (2.8)$$

trong đó $c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ là vận tốc truyền của sóng radio trong không khí. Nếu thời gian truyền tín hiệu được xác định một cách chính xác so với giá trị thực của chúng, khoảng cách từ vệ tinh tới máy thu sẽ được xác định chính xác so với giá trị hình học. Tuy nhiên, trên thực tế quá trình xác định thời gian truyền tín hiệu τ chịu rất nhiều sai số. Đầu tiên là sai số do các đồng hồ của vệ tinh và của máy thu không đồng bộ với nhau và với hệ quy chiếu thời gian GPST. Chính vì vậy, giá trị khoảng cách từ vệ tinh đến máy thu xác định được từ phép đo mã khác so với giá trị khoảng cách hình học thật giữa vệ tinh và máy thu như đã trình bày ở trên, nó được gọi là khoảng cách giả. Ngoài sai số gây ra do sự không đồng

bộ về mặt thời gian, giá trị khoảng cách xác định được còn chứa đựng nhiều sai số khác. Giá trị của phép đo mã từ vệ tinh s tới máy thu r là ρ_r^s [m] được biểu diễn dưới dạng:

$$\rho_r^s = R + d\rho + c(dT^s + dt_r) + T_r^s + I_r^s + \varepsilon, \quad (2.9)$$

trong đó R [m] là khoảng cách hình học thực từ vệ tinh tới máy thu; $d\rho$ [m] là sai số quỹ đạo của vệ tinh; dT^s [s] là sai số đồng hồ của vệ tinh; dt_r [s] là sai số đồng hồ của máy thu; T_r^s [m] là sai số khi truyền tín hiệu qua tầng đối lưu; I_r^s [m] là sai số khi truyền tín hiệu qua tầng điện ly và ε [m] là tổng sai số do đa đường truyền và nhiễu tại máy thu. Tính chất của các sai số này sẽ được trình bày chi tiết ở phần sau.

2.4.2. Phép đo pha của sóng mang (carrier phase measurements)

Một phép đo ít chịu sai số hơn rất nhiều so với phép đo mã là phép đo pha của tín hiệu thu nhận được từ vệ tinh. Giá trị đo pha của tín hiệu thực chất là hiệu số pha tại một thời điểm đo nhất định của tín hiệu tự phát từ máy thu và tín hiệu đến từ vệ tinh trên cùng một tần số [14]. Tuy nhiên, phép đo pha là một phép đo gián tiếp và không rõ ràng (ambiguous) của thời gian truyền tín hiệu, hay của khoảng cách từ vệ tinh đến máy thu [14]. Trong trường hợp lý tưởng, không có bất kỳ một sai số nào và không có sự chuyển động tương đối giữa vệ tinh và máy thu, pha của tín hiệu là một giá trị phân số không đổi. Trong trường hợp vệ tinh và máy thu chuyển động tương đối so với nhau, giá trị phân số này sẽ thay đổi tương ứng và máy thu sẽ có nhiệm vụ xác định pha ban đầu của tín hiệu và sự thay đổi pha này. Nếu tạm thời bỏ qua các sai số, giá trị đo pha là ϕ_r^s [m] đo được từ máy thu r đối với tín hiệu của vệ tinh s có thể được viết như sau:

$$\phi_r^s(t) = \phi_r(t) - \phi^s(t - \tau) + N, \quad (2.10)$$

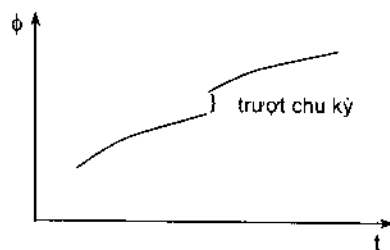
trong đó $\phi_r(t)$ là giá trị pha của tín hiệu tự tạo từ máy thu tại thời điểm t ; $\phi^s(t)$ là giá trị pha của tín hiệu vệ tinh tại thời điểm t khi tín hiệu được thu nhận bởi máy thu (hoặc chính là giá trị đo pha của tín hiệu vào lúc bắt đầu rời khỏi vệ tinh); τ là thời gian truyền tín hiệu và N là số nguyên các chu kỳ của tín hiệu đã tạo ra khi truyền từ vệ tinh đến máy thu. Tương tự như phép đo mã, phép đo pha cũng chịu ảnh hưởng của các nguồn sai số tương tự tuy là cường độ sai số có khác nhau (chi tiết này sẽ được trình bày chi tiết hơn ở phần phân tích sai số đối với các phép đo). Giá trị khoảng cách xác định được bằng phép đo pha từ vệ tinh s tới máy thu r là ϕ_r^s [m] được biểu diễn dưới dạng:

$$\phi_r^s = R + dp + c(dT^s + dt_r) + N\lambda + T_r^s - I_r^s + \varepsilon, \quad (2.11)$$

trong đó R [m] là khoảng cách hình học thực từ vệ tinh tới máy thu; dp [m] là sai số quỹ đạo của vệ tinh; N là số nguyên các chu kỳ chưa biết của tín hiệu thu nhận được; λ [m] là bước sóng của tín hiệu ($\lambda_{L1} = 19,04$ cm và $\lambda_{L2} = 24,44$ cm); dT^s [s] là sai số đồng hồ của vệ tinh; dt_r [s] là sai số đồng hồ của máy thu; T_r^s [m] là sai số khi truyền tín hiệu do tầng đối lưu; I_r^s [m] là sai số khi truyền tín hiệu do tầng điện ly và ε [m] là tổng sai số do đa đường truyền và nhiễu tại máy thu.

Giá trị khoảng cách từ vệ tinh tới máy thu là tổng số nguyên các chu kỳ chưa biết trên đơn vị chiều dài, cộng với giá trị phân số đo được từ phép đo pha. Vì số nguyên các chu kỳ này là không đo được trong phép đo pha nên phép đo này còn được gọi là “không rõ ràng”. Số nguyên các chu kỳ chưa biết trong tiếng Anh được gọi là integer ambiguity. Việc xác định số nguyên các chu kỳ N

được gọi là việc giải đoán số nguyên chưa biết (integer ambiguity resolution). Vì quá trình giải đoán này là yêu cầu đầu tiên trước khi các giá trị đo pha không chịu nhiều sai số có thể được dùng, nó còn được gọi là quá trình khởi động (initialization) trong định vị dùng phép đo pha. Trên thực tế, việc tính toán giá trị nguyên chưa biết này là không đơn giản và không có phương pháp nào có cơ sở để kiểm nghiệm giá trị đúng của nó. Đây chính là một trở ngại lớn nhất trong việc dùng GPS cho các ứng dụng yêu cầu độ chính xác ở mức centimet. Hơn thế nữa, tín hiệu GPS lại rất yếu, dễ bị chặn, hoặc bị ảnh hưởng nặng nề của tầng điện ly làm cho đường truyền tín hiệu bị ngắt quãng. Hiện tượng này trong thuật ngữ tiếng Anh còn được gọi là cycle slips, tức là sự trượt chu kỳ, được mô tả ở hình 2.7. Trong trường hợp này, số nguyên các chu kỳ chưa biết có thể bị thay đổi nhiều so với lý thuyết và việc xác định được giá trị đúng của nó là rất khó khăn. Phương pháp ước lượng giá trị nguyên chưa biết N sẽ được trình bày cụ thể ở mục sau.



Hình 2.7. Hiện tượng trượt chu kỳ trên phép đo pha

2.4.3. Phép đo Doppler (Doppler measurement)

Chuyển động tương đối của vệ tinh và máy thu tạo nên những biến đổi tần số của tín hiệu vệ tinh thu nhận được [14]. Phép đo Doppler đo sự biến đổi pha của tín hiệu vệ tinh tại một thời điểm nhất định. Độ dịch chuyển Doppler (Doppler shift), tương đương với tốc độ biến đổi của khoảng cách từ vệ tinh đến máy thu (range

rate), gây ra do chuyển động tương đối của giữa vệ tinh và máy thu chính là hình chiếu của vector vận tốc tương đối giữa vệ tinh và máy thu theo phương truyền tín hiệu. Do vậy, vận tốc chuyển động của máy thu so với vệ tinh có thể xác định được bằng các phép đo Doppler. Giá trị Doppler cho vệ tinh s và máy thu r là $\dot{\phi}_r^s$ như sau:

$$\dot{\phi}_r^s = \dot{R} + d\dot{p} + c(\dot{d}\hat{T}^s + \dot{d}\hat{t}_r) + \dot{T}_r^s + \dot{I}_r^s + \varepsilon, \quad (2.12)$$

trong đó $(.)$ được dùng để chỉ giá trị biến đổi của các đại lượng.

2.4.4. Sai phân các phép đo trong kỹ thuật DGPS

Kỹ thuật DGPS (Differential GPS) hoạt động dựa trên nguyên tắc lấy sai phân (lấy hiệu) các giá trị đo mã hoặc đo pha, với giả thiết các phép đo tín hiệu GPS chịu chung một số sai số trên một vùng không gian nhất định, nhằm giảm hoặc loại bỏ phần lớn ảnh hưởng của những sai số giống nhau này lên việc ước lượng vị trí, vận tốc và thời gian của máy thu. Các phép đo thu nhận được giữa các máy thu, giữa các vệ tinh và giữa hai thời điểm (epoch) có thể được lấy sai phân với nhau. Ảnh hưởng của sai số gây ra do quỹ đạo vệ tinh, sai số đồng hồ vệ tinh, sai số gây ra do tầng đối lưu và tầng điện ly có thể được giảm đi một cách đáng kể nhờ kỹ thuật DGPS giữa hai máy thu. Ảnh hưởng của các sai số máy thu như đồng hồ máy thu, hoặc nhiễu có thể được loại bỏ khi dùng kỹ thuật DGPS giữa các vệ tinh. Đối với phép đo pha, vì giá trị số nguyên các chu kỳ (ambiguities) là không thay đổi theo thời gian đối với tín hiệu của một vệ tinh thu được từ một máy thu, kỹ thuật DGPS giữa các epoch với nhau có thể loại bỏ được các giá trị nguyên các chu kỳ chưa biết này. Sau đây là những kiểu sai phân thường được áp dụng.

2.4.4.1. Sai phân đơn

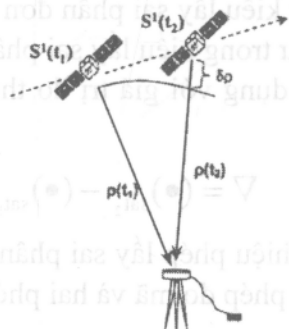
• Sai phân đơn giữa hai epoch (δ)

Kỹ thuật lấy sai phân đơn giữa hai epoch (between epoch single differencing) được thực hiện cho hai giá trị đo thu nhận được từ một máy thu đến một vệ tinh tại hai epoch t_1 và t_2 khác nhau, được mô tả ở hình 2.8. Phép đo trong kiểu sai phân đơn giữa hai epoch thời gian được hình thành một cách tổng quát hoá như sau:

$$\delta(\bullet) = (\bullet)_{t_1} - (\bullet)_{t_2}, \quad (2.13)$$

trong đó δ được dùng để ký hiệu phép sai phân đơn giữa hai epoch; $(\bullet)_{t_1}$ là giá trị tại thời điểm t_1 và $(\bullet)_{t_2}$ là giá trị tại thời điểm t_2 . Áp dụng cụ thể cho phép đo mã và phép đo pha ta có phép đo sai phân đơn giữa hai epoch được hình thành như sau:

$$\begin{aligned} \delta\rho &= \rho_{t_1} - \rho_{t_2} = \delta R + \delta dp + c(\delta dt - \delta dT) + \delta I + \delta T + \varepsilon_{\delta\rho} \\ \delta\phi &= \phi_{t_1} - \phi_{t_2} = \delta R + \delta dp + c(\delta dt - \delta dT) - \delta I + \delta T + \varepsilon_{\delta\phi} \end{aligned} \quad (2.14)$$



Hình 2.8. Sai phân đơn giữa hai epoch

Phương pháp này về cơ bản giúp giảm bớt những sai số chung ảnh hưởng tới giá trị đo mã hoặc đo pha thu nhận được giữa hai epoch. Bằng cách này, sai số quỹ đạo vệ tinh, sai số gây ra do ảnh hưởng của tầng điện ly, tầng đối lưu sẽ được giảm đi đáng kể. Quan trọng hơn cả là số nguyên các chu kỳ chưa biết của phép đo pha không thay đổi theo thời gian đối với một vệ tinh nhất định, và sẽ bị loại bỏ sau khi ta trừ hai giá trị đo tại hai thời điểm để hình thành nên phép đo của phương pháp sai phân đơn giữa hai epoch. Phương pháp này cho phép tính được sự biến đổi sai số của khoảng cách từ vệ tinh tới máy thu đo được theo thời gian. Nó chủ yếu được dùng để làm giảm bớt nhiễu trên giá trị đo pha (carrier phase smoothing) và là bước đệm cho phương pháp sai phân bậc ba sẽ được trình bày dưới đây.

• *Sai phân đơn giữa các vệ tinh (∇)*

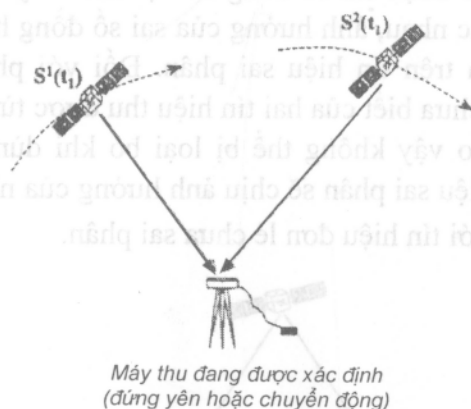
Kỹ thuật lấy sai phân đơn giữa hai vệ tinh (between satellite single differencing) được thực hiện cho hai phép đo thu nhận được từ một máy thu đến hai vệ tinh tại một thời điểm, được mô tả ở hình 2.9. Phép đo trong kiểu lấy sai phân đơn giữa hai vệ tinh được hình thành tương tự như trong kiểu lấy sai phân đơn giữa hai epoch ở trên, nhưng được áp dụng với giá trị đo thu được từ hai vệ tinh tại cùng một thời điểm:

$$\nabla = (\bullet)_{\text{sat}_2} - (\bullet)_{\text{sat}_1}, \quad (2.15)$$

trong đó ∇ dùng để ký hiệu phép lấy sai phân đơn giữa hai vệ tinh. Áp dụng cụ thể cho hai phép đo mã và hai phép đo pha ta có:

$$\begin{aligned} \nabla \rho &= \rho_{\text{sat}_2} - \rho_{\text{sat}_1} = \nabla \rho + \nabla d\rho + c\nabla dt + \nabla I + \nabla T + \varepsilon_{\nabla \rho} \\ \nabla \phi &= \phi_{\text{sat}_2} - \phi_{\text{sat}_1} = \nabla \rho + \nabla d\rho + c\nabla dt + \lambda \nabla N - \nabla I + \nabla T + \varepsilon_{\nabla \phi} \end{aligned} \quad (2.16)$$

Có thể thấy rằng, sai số đồng hồ của máy thu bị loại bỏ, và các sai số khác như sai số quỹ đạo vệ tinh, sai số do tầng điện ly và tầng đối lưu cũng được giảm đi đáng kể. Kỹ thuật này sẽ được dùng trong phương pháp sai phân kép được trình bày dưới đây.



Hình 2.9. Sai phân đơn giữa hai vệ tinh

- Sai phân đơn giữa máy thu (Δ)

Phép đo cho phương pháp lấy sai phân đơn giữa máy thu (between-receiver single differencing) được hình thành từ hiệu của hai giá trị đo thu được từ cùng một vệ tinh, tại cùng một thời điểm nhưng với hai máy thu khác nhau, được mô tả ở hình 2.10. Phương trình tổng quát của phép đo lấy sai phân giữa hai máy thu rx_1 và rx_2 là:

$$\Delta = (\bullet)_{rx_2} - (\bullet)_{rx_1} \quad (2.17)$$

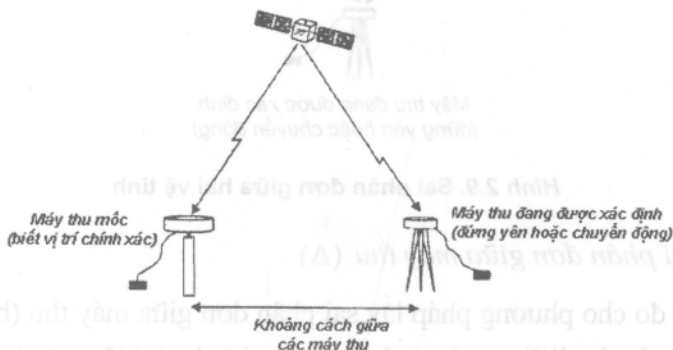
trong đó Δ là ký hiệu cho phép sai phân đơn giữa hai máy thu.

Tương tự như ở hai phương pháp trên, nếu ta có hai giá trị đo mã hoặc pha từ hai máy thu rx_1 và rx_2 thì có thể hình thành phép đo cho kỹ thuật sai phân đơn giữa hai máy thu như sau:

$$\Delta\rho = \rho_{rx_2} - \rho_{rx_1} = \Delta R + \Delta dp - c\Delta dT + \Delta I + \Delta T + \varepsilon_{\Delta\rho}$$

$$\Delta\phi = \phi_{rx_2} - \phi_{rx_1} = \Delta R + \Delta dp - c\Delta dT + \lambda\Delta N - \Delta I + \Delta T + \varepsilon_{\Delta\phi} \quad (2.18)$$

Phương pháp này giúp làm giảm đi sai số quỹ đạo, sai số khí quyển và loại bỏ được sai số đồng hồ vệ tinh. Tuy nhiên, do dùng hai máy thu khác nhau, ảnh hưởng của sai số đồng hồ máy thu vẫn còn nguyên vẹn trên tín hiệu sai phân. Đối với phép đo pha, số nguyên chu kỳ chưa biết của hai tín hiệu thu được từ hai máy thu là khác nhau và do vậy không thể bị loại bỏ khi dùng kỹ thuật sai phân này. Tín hiệu sai phân sẽ chịu ảnh hưởng của nhiễu nhiễu hơn gấp $\sqrt{2}$ lần so với tín hiệu đơn lẻ chưa sai phân.



Hình 2.10. Sai phân đơn giữa hai máy thu

2.4.4.2. Sai phân kép ($\nabla\Delta$)

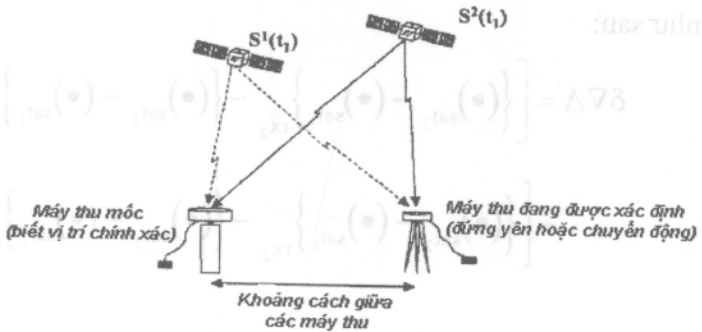
Kỹ thuật sai phân kép (double differencing) là phép lấy sai phân bậc hai, được thực hiện đối với các phép đo mã hoặc đo pha thu nhận được từ hai máy thu, từ các vệ tinh khác nhau tại cùng một thời điểm, như được mô tả ở hình 2.11. Công thức toán học tổng quát của phép lấy sai phân kép được thực hiện đối với tín hiệu thu được từ hai vệ tinh sat_1 và sat_2 của hai máy thu rx_1 và rx_2 được viết như sau:

$$\nabla \Delta = \left\{ (\bullet)_{\text{sat}_2} - (\bullet)_{\text{sat}_1} \right\}_{\text{rx}_2} - \left\{ (\bullet)_{\text{sat}_2} - (\bullet)_{\text{sat}_1} \right\}_{\text{rx}_1} \quad (2.19)$$

Cụ thể hoá đối với hai phép đo mã và đo pha, phép đo của kỹ thuật lấy sai phân kép như sau:

$$\begin{aligned} \nabla \Delta \rho &= \left\{ \rho_{\text{sat}_2} - \rho_{\text{sat}_1} \right\}_{\text{rx}_2} - \left\{ \rho_{\text{sat}_2} - \rho_{\text{sat}_1} \right\}_{\text{rx}_1} \\ &= \nabla \Delta R + \nabla \Delta \rho + \nabla \Delta I + \nabla \Delta T + \varepsilon_{\Delta \nabla \rho} \\ \nabla \Delta \phi &= \left\{ \phi_{\text{sat}_2} - \phi_{\text{sat}_1} \right\}_{\text{rx}_2} - \left\{ \phi_{\text{sat}_2} - \phi_{\text{sat}_1} \right\}_{\text{rx}_1} \\ &= \nabla \Delta R + \nabla \Delta \rho + \lambda \nabla \Delta N - \nabla \Delta I + \nabla \Delta T + \varepsilon_{\Delta \nabla \phi}, \end{aligned} \quad (2.20)$$

trong đó $\Delta \nabla$ được dùng để ký hiệu phép lấy sai phân kép.



Hình 2.11. Sai phân kép giữa hai vệ tinh và hai máy thu

Vì phép lấy sai phân kép được thực hiện trên hai máy đo và hai vệ tinh, sai số đồng hồ của cả máy thu và vệ tinh được loại bỏ hoàn toàn trên phép đo sai phân kép. Thêm vào đó, ảnh hưởng của các sai số quỹ đạo, sai số điện ly và sai số đối lưu cũng được giảm đi một cách đáng kể. Tuy nhiên, ảnh hưởng của nhiễu đối với phép đo sai phân lại tăng lên gấp đôi so với phép đo đơn khi chưa lấy sai phân. Phép lấy sai phân kép được sử dụng rất rộng rãi trong thực tế

đối với cả phép đo mã và phép đo pha. Kỹ thuật sai phân dùng phép đo pha được áp dụng chủ yếu cho các ứng dụng định vị có độ chính xác cao tới centimét và được lập trình trong phần lớn các máy định vị chất lượng cao. Trên thực tế, các máy thu sẽ thu nhận tín hiệu từ nhiều hơn hai vệ tinh. Để thực hiện được kỹ thuật sai phân kép này, một vệ tinh sẽ được chọn làm vệ tinh cơ sở (base satellite) và kỹ thuật sai phân được thực hiện giữa vệ tinh cơ sở này với các vệ tinh còn lại.

2.4.4.3 Sai phân bậc ba ($\delta\nabla\Delta$)

Kỹ thuật lấy sai phân bậc ba (triple differencing) được thực hiện giữa các phép đo tín hiệu của hai vệ tinh thu nhận được từ hai máy thu và tại các epoch khác nhau theo thời gian như được chỉ ra ở hình 2.12. Phép đo sai phân bậc ba được hình thành một cách tổng quát như sau:

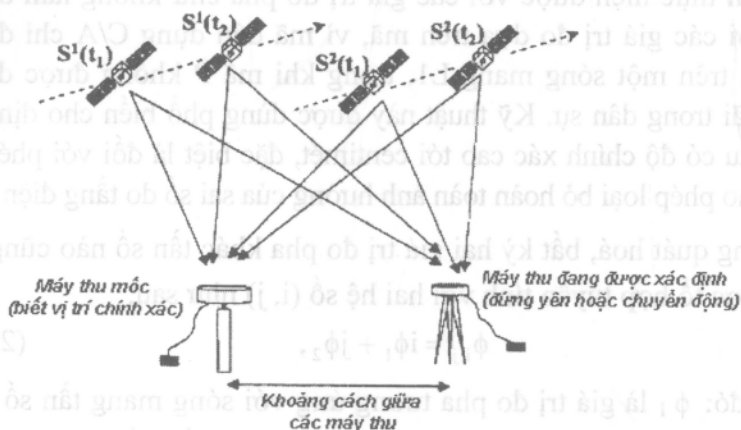
$$\delta\nabla\Delta = \left[\left\{ (\bullet)_{\text{sat}_2} - (\bullet)_{\text{sat}_1} \right\}_{\text{rx}_2} - \left\{ (\bullet)_{\text{sat}_2} - (\bullet)_{\text{sat}_1} \right\}_{\text{rx}_1} \right]_{t_2} - \left[\left\{ (\bullet)_{\text{sat}_2} - (\bullet)_{\text{sat}_1} \right\}_{\text{rx}_2} - \left\{ (\bullet)_{\text{sat}_2} - (\bullet)_{\text{sat}_1} \right\}_{\text{rx}_1} \right]_{t_1} \quad (2.21)$$

trong đó $\delta\Delta\nabla$ được dùng để ký hiệu phép lấy sai phân bậc ba. Cụ thể phép đo sai phân bậc ba dùng phép đo pha được hình thành như sau:

$$\delta\nabla\Delta\phi = \delta\nabla\Delta R + \delta\nabla\Delta d\rho + \delta\nabla\Delta T - \delta\nabla\Delta I + \varepsilon_{\delta\nabla\Delta\phi} \quad (2.22)$$

Kỹ thuật sai phân bậc ba giúp làm giảm đáng kể sai số quỹ đạo vệ tinh và sai số gây ra do tầng khí quyển. Hơn thế nữa, sai số đồng hồ máy thu và vệ tinh cũng như là số nguyên các chu kỳ chưa biết đều bị loại bỏ hoàn toàn. Tuy nhiên, nhiễu ảnh hưởng lên phép đo sai số lại tăng lên $2\sqrt{2}$ lần so với giá trị đo đơn lẻ chưa lấy sai

phân. Kỹ thuật sai phân bậc ba tuy chỉ dùng để định vị máy thu ở trạng thái tĩnh và chủ yếu là dùng để xác định sự trượt chu kỳ (cycle slip) đối với các phép đo pha.



Hình 2.12. Sai phân bậc ba giữa vệ tinh, máy thu và epoch

2.4.5. Tổ hợp tuyến tính của các giá trị đo pha khác tần số

Một trong những sai số lớn nhất của công nghệ định vị toàn cầu là ảnh hưởng của tầng điện ly đến việc truyền tín hiệu. Tuy nhiên, thật may mắn là ảnh hưởng này lại khác nhau đối với tín hiệu ở tần số khác nhau. Vì vậy, các giá trị đo được ở hai tần số khác nhau của tín hiệu định vị có thể được tổ hợp tuyến tính để loại trừ ảnh hưởng của tầng điện ly. Trước hết hãy lưu ý mối quan hệ của sai số do tầng điện ly đối với tín hiệu trên sóng L1 và L2 như sau:

$$I_{L2} = \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^2 I_{L1}, \quad (2.23)$$

trong đó I_{L1} là sai số đối với tín hiệu có tần số L1; I_{L2} là sai số đối với tín hiệu có tần số L2; λ_1 và λ_2 là bước sóng của tín hiệu có tần số L1 và L2. Thêm vào đó tín hiệu tổ hợp có những tính chất mới,

ví dụ như giá trị bước sóng mới, có thể cung cấp lợi thế giúp nâng cao chất lượng định vị, đặc biệt là trong việc giải đoán số nguyên chu kỳ chưa biết khi dùng phép đo pha. Việc tổ hợp các giá trị đo này chỉ thực hiện được với các giá trị đo pha chứ không làm được đối với các giá trị đo dựa trên mã, vì mã dân dụng C/A chỉ được truyền trên một sóng mang L1, trong khi mã P không được dùng rộng rãi trong dân sự. Kỹ thuật này được dùng phổ biến cho định vị yêu cầu có độ chính xác cao tới centimet, đặc biệt là đối với phép tổ hợp cho phép loại bỏ hoàn toàn ảnh hưởng của sai số do tầng điện ly.

Tổng quát hoá, bất kỳ hai giá trị đo pha khác tần số nào cũng có thể được tổ hợp tuyến tính với hai hệ số (i, j) như sau:

$$\phi_{i,j} = i\phi_1 + j\phi_2, \quad (2.24)$$

trong đó: ϕ_1 là giá trị đo pha tương ứng với sóng mang tần số L1; ϕ_2 là giá trị đo pha tương ứng với sóng mang tần số L2 và $\phi_{i,j}$ là giá trị tổ hợp. Bước sóng tương ứng $\lambda_{i,j}$ của sóng tổ hợp (i, j) là:

$$\lambda_{i,j} = \left(\frac{i}{\lambda_1} + \frac{j}{\lambda_2} \right)^{-1} \quad (2.25)$$

trong đó λ_1 là bước sóng của L1 và λ_2 là bước sóng của L2. Số nguyên chưa biết của sóng tổ hợp $N_{i,j}$ là:

$$N_{i,j} = iN_1 + jN_2 \quad (2.26)$$

trong đó N_1 là số nguyên các chu kỳ chưa biết của sóng L1 và N_2 là số nguyên các chu kỳ chưa biết của sóng L2.

Trong hệ thống GPS, đặc biệt là trong các trường hợp đòi hỏi có độ chính xác cao, rất nhiều tổ hợp tuyến tính của các giá trị đo pha với hai tần số L1 và L2 có thể được dùng trong phép sai phân kép (double difference) và chúng được tóm tắt ở bảng 2.4.

Bảng 2.4. Các loại tổ hợp tuyến tính hai giá trị đo pha ở hai tần số L1 và L2 dành cho phương pháp sai phân kép với phép đo pha [11]

Loại tổ hợp	I	J	$\lambda_{n,l}$ (cm)	Phương trình giá trị đo $\nabla\Delta\phi_{l,j}$	N của tín hiệu tổ hợp
L1	1	0	19,03	$\nabla\Delta\phi_{L1} = \frac{\nabla\Delta\rho}{\lambda_1} + \nabla\Delta N_1 - \frac{\nabla\Delta I_1}{\lambda_1} + \nabla\Delta\varepsilon_1$	N_1
L2	0	1	24,42	$\nabla\Delta\phi_{L2} = \frac{\nabla\Delta\rho}{\lambda_2} + \nabla\Delta N_2 - \frac{77}{60} \frac{\nabla\Delta I_1}{\lambda_1} + \nabla\Delta\varepsilon_2$	N_2
Wide-lane (WL)	1	-1	86,19	$\nabla\Delta\phi_{WL} = \frac{\nabla\Delta\rho}{\lambda_{WL}} + \nabla\Delta N_{WL} - \frac{17}{60} \frac{\nabla\Delta I_1}{\lambda_1} + \nabla\Delta\varepsilon_{WL}$	$N_1 - N_2$
Narrow-lane (NL)	1	1	10,70	$\nabla\Delta\phi_{NL} = \frac{\nabla\Delta\rho}{\lambda_{NL}} + \nabla\Delta N_{NL} - \frac{137}{60} \frac{\nabla\Delta I_1}{\lambda_1} + \nabla\Delta\varepsilon_{NL}$	$N_1 + N_2$
Ionospheric-free (IF)	1	$-\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$	48,44	$\nabla\Delta\phi_{IF} = \frac{\nabla\Delta\rho}{\lambda_{IF}} + \nabla\Delta N_{IF} + \nabla\Delta\varepsilon_{IF}$	$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1 - N_2$

Bảng 2.5. So sánh ảnh hưởng của sai số đo tăng điện ly và của nhiễu lên các tín hiệu tổ hợp [11]

Loại tổ hợp	Ảnh hưởng của sai số đo tăng điện ly		Ảnh hưởng của nhiễu	
	Đơn vị chu kỳ	Đơn vị mét	Đơn vị chu kỳ	Đơn vị mét
L1	$\frac{\nabla \Delta I_1}{\lambda_1}$	$\nabla \Delta I_1$	$\nabla \Delta \sigma_1$	$\nabla \Delta \sigma_1 \cdot \lambda_1 = 0,1903 \nabla \Delta \sigma_1$
L2	$\frac{77}{60} \frac{\nabla \Delta I_1}{\lambda_1}$	$\frac{77}{60} \frac{\nabla \Delta I_1}{\lambda_1} \lambda_2 = \left(\frac{77}{50} \right)^2 \nabla \Delta I_1$	$\nabla \Delta \sigma_1$	$\nabla \Delta \sigma_1 \cdot \lambda_2 = 0,2442 \nabla \Delta \sigma_1$
WL	$\frac{17}{60} \frac{\nabla \Delta I_1}{\lambda_1}$	$\frac{17}{60} \frac{\nabla \Delta I_1}{\lambda_1} \lambda_{WL} = \frac{77}{60} \nabla \Delta I_1$	$1,41 \nabla \Delta \sigma_1$	$1,41 \nabla \Delta \sigma_1 \cdot \lambda_{WL} = 1,21 \nabla \Delta \sigma_1$
NL	$\frac{137}{60} \frac{\nabla \Delta I_1}{\lambda_1}$	$\frac{137}{60} \frac{\nabla \Delta I_1}{\lambda_1} \lambda_{NL} = \frac{77}{60} \nabla \Delta I_1$	$1,41 \nabla \Delta \sigma_1$	$1,41 \nabla \Delta \sigma_1 \cdot \lambda_{NL} = 0,15 \nabla \Delta \sigma_1$
IF	0	0	$1,26 \nabla \Delta \sigma_1$	$1,26 \nabla \Delta \sigma_1 \cdot \lambda_{IF} = 0,60 \nabla \Delta \sigma_1$

Có thể thấy là trường hợp dùng tín hiệu của một tần số L1 hoặc L2 là hai trường hợp cá biệt của phép tổ hợp. Mỗi một phương pháp tổ hợp lại cho tín hiệu tổ hợp mới với các tính chất riêng biệt chịu mức độ ảnh hưởng của các sai số khác nhau. Ảnh hưởng của sai số do tầng điện ly và ảnh hưởng của nhiễu lên tín hiệu tổ hợp hai tần số được tóm tắt trong bảng 2.5. Sau đây là tóm tắt về một vài tính chất quan trọng của mỗi tín hiệu tổ hợp kể trên.

2.4.5.1. Tổ hợp Wide – Lane (WL)

Tổ hợp WL có đặc điểm quan trọng là ảnh hưởng của sai số tầng điện ly lên giá trị tổ hợp WL khi dùng đơn vị chu kỳ thấp hơn so với ảnh hưởng lên tín hiệu L1, cụ thể là nhỏ hơn $17/60$ lần. Do đó, cùng với đặc điểm là có bước sóng dài, việc giải đoán số nguyên các chu kỳ khi dùng giá trị tổ hợp WL thường không gặp nhiều khó khăn. Điều này là dễ hiểu, ví dụ đối với giá trị đo L1 của GPS, một sai số là 19 cm (tương đương với một bước sóng của L1) đã làm cho việc giải đoán số nguyên gặp nhiều khó khăn; nhưng khi dùng giá trị WL, nó sẽ chịu ảnh hưởng tương đương với sai số có giá trị tới 86 cm. Tuy nhiên, trên khía cạnh khác, đặc tính này lại làm cho việc sử dụng phép tổ hợp WL cho kết quả định vị không thật chính xác. Hơn thế nữa, tuy ảnh hưởng của sai số điện ly theo đơn vị chu kỳ là nhỏ, nhưng theo đơn vị mét lại là lớn hơn khi dùng tín hiệu L1 tới $77/60$ lần do tác động của bước sóng dài. Hơn thế nữa, ảnh hưởng của nhiễu lên tín hiệu tổ hợp có bước sóng dài như vậy là cao. Do vậy, phép tổ hợp WL chỉ thường được dùng làm bước đệm, nhằm mục đích hỗ trợ cho phép giải đoán số nguyên chưa biết L1 và L2 của tín hiệu tổ hợp khác.

2.4.5.2. Tổ hợp Narrow – Lane (NL)

Khác với tổ hợp WL, tổ hợp NL lại có bước sóng ngắn (khoảng 11 cm). Vì có bước sóng tương đối ngắn hơn so với các tín hiệu tổ hợp khác, nên tín hiệu NL ít chịu ảnh hưởng của nhiễu. Do vậy, nếu số nguyên các chu kỳ chưa biết được giải đoán một cách chính xác (thường có thể thực hiện được trong điều kiện sai số của tầng điện ly vô cùng nhỏ) thì sẽ cho kết quả định vị có độ chính xác rất cao. Tuy nhiên, khi sai số của tầng điện ly là đáng kể, việc giải đoán số nguyên chưa biết của tín hiệu có bước sóng nhỏ như vậy là thường không thể thực hiện được. Điều này là vì (như đã được thống kê ở bảng 2.4) ảnh hưởng của sai số điện ly lên giá trị NL lại lớn hơn so với cả tín hiệu tổ hợp WL hoặc L1.

2.4.5.3. Tổ hợp Ionospheric – Free (IF)

Tổ hợp IF là tổ hợp phổ biến nhất được dùng trong định vị vì nó cho phép loại bỏ hoàn toàn ảnh hưởng (bậc 1) của sai số điện ly, mà đây lại là sai số lớn nhất của phép đo pha GPS và thường cho kết quả định vị có độ chính xác cao. Tuy nhiên, nhược điểm của phép tổ hợp này là chịu ảnh hưởng cao của nhiễu. Hơn thế nữa, nếu ta chú ý đến số nguyên chu kỳ của tín hiệu tổ hợp IF trong bảng 2.5 thì có thể thấy rằng đây không phải là một số nguyên. Do vậy, kết quả định vị với phép tổ hợp IF thường sử dụng giá trị động (float solutions) của các số nguyên chu kỳ. Nếu giá trị số nguyên các chu kỳ chưa biết của tín hiệu L1 và L2 riêng rẽ thì có thể được giải đoán cho giá trị cố định, giá trị cố định (fixed value) của số nguyên các chu kỳ của tín hiệu tổ hợp IF có thể được hình thành từ các giá trị cố định này.

2.5. Các nguồn sai số của phép đo tín hiệu vệ tinh định vị toàn cầu

Để tạo được một bố cục liên mạch, phần các sai số này được trình bày chi tiết trong hệ thống GPS. Tuy nhiên, việc sử dụng các hệ thống vệ tinh định vị khác như Galileo và GLONASS cũng đều chịu ảnh hưởng của các sai số tương tự.

Các nguồn sai số của tín hiệu vệ tinh định vị toàn cầu, và cũng là kết quả định vị vị trí, vận tốc và thời gian của máy thu được chia ra thành bốn nguồn chính:

(i) Sai số do vệ tinh, tức là sai số đồng hồ vệ tinh và các nhiễu trong công nghệ vệ tinh.

(ii) Sai số gây ra tại các trạm điều khiển, cụ thể nhất là sai số trong việc dự đoán và tính toán quỹ đạo của vệ tinh. Thông tin này sẽ được truyền lên vệ tinh để mã hoá vào tín hiệu và truyền xuống cho máy thu.

(iii) Sai số trong quá trình truyền tín hiệu, cụ thể là sai số do tầng điện ly, do tầng đối lưu, sai số do việc tín hiệu bị phản xạ làm cho máy thu thu nhận được những tín hiệu phản xạ (hiện tượng đa đường truyền) và nhiễu gây ra do việc truyền phát các tín hiệu khác.

(iv) Sai số do máy thu, ví dụ như do nhiễu tại máy thu hay là sai số đồng hồ của máy thu.

Giá trị trung bình của các sai số này lên phép đo mã được thống kê trong bảng 2.6. Mỗi sai số có trong quá trình sử dụng hệ thống vệ tinh định vị là rất đặc thù và mức độ tác động của chúng lên kết quả định vị lại thay đổi phụ thuộc vào nhiều yếu tố và các hoàn cảnh khác nhau. Điều quan trọng dành cho người sử dụng là cần phải phân tích để xác định được khả năng ảnh hưởng của các sai số cho trường hợp riêng biệt. Đối với mỗi sai số, hai đặc tính quan trọng nhất cần phải chú ý là cường độ và sự biến đổi của cường độ

sai số theo không gian và thời gian. Cường độ của sai số có thể khác biệt khi quan tâm giữa giá trị tuyệt đối của nó (khi định vị dùng một máy thu) và giữa giá trị tương đối của nó giữa các địa điểm khác nhau (khi định vị dùng nhiều máy thu). Những đặc tính của sự biến đổi cường độ của sai số theo thời gian (temporal variation) và theo không gian (spatial variation) trở nên quan trọng trong quá trình mô phỏng và loại trừ sai số. Có rất nhiều nghiên cứu đã dùng GPS với vị trí của máy thu đã biết để tính toán ước lượng cường độ cũng như sự biến đổi cường độ của sai số, ví dụ như sai số do tầng điện ly hoặc độ ẩm quyết định sai số do tầng đối lưu. Trong khuôn khổ giới hạn, cuốn sách này chỉ có thể trình bày được những khái niệm, định nghĩa và thuật toán cơ bản nhất.

Bảng 2.6. Các nguồn sai số cơ bản của phép đo tín hiệu vệ tinh định vị toàn cầu GPS

Các nguồn sai số		SPS (1 σ) (m)	PPS (1 σ) (m)
Các sai số do vệ tinh	Đồng hồ vệ tinh	3,0	3,0
	Nhiều trong kỹ thuật vệ tinh	1,0	1,0
	Tính sẵn sàng để dùng có lựa chọn (SA)	32,3	–
	Sai số khác (nhiệt, phóng xạ, v.v.)	0,5	0,5
Các sai số do trạm điều khiển	Dự đoán quỹ đạo	4,2	4,2
	Các sai số khác	0,9	0,9
Các sai số khi truyền tín hiệu	Sai số do tầng điện ly	5,0	2,3
	Sai số do tầng đối lưu	1,5	2,0
	Đa đường truyền	2,5	1,2
Các sai số do máy thu	Nhiều máy thu	1,5	1,5
	Các sai số khác (nhiều giữa các kênh truyền v.v.)	0,5	0,5
UERE (User Equipment Range Error) (1 σ)		33,2	8,0

2.5.1. Các sai số do vệ tinh

2.5.1.1. Sai số quỹ đạo vệ tinh

Để xác định được vị trí và tốc độ của máy thu tín hiệu GPS, người sử dụng phải biết được vị trí của vệ tinh tại thời điểm phát tín hiệu. Thông tin này, trong tiếng Anh được gọi là ephemeris, được mã hoá trong dữ liệu định vị và truyền đi cùng tín hiệu vệ tinh. Vị trí của vệ tinh được dự đoán bằng một tập hợp các thông số quỹ đạo Kepler và thông số thời gian [7]. Sai số trong việc dự đoán trước quỹ đạo của vệ tinh so với quỹ đạo thực của nó được gọi là sai số quỹ đạo của vệ tinh. Sai số quỹ đạo của vệ tinh là rất quan trọng, có ảnh hưởng trực tiếp tới độ chính xác của kết quả định vị vị trí, tốc độ và thời gian của máy thu. Cách hiển nhiên nhất để giảm sai số quỹ đạo lên kết quả định vị là dùng thông số quỹ đạo chính xác (precise ephemeris) được tính toán sau khi vệ tinh đã đi qua thời điểm cần thiết, cho phép người dùng tính toán vị trí của vệ tinh với độ chính xác nhỏ hơn 5 cm [6]. Thông số quỹ đạo chính xác được cung cấp bởi rất nhiều hãng dịch vụ GPS (GPS agencies), ví dụ như International GPS Service (IGS) [6], US National Geodetic Survey (NGS), Geodetic Survey Division (GSD) và Natural Resources Canada (NRCAN). Tuy nhiên, thông số quỹ đạo chính xác không được cập nhật và cung cấp tức thời. Ví dụ, người sử dụng phải đợi 12 ngày để có thể có được thông số quỹ đạo chính xác cuối cùng (final precise ephemeris), 17 giờ cho thông số quỹ đạo nhanh (rapid ephemeris) và 3 giờ cho thông số quỹ đạo rất nhanh (ultra-rapid ephemeris). Đối với hầu hết các ứng dụng đòi hỏi kết quả định vị theo thời gian thực, thông số quỹ đạo phát đi cùng với tín hiệu vệ tinh (broadcast ephemeris) thường được sử dụng. Các thông số quỹ đạo này sẽ được gọi là thông số

quỹ đạo tức thời để tiện quy ước. Vị trí của vệ tinh tính toán được dùng thông số quỹ đạo tức thời cho độ chính xác RMS khoảng 2 m [6].

2.5.1.2. Sai số do đồng hồ vệ tinh

Tương tự như thông số quỹ đạo, thông số thời gian của vệ tinh, bao gồm cả giá trị thời gian hiện tại và giá trị tiên đoán, cũng được xác định tại các trạm điều khiển tại mặt đất và truyền ngược lên vệ tinh để được mã hoá vào dữ liệu vệ tinh và truyền đi. Quá trình xác định thời gian vệ tinh theo hệ chuẩn GPST và quá trình tiên đoán thời gian đều chứa đựng sai số, được gọi là sai số do đồng hồ vệ tinh. Để giảm sai số do đồng hồ vệ tinh, người sử dụng cũng có thể chờ để có thông số thời gian vệ tinh cung cấp bởi các hãng dịch vụ tương tự như của thông số quỹ đạo. Độ chính xác của thời gian vệ tinh dùng dữ liệu vệ tinh được truyền phát tức thời và dùng các dịch vụ không tức thời được thống kê ở bảng 2.7.

Bảng 2.7. Độ chính xác trong xác định GPST với đồng hồ của các vệ tinh [14]

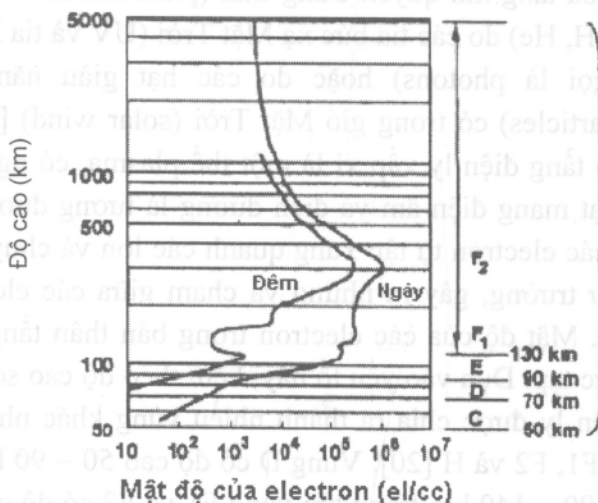
<i>Loại thông số thời gian vệ tinh</i>	<i>Độ chính xác</i>	<i>Thời gian chờ</i>
Truyền tức thời cùng với dữ liệu vệ tinh	~ 7 nanô-giây	Thời gian thực
Chính xác, rất nhanh	~ 5 nanô-giây	3 giờ
Chính xác, nhanh	~ 0,2 nanô-giây	17 giờ
Chính xác, cuối cùng	< 0,1 nanô-giây	12 ngày

2.5.2. Các sai số khi truyền tín hiệu

2.5.2.1. Sai số do tầng điện ly

Tầng điện ly là tầng khí quyển ở độ cao khoảng 50 km đến 2.000 km so với bề mặt Trái Đất và có ảnh hưởng rất quan trọng tới đường truyền của tín hiệu GPS. Tầng điện ly được hình thành bởi sự ion hoá tầng khí quyển trung tính (phần lớn là các phân tử NO , O_2 , O_3 , H , He) do các tia bức xạ Mặt Trời (UV và tia X quang, còn được gọi là photons) hoặc do các hạt giàu năng lượng (energetic particles) có trong gió Mặt Trời (solar wind) [19]. Bản thân toàn bộ tầng điện ly xấp xỉ là một thể plasma, có nghĩa là số lượng các hạt mang điện âm và điện dương là tương đương nhau. Tuy nhiên, các electron tụ tập xung quanh các ion và chuyển động theo dòng từ trường, gây ra những va chạm giữa các electron và các ion [19]. Mật độ của các electron trong bản thân tầng điện ly thay đổi phức tạp. Dựa vào yếu tố này, kèm theo độ cao so với mặt đất, tầng điện ly được chia ra thành nhiều vùng khác nhau, được gọi là D, E, F1, F2 và H [20]. Vùng D có độ cao 50 – 90 km, vùng E có độ cao 90 – 140 km trong khi vùng F1 và F2 có độ cao tương ứng là 140 – 210 km và 210 – 1000 km. Vùng ngoài cùng H của tầng điện ly có độ cao từ khoảng 1000 – 2000 km. Mật độ (tức là số electron trên một đơn vị thể tích) thay đổi theo độ cao so với bề mặt Trái Đất: bắt đầu tăng ở độ cao 50 km, đạt tới đỉnh điểm tại độ cao 300 – 350 km với mật độ 10^{12} electron/ m^3 và sau đó giảm mạnh khi độ cao tăng hơn nữa. Điều này được mô tả cụ thể ở hình 2.12. Chính vì vậy, vùng D và E có ảnh hưởng không đáng kể tới tín hiệu GPS, trong khi vùng F1 và F2 thì lại gây ra nhiều ảnh hưởng quan trọng, đặc biệt là khi các electron bị kích hoạt mạnh khi xảy ra các cơn bão điện ly (ionospheric storm). Đây là hiện

tượng gây ra nhiều ảnh hưởng nghiêm trọng tới chất lượng định vị. Vùng H ngoài cùng do mật độ electron thấp, thường không có ảnh hưởng gì đặc biệt tới tín hiệu GPS. Tuy nhiên, trong điều kiện bão điện ly thì các hoạt động của electron ở vùng H có thể trở nên phức tạp và cũng có thể gây ra những ảnh hưởng đáng lưu ý tới tín hiệu PS [20].



Hình 2.12. Sự thay đổi của mật độ electron theo độ cao của tầng điện ly so với mặt đất

Vì mật độ của các electron trong tầng điện ly là rất quan trọng tới sai số của phép đo tín hiệu GPS, một khái niệm đo cần được hiểu rõ là TEC (Total Electron Content). Đại lượng này dùng để chỉ mật độ của electron trong một cột diện tích dọc theo đường truyền tín hiệu và có đơn vị đo là electrons/m². V_{TEC} (Vertical Total Electron Content) là mật độ của electron trong một cột diện tích dọc theo đường truyền tín hiệu đã được chiếu theo hướng thiên đỉnh. Một điều cần lưu ý là đại lượng này thay đổi theo địa điểm

trên tầng điện ly cũng như theo cường độ hoạt động tích cực của bản thân tầng điện ly. Khái niệm này hoàn toàn khác với đại lượng mật độ electron trên một đơn vị thể tích, nó thay đổi theo chiều cao như đã trình bày ở trên.

Tín hiệu GPS phần lớn có thể đi xuyên qua tầng điện ly, nhưng sẽ bị yếu đi và bị ảnh hưởng, phụ thuộc vào tần số của tín hiệu, mức độ tích cực của các electron và mật độ của chúng dọc theo đường truyền của tín hiệu. Các ảnh hưởng chính của tầng điện ly đối với tín hiệu GPS được liệt kê như sau:

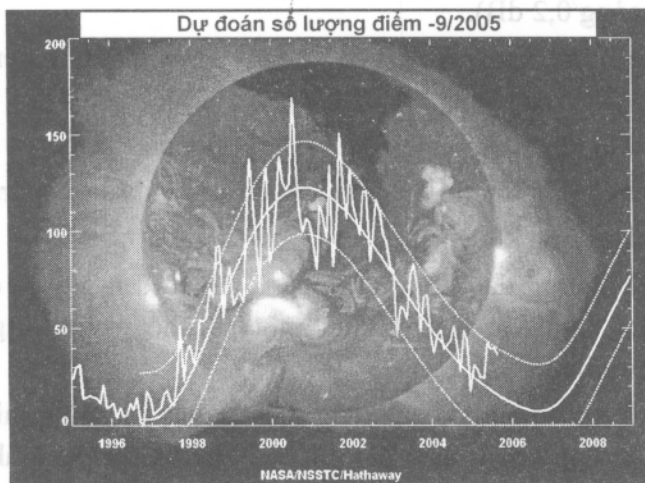
- Kéo dài thời gian truyền tín hiệu (group delay).
- Giảm thời gian truyền sóng mang (phase advance).
- Làm yếu tín hiệu truyền qua (cường độ tín hiệu bị giảm đi khoảng 0,2 dB).
- Tác động quay Faraday (Faraday rotation) gây nên sự thay đổi của mặt phẳng truyền sóng.
- Ảnh hưởng dịch chuyển Doppler (Doppler shift).
- Ảnh hưởng lên tín hiệu phụ thuộc vào tần số (dispersion).
- Ảnh hưởng khúc xạ.
- Ảnh hưởng dao động tín hiệu ở tần số cao gây ra do sự tập trung của các electron tại một số chỗ trong tầng điện ly (scintillation).

Một số đặc tính khác của tầng điện ly gây ra những hiện tượng làm ảnh hưởng không nhỏ đến việc sử dụng tín hiệu định vị được tóm tắt như sau [19, 20]:

a) Cường độ hoạt động thay đổi theo chu kỳ tuần hoàn của hệ Mặt Trời (solar cycle)

Cường độ của quá trình ion hoá trong tầng điện ly phụ thuộc chủ yếu vào Mặt Trời và các hoạt động của nó. Các hoạt động của

Mặt Trời diễn ra trong mối quan hệ với chu kỳ tuần hoàn của hệ Mặt Trời (solar cycle) và được đánh giá dựa trên số lượng điểm đen (sun plots) chụp được trên bề mặt Mặt Trời. Hoạt động của hệ Mặt Trời được coi là đạt đến cực điểm khi số điểm đen lớn nhất, cũng có nghĩa là số lượng bức xạ Mặt Trời phóng ra là cao nhất. Chu kỳ tuần hoàn này là 11 năm một lần. Hình 2.13 mô tả một chu kỳ tuần hoàn của hệ Mặt Trời với số lượng các điểm đen chụp được cao nhất vào năm 2001 và dự đoán cho thời điểm tiếp theo là năm 2012. Trong những khoảng thời gian như thế này, Mặt Trời phát ra các tia bức xạ nhiều hơn bình thường. Kết quả là sự ion hoá xảy ra mạnh hơn trong tầng điện ly gây ra các ảnh hưởng lớn hơn và phức tạp hơn cho tín hiệu định vị.



Hình 2.13. Chu kỳ tuần hoàn của hệ Mặt Trời trong vòng 10 năm trở lại đây

b) Thay đổi theo chu kỳ ngày – đêm và mùa

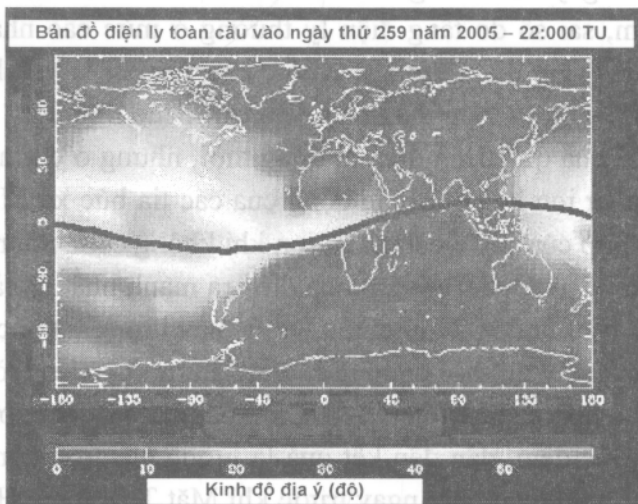
Độ lớn của sai số đối với tín hiệu định vị gây ra do tầng điện ly thay đổi phụ thuộc vào lượng electron trên đường truyền dẫn tín

hiệu mà đại lượng này lại phụ thuộc vào quá trình ion hoá diễn ra trong bầu khí quyển dẫn đến sự phụ thuộc chủ yếu vào hoạt động tự nhiên của hệ Mặt Trời. Quá trình ion hoá trong tầng điện ly thay đổi giữa ngày-đêm và giữa các mùa khác nhau. Theo quy luật ngày-đêm, sai số do tầng điện ly thường ở mức cao nhất vào lúc 2 giờ chiều (giờ địa phương), ở mức cao thứ hai là vào lúc 10 giờ tối và tụt xuống ở mức thấp nhất vào trước lúc Mặt Trời mọc. Đây là kết quả của quá trình diễn ra đồng thời, nhưng ở cường độ khác nhau của sự ion hoá dưới tác động của các tia bức xạ Mặt Trời và sự tái tổ hợp của các electron và ion khi không có tác động của các tia bức xạ [20]. Quá trình ion hoá diễn ra mạnh nhất là vào khoảng thời gian từ trưa đến 2 giờ chiều, vì lúc này lượng tia bức xạ là cao nhất trong ngày tại thời điểm này. Bắt đầu từ khi Mặt Trời lặn, quá trình tái tổ hợp của các electron và ion bắt đầu và đạt cường độ cao nhất vào lúc đêm, dẫn đến kết quả là lượng electron còn lại trong tầng điện ly là thấp nhất ngay trước khi Mặt Trời mọc. Hiện tượng số lượng electron cao thứ hai trong ngày vào lúc 10 giờ tối không đơn thuần là kết quả của chu kỳ Mặt Trời lặn và mọc. Hiện tượng này sẽ được giải thích kỹ hơn ở phần sau. Theo mùa, sai số do tầng điện ly thường lớn hơn vào mùa Đông so với mùa Hè, bởi vì quá trình tái tổ hợp của các electron tự do diễn ra chậm hơn dưới tác dụng của phân tử nitơ (N_2) bị làm lạnh [20].

c) Sự bất thường ở vùng kẻ Xích đạo (Equator anomaly)

Ngoài đặc tính phụ thuộc vào chu kỳ ngày đêm và theo mùa, sai số do tầng điện ly cũng có một vài tính chất quan trọng khác. Một tính chất quan trọng trong số đó được gọi là sự không bình thường ở hai vùng kẻ Xích đạo. Hiện tượng này bị gây ra bởi chuyển động của các luồng gió trung tính (neutral wind) thổi dạt các electron sang hai bên của Xích đạo (sang hai vùng có vĩ tuyến khoảng $\pm 10^\circ$),

làm tăng mật độ electron ở những vùng này [20]. Một số nước nằm trong khu vực này, ví dụ như Brazil, Ấn Độ, Thái Lan, phía nam Việt Nam, Malaysia sẽ chịu ảnh hưởng của hiện tượng này (hình 2.14).



Hình 2.14. Hiện tượng bất thường ở vùng kề Xích đạo

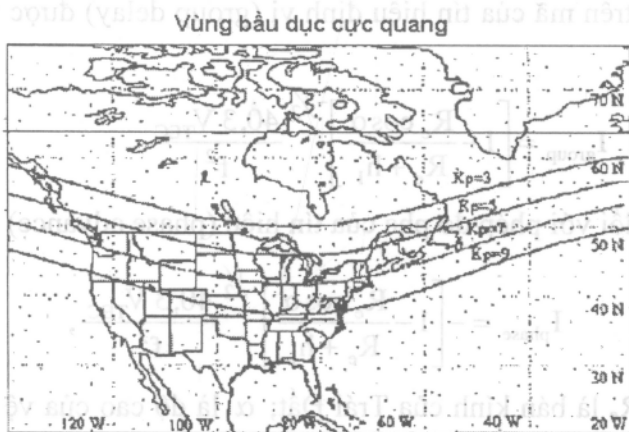
d) Những biến động đột ngột (Sudden Ionospheric Disturbance – SID) và sự hấp thụ ở chòm địa cực (polar cap absorbtion)

Hiện tượng SID bị gây ra bởi những đốm lửa năng lượng Mặt Trời (solar flares) tạo nên những vệt sáng gồm các hạt electron giàu năng lượng trong một vùng nhỏ làm tăng đột ngột TEC trong vùng D, E, F của tầng điện ly. Những vệt sáng này thông thường chỉ kéo dài vài phút hoặc vài giờ đồng hồ [19]. Những đốm sáng lớn hơn trong hệ Mặt Trời chứa đựng rất nhiều hạt proton giàu năng lượng và chúng gây ra quá trình ion hoá cường độ mạnh tại một số điểm. Hiện tượng này thường được quan sát thấy tại vĩ độ cao, khoảng 75° vĩ độ trở lên [19] và được gọi là hấp thụ ở chòm

địa cực (polar cap). Hiện tượng này thường kéo dài khoảng vài ngày liền nhưng lại rất hiếm khi xảy ra.

e) *Vùng bầu dục cực quang (auroral oval)*

Vùng bầu dục cực quang là vùng có vĩ độ nằm trong khoảng từ $65 - 67^\circ$ ($50 - 60^\circ$ vĩ độ địa lý) vào ban đêm và $75 - 85^\circ$ vào ban ngày [19]. Các electron kích hoạt và khả năng dẫn điện tăng vọt được hình thành tại đây, đặc biệt là dưới tác dụng của các cơn bão từ hoặc điện ly. Hiện tượng này hình thành phần lớn là do tác động của gió trung tính. Tuy nhiên, mức độ phức tạp của hiện tượng còn chưa được các nhà khoa học hiểu hết hoàn toàn và giải thích rõ ràng trong tài liệu [19]. Các nước nằm trong khu vực này, ví dụ như Canada có thể chịu ảnh hưởng nghiêm trọng của hiện tượng này và được mô tả ở hình 2.15.



Hình 2.15. Giới hạn vùng bầu dục cực quang

f) *Bão từ và bão điện ly (Magnetic and ionospheric storms)*

Bão từ là một hiện tượng toàn cầu, gây ra bởi những thay đổi lớn, đột ngột trong áp suất gió trung tính, tạo ra rối loạn trong từ

trường Trái Đất. Đặc trưng của bão điện ly là tạo ra sự không đồng đều trong mật độ của các electron trong vùng F của tầng điện ly. Những ảnh hưởng của tầng điện ly lên tín hiệu định vị là rất lớn trong điều kiện bão. Ngoài tác dụng làm chậm trễ thời gian truyền của tín hiệu, sự tập trung cao độ của các electron tại một số vùng nhất định trong tầng điện ly, nhất là trong điều kiện có bão, gây ra những tác động phức tạp và nguy hiểm hơn cả, đặc biệt nhất là nhiễu ở mức độ cao (high noise), dao động tín hiệu ở cường độ cao (scintillations), hoặc tín hiệu bị ngắt đoạn (cycle slips). Việc này gây trở ngại rất lớn cho các máy thu tín hiệu định vị và quá trình xác định bù trừ sai số, thậm chí có thể dẫn đến việc máy thu bị mất tín hiệu (lost of phase lock).

Sai số gây ra do tầng điện ly I_{group} (m) đối với phép đo khoảng cách dựa trên mã của tín hiệu định vị (group delay) được tính toán như sau:

$$I_{\text{group}} = \left[1 - \frac{R_e \cos \alpha}{R_e + h_1} \right]^{-1/2} \frac{40,3 V_{\text{TEC}}}{f^2} \quad (2.27)$$

và sai số đối với phép đo pha của tín hiệu (phase advance) I_{phase} là:

$$I_{\text{phase}} = - \left[1 - \frac{R_e \cos \alpha}{R_e + h_1} \right]^{-1/2} \frac{40,3 V_{\text{TEC}}}{f^2}, \quad (2.28)$$

trong đó R_e là bán kính của Trái Đất; α là độ cao của vệ tinh, tức là góc giữa đường thẳng nối giữa máy thu với vệ tinh và mặt phẳng nằm ngang (satellite elevation); h_1 là độ cao của tầng điện ly so với bề mặt Trái Đất; f là tần số của sóng mang tín hiệu định vị và V_{TEC} là giá trị TEC dọc theo đường truyền tín hiệu chiếu theo phương thiên đỉnh. Từ đây ta có thể thấy rằng, để xác định được

sai số của tầng điện ly, đối với cả hai phép đo tín hiệu, ta phải xác định được giá trị V_{TEC} . Tuy tầng điện ly gây ra nhiều trở ngại trong việc truyền dẫn tín hiệu, các ảnh hưởng của nó lại phụ thuộc vào tần số và tính chất này có thể áp dụng được để xác định được giá trị sai số của các phép đo. Tuy vậy, các ảnh hưởng nguy hiểm khác như tín hiệu bị ngắt đoạn (cycle slips) hoặc mất tín hiệu (lost of phase lock) gây ra dưới điều kiện hoạt động rất tích cực của tầng điện ly vẫn còn tồn tại như những thách thức không thể vượt qua kể cả khi dùng các phép đo hai tần số.

Nhiều phương pháp và thuật toán khác nhau đã được phát triển để xác định và giảm bớt sai số của tầng điện ly đến mức tối thiểu, nhằm tăng chất lượng định vị của GPS. Trong số này, phương pháp đơn giản nhất là Klobuchar, được đặt theo tên của nhà sáng lập ra nó. Phương pháp xác định này dựa trên các thông số điện ly được mã hoá và truyền đi trong dữ liệu định vị của các vệ tinh [14]:

$$\frac{\hat{I}_z}{c} = \begin{cases} A_1 + A_2 \cos\left(\frac{2\pi(t - A_3)}{A_4}\right), & \text{nếu } |t - A_3| < A_4/4 \\ A_1, & \text{trong trường hợp ngược lại} \end{cases} \quad (2.29)$$

trong đó $\hat{I}_z$ là sai số điện ly dùng cho phép đo với mã trên sóng mang L1 theo phương chiều thiên đỉnh được xác định tại thời điểm t theo giờ địa phương; A_1, A_2, A_3, A_4 là giá trị của các thông số Klobuchar và c là vận tốc ánh sáng. Giá trị A_1 và A_3 được cố định, trong khi A_2 và A_4 được truyền đi với dữ liệu định vị dưới dạng bốn hệ số cho mỗi vệ tinh. Các hệ số này được chọn lựa bằng trạm điều khiển chính đặt dưới mặt đất, với sự hỗ trợ của các máy đo khí tượng. Sai số điện ly được xác định từ các hệ số kể trên (cao độ của người dùng, độ cao của vệ tinh, góc phương vị của vệ tinh và thời gian địa phương). Các tính toán cụ thể chi tiết của phương

pháp này không được trình bày tại đây, nhưng bạn đọc có thể tìm thấy ở một số tài liệu khác, ví dụ như [8]. Dùng phương pháp này, sai số điện ly chỉ có thể được bù trừ khoảng 50% [8].

Ngoài phương pháp Klobuchar, một vài kỹ thuật xác định sai số điện ly trên không gian hai chiều (2D modelling techniques) có thể được dùng để tính toán xấp xỉ sai số điện ly, dựa trên các giá trị đo GPS hai tần số tại một số vị trí mốc đã xác định trước trong một vùng không gian nào đó. Sau đó, giá trị bù trừ cho sai số điện ly có thể được cung cấp trong thời gian thực, hoặc gán trước cho người sử dụng trong vùng. Những phương pháp này được gọi là hai chiều, vì giả thiết tầng điện ly là một tầng khí quyển có độ cao cố định, thông thường là từ 50 – 500 km so với mặt đất. Các cách xác định sai số như thế này được nhóm lại thành hai loại: (i) dựa trên hàm số (function-based) và (ii) dựa trên lưới (grid-based). Kỹ thuật dựa trên hàm số cố gắng trùng khớp với giá trị sai số điện ly, thu nhận được tại các trạm thu mốc vào một bề mặt (surface), được biểu diễn bằng một hàm số của điểm tới của tín hiệu trên tầng điện ly. Phương pháp xác định sai số dựa trên lưới thường được dùng rộng rãi hơn phương pháp dựa trên hàm số. Dùng kỹ thuật này, một mạng các điểm mốc dưới mặt đất, mà vị trí của chúng đã được xác định trước một cách chính xác phải được dùng. Sau đó, toàn bộ vùng này có thể được bao phủ bởi một lưới các điểm nút mà độ phân giải của nó phụ thuộc vào kích thước của vùng và tọa độ của chúng được xác định theo phương pháp nội suy, dựa trên khoảng cách tới các điểm đã biết. Sai số điện ly theo chiều thẳng đứng tại mỗi điểm mốc được xác định với độ chính xác cao khi dùng phép đo pha GPS hai tần số L1 và L2. Những giá trị ước lượng này sẽ được nội suy tới những điểm nút của lưới. Sai số điện ly cho bất kỳ một máy thu tín hiệu GPS nào nằm trong lưới này sẽ được ước

lượng bằng phép nội suy từ giá trị sai số tại bốn điểm nút xung quanh của lưới.

Ngoài ra, một mạng lưới các trạm mốc thu tín hiệu GPS có sự hỗ trợ của các từ kế đã được thiết lập, nhằm nghiên cứu và cung cấp thông tin về cường độ hoạt động của tầng điện ly cho người sử dụng, dưới dạng những chỉ số (index). Từ đó, người sử dụng tín hiệu GPS có thể hình dung được một cách đại thể mức độ ảnh hưởng của tầng điện ly. Giá trị của các chỉ số được xác định dựa trên các phép đo về sự biến đổi từ trường. Các chỉ số này có giá trị nhỏ nhất là 0, khi các hoạt động của tầng điện ly là ổn định nhất và ảnh hưởng của nó đến tín hiệu GPS là thấp nhất; và giá trị cực đại là 9, khi các hoạt động của tầng điện ly là tích cực nhất và ảnh hưởng của nó đến tín hiệu GPS là cao nhất. Tuy nhiên, khi sử dụng, người dùng cần phân biệt giữa chỉ số toàn cầu và chỉ số địa phương. Chỉ số địa phương là giá trị trung bình nhận được từ các phép đo tại một trạm mốc nào đó, trong khi chỉ số toàn cầu là giá trị trung bình của các chỉ số địa phương. Dùng chỉ số toàn cầu để chỉ mức độ hoạt động và ảnh hưởng của tầng điện ly tại một vùng địa phương nhất định nào đó là không hợp lý. Có ba loại chỉ số phổ biến như sau:

- Chỉ số K là chỉ số địa phương, được cung cấp hàng ngày, 8 giờ một lần.
- Chỉ số K_p là chỉ số toàn cầu, chỉ mức độ biến đổi từ tính, tức là mức độ hoạt động của tầng điện ly, hay gián tiếp là mức độ ảnh hưởng của tầng điện ly lên tín hiệu GPS. Chỉ số này được xác định bằng cách lấy trung bình giá trị của các chỉ số K thu được tại các trạm thu địa phương trên toàn cầu.

- Chỉ số về sự hỗn loạn từ tính (disturbed storm-time index) là chỉ số thu thập được từ khoảng năm trạm thu chính đặt rải rác toàn cầu. Chỉ số này có chức năng gần giống như chỉ số Kp nhưng được cập nhật mỗi giờ một lần.

Các chỉ số này được cung cấp miễn phí cho người sử dụng trên mạng internet (<http://www.cetp.ipsl.fr/~isgi/lesdonne.htm>).

Người sử dụng có thể thu nhận được tín hiệu GPS đồng thời tại hai tần số L1 và L2, phương pháp phổ biến nhất để loại bỏ được phần lớn sai số do tầng điện ly và cung cấp kết quả định vị có độ chính xác cao là cách dùng hai tần số (dual-frequency). Mối quan hệ của sai số do tầng điện ly đối với tín hiệu trên sóng L1 và L2 đã được mô tả ở phần trên và được nhắc lại ở đây:

$$I_{L2} = \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^2 I_{L1}, \quad (2.30)$$

trong đó I_{L1} là sai số đối với tín hiệu có tần số L1; I_{L2} là sai số đối với tín hiệu có tần số L2; λ_1 và λ_2 là bước sóng của tín hiệu có tần số L1 và L2. Trong kỹ thuật DGPS, cách tổ hợp Ionospheric-Free (IF) của các phép đo pha ở hai tần số khác nhau có thể giúp loại trừ phần lớn sai số của tầng điện ly lên kết quả định vị, như đã được trình bày ở phần trên.

2.5.2.2. Sai số do tầng đối lưu

Tầng đối lưu là một tầng khí quyển trung tính, tức là nó không chứa đựng các electron tự do, có độ cao từ 0 đến 43 km so với mặt đất. Các hoạt động của tầng khí quyển này không phụ thuộc vào các hoạt động của hệ Mặt Trời. Ảnh hưởng của nó lên tín hiệu định vị không phụ thuộc vào tần số tín hiệu và do vậy sai số do nó gây ra không thể xác định được khi dùng các giá trị đo ở hai tần số.

Ảnh hưởng của tầng đối lưu đối với tín hiệu định vị có thể được liệt kê như sau:

- Kéo dài thời gian truyền tín hiệu (range delay).
- Tạo ra các hiện tượng khúc xạ khi tín hiệu truyền qua (refraction effects).
- Làm yếu tín hiệu truyền qua (tín hiệu bị giảm đi khoảng 0,03 dB đối với các vệ tinh ngay trên đỉnh đầu và khoảng 0,3 dB đối với các vệ tinh gần chân trời).
- Dao động tín hiệu ở tần số cao (scintillations), gây ra do những biến đổi có biên độ thấp xảy ra ở một số chỗ trong tầng đối lưu (ví dụ ảnh hưởng của các đám mây).

Tín hiệu định vị đi qua tầng đối lưu sẽ bị chậm lại chủ yếu là do hiện tượng khúc xạ. Sự chậm trễ trong tín hiệu này có thể được chia ra thành hai phần: (i) phần gây ra bởi thành phần khô của tầng đối lưu (dry component), gọi là cản trở khô (dry delay); và (ii) phần gây ra bởi thành phần ướt của tầng đối lưu (wet component), gọi là cản trở ướt (wet delay) [19]. Cản trở khô của tầng đối lưu chiếm khoảng 80 – 90% tổng sai số. Tuy nhiên, nó là hàm của nhiệt độ và áp suất tại địa điểm chỗ máy đo và cả hai yếu tố này thay đổi chậm cả về mặt không gian và thời gian. Hơn nữa, nó lại tương đối dễ xác định được với độ chính xác cao. Do vậy, cản trở khô dễ được xác định. Cản trở ướt gây ra bởi sự tập trung của hơi nước tại độ cao khoảng 0 – 15 km so với mặt đất. Cản trở này chỉ chiếm khoảng 10 – 20% tổng sai số. Tuy nhiên, thành phần hơi nước của không khí rất khó để xác định được, bởi vì nó có thể biến đổi nhanh cả theo thời gian và không gian. Ảnh hưởng của tầng đối lưu lên tín hiệu định vị phụ thuộc vào mùa, vào độ ẩm dọc theo đường truyền tín hiệu. Ví dụ, ảnh hưởng này (chủ yếu là cản trở

ướt) vào mùa có độ ẩm cao lớn hơn so với mùa có độ ẩm thấp. Nhìn chung, sai số do tầng đối lưu lên tín hiệu định vị có thể gây ra sai số cho phép đo khoảng cách từ vệ tinh đến máy thu từ 2 đến 5 m đối với những vệ tinh ở thiên đỉnh và thậm chí có thể lên đến 25 m đối với những vệ tinh có góc ngẩng thấp (khoảng 5°). Những phương pháp xác định sai số đơn giản có thể hạ thấp sai số của tầng đối lưu xuống còn khoảng 20 cm. Giá trị này là không đáng kể đối với những ứng dụng định vị yêu cầu độ chính xác thấp, nhưng lại là trở ngại không nhỏ đối với các ứng dụng yêu cầu độ chính xác ở mức độ centimet trở lên.

Cản trở gây ra do tầng đối lưu có thể được biết trong mối quan hệ với hệ số khúc xạ và được chia ra thành hai thành phần khô và ướt như sau:

$$\begin{aligned} T_{\text{trop}} &= 10^{-6} \int N(l) dl \\ &= 10^{-6} \int [N_d(l) + N_w(l)] dl = T_{\text{dry}} + T_{\text{wet}} \end{aligned} \quad (2.31)$$

trong đó T_{trop} là tổng cản trở (total delay) gây ra do tầng đối lưu lên giá trị của phép đo khoảng cách từ vệ tinh đến máy thu; N là tổng hệ số khúc xạ của các thành phần khí khô và hơi nước trong tầng đối lưu; N_d và N_w là hệ số khúc xạ của thành phần khí khô và của hơi nước; l là đường truyền dẫn tín hiệu; T_{dry} là cản trở khô chiếu theo phương truyền; T_{wet} là cản trở ướt chiếu theo phương truyền. Một mô hình đơn giản cho độ chính xác không cao để xác định cản trở gây ra do tầng đối lưu là [14]:

$$\begin{aligned} N_{\text{dry}} &= 77,64 \frac{P}{T}; \\ N_{\text{wet}} &= 3,73 \times 10^5 \frac{e}{T^2}, \end{aligned} \quad (2.32)$$

trong đó P là tổng áp suất; e là áp suất riêng của hơi nước (cả hai đều có đơn vị millibars) và T là nhiệt độ (ở đơn vị Kelvin). Các phương pháp tính toán sai số khác của tầng đối lưu một cách chính xác hơn được chia ra thành hai bước. Để xác định được giá trị của tổng cản trở gây ra do tầng đối lưu theo phương truyền của tín hiệu (slant delay), giá trị cản trở chiếu theo phương thiên đỉnh (zenith delay) sẽ được tính toán trước, sau đó giá trị này được chiếu theo phương truyền của tín hiệu, phụ thuộc vào góc vệ tinh dùng một hàm chiếu (mapping function). Theo phương pháp này, tổng giá trị sai số được viết như sau:

$$T_{\text{trop}} = T_{\text{dry}} + T_{\text{wet}} \\ = T_{\text{dry}}^{\text{zenit}} m_{\text{dry}}(\alpha) + T_{\text{wet}}^{\text{zenit}} m_{\text{wet}}(\alpha), \quad (2.33)$$

trong đó $T_{\text{dry}}^{\text{zenit}}$ là cản trở khô chiếu theo phương thiên đỉnh; $T_{\text{wet}}^{\text{zenit}}$ là cản trở ướt chiếu theo phương thiên đỉnh; $m_{\text{dry}}(\alpha)$ và $m_{\text{wet}}(\alpha)$ là hàm chiếu giữa giá trị cản trở khô và ướt từ phương thiên đỉnh sang phương truyền; α là góc ngẩng của vệ tinh.

Các nhà nghiên cứu đã xây dựng và phát triển nhiều phương pháp xác định giá trị cản trở khô và ướt của tầng đối lưu theo chiều thiên đỉnh cũng như nhiều dạng hàm chiếu khác nhau. Các phương pháp xác định khác nhau ở các giả thiết mà chúng dùng đối với sự thay đổi nhiệt độ và hơi nước theo độ cao. Tuy có rất nhiều mô hình xác định sai số do tầng đối lưu, trong khuôn khổ hạn hẹp của cuốn sách này, hai phương pháp phổ biến nhất là Saastamoinen và Hopfield để xác định sai số thiên đỉnh của tầng đối lưu sẽ được trình bày. Ngoài ra, bạn đọc có thể tìm hiểu thêm về một số mô hình khác, ví dụ như Black and Eisner hoặc Baby et al, ở những tài liệu khác như [7, 14]. Nhìn chung, đối với cản trở khô, các phương pháp tính toán có thể ước lượng một cách chính xác tới 1 – 2 cm.

Tuy nhiên, đối với cản trở ướt, các phương pháp này chỉ có thể ước lượng chính xác được tới 5 – 10 cm trên phương chiều thiên đỉnh. Việc xác định cản trở ướt gặp nhiều sai số và trở nên đặc biệt khó khăn khi thành phần hơi nước thay đổi nhanh chóng và phân tán rải rác, đan xen lẫn với cả thành phần khô của tầng đối lưu ở độ cao lớn trong tầng đối lưu.

• *Phương pháp Saastamoinen*

Mô hình tính sai số này sử dụng những định luật khí và các giả thiết đơn giản về quá trình thay đổi nhiệt độ, áp suất và hơi nước với độ cao. Cản trở khô và ướt được tính như sau [20]:

$$\begin{aligned}\tilde{T}_{\text{dry}}^z &= 0,002277(1 + 0,0026 \cos 2\phi + 0,00028H)P_0 \\ \tilde{T}_{\text{wet}}^z &= 0,002277\left(\frac{1255}{T_0} + 0,05\right)e_0,\end{aligned}\quad (2.34)$$

trong đó T_0 là nhiệt độ (Kelvin); P_0 là tổng áp suất (millibars); e_0 là áp suất riêng của hơi nước (millibars), các giá trị này đều được đo tại máy thu bằng những thiết bị đo tiêu chuẩn; ϕ là vĩ độ của máy thu và H là độ cao của anten (km).

• *Phương pháp Hopfield*

Mô hình này tính toán sai số dựa trên mối thay đổi tương quan của hệ số khúc xạ, của thành phần khô tại độ cao h của người dùng so với giá trị tương ứng của nó tại một độ cao chuẩn nhất định được xác định trước, riêng biệt cho thành phần khô (≈ 43 km) và thành phần ướt (≈ 12 km). Tổng sai số theo chiều chiều thiên đỉnh $D_{\text{trop}}^z(h_{\text{user}})$ tại độ cao của người sử dụng là tổng của cản trở khô D_d^z ; cản trở ướt D_w^z và được xác định theo mô hình Hopfield như sau [20]:

$$D_{\text{trop}}^z(h_{\text{user}}) = D_d^z + D_w^z \quad (2.35)$$

trong đó thành phần phản cản trở khô và ướt được xác định là:

$$\begin{aligned} D_d^z &= \frac{10^{-6}}{5} N_{d0} (h_d - h_{\text{user}}) \quad \text{cho } h_{\text{user}} \leq h_d = 43 \text{ km} \\ D_w^z &= \frac{10^{-6}}{5} N_{w0} (h_w - h_{\text{user}}) \quad \text{cho } h_{\text{user}} \leq h_w = 12 \text{ km} \end{aligned} \quad (2.36)$$

và

$$\begin{aligned} N_{d0} &= 77,604 \frac{P_d}{T} \left(\frac{1}{1 + P_d \left\{ 57,97e^{-8} \left(1 + \frac{0,52}{T} \right) - 9,461e^{-4} \frac{T_c}{T^2} \right\}} \right) \\ N_{w0} &= \frac{e}{T} \left(1 + 1650 \frac{e}{T^3} \left[1 - 0,01317T_c + 1,75e^{-4}T_c^2 + 1,44e^{-6}T_c^3 \right] \right) \times \\ &\quad \left(64,79 + \frac{377600}{T} \right) \end{aligned} \quad (2.37)$$

trong đó: h_{user} là độ cao của anten; h_w là độ cao cố định của thành phần ướt; h_d là độ cao cố định của thành phần khô; N_{w0} là hệ số khúc xạ của thành phần ướt và N_{d0} là hệ số khúc xạ của thành phần khô.

Theo công thức (2.37), hệ số khúc xạ là hàm của nhiệt độ (T_c là nhiệt độ ở đơn vị Celsius và T_K là nhiệt độ ở đơn vị Kelvin), áp suất không khí khô P_d (millibars) và áp suất riêng của hơi nước e (millibars). Áp suất riêng của hơi nước được xác định như là một hàm của độ ẩm tương đối R_h và nhiệt độ T .

Sau khi giá trị sai số theo chiều thiên đỉnh đã được xác định, các hàm chiếu (mapping functions) sẽ được dùng để chiếu những giá trị sai số này theo phương truyền tín hiệu, nhằm thu được tổng sai

số. Có rất nhiều loại hàm chiếu khác nhau đã được đề xuất. Loại hàm chiếu đơn giản nhất cho cả hai thành phần khô và ướt là [20]:

$$m(\alpha) = \frac{1}{\sin \alpha}, \quad (2.38)$$

trong đó α là góc ngẩng của vệ tinh.

Hàm chiếu này chỉ phù hợp đối với bề mặt Trái Đất phẳng. Do vậy nó là một hàm thiếu chính xác để dùng cho những vệ tinh có góc ngẩng thấp ($\alpha < 15^\circ$). Một số hàm chiếu phức tạp và chính xác hơn cho những trường hợp vệ tinh có góc ngẩng thấp như sau:

$$m(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{1 - (\cos \alpha / 1,001)^2}} \quad (2.39)$$

$$\text{và} \quad m_i(\alpha) = \frac{1 + \frac{a_i}{1 + \frac{b_i}{1 + c_i}}}{\sin \alpha + \frac{a_i}{\sin \alpha + \frac{b_i}{\sin \alpha + c_i}}}, \quad (2.40)$$

trong đó i dùng để ký hiệu cho thành phần khô hoặc ướt; a_i , b_i , c_i có thể là các hằng số được xác định bằng kinh nghiệm hoặc các giá trị hàm của vĩ độ, độ cao, nhiệt độ áp suất bề mặt của máy thu và thời điểm trong năm.

Hàm chiếu cũng có thể được xây dựng riêng rẽ cho thành phần cản trở khô và ướt. Sau đây là một ví dụ:

$$m_d(\alpha) = \frac{1}{\sin \alpha + \frac{0,00143}{\tan \alpha + 0,0445}}, \quad (2.41)$$

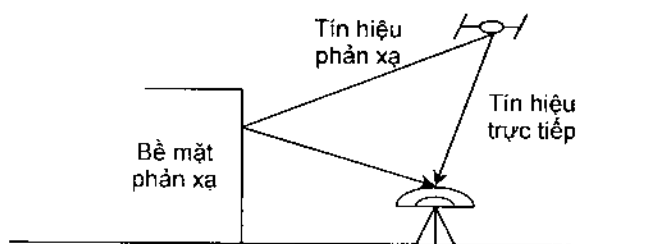
$$m_w(\alpha) = \frac{1}{\sin \alpha + \frac{0,00035}{\tan \alpha + 0,017}}.$$

Một điều đáng lưu ý ở đây là sai số của tầng đối lưu (cũng như là tầng điện ly) phụ thuộc nhiều vào góc ngẩng của vệ tinh, bởi vì đường truyền tín hiệu từ các vệ tinh có góc ngẩng lớn ngắn hơn so với đường truyền tín hiệu từ các vệ tinh có góc ngẩng nhỏ. Hầu hết các phương pháp xác định sai số đều cho kết quả tương đương với nhau đối với những vệ tinh có góc ngẩng lớn. Tuy nhiên, các khác biệt bắt đầu xuất hiện khi áp dụng đối với các vệ tinh có góc ngẩng nhỏ, dưới 15° . Ở trên chỉ là một vài phương pháp xác định sai số do tầng đối lưu theo chiều thiên đỉnh và hàm chiếu thông dụng nhất. Giá trị hàm chiếu cho sai số của tầng đối lưu tăng nhanh khi giá trị góc ngẩng của vệ tinh giảm dần. Giá trị thông thường của hàm chiếu là ~ 2 cho các vệ tinh có góc ngẩng 30° , ~ 4 cho các vệ tinh có góc ngẩng 15° , ~ 6 cho vệ tinh có góc ngẩng 10° và ~ 10 cho vệ tinh có góc ngẩng 5° . Giá trị này là rất lớn và có thể làm cho sai số gây ra do tầng điện ly đối với các phép đo nhận được từ các vệ tinh có góc ngẩng thấp là đáng lo ngại. Ví dụ, một sai số do tầng đối lưu có giá trị theo phương thiên đỉnh là $5 - 10$ cm thì sẽ trở thành $0,5 - 1$ m khi chiếu theo phương truyền của vệ tinh có góc ngẩng 5° .

2.5.2.3. Sai số đa đường truyền

Sai số đa đường truyền là hiện tượng một tín hiệu vệ tinh tới anten thu bằng hai hoặc nhiều đường khác nhau. Khi xuất hiện sai số này, anten nhận được tín hiệu trực tiếp (direct signal hay light-of-sight signal) từ vệ tinh, tức là tín hiệu truyền thẳng từ vệ tinh xuống anten mà không bị phản xạ lần nào, và một hoặc nhiều tín hiệu phản xạ của tín hiệu trực tiếp này. Hiện tượng này được mô tả ở hình 2.16. Tín hiệu phản xạ thường đến trễ hơn và yếu hơn tín hiệu trực tiếp. Sai số gây ra do hiện tượng này lên phép đo khoảng

cách từ vệ tinh đến máy thu phụ thuộc vào cường độ của tín hiệu phản xạ và sự trễ giữa tín hiệu phản xạ là tín hiệu trực tiếp, có thể làm cho máy thu nhầm lẫn, giữa tín hiệu phản xạ và tín hiệu trực tiếp, gây ra sai số lớn trong việc tính toán khoảng cách từ vệ tinh đến máy thu [7]. Hiện tượng đa đường truyền ảnh hưởng lên cả hai phép đo khoảng cách dựa trên mã (range measurement) và phép đo pha (carrier measurement), nhưng với cường độ sai số khác nhau. Giá trị sai số này gây ra sai số cho phép đo khoảng cách dựa trên mã thường vào khoảng 1 m trong môi trường có yếu tố phản xạ trung bình và khoảng 5 m trong môi trường có yếu tố phản xạ cao. Sai số tương ứng cho phép đo pha thường nhỏ hơn nhiều lần, khoảng 1 – 5 cm [14]. Trên thực tế, sai số loại này cho phép đo pha thường không lớn hơn 1/4 bước sóng nếu cường độ tín hiệu phản xạ yếu hơn cường độ tín hiệu trực tiếp [7, 14, 17].



Hình 2.16. Sai số đa đường truyền

Phương pháp hữu hiệu nhất để loại bỏ sai số này là đặt anten tại những vị trí cách xa các vật phản xạ. Tuy nhiên, yêu cầu này không phải lúc nào cũng có thể thực hiện được. Ngoài ra, thiết kế anten cũng rất quan trọng trong việc loại bỏ một số những tín hiệu phản xạ nhất định nào đó, ví dụ như các tín hiệu phản xạ từ mặt đất lên. Ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền cũng có thể được giảm bớt trong các bước xử lý tín hiệu trong các máy thu.

2.5.3. Sai số do máy thu

Các phép đo mã và đo pha của tín hiệu GPS đều bị ảnh hưởng bởi nhiễu ngẫu nhiên (random noise), thường được gọi là nhiễu tại máy thu, bao gồm rất nhiều nguồn khác nhau: nhiễu gây ra do anten, do các bộ khuếch đại, do các dây dẫn, do máy thu, do các nguồn thu phát khác. Ảnh hưởng của nhiễu lên các phép đo tín hiệu GPS phụ thuộc vào cường độ của tín hiệu trong mối tương quan với cường độ nhiễu. Mối quan hệ này được biểu diễn bằng đại lượng Signal-to-Noise Ratio (SNR). Ảnh hưởng của nhiễu lên các giá trị đo mã của tín hiệu GPS có độ lớn cỡ 0,25 – 0,5 m; trong khi ảnh hưởng tương ứng của nó lên giá trị đo pha thì nhỏ hơn, cỡ 1 – 2 mm [14].

2.6. Xác định vị trí, vận tốc và thời gian (PVT) của máy thu dùng các phép đo tín hiệu vệ tinh

Trong phần này, chúng tôi giới thiệu cơ sở toán học của việc ước lượng vị trí, tốc độ và thời gian của máy thu. Quá trình này được thực hiện dựa trên các phép đo khoảng cách chịu sai số từ vệ tinh tới máy thu (pseudoranges), được ký hiệu là ρ trong cuốn sách này. Việc ước lượng vận tốc của máy thu sử dụng phép đo sự biến đổi của khoảng cách (pseudorange rate) và ở đây được ký hiệu là $\dot{\rho}$.

2.6.1. Xác định vị trí máy thu

Trong trường hợp xác định vị trí máy thu, chúng ta có một bài toán phải giải các ẩn số bao gồm vị trí của máy thu và sai số thời gian của máy thu, khi có ít nhất bốn phép đo khoảng cách từ bốn

vệ tinh tới máy thu và vị trí chính xác của các vệ tinh này. Vector ần số được ký hiệu là $\mathbf{x} = [x_r, y_r, z_r, -ct_r]^T$, trong đó x_r, y_r, z_r là ba toạ độ vị trí của máy thu trong hệ toạ độ WGS84; t_r là sai số đồng hồ của máy thu so với thời gian GPS và c là tốc độ truyền tín hiệu trong không khí.

Để giải bài toán này, một cách tổng quát hoá, ta có thể biểu diễn các phép đo dưới dạng một hàm của ần số $\mathbf{x}$ như sau:

$$\rho = f(\mathbf{x}) + \varepsilon_p, \quad (2.42)$$

trong đó ε_p là sai số của các phép đo.

Thực hiện khai triển chuỗi Taylor và bỏ qua các thành phần bậc cao, ta có:

$$\rho = f(\mathbf{x}_0) + \frac{\partial f}{\partial \mathbf{x}|_{\mathbf{x}_0}}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) + \varepsilon_p \quad (2.43)$$

trong đó $\mathbf{x}_0$ là ước lượng ban đầu giá trị ần số có dạng:

$$\mathbf{x}_0 = [x_{r_0}, y_{r_0}, z_{r_0}, -ct_{r_0}]^T.$$

Chuyển sang dạng tuyến tính của phương trình trên ta có:

$$\Delta\rho = H\Delta\mathbf{x} + \varepsilon_p \quad (2.44)$$

trong đó $\Delta\rho = \rho - f(\mathbf{x}_0)$ và được gọi là phép đo tính toán được dựa trên giá trị ần số ban đầu; H được gọi là ma trận thiết kế (design matrix) có kích cỡ $m \times n$, với m là số phép đo có được và n là số ần số cần tìm (giá trị $m - n$ còn được gọi là mức độ tự do của phép ước lượng); $\Delta\mathbf{x} = \mathbf{x} - \mathbf{x}_0$ đang cần được xác định và được gọi là giá trị bù trừ của ần số ước lượng ban đầu. Ma trận thiết kế được xác định như sau:

$$H = \frac{\partial f}{\partial x_{l_{x_0}}} = \begin{bmatrix} a_x^1 & a_y^1 & a_z^1 & 1 \\ a_x^2 & a_y^2 & a_z^2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_x^m & a_y^m & a_z^m & 1 \end{bmatrix} \quad (2.45).$$

$$a_x^i = \frac{(x^i - x_0)}{\rho_{x_0}}; \quad a_y^i = \frac{(y^i - y_0)}{\rho_{y_0}}; \quad a_z^i = \frac{(z^i - z_0)}{\rho_{z_0}}$$

Sau khi ước lượng được giá trị $\Delta \hat{x}$, kết quả cuối cùng của bài toán ước lượng sẽ là:

$$\hat{x} = x_0 + \Delta \hat{x} \quad (2.46)$$

Giá trị sai số của phép đo ước lượng được với kết quả mới giải được của ẩn số này, hay còn gọi là giá trị dư là:

$$\hat{e} = \Delta \rho - H \Delta \hat{x}. \quad (2.47)$$

2.6.2. Xác định vận tốc máy thu

Trong các máy thu tín hiệu định vị đơn giản, tốc độ của máy thu có thể được tính một cách đơn giản dựa trên giá trị ước lượng được của vị trí máy thu theo thời gian, tức là bằng cách lấy đạo hàm của vị trí theo thời gian [7]:

$$\dot{v} = \frac{dv}{dt} = \frac{v(t_2) - v(t_1)}{t_2 - t_1}, \quad (2.48)$$

trong đó $\dot{v}$ là giá trị vận tốc; $v(t_1)$ và $v(t_2)$ là vị trí của máy thu tại thời điểm t_1 và t_2 . Tuy nhiên, phương pháp đơn giản này chỉ có thể áp dụng được trong trường hợp vận tốc của máy thu là gần như cố định trong khoảng thời gian từ t_1 đến t_2 .

Đối với các trường hợp khác, tốc độ của máy thu được xác định dựa trên phép đo pha và giá trị biến đổi Doppler [7]. Như chúng ta đã biết, ảnh hưởng Doppler tồn tại là do chuyển động tương đối

của vệ tinh với máy thu. Một cách ngắn gọn, dùng phương pháp này, vận tốc của máy thu được xác định bằng phương pháp ước lượng tương tự như khi ước lượng vị trí, và ta có phương trình như sau:

$$\Delta \dot{\rho} = H \Delta \dot{v} + \dot{\epsilon}_p \quad (2.49)$$

trong đó $\Delta \dot{v} = [\Delta \dot{x}_r, \Delta \dot{y}_r, \Delta \dot{z}_r, -c \Delta \dot{t}_r]^T$ là vector ần số; H là ma trận thiết kế và được tính toán giống hệt như trường hợp xác định vị trí, được biểu diễn ở phương trình (2.45).

Thông thường, trong xác định vận tốc, vị trí của máy thu sẽ được xác định trước và do vậy, ma trận H cũng đã được xác định. Giá trị các phép đo biến đổi khoảng cách từ vệ tinh đến máy thu là $\dot{\rho}$ được tính toán từ các giá trị đo được như sau:

$$\dot{\rho} = c \left(\frac{f_R^j - f_T^j}{f_T^j} \right) + v_x^j a_x^j + v_y^j a_y^j + v_z^j a_z^j \quad (2.50)$$

trong đó f_R^j là tần số tín hiệu nhận được tại anten đối với tín hiệu vệ tinh j ; f_T^j là tần số tín hiệu phát đi từ vệ tinh j ; (v_x^j, v_y^j, v_z^j) là vector vận tốc của vệ tinh j ; (a_x^j, a_y^j, a_z^j) là ba hệ số tương ứng với vệ tinh j của ma trận thiết kế H .

Mọi giá trị cần thiết để tính toán giá trị của $\dot{\rho}$, ví dụ như vận tốc của vệ tinh và tần số truyền tín hiệu, đều có thể nhận được từ dữ liệu định vị được mã hoá và truyền đi cùng với tín hiệu vệ tinh.

Hai phương pháp phổ biến nhất cho bài toán ước lượng này là phương pháp ước lượng bình phương tối thiểu (Least-square estimation) [13] và lọc Kalman (Kalman filter) [2].

2.6.3. Phương pháp ước lượng bình phương tối thiểu

Phương pháp ước lượng bình phương tối thiểu để tìm một lời giải cho $\Delta \dot{X}$ sao cho:

$$\hat{\epsilon}^T C_1^{-1} \hat{\epsilon} \text{ có giá trị nhỏ nhất} \quad (2.51)$$

trong đó C_1 là ma trận hiệp phương sai của các phép đo và $\hat{\epsilon}$ là vector sai số xác định được với kết quả ẩn số hiện tại (residuals). Kết quả của phép ước lượng trên là:

$$\Delta \hat{x} = -\left(H^T C_1^{-1} H\right)^{-1} H^T C_1^{-1} \Delta p. \quad (2.52)$$

Giá trị ban đầu của ẩn số sau đó có thể được cập nhật và toàn bộ quá trình ước lượng lại được lặp lại nếu như điều kiện (2.46) chưa được thoả mãn (tức là nhỏ hơn một ngưỡng nhất định nào đó). Ma trận hiệp phương sai của kết quả ước lượng cuối cùng của ẩn số là:

$$C_{\hat{x}} = \left(H^T C_1^{-1} H\right)^{-1} \quad (2.53)$$

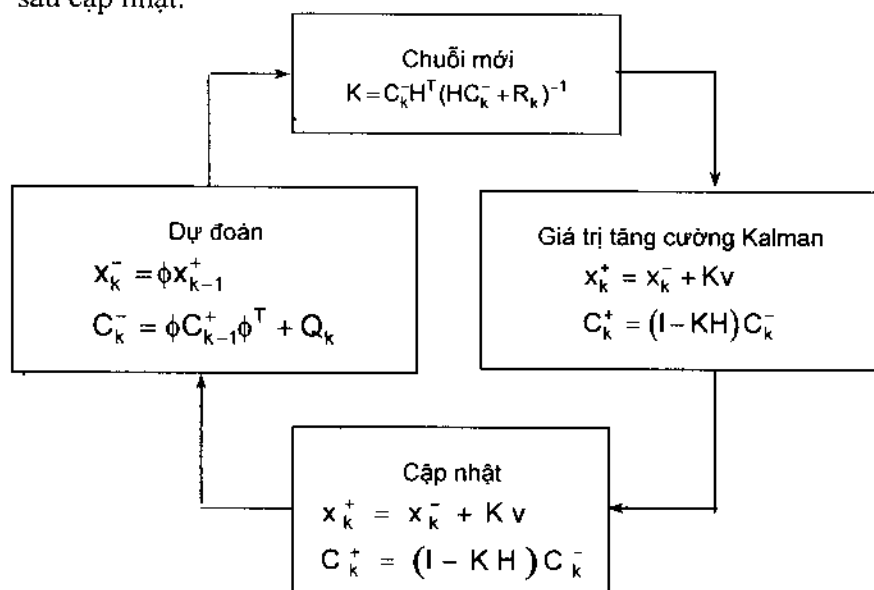
và ma trận này cung cấp thông tin về độ chính xác của kết quả.

Giá trị sai số ước lượng được của kết quả ẩn số cuối cùng là $\hat{\epsilon}$ thường không những chỉ được dùng để đánh giá chất lượng kết quả mà còn để xác định và loại trừ các phép đo bị sai số lớn (fault detection and exclusion – FDE). Sau mỗi lần loại bỏ được một phép đo có sai số lớn (vượt qua một ngưỡng nhất định), quá trình tính toán lại được lặp lại từ đầu với các phép đo còn lại cho đến khi không thể loại bỏ được giá trị đo nào nữa.

2.6.4. Phương pháp ước lượng dùng lọc Kalman

Lọc Kalman là phương pháp thứ hai có thể được chọn lựa để giải bài toán định vị thay cho phương pháp bình phương tối thiểu trình bày ở trên. Lọc Kalman tổ hợp cả kiến thức về động lực của hệ thống (system dynamic) và kiến thức về tính xác suất của sai số hệ thống (system error) để giải đoán kết quả của ẩn số [2]. Ẩn số tại thời điểm t_k được ước lượng bằng cách sử dụng các phép đo nhận được tại thời điểm t_k và giá trị ẩn số ước lượng được tại thời

điểm t_{k-1} . Quá trình tiến hành bao gồm bốn bước: dự đoán (prediction), tính chuỗi mới (innovative sequence), tính sự tăng cường Kalman (Kalman gain) và cập nhật giá trị ẩn số của thời điểm trước, như được mô tả ở hình 2.17; trong đó x_k là vector ẩn số tại thời điểm k , C_k là ma trận hiệp phương sai của vector ẩn số x_k tại thời điểm k , z_k là vector phép đo đo tại thời điểm k , Q_k là ma trận biểu diễn nhiễu hệ thống tại thời điểm k , R_k là ma trận hiệp phương sai của các giá trị đo z_k , ϕ là ma trận chuyển tiếp, K là giá trị tăng cường Kalman, v là chuỗi mới, I là ma trận đơn vị, và H là ma trận thiết kế được tính bằng cách lấy đạo hàm của phương trình giá trị đo đối với các ẩn số. Ký hiệu ‘-’ dùng để chỉ ma trận hoặc vector tương ứng với thời điểm trước bước cập nhật và ký hiệu ‘+’ dùng để chỉ ma trận hoặc vector tương ứng với thời điểm sau cập nhật.



Hình 2.17. Phương pháp ước lượng dùng lọc Kalman

Lọc Kalman dựa trên kiến thức về giá trị sai số đối với các phép đo hiện tại, sự biến đổi của sai số theo thời gian và giá trị ần số ước lượng được tại thời điểm trước. Do vậy, lọc Kalman sẽ có khả năng cho kết quả định vị cao nếu như mô hình sai số giả thiết là đúng với thực tế. Lọc Kalman thường được sử dụng rộng rãi trong các chương trình định vị thương mại. Trong nghiên cứu, đặc biệt là trong việc đánh giá kết quả định vị tại từng thời điểm độc lập, phương pháp ước lượng bình phương tối thiểu thường có ưu thế hơn.

2.6.5. Ước lượng thời gian với tín hiệu định vị

Trước cả khả năng xác định vị trí và vận tốc của máy thu, các hệ thống vệ tinh định vị có khả năng cung cấp thời gian mang tính toàn cầu chính xác nhất. Toàn bộ nguyên tắc hoạt động và tính toán kết quả định vị đều dựa trên nguyên tắc đồng bộ hoá về thời gian giữa các vệ tinh và máy thu. Với tiêu chuẩn đồng hồ nguyên tử, hệ thống thời gian GPST (GPS Time) được chuẩn hoá theo hệ thống thời gian UTC (USNO), với độ chính xác trong khoảng $1\mu\text{s}$, trong khi hệ thống thời gian Galileo được chuẩn hoá theo TAI với độ chính xác trong khoảng 50 nanô-giây. Thời gian xác định được tại máy thu phải trải qua quá trình tính toán ần số PVT như đã được trình bày ở trên và chịu ảnh hưởng của các sai số lên tín hiệu vệ tinh. Theo thống kê của các nhà thiết kế, giá trị thời gian ước lượng được tại máy thu GPS sẽ chính xác trong khoảng 200 nanô-giây so với giá trị thực của UTC (UNSO) đối với dịch vụ PPS và trong khoảng 340 nanô-giây (95%) đối với dịch vụ SPS [7].

2.6.6. Xác định giá trị số nguyên chưa biết và kết quả định vị với phép đo pha

Để có thể tận dụng được lợi thế ít chịu sai số của phép đo pha, số nguyên các chu kỳ chưa biết phải được giải đoán chính xác. Bất

kỳ sai số nào trong việc ước lượng số nguyên này đều ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác của phép ước lượng khoảng cách và từ đó tới chất lượng của kết quả định vị. Ví dụ, sai số một chu kỳ của tín hiệu trên tần số L1 sẽ tương ứng với sai số khoảng cách là 19 cm. Đầu tiên, hãy xem xét hai khái niệm cơ bản là giá trị thập phân gần kề với số nguyên chưa biết hay còn được gọi là giá trị động (float value) và giá trị số nguyên được ước lượng hay còn được gọi là giá trị cố định (fixed value). Kết quả định vị dùng phép đo pha tương ứng với giá trị động của số nguyên chưa biết thì được gọi là lời giải động (float solutions), kết quả tương ứng với giá trị cố định của nó thì được gọi là lời giải cố định (fixed solutions). Một câu hỏi đặt ra là lời giải động hay lời giải cố định là chính xác hơn? Một lập luận tất yếu là nếu việc cố định số nguyên chưa biết với một giá trị nguyên đúng thì lời giải cố định là chính xác hơn lời giải động. Tuy nhiên, tính chính xác trong việc cố định giá trị nguyên này phụ thuộc rất nhiều vào mức độ sai số. Nếu mức độ sai số cao, sẽ dẫn đến khả năng ước lượng và cố định số nguyên vào một giá trị nguyên sai là cao, vì vậy việc dùng giá trị động của số nguyên chu kỳ này lại có lợi hơn.

Đã có rất nhiều nghiên cứu nhằm đưa ra một giải pháp hữu hiệu trong việc giải đoán số nguyên này. Với giới hạn cho phép của cuốn sách này, chúng tôi không thể mô tả chi tiết nhiều phương pháp giải đoán số nguyên chu kỳ chưa biết khác nhau mà sẽ chỉ tập trung trình bày một phương pháp phổ biến nhất, đó là phương pháp LAMBDA (Least-square AMBIGUITY Decorrelation Adjustment) [22]. Trong phương pháp này, giá trị động của các số nguyên chu kỳ tương ứng với các giá trị đo pha sẽ được ước lượng bằng phương pháp ước lượng bình phương tối thiểu hoặc lọc Kalman, cùng với giá trị của các ẩn khác như vị trí và thời gian của máy thu.

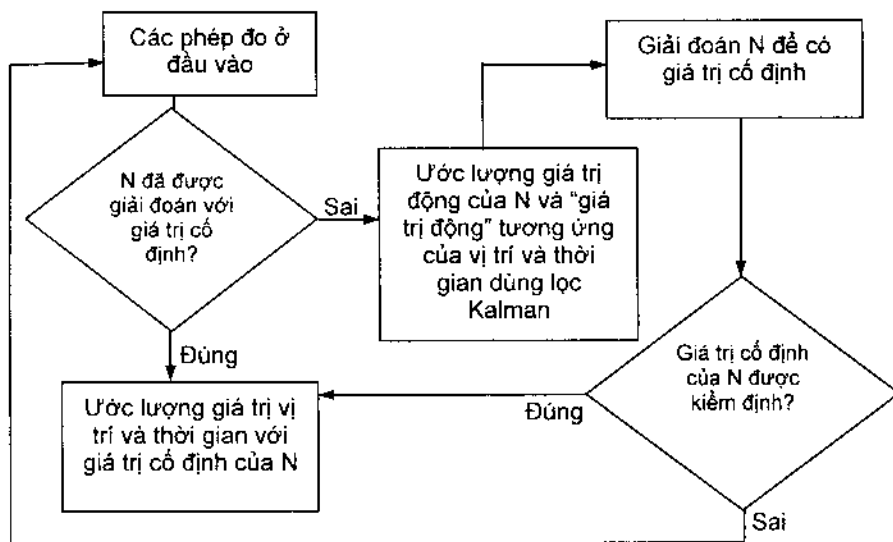
Sau bước này, kỹ thuật LAMBDA sẽ được sử dụng để tìm kiếm và cố định các số nguyên chu kỳ. Các số nguyên chu kỳ được giải đoán và kết quả ứng cử là vector số nguyên N sao cho $(\hat{N} - N)C_N^{-1}(\hat{N} - N)^T$ có giá trị bé nhất, trong đó $\hat{N}$ là vector giá trị động của các số nguyên chu kỳ đang được giải đoán và C_N là ma trận hiệp phương sai của các giá trị động này.

Để đảm bảo được độ chính xác trong việc giải đoán các số nguyên này, kết quả ứng cử cần phải được kiểm định chắc chắn để loại trừ khả năng vector số nguyên làm cho $(\hat{N} - N)C_N^{-1}(\hat{N} - N)^T$ có giá trị bé thứ hai mới là kết quả giải đoán đúng. Việc này được thực hiện nhờ phép kiểm tra tỷ số (ratio test) [5]:

$$\text{Tỷ số} = \frac{(\hat{N} - N_2)C_N^{-1}(\hat{N} - N_2)^T}{(\hat{N} - N_1)C_N^{-1}(\hat{N} - N_1)^T} \geq \delta \quad (2.54)$$

trong đó N_1 là vector các số nguyên chu kỳ sao cho $(\hat{N} - N)C_N^{-1}(\hat{N} - N)^T$ có giá trị bé nhất; N_2 là vector các số nguyên chu kỳ sao cho $(\hat{N} - N)C_N^{-1}(\hat{N} - N)^T$ có giá trị bé thứ hai và δ là ngưỡng so sánh và được xác định dựa trên kích thước của vector số nguyên cần xác định.

Nếu điều kiện trình bày ở phương trình (2.54) không được thoả mãn, tức là tập hợp N_1 không hoàn toàn đủ điều kiện để trở thành tập hợp số nguyên các chu kỳ, thì thuật toán có thể đưa ra kết luận là không thể giải đoán các số nguyên, và giá trị động của các số nguyên này nên được sử dụng trong việc ước lượng kết quả định vị. Quy trình giải đoán số nguyên các chu kỳ chưa biết và ước lượng kết quả định vị dùng lọc Kalman được mô tả ở hình 2.18.



Hình 2.18. Quy trình giải đoán số nguyên chưa biết N và xác định vị trí, tốc độ và thời gian của máy thu với phép đo pha

2.6.7. Khái niệm DOP

Chất lượng hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố, cụ thể là số lượng vệ tinh mà máy thu nhận được tín hiệu, sự phân bố của các vệ tinh này, mức độ ảnh hưởng của môi trường truyền tín hiệu (đặc biệt là tầng điện ly), chất lượng máy thu và loại phép đo tín hiệu được dùng trong tính toán vị trí và vận tốc của máy thu. Như đã được giải thích ở trên, để tính được vị trí của máy thu, ít nhất là bốn tín hiệu vệ tinh phải được thu nhận. Tuy nhiên, trong phương pháp bình phương tối thiểu hoặc lọc Kalman, số lượng giá trị đo càng nhiều thì độ dư thừa càng cao và kết quả ước lượng càng có độ tin cậy cao. Một chi tiết cần lưu ý rằng, không chỉ số lượng vệ tinh cung cấp tín hiệu là quan trọng mà phân

bố hình học vệ tinh (satellite geometry) cũng rất quan trọng. Cụ thể, một sự phân bố hình học mà trong đó các vệ tinh nằm đều về bốn hướng là tốt hơn sự phân bố mà trong đó các vệ tinh nằm tập trung vào một số hướng nhất định. Thông số để chỉ sự phân bố hình học của các vệ tinh trong thuật ngữ GPS là DOP (Dilution of Precision). Để có thể phân tích chất lượng của kết quả định vị do ảnh hưởng của yếu tố hình học vệ tinh trên nhiều phương diện, thông số DOP được chia ra làm nhiều loại, cụ thể là G_{DOP} (Geometry DOP), P_{DOP} (Position DOP), H_{DOP} (Horizontal DOP), V_{DOP} (Vertical DOP) và T_{DOP} (Time DOP) và chúng đều được tính dựa trên ma trận sau [7]:

$$(H^T H)^{-1} = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} & D_{xz} & D_{xt} \\ D_{yx} & D_{yy} & D_{yz} & D_{yt} \\ D_{zx} & D_{zy} & D_{zz} & D_{zt} \\ D_{tx} & D_{ty} & D_{tz} & D_{tt} \end{bmatrix} \quad (2.55)$$

trong đó

$$G_{DOP} = \sqrt{D_{xx} + D_{yy} + D_{zz} + D_{tt}} \quad (2.56)$$

$$P_{DOP} = \sqrt{D_{xx} + D_{yy} + D_{zz}} \quad (2.57)$$

$$H_{DOP} = \sqrt{D_{xx} + D_{yy}} \quad (2.58)$$

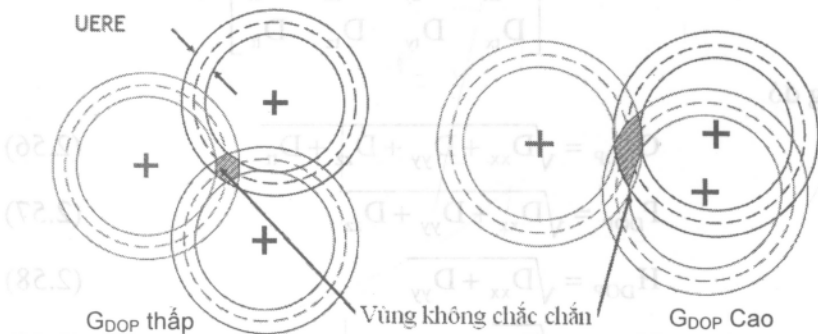
$$V_{DOP} = \sqrt{D_{zz}} \quad (2.59)$$

$$T_{DOP} = \sqrt{D_{tt}} \quad (2.60).$$

Giá trị DOP về ý nghĩa cơ bản chính là hệ số ảnh hưởng của tổng các sai số của phép đo khoảng cách từ vệ tinh đến máy thu (User Equivalent Ranging Error - UERE) lên độ chính xác của kết quả định vị:

$$\begin{aligned}
 \sqrt{\sigma_{x_r}^2 + \sigma_{y_{r0}}^2 + \sigma_{z_r}^2 + \sigma_{t_r}^2} &= G_{DOP} \cdot \sigma_{UERE} \\
 \sqrt{\sigma_{x_r}^2 + \sigma_{y_r}^2 + \sigma_{z_r}^2} &= P_{DOP} \cdot \sigma_{UERE} \\
 \sqrt{\sigma_{x_r}^2 + \sigma_{y_r}^2} &= H_{DOP} \cdot \sigma_{UERE} \\
 \sigma_{z_r} &= V_{DOP} \cdot \sigma_{UERE} \\
 \sigma_{t_r} &= T_{DOP} \cdot \sigma_{UERE}
 \end{aligned} \tag{2.61}$$

trong đó σ_{UERE} là giá trị 1σ của tổng các sai số lên khoảng cách từ vệ tinh đến máy thu và $\sigma_{x_r}, \sigma_{y_r}, \sigma_{z_r}, \sigma_{t_r}$ là giá trị 1σ của sai số lên giá trị của các thành phần x, y, z và t giải được của ẩn số trong bài toán định vị. Hình 2.19 mô tả ý nghĩa hình học của yếu tố này và sự tác động của nó lên độ tin cậy của kết quả định vị.



Hình 2.19. Ảnh hưởng của DOP và của UERE tới độ chính xác và tin cậy của kết quả định vị

Đối với hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu GPS, giá trị G_{DOP} có thể dao động từ 1 đến 100. Tuy nhiên, giá trị trung bình của G_{DOP} toàn cầu là 6,0. Thông thường, kết quả định vị với giá trị G thấp

hơn 2,5 có thể được coi là tốt, đương nhiên với giả thiết là giá trị UERE tương đối thấp.

2.7. Kỹ thuật DGPS kép và phương pháp định vị với độ chính xác cao

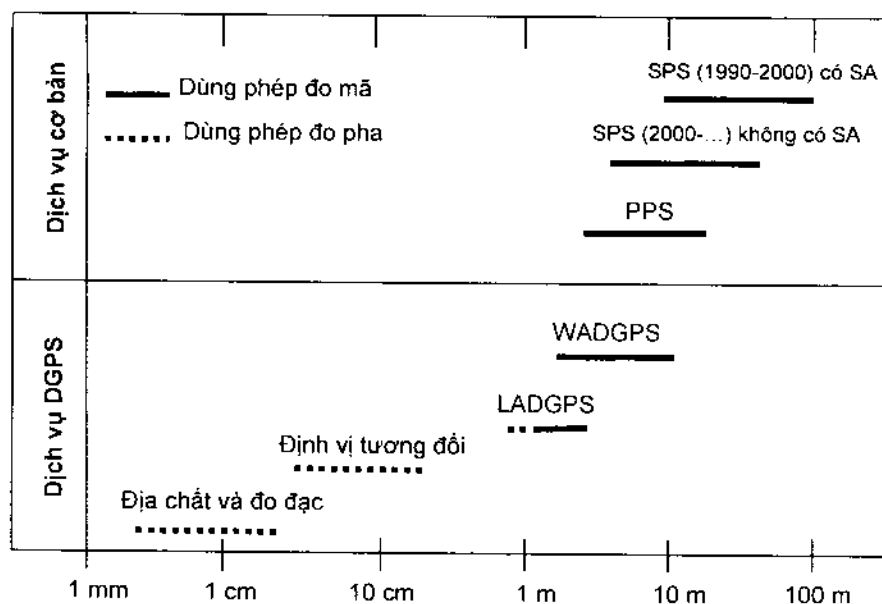
Kỹ thuật sai phân kép DGPS (Differential GPS) dựa trên giả thiết rằng, một số sai số ảnh hưởng lên tín hiệu vệ tinh là gần giống nhau đối với các máy thu trên cùng một vùng nhất định nào đó. Do vậy, ảnh hưởng của sai số trên tín hiệu mới sau khi thực hiện kỹ thuật sai phân kép trên hai tín hiệu thu được từ hai máy thu trong vùng nhất định này được giảm đi đáng kể. Kỹ thuật sai phân kép có ảnh hưởng rất tích cực tới độ chính xác của kết quả định vị, khi giả thiết ban đầu của nó được thoả mãn. Các phép đo trong bài toán định vị dùng kỹ thuật sai phân kép DGPS đã được trình bày chi tiết ở mục 2.4.4. Để thuận tiện, thuật ngữ DGPS bắt đầu từ giờ sẽ được dùng để chỉ kỹ thuật sai phân kép thực hiện trên phép đo mã hoặc phép đo pha đối với các tín hiệu vệ tinh thu nhận được từ hai máy thu. Như đã trình bày ở trên, sai số của kỹ thuật DGPS chủ yếu sẽ là phần khác biệt trong giá trị của các sai số (sai số quỹ đạo, sai số do tầng điện ly, sai số do tầng đối lưu) thu nhận được từ hai máy thu khác nhau. Nhiều và sai số do đa đường truyền là không tương quan giữa hai máy thu, do vậy việc dùng kỹ thuật DGPS không giúp làm giảm đi ảnh hưởng của chúng (thậm chí ảnh hưởng của nhiễu còn tăng lên 2 lần) lên kết quả định vị. Bảng 2.8 tóm tắt mức độ ảnh hưởng của các sai số khi dùng kỹ thuật DGPS, trong trường hợp thường gặp với khoảng cách giữa các máy thu khoảng 20 km và tầng điện ly hoạt động ở trạng thái bình thường.

Bảng 2.8. Giá trị cường độ tiêu biểu của các sai số với một máy thu và DGPS [14]

<i>Nguồn sai số</i>	<i>Một máy thu (m)</i>	<i>DGPS (m)</i>
Đồng hồ vệ tinh	3,0	0
Sai số quỹ đạo vệ tinh	4,2	0,1
Sai số điện ly	5,0	0,2
Sai số đối lưu	1,5	0,2
Đồng hồ máy thu	Giải như là ẩn số	0
Nhiều và sai số máy thu	Đo mã: 0,25 – 0,5 Đo pha: 0,001 – 0,002	Nhiều tăng cao hơn so với trường hợp một máy thu
Đa đường truyền	Trong môi trường "tốt" Đo mã: 0,5 – 1 Đo pha: 0,005 – 0,01	Giống trường hợp một máy thu

Trong khi việc dùng một máy thu cho kết quả định vị với độ chính xác là 100 m (95%) theo chiều ngang, 156 m (95%) theo chiều cao khi SA vẫn còn tác dụng và khoảng 10 – 50 m khi SA được tắt đi [14], kỹ thuật DGPS có thể cung cấp độ chính xác ở cỡ mét (với phép đo mã) và ở mức độ centimét hoặc milimét (với phép đo pha) như đã được mô tả ở bảng 2.9 [14]. Việc sử dụng phép đo pha yêu cầu phải giải đoán được số nguyên các chu kỳ.

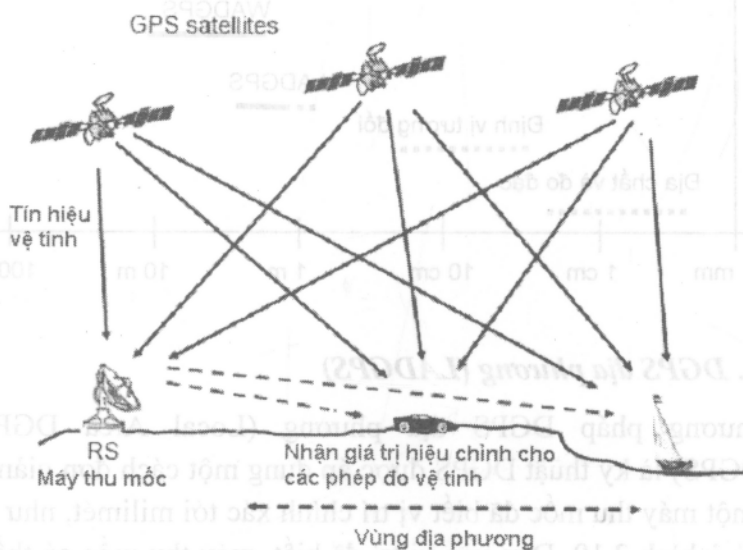
Bảng 2.9. Tóm tắt khả năng định vị dùng dịch vụ DGPS [14]



2.7.1. DGPS địa phương (LADGPS)

Phương pháp DGPS địa phương (Local Area DGPS – LADGPS) là kỹ thuật DGPS được áp dụng một cách đơn giản nhất với một máy thu mốc đã biết vị trí chính xác tới milimét, như được mô tả ở hình 2.19. Dựa vào vị trí đã biết, máy thu mốc có thể tính toán được ảnh hưởng của sai số lên tín hiệu đến từ mỗi vệ tinh. Giả thiết trong một vùng nhất định, sao cho các tín hiệu vệ tinh chịu sai số có giá trị tương đương nhau, các máy thu lân cận trong vùng có thể dùng sai số ước lượng được từ máy thu mốc này như là giá trị hiệu chỉnh sai số. Các giá trị hiệu chỉnh thường được truyền đi dựa trên phương pháp liên lạc dùng sóng radio, thông qua các chuẩn quốc tế về định vị, cụ thể là chuẩn RTCM (Radio Technical

Commission for Maritime Services) [14]. Tuy nhiên, các giá trị hiệu chỉnh này chỉ có giá trị hợp lý khi khác biệt về độ ngẩng (của một vệ tinh quan sát được tại các máy thu khác nhau được bù trừ và đặc biệt là đối với phép đo pha, thì số nguyên các chu kỳ chưa biết của tín hiệu từ mỗi vệ tinh tới máy thu mốc phải được giải đoán trước khi giá trị hiệu chỉnh được tính toán. Kỹ thuật này có thể được dùng với phép đo mã (cho độ chính xác định vị khoảng vài mét) hoặc phép đo pha (cho độ chính xác định vị khoảng vài decimét).



Hình 2.19. Khái niệm LADGPS

Hai câu hỏi quan trọng nhất đối với phương pháp này là: (i) Máy thu mốc có thể cung cấp thông tin hiệu chỉnh cho các máy thu trong vùng lân cận có bán kính là bao nhiêu? và (ii) Các giá trị hiệu chỉnh này phải được cập nhật thường xuyên như thế nào?

Thông thường, các giá trị hiệu chỉnh sai số có giá trị càng gần với giá trị thực hơn khi khoảng cách giữa hai máy thu càng ngắn. Tuy còn phụ thuộc vào mức độ tương quan của sai số thu nhận được giữa các vị trí khác nhau trong vùng, và quan trọng hơn nữa là mức độ hoạt động tích cực của tầng điện ly, giá trị thông thường của bán kính vùng xung quanh máy thu mốc mà trong đó giá trị hiệu chỉnh có thể được áp dụng một cách hiệu quả là khoảng 10 đến 20 km. Hiệu chỉnh sai số gây ra do tầng điện ly và tầng đối lưu trong điều kiện bình thường, thường thay đổi chậm theo thời gian [14] và thường được cập nhật sau khoảng 10 đến 30 phút, tùy thuộc vào từng trường hợp.

2.7.2. DGPS trên diện rộng (WADGPS)

Hệ thống DGPS trên diện rộng (Wide Area DGPS - WADGPS) áp dụng kỹ thuật DGPS trên một vùng diện tích rộng lớn, dựa trên dữ liệu thu được từ nhiều máy thu mốc đặt rải rác trong vùng [14]. Một mạng lưới các máy thu mốc (reference stations) sẽ thường xuyên thu thập dữ liệu và xác định giá trị hiệu chỉnh sai số theo cả thời gian và không gian tại vị trí của nó. Các dữ liệu này sẽ được thu thập và phân tích tại trạm điều khiển trung tâm (wide area master station), và sau đó sẽ được truyền lên các vệ tinh liên lạc của hệ thống WADGPS. Các vệ tinh này sẽ mã hoá tín hiệu với sóng mang L1 và truyền xuống mặt đất cho các máy thu có đăng ký quyền thu nhận tín hiệu của hệ thống. Các máy thu này sẽ dùng tín hiệu WADGPS như là những phép đo bổ sung, cùng với các giá trị đo tín hiệu định vị khác để xác định vị trí của mình. Hệ thống WADGPS đầu tiên được xây dựng với quy mô lớn nhất là hệ thống WAAS (Wide Area Augmentation System) của Mỹ, do US-FAA (US Federal Aviation Administration) điều hành [14]. Hệ thống này

được xây dựng với mục đích để đảm bảo các yêu cầu về an toàn trong định vị cho ngành hàng không dân dụng của Mỹ, bao gồm 25 trạm thu GPS mốc đặt rải rác khắp nước Mỹ [14]. Tương tự như WAAS, hệ thống EGNOS (**E**uropean **G**eostationary **N**avigation **O**verlay **S**ervice) đã được xây dựng ở châu Âu; và giúp cải thiện độ chính xác, độ tin cậy và khả năng định vị trên gần như toàn bộ châu lục [21, 4]. Hai hệ thống WADGPS khác cũng được nhắc đến là hệ thống MSAS (**M**ultifunctional **T**ransportation **S**atellite-**B**ased **A**ugmentation **S**ystem) ở Nhật [23] và hệ thống GAGAN (**G**PS **A**nd **G**EO **A**ugmented **N**avigation) ở Ấn Độ [18].

Chương 3

HỆ THỐNG GLONASS

Hệ thống GLONASS của Liên bang Xô viết (cũ) được xây dựng từ năm 1982, được chính thức công bố đưa vào hoạt động vào ngày 24/09/1993 với cấu hình không đầy đủ và vào ngày 07/03/1995 với cấu hình đầy đủ. Hệ thống GLONASS được xây dựng qua ba giai đoạn:

i) Giai đoạn 1 (1982 – 1985): tinh chỉnh thiết kế hệ thống, thử nghiệm đánh giá từ 4 đến 6 vệ tinh.

ii) Giai đoạn 2 (1986 – 1993): triển khai hệ thống gồm 12 vệ tinh, bắt đầu khai thác thử nghiệm.

iii) Giai đoạn 3 (1993 – 1995): triển khai đầy đủ hệ thống gồm 24 vệ tinh.

Từ năm 1996, do Nga có khó khăn về tài chính, nên hệ thống GLONASS hoạt động cầm chừng. Số lượng vệ tinh hoạt động của hệ thống GLONASS giảm dần do không có vệ tinh thay thế, có thời gian hệ thống GLONASS chỉ còn 7 vệ tinh trên quỹ đạo, nên khả năng phủ sóng Trái Đất không được như hệ thống GPS. Hệ thống GLONASS hoạt động trực tiếp dưới quyền kiểm soát của Bộ Quốc phòng Nga, ban đầu chủ yếu phục vụ các mục tiêu quân sự của Nga.

3.1. Hệ thống GLONASS

Tương tự như hệ thống GPS, cơ cấu của hệ thống GLONASS gồm 3 phần: phần vũ trụ là chùm vệ tinh; phần điều khiển là các trạm điều khiển tại mặt đất và phần người sử dụng gồm các máy thu, anten và phần mềm xử lý. Chùm vệ tinh GLONASS theo thiết kế gồm 21 vệ tinh chính thức và 3 vệ tinh dự trữ, được phóng lên ba mặt phẳng quỹ đạo cách nhau 120° , nghiêng $64,8^\circ$ so với mặt phẳng Xích đạo. Trên mỗi mặt phẳng, 8 vệ tinh được phân bố cách đều nhau 45° và bay ở độ cao 19.100 km so với mặt đất. Các vệ tinh GLONASS có chu kỳ là 11 giờ 15 phút [7, 14]. Trung tâm điều khiển và chuẩn thời gian đặt tại Moscow; các trạm theo dõi và đo xa đặt tại Saint Petersburg, Ternopol, Eniseisk và Komsomolsk-na-Amure.

3.2. Tín hiệu của hệ thống GLONASS và những khác biệt so với hệ thống GPS

Mỗi vệ tinh GLONASS truyền hai loại tín hiệu: SP (chính xác tiêu chuẩn) dùng cho dân sự và HP (chính xác cao) bằng một tần số riêng biệt:

$$f_{L1,2} = \left(178 + \frac{K}{16} \right) Z \quad (3.1)$$

trong đó K là giá trị nguyên trong khoảng -7 đến $+12$, $Z = 9$ cho trường hợp L1 và $Z = 7$ cho trường hợp L2, với đơn vị tần số được tính bằng đơn vị MHz [7]. Tần số trung tâm cho L1 là 1602 MHz và cho L2 là 1246 MHz. Đây là một điều khác biệt quan trọng so với tín hiệu GPS. Tức là, các tín hiệu của hệ thống GLONASS dùng kỹ thuật đa truy nhập theo tần số (Frequency Division Multiple Access – FDMA) chứ không phải là kỹ thuật đa truy nhập theo mã (Code Division Multiple Access – CDMA) như hệ thống

GPS. Các tín hiệu của hệ thống GLONASS cũng có thành phần mã C/A và mã P giống như của tín hiệu GPS nhưng với cấu trúc mã hoàn toàn khác. Cấu trúc tín hiệu GLONASS không được phổ biến rộng rãi. Hệ thống GLONASS được chuẩn hoá thời gian theo hệ thời gian Coordinate Universal Time do Liên bang Xô viết quản lý – UTC (SU). Hệ thống toạ độ được dùng bởi hệ thống GLONASS là PZ-90 chứ không phải là WGS84 như của GPS. Công thức chuyển đổi giữa hai hệ vẫn chưa được thiết lập một cách rõ ràng. Dữ liệu định vị cũng được truyền cùng với tín hiệu của mỗi vệ tinh. Tương tự như trường hợp của GPS, dữ liệu định vị là một thành phần quan trọng của tín hiệu, cung cấp các thông tin về vị trí, tốc độ của vệ tinh truyền tín hiệu và của các vệ tinh khác, thời điểm truyền tín hiệu và sai số thời gian vệ tinh. Việc giám sát tình trạng của các vệ tinh cũng như cập nhật dữ liệu vệ tinh để truyền cùng với tín hiệu được thực hiện bởi các trạm điều khiển dưới mặt đất, tương tự như trường hợp của hệ thống GPS. Các máy thu GLONASS không được sản xuất rộng rãi cho thị trường mở và thương mại, một phần là do chính sách của Nga chú trọng việc dùng GLONASS cho ứng dụng quân sự và khoa học của Nga hơn, một phần là do việc dùng kỹ thuật FDMA trở thành một khó khăn cản trở việc phát triển máy thu GLONASS với giá thành thấp. Độ chính xác trong định vị khi dùng hệ thống GLONASS với đầy đủ số lượng vệ tinh là 26 m chiều ngang và 45 m chiều cao [17].

3.3. Chương trình phát triển của GLONASS trong tương lai

Tháng 8 năm 2001, Chính phủ Liên bang Nga đã phê duyệt chương trình 10 năm (2002 – 2011) nhằm bổ sung nâng cấp và hiện đại hoá hệ thống GLONASS theo hướng: i) Bổ sung đủ số lượng vệ tinh; ii) Phát triển các vệ tinh thế hệ GLONASS mới: GLONASS-M, GLONASS-K và GLONASS-KM. Chương trình

dự kiến đến năm 2010, hệ thống GLONASS sẽ có đủ 24 vệ tinh thế hệ mới trên quỹ đạo. Bảng 3.1 cho một số chỉ tiêu của vệ tinh thuộc thế hệ GLONASS mới.

Bảng 3.1. Các thế hệ GLONASS

	GLONASS	GLONASS-M	GLONASS-K	GLONASS-KM
Lần phóng đầu tiên	1982	2003	2007	Sau 2011
Trọng lượng (kg)	1.415	1.415	750	XĐS
Thời gian sống (năm)	3	7	10 – 12	XĐS
Số vệ tinh trong 1 lần phóng:				
– PROTON	3	3	6	6
– SOYOZ	–	1	2	2
Công suất điện	1000 W	1600 W	1270 W	XĐS
Độ chính xác định vị theo chiều cao (95%)	60 m	30 m	5 – 8 m	XĐS
Số tần số dân sự	1	2	3	3

XĐS: sẽ được xác định sau.

Để thực hiện một chương trình như vậy, Chính phủ Nga đang kêu gọi sự đầu tư tài chính từ một số nước, đặc biệt là từ châu Âu. Tính đến thời điểm này, các đàm phán còn gặp nhiều khó khăn, một phần là vì các nhà đầu tư châu Âu đang dồn nguồn tài chính để phát triển hệ thống Galileo của họ và một phần khác là do chưa thống nhất được một số thỏa thuận trong chiến lược phát triển để hệ thống GLONASS có thể phục vụ cho các ứng dụng dân sự phổ biến. Tuy nhiên, Chính phủ Nga và chính phủ Ấn Độ đã thỏa thuận hợp tác trong chương trình phát triển GLONASS. Cụ thể, Ấn Độ sẽ dùng tên lửa PSLV để phóng 2 vệ tinh GLONASS-M lên quỹ đạo.

Chương 4

HỆ THỐNG GALILEO

4.1. Chương trình Galileo

Ý tưởng xây dựng hệ thống định vị toàn cầu mang tên Galileo được hình thành từ những năm đầu của thập kỷ 90 (thế kỷ XX). Trên cơ sở sử dụng hệ thống GPS của Mỹ và GLONASS của Nga, các nước châu Âu đều mong muốn có một hệ thống định vị toàn cầu độc lập định hướng cho các ứng dụng dân sự. Tháng 5 năm 1999, Cơ quan Vũ trụ châu Âu (European Space Agency) đã phê duyệt chương trình Galileo và đến tháng 5 năm 2003, Ủy ban châu Âu (European Commission) và Cơ quan Vũ trụ châu Âu (ESA) đã thống nhất các điều kiện để các nước thành viên tham gia chương trình Galileo. Chương trình Galileo nhằm xây dựng một hệ thống gồm 30 vệ tinh định vị được phóng lên quỹ đạo trung bình (MEO), với tổng kinh phí ước tính là 3,2 tỷ EUR (4,27 tỷ USD).

Kế hoạch xây dựng hệ thống Galileo được chia ra làm ba giai đoạn [1]:

- 1) Giai đoạn 2001 – 2005: Hoàn thành việc thiết kế hệ thống, phóng thử nghiệm từ hai đến bốn vệ tinh để bước đầu xác nhận tính hợp lệ trong thiết kế của quỹ đạo vệ tinh và các trạm điều khiển.

2) Giai đoạn 2006 – 2007: Tiếp tục phóng các vệ tinh còn lại và hoàn thành các trạm điều khiển.

3) Giai đoạn 2008: Hoàn thành hệ thống và tuyên bố đưa hệ thống vào khai thác thương mại.

Đề triển khai kế hoạch trên, từ năm 2002 Cơ quan Vũ trụ châu Âu đã xây dựng một hệ thống gồm trạm mặt đất và 2 vệ tinh mang tên GIOVE-A và GIOVE-B, trong đó GIOVE là chữ viết tắt của **Galileo In-Orbit Validation Element**. GIOVE-A do SSTL (Anh) chế tạo và đã phóng thành công lên quỹ đạo ngày 28/12/2005. GIOVE-A là vệ tinh định vị đầu tiên của châu Âu, bay ở độ cao 223.222 km, GIOVE là vệ tinh có quỹ đạo trung bình, được trang bị đồng hồ nguyên tử loại tốt nhất (1 đồng hồ maser có độ chính xác 1 nanô-giây trên 24 giờ và 1 đồng hồ rubidium có độ chính xác 10 nanô-giây trên 24 giờ).

GIOVE-B do tổ hợp công nghiệp Galileo gồm một số công ty của các nước châu Âu chế tạo, dự kiến phóng vào năm 2006.

Do một số chậm trễ gặp phải trong giai đoạn đầu, kế hoạch hoàn thành hệ thống Galileo để đưa vào khai thác thương mại phải lùi lại đến năm 2010.

4.2. Các dịch vụ dân sự của hệ thống Galileo

Ủy ban châu Âu và Cơ quan Vũ trụ châu Âu đã chính thức tuyên bố hệ thống Galileo sẽ tập trung vào đảm bảo nhu cầu định vị toàn cầu cho các ứng dụng dân sự, nhằm cung cấp năm loại dịch vụ sau [1]:

1) Dịch vụ mở (Open Service – OS): Đây là dịch vụ định vị miễn phí, cung cấp khả năng xác định vị trí, tốc độ và thời gian cho các ứng dụng tự do trên thị trường mở. Bất cứ người sử dụng nào

đều có thể thu tín hiệu vệ tinh Galileo nếu có máy và anten thu tín hiệu Galileo. Tuy nhiên, dịch vụ này không đảm bảo mức độ chính xác và bị giới hạn trong việc cung cấp các số liệu về độ tin cậy của kết quả định vị. Độ chính xác có thể đạt được đối với dịch vụ này là 15 m chiều ngang và 35 m chiều cao khi sử dụng một tần số và là 4 m chiều ngang và 8 m chiều cao khi sử dụng hai tần số. Thời gian của đồng hồ máy thu có thể được tính toán với độ chính xác là 30 nanô-giây theo UTC/TAI [1]. Dịch vụ định vị này hoạt động 99,8% thời gian.

2) Dịch vụ bảo hiểm nhân mạng (Safety-of-Life Service – SoL): cung cấp mức độ chính xác giống như dịch vụ mở ở trên, nhưng độ chính xác này được đảm bảo, và được tiếp cận với nhiều dữ liệu về độ tin cậy của kết quả hơn so với dịch vụ OS. Thị trường chủ yếu của loại hình dịch vụ này sẽ là các dịch vụ bảo hiểm người và các tài sản có liên quan. Độ chính xác trong định vị có thể đạt được đối với dịch vụ này sử dụng ba tần số cùng một lúc là 4 m chiều ngang và 8 m chiều cao trong trường hợp nguy cấp. Cảnh báo về độ tin cậy của kết quả định vị sẽ được cung cấp khi sai số có khả năng vượt quá 12 m chiều ngang và 20 m chiều cao. Trong các trường hợp không nguy cấp, dịch vụ này đảm bảo cung cấp kết quả định vị với độ chính xác thấp hơn (220 m chiều ngang và 556 m chiều cao) [1]. Dịch vụ định vị này đảm bảo hoạt động 99,8% thời gian.

3) Dịch vụ thương mại (Commercial Service – CS): Nhằm thỏa mãn nhu cầu của thị trường ứng dụng công nghệ định vị cho các dịch vụ thương mại, đòi hỏi độ chính xác cao hơn hai dịch vụ trên. Với một khoản cước phí, các nhà đầu tư phát triển dịch vụ này có thể có các dịch vụ tăng cường của Galileo, thêm tín hiệu ở hai dải tần số khác nhau, khả năng xác định thời gian chính xác, các thông

số về mức độ sai số của tín hiệu cũng như là giá trị hiệu chỉnh sai số cho các ứng dụng cần độ chính xác rất cao.

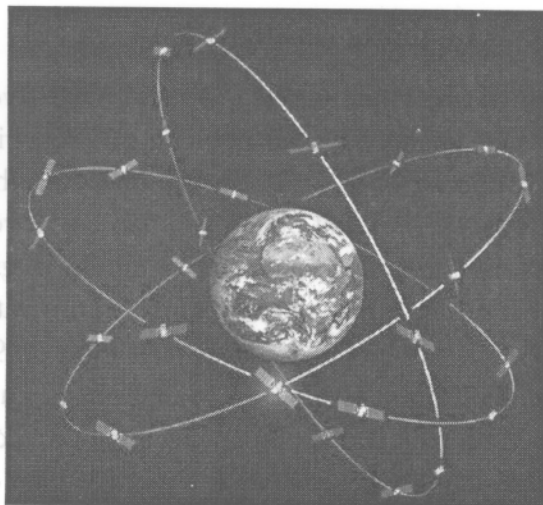
4) Dịch vụ an ninh công cộng (Public Regulated Service – PRS): Dịch vụ này dành riêng để phục vụ ngành an ninh và các tổ chức chính phủ với mức độ ưu tiên hàng đầu. Việc ước lượng vị trí của đối tượng được thực hiện sử dụng tín hiệu của hai tần số. Độ chính xác trong định vị có thể đạt được đối với dịch vụ này là 6,5 m chiều ngang, 12 m chiều cao và trong xác định thời gian tại máy thu là 100 nanô-giây so với TAI. Cảnh báo về độ tin cậy của kết quả định vị sẽ được cung cấp khi sai số có khả năng vượt quá 12 m chiều ngang và 35 m chiều cao. Dịch vụ định vị này đảm bảo hoạt động 99,5% thời gian.

5) Dịch vụ tìm kiếm và cứu hộ (Search And Rescue service – SAR): Đây không phải là một dịch vụ định vị thuần túy mà được xây dựng nhằm hỗ trợ thêm cho các dịch vụ tìm kiếm và cứu hộ có sẵn, bằng cách định vị các nguồn phát tín hiệu cấp cứu thông qua một hệ thống bốn vệ tinh ở quỹ đạo thấp và ba vệ tinh địa tĩnh (geostationary) với các vệ tinh định vị Galileo.

Sự hình thành và phát triển của một hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu mới, độc lập, nhưng có tính tương tác hoạt động (inter – operative) với hệ thống GPS của Mỹ sẽ là một điều kiện thuận lợi để nâng công nghệ định vị toàn cầu lên một tầm cao mới cả về mặt chính trị, quân sự và ứng dụng trong đời sống hàng ngày của con người. Việc xây dựng thành công và kết hợp song song của hai hệ thống GPS và Galileo sẽ hứa hẹn một khả năng định vị toàn cầu tốt hơn với độ chính xác và độ tin cậy cao hơn, trở thành hệ dẫn đường toàn cầu (GNSS).

4.3. Cơ cấu của hệ thống Galileo

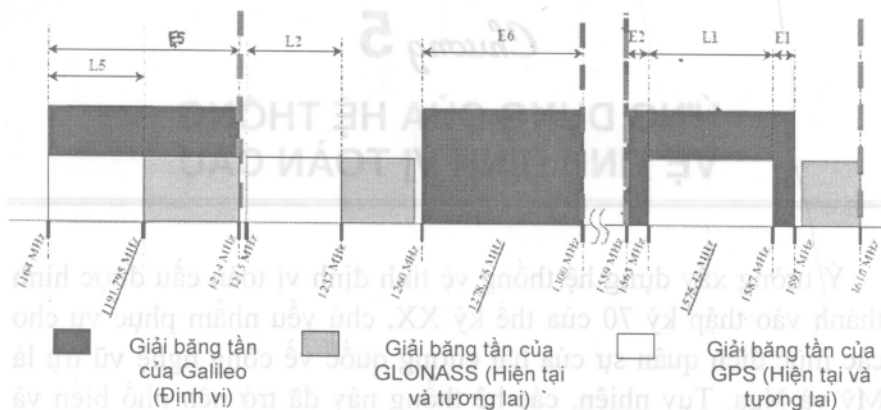
Phần vũ trụ của hệ thống Galileo sẽ bao gồm 30 vệ tinh, được phóng lên ba mặt phẳng quỹ đạo nghiêng 56° so với mặt phẳng Xích đạo và ở độ cao 23.222 km so với mặt đất, như được mô phỏng ở hình 4.1 [1]. Mỗi mặt phẳng quỹ đạo có 10 vệ tinh, trong đó có 1 vệ tinh dự trữ. Chu kỳ quay của vệ tinh là 14 giờ. Với thiết kế như trên, bất cứ ai, ở bất cứ nơi nào trên Trái Đất đều có thể nhìn thấy 4 vệ tinh của hệ Galileo (xác suất lớn hơn 90%), do đó đều có thể xác định được vị trí. Do các mặt phẳng quỹ đạo có độ nghiêng cao nên tín hiệu có thể phủ tại các vùng có vĩ độ cao gần 2 cực (điều này hệ thống GPS của Mỹ không thực hiện được). Phần điều khiển của hệ thống Galileo gồm hai trung tâm điều khiển Galileo (Galileo Control Centres – GCC) được bố trí xây dựng trên lãnh thổ châu Âu và 20 Trạm sensor Galileo (Galileo Sensor Station – GSS) để nhận dữ liệu. Các dữ liệu này được truyền về GCC thông qua một mạng viễn thông mạnh. Nhiệm vụ của các trung tâm điều khiển này chủ yếu là kiểm soát trạng thái hoạt động của các vệ tinh, dự đoán quỹ đạo, đồng bộ hoá thời gian của các vệ tinh và cập nhật thông tin về vị trí của các vệ tinh. Hệ thống thời gian của Galileo (Galileo Time) được đồng bộ hoá theo hệ chuẩn thời gian TAI, giới hạn sai số là 50 nanô-giây. Các thông số vị trí được chiếu lên hệ toạ độ của Galileo, không khác biệt so với hệ toạ độ WGS84 của GPS là mấy. Một điểm khác biệt quan trọng của hệ thống Galileo so với các hệ thống khác là khả năng cung cấp các thông tin về chất lượng định vị (integrity data) cho một vùng nhất định nào đó. Việc này được thực hiện thông qua một mạng lưới các trạm thu mốc và thông số về độ tin cậy sẽ được truyền lên vệ tinh Galileo để truyền phát xuống máy thu thông qua các vệ tinh liên lạc.



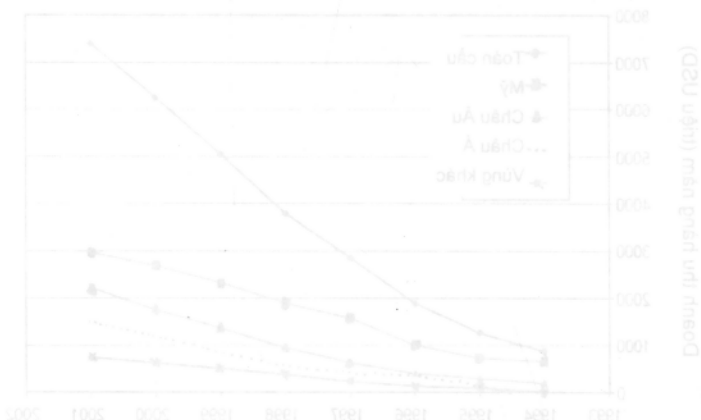
Hình 4.1. Chùm vệ tinh của hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu Galileo

Các vệ tinh Galileo truyền tín hiệu ở ba dải tần số khác nhau [12]: (i) E5a-E5b (1164 – 1215 MHz); (ii) E6 (1260 – 1300 MHz) và (iii) E2-L1-E1 (1559 – 1591 MHz). Hình 4.2 mô tả các dải băng tần được sử dụng cho cả ba hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu: GPS, GLONASS và Galileo. Có thể thấy rằng, dải tần E2-L1-E1 của Galileo bị trùng với dải tần L1 đang dùng cho GPS. Trong tương lai, khi GPS sử dụng dải tần L5 thì sẽ bị trùng với dải tần E5 của Galileo. Do vậy, tín hiệu Galileo trong các dải tần này sẽ được truyền đi bằng kỹ thuật đặc biệt để tránh bị nhiễu với tín hiệu GPS mà vẫn cho phép các máy thu thu nhận được tín hiệu từ cả hai hệ thống [12]. Hệ thống Galileo cũng sẽ dùng kỹ thuật CDMA để tương đồng với hệ thống GPS. Hệ thống Galileo sẽ truyền tổng cộng 10 loại tín hiệu định vị, trong số đó có 6 tín hiệu dành cho các dịch vụ mở và bảo hiểm nhân mạng, 2 tín hiệu dành cho các dịch

vụ thương mại và hai tín hiệu còn lại dành cho các dịch vụ an ninh công cộng và tìm kiếm cứu hộ.



Hình 4.2. Dải băng tần được sử dụng cho ba hệ thống GPS, GLONASS và Galileo

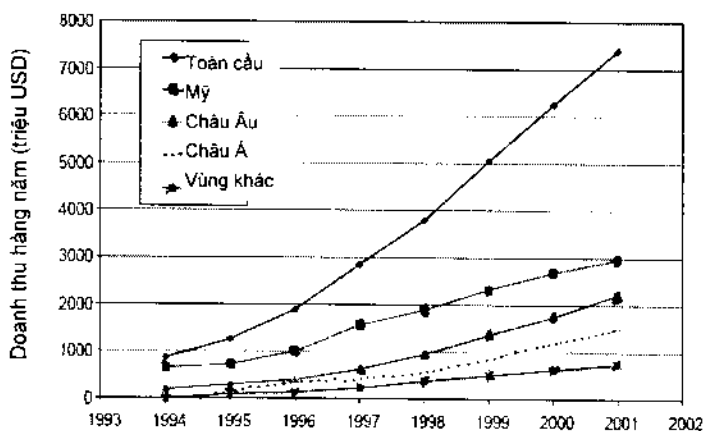


Hình 5.1. Lợi nhuận hàng năm do công nghiệp định vị nhờ vệ tinh mang lại cho thị trường toàn cầu

Chương 5

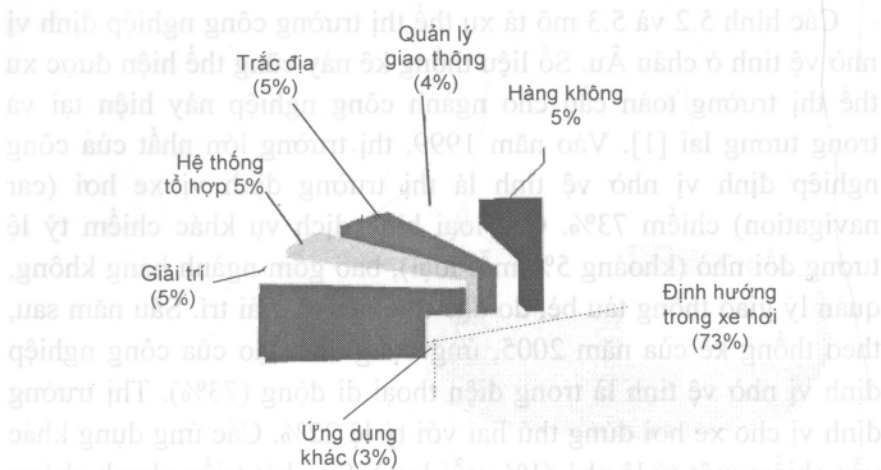
ỨNG DỤNG CỦA HỆ THỐNG VỆ TINH ĐỊNH VỊ TOÀN CẦU

Ý tưởng xây dựng hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu được hình thành vào thập kỷ 70 của thế kỷ XX, chủ yếu nhằm phục vụ cho các mục đích quân sự của hai cường quốc về công nghệ vũ trụ là Mỹ và Nga. Tuy nhiên, các hệ thống này đã trở nên phổ biến và nhanh chóng chiếm được thị trường cho các ứng dụng dân sự và đem lại nguồn lợi nhuận khổng lồ. Theo thống kê như được chỉ ra trên hình 5.1, nếu như lợi nhuận toàn cầu mà ngành công nghiệp định vị nhờ vệ tinh đem lại là khoảng 1 tỷ USD vào năm 1995 thì con số này đã lên tới 7 tỷ USD vào năm 2001. Trong số các châu lục thì Mỹ và châu Âu chiếm tỷ lệ lợi nhuận cao hơn cả.

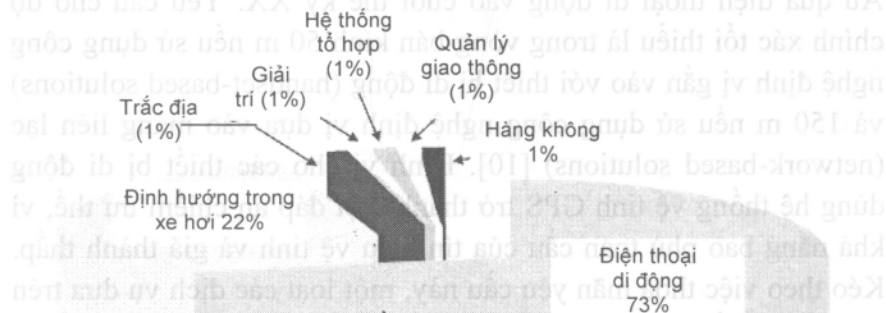


Hình 5.1. Lợi nhuận hàng năm do công nghiệp định vị nhờ vệ tinh mang lại cho thị trường toàn cầu

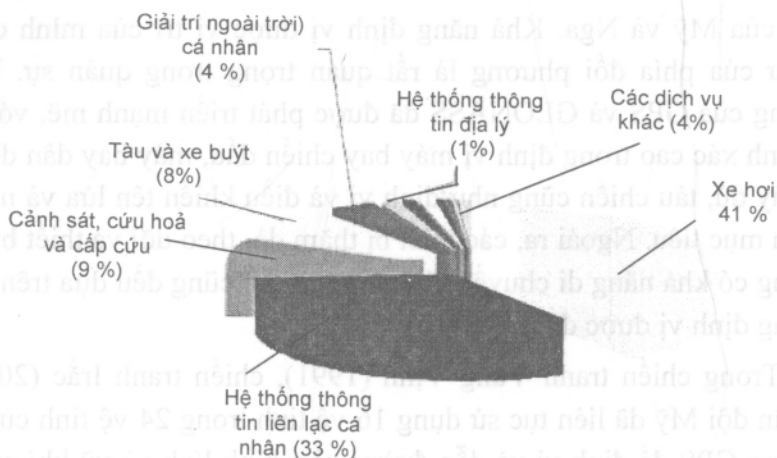
Các hình 5.2 và 5.3 mô tả xu thế thị trường công nghiệp định vị nhờ vệ tinh ở châu Âu. Số liệu thống kê này cũng thể hiện được xu thế thị trường toàn cầu cho ngành công nghiệp này hiện tại và trong tương lai [1]. Vào năm 1999, thị trường lớn nhất của công nghiệp định vị nhờ vệ tinh là thị trường định vị xe hơi (car navigation) chiếm 73%. Các loại hình dịch vụ khác chiếm tỷ lệ tương đối nhỏ (khoảng 5% mỗi loại), bao gồm ngành hàng không, quản lý giao thông tàu bè, đo đạc trắc địa và giải trí. Sáu năm sau, theo thống kê của năm 2005, ứng dụng chủ đạo của công nghiệp định vị nhờ vệ tinh là trong điện thoại di động (73%). Thị trường định vị cho xe hơi đứng thứ hai với tỷ lệ 22%. Các ứng dụng khác vẫn chiếm một tỷ lệ nhỏ (1% mỗi loại). Sự phát triển nhanh chóng của nhu cầu định vị cho điện thoại di động bắt nguồn từ yêu cầu của US FCC (US Federal Communications Commission) đối với các nhà cung cấp dịch vụ điện thoại di động phải xác định được vị trí của người gọi dịch vụ cấp cứu E-911 tại Mỹ và E-112 tại châu Âu qua điện thoại di động vào cuối thế kỷ XX. Yêu cầu cho độ chính xác tối thiểu là trong vòng bán kính 50 m nếu sử dụng công nghệ định vị gắn vào với thiết bị di động (handset-based solutions) và 150 m nếu sử dụng công nghệ định vị dựa vào mạng liên lạc (network-based solutions) [10]. Định vị cho các thiết bị di động dùng hệ thống vệ tinh GPS trở thành một đáp án chiếm ưu thế, vì khả năng bao phủ toàn cầu của tín hiệu vệ tinh và giá thành thấp. Kéo theo việc thoả mãn yêu cầu này, một loạt các dịch vụ dựa trên thông tin về vị trí của khách hàng của các dịch vụ di động (location-based services) đã được ra đời [3]. Vào năm 2003, thống kê lợi nhuận đạt được của các dịch vụ này đã lên tới 0,3 tỷ USD. Với tốc độ phát triển mạnh mẽ, loại hình dịch vụ này đang hứa hẹn một con số lợi nhuận hấp dẫn là 28 tỷ USD trên thị trường toàn cầu vào năm 2008 [10].



Hình 5.2. Phân bố thị trường ứng dụng hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu tại châu Âu năm 1999



Hình 5.3. Phân bố thị trường ứng dụng hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu tại châu Âu năm 2005



Hình 5.4. Dự đoán phân bố thị trường ứng dụng hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu tại châu Âu tới năm 2015

Theo dự đoán cho thị trường ứng dụng hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu vào năm 2015, các dịch vụ thông tin liên lạc dựa trên vị trí của khách hàng sẽ chiếm 33%, trong khi định vị xe hơi sẽ vẫn đóng vai trò chủ đạo với 41% thị trường. Vai trò của định vị trong các ngành dịch vụ góp phần cải thiện chất lượng sống của con người như giải trí, giao thông công cộng, an ninh xã hội sẽ tăng cao. Mặc dù chiếm một tỷ lệ nhỏ, nhưng ứng dụng của định vị trong hệ thống tin địa lý (GIS) bao gồm đo đạc bản đồ, trắc địa, quản lý đô thị... vẫn rất quan trọng.

Ứng dụng của hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu trong một vài lĩnh vực chủ đạo sẽ được mô tả chi tiết thêm ở các mục sau.

5.1. Quân sự

Cả hai hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu GPS và GLONASS đều được xây dựng với mục đích đầu tiên là hỗ trợ các hoạt động quân

sự của Mỹ và Nga. Khả năng định vị được vị trí của mình cũng như của phía đối phương là rất quan trọng trong quân sự. Ứng dụng của GPS và GLONASS đã được phát triển mạnh mẽ, với độ chính xác cao trong định vị máy bay chiến đấu, máy bay dân dụng, nhảy dù, tàu chiến cũng như định vị và điều khiển tên lửa và ngắm bắn mục tiêu. Ngoài ra, các thiết bị thăm dò, theo dõi và thiết bị tấn công có khả năng di chuyển không người lái cũng đều dựa trên khả năng định vị được đối phương.

Trong chiến tranh Vùng Vịnh (1991), chiến tranh Irắc (2003), quân đội Mỹ đã liên tục sử dụng 16 vệ tinh trong 24 vệ tinh của hệ thống GPS để định vị và dẫn đường cho binh lính và vũ khí mang lại hiệu quả rõ rệt trên chiến trường. Phần lớn tên lửa và bom được sử dụng trong hai cuộc chiến kể trên đều được lắp đặt thêm bộ phận định vị và dẫn đường bằng hệ thống GPS, trong đó phải kể đến tên lửa hành trình Tomahawk và bom JDAM.

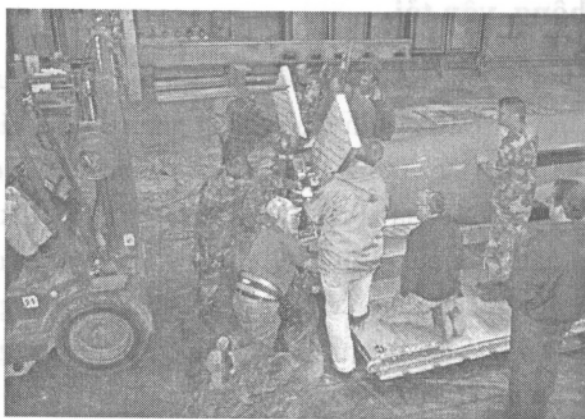


Hình 5.5. Tên lửa hành trình Tomahawk

Tên lửa hành trình Tomahawk bay rất thấp dưới tầm quét của radar, có thể bắn trúng mục tiêu có cỡ 1 gara chứa 1 xe ô tô từ tầm xa 1000 dặm.

Bom JDAM (Joint Direct Attack Munition) hoạt động trong mọi thời tiết và được định vị nhờ hệ thống GPS bằng cách ghép thêm vào phần đuôi quả bom một bộ công cụ đuôi (tail kit) gồm: một bộ thăng bằng đuôi điều chỉnh được, một máy tính điều khiển, một hệ điều khiển quán tính và một máy thu tín hiệu GPS.

Trước khi thả bom, máy bay dùng máy thu tín hiệu GPS đặt trên máy bay để định vị máy bay và mục tiêu dưới mặt đất. Khi sắp thả bom, máy tính của máy bay cung cấp cho máy tính của bom tọa độ của máy bay và tọa độ của mục tiêu. Trong quá trình bom rơi, máy tính của bom xử lý tín hiệu thu được từ hệ thống GPS để cập nhật tọa độ và hệ điều khiển đặt ở phần đuôi của bom sẽ đưa bom đến mục tiêu với độ chính xác dưới 13m.



Hình 5.6. Lắp đặt bộ công cụ đuôi vào bom để định vị và dẫn đường nhờ hệ thống GPS

5.2. Trắc địa, bản đồ, đo đạc địa chấn

Một trong các ứng dụng dân sự đầu tiên của hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu là ứng dụng trong ngành đo đạc trắc địa và bản đồ, với các máy định vị chất lượng cao. Ứng dụng trong lĩnh vực này

thường bao gồm việc xây dựng tọa độ cho các điểm mốc trong trắc địa với độ chính xác tới milimét. Ngoài ra, kỹ thuật định vị còn được dùng rất phổ biến trong xây dựng hệ thống thông tin địa lý (GIS), ví dụ như tạo dựng dữ liệu về hệ thống đường giao thông và vị trí của các nơi công cộng quan trọng như bệnh viện, trường học, các danh lam thắng cảnh, dịch vụ vui chơi, giải trí, v.v...

Định vị nhờ vệ tinh cũng đóng vai trò quan trọng trong giám sát chấn động, độ dịch chuyển của mặt đất và của các cấu trúc hạ tầng như đập thủy điện, cầu, nhà hay tháp cao. Khả năng này được đánh giá rất cao trong dự đoán động đất hay giám sát chất lượng của các công trình xây dựng.

5.3. Giao thông, vận tải

Ngay sau khi ra đời, hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu đã chiếm vai trò quan trọng trong ngành giao thông vận tải, đặc biệt là trong hàng không và hàng hải. Trong ngành hàng không, việc điều khiển máy bay hạ cánh, cất cánh cũng như dẫn đường trong không gian ba chiều yêu cầu khả năng định vị chính xác tới vài mét. Trong ngành hàng không dân dụng có liên quan tới tính mạng của hàng trăm hành khách, khả năng định vị yêu cầu không những phải thoả mãn được độ chính xác đã đặt ra mà còn phải thoả mãn độ tin cậy (reliability) và khả năng cảnh báo khi hệ thống định vị cho kết quả không chính xác (integrity). Hệ thống định vị thường được sử dụng song song với các sensor định hướng (MEMS) để cung cấp độ chính xác và tin cậy cao hơn.

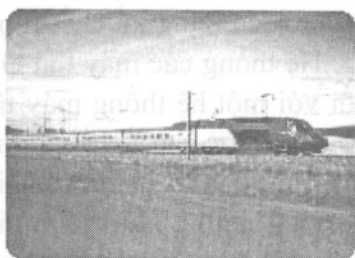
Nhu cầu định vị cho ngành hàng hải cũng đã có từ rất xa xưa và phụ thuộc chủ yếu vào quan sát thiên văn và sử dụng la bàn. Ngày nay, hầu hết các tàu thuyền thương mại đều có gắn máy thu và

anten thu tín hiệu định vị, cho độ chính xác tới vài mét. Đối với các tàu thuyền cập cảng, hoặc đi qua các kênh rạch nhỏ, khả năng định vị với độ chính xác dưới một mét là cần thiết. Trong các trường hợp này, việc sử dụng kỹ thuật DGPS là cần thiết.

Trong một vài năm gần đây, việc ứng dụng hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu trong ngành đường sắt đã trở nên phổ biến trên thế giới. Một trong các nhu cầu cần thiết nhất trong ngành đường sắt là quản lý và điều khiển tàu.

Đối với hệ thống tàu điện, cũng như hệ thống xe buýt trong thành phố, hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu có thể trợ giúp đắc lực trong việc quản lý và giúp nâng cao một cách đáng kể chất lượng phục vụ và tính hiệu quả của hệ thống. Hệ thống các máy thu GPS lắp đặt trên các xe và tàu được kết nối với một hệ thống máy tính dùng liên lạc vô tuyến hai chiều. Dữ liệu được thu thập và phân tích tại trạm điều khiển trung tâm nhằm đưa ra vị trí chính xác hiện hành của các tàu, xe. Thông tin này không những giúp trạm điều khiển trung tâm có thể quản lý hệ thống một cách hiệu quả mà còn có thể giúp tăng chất lượng phục vụ, ví dụ như cập nhật bảng thông báo điện tử tại các ga tàu nếu có bất kỳ sự chậm trễ nào. Hơn nữa, trạm điều khiển cũng có thể thông báo vị trí của tàu hoặc xe buýt cho khách hàng đang chờ, để họ có thể lên kế hoạch về thời gian một cách chính xác thông qua dịch vụ trả lời điện thoại tự động. Khách hàng sẽ phải trả một khoản cước phí nhất định khi dùng dịch vụ này. Tương tự, hệ thống taxi cũng cần phải được quản lý nghiêm ngặt, và để đảm bảo tính hiệu quả cũng như chất lượng phục vụ khách hàng. Một công ty taxi lớn ở các thành phố lớn có thể có tới vài trăm hoặc thậm chí vài nghìn xe taxi. Nhu cầu xác định vị trí của chúng khi đang hoạt động cũng như trong gara trở nên cấp thiết. Hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu cung cấp một giải pháp hợp lý, thông qua thông tin về vị trí của các taxi, trạm điều

khiến trung tâm có thể điều phối chúng hiệu quả khi có yêu cầu dịch vụ của khách hàng. Hơn thế nữa, thông tin về vị trí hiện tại của xe cùng với dữ liệu bản đồ số của thành phố được cài đặt trên xe hoặc tại trạm điều khiển có thể trợ giúp đắc lực trong việc dẫn đường và chỉ ra đường đi ngắn nhất cho lái xe. Ngoài ra, trên phương diện đảm bảo an toàn cho lái xe, các hệ thống định vị với thông tin chính xác về vị trí cũng có thể giúp trạm điều khiển trợ giúp khi lái xe gặp phải rủi ro. Mỗi khi xe được đưa về gara cất giữ, thông tin định vị có thể trợ giúp đắc lực trong việc đếm đầu xe cũng như giúp cho lái xe xác định được xe của mình ở đâu và tìm được xe nhanh chóng.



Hình 5.7. Ứng dụng hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu trong ngành đường sắt và giao thông công cộng (xe buýt, taxi và tàu điện trong thành phố)



Hình 5.8. Ứng dụng hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu cho xe hơi

Ứng dụng hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu cho xe hơi đã được nhắc đến từ lâu và đã gặt hái được những thành quả nhất định. Ngày nay, thiết bị định vị nhờ vệ tinh được lắp đặt trong hầu hết các xe hơi hạng sang của các hãng xe hơi nổi tiếng. Trong tương lai không xa, khi công nghệ thông tin trở nên cấp thiết trong cuộc sống công nghiệp, mà khi đó con người có khả năng trả một khoản kinh phí nhất định không lớn lắm cho các thông tin nhằm cung cấp sự thoải mái và tiện nghi cho việc đi lại hằng ngày, công nghệ định vị cho xe hơi sẽ trở nên thân thuộc với mọi hãng xe hơi khác nhau. Dựa trên thông tin về vị trí của mình, người điều khiển xe có thể nối trực tiếp với trạm điều khiển và yêu cầu một số thông tin có ích, ví dụ như tình trạng tắc nghẽn giao thông ở đoạn đường phía trước, cũng như là tình trạng đường xá và ảnh hưởng của thời tiết trong thời gian thực. Dựa trên các thư viện thông tin về hệ thống giao thông và các quy định đi kèm theo với mỗi đường (ví dụ tốc độ giới hạn) và thông tin về vị trí hiện tại, các phần mềm có thể được xây dựng để dẫn đường cho lái xe, tìm cách đi ngắn nhất từ điểm A đến điểm B và cung cấp chỉ dẫn bằng chữ hiển thị lên màn hình hoặc bằng giọng nói. Dịch vụ này cũng có thể cung cấp các cảnh báo trong trường hợp xe vượt quá tốc độ giới hạn, hoặc thậm chí trong các trường hợp xe có xu hướng đi lệch làn xe và dề lên vạch phân cách giữa hai chiều trong một thời gian dài. Trong những thập kỷ sắp tới, những chiếc xe hơi tự lái có thể sẽ trở thành hiện thực và khi đó công nghệ định vị sẽ trở thành một phần không thể thiếu được, mặc dù đòi hỏi phải định vị với chất lượng cao. Hơn nữa, thông tin về vị trí chính xác của một chiếc xe hơi sẽ là rất cần thiết trong hỗ trợ tình trạng khẩn cấp như tai nạn hoặc hỏng xe, hoặc xe bị đánh cắp.

Đối với các hãng cho thuê xe hơi, khả năng có thể định vị được các xe đang cho thuê là rất quan trọng. Các trung tâm dịch vụ này

có thể biết được hiện xe đang ở đâu và có thể truy lùng có hiệu quả trong trường hợp xe bị đánh cắp, hoặc hoạt động trong phạm vi không đúng với bản hợp đồng cho thuê xe. Tuy nhiên, kèm theo đó, vấn đề này cũng sẽ gây tranh cãi vì vấn đề riêng tư của khách hàng có thể bị xâm phạm.

Hiện tại, có rất nhiều loại thiết bị thu tín hiệu GPS kết hợp với bản đồ số để dẫn đường cho xe hơi. Một số thiết bị không những chỉ hiện bản đồ mà còn phát âm bằng nhiều thứ tiếng. Sản phẩm MapQuest PND là một ví dụ.

MapQuest là công ty cung cấp dịch vụ bản đồ trực tuyến hàng đầu thế giới đã kết hợp với TomTom tạo ra thiết bị định vị và dẫn đường có tên là MapQuest Personal Navigation Device (viết tắt là MapQuest PND), trong đó các bản đồ và dữ liệu được lưu trên SD card 1GB. Việc dẫn đường còn được thực hiện nhờ hệ thống giọng nói của TomTom (được trình bày bằng 18 thứ tiếng và 50 kiểu giọng khác nhau) rất dễ nghe qua radio ngay trong điều kiện tiếng ồn ngoài đường. Màn hình cảm ứng sáng sủa, đủ rộng với kích thước $11,4 \times 39,1$ cm, nặng 0,3 kg nên rất tiện dụng.



Hình 5.9. Thiết bị định vị và dẫn đường MapQuest PND cho xe hơi

Đối với xe cơ giới hai bánh như xe máy cũng có các thiết bị định vị và dẫn đường tương tự.

5.4. Dịch vụ cung cấp thông tin dựa trên vị trí khách hàng

Dịch vụ cung cấp thông tin dựa trên vị trí của khách hàng (Location-Based Services – LBS), nó cung cấp các thông tin cần thiết theo yêu cầu của khách hàng dựa trên một thư viện dữ liệu về cơ sở hạ tầng của một thành phố và khả năng tự định vị của người sử dụng, thông qua điện thoại di động hoặc PDAs (Personal Digital Assistances). Các dịch vụ LBS này nhằm cung cấp thông tin chính xác và cụ thể cho khách hàng dựa trên vị trí của họ tại bất kỳ thời điểm nào. Loại hình dịch vụ này được xem là một giải pháp hiệu quả, nó cung cấp thông tin cho người sử dụng tại thời điểm và vị trí cần thiết. Nó hứa hẹn đem lại sự thuận tiện, thoải mái và nhiều khi tiết kiệm được rất nhiều thời gian cho người sử dụng. Đồng thời, mọi lợi nhuận khổng lồ mà kiểu dịch vụ này đang hứa hẹn đã hấp dẫn không chỉ các nhà đầu tư trong công nghệ thông tin và các thiết bị điện tử, mà cả trong ngành vui chơi giải trí, trong tìm kiếm cứu hộ và nghiên cứu xã hội.

Một số hình ảnh về giao diện của các dịch vụ này trên điện thoại di động và PDA được trình bày ở hình 5.10.



Hình 5.10. Ứng dụng hệ thống vệ tinh định vị trong thông tin vô tuyến và liên lạc

Về phương diện kỹ thuật, ngành dịch vụ này yêu cầu sự hợp tác phát triển của nhiều ngành kỹ thuật, bao gồm công nghệ vi tính, vi điện tử, công nghệ thông tin liên lạc vô tuyến và hệ thống thông tin địa lý. Các công nghệ khác nhau này sẽ được kết hợp tạo thành một mạng lưới hoạt động dùng liên lạc vô tuyến, để trao đổi dữ liệu và thông tin giữa người sử dụng dịch vụ và trung tâm cung cấp dịch vụ. Kết cấu của hệ thống được mô tả ở hình 5.11, trong đó yêu cầu của khách hàng được ký hiệu bằng dấu hỏi và thường được lập trình bằng WML (Wireless Mobile Language) và được truyền đi với mạng Internet vô tuyến.

Dịch vụ LBS đóng một vai trò rất quan trọng trong các trường hợp khẩn cấp. Ví dụ, hãy tưởng tượng bạn đang lái xe ở trên đường cao tốc ở ngoại ô thành phố, xe của bạn không may bị hỏng và cần yêu cầu dịch vụ sửa chữa xe hơi. Nếu điện thoại di động hoặc xe hơi của bạn đăng ký dịch vụ LBS, tất cả những gì mà bạn phải làm là gọi dịch vụ LBS và báo xe hỏng, yêu cầu giúp đỡ. Không cần phải mô tả rằng bạn đang ở đâu, trung tâm cung cấp dịch vụ LBS sẽ lập tức xác định được chính xác vị trí của bạn và báo cho dịch vụ sửa xe hơi. Khả năng này làm giảm đáng kể thời gian tìm kiếm bạn. Tương tự như vậy, trong trường hợp một người bất ngờ bị đau tim, sự việc sẽ vô cùng tồi tệ nếu không có ai ở xung quanh. Bệnh nhân này sẽ chỉ phải ấn nút gọi cấp cứu trên điện thoại di động. Trung tâm điện thoại di động sẽ lập tức gọi cấp cứu khẩn và có khả năng cung cấp thông tin về vị trí của người bệnh chính xác.

Ngoài ra, loại hình dịch vụ thứ hai của LBS là nhằm cung cấp thông tin về vị trí và chỉ đường tới các địa điểm gần nhất dựa trên vị trí hiện tại của khách hàng (near-by interested points). Các điểm này thường là các địa điểm quan trọng mà khách hàng thường tìm kiếm, ví dụ như bệnh viện, nhà hàng, rạp chiếu phim, nơi đỗ xe

The diagram illustrates the architecture of a Location-Based Service (LBS) system. It shows the flow of data and control between various components:

- Mobile Devices:** Represented by images of mobile phones, equipped with **A-GPS** (Assisted Global Positioning System) for location tracking.
- Base Stations:** Labeled as **Trạm thu phát tín hiệu viễn thông** (Telecommunication signal receiving and transmitting station), they facilitate communication between the mobile devices and the network.
- Network Cloud:** Contains the **Service Gateway (GMLC)** (Gateway Mobile Location Center) and supports **SMS, GPRS, Wireless Internet** services.
- Database:** The **Cơ sở dữ liệu không gian (GIS)** (Geographic Information System) stores spatial data.
- Central Processing Unit:** The **Trung tâm điều khiển dịch vụ LBS** (LBS Service Control Center) manages the service and performs **các chức năng phân tích** (analysis functions).
- Fee Calculation:** The **Trung tâm tính cước phí** (Billing Center) handles the pricing of the services.
- Interfaces:** **API** (Application Programming Interface) and **WML** (Wireless Markup Language) are used for data exchange between the mobile devices, base stations, network, database, and central units.

Hình 5.11. Hệ thống dịch vụ LBS [3]

Tương tự với ý tưởng có thể cung cấp dịch vụ chỉ đường cụ thể cho khách hàng dựa vào vị trí của họ, dịch vụ LBS có thể được dùng một cách có hiệu quả trong việc hỗ trợ người khiếm thị, để có thể dễ dàng đi lại trong thành phố.



Hình 5.21. Ứng dụng hệ thống vệ tinh định vị cho người khiếm thị

Hạn chế lớn nhất đối với việc ứng dụng hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu trong các dịch vụ LBS chính là khả năng thu nhận được các tín hiệu định vị vô cùng yếu từ vệ tinh, đặc biệt là trong các khu đô thị sầm uất, nơi mà nhu cầu của loại dịch vụ này thường cao. Trong phần lớn các trường hợp, tín hiệu vệ tinh dễ dàng bị mất, hoặc bị yếu đi rất nhiều khi khách hàng đi vào trong nhà, hoặc đi dưới tán cây rậm rạp. Trong khu đô thị, hiện tượng đa đường truyền cũng gây ảnh hưởng không nhỏ tới chất lượng định vị. Rất nhiều nghiên cứu phát triển đã được thực hiện bởi các nhà khoa học và công nghệ trong ngành định vị, để có thể đưa ra một số giải pháp tích cực cho vấn đề này. Các máy thu GPS nhạy đã được chế tạo [24] cùng với các phương pháp xử lý số liệu tinh tế đã được phát triển, nghiên cứu và bước đầu cho những kết quả khả quan [9]. Tuy vậy, đòi hỏi của các nhà cung cấp dịch vụ LBS cho công

nghe định vị ngày càng cao: “độ chính xác 10 m ở bất cứ đâu vào bất cứ thời điểm nào” [10]. Các nhà cung cấp dịch vụ định vị đang hy vọng vào khả năng phối hợp trong tương lai của hệ thống Gallileo và hệ thống GPS.

5.5. Tìm kiếm và cứu hộ

Các dịch vụ tìm kiếm và cứu hộ thường xuyên phải đối mặt với các cuộc gọi kêu cứu, mà khi đó từng giây trôi qua có thể liên quan tới tính mạng của con người. Nhiều trường hợp đã xảy ra, trong đó người kêu cứu bị lạc đường trong vùng rừng núi bao la, hoặc trên các sườn núi phủ đầy tuyết. Khả năng tự định vị được của các điện thoại di động khi dùng dịch vụ cấp cứu có thể hỗ trợ tìm kiếm nạn nhân một cách nhanh chóng.



Hình 5.13. Ứng dụng hệ thống vệ tinh định vị để tìm kiếm và cứu hộ

5.6. Thể thao và giải trí

Một số các hoạt động giải trí và tập luyện thể thao sẽ trở nên thú vị hơn nhiều nếu người chơi có thể xác định được vị trí của mình, và có thể theo dõi sự chuyển động. Một vài ví dụ điển hình có thể nêu ra là trong việc chơi kinh khí cầu. Nếu có thể lưu trữ được vị

trí mà khinh khí cầu đã bay qua, người chơi có thể tái tạo lại đường bay và đó đơn thuần là một thông tin thú vị. Hơn nữa, ngay trong khi vận hành, các thông tin về độ cao và tốc độ của khinh khí cầu cũng có thể giúp cho người điều khiển có thể điều chỉnh một cách hợp lý.



Hình 5.14. Ứng dụng hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu cho khinh khí cầu



Hình 5.15. Một thiết bị định vị GPS dùng trong tập luyện thể thao

Hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu cũng được nhắc đến trong môn thể thao thuyền buồm. Tại hầu hết các cuộc đua thuyền buồm trên thế giới ngày nay, máy thu tín hiệu vệ tinh định vị đã được lắp

đặt trên thuyền. Việc này cho phép những người điều khiển thuyền có thể theo dõi vị trí, đường đi và tốc độ của mình. Ngoài ra, các thông tin này còn được truyền về máy theo dõi của ban giám khảo, và thậm chí các khán giả có thể theo dõi cũng như đánh giá và chấm điểm cho các thí sinh.

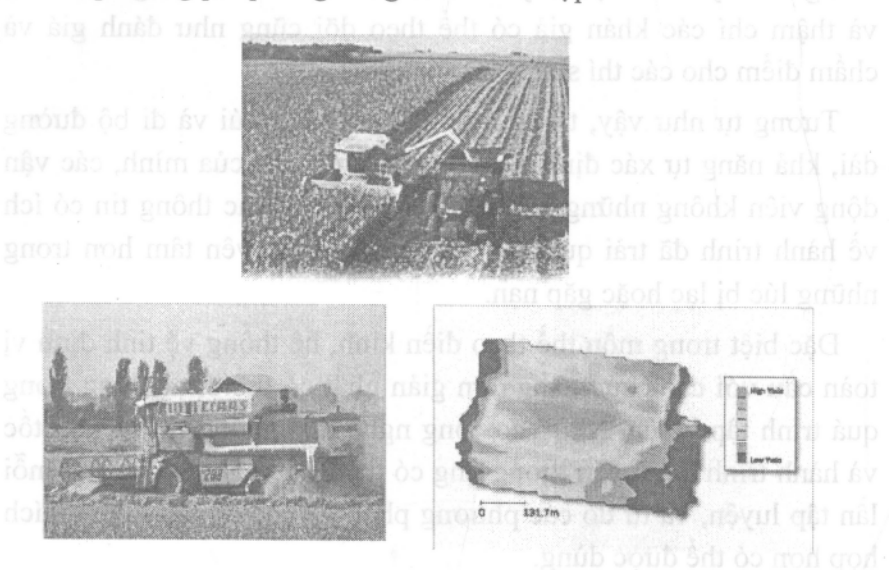
Tương tự như vậy, trong môn thể thao leo núi và đi bộ đường dài, khả năng tự xác định được vị trí và độ cao của mình, các vận động viên không những có thể giúp cung cấp các thông tin có ích về hành trình đã trải qua mà còn giúp cho họ yên tâm hơn trong những lúc bị lạc hoặc gặp nạn.

Đặc biệt trong môn thể thao điền kinh, hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu với các chức năng đơn giản nhất có thể được dùng trong quá trình tập luyện. Nhờ vào công nghệ này, thông tin về vận tốc và hành trình tập luyện tương ứng có thể được nghiên cứu sau mỗi lần tập luyện, và từ đó các phương pháp và chế độ tập luyện thích hợp hơn có thể được dùng.

5.7. Nông nghiệp

Hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu mới chỉ được nhắc đến và được áp dụng tại các nước tiên tiến với các trang trại nông nghiệp rộng lớn. Khả năng ứng dụng của nó vẫn còn nhiều hạn chế ở các nước đang phát triển, do điều kiện công nghệ chưa cao và quy mô công nghiệp hoá nông nghiệp vẫn còn thấp. Trong ngành này, hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu được áp dụng khi dùng các máy bay phun rải phân bón và thuốc trừ sâu, hoặc trong quá trình gieo rắc hạt trồng, yêu cầu tính hiệu quả cao trên một vùng diện tích rộng lớn. Hơn nữa, dữ liệu thông tin về vùng diện tích cho năng suất cao hay thấp cũng có thể được hình thành và phân tích bằng các phần mềm

trương ứng với sự trợ giúp của công nghệ định vị, như được mô tả ở hình 5.16. Sau đó, người sản xuất có thể dựa trên kết quả phân tích tìm ra phương pháp tăng năng suất thích hợp.



Hình 5.16. Ứng dụng hệ thống vệ tinh định vị trong nông nghiệp

5.8. Tích hợp GPS

Trường đại học Stanford (Mỹ) vừa xây dựng mô hình mẫu của thiết bị hỗ trợ người cao tuổi mất kém di chuyển. Thiết bị thông minh này được nhúng thiết bị cảm biến, hệ thống nhận dạng giọng nói và hệ thống định vị toàn cầu GPS.

Thiết bị này thực sự có ích cho những người cao tuổi, sức yếu khi không có người trợ giúp. Ví dụ như, khi người sử dụng chỉ cần nói "phòng ngủ", hệ thống GPS sẽ kết hợp các cảm biến bên trong ngôi nhà, sẽ thông báo cho người sử dụng đang ở đâu và đưa ra

đường đi tối ưu tới phòng ngủ. Tiếp đó, sẽ thông báo những chỉ dẫn tránh nguy cơ bị vấp ngã như cầu thang, đồ đạc thấp,... hoặc đồ đạc vương vãi trên sàn nhà.

5.9. Ứng dụng hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu tại Việt Nam

Tại Việt Nam, hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu đã được nhắc đến nhiều trong vòng vài năm trở lại đây. Vai trò quan trọng của công nghệ này tại Việt Nam đã và đang được hình thành theo xu hướng phát triển toàn cầu. Các chương trình cũng đã được giảng dạy tại một số các trường đại học như Đại học Mỏ địa chất Hà Nội, Đại học Bách khoa Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh, Đại học Quốc gia Hà Nội...

Một loạt các ứng dụng của công nghệ định vị đã được thực hiện tại Việt Nam trong vòng vài năm trở lại đây. Ứng dụng đầu tiên phải kể đến là trong ngành đo đạc trắc địa bản đồ. Hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu GPS có chất lượng cao đã được dùng để xây dựng mạng lưới các điểm chuẩn mốc trong trắc địa và xây dựng bản đồ. Công nghệ GPS với các máy thu chất lượng cao cũng đã được dùng để đánh giá các chấn động của mặt đất và của các cơ sở hạ tầng quan trọng như đập thủy điện Hoà Bình. Một số các trạm thu tín hiệu vệ tinh GPS mốc đã được lắp đặt ở một số nơi, nhằm cung cấp dịch vụ DGPS trên một vùng địa phương nhất định và tiến tới là trên phạm vi của cả nước. Biên giới của Việt Nam với các nước láng giềng, đặc biệt là Trung Quốc cũng thường xuyên được giám sát bằng công nghệ định vị nhờ vệ tinh có độ chính xác cao.

Ngày nay tại Việt Nam, nhiều cá nhân và đơn vị đã rất quen thuộc với loại máy thu GPS cầm tay có độ chính xác thấp, trong khoảng từ 10 đến 30 m, tùy thuộc điều kiện sử dụng. Các máy định vị này hỗ trợ đắc lực trong các chuyến đi thực địa trong ngành Viễn thám. Chúng cũng được sử dụng rộng rãi để bước đầu xây dựng hệ thống thông tin địa lý (GIS) với độ chính xác thấp cho các thành phố lớn của Việt Nam như Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh.

Các loại hình dịch vụ LBS cũng được thường xuyên nhắc đến và có kế hoạch triển khai xây dựng tại các công ty viễn thông hàng đầu của quốc gia, như dịch vụ định vị cho điện thoại di động và dịch vụ định vị cho xe taxi. Ứng dụng đầu tiên của GPS trong việc kiểm soát tốc độ của tàu tốc hành cũng đã được xây dựng thành công tại Việt Nam.

Mặc dù hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu đang được phát triển một cách rộng rãi trên thế giới trong nhiều lĩnh vực, nó lại đang gặp phải một số khó khăn trong thị trường Việt Nam. Tất cả chúng ta đều biết, thông tin về vị trí của một đối tượng đơn thuần riêng lẻ không đem lại nhiều giá trị. Thông tin ấy sẽ chỉ có giá trị khi được đặt trong mối liên hệ với nhiều đối tượng khác, giới chuyên môn vẫn gọi là hệ thống thông tin địa lý (GIS), bao gồm nhiều tầng thông tin khác nhau về giao thông, sông ngòi, nhà ở, khu đô thị giải trí... Ở Việt Nam, mặc dù đã có nhiều cố gắng, việc xây dựng cơ sở thông tin địa lý vẫn còn gặp nhiều khó khăn và chưa hình thành được một hệ thống hiệu quả. Công việc này chủ yếu được thực hiện thông qua số hoá các bản đồ mà độ chính xác còn bị hạn chế hoặc là do bản đồ đã cũ (nhiều trường hợp xây dựng từ thời

chiến tranh chống Mỹ), hoặc có độ chính xác thấp. Các dịch vụ LBS trong đô thị sẽ cần sự hỗ trợ của hệ thống GIS hoàn chỉnh, đầy ắp dữ liệu chính xác và có hệ thống để có thể đảm bảo cung cấp thông tin đáng tin cậy cho người sử dụng. Ngoài ra, một số các yếu tố khác như nguồn vốn, nhân lực chuyên môn cũng còn đang thiếu thốn khi muốn phát triển dịch vụ này tại Việt Nam. Tuy nhiên, với tốc độ tăng trưởng kinh tế và phát triển của khoa học kỹ thuật như ngày nay, trong tương lai không xa, các hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu sẽ tìm được một thị trường hấp dẫn tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Belforte G. and Povero G. (2005), *The JEAGAL Project on GNSS and Galileo, JEAGAL – Joint European-Asian Educational and Application Development Programme on Galileo*, Lecture Notes, ISMB & Politecnico di Torino, Hanoi, Vietnam.
- [2] Brown R.G. and Hwang P.Y.C. (1983), *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering*, 2nd edition, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.
- [3] D. Dao, C. Rizos and J. Wang (2002), *Location - Based Services: Technical and Business Issues*, *GPS Solutions*, Vol. 6: pp.169-178, Springer-Verlag.
- [4] Gauthier L., Michel P. and Ventura-Traveset J. (2003), *EGNOS - The first European Implementation of GNSS, Programme Development Status Overview*, Proc. ENC GNSS 2003, The European Navigation Conference, Graz, Austria.
- [5] Han S. and Rizos C. (1996), *Integrated Method for Instantaneous Ambiguity Resolution Using New Generation GPS Receivers*, pp. 254-261, IEEE PLANS'96, Atlanta.
- [6] IGS (2004), *IGS Product Table*, International GPS Service, <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>, extract on 14 Jan 2005.

- [7] Kaplan E.D., Leva J.L. and Pavloff M.S. (1996), *Understanding GPS: Principles and Applications*, Artech House, Boston.
- [8] Klobuchar J.A. (1996), *Global Positioning System: Theory and Applications*, Volume I, Chapter 12: *Ionospheric Effects on GPS*, pp. 485-516, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Washington D.C., USA.
- [9] Lachapelle G., H. Kuusniemi, T.H.D. Dao, G. MacGougan and M.E. Cannon (2003), *HISGPS Signal Analysis and Performance under Various Indoor Conditions*, CD-ROM Proceedings of Navigation GPS/GNSS 2003 Conference, Portland, Oregon (9 – 12 September), USA.
- [10] Lachapelle G. (2004), *GNSS Indoor Location Technologies*, Proceedings of the 2004 International Symposium on GPS/GNSS, Sydney (5 – 7 December), Australia.
- [11] Liu J. (2003), *Implementation and Analysis of GPS Ambiguity Resolution Strategies in Single and Multiple Reference Station Scenarios*, MSc Thesis, UCGE Report Number 20168, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada.
- [12] Lo Presti L. (2005), *The Galileo System, JEAGAL – Joint European-Asian Educational and Application Development Programme on Galileo*, EuropeAID Co-operation office, Hanoi, Vietnam.
- [13] Mikhail E.M. and Ackermann F. (1976), *Observations and Least-squares*, Thomas Y. Crowell Company, Inc., New York, USA.

- [14] Misra P. and Enge P. (2001), *Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance*, Ganga-Jamuna Press.
- [15] Nguyễn Đình Lương và Nguyễn Thanh Việt (2001), *Các hệ thống thông tin vệ tinh: Hệ thống – Kỹ thuật – Công nghệ*, Tập I và II, Nhà xuất bản Bưu điện, Hà Nội, Việt Nam.
- [16] Nguyễn Trọng San, Đào Quang Hiếu và Đinh Công Hoà (2002), *Trắc địa cơ sở*, Tập I, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, Việt Nam.
- [17] Parkinson B.W. and Enge P. (1996), *Global Positioning System: Theory and Applications*, Volume I and II, American Institute of Astronautics and Aeronautics, Inc., Washington D.C., USA.
- [18] Sisodia A., Hota J., Vora N., Siddiqui A., Sanandiya H. and Bera S. (2003), *Indian Plan for Satellite - Based Navigation Systems for Civil Aviation*, Proc, pp. 2795 – 2811, ION GPS 2003, Portland, Oregon: Institute of Navigation, Alexandria, VA, USA.
- [19] Skone S. (1998), *Wide Area Ionosphere Grid Modelling in the Auroral Region*, PhD Thesis, UCGE Report Number 20123, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Calgary, Canada.
- [20] Skone S. (2003), *Atmospheric Effects on Satellite Navigation Systems*, ENGO 633 Lecture Notes, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary.

- [21] Soley S., Farnworth R., van den Berg A., Kremers R., Sanz J., Macabiau C. and Fonseca A. (2004), *The Data Collection Network: EGNOS Revealed*, Proceedings ENC GNSS 2004, The European Navigation Conference, Rotterdam, The Netherlands: The European Group of Institutes of Navigation.
- [22] Teunissen, P.J.G. (1993), *Least-squares Estimation of the Integer GPS Ambiguities*, Paper presented at the General Meeting of the IAG at Beijing (8 – 13 August), China.
- [23] Tomita H., Harigae M. and Hoshinoo K. (2003), *Flight Evaluation of GPS-aided Inertial Navigation Avionics with MSAS Augmentation (MSAS-GAIA)*, Proceedings ION GPS 2003, pp. 2819-2827, Portland, Oregon: Institute of Navigation, Alexandria, VA, USA.
- [24] Van Diggelen F. and C. Abraham (2001), *Indoor GPS, The No-Chip Challenge*, GPS World, pp. 50-58.
- [25] <http://igsceb.jpl.nasa.gov/faqs.html>
- [26] <http://www.redsword.com/gps/apps/general/how.htm>

Chịu trách nhiệm xuất bản :

Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI
Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập NGUYỄN QUỲ THAO

Chịu trách nhiệm nội dung :

Chủ tịch HĐQT kiêm Giám đốc Công ty CP Sách ĐH – DN
TRẦN NHẬT TÂN

Biên tập và sửa bản in :

DỖ HỮU PHÚ

Trình bày bìa :

HOÀNG MẠNH DỨA

Chế bản :

LÊ HỒNG THUY

CÁC HỆ THỐNG VỆ TINH ĐỊNH VỊ TOÀN CẦU VÀ ỨNG DỤNG

Mã số: 7B655M6

In 1500 cuốn, khổ 14,5x 20,5 cm, tại Công ty Cổ phần in Anh Việt

Số đăng ký KHXB: 619 - 2006/ CXB/ 3 - 1332/GD

In xong nộp lưu chiểu tháng 09 năm 2006.



CÔNG TY CỔ PHẦN SÁCH ĐẠI HỌC – DẠY NGHỀ

HEVOBCO

Địa chỉ : 25 Hàn Thuyên, Hà Nội



89349801643402



Giá : 14000