

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**

VŨ TÙNG LINH

**NGHIÊN CỨU KỸ THUẬT DỰ BÁO THỜI TIẾT
TẠI MỘT KHU VỰC CÓ PHẠM VI NHỎ DỰA TRÊN
CƯỜNG ĐỘ TÍN HIỆU GPS QUA CÁC THIẾT BỊ
THU THÔNG MINH**

Ngành: Công nghệ thông tin

Chuyên ngành: Truyền dữ liệu và mạng máy tính

Mã số:

LUẬN VĂN THẠC SỸ CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

PGS. TS. Nguyễn Đình Việt

Hà Nội – 2017

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan nội dung trình bày trong luận văn này là do tôi tự nghiên cứu, tìm hiểu dựa trên các tài liệu và tôi trình bày theo ý hiểu của bản thân dưới sự hướng dẫn trực tiếp của Thầy Nguyễn Đình Việt. Các nội dung nghiên cứu, tìm hiểu và kết quả thực nghiệm là hoàn toàn trung thực.

Luận văn này của tôi chưa từng được ai công bố trong bất cứ công trình nào.

Trong quá trình thực hiện luận văn này tôi đã tham khảo đến các tài liệu của một số tác giả, tôi đã ghi rõ tên tài liệu, nguồn gốc tài liệu, tên tác giả và tôi đã liệt kê trong mục “DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO” ở cuối luận văn.

Học viên

Vũ Tùng Linh

LỜI CẢM ƠN

Để hoàn thành luận văn này, trước hết tôi xin chân thành cảm ơn các thầy, cô giáo đã tận tình hướng dẫn, giảng dạy tôi trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu tại Khoa Công Nghệ Thông Tin – Trường Đại học Công Nghệ - Đại học quốc gia Hà Nội

Đặc biệt, xin chân thành cảm ơn thầy giáo PGS.TS. Nguyễn Đình Việt đã hướng dẫn tận tình, chu đáo giúp tôi hoàn thành luận văn này.

Mặc dù có nhiều cố gắng để thực hiện song với kiến thức, kinh nghiệm bản thân, chắc chắn không thể tránh khỏi còn có thiếu sót mà tôi chưa thấy được. Tôi rất mong nhận được đóng góp của các thầy, cô, ta bè, đồng nghiệp để luận văn được hoàn thiện hơn.

Hà Nội, tháng 11 năm 2017

Học viên

Vũ Tùng Linh

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN.....	ii
MỤC LỤC	iii
DANH MỤC HÌNH VẼ	vi
DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT	vii
DANH MỤC CÁC BẢNG.....	ix
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU CHUNG	2
1.1 Sơ lược về bài toán dự báo thời tiết	2
1.1.1 Các thành phần thời tiết cần dự báo	3
1.1.2 Các phương pháp dự báo thời tiết	6
1.2 Khả năng ứng dụng các thiết bị thu GPS vào việc dự báo thời tiết.....	9
1.2.1 Nguyên tắc đo thời gian truyền tín hiệu GPS	9
1.2.2 Xác định vị trí trong không gian trong điều kiện lý tưởng	11
1.2.3 Ảnh hưởng của thời gian không chính xác và phương pháp hiệu chỉnh...13	
1.2.4 Ảnh hưởng của môi trường tới khả năng định vị trong không gian 3 chiều	14
1.3 Đề xuất việc kết nối các thiết bị có chức năng thu tín hiệu GPS để hỗ trợ cho việc dự báo thời tiết	16
1.3.1 Ứng dụng GPS vào dự báo thời tiết trên thế giới.....	16
1.3.2 Đề xuất mô hình kết nối các thiết bị thu GPS hỗ trợ dự báo thời tiết.....	18
1.4 Kết luận chương.....	19
CHƯƠNG 2. HỆ THỐNG GPS VÀ CÁC HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ KHÁC	20
2.1 Các hệ thống định vị toàn cầu khác (ngoài GPS) dựa trên vệ tinh	21
2.1.1 Hệ thống định vị vệ tinh toàn cầu của Nga (GLONASS).....	21
2.1.2 Hệ thống định vị vệ tinh Bắc Đẩu của Trung Quốc.....	21
2.1.3 Chương trình QZSS Nhật Bản	22
2.1.4 Hệ thống định vị GALILEO của Châu Âu	22
2.2 Hệ thống GPS	23
2.3 Tính toán vị trí người sử dụng	24

2.3.1	Đánh giá phạm vi giả	24
2.3.2	Phương trình tuyến tính.....	26
2.3.3	Đo lường độ chính xác:.....	29
2.3.4	Xem xét sai số và tín hiệu vệ tinh	31
2.4	Kết luận chương.....	33
CHƯƠNG 3. PHÂN TÍCH CÁC NGUYÊN NHÂN SAI SỐ VÀ SNR.....		34
3.1	Sai số đo lường:	34
3.2	Sai số đồng hồ vệ tinh	36
3.3	Sai số quỹ đạo vệ tinh	38
3.4	Hiệu ứng tương đối	39
3.5	Hiệu ứng khí quyển.....	41
3.6	Hiệu ứng tầng điện ly:	43
3.7	Độ trễ tầng đối lưu	46
3.8	Sai số dạng hình học	48
3.9	SNR của tín hiệu GPS và các yếu tố ảnh hưởng đến SNR	53
3.9.1	Nhiều tần số radio	53
3.9.2	Yếu tố đa đường.....	55
3.9.3	Sự nhấp nháy tầng điện ly.....	56
3.9.4	Sự ảnh hưởng của tầng đối lưu	57
3.9.5	Yếu tố hình học của vệ tinh.....	57
3.10	Kết luận chương	58
CHƯƠNG 4. ĐÁNH GIÁ CƯỜNG ĐỘ TÍN HIỆU GPS BẰNG SMARTPHONE CHẠY ANDROID		59
4.1	Giới thiệu về ANDROID.....	59
4.2	Đặt vấn đề	60
4.3	Mô hình và kịch bản	61
4.4	Phần mềm.....	61
4.4.1	Phân tích yêu cầu	61
4.4.2	Biểu đồ chức năng.....	61
4.4.3	Thiết kế giao diện.....	62
4.5	Kết quả thực nghiệm và phân tích	65

4.6 Kết luận chương.....	71
KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN	72
TÀI LIỆU THAM KHẢO	73
PHỤ LỤC	76

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1 Các vệ tinh quay quanh trái đất trên 6 mặt phẳng quỹ đạo khác nhau	10
Hình 1.2 Xác định thời gian truyền tín hiệu.....	11
Hình 1.3 Người sử dụng được định vị trên bề mặt quả cầu.....	12
Hình 1.4 Người sử dụng được định vị trong vòng tròn bóng mờ.....	12
Hình 1.5 Mặt phẳng giao 2 hình cầu.....	13
Hình 1.6 Người sử dụng được định vị tại một trong 2 điểm của hình tròn.....	13
Hình 1.7 Người sử dụng được định vị tại một trong 2 điểm trên vòng tròn bóng mờ ..	13
Hình 1.8 Bốn vệ tinh cần thiết để xác định một vị trí trong không gian 3 chiều	16
Hình 2.1 Ba phân đoạn GPS	23
Hình 2.2 Bốn tín hiệu vệ tinh mà người dùng phải nhận được	25
Hình 2.3 Hệ tọa độ 3 chiều.....	25
Hình 2.4 Chuyển đổi chuỗi Taylor	27
Hình 3.1 Phạm vi mối quan hệ thời gian đo lường.....	36
Hình 3.2 Sai số thiên văn.....	38
Hình 3.3 Hiệu ứng sagnac.....	40
Hình 3.4 Mô hình hình học tầng điện ly.....	46
Hình 3.5 Hình học tương đối và mất độ chính xác: (a) hình học với DOP thấp, và (b) hình học với DOP cao	49
Hình 3.6 Trường hợp đa đường ngoài trời.	56
Hình 4.1 Biểu đồ chức năng của Ứng dụng/Phần mềm tự phát triển.....	62
Hình 4.2 Giao diện đầu tiên của ứng dụng	63
Hình 4.3 Các chức năng con	63
Hình 4.4 Giao diện chức năng Open.....	64
Hình 4.5 Giao diện chức năng Start.....	65
Hình 4.6 Biểu đồ SNR ngày 22/11 trong khoảng 20h-20h10, trời hiện tại lạnh và có gió..	66
Hình 4.7 Biểu đồ SNR ngày 21/11 trong khoảng 20h-20h10, trời mưa và rất lạnh.....	66
Hình 4.8 Biểu đồ SNR ngày 20/11 trong khoảng 20h-20h10, trời gió và lạnh	67
Hình 4.9 Biểu đồ SNR ngày 14/11 trong khoảng 20h-20h10, trời hơi gió.....	67
Hình 4.10 Biểu đồ SNR ngày 13/11 trong khoảng 20h-20h10, trời bình thường	68
Hình 4.11 Biểu đồ SNR ngày 12/11 trong khoảng 20h-20h10, trời bình thường	68
Hình 4.12 Biểu đồ SNR ngày 10/11 trong khoảng 20h-20h10, trời bình thường	69
Hình 4.13 Biểu đồ SNR ngày 17/10 trong khoảng 20h-20h10, trời hiện tại hơi lạnh và có gió	69
Hình 4.14 Biểu đồ SNR ngày 12/10 lúc 20h-20h10 lúc này trời bình thường (lặng gió, không mưa, nhiệt độ trên 25 độ C).....	70
Hình 4.15 Biểu đồ SNR ngày 11/10 lúc 20h-20h10 lúc ngày trời đang mưa.....	70
Hình 4.16 Biểu đồ SNR ngày 9/10 lúc 20h -20h10 lúc này trời đang mưa.....	71

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

Viết tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
GPS	Global Positioning System	Hệ thống định vị toàn cầu
VT		Vệ tinh
NAVSTAR-GPS	Navigation System with Timing And Ranging - Global Positioning System	Hệ thống định vị bằng hệ thống định vị khoảng cách và thời gian toàn cầu
SV	Space vehicle	Tàu không gian
PRN	Pseudo Random Noise Code	Mã nhiễu giả ngẫu nhiên
TT&C	The tracking, telemetry, and control links	Các kết nối theo dõi, đo đạc từ xa và điều khiển
AFS	Atomic frequency standard	Tiêu chuẩn tần số nguyên tử
NDU	The navigation data unit	Đơn vị dữ liệu định vị
CS	Control Segment	Phân đoạn điều khiển
NUDET	The Nuclear Detonation Detection System	Hệ thống phát hiện vụ nổ hạt nhân
BPSK	Binary Phase Shift Keying	Điều chế pha nhị phân
MCS	The Master Control Station	Trạm điều khiển chính
UTC (USNO)	Coordinated Universal Time as maintained at the United States Naval Observatory	Giờ quốc tế hợp nhất được duy trì bởi Đài quan sát Hải Quân Hoa Kỳ
L-AII	Legacy Accuracy Improvement Initiative	Sáng kiến cải thiện độ chính xác kế thừa
AEP	Architecture Evolution Plan	Kế hoạch phát triển kiến trúc
IS-GPS-200	Interface Specification Global Positioning System 200	Bản đặc tả giao diện của hệ thống định vị toàn cầu 200

AOA	Allen Osbourne Associates	Tên riêng
DSSS	Direct sequence spread spectrum	Phương pháp điều chế trải phổ chuỗi trực tiếp
DGPS	Differential Global Positioning System	Hệ thống Định vị Toàn cầu vi sai
GDOP	Geometric Dilution Of Precision	Độ mất chính xác hình học
VDOP	Vertical Geometric Dilution Of Precision	Độ mất chính xác hình học theo phương dọc
HDOP	Horizontal Geometric Dilution Of Precision	Độ mất chính xác hình học theo phương ngang
URE	The user-equivalent range error	Sai số miền (dải) tương đương của người sử dụng
DOD	Department Of Defense	Bộ quốc phòng Mỹ
ZAOD	Zero Age Of Data	Dữ liệu không tuổi của vệ tinh
AOD	Age Of Data	Dữ liệu tuổi thọ của vệ tinh
LOS	The satellite-to-user vector	Vec-tơ hướng từ vệ tinh đến người dùng
SR	Special Relativity	Thuyết tương đối hẹp
GR	General Relativity	Thuyết tương đối rộng
ECI	Earth-centered inertial coordinate system	Hệ tọa độ Đê-các trung tâm trái đất
ECEF	Earth-centered, earth-fixed or Earth-centered rotational coordinate system	Hệ tọa độ quay lấy tâm trái đất (R, φ, λ)
SNR	Singal-to-noise ratio	Tỉ số tín hiệu trên nhiễu
	Navigation	Định hướng/ Dẫn đường
PSR	Pseudorange	Phạm vi giả
PVT	Position Velocity Time	Vị trí/Vận tốc/Thời gian

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 2.1 Độ chính xác của dịch vụ dân sự tiêu chuẩn.....	24
Bảng 2.2 Bảng chuyển đổi cho các phân phối xác suất 1 chiều.....	30
Bảng 2.3 Bảng chuyển đổi cho các phân phối xác suất 2 chiều.....	31
Bảng 2.4 Nguyên nhân sai số.....	32
Bảng 4.1 Bảng tương màu đồ thị và mã PNR.....	65

MỞ ĐẦU

Trong suốt thập kỷ vừa qua đã có sự phát triển vượt bậc của hệ thống vi điện tử, máy tính và các thiết bị di động với các tính năng hiện đại. Chúng có khả năng tính toán cao, kích thước nhỏ và chi phí thấp, cho phép con người tương tác với các thiết bị như một phần của cuộc sống hàng ngày và đặc biệt con người ta có thể dễ dàng xác định vị trí của mình trên thế giới thông qua phần mềm sử dụng công nghệ GPS. Có một thống kê cho thấy một kết quả đáng kinh ngạc, dân số thế giới ước tính khoảng 7.3 tỷ người, thì 7 tỷ điện thoại di động năm 2015 [10].

Sự bùng nổ của người sử dụng điện thoại thông minh trong những năm gần đây (2007-2015) đã dẫn đến sự bùng nổ của các ứng dụng cho điện thoại thông minh và số lượng đáng kinh ngạc của các ứng dụng smartphone đã được bổ sung không ngừng. Vì vậy, nhu cầu sử dụng thiết bị di động gắn liền với ứng dụng trên điện thoại di động là xu hướng nóng hiện nay.

Bắt nguồn từ nhu cầu thực tế hiện nay có rất nhiều cá nhân hay tổ chức muốn biết được thông tin về thời tiết tại một khu vực nhỏ để sắp xếp các công việc của họ sao cho hợp lý chẳng hạn như các trung tâm tổ chức sự kiện, hoặc các hãng tàu thủy... Thêm vào đó, việc thời tiết thay đổi cũng ảnh hưởng đến cường độ và độ chính xác tín hiệu GPS truyền từ vệ tinh đến các thiết bị thu và ngược lại. Đi từ nhu cầu đó và cộng với tính phổ dụng của các thiết bị di động, tôi quyết định lựa chọn đề tài: **Nghiên cứu kỹ thuật dự báo thời tiết tại một khu vực có phạm vi nhỏ dựa trên cường độ tín hiệu GPS qua các thiết bị thu thông minh (smartphone).**

1 CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU CHUNG

1.1 Sơ lược về bài toán dự báo thời tiết

-Dự báo thời tiết là gì ?

Dự báo thời tiết là sự ứng dụng của khoa học và công nghệ vào việc dự đoán các điều kiện của khí quyển tại một thời điểm và một vị trí cụ thể. Con người đã cố gắng dự báo thời tiết không chính thức từ hàng ngàn năm qua, và việc dự báo thời tiết đã trở thành một công việc chính thức từ thế kỷ 19 [9]. Các dự báo thời tiết đều được thực hiện bằng việc thu thập các dữ liệu định lượng về trạng thái hiện tại của khí quyển tại một nơi cho trước và sử dụng phương pháp khí tượng học để tham chiếu xem khí quyển thay đổi thế nào.

Trong khi những dự đoán thuần con người - trong những dự đoán kiểu này, con người đóng vai trò là trung tâm, sử dụng các dụng cụ quan trắc khí tượng để đo lượng mưa, áp suất... và dùng mắt để quan sát điều kiện bầu trời, sau đó phân tích, tổng hợp các số liệu, điều kiện đó, để suy ra một kết quả dự báo - chủ yếu dựa trên sự thay đổi của áp suất khí quyển, các điều kiện thời tiết hiện tại, và điều kiện bầu trời, thì dự báo thời tiết ngày nay lại sử dụng các mô hình dựa máy tính thống kê được rất nhiều các yếu tố khí quyển. Với những dữ liệu sẵn có từ việc quan trắc khí tượng và các phép phân tích khí quyển thì đầu vào của dự báo thời tiết ngày nay chỉ yêu cầu người dùng lựa chọn mô hình dự báo tốt nhất có thể để làm cơ sở cho dự báo, nó bao gồm các kỹ năng nhận dạng mẫu (từ dữ liệu quan trắc và phân tích khí quyển), các kết nối viễn thông, kiến thức về hiệu năng hệ thống và kiến thức về sai số mô hình [13]. Sự không chính xác của dự báo do sự hỗn loạn tự nhiên của khí quyển, khả năng tính toán chưa đủ mạnh để giải các phương trình biểu diễn khí quyển, các lỗi chứa trong các phép đo điều kiện ban đầu, và hiểu biết không đầy đủ về các quá trình liên quan đến khí quyển dẫn đến việc mô hình hóa các quá trình đó không đúng. Vì thế, các dự báo trở nên ít chính xác khi khoảng thời gian giữa thời điểm hiện tại và thời điểm dự báo tăng lên.

Dự báo thời tiết phục vụ rất nhiều mục đích khác nhau. Các cảnh báo thời tiết là các dự báo quan trọng bởi vì chúng được sử dụng để bảo vệ con người và tài sản. Các dự báo dựa trên nhiệt độ và lượng mưa là quan trọng đối với nông nghiệp, và kéo theo cả những người mua bán trong các thị trường hàng hóa. Các dự đoán nhiệt độ được các công ty tiện ích sử dụng để ước tính số yêu cầu trong các ngày sắp tới. Dựa trên cơ sở thường ngày, người dùng sử dụng các dự báo thời tiết để xem nên mặc gì trong ngày cụ thể. Do các hoạt động ngoài trời bị hạn chế bởi mưa to, tuyết, và gió lạnh, các dự báo có thể được sử dụng để lên kế hoạch cho các hoạt động của các sự kiện này và lên kế hoạch trước và tiếp tục chúng. Năm 2014, chính phủ Mỹ đã chi 5.1 tỷ đô la cho lĩnh vực dự báo thời tiết. [12]

1.1.1 Các thành phần thời tiết cần dự báo

Dự báo thời tiết bao gồm các thành phần cần dự báo: nhiệt độ, lượng mưa, tình trạng mây, hướng và tốc độ gió (kèm theo các hiện tượng bão, áp thấp nhiệt đới...), và độ ẩm. Ngoài ra còn có tình trạng nắng và áp suất khí quyển.

Nhiệt độ

Nhiệt độ là phép đo độ nóng hay độ lạnh của không khí và là đại lượng được đo nhiều nhất của khí quyển. Nhiệt độ hầu như là phép đo thời tiết dễ hiểu nhất. Ta đều biết rằng thời tiết sẽ nóng nếu nhiệt độ lớn 30 độ (C) hoặc lạnh nếu nó nhỏ hơn 20 độ (C).

Nhiệt độ có thể ảnh hưởng đến việc hình thành các dạng mưa khác nhau. Nếu điều kiện khí quyển cho phép xảy ra hiện tượng mưa và nhiệt độ trên mức đóng băng, thì mưa (dạng nước) có thể hình thành. Nếu nhiệt độ dưới mức đóng băng, mưa (dạng tuyết) có thể hình thành.

Dạng (loại) mưa cũng bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ trong các tầng khí quyển mà nó đi qua. Ví dụ, nếu mưa bắt đầu rơi xuống từ những đám mây dưới dạng tuyết và sau đó đi qua các tầng khí quyển ấm hơn, lại biến thành mưa (dạng lỏng). Nếu mưa sau đó đi qua các lớp không khí lạnh hơn, mưa đá có thể hình thành. Và đôi khi, mưa sẽ không hề rơi xuống mặt đất. Nếu các lớp không khí phía dưới (gần mặt đất) đủ khô, hơi nước có thể bay hơi trước khi chạm đất.

Độ ẩm

Không khí được tạo thành từ hỗn hợp các khí vô hình, chủ yếu là nitơ và oxy. Tuy nhiên, một phần nhỏ của nó là hơi nước. Cho dù ở đâu, Sa mạc Sahara hay Bắc cực, cũng sẽ có hơi nước trong không khí. Lượng hơi nước này được gọi là **độ ẩm**. Lượng hơi nước trong không khí tập trung chủ yếu ở tầng đối lưu trong khí quyển trái đất (99 %) [14]. Hầu hết hơi nước trong khí quyển có nguồn gốc từ sự bay hơi của hơi nước trong các đại dương và một vài thể khác của nước. Hơi nước trong không khí ảnh hưởng mạnh mẽ đến điều kiện thời tiết. Nó là nguồn gốc của các đám mây, sương mù, và mưa. *Hơi nước cũng giúp làm ấm không khí do nó hấp thụ năng lượng do ánh sáng từ mặt trời truyền tới.* Khi nói về lượng nước trong không khí, các thuật ngữ khí tượng học hay sử dụng thường xuyên nhất là **độ ẩm tương đối** và **nhiệt độ điểm sương**.

Nhiệt độ điểm sương là điểm mốc nhiệt độ mà không khí cần được làm lạnh tới để xảy ra hiện tượng bão hòa đối với hơi nước (không thể chứa thêm hơi nước nữa). Nhiệt độ điểm sương này cũng ảnh hưởng tới cảm giác của con người. Ví dụ, buổi sáng có nhiệt độ là 70 độ F (21 độ C), khi ta tới văn phòng làm việc, khi đó điểm sương là 68 độ F (20 độ C). Buổi chiều nhiệt độ không khí ấm lên đến 90 độ F (32 độ C), nhưng điểm sương vẫn cố định là 68 độ F (20 độ C). Điều này có nghĩa là nhiệt độ không khí phải được làm lạnh tới 68 độ F (20 độ C) để sự bão hòa hơi nước (khi khí

quyển có độ ẩm tương đối 100 %) xảy ra. Lúc đó ta sẽ ngay lập tức cảm thấy dính và nóng và ta nghĩ rằng độ ẩm của không khí rất cao.

Nhiệt độ điểm sương và độ ẩm là quan trọng do nước trong không khí tồn tại dưới 3 dạng hơi, mây, và lỏng, có tác động mạnh mẽ tới thời tiết. Vậy nhiệt độ điểm sương có ý nghĩa gì trong dự báo thời tiết? Trong thời tiết, điểm sương là một phép đo tốt để xem xét khả năng hình thành sương mù hoặc có giông bão. Nó có thể là một công cụ để dự báo nhiệt độ thấp cho ban đêm.

Do điểm sương là nhiệt độ của không khí phải đạt đến để xảy ra hiện tượng bão hòa hơi nước, nên nếu sự khác biệt giữa nhiệt độ hơi không khí và điểm sương là nhỏ, thì không khí sẽ có nhiều hơi ẩm (moisture) hơn và theo đó mây, sương mù có thể được hình thành.

Sự biến thiên điểm sương xuất hiện ngày qua ngày khi có các khối không khí mới tràn đến. Nếu khối không khí này tới từ một vùng ẩm hơn và ở dạng nước, độ ẩm và nhiệt độ điểm sương sẽ tăng. Điều này làm thay đổi thời tiết trong khu vực hiện tại.

Nếu có nhiều hơi nước trong không khí, thì không khí sẽ nâng lên cao nhanh hơn. Khi không khí được nâng lên cao, nó sẽ được làm mát và cô đọng để hình thành các đám mây. Nhiệt được tỏa ra từ khối không khí lạnh và dòng vận động đi lên của không khí có thể gây ra các cơn giông bão.

Độ ẩm tương đối là phép đo so sánh lượng hơi nước trong khí quyển với lượng hơi nước tại mức bão hòa – đơn vị là phần trăm. Không khí được bão hòa có độ ẩm tương đối là 100%. Độ ẩm tương đối được tính bằng tỷ số giữa lượng hơi nước thực sự trong không khí và lượng hơi nước mà không khí có thể chứa được rồi đổi ra phần trăm. Vậy mưa xảy ra thế nào khi độ ẩm tương đối nhỏ hơn 100 % ? Độ ẩm tương đối 100 % chỉ đạt được tại nơi mà các đám mây và mưa hình thành- không gần bề mặt. Nếu không khí nâng lên cao và được làm lạnh, các đám mây được hình thành, và độ ẩm tương đối tăng. Nếu có mưa rơi xuống từ các đám mây, nó thường rơi xuống các tầng có độ ẩm thấp hơn. Mưa bị bốc hơi có thể làm tăng độ ẩm, khi không đủ điều kiện để hình thành cơn mưa xuống bề mặt trái đất.

Lượng mưa

Trong khí tượng học, hiện tượng mưa là kết quả của sự cô đọng hơi nước trong khí quyển mà nó rơi xuống bề mặt trái đất dưới tác dụng của trọng lực. Các dạng chính của hiện tượng mưa bao gồm mưa phùn, mưa giông, mưa tuyết, tuyết, tuyết viên (graupel) và mưa đá. Mưa xuất hiện khi một phần khí quyển trở nên bão hòa với hơi nước, khi đó nước sẽ được cô đọng và “làm ngưng tụ”. Theo đó, 2 hiện tượng/ quá trình sương mù (fog) và sương mờ (mist) không được tính là hiện tượng mưa vì hơi nước trong 2 quá trình đó không đủ độ cô đọng để ngưng tụ. Hai quá trình này, có thể

diễn ra đồng thời, làm cho không khí trở nên bão hòa :hoặc làm lạnh không khí hoặc thêm lượng hơi nước vào không khí.

Mưa là thành phần chủ đạo trong vòng tuần hoàn nước , có nhiệm vụ cô đọng nước sạch trên hành tinh. Có xấp xỉ 505,000 km khối nước rơi xuống dưới dạng mưa mỗi năm; 398,000 km khối vào đại dương và 107,000 km khối vào đất liền. Điều này có nghĩa là tổng cộng lượng mưa trung bình trên thế giới hàng năm là 990 ml (39.0 in) [15]. Các hệ thống phân loại khí hậu như hệ thống phân loại Koppen sử dụng lượng mưa trung bình rơi xuống hàng năm để phân biệt các loại khí hậu khác nhau.

Chính vì thế thông số về lượng mưa cũng đóng vai trò là một thông số quan trọng trong phép dự báo thời tiết.

Tình trạng mây

Nước là vật chất duy nhất có thể chuyển từ thể khí sang thể lỏng đến thể rắn trong các nhiệt độ bình thường trên trái đất và hầu như có mặt ở khắp nơi. Không khí cũng chứa nước dưới dạng hơi nước, một loại khí không mùi vô hình. Mây hình thành khi không khí ẩm đạt tới đến nhiệt độ điểm sương - nhiệt độ mà tại đó hơi nước ngưng tụ - và các giọt nước hoặc tinh thể băng hình thành xung quanh các hạt nhỏ như bụi, ô nhiễm và tro núi lửa. Mây có thể trôi nổi và tồn tại trên bầu trời bởi vì các hạt nước rất nhỏ và nhẹ - cần hơn 2 tỉ hạt như vậy để làm đầy một muỗng cà phê nước. Mây tích lũy các hạt nước đến một giới hạn xác định, đủ nặng sẽ hình thành các hạt rơi xuống. Khi đó ta có hiện tượng mưa.

Không khí có thể lạnh tới điểm sương và chuyển thành mây là một quá trình phức tạp và xảy ra trong nhiều tình huống/trường hợp khác nhau. Ví dụ, bề mặt trái đất lạnh có thể làm lạnh không khí ẩm và ẩm ngay phía trên nó, ngay lập tức khối không khí này sẽ chuyển thành dạng mây tầm thấp. Mây cũng có thể hình thành khi một khối khí lạnh nâng khối không khí nóng hơn lên phía trên nó hoặc khi không khí nóng do mặt đất hoặc nước tràn vào vùng lạnh hơn của bầu khí quyển. Mây cũng có thể hình thành khi những ngọn núi làm lệch hướng không khí nóng, ẩm qua nó. Tuy nhiên, trong mỗi trường hợp, không khí phải tiếp tục được làm lạnh cho đến khi nó bão hòa để hơi nước ngưng tụ và hình thành các đám mây. Mây hình thành ở các mức độ khác nhau trong bầu khí quyển; sự ổn định của không khí và lượng độ ẩm nó chứa quyết định đến kích thước, hình dạng và kiểu của các đám mây.

Không khí được coi là ổn định khi nó không tự di chuyển bởi vì khi đó nó có cùng nhiệt độ với không khí xung quanh. Sự thật thì không khí ổn định luôn có xu hướng cố định, không di chuyển trừ trường hợp một khoảng núi/ địa hình cao hoặc một khối không khí lạnh hơn buộc nó phải di chuyển. Nếu điều đó xảy ra và không khí được làm ẩm, và các đám mây sẽ được hình thành một cách thông thường ở các tầng đồng nhất.

Ngược lại, khối khí bị coi là bất ổn định khi nó tiếp tục di chuyển (nâng lên cao) do nó ấm hơn các không khí xung quanh. Nó sẽ có xu hướng di chuyển lên cao cho đến khi nó đạt đến điểm mà nhiệt độ của nó giống như nhiệt độ không khí xung quanh. Khi điều này xảy ra, không khí đã đạt đến sự cân bằng với khối không khí xung quanh.

Hướng và sức gió

Gió là sự di chuyển của không khí do chênh lệch áp suất không khí. Không khí di chuyển từ vùng có áp suất cao sang vùng có áp suất thấp hơn. Nếu như không có gió, thời tiết sẽ không có biến động lớn ngày qua ngày như thực tế.

Gió mang theo các khối không khí khác nhau, và do đó, hình thành các kiểu thời tiết khác nhau. Nếu gió đi qua một vật thể lớn chứa nước, nó có thể mang theo nhiều hơi ẩm hơn mà chúng có thể gây ra mưa. Nếu gió đi qua một vùng đất nóng và khô, khối khí đó sẽ bị nóng và khô.

Sự chênh lệch áp suất càng lớn, thì sức gió càng mạnh. Đơn vị đo sức gió là knot. Sức gió (tốc độ gió) được đo theo hoặc ở hướng tới hoặc ở hướng ra của trạm ra-đa.

Nếu gió tới trước trạm ra-đa, tốc độ của nó được ghi nhận là giá trị âm. Nếu như gió có hướng ra khỏi trạm ra-đa, tốc độ được ghi nhận là giá trị dương [16].

Nhận xét : Trên đây có thể nói là các thành phần chính trong một bản tin/ bản báo cáo dự báo thời tiết. Thực tế để dự báo thời tiết một cách chuẩn xác, các phương pháp dự báo trong lĩnh vực khí tượng học ngày nay còn sử dụng thêm nhiều chỉ số khác để tổng hợp thành mô hình tính toán ra trạng thái thời tiết. Lẽ dĩ nhiên càng nhiều thành phần, thì bài toán dự báo càng phức tạp hơn, và kết quả dự báo càng chính xác hơn.

Trong phạm vi nghiên cứu của luận văn, tác giả chỉ chú trọng tới các thành phần thời tiết ảnh hưởng tới sự truyền tín hiệu sóng điện từ. Đó là độ ẩm, lượng mưa, tình trạng mây.

Sóng điện từ của vệ tinh được truyền dưới dạng ánh sáng khi đi qua tầng đối lưu (nơi diễn ra các hiện tượng thời tiết) sẽ bị hơi nước hấp thụ năng lượng để làm ấm không khí. Do đó việc suy giảm cường độ tín hiệu vệ tinh nhận được diễn ra là hiển nhiên. Tiếp đó, khi hơi nước trong không khí bị bão hòa và cô đặc, hình thành mây, thì cũng làm môi trường truyền của sóng điện từ trở nên phức tạp hơn, có thể bị phản xạ hoặc hấp thụ 1 phần. Khi mây chuyển thành các dạng mưa, nhất là mưa đá, và mưa tuyết, nó sẽ gây ra hiện tượng đa đường dẫn trong môi trường truyền (multipath), cũng ảnh hưởng không nhỏ đến năng lượng tín hiệu nói chung. Và tất nhiên các nhận xét này là ý tưởng cốt lõi của luận văn, sẽ được khái quát hóa và làm rõ ở các phần sau.

1.1.2 Các phương pháp dự báo thời tiết

- Các phương pháp cổ đại:[17]

Trong hàng thiên niên kỷ con người đã cố gắng dự báo thời tiết. Vào năm 650 TCN người Babylon dự báo thời tiết từ các mô hình đám mây như môn chiêm tinh học. Vào khoảng năm 350 TCN, Aristotle mô tả các mô hình thời tiết trong cuốn sách "Meteorologica". Sau đó, Theophrastus biên soạn một cuốn sách về dự báo thời tiết, được gọi là Sách Dấu hiệu. Kiến thức về dự báo thời tiết của Trung Quốc được nghiên cứu ít nhất là khoảng 300 năm trước Công nguyên, cũng là khoảng thời gian mà các nhà thiên văn Ấn Độ cổ đã phát triển các phương pháp dự báo thời tiết. Trong thời Tân Ước, chính Chúa Kitô đã đề cập đến việc giải mã và hiểu các mô hình thời tiết địa phương, bằng cách nói rằng: khi hoàng hôn đến, "Ta nói thời tiết đẹp vì bầu trời có màu đỏ ", và vào buổi sáng, "Hôm nay sẽ bão, vì bầu trời màu đỏ và u ám". Ta có thể giải thích sự biểu hiện của bầu trời như thế nào, nhưng lại không thể hiểu được dấu hiệu những lần đó.

Vào năm 904 SCN, Nabatean Agriculture của Ibn Wahshiyya đã thảo luận về dự báo thời tiết từ các sự thay đổi khí quyển và các dấu hiệu từ những thay đổi của sao chổi Astral; các dấu hiệu mưa dựa trên sự quan sát về hình dạng của mặt trăng (phần sáng); và dự báo thời tiết dựa trên sự chuyển động của gió.

Các phương pháp dự báo thời tiết cổ đại thường dựa vào các mô hình quan sát được của sự kiện, cũng được gọi là công nhận mẫu. Ví dụ, có thể quan sát thấy rằng nếu mặt trời lặn đặc biệt màu đỏ, ngày tiếp theo thường mang lại thời tiết tốt. Kinh nghiệm này được tích lũy qua nhiều thế hệ để tạo ra các truyền thuyết thời tiết. Tuy nhiên, không phải tất cả những gì của những dự đoán này đều chứng minh được, và nhiều dự đoán trong số chúng đã không được kiểm tra bằng thống kê một cách nghiêm ngặt.

-Các phương pháp hiện đại:

Chỉ đến khi phát minh ra điện báo vào năm 1835, thời đại của dự báo thời tiết mới chính thức bắt đầu [9]. Trước đó, tốc độ nhanh nhất mà dự báo thời tiết ở xa có thể truyền tới vào khoảng 100 dặm mỗi ngày (160 km / d), nhưng thường hơn 40-75 dặm mỗi ngày (60-120 km / ngày) (cho dù bằng đường bộ hoặc bằng đường biển) . Vào cuối những năm 1840, điện báo cho phép các báo cáo về điều kiện thời tiết từ một khu vực rộng lớn được nhận gần như ngay lập tức, cho phép thực hiện các dự báo dựa trên kiến thức về điều kiện thời tiết ở mức sâu hơn ngoài hướng gió. Hai người khai sinh ra một khoa học dự báo thời tiết là (sĩ quan của Hải quân Hoàng gia Anh) **Francis Beaufort** và **Robert FitzRoy**. Cả hai đều là những người có ảnh hưởng trong giới hải quân và chính phủ Anh, và mặc dù bị phản đối trên báo chí vào thời điểm đó, công trình của họ có uy tín khoa học, đã được Hải quân Hoàng gia chấp nhận và tạo cơ sở cho tất cả kiến thức dự báo thời tiết ngày nay . Beaufort đã phát triển thang đo sức gió cùng với Weather Notation, mà ông đã sử dụng trong các tạp chí của mình cho đến cuối đời. Ông cũng cải tiến mức độ tin cậy của các bảng thủy triều xung quanh bờ biển Anh, cùng với bạn của ông, William Whewell, mở rộng dữ liệu lưu trữ thời tiết tại 200 trạm bảo vệ bờ biển Anh.

Robert FitzRoy được bổ nhiệm vào năm 1854 làm giám đốc một bộ phận mới trong Hội đồng Thương mại với nhiệm vụ thu thập dữ liệu thời tiết trên biển để phục vụ cho thủy thủ đi biển. Đây là tiền thân của Văn phòng Khí tượng Thủy văn hiện đại. Ông đã trang bị các dụng cụ đo lường cho tất cả các tàu đi biển, để tạo một mạng lưới thu thập dữ liệu về thời tiết và tính toán các thông số thời tiết.

Một cơn bão năm 1859 gây ra sự mất mát lớn cho Hiến chương Hoàng gia đã thúc đẩy **FitzRoy** phát triển biểu đồ để dự đoán mà ông gọi là "dự báo thời tiết", và theo đó thuật ngữ "dự báo thời tiết" ra đời từ đây. Ông đã lập ra 15 trạm mặt đất đều sử dụng kiểu điện báo mới với nhiệm vụ truyền tải các báo cáo hàng ngày về thời tiết vào những thời điểm định trước, tạo tiền đề cho dịch vụ cảnh báo bão đầu tiên. Dịch vụ cảnh báo này của ông phục vụ cho lĩnh vực vận chuyển đã được ra đời vào tháng 2 năm 1861, kết hợp việc sử dụng truyền thông điện báo. Các dự báo thời tiết hàng ngày đầu tiên được xuất bản trong The Times năm 1861. Trong năm tiếp theo, một hệ thống đã được giới thiệu về việc hoãn cảnh báo bão ở các cảng chính khi xảy ra cơn bão. "Sách thời tiết" mà FitzRoy xuất bản năm 1863 đã đi trước quan điểm khoa học của thời đại. [18]

Khi mạng điện báo mở rộng, cho phép lan truyền nhanh hơn các cảnh báo, một mạng quan sát quốc gia đã được phát triển, và được sử dụng để cung cấp các phân tích tổng hợp. Các thiết bị ghi lại liên tục các thông số khí tượng bằng hình ảnh đã được lắp đặt trên các trạm quan sát từ Kew Observatory - những chiếc máy ảnh này đã được Francis Ronalds phát minh vào năm 1845 và bản đồ của ông đã sớm được sử dụng trước đó bởi FitzRoy.

Để truyền tải thông tin chính xác, cần có tiêu chuẩn về ngôn ngữ học miêu tả các đám mây; điều này đã mô tả bằng một loạt các phân loại mà Luke Howard đưa ra vào năm 1802 và được chuẩn hóa trong Bản đồ Mây Quốc tế năm 1896.

Thời kì này con người đã phát triển mạng lưới các trạm giám sát và các thiết bị đo lường khí tượng. Tuy nhiên việc tổng hợp các dữ liệu này và phân tích, dự báo vẫn cho con người đảm nhận.

-Dự đoán số học:

Cho đến thế kỷ 20, những tiến bộ trong kiến thức về vật lý trong bầu khí quyển đã khai sinh ra nền tảng dự báo thời tiết hiện đại. Năm 1922, nhà khoa học người Anh Lewis Fry Richardson công bố "Dự báo thời tiết theo phương pháp số", sau khi tìm ra các ghi chép và dẫn xuất mà được ông làm trong thời gian là một người lái xe cấp cứu trong Thế chiến I.

Ý tưởng về chuỗi tính toán và luân chuyển trao tay dữ liệu thời tiết huy động hàng nghìn người đã được Richardson đề xuất. Tuy nhiên, do số lượng phép tính quá lớn không thể hoàn thành nếu không có sức mạnh tính toán của các siêu máy tính, kèm

theo kích thước mạng lưới dây chuyền con người, và chi phí thời gian tính từng bước để dẫn đến kết quả cuối cùng là không thực tế, nên ý tưởng này không thể áp dụng cho các mô hình tính toán chuyên sâu. Thêm vào đó, khi nghiên cứu số liệu tính toán, các nhà nghiên cứu đã phát hiện sự thiếu ổn định của số liệu trong các tính toán thực hiện bằng con người. Chính vì thế, một nhóm các nhà khí tượng học Mỹ người Mỹ Jule Charney, Philip Thompson, Larry Gates, và nhà khí tượng học người Na Uy Ragnar Fjortoft, nhà toán học ứng dụng John von Neumann, lập trình viên của ENIAC là Klara Dan von Neumann, đã cho ra đời dự báo thời tiết trên máy tính đầu tiên. Phương pháp dự báo sử dụng máy tính điện tử lập trình được đã kế thừa các kết quả của phương pháp sử dụng dự báo thời tiết số - bắt đầu từ năm 1955.

Trong các phương pháp này nổi bật nhất là việc sử dụng các mô hình tính toán dựa vào thông số khí quyển rồi chuyển cho máy tính tính toán.

-Vệ tinh quảng bá:

Dự báo thời tiết hàng ngày đầu tiên đã được xuất bản trong The Times vào ngày 1 tháng 8 năm 1861 và bản đồ thời tiết đầu tiên được sản xuất vào cuối năm đó. Năm 1911, Văn phòng Met bắt đầu đưa ra các dự báo thời tiết biển đầu tiên thông qua truyền thanh bao gồm cảnh báo bão và cơn bão cho các khu vực quanh nước Anh. Tại Hoa Kỳ, dự báo thời tiết được phát thanh công cộng đầu tiên được thực hiện vào năm 1925 bởi Edward B. "E.B." Rideout, trên WEEL, trạm phát điện Edison ở Boston. Dự báo thời tiết được truyền hình đầu tiên trên thế giới, bao gồm cả việc sử dụng bản đồ thời tiết, đã được thử nghiệm bởi BBC vào năm 1936. Điều này được đưa vào thực tiễn vào năm 1949 sau Thế chiến II. George Cowling đã đưa ra dự báo thời tiết đầu tiên trong khi được truyền hình trước bản đồ vào năm 1954. Tại Mỹ, dự báo thời tiết được truyền hình thực nghiệm bởi James C Fidler tại Cincinnati vào năm 1940 hoặc 1947 trên Mạng lưới DuMont Television. Vào cuối những năm 1970 và đầu những năm 80, John Coleman, nhà thời tiết đầu tiên của chương trình Good Morning America của ABC-TV, đã đi tiên phong trong việc sử dụng thông tin vệ tinh thời tiết trên màn hình và đồ họa máy tính cho các dự báo truyền hình. Coleman là đồng sáng lập của kênh truyền hình The Weather Channel (TWC) vào năm 1982. TWC hiện là một mạng cáp 24 giờ. Một số kênh thời tiết đã bắt đầu phát sóng trên các chương trình phát sóng trực tuyến như YouTube và Periscope để tiếp cận nhiều người xem hơn. Thời kỳ này đánh dấu việc sử dụng vệ tinh quảng bá vào việc dự báo thời tiết.

1.2 Khả năng ứng dụng các thiết bị thu GPS vào việc dự báo thời tiết

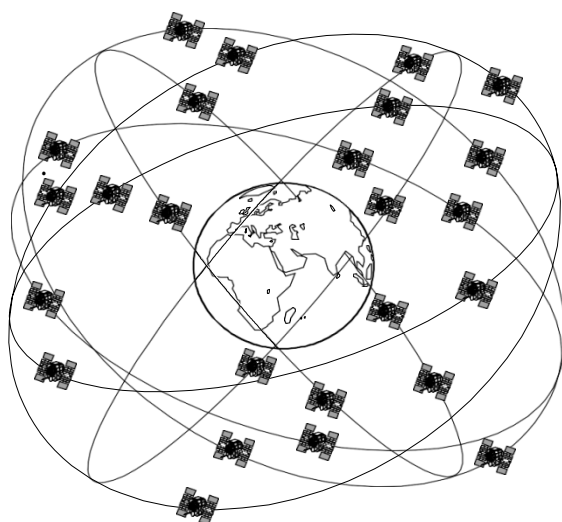
1.2.1 Nguyên tắc đo thời gian truyền tín hiệu GPS

GPS là một hệ thống gồm có 28 vệ tinh (tính đến trước năm 2002) có mặt phẳng quỹ đạo nghiêng 55 độ so với đường xích đạo, các vệ tinh quay quanh trái đất mỗi vòng 11 giờ 58 phút ở độ cao 20.180 km trên 6 mặt phẳng quỹ đạo khác nhau (Hình 1.1). Mỗi một vệ tinh có tới bốn đồng hồ nguyên tử trên tàu. Đồng hồ nguyên tử

là thiết bị xác định thời gian chính xác nhất được biết đến hiện nay, có sai số tối đa 1 giây cho mỗi 30.000 đến 1.000.000 năm. Để có độ chính xác hơn, chúng thường xuyên được điều chỉnh hoặc đồng bộ từ nhiều điểm kiểm soát khác nhau trên trái đất. Mỗi vệ tinh sẽ truyền vị trí chính xác của nó và thời gian đồng hồ chuẩn trên tàu vệ tinh tới trái đất bằng những tín hiệu có tần số 1575,42 MHz (Tần số L1). Những tín hiệu này được truyền với tốc độ ánh sáng (xấp xỉ 300.000km/s) và do đó cần khoảng 67,3 ms để truyền từ vệ tinh đến một vị trí trên bề mặt trái đất nằm ngay dưới vệ tinh. Nếu ta muốn thiết lập vị trí của mình trên đất liền (hoặc trên biển hoặc trên không), tất cả những gì ta cần là một chiếc đồng hồ chính xác. Bằng cách so sánh thời gian đến của tín hiệu vệ tinh với thời gian đồng hồ trên tàu vệ tinh vào lúc tín hiệu được phát ra, thì có thể xác định được thời gian truyền tín hiệu đó (Hình 1.2).

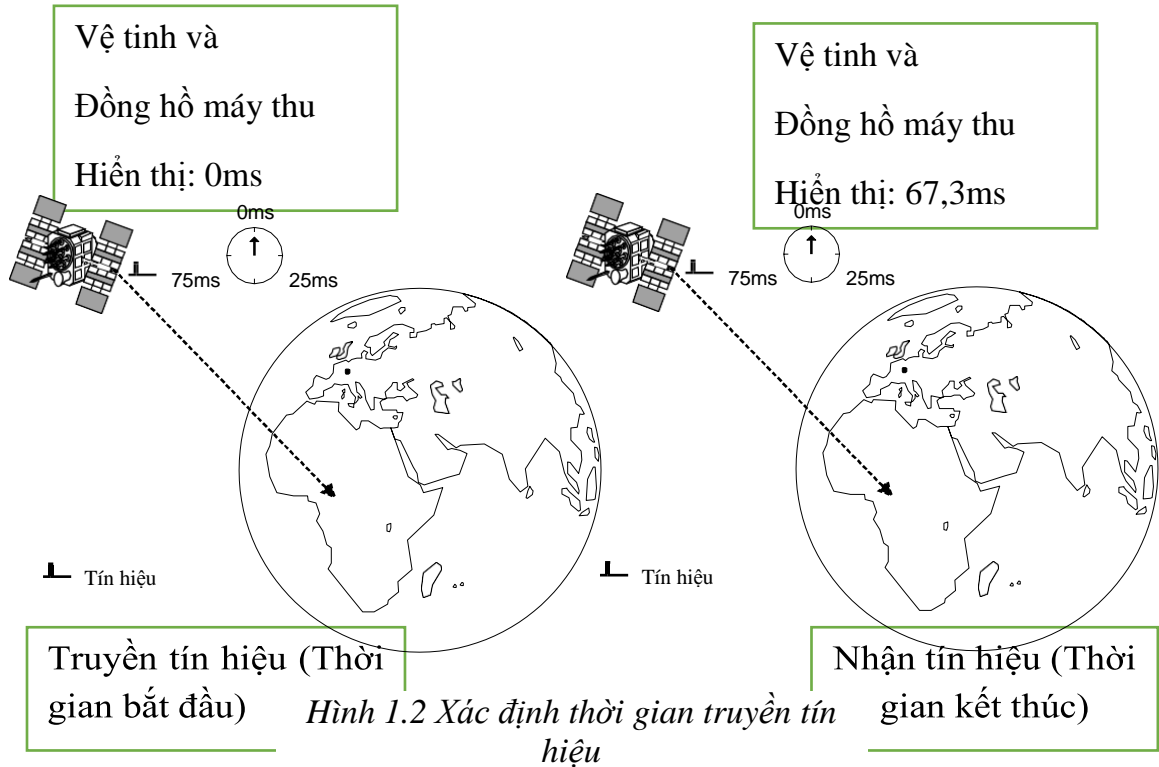
Khoảng cách S tới vệ tinh có thể được xác định bằng cách sử dụng thời gian truyền tín hiệu τ :

Khoảng cách = thời gian đi x tốc độ ánh sáng ($S = \tau \times c$)



Hình 1.1 Các vệ tinh quay quanh trái đất trên 6 mặt phẳng quỹ đạo khác nhau

Xác định được thời gian truyền tín hiệu và biết khoảng cách tới vệ tinh vẫn không đủ để tính ra vị trí của một người trong không gian 3 chiều. Để đạt được điều này, cần có kết quả của bốn phép đo thời gian truyền tín hiệu độc lập. Đó là lý do vì sao truyền thông tín hiệu với bốn vệ tinh khác nhau rất cần thiết để tính toán chính xác vị trí của một người. Điều này sẽ được lý giải cụ thể hơn ở 2 phần sau.

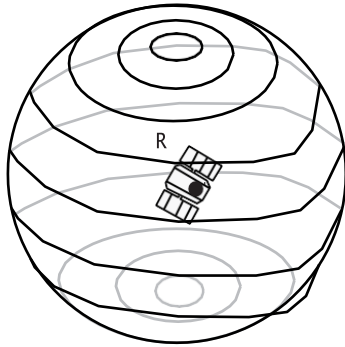


1.2.2 Xác định vị trí trong không gian trong điều kiện lý tưởng

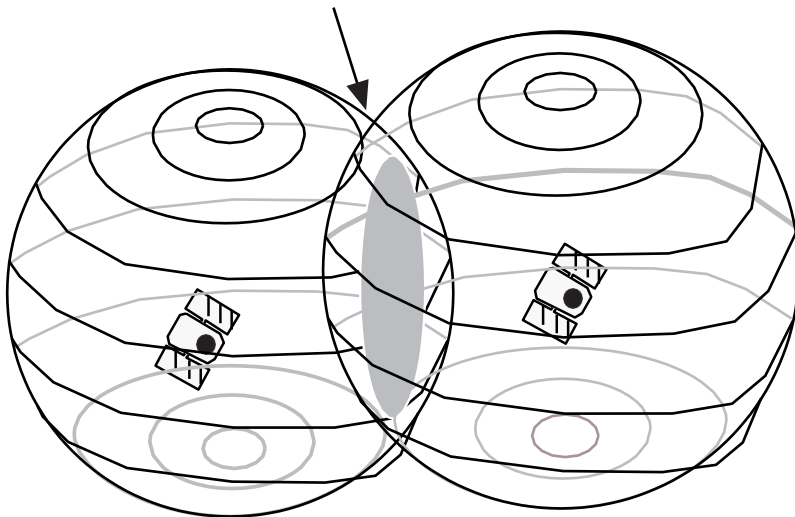
Giả sử có duy nhất một vệ tinh truyền đi một tín hiệu định tuyến. Đồng hồ trên tàu vệ tinh điều khiển thời gian phát tín hiệu định tuyến. Đồng hồ này và các đồng hồ khác trên mỗi tàu vệ tinh trong chòm sao GPS được đồng bộ hiệu quả với thang thời gian hệ thống nội bộ được biểu thị là thời gian hệ thống GPS (sau đây gọi tắt là thời gian hệ thống). Máy thu của người sử dụng cũng có một đồng hồ mà (hiện tại) chúng ta giả sử nó được đồng bộ với thời gian hệ thống (điều kiện lý tưởng).

Thông tin về thời gian đi kèm tín hiệu định tuyến vệ tinh cho phép máy thu biết được thời điểm tín hiệu rời khỏi vệ tinh theo mốc thời gian trên vệ tinh. Bằng cách ghi nhận thời điểm nhận tín hiệu, có thể tính được thời gian truyền tín hiệu từ vệ tinh đến người sử dụng. Tích của thời gian truyền tín hiệu từ vệ tinh đến người sử dụng và tốc độ ánh sáng là khoảng cách từ vệ tinh đến người sử dụng, ký hiệu là R . Kết quả của quá trình đo lường này, người sử dụng sẽ được định vị ở đâu đó trên bề mặt quả cầu có tâm là vệ tinh như được biểu thị trong Hình 1.3. Nếu một phép đo được thực hiện đồng thời bằng cách sử dụng tín hiệu định tuyến của vệ tinh thứ hai, thì người sử dụng cũng sẽ được định vị trên bề mặt của quả cầu thứ hai có tâm là vệ tinh thứ hai. Do đó, người sử dụng có thể ở đâu đó trên bề mặt của cả hai quả cầu, có thể là trên chu vi của vòng trong bóng mờ trong Hình 1.4 biểu thị mặt phẳng chứa giao điểm của các quả cầu này, hoặc ở tại một điểm tiếp tuyến với cả hai quả cầu (ví dụ, điểm mà các quả cầu chạm vào nhau). Trường hợp sau này chỉ có thể xảy ra nếu người sử dụng thẳng hàng với các vệ tinh, và nó không

phải là trường hợp điển hình. Mặt phẳng giao điểm vuông góc với một đường nối các vệ tinh như được biểu thị trong Hình 1.5.

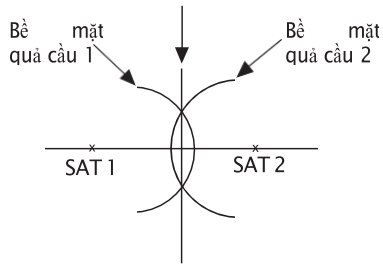


Hình 1.3 Người sử dụng được định vị trên bề mặt quả cầu

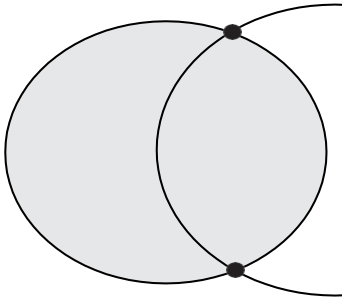


Hình 1.4 Người sử dụng được định vị trong vòng tròn bóng mờ

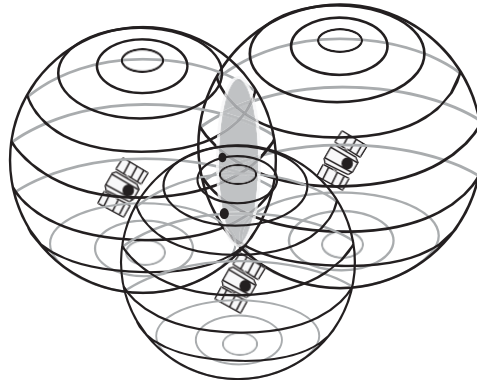
Lặp lại quá trình đo bằng cách sử dụng một vệ tinh thứ ba, người sử dụng ở tại giao điểm của chu vi vòng tròn và bề mặt của quả cầu thứ ba. Quả cầu thứ ba cắt ngang chu vi bóng mờ tại hai điểm, tuy nhiên chỉ một trong hai điểm là vị trí chính xác của người sử dụng, như được biểu thị trong Hình 1.6. Hình ảnh giao điểm được thể hiện trong Hình 1.7. Có thể quan sát thấy rằng các vị trí ứng cử viên chính là các hình ảnh phản chiếu của nhau đối với mặt phẳng các vệ tinh.



Hình 1.5 Mặt phẳng giao 2 hình cầu



Hình 1.6 Người sử dụng được định vị tại một trong 2 điểm của hình tròn



Hình 1.7 Người sử dụng được định vị tại một trong 2 điểm trên vòng tròn bóng mờ

1.2.3 Ảnh hưởng của thời gian không chính xác và phương pháp hiệu chỉnh

Chúng ta đã giả định rằng người sử dụng có thể đo thời gian truyền tín hiệu một cách chính xác. Tuy nhiên, thực tế không phải đúng như vậy. Để máy thu có thể đo thời gian với độ chính xác cao, thì cần phải đồng bộ đồng hồ máy thu với đồng hồ hệ thống các vệ tinh (các vệ tinh đã được đồng bộ thời gian trên hệ thống GPS). Nếu sai số thời gian truyền tín hiệu chỉ bằng $1 \mu\text{s}$ thì sai số vị trí là 300m. Khi các đồng hồ trên cả ba vệ tinh được đồng bộ, thời gian truyền tín hiệu trong trường hợp của cả ba phép đo là không chính xác với cùng một số lượng sai số đồng hồ với đồng hồ máy thu. Vì thế 3 phép đo khoảng cách từ 3 vệ tinh là không thể đủ khi có thêm một đại lượng cần xác định là sai số thời gian. Toán học là công cụ duy nhất có thể giúp chúng ta xác định được độ chính xác của việc định vị. Chúng ta biết rằng khi tính toán nếu N biến số chưa xác định, chúng ta cần phương trình N độc lập.

Nếu phép đo thời gian có sai số thì chúng ta sẽ có bốn biến số không xác định trong không gian ba chiều:

- Kinh độ (X)
- Vĩ độ (Y)
- Chiều cao (Z)
- Sai số thời gian (Δt) (chênh lệch mốc thời gian giữa đồng hồ hệ thống vệ tinh với đồng hồ máy thu)

Do đó, trong không gian ba chiều cần có bốn vệ tinh để xác định một vị trí máy thu (người dùng).

1.2.4 Ảnh hưởng của môi trường tới khả năng định vị trong không gian 3 chiều

Để xác định bốn biến số không xác định này, cần có bốn phương trình độc lập. Bốn lần truyền tín hiệu cần thiết được cung cấp bởi bốn vệ tinh khác nhau (VT1 đến VT4). Hệ thống GPS gồm 28 vệ tinh (tính đến trước năm 2002) được phân bố trên toàn cầu sao cho có ít nhất 4 vệ tinh trong số chúng luôn luôn “hữu hình” từ bất kỳ điểm nào trên trái đất (Hình 1.8).

Mặc dù có sai số thời gian máy thu, nhưng vẫn có thể tính toán được một vị trí trên một mặt phẳng với sai số trong vòng khoảng 5-10m.

Ở phần 1.2.3, ta đã giả định rằng khả năng đo thời gian truyền là chính xác (ngoại trừ sai số do việc không đồng bộ đồng hồ gây nên). Tuy nhiên đó chỉ là trong điều kiện cực kỳ lý tưởng (truyền trong chân không, theo đường thẳng và không gặp vật cản).

Ta nhìn vào công thức: $S = \tau \times c$

Nếu như giả định vệ tinh là đứng yên trong khoảng thời gian truyền (60 ms) thì thực tế khi sóng mang đi qua môi trường khí quyển trái đất, thì vận tốc của nó không là hằng số do 2 yếu tố chủ yếu ảnh hưởng tới nó: **tầng điện ly và tầng đối lưu**.

Theo công thức quang học ta có: $v = c / n$

Trong đó c là vận tốc của ánh sáng trong môi trường chân không (299,792,458 m/s); n là chỉ số khúc xạ của môi trường truyền; v là vận tốc truyền thực tế. Tốc độ lan truyền sóng điện từ trong môi trường có thể được thể hiện qua chỉ số khúc xạ của môi trường.

Tầng điện ly là môi trường phân tán nằm chủ yếu trong bầu khí quyển, nằm trên bề mặt trái đất khoảng từ 70km đến 1,000km. Trong vùng này, tia cực tím từ mặt trời làm ion hóa một phần các phân tử khí và giải phóng các electron tự do. Các electron tự do này có ảnh hưởng đến việc truyền sóng điện từ, bao gồm việc truyền tín hiệu vệ tinh GPS.

Vì là môi trường phân tán (mật độ không khí rất thấp) nên chỉ số khúc xạ của môi trường là biến động liên tục. Nó là một hàm của tần số sóng và mật độ electron theo đường truyền tín hiệu từ vệ tinh tới người dùng [19]. Do đó vận tốc truyền của tín hiệu không phải là hằng số với cùng một vị trí hình học giữa vệ tinh và máy thu. Thời gian trễ của tín hiệu từ vệ tinh đến máy thu cũng biến động với cùng vị trí hình học. Thêm vào đó, khi đi qua môi trường nhiều hạt tnh điện và biến động, năng lượng tín hiệu sẽ bị hấp thụ và phản xạ nhiều lần, do đó gây ra sự suy giảm năng lượng (cường độ) tín hiệu ở các mức độ khác nhau. Điều này cũng dẫn tới thông số tỉ lệ cường độ tín hiệu trên nhiễu - SNR bị thay đổi theo điều kiện của tầng này.

Tầng đối lưu là phần dưới của bầu khí quyển, không phân tán đối với tần số lên tới 15 GHz [19]. Trong môi trường đó, vận tốc nhóm và pha liên kết với sóng mang GPS và thông tin tín hiệu (mã PRN và dữ liệu chuyển hướng) trong cả L1 và L2 bị chậm ngang nhau trong việc truyền tải trong không gian tự do (2 tần số L1 -1575.42 MHz - và L2 -1227.6 MHz- đều được vệ tinh dùng để truyền tải tín hiệu). Độ trễ đó là một hàm của chỉ số khúc xạ tầng đối lưu, phụ thuộc vào nhiệt độ địa phương, áp suất, và độ ẩm tương đối hay nói cách khác chỉ số khúc xạ phụ thuộc khá nhiều vào điều kiện thời tiết. Sai số phạm vi tương đương của độ trễ này có thể dao động trong khoảng từ 2.4m đối với vệ tinh tại góc đỉnh và người dùng ở mực nước biển, tới khoảng 25m đối với vệ tinh tại góc nâng xấp xỉ 5° [19].

Chỉ số khúc xạ thường được mô hình hóa bao gồm cả thành phần khô (thủy tinh) và ẩm (không thủy tinh) [20]. Thành phần khô, phát sinh từ không khí khô, làm độ trễ tầng đối lưu tăng lên tới khoảng 90% và có thể được dự đoán rất chính xác. Thành phần ẩm, phát sinh từ hơi nước, rất khó để dự đoán do sự bất định trong phân bố khí quyển. Cả hai thành phần đều trải rộng tới độ cao khác nhau trong tầng đối lưu; lớp khô trải rộng tới độ cao khoảng 40 km, trong khi thành phần ẩm trải rộng tới độ cao khoảng 10 km.

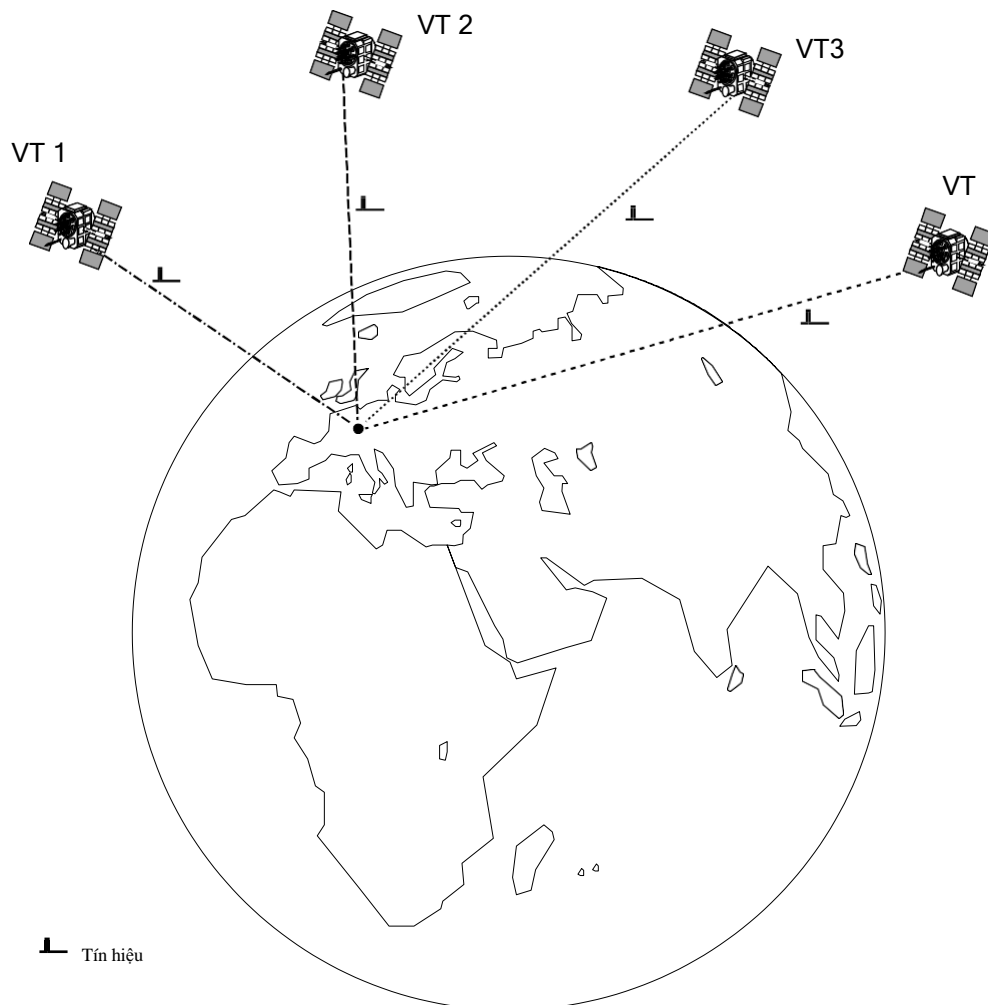
Tầng đối lưu, đây là nơi xảy ra các hiện tượng thời tiết của trái đất. Rõ ràng khi diễn ra các điều kiện thời tiết khác nhau thì chỉ số khúc xạ cũng biến động theo, kéo theo thời gian trễ tín hiệu giữa máy thu và vệ tinh cũng biến thiên. Mặt khác, tín hiệu GPS cũng bị ảnh hưởng bởi các yếu tố thời tiết có lượng nước (rắn, lỏng, khí) cao (do bị hấp thụ một phần): mưa, tuyết, bão... nên năng lượng (cường độ) tín hiệu cũng bị suy hao qua môi trường này.

Còn một yếu tố khác ảnh hưởng tới cả thời gian trễ, năng lượng, chỉ số SNR ở trong tầng đối lưu đó là hiện tượng bóng (Shadowing) và đa đường (Multipath).

Đó là khi tín hiệu trên đường đến ăng ten máy thu, gặp các vật cản, tín hiệu bị hấp thụ một phần và phản xạ lại theo đường khác. Đây là hiện tượng đa đường.

Còn hiện tượng bóng xảy ra khi tín hiệu truyền qua một tán cây rậm rạp theo đường thẳng thì năng lượng của tín hiệu cũng bị suy hao một phần.

Các yếu tố ảnh hưởng này sẽ được nói rõ hơn ở Chương 3 của luận văn này.



Hình 1.8 Bốn vệ tinh cần thiết để xác định một vị trí trong không gian 3 chiều

1.3 Đề xuất việc kết nối các thiết bị có chức năng thu tín hiệu GPS để hỗ trợ cho việc dự báo thời tiết

1.3.1 Ứng dụng GPS vào dự báo thời tiết trên thế giới

Dự báo thời tiết có độ chính xác cao là chìa khóa cho sự phát triển kinh tế xã hội và là điều thiết yếu cho an ninh lương thực của xã hội loài người. Từ thời xa xưa, con người đã luôn hứng thú với bầu khí quyển biến động và luôn thay đổi xung quanh họ và luôn nỗ lực tìm hiểu các quy trình kiểm soát và đạt được khả năng dự báo thời tiết ngày càng tốt hơn. Những nỗ lực gần đây về các quan sát dựa trên vệ tinh, được thực hiện trong hai thập kỷ qua, đã cung cấp những hiểu biết mới trong các quá trình

này. Phạm vi phủ sóng cung cấp bởi vệ tinh là lý tưởng để nghiên cứu quy trình khí quyển thời tiết liên quan trên các quy mô khác nhau. Những tiến bộ gần đây trong công nghệ vệ tinh về chụp ảnh từ khoảng cách lớn với độ phân giải cao, băng tần đa phổ bao phủ các khu vực có thể nhìn thấy được đã làm cho dữ liệu không gian như là một thành phần không thể thiếu được trong lĩnh vực mô hình động và giám sát thời tiết. Tầm ảnh hưởng của dữ liệu vệ tinh là hạt nhân trong một số lĩnh vực ứng dụng khí tượng học như dự báo ngắn, theo dõi các cơn bão nhiệt đới, dự báo hàng không... Với xu hướng cải thiện tính chính xác của việc thu thập dữ liệu vệ tinh, cải tiến có thể được thực hiện trong các mô hình dẫn đến cải thiện chất lượng dự báo, đặc biệt ở vùng nhiệt đới.

Đóng góp của lĩnh vực quan sát không gian:

Sự ra mắt của vệ tinh khí tượng đầu tiên TIROS-1 vào tháng 4 năm 1960 đã báo trước thời đại của các quan sát từ vũ trụ và đưa ra những cái nhìn đầu tiên về các hệ thống đám mây năng động xung quanh trái đất. Kể từ đó, công nghệ này đã được phát triển bằng những bước nhảy vọt với khả năng quan sát bằng các giải pháp không gian, quang phổ và thời gian. Một hệ thống quan sát không gian toàn cầu sử dụng các vệ tinh có quỹ đạo địa cực và qua cực Trái Đất đã ra đời.

Những lợi ích đến từ việc quan sát không gian dựa trên vệ tinh như:

- Góc nhìn bao quát từ vệ tinh đối với các khu vực lớn, giúp đưa ra các mối liên hệ của các quá trình đo không gian khác nhau.
- Có sự quan sát thường xuyên từ các vệ tinh địa tĩnh hỗ trợ giám sát liên tục trong khi các vệ tinh quay quanh cực quay quanh trái đất 2 lần 1 ngày; tạo ra dữ liệu có nghĩa cho việc nghiên cứu động lực học của hệ thống thời tiết.
- Nhiều kiểu dữ liệu và quan sát mới; các thông số chẳng hạn như nhiệt độ bề mặt nước biển, áp suất gió bề mặt biển, mực nước biển, lượng nước trong các đám mây, cân bằng bức xạ là một vài các thông số đặc trưng chỉ có thể được cung cấp từ vệ tinh.
- Đồng thời quan sát một số thông số động được hỗ trợ bởi các cảm biến khác nhau trong cùng một nền tảng tạo điều kiện cho việc nghiên cứu sâu hơn các mối liên hệ và nắm được kiến thức về các quá trình (Ví dụ nhiệt độ bề mặt biển và sự đối lưu sâu, sự phát triển các đám mây và sự ép buộc bức xạ).

Các vệ tinh khí tượng:

Hiện nay một số vệ tinh khí tượng đang hoạt động có thể cung cấp các sự quan sát toàn cầu hoặc chuyên biệt các khu vực nhất định. Có 6 loại hệ thống vệ tinh hiện đang được sử dụng trên thế giới, bao gồm:

- Hệ thống chụp ảnh hơi nước/hồng ngoại.
- Hệ thống dò hồng ngoại [21]

- Hệ thống thu hình vi sóng [22]
- Hệ thống dò vi sóng [23]
- Hệ thống đo độ tán xạ
- Hệ thống đo độ cao bằng ra – đa

Khả năng ghi hình ảnh hơi nước chỉ có sẵn trên các vệ tinh địa tĩnh, trong khi đó thì các ảnh chụp quan sát và ảnh hồng ngoại có sẵn trên cả vệ tinh địa tĩnh và vệ tinh địa cực. Bốn thông số cuối hiện nay đều sẵn có trên vệ tinh địa cực.

Các vệ tinh hỗ trợ rất nhiều thông số liên quan đến dự báo thời tiết. Chính vì thế trên thế giới có rất nhiều bài báo khoa học liên quan đến việc vận dụng các thông số này để hỗ trợ dự báo thời tiết.

Tiêu biểu như các ứng dụng sử dụng ảnh chụp hơi nước:

-Hơi nước xuất hiện dưới dạng dòng hoặc dải nhỏ hơi ẩm cho thấy sự lưu thông gió dẫn đến mưa lớn.

-Dự báo theo dõi các cơn lốc xoáy, chẳng hạn như sự hình thành chỉ bởi độ ẩm bao quanh khu vực lốc xoáy [8].

-Làm đầy những khoảng trống của những quan sát trên không (do mật độ các trạm máy thăm dò ở vùng nhiệt đới là thấp).

Tuy nhiên các ứng dụng và các đề xuất về dự báo thời tiết đều tập trung sử dụng dữ liệu từ hệ thống vệ tinh địa tĩnh và địa cực. Chính vì thế, tôi mạnh dạn đề xuất một mô hình kết nối thiết bị thu GPS (hệ thống vệ tinh định vị) để hỗ trợ dự báo thời tiết ở phần sau.

1.3.2 Đề xuất mô hình kết nối các thiết bị thu GPS hỗ trợ dự báo thời tiết

Như đã phân tích ở phần 1.2.4, ta thấy rằng chỉ số SNR (tỉ số cường độ tín hiệu trên cường độ nhiễu) của tín hiệu GPS bị ảnh hưởng nhiều bởi tầng đối lưu, mà trên hết là do nhiệt độ, áp suất, và độ ẩm tương đối.

Bằng phương pháp thực nghiệm, luận văn sẽ thống kê kết quả đo SNR xem với từng điều kiện nhiệt độ, áp suất, và độ ẩm tương đối ứng với từng trạng thái thời tiết nhất định (mưa, nắng, có mây,...) tại cùng một vị trí, cùng thời điểm chỉ khác nhau về ngày thì SNR sẽ chịu sự ảnh hưởng và thay đổi ra sao. *Nếu có sự khác nhau về độ biến thiên SNR (đồ thị SNR thay đổi theo một số yếu tố thời tiết) thì ta có khả năng kết luận được sự biến đổi khác nhau của SNR có thể đặc trưng cho điều kiện thời tiết tại một phạm vi nhỏ (cỡ vài chục mét) ở một thời điểm xác định.*

Trong phạm vi nhỏ đó để hỗ trợ cho việc dự báo thời tiết (chẳng hạn như sự di chuyển của đám mây lớn) là không có ý nghĩa. *Tuy nhiên nếu như ta tổ chức kết nối rất nhiều thiết bị thu GPS thành một mạng lưới để thu thập thông tin về trạng thái*

thời tiết (tương ứng với SNR) tại nhiều khu vực ở nhiều thời điểm khác nhau, ta có thể lập được một bản đồ theo thời gian về các trạng thái thời tiết, cung cấp các thông tin hữu ích cho việc dự báo. Chẳng hạn dựa vào lịch sử có mặt của đám mây lớn tại các điểm khảo sát kế cận nhau theo thời gian trước đó, ta có thể đoán được hướng đi của đám mây... Khi biết sự thay đổi vị trí của các đám mây, ta có thể dự đoán được hướng và mức độ nhanh chậm di chuyển của các cơn gió tác động đến mây. Đặc biệt là bão xảy ra, dựa vào dòng gió chuyển động ta sẽ xác định được tâm bão, cùng với khoảng cách của máy thu (người sử dụng) tới tâm bão, qua đó truyền thông tin cảnh báo tới người dùng. Cần lưu ý rằng, các cơ quan dự báo thời tiết hiện nay, ngay cả trong tình huống khẩn cấp, cũng chỉ có thể phát các bản tin cảnh báo cách nhau hàng chục phút, còn hệ thống mà tôi đề xuất, nếu được chứng minh thực tiễn, và triển khai thực hiện, lại có khả năng truyền thông tin tới người sử dụng theo thời gian thực.

Đề xuất trên là có ý nghĩa do có cơ sở lý thuyết dẫn đường. Phần lý thuyết sẽ được trình bày cụ thể hơn ở chương 3. Riêng chương 4 sẽ là một số thực nghiệm để minh chứng cho kết luận: ***Sự biến đổi khác nhau của SNR có thể đặc trưng cho điều kiện thời tiết khác nhau tại một phạm vi nhỏ (cỡ vài chục mét) ở một thời điểm xác định.***

1.4 Kết luận chương

Chương này đầu tiên giới thiệu sơ lược về bài toán thời tiết và các phương pháp dự báo hiện nay. Qua việc phân tích sự ảnh hưởng của yếu tố thời tiết trong tầng đối lưu tới thời gian trễ giữa máy thu và vệ tinh và có sự thay đổi của cường độ tín hiệu (SNR) khi qua môi trường đó, tôi đã đưa ra một đề xuất về hệ thống kết nối các thiết bị thu GPS, thu thập và tổng hợp dữ liệu hỗ trợ cho việc dự báo thời tiết. Ý tưởng của tôi bước đầu đã kiểm chứng được sự biến đổi khác nhau của SNR có thể đặc trưng cho ít nhất 2 loại thời tiết khác nhau: có mưa và không mưa. Phương pháp và kết quả kiểm chứng được tôi trình bày chi tiết tại chương 4 của luận văn.

2 CHƯƠNG 2. HỆ THỐNG GPS VÀ CÁC HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ KHÁC

Một hệ thống định vị (định vị/định hướng) vệ tinh là một hệ thống sử dụng vệ tinh để cung cấp dịch vụ tự định vị vị trí địa lý – không gian trên Trái Đất. Nó cho phép các máy thu điện tử nhỏ có thể nhận biết được vị trí (kinh độ, vĩ độ và độ cao) của mình với độ chính xác cao (cỡ vài mét) bằng việc sử dụng các tín hiệu thời gian được truyền từ vệ tinh. Hệ thống này có khả năng cung cấp vị trí, hướng di chuyển hoặc theo dõi vị trí của một vật có khớp với máy thu hay không. Các tín hiệu cũng cho phép các máy thu điện tử có thể tính toán giờ địa phương hiện tại với độ chính xác cao. Các hệ thống định vị vệ tinh hoạt động hoàn toàn độc lập với hệ thống mạng điện thoại hay internet nào, mặc dù chính các công nghệ này có thể cải thiện sự chính xác của thông tin định vị.

Một hệ thống định vị vệ tinh có độ bao phủ toàn cầu được gọi là hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu (GNSS). Tính đến 12/2016, trên thế giới có các hệ thống GNSS sau:

- GPS (Mỹ)
- GLONASS (Nga)
- European Union's Galileo (Liên Minh Châu Âu)

Ngoài ra còn có một số hệ thống vệ tinh định vị theo vùng có vai trò hỗ trợ (như của Nhật) hoặc còn đang phát triển như:

- Bắc Đẩu-BeiDou (Trung Quốc)
- Quasi-Zenith (Nhật Bản)
- IRNSS (Ấn Độ)

2.1 Các hệ thống định vị toàn cầu khác (ngoài GPS) dựa trên vệ tinh

2.1.1 Hệ thống định vị vệ tinh toàn cầu của Nga (GLONASS)

Hệ thống **GLONASS** Nga là đối tác của hệ thống GPS Mỹ. Giống như GPS, người Nga đã thiết kế ra GLONASS để cung cấp các thông tin về vị trí, vận tốc và thời gian (gọi tắt là PVT) cho người sử dụng quân sự và dân sự có thiết bị phù hợp. Không giống với GPS, trước 2010, Nga đã không thể duy trì được đầy đủ chòm sao vệ tinh, do đó người sử dụng chỉ có thể định vị bằng GLONASS ở các khung thời gian cố định trong ngày. Nga hiện đang phát triển một số thế hệ tàu không gian GLONASS mới hiện đại hơn để bổ sung vào chòm sao vệ tinh. Vào 10/2010, GLONASS hoàn thành việc bao phủ hoàn toàn 100% nước Nga, cùng với chòm sao 24 vệ tinh đã được phục hồi lại cho phép bao phủ toàn thế giới.

Theo thiết kế, phân đoạn không gian của GLONASS bao gồm 21 vệ tinh cộng thêm 3 vệ tinh dự trữ. Phân đoạn hỗ trợ mặt đất bao gồm một số điểm nằm rải rác khắp nước Nga để hỗ trợ, theo dõi và tải lên lịch thiên văn, thông tin thời gian và các dữ liệu khác cho các vệ tinh. Hiện nay, mỗi vệ tinh truyền tải hai tín hiệu định vị băng tần L. Hệ thống GLONASS đang tiếp tục nâng cấp, để hướng tới phiên bản cuối cùng trong thiết kế GLONASS-K [24].

2.1.2 Hệ thống định vị vệ tinh Bắc Đẩu của Trung Quốc

Hệ thống định vị vệ tinh Bắc Đẩu là một hệ thống định vị do Trung Quốc phát triển. Nó bao gồm 2 chòm sao vệ tinh riêng biệt – hệ thống thử nghiệm giới hạn được vận hành từ năm 2000, và hệ thống định vị toàn cầu kích thước thực hiện đang trong giai đoạn phát triển.

Hệ thống Bắc Đẩu đầu tiên được gọi chính thức là Hệ thống thực nghiệm định vị vệ tinh Bắc Đẩu và được biết đến với tên là Bắc Đẩu 1, bao gồm 3 vệ tinh và có mức độ bao phủ và ứng dụng giới hạn. Nó đã và đang cung cấp dịch vụ định vị, phục vụ chủ yếu cho các khách hàng ở Trung Quốc và các nước láng giềng từ năm 2000.

Thế hệ tiếp theo của hệ thống này, được gọi chính thức là **Hệ thống vệ tinh định vị Bắc Đẩu (BDS)** được biết đến với cái tên là **COMPASS** hay **Bắc Đẩu 2**, là hệ thống định vị vệ tinh toàn cầu với 35 vệ tinh, và đang được tiếp tục xây dựng từ tháng 1/2015. Nó đi vào vận hành ở Trung Quốc từ 12/2011, với 10 vệ tinh, và cung cấp dịch vụ cho các khách hàng trong khu vực Châu Á- Thái Bình Dương từ tháng 12/2012. Trung Quốc dự kiến hoàn thiện dịch vụ định vị cho các khách hàng toàn cầu trong năm 2020.

Trong năm 2015, Trung Quốc đã khởi động dự án phát triển thế hệ thứ 3 của **hệ thống Bắc Đẩu (BDS-3)** với chòm sao có mức độ bao phủ toàn cầu. Vệ tinh đầu tiên của BDS-3 được phóng lên vào ngày 30/05/2015. Trong tháng 2/2016, 5 vệ tinh BDS-3 đã được phóng lên.

Bắc Đẩu được đánh giá là một hệ thống định vị vệ tinh tiềm năng vượt qua mức độ sử dụng của GPS trên toàn cầu, và được kỳ vọng sẽ chính xác hơn GPS khi nó được hoàn thành. Thế hệ Bắc Đẩu thứ 3 đã đạt tới độ chính xác ở mức milimet, gấp 10 lần độ chính xác so với mức độ chính xác nhất của GPS [25].

2.1.3 Chương trình QZSS Nhật Bản

Hệ thống vệ tinh Quasi-Zenith (QZSS) là một hệ thống chuyển thời gian khu vực gồm 3 vệ tinh (đang trong quá trình phát triển) và đồng thời đóng vai trò là hệ thống vệ tinh hỗ trợ cho hệ thống GPS có tín hiệu được thu nhận ở Nhật Bản. Vệ tinh đầu tiên “Michibiki” được phóng lên vào 11/09/2010. Hệ thống này kỳ vọng sẽ đi vào vận hành hoàn toàn trong năm 2013. Vào tháng 3/2013, Văn phòng nội các Nhật Bản thông báo về kế hoạch mở rộng hệ thống vệ tinh **Quasi-Zenith** từ 3 lên 4 vệ tinh. Hệ thống 4 vệ tinh cơ bản này dự kiến sẽ đi vào vận hành vào năm 2018.

Được ủy quyền từ chính phủ Nhật vào năm 2002, hệ thống QZSS bắt đầu được phát triển bởi nhóm các tổ chức ASBC viết tắt của the Advanced Space Business Corporation, bao gồm các công ty Mitsubishi, Hitachi, và viện công nghệ GNSS Nhật. Tuy nhiên, nhóm này đã bị hủy bỏ vào năm 2007. Trung tâm ứng dụng và nghiên cứu định vị vệ tinh của Nhật đã đảm nhiệm lại chương trình này.

QZSS hướng tới cung cấp dịch vụ định vị có độ chính xác và ổn định cao tại các khu vực Châu Á và Châu Đại Dương, và vẫn có đầy đủ các chức năng của GPS. Vệ tinh thứ 3 được phóng lên quỹ đạo vào 19/08/2017. Vệ tinh thứ tư vừa được phóng vào 10/10/2017 [26].

2.1.4 Hệ thống định vị GALILEO của Châu Âu

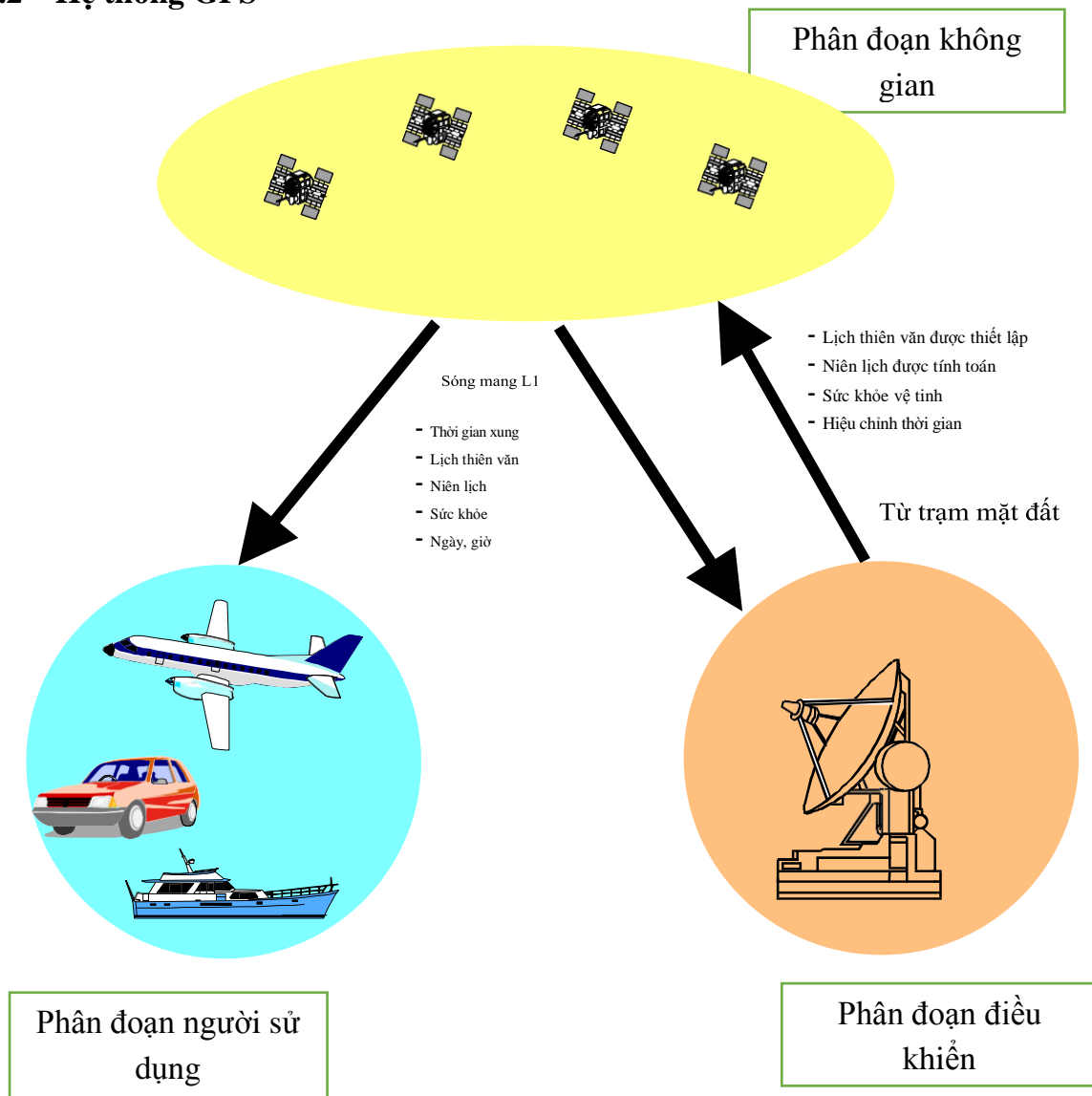
Galileo là hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu (GNSS) được phát triển bởi Liên minh Châu Âu (EU) do Cơ quan Vũ Trụ Châu Âu (ESA) và Cơ quan GNSS Châu Âu (GSA) điều hành, có trụ sở tại Prague –Cộng Hòa Séc, với 2 trung tâm vận hành mặt đất, Oberpfaffenhofen gần Munich của Đức và Fucino của Ý. Dự án này tốn 5 tỷ Euro được đặt tên theo nhà thiên văn học người Ý **Galileo Galilei**. Một trong những mục tiêu của Galileo là cung cấp một hệ thống định vị có chính xác cao độc lập sao cho các nước Châu Âu không bị phụ thuộc vào các hệ thống GLONASS của Nga, Bắc Đẩu của Trung Quốc và GPS của Mỹ, vì dịch vụ này có thể bị khóa hoặc bị xuống cấp bất kỳ khi nào. Dịch vụ Galileo có độ chính xác thấp (cơ sở) miễn phí và mở với tất cả mọi người dùng. Trong khi đó, việc sử dụng chức năng có độ chính xác cao hơn thì phải trả phí. **Galileo** hướng tới cung cấp các phép đo theo phương ngang và phương dọc có độ chính xác trong khoảng 1 mét, và các dịch vụ định vị tốt hơn các hệ thống khác tại các vĩ độ cao hơn.

Galileo cũng cấp một chức năng tìm kiếm và cứu nạn toàn cầu mới nhưng một phần của hệ thống MEOSAR. Các vệ tinh sẽ được lắp đặt một hệ thống tiếp sóng mà

nó sẽ phát ra các tín hiệu tại nạn từ các đèn báo khẩn cấp tới các trung tâm phối hợp cứu nạn, và sau đó bắt đầu hoạt động tìm kiếm cứu nạn.

Vệ tinh thử nghiệm Galileo đầu tiên, GIOVE-A, được phóng lên vào 28/12/2005, trong khi vệ tinh chính thức đầu tiên của hệ thống được phóng vào 21/10/2011. Trong tháng 9/2017, 18 trong số 30 vệ tinh dự kiến đã đi vào vận hành. Galileo bắt đầu cung cấp Khả năng Vận hành Ban Đầu (EOC) vào ngày 15/12/2016, bao gồm các dịch vụ cơ bản với tín hiệu yếu, và nó được kỳ vọng sẽ hoàn thành Khả năng Vận Hành Hoàn Chỉnh (FOC) vào năm 2019. Hệ thống Galileo hoàn chỉnh gồm 30 vệ tinh (24 vệ tinh vận hành và 6 vệ tinh dự phòng) dự kiến sẽ hoàn thành vào năm 2020 [27].

2.2 Hệ thống GPS



Hình 2.1 Ba phân đoạn GPS

GPS có tên gọi đầy đủ là: Hệ thống định vị bằng hệ thống định vị khoảng cách và thời gian toàn cầu - NAVSTAR- GPS (**Navigation System with Timing And Ranging Global Positioning System**) do Bộ Quốc phòng Hoa Kỳ (DoD) phát triển và có thể được sử dụng cho cả công dân và nhân viên quân đội. [1]

Hệ thống định vị toàn cầu (GPS) bao gồm ba phân đoạn (Hình 2.1):

- Phân đoạn không gian (Tất cả các vệ tinh chức năng).
- Phân đoạn điều khiển (Tất cả các trạm mặt đất liên quan đến việc giám sát và điều khiển hệ thống: trạm điều khiển chính, trạm giám sát và trạm điều khiển mặt đất).
- Phân đoạn người sử dụng (Tất cả người dùng GPS dân sự và quân sự).

2.3 Tính toán vị trí người sử dụng

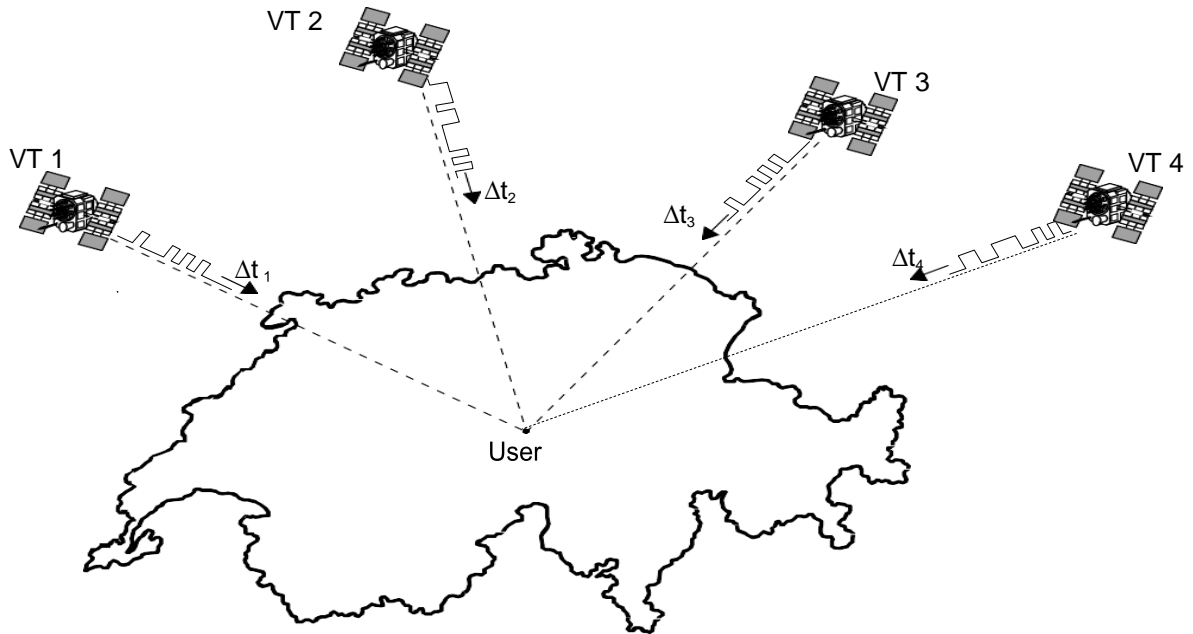
Mặc dù ban đầu được sử dụng cho mục đích quân sự, nhưng hệ thống GPS ngày nay được sử dụng chủ yếu cho các ứng dụng dân sự, chẳng hạn như khảo sát, định vị/định hướng (trong không khí, trên biển và trên mặt đất), định vị, đo vận tốc, xác định thời gian, giám sát các vật di chuyển và tĩnh, v.v. Nhà điều hành hệ thống đảm bảo cho người sử dụng dịch vụ có độ chính xác dưới đây (Bảng 2.1) đạt 95% thời gian [29]:

Bảng 2.1 Độ chính xác của dịch vụ dân sự tiêu chuẩn

Độ chính xác theo phương	Độ chính xác theo phương dọc	Độ chính xác thời gian
≤13 m	≤22 m	~40ns

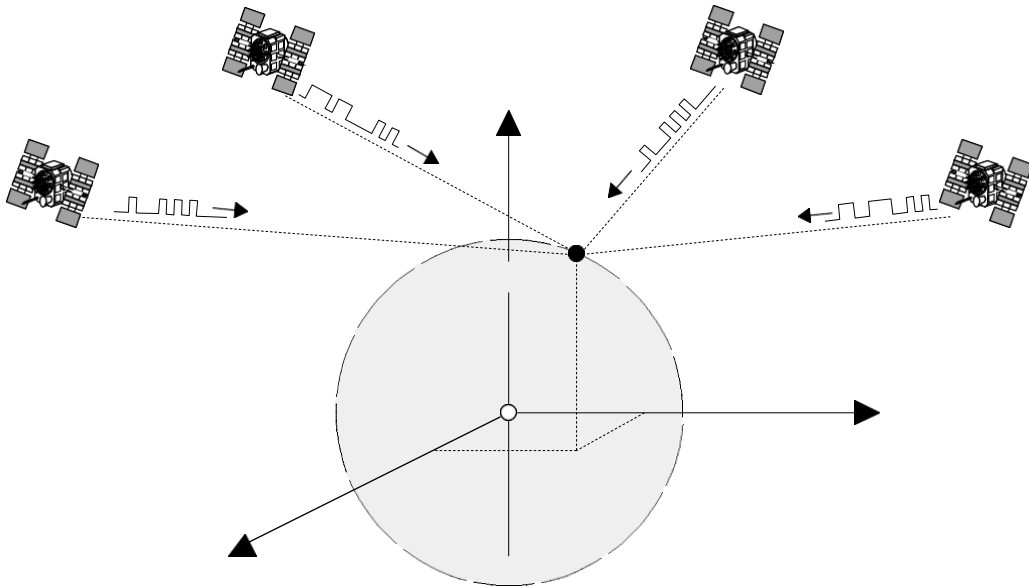
2.3.1 Đánh giá phạm vi giả

Để một máy thu GPS xác định được vị trí của nó, nó phải nhận được tín hiệu thời gian từ 4 vệ tinh khác nhau (VT1-VT4) để tính toán thời gian truyền tín hiệu Δt_1 đến Δt_4 .



Hình 2.2 Bốn tín hiệu vệ tinh mà người dùng phải nhận được

Các phép tính được thực hiện trong hệ tọa độ **Đề-các**, hệ tọa độ 3 chiều với gốc là tâm địa cầu (Hình 2.3). Phạm vi của người sử dụng từ bốn vệ tinh R1, R2, R3 và R4 có thể được xác định với sự trợ giúp của các khoảng thời gian truyền tín hiệu Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 và Δt_4 giữa bốn vệ tinh và người sử dụng. Vì các vị trí X_{Sat} , Y_{Sat} và Z_{Sat} của bốn vệ tinh đã xác định, nên có thể tính toán được tọa độ của người sử dụng.



Hình 2.3 Hệ tọa độ 3 chiều

Do có các đồng hồ nguyên tử trên vệ tinh, nên thời gian lúc tín hiệu vệ tinh truyền đi được xác định rất chính xác. Tất cả đồng hồ vệ tinh được điều chỉnh hoặc đồng bộ hóa với nhau và với giờ quốc tế UTC.

Ngược lại, đồng hồ máy thu không được đồng bộ với UTC và do đó nó chậm hoặc nhanh phụ thuộc vào Δt . Δt có giá trị dương khi đồng hồ người sử dụng nhanh. Sai số thời gian Δt gây ra sự không chính xác trong việc đo thời gian truyền tín hiệu và khoảng cách R. Do đó, khoảng cách được đo không chính xác gọi là khoảng cách giả PSR.

$$\Delta t_{\text{đo được}} = \Delta t + \Delta t_0 \quad (1a)$$

$$\text{PSR} = \Delta t_{\text{đo được}} \cdot c = (\Delta t + \Delta t_0) \cdot c \quad (2a)$$

$$\text{PSR} = R + \Delta t_0 \cdot c \quad (3a)$$

R: khoảng cách chính xác của vệ tinh từ người sử dụng.

c: tốc độ ánh sáng.

Δt : thời gian truyền tín hiệu từ vệ tinh đến người sử dụng.

Δt_0 : sai lệch giữa đồng hồ vệ tinh và đồng hồ người sử dụng.

PSR: phạm vi giả.

Khoảng cách R từ vệ tinh đến người sử dụng có thể được tính trong hệ tọa độ Cartesian như sau:

$$R = \sqrt{(X_{Sat} - X_{User})^2 + (Y_{Sat} - Y_{User})^2 + (Z_{Sat} - Z_{User})^2} \quad (4a)$$

Thay (4a) vào (3a), ta có:

$$\text{PSR} = \sqrt{(X_{Sat} - X_{User})^2 + (Y_{Sat} - Y_{User})^2 + (Z_{Sat} - Z_{User})^2} + \Delta t_0 \cdot c \quad (5a)$$

Để xác định bốn biến số không xác định (Δt_0 , X_{AnW} , Y_{AnW} và Z_{AnW}), cần có bốn phương trình độc lập:

Dưới đây là giá trị PSR của bốn vệ tinh ($i=1 \dots 4$):

$$\text{PSR}_i = \sqrt{(X_{Sat_i} - X_{User})^2 + (Y_{Sat_i} - Y_{User})^2 + (Z_{Sat_i} - Z_{User})^2} + \Delta t_0 \cdot c \quad (6a)$$

2.3.2 Phương trình tuyến tính

Bốn phương trình 6a tạo ra một tập các phương trình phi tuyến. Để giải các tập này, đầu tiên hàm căn thức được tuyến tính theo mô hình (chuỗi) Taylor, và chỉ sử dụng thành phần đầu tiên (Hình 2.4).

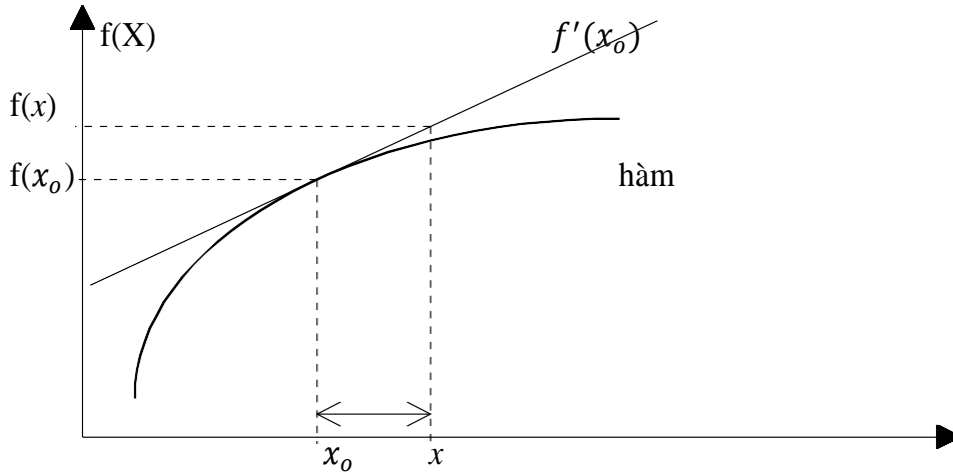
Nói chung (với $\Delta x = x - x_0$):

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} \Delta x + \frac{f''(x_0)}{2!} (\Delta x)^2 + \frac{f'''(x_0)}{3!} (\Delta x)^3 + \dots$$

Rút gọn (chỉ còn 1 phần):

$$f(x) = f(x_0) + f'(x_0) \cdot \Delta x \quad (7a)$$

Để tuyến tính hóa bốn phương trình (6a), một giá trị ước tính tùy ý x_0 phải được kết hợp trong vùng lân cận của x .



Hình 2.4 Chuyển đổi chuỗi Taylor

Đối với hệ thống GPS, điều này có nghĩa là thay vì tính X_{AnW} , Y_{AnW} và Z_{AnW} (tức X_{User} , Y_{User} , Z_{User}) một cách trực tiếp, thì ban đầu nên sử dụng vị trí ước tính X_{Ges} , Y_{Ges} và Z_{Ges} .

Vị trí ước tính bao gồm một sai số tạo ra bởi các biến không xác định Δx , Δy và Δz :

$$X_{AnW} = X_{Ges} + \Delta x$$

$$Y_{AnW} = Y_{Ges} + \Delta y$$

$$Z_{AnW} = Z_{Ges} + \Delta z \quad (8a)$$

Khoảng cách R_{Ges} từ vệ tinh đến vị trí ước tính được tính theo phương trình (4a):

$$R_{Ges_i} = \sqrt{(X_{Sat_i} - X_{Ges})^2 + (Y_{Sat_i} - Y_{Ges})^2 + (Z_{Sat_i} - Z_{Ges})^2} \quad (9a)$$

Phương trình (9a) kết hợp với các phương trình (6a) và (7a):

$$PSR_i = R_{Ges_i} + \frac{\partial(R_{Ges_i})}{\partial x} \cdot \Delta x + \frac{\partial(R_{Ges_i})}{\partial y} \cdot \Delta y + \frac{\partial(R_{Ges_i})}{\partial z} \cdot \Delta z + c \cdot \Delta t_o \quad (10a)$$

Sau khi thực hiện phép lấy vi phân từng phần, ta có:

$$PSR_i = R_{Ges_i} + \frac{X_{Ges} - X_{Sat_i}}{R_{Ges_i}} \cdot \Delta x + \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat_i}}{R_{Ges_i}} \cdot \Delta y + \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat_i}}{R_{Ges_i}} \cdot \Delta z + c \cdot \Delta t_o \quad (11a)$$

Sau khi chuyển bốn phương trình (11a) bốn biến Δx , Δy và Δz và Δt_o ta có thể giải theo quy tắc đại số tuyến tính:

$$\begin{bmatrix} PSR_1 - R_{Ges_1} \\ PSR_2 - R_{Ges_2} \\ PSR_3 - R_{Ges_3} \\ PSR_4 - R_{Ges_4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_{Ges} - X_{Sat_1}}{R_{Ges_1}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat_1}}{R_{Ges_1}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat_1}}{R_{Ges_1}} & 1 \\ \frac{X_{Ges} - X_{Sat_2}}{R_{Ges_2}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat_2}}{R_{Ges_2}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat_2}}{R_{Ges_2}} & 1 \\ \frac{X_{Ges} - X_{Sat_3}}{R_{Ges_3}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat_3}}{R_{Ges_3}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat_3}}{R_{Ges_3}} & 1 \\ \frac{X_{Ges} - X_{Sat_4}}{R_{Ges_4}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat_4}}{R_{Ges_4}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat_4}}{R_{Ges_4}} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ c \Delta t_o \end{bmatrix} \quad (12a)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ c \Delta t_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_{Ges} - X_{Sat_1}}{R_{Ges_1}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat_1}}{R_{Ges_1}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat_1}}{R_{Ges_1}} & 1 \\ \frac{X_{Ges} - X_{Sat_2}}{R_{Ges_2}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat_2}}{R_{Ges_2}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat_2}}{R_{Ges_2}} & 1 \\ \frac{X_{Ges} - X_{Sat_3}}{R_{Ges_3}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat_3}}{R_{Ges_3}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat_3}}{R_{Ges_3}} & 1 \\ \frac{X_{Ges} - X_{Sat_4}}{R_{Ges_4}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat_4}}{R_{Ges_4}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat_4}}{R_{Ges_4}} & 1 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} PSR_1 - R_{Ges_1} \\ PSR_2 - R_{Ges_2} \\ PSR_3 - R_{Ges_3} \\ PSR_4 - R_{Ges_4} \end{bmatrix} \quad (13a)$$

Nghiệm của Δx , Δy and Δz được sử dụng để tính lại các vị trí ước lượng X_{Ges} , Y_{Ges} và Z_{Ges} theo phương trình (8a).

$$X_{Ges_New} = X_{Ges_Alt} + \Delta x$$

$$Y_{Ges_New} = Y_{Ges_Alt} + \Delta y$$

$$Z_{Ges_New} = Z_{Ges_Alt} + \Delta z \quad (14a)$$

Các giá trị ước tính X_{Ges_New} , Y_{Ges_New} và Z_{Ges_New} có thể được nhập vào tập các phương trình (13a) bằng cách sử dụng quá trình lặp lại thông thường cho đến khi các thành phần sai số Δx , Δy và Δz nhỏ hơn sai số mong muốn (ví dụ, 0,1m). Tùy thuộc vào ước lượng ban đầu, thường phải tính toán từ 3 đến 5 lần để tạo ra một thành phần lỗi nhỏ hơn 1cm.

Để xác định vị trí, người sử dụng (hoặc phần mềm máy thu của người đó) sẽ sử dụng giá trị đo cuối cùng hoặc ước lượng một vị trí mới và tính các thành phần sai số (Δx , Δy và Δz) xuống 0 bằng cách lặp đi lặp lại. Sau đó ta có :

$$X_{Anw} = X_{Ges_New}$$

$$Y_{Anw} = Y_{Ges_New}$$

$$Z_{Anw} = Z_{Ges_New} \quad (15a)$$

Giá trị của Δt_o tương ứng với sai số thời gian của máy thu và có thể được sử dụng để điều chỉnh đồng hồ máy thu.

2.3.3 Đo lường độ chính xác:

Độ chính xác của một vị trí được đo lường hoặc dự đoán của một phương tiện (xe cộ, máy bay, hay tàu biển) tại thời điểm cho trước là mức độ tương thích của vị trí đó so với vị trí, vận tốc, hay thời gian thật của phương tiện.

Mặc dù định nghĩa về độ chính xác rất dễ hiểu, nhưng cách đo độ chính xác và đại lượng đo luôn không rõ ràng. Khái niệm độ chính xác nói chung được sử dụng để đo độ chính xác của việc định vị nhưng cũng có thể được sử dụng để đo độ chính xác của vận tốc và thậm chí của cả thời gian.

Các sai số về định vị/định hướng nói chung tuân theo một hàm phân bố lỗi đã biết trước và độ bất định của vị trí có thể được biểu diễn bởi *xác suất mà lỗi đó sẽ không vượt quá một lượng xác định*. Sẽ phức tạp hơn nếu các hệ thống định vị/định hướng dùng cho các vị trí đa chiều.

Đối với phép định vị có 3 kiểu độ chính xác phụ thuộc vào số lượng chiều của vị trí được xem xét: Độ chính xác một chiều (được sử dụng cho độ chính xác phương dọc), độ chính xác hai chiều (được sử dụng cho độ chính xác phương ngang) và độ chính xác ba chiều (kết hợp độ chính xác của phương dọc lẫn phương ngang).

Trong các tài liệu và các đặc tả của hệ thống/sản phẩm, ta có thể tìm thấy các phép đo độ chính xác chẳng hạn như CEP, rms, Percentile 67 %, Percentile 95%, 1 sigma, 2 sigma. Một số trong các phép đo độ chính xác này là giá trị trung bình còn lại các cái khác là tổng số phân phối.

- **x Percentile (Phân vị) (x% or x-th):** Nghĩa là có nghĩa x phần trăm (xác suất) các vị trí được tính toán có chứa sai số nhỏ hơn hoặc bằng giá trị chính xác cho trước. Giá trị điển hình được sử dụng là 50 %, 67 %, 75 % và 95 %. Ví dụ Hệ thống định vị có độ chính xác là 5m (95 %) nghĩa là có 95 % thời điểm sai số định vị nhỏ hơn hoặc bằng 5m.
- **Circular Error Probable (CEP):** Phân vị 50 %. Nghĩa là có 50 % các vị trí được tính toán có sai số nhỏ hơn hoặc bằng một giá trị chính xác cho trước.
- **Root Mean Square Error (rms):** Căn bậc 2 của giá trị trung bình sai số bình phương. Phép đo này là một giá trị trung bình nhưng với giả thiết sai số tuân theo một hàm phân phối thông thường (một hàm gần đúng), mà nó sẽ tương đương với Phân vị 68 % theo các phân phối một chiều (ví dụ như sai số phương dọc hay sai số thời gian) và Phân vị 63 % với các phân phối 2 chiều (ví dụ sai số phương ngang). Đối với sai số phương ngang phép đo này cũng được ký hiệu là drms và cũng có thể là 2rms hay 2drms (2 lần rms).
- **x sigma:** 1 sigma tương đương với một độ lệch chuẩn còn x sigma tương đương x lần 1 sigma. Giả thiết rằng các phân phối là thông thường khi đó 1 sigma

tương đương với Phân vị 68 % theo các phân phối 1 chiều và Phân vị 39 % đối với các phân vị hai chiều.

Ít dùng hơn các phép đo trên còn có:

- **Mean Error:** Sai số trung bình. Tương đương với Phân vị 68 % trong các phân phối 1 chiều và Phân vị 54 % với các phân phối 2 chiều.
- **Standard Deviation:** Độ lệch chuẩn của sai số. Tương đương với một sigma. Tương đương với Phương Vị 58 % của các phân phối 1 chiều và Phân vị 39 % với các phân phối 2 chiều.

Mặc dù sai số trung bình và độ lệch chuẩn ít được sử dụng trong các phép đo độ chính xác, các phân phối thông thường cũng dùng chúng như dùng các phép đo thông thường khác.

Giả thiết rằng các phân phối sai số là thông thường nghĩa là các phân phối xác suất của sai số đều là một hàm phân phối xác suất liên tục (còn gọi là Phân phối Gau-xơ) [30]. Khi đó, các phép đo lường độ chính xác trên có thể chuyển đổi với nhau. Có nghĩa là có một sự tương đương giữa các sigma và các phân vị. Sự tương đương này có thể được sử dụng để chuyển đổi giữa các phép đo độ chính xác do độ chính xác 1m (1 sigma) tương ứng với 2m (2 sigma), 3m (3 sigma) và xm (x sigma).

Đối với các phân phối 1 chiều:

Bảng 2.2 Bảng chuyển đổi cho các phân phối xác suất 1 chiều

Sigma	Percentile (Phần vị)
0,67	0,5 (CEP)
0,80	0,58 (mean error)
1	0,6827 (rms and std deviation)
1,15	0,75
1,96	0,95
2	0,9545
2,33	0,98
2,57	0,99

3	0,9973
4	0,999936
5	0,99999942
6	0,999999998

Đối với các phân phối 2 chiều:

Bảng 2.3 Bảng chuyển đổi cho các phân phối xác suất 2 chiều

Sigma	Percentile
1	0,394 (std deviation)
1,18	0,5 (CEP)
1,25	0,544 (mean error)
1,414	0,632 (rms)
1,67	0,75
2	0,865
2,45	0,95
2,818	0,982 (2rms)
3	0,989
3,03	0,99
4	0,9997
5	0,999997
6	0,999999985

2.3.4 Xem xét sai số và tín hiệu vệ tinh

Trong phương pháp tính toán vị trí người sử dụng nói trên, có một số loại sai số khác mà ta vẫn chưa được tính đến. Trong trường hợp hệ thống GPS, một số nguyên nhân có thể góp phần gây ra lỗi là:

- Đồng hồ vệ tinh: Mặc dù mỗi vệ tinh có bốn đồng hồ trên bảng mạch, nhưng sai số thời gian chỉ là 10ns có thể tạo ra sai số theo trình tự là 3m.
- Quỹ đạo vệ tinh: Vị trí của một vệ tinh thường được biết đến chỉ trong vòng khoảng 1-5m.
- Tốc độ ánh sáng: các tín hiệu từ vệ tinh đến người sử dụng di chuyển ở tốc độ ánh sáng. Tốc độ này chậm lại khi đi qua tầng điện ly và tầng đối lưu và do đó có thể không còn được coi là hằng số.
- Đo thời gian truyền tín hiệu: Người sử dụng chỉ có thể xác định được thời điểm nhận tín hiệu vệ tinh đến trong phạm vi 10-20ns tương ứng với sai số vị trí 3-6m. Thành phần sai số tăng thêm do kết quả phản xạ mặt đất (đa đường).
- Hình học vệ tinh: Khả năng xác định vị trí sẽ xấu đi nếu bốn vệ tinh dùng để đo được đặt gần nhau. Ảnh hưởng của hình học vệ tinh lên tính chính xác của phép đo được gọi là GDOP (Độ mất chính xác hình học).

Sai số này là do một số yếu tố khác nhau được trình bày chi tiết trong Bảng 3.2, trong đó bao gồm các thông tin về sai số theo phương ngang. 1 sigma (68.3%) và 2 sigma (95.5%) cũng được đưa ra (ý nghĩa xem lại phần 2.3.3). Phần lớn độ chính xác tốt hơn so với quy định, các giá trị áp dụng cho một chòm sao vệ tinh trung bình (giá trị DOP).

Bảng 2.4 Nguyên nhân sai số

Nguyên nhân sai số	Sai số
Ảnh hưởng của tầng điện ly	4 m
Đồng hồ vệ tinh	2.1 m
Đo máy thu	0.5 m
Dữ liệu lịch thiên văn	2.1 m
Ảnh hưởng của tầng đối lưu	0.7 m
Đa đường	1.4 m
Tổng giá trị RMS (không lọc)	5.3 m
Tổng giá trị RMS (lọc)	5.1 m
Sai số theo phương dọc (1 sigma (68.3%) VDOP=2.5)	12.8m
Sai số theo phương dọc (2 sigma (95.5%) VDOP=2.5)	25.6m
Sai số theo phương ngang (1 sigma (68.3%) HDOP=2.0)	10.2m
Sai số theo phương ngang (2 sigma (95.5%) HDOP=2.0)	20.4m

Các phép đo được thực hiện bởi Cục quản lý hàng không Liên bang Hoa Kỳ trong một thời gian dài chỉ ra rằng trong trường hợp 95% tất cả các phép đo, thì sai số theo phương ngang dưới 7.4m và sai số phương dọc dưới 9.0m. Trong mọi trường hợp, các phép đo lường được thực hiện trong khoảng thời gian 24 giờ.

2.4 Kết luận chương

Chương này trình bày sơ lược về các hệ thống định vị/định hướng vệ tinh hiện nay trên thế giới tính tới thời điểm 11/2017. Đồng thời đi sâu hơn trong việc giới thiệu về hệ thống định vị/ định hướng bằng vệ tinh GPS của Mỹ cùng với nguyên lý cơ bản xác định vị trí của một người dùng trên hệ tọa độ Đề-các với gốc ở tâm trái đất bằng phương pháp toán học. Qua đó, tính được độ lệch thời gian giữa máy thu và đồng hồ vệ tinh (một cách gần chính xác).

Tuy nhiên, phương pháp này vẫn chưa được hoàn chỉnh do ta chưa tính đến hết các sai số của các yếu tố khác (môi trường, thiết bị, ...) ảnh hưởng đến quá trình xác định vị trí, gây sai số trực tiếp đến quá trình tính toán vị trí. Ở chương 3 ta sẽ làm rõ hơn về vấn đề này.

3 CHƯƠNG 3. PHÂN TÍCH CÁC NGUYÊN NHÂN SAI SỐ VÀ SNR

Độ chính xác mà máy thu của người sử dụng có thể định vị được vị trí hoặc vận tốc, hay đồng bộ với thời gian của hệ thống GPS, phụ thuộc vào sự tương tác phức tạp giữa nhiều yếu tố. Nhìn chung, độ chính xác của GPS phụ thuộc vào chất lượng của khoảng cách giả và phép đo pha của sóng mang, cũng như nội dung dữ liệu định vị/định hướng được quảng bá.

Để phân tích ảnh hưởng của các sai số đối với độ chính xác định vị, một giả thuyết cơ bản thường được nêu ra đó là nguồn sai số có thể được phân bổ tới các khoảng cách giả vệ tinh riêng biệt và có thể được xem là nguyên nhân chủ yếu dẫn đến lỗi sai tương tự trong giá trị khoảng cách giả. Độ chính xác thực tế của giá trị khoảng cách giả được gọi là sai số khoảng cách tương đương của người sử dụng (UERE). UERE đối với một vệ tinh xác định được coi là tổng số (thống kê) đóng góp từ mỗi nguồn sai số liên kết với vệ tinh đó trong hệ thống chòm sao. Các thành phần sai số luôn được xem là độc lập và thành phần UERE phức hợp cho một vệ tinh xấp xỉ bằng một biến ngẫu nhiên Gau-xơ có trung bình bằng 0 mà nó có phương sai bằng tổng phương sai của mỗi thành phần của nó. UERE thường được giả thiết là độc lập và phân bố giống hệt nhau từ vệ tinh này sang vệ tinh khác. Tuy nhiên, đối với một số trường hợp đặc biệt, đôi khi những giả thiết phải sửa đổi lại để trở nên hợp lý hơn. Ví dụ, nếu giả thiết rằng có sự bổ sung của vệ tinh địa tĩnh (GEOs) vào chòm vệ tinh GPS, UERE liên kết với GEOs có thể tạo mô hình có một phương sai khác hẳn phương sai của các vệ tinh chòm sao tiêu chuẩn, và lúc đó UERE của mô hình mới phụ thuộc vào đặc điểm thiết kế của các vệ tinh.

Độ chính xác về phương pháp vị trí/thời gian được xác định bởi GPS cuối cùng được biểu diễn bằng phép nhân của một hệ số hình học với một hệ số sai số khoảng cách giả. Nói một cách giản lược hơn, sai số trong giải pháp GPS được ước tính bởi công thức:

$$(\text{sai số trong giải pháp GPS}) = (\text{hệ số hình học}) \times (\text{hệ số sai số khoảng cách giả}) \quad (3.1)$$

3.1 Sai số đo lường:

Sự sai khác giữa đồng hồ của vệ tinh và máy thu chuyên thành các sai số khoảng cách giả và sai số pha sóng mang. Thành phần mã nhiễu giả ngẫu nhiên (PRN) của tín hiệu vệ tinh bị chậm trễ khi nó truyền qua bầu khí quyển, làm cho khoảng cách giả lớn hơn khoảng cách khi tín hiệu truyền trong chân không. Thành phần sóng mang của tín hiệu bị trễ bởi tầng đối lưu nhưng thực tế được đẩy nhanh bởi tầng điện ly trong một hiện tượng gọi là *phân kỳ tầng điện ly* sẽ được thảo luận chi tiết hơn trong Mục 3.6. Hơn nữa, hiện tượng phản xạ (ví dụ đa đường dẫn) và các hiệu ứng phân cứng giữa trung tâm pha ăng ten của người dùng và điểm tương quan mã thu có thể gây trễ (hoặc đẩy nhanh) các thành phần tín hiệu [31]. Tổng

thời gian bù do tất cả những hiệu ứng đó trong thành phần PRN của mỗi tín hiệu nhận được là:

$$\delta t_D = \delta t_{atm} + \delta t_{noise\&int} + \delta t_{mp} + \delta t_{bw} \quad (3.2)$$

Trong đó:

δt_{atm} = trễ do khí quyển

$\delta t_{noise\&int}$ = sai số do tiếng ồn thu và nhiễu

δt_{mp} = độ lệch đa đường

δt_{bw} = độ lệch phân cứng máy thu

Biểu thức độ trễ có cùng một công thức như (3.2) nhưng giá trị số khác nhau nói chung được phát sinh trong thành phần sóng mang tần số radio của mỗi tín hiệu.

Trước tháng 5 năm 2000, (3.2) đã bao gồm hiệu ứng SA (*Selective Availability*), một sai số được cố ý gây ra bởi bộ quốc phòng Mỹ làm giảm chất lượng giải pháp định vị của người dùng dân sự. Việc làm giảm sút này được thực hiện chủ yếu thông qua lỗi rung động của đồng hồ vệ tinh (thành phần sai số đồng hồ), mặc dù vậy sai số dữ liệu lịch thiên văn quảng bá cũng có thể được dùng nhưng nó không thể giám sát được [32]. Vào ngày 1 tháng 5 năm 2000, SA đã chính thức bị loại bỏ [33].

Thời gian khoảng cách giả là độ lệch thời gian giữa thời điểm được ghi nhận tại đồng hồ máy thu khi tín hiệu đến và thời điểm được ghi nhận tại đồng hồ vệ tinh khi tín hiệu được gửi đi. Mỗi quan hệ thời gian đó được biểu diễn ở Hình 3.1, trong đó:

Δt = tương đương thời gian khoảng cách hình học

T_s = thời gian hệ thống tại đó tín hiệu rời khỏi vệ tinh

T_u = thời gian hệ thống tại đó tín hiệu sẽ truyền đến máy thu trong trường hợp không có sai số (ví dụ với δt_b bằng không)

T'_u = thời gian hệ thống tại đó tín hiệu sẽ truyền đến máy thu với sai số δt_b

δt = độ lệch của đồng hồ vệ tinh so với thời gian hệ thống— nhanh hơn là dương, chậm trễ là âm

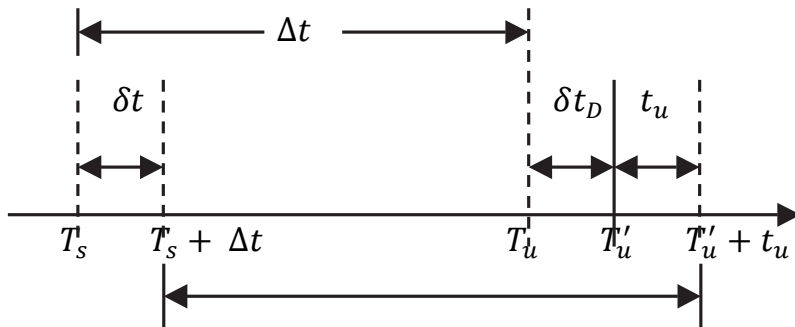
t_u = độ lệch của đồng hồ thu nhận từ thời gian hệ thống

$T_s + \delta t$ = Thời điểm được ghi nhận tại đồng hồ vệ tinh khi tín hiệu rời khỏi vệ tinh

$T'_u + t_u$ = Thời điểm được ghi nhận tại đồng hồ người sử dụng khi tín hiệu truyền tới máy thu.

$c =$ tốc độ ánh sáng

Đương lượng thời gian khoảng cách hình học



Đương lượng thời gian khoảng cách giả
Hình 3.1 Phạm vi mối quan hệ thời
gian đo lường

Khoảng cách giả ρ được quan sát là:

$$\begin{aligned}\rho &= c[(T'_u + t_u) - (T_s + \delta t)] \\ &= c(T'_u + T_s) + c(t_u - \delta t) \\ &= c(T_u + \delta t_D - T_s) + c(t_u - \delta t) \\ &= r + c(t_u - \delta t + \delta t_D)\end{aligned}$$

Trong đó r là dây hình học, $r = c(T_u - T_s) = c\Delta t$.

Một biểu thức tương tự có thể được sử dụng cho việc đo pha sóng mang khi đo lường thô, thường được tính theo đơn vị chu kỳ, và chuyển sang đơn vị mét bằng cách nhân với bước sóng sóng mang có đơn vị mét. Như đã nói trên, các thuật ngữ về sai số nhìn chung khác với đo pha sóng mang. Hơn nữa, trong đo pha sóng mang có một ẩn số, đó là bội số nguyên của bước sóng. Việc xây dựng nguồn sai số khoảng cách giả và pha sóng mang, bao gồm hiệu ứng tương đối, được cung cấp trong các mục sau.

3.2 Sai số đồng hồ vệ tinh

Vệ tinh có các đồng hồ nguyên tử kiểm soát tất cả hoạt động thời gian trên tàu, bao gồm tạo ra các tín hiệu quảng bá. Mặc dù những đồng hồ này có tính ổn định cao, các trường hiệu chỉnh đồng hồ trong thông điệp dữ liệu định vị/định hướng có độ lớn sao cho độ lệch giữa thời gian SV và thời gian hệ thống GPS có thể bằng 1 ms (Độ lệch của 1 ms chuyển sang thành một sai số khoảng cách giả 300 km). Trạm điều khiển chính (MCS) trên mặt đất xác định và truyền các thông số hiệu chỉnh đồng hồ tới vệ tinh để phát lại trong thông điệp định hướng/định vị. Những thông số hiệu chỉnh này được thực hiện bởi máy thu sử dụng các đa thức bậc hai [34] :

$$\delta t_{clk} = a_{f_0} + a_{f_1}(t - t_{\infty}) + a_{f_2}(t - t_{\infty})^2 + \Delta t_r \quad (3.3)$$

Trong đó:

a_{f_0} = Độ dịch chuyển đồng hồ (s)

a_{f_1} = Tốc độ trôi dạt đồng hồ (s/s)

a_{f_2} = Tốc độ trôi dạt tần số (s/s²)

t_{∞} = Thời gian tham chiếu dữ liệu đồng hồ (s)

t = Thời gian hiện tại (s)

Δt_r = Hiệu chỉnh do hiệu ứng tương đối (s)

Hiệu chỉnh Δt_r bù đắp cho sai số khoảng cách giả gây ra bởi một trong ba hiệu ứng liên quan đến GPS được thảo luận trong Mục 3.4.

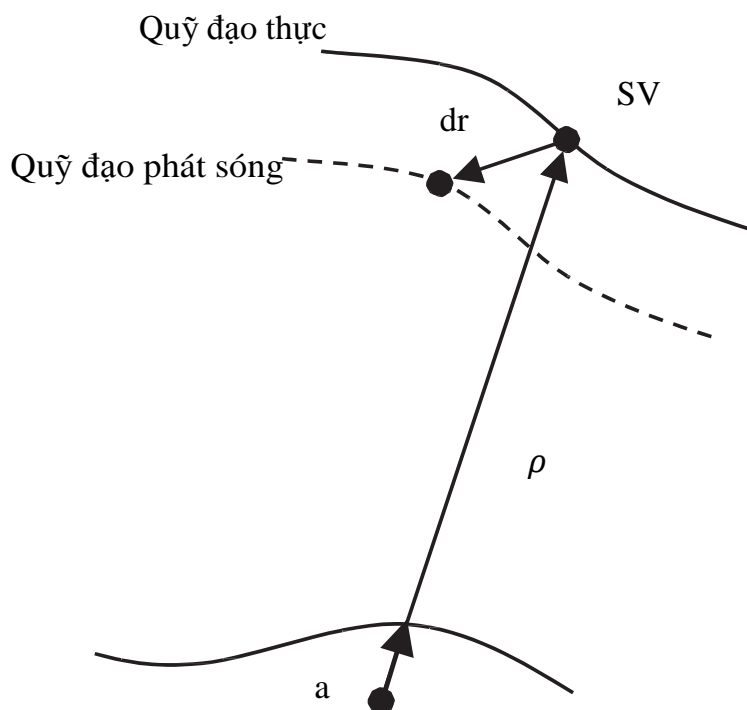
Vì các thông số này được tính bằng cách sử dụng một đường cong phù hợp với ước lượng dự đoán của sai số đồng hồ vệ tinh thực tế, nên một sai số vẫn còn sót lại. Sai số đồng hồ còn sót lại đó, ôi, dẫn đến hàng loạt các sai số khoảng cách thay đổi đặc trưng trong khoảng 0.3- 4m, tùy thuộc vào loại vệ tinh và tuổi thọ của dữ liệu phát sóng. Các lỗi sai do sai số đồng hồ sót lại thường là nhỏ nhất tuân theo lần phân đoạn điều khiển tải lên một vệ tinh, và chúng giảm chậm theo thời gian cho đến lần tải lên tiếp theo (thường là hàng ngày). Với dữ liệu tuổi thọ là 0 (ZAOD), sai số đồng hồ đối với một vệ tinh điển hình theo thứ tự 0.8m [35, 36]. Sai số 24 giờ sau một lần tải lên thường ở trong phạm vi 1-4 m. Thiết bị người dùng đang theo dõi tất cả các vệ tinh có thể nhìn thấy được sẽ quan sát các vệ tinh có tuổi thọ dữ liệu (AODs) thay đổi từ 0 đến 24 giờ. Do vậy là phù hợp nếu phát triển của một mô hình thống kê cho sai số đồng hồ đúng với vị trí hoặc các nguồn sai số thời gian, để tính mức trung bình trên AOD. Sai số đồng hồ 1 sigma danh nghĩa của chòm sao vệ tinh năm 2004(hệ thống GPS) lấy trung bình theo AOD là 1.1m, dựa vào dữ liệu được mô tả trong [35, 36]. Mỹ kỳ vọng rằng các sai số đồng hồ sót lại sẽ tiếp tục giảm khi vệ tinh mới hơn đã được phóng lên với các đồng hồ có hiệu suất tốt hơn và do các cải tiến được thực hiện trong các phân đoạn kiểm soát [37]. Sai số đồng hồ trung bình cũng bị ảnh hưởng bởi tần suất tải lên mỗi vệ tinh.

Trước tháng 5 năm 2000, sai số đồng hồ GPS bị chi phối bởi SA. Mặc dù SA hiện tại đã bị ngừng, việc hiểu biết sơ qua về SA vẫn quan trọng vì sự hiện diện của thành phần rung động đồng hồ SA tác động đến thiết kế của nhiều máy thu GPS và các thiết bị bổ sung. Việc rung động đồng hồ vệ tinh có chủ ý này được xem là sai số cơ bản trong khoảng cách giả GPS và đo pha sóng mang với giá trị 1 sigma xấp xỉ 23m [32]. Sai số được xem là thống kê độc lập từ vệ tinh này đến vệ tinh khác có tương quan đáng kể theo thời gian. Sai số SA đối với một vệ tinh sẽ đi một cách ngẫu nhiên

từ một giá trị dương lớn nhất đến một giá trị âm lớn nhất và quay trở lại với một thời gian dao động khoảng 2 đến 5 phút. Một số mô hình thống kê chi tiết để mô phỏng các sai số SA được quan sát được trình bày tại [32].

3.3 Sai số quỹ đạo vệ tinh

Trong phân đoạn điều khiển, quỹ đạo các vệ tinh sẽ được ước lượng thông qua toán và sau đó tải lên trên các vệ tinh các thông số thông điệp dữ liệu định hướng/ định vị khác để quảng bá lại cho người dùng. Trong trường hợp hiệu chỉnh đồng hồ vệ tinh, việc điều chỉnh này được tiến hành bằng cách sử dụng một đường cong phù hợp trong dự đoán chuẩn nhất của phân đoạn điều khiển về vị trí vệ tinh tại thời điểm đăng tải. Sai số vị trí vệ tinh còn sót lại là một véc-tơ được mô tả trong hình 3.2, với độ lớn đặc trưng trong phạm vi từ 1–6m [38]. Các sai số khoảng cách giả và sai số pha sóng mang thực tế do sai số trong dự báo lịch thiên văn có thể được tính bằng cách chiếu véc-tơ lỗi định vị vệ tinh lên véc-tơ trực thị (LOS) (véc-tơ phương nhìn thẳng) từ vệ tinh tới người dùng. Sai số thiên văn thường là nhỏ nhất theo hướng xuyên tâm (từ vệ tinh về phía tâm của Trái đất). Các thành phần sai số thiên văn theo chiều dọc (hướng di chuyển tức thời của vệ tinh) và theo chiều ngang (vuông góc với đường dọc và xuyên tâm) luôn lớn hơn nhiều. Các thành phần theo chiều ngang và dọc gây thêm khó khăn cho phân đoạn điều khiển trong việc quan sát bề mặt Trái đất, vì các yếu tố này không chiếu trực diện vào Trái đất. Rất may là người dùng không phải chịu sai số đo lường lớn do yếu tố sai số thiên văn lớn nhất với cùng một lý do. Sai số khoảng cách giả thực tế hoặc pha sóng mang do sai số dự đoán thiên văn gây ra theo thứ tự là 0.8m ($1\sigma - 1\text{sigma}$) [36].



Hình 3.2 Sai số thiên văn

3.4 Hiệu ứng tương đối

Cả hai lí thuyết tương đối rộng và hẹp của Einstein là những yếu tố trong quá trình đo khoảng cách giả và pha sóng mang [40, 41].

Đồng hồ vệ tinh bị ảnh hưởng bởi cả thuyết tương đối hẹp (SR) và thuyết tương đối rộng (GR). Để bù lại cho cả hai ảnh hưởng đó, tần số đồng hồ vệ tinh được điều chỉnh tới 10.22999999543 MHz trước khi phóng. Tần số được quan sát bởi người sử dụng tại mực nước biển sẽ là 10.23 MHz; vì thế người sử dụng không cần phải hiệu chỉnh hiệu ứng đó nữa.

Người dùng không cần phải hiệu chỉnh cho hiệu ứng tuần hoàn tương đối khác được phát sinh vì độ lệch tâm của quỹ đạo vệ tinh không đáng kể. Chính xác là một nửa hiệu ứng tuần hoàn bị gây ra bởi sự thay đổi tuần hoàn về tốc độ vệ tinh đối với khung quán tính định tâm trái đất (ECI) và một nửa còn lại bị gây ra bởi sự thay đổi tuần hoàn của vệ tinh về thế hấp dẫn của nó.

Do quỹ đạo của vệ tinh là hình e-líp nên khi vệ tinh chạm đến điểm cận địa (cách bề mặt Trái Đất gần nhất), vận tốc vệ tinh nhanh hơn và thế hấp dẫn thấp hơn- hai điều này dẫn đến việc đồng hồ vệ tinh chạy chậm hơn. Khi vệ tinh đến điểm viễn địa (cách bề mặt Trái Đất xa nhất), vận tốc vệ tinh sẽ thấp hơn và thế hấp dẫn cao hơn- hai điều này dẫn đến việc đồng hồ vệ tinh chạy nhanh hơn [40, 41]. Hiệu ứng này có thể được bù lại bằng:

$$\Delta t_r = Fe\sqrt{a} \sin E_k \quad (3.4)$$

Trong đó:

$$F = -4.442807633 \times 10^{-10} \text{ s/ m}^{1/2}$$

e = độ lệch tâm của quỹ đạo vệ tinh

a = bán trục lớn của quỹ đạo vệ tinh

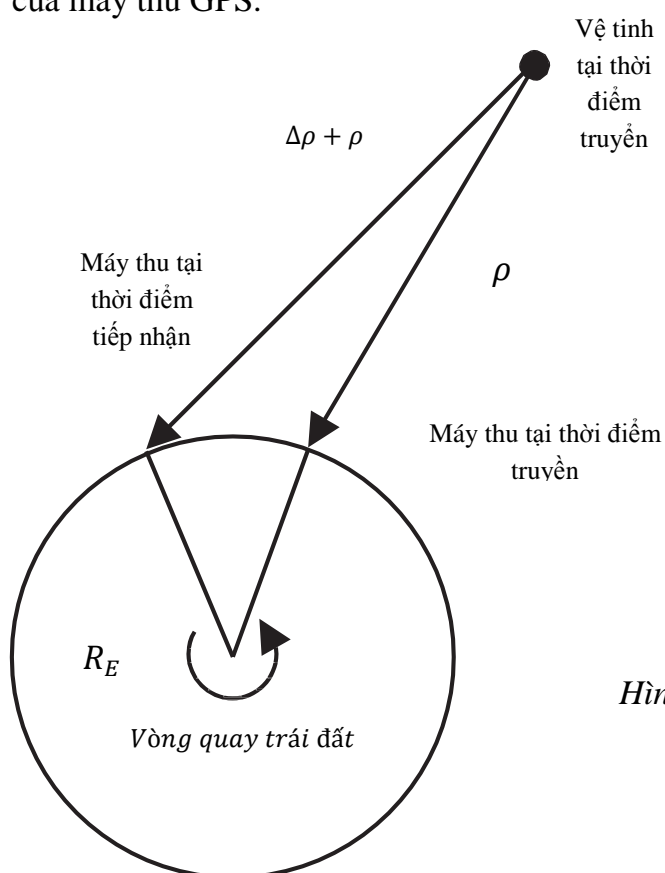
E_k = góc tâm sai của quỹ đạo vệ tinh

Hiệu ứng tương đối này có thể đạt tới tối đa 70ns (trong phạm vi 21m) [39]. Hiệu chỉnh đồng hồ vệ tinh đối với hiệu ứng tương đối này sẽ cho những ước tính chuẩn xác hơn về thời gian truyền cho người dùng.

*Do việc tự quay của Trái đất trong thời gian truyền tín hiệu, sai số tương đối xảy ra, được gọi là **hiệu ứng Sagnac**, khi việc tính toán định vị vệ tinh được thực hiện trong một hệ tọa độ tâm trái đất ECEF. Trong thời gian truyền tín hiệu SV, một chiếc đồng hồ trên bề mặt trái đất sẽ trải qua một vòng quay giới hạn trong hệ tọa độ quán tính trung tâm trái đất ECI. Hình 3.3 minh họa cho hiện tượng này. Rõ ràng nếu người dùng xoay chệch ra khỏi SV, thời gian truyền sẽ tăng lên và ngược lại. Nếu phần còn lại không được hiệu chỉnh, hiệu ứng Sagnac*

có thể dẫn tới sai số định vị trong khoảng 30m [42]. Việc hiệu chỉnh hiệu ứng Sagnac thường được gọi là *Hiệu chỉnh phép quay Trái đất*.

Có rất nhiều cách tiếp cận hiệu chỉnh hiệu ứng Sagnac. *Phương pháp tiếp cận chung nhằm tránh hiệu ứng Sagnac một cách hoàn toàn bằng cách sử dụng một hệ tọa độ ECI dành cho vệ tinh và tính toán định vị người dùng*. Một khung ECI có thể thu được một cách thuận tiện bằng cố định khung ECEF ngay tại thời điểm tiến hành đo khoảng cách giả với tập hợp các vệ tinh có thể nhìn thấy được. Hiệu ứng Sagnac không phát sinh trong một khung ECI. Quan trọng, định vị vệ tinh được sử dụng trong giải pháp định vị người dùng GPS chuẩn phải tương ứng với thời gian truyền, thường là không giống nhau. Thời gian truyền của mỗi vệ tinh, T_s , là một phép đo tự nhiên của máy thu GPS.



Hình 3.3 Hiệu ứng sagnac

Người sử dụng các thiết bị thương mại có thể truy cập vào thời gian truyền của mỗi vệ tinh bằng cách đơn giản là trừ đi phép đo khoảng cách giả được chia ra bởi tốc độ ánh sáng từ thời gian của người dùng cho phép đo. Sau đó, mỗi định vị vệ tinh có thể được tính toán các tọa độ (x_s, y_s, z_s) ECEF tại thời điểm truyền bằng cách sử dụng dữ liệu thiên văn phát sóng. Sau đó, mỗi định vị vệ tinh có thể được chuyển thành khung ECI chung sử dụng vòng quay:

$$\begin{bmatrix} x_{eci} \\ y_{eci} \\ z_{eci} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \dot{\Omega}(T_u - T_s) & \sin \dot{\Omega}(T_u - T_s) & 0 \\ -\sin \dot{\Omega}(T_u - T_s) & \cos \dot{\Omega}(T_u - T_s) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix}$$

Trong công thức này, thời điểm tiếp nhận, T_u , ngay từ đầu đã không được biết trước khi ước lượng thời gian/định vị xảy ra. Nó có thể xấp xỉ bằng thời gian truyền trung bình giữa các vệ tinh có thể nhìn thấy và cộng thêm 75 ms cho người dùng trên trái đất. Tùy theo giải pháp định vị đã được tiến hành bằng cách sử dụng kỹ thuật nào để hiệu chỉnh đồng hồ người dùng, thì ước tính T_u sẽ cho ra kết quả chuẩn xác hơn. Tọa độ định vị người dùng đều giống nhau đối với cả khung ECEF và ECI tại thời điểm tiếp nhận tín hiệu, vì theo định nghĩa, cả hai khung này đều cố định ngay tại thời điểm đó.

Cuối cùng, tín hiệu GPS bị uốn cong do trường trọng lực của trái đất. Sai số của hiệu ứng tương đối có thể từ 0.001 ppm trong định vị tương đối đến khoảng 18.7 mm đối với định vị điểm [43].

3.5 Hiệu ứng khí quyển

Tốc độ lan truyền sóng trong môi trường có thể được thể hiện qua chỉ số khúc xạ đối với môi trường. Chỉ số khúc xạ là tỷ lệ giữa tốc độ truyền sóng trong không gian tự do với tốc độ truyền sóng trong môi trường bằng công thức:

$$n = \frac{c}{v} \quad (3.5)$$

Trong đó c là vận tốc ánh sáng bằng 299,792,458 m/s như đã được xác định với hệ thống WGS-84. Môi trường sẽ bị phân tán nếu tốc độ truyền (hay, tương đương, chỉ số khúc xạ) là một hàm của tần số sóng. Trong môi trường phân tán, tốc độ truyền v_p của pha sóng mang tín hiệu khác với vận tốc v_g được liên kết với các sóng mang/chứa thông tin tín hiệu. Khái niệm các sóng mang/chứa thông tin tín hiệu có thể được coi như một nhóm sóng chuyển động với tần số hơi khác nhau.

Để làm rõ khái niệm về vận tốc pha và vận tốc nhóm, xem xét hai yếu tố, S_1 và S_2 , của sóng điện từ với tần số f_1 và f_2 (hay ω_1 và ω_2), các tốc độ pha v_1 và v_2 , di chuyển theo hướng x . Tổng S của các tín hiệu đó là:

$$S = S_1 + S_2 = \sin \omega_1 \left(t - \frac{x}{v_1} \right) + \sin \omega_2 \left(t - \frac{x}{v_2} \right)$$

Sử dụng đồng nhất lượng giác,

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta) \cdot \sin \frac{1}{2}(\alpha + \beta)$$

Và tìm ra

$$\begin{aligned}
S &= 2 \cos \left[\frac{1}{2}(\omega_1 - \omega_2)t - \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_1}{v_1} - \frac{\omega_2}{v_2} \right) x \right] \times \sin \left[\frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2)t - \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_1}{v_1} + \frac{\omega_2}{v_2} \right) x \right] \\
&= 2 \cos \frac{1}{2}(\omega_1 - \omega_2) \left[t - \frac{x}{\frac{1}{2} \left(\frac{\omega_1}{v_1} - \frac{\omega_2}{v_2} \right)} \right] \times \sin \left[\frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2)t - \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_1}{v_1} + \frac{\omega_2}{v_2} \right) x \right]
\end{aligned}$$

Phần cosin là một nhóm sóng (sự biến điệu tác động mạnh lên sóng hình sin- phần sóng mang thông tin) di chuyển với vận tốc:

$$\begin{aligned}
v_g &= \frac{\frac{1}{2}(\omega_1 - \omega_2)}{\frac{1}{2} \left(\frac{\omega_1}{v_1} - \frac{\omega_2}{v_2} \right)} = \frac{2\pi(f_1 - f_2)}{2\pi \left(\frac{f_1}{v_1} - \frac{f_2}{v_2} \right)} = \frac{f_1 - f_2}{\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}} = \frac{\left(\frac{v_1}{\lambda_1} - \frac{v_2}{\lambda_2} \right)}{\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)} \\
&= \frac{\left(\frac{v_1}{\lambda_1} - \frac{v_1}{\lambda_2} + \frac{v_1}{\lambda_2} - \frac{v_2}{\lambda_2} \right)}{\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)} = v_1 - \lambda_1 \frac{v_2 - v_1}{\lambda_2 - \lambda_1}
\end{aligned} \tag{3.6}$$

Trong đó λ_1 và λ_2 là các bước sóng với tín hiệu tương ứng.

Đối với các tín hiệu có băng thông hẹp liên quan đến tần số sóng mang, ví dụ như tín hiệu GPS, chúng ta có thể thay thế $v_2 - v_1$ bằng vi phân dv , thay thế $\lambda_2 - \lambda_1$ bằng vi phân $d\lambda$, và thay thế λ_1 bằng λ_2 , và thêm chỉ số dưới dòng p vào v để biểu thị vận tốc pha một cách rõ ràng để thu được

$$v_g = v_p - \lambda \frac{dv_p}{d\lambda} \tag{3.7}$$

Chỉ ra rằng sự khác biệt giữa vận tốc nhóm và vận tốc pha phụ thuộc vào cả bước sóng và tốc độ thay đổi vận tốc pha với chiều dài bước sóng.

Các chỉ số khúc xạ tương ứng được liên hệ với nhau bởi

$$n_g = n_p + f \frac{dn_p}{df} \tag{3.8}$$

Trong đó các chỉ số khúc xạ được hiểu là:

$$n_p = \frac{c}{v_p} \quad n_g = \frac{c}{v_g} \tag{3.9}$$

Và f biểu thị tần số tín hiệu. Trong môi trường không phân tán, sự truyền sóng độc lập về tần số. Pha tín hiệu và thông tin tín hiệu truyền ở tốc độ như nhau là $v_g = v_p$ và $n_g = n_p$.

3.6 Hiệu ứng tầng điện ly:

Tầng điện ly là môi trường phân tán nằm chủ yếu trong vùng bầu khí quyển, nằm trên bề mặt trái đất khoảng từ 70km đến 1,000km. Trong vùng này, tia cực tím từ mặt trời làm ion hóa một phần các phân tử khí và giải phóng các electron tự do. Các electron tự do này có ảnh hưởng đến việc truyền sóng điện từ, bao gồm việc phát sóng tín hiệu vệ tinh GPS.

Chỉ số khúc xạ đối với việc truyền pha trong tầng điện ly có thể được ước tính như sau [43]:

$$n_p = 1 + \frac{c_2}{f^2} + \frac{c_3}{f^3} + \frac{c_4}{f^4} \dots \quad (3.10)$$

trong đó hệ số c_2 , c_3 , và c_4 là độc lập với tần số nhưng là một hàm của số electron (ví dụ mật độ electron) theo đường truyền tín hiệu từ vệ tinh tới người dùng. Mật độ electron được biểu thị là n_e . Có thể có một cách biểu thị tương tự cho n_g bằng cách lấy vi phân (3.10) với tần số và thay thế kết quả (3.10) vào (3.8). Kết quả như sau:

$$n_g = 1 - \frac{c_2}{f^2} - \frac{2c_3}{f^3} - \frac{3c_4}{f^4} \dots$$

Bỏ qua các phương trình bậc cao, có được phép xấp xỉ sau:

$$n_p = 1 + \frac{c_2}{f^2} \quad n_g = 1 - \frac{c_2}{f^2} \quad (3.11)$$

Hệ số c được ước tính bằng $c_2 = -40.3 n_e \text{ Hz}^2$. Viết lại như sau:

$$n_p = 1 - \frac{40.3n_e}{f^2} \quad n_g = 1 + \frac{40.3n_e}{f^2} \quad (3.12)$$

Sử dụng (3.9), vận tốc pha và vận tốc nhóm có thể được tính như sau:

$$v_p = \frac{c}{1 - \frac{40.3n_e}{f^2}} \quad v_g = \frac{c}{1 + \frac{40.3n_e}{f^2}} \quad (3.13)$$

Quan sát thấy rằng vận tốc pha sẽ vượt qua vận tốc nhóm. Vận tốc chuyển động chậm dần của vận tốc nhóm ngang bằng với sự sớm pha của pha sóng mang đối với sự

lan truyền trong không gian tự do. Trong trường hợp với GPS, nó chuyển thành thông tin tín hiệu (ví dụ mã nhiễu ngẫu nhiên (PRN) và dữ liệu định vị/định hướng) bị trễ và pha sóng mang trải qua một sự sớm pha, hiện tượng được gọi là phân kỳ tầng điện ly. Quan trọng là độ lớn sai số khi đo khoảng cách giả và sai số khi đo pha sóng mang (đều bằng mét) ngang bằng nhau, chỉ có tín hiệu là khác nhau. Việc giá trị đo pha sóng mang giảm đi do có các electron tự do trong tầng điện ly có thể được giải thích qua trực giác rằng do trên thực tế, khoảng cách từ đỉnh sóng này đến đỉnh sóng kia trong điện trường của tín hiệu được kéo dài phần đường đi tín hiệu ở trong tầng điện ly.

Khoảng cách đo được là:

$$S = \int_{SV}^{User} n ds \quad (3.14)$$

Ở đó SV là vị trí của máy vệ tinh trên đường truyền, còn User là vị trí của máy thu trên đường truyền tín hiệu, n là chỉ số khúc xạ dọc đường truyền tín hiệu, ds là vi phân độ dài khoảng cách đo được theo phương truyền.

Trong khi khoảng cách LOS (hình học) là:

$$l = \int_{SV}^{User} dl \quad (3.15)$$

Sai khác độ dài đường truyền do sự khúc xạ điện ly là:

$$\Delta S_{iono} = \int_{SV}^{User} n ds - \int_{SV}^{User} dl \quad (3.16)$$

Độ trễ gây ra bởi chỉ số khúc xạ pha là:

$$\Delta S_{iono,p} = \int_{SV}^{User} \left(1 - \frac{40.3n_e}{f^2}\right) ds - \int_{SV}^{User} dl \quad (3.17)$$

Tương tự độ trễ gây ra bởi chỉ số khúc xạ nhóm là:

$$\Delta S_{iono,g} = \int_{SV}^{User} \left(1 + \frac{40.3n_e}{f^2}\right) ds - \int_{SV}^{User} dl \quad (3.18)$$

Vì độ trễ sẽ nhỏ hơn so với khoảng cách từ vệ tinh đến người dùng, chúng ta rút gọn (3.17) và (3.18) bằng cách lấy tích phân phương trình đầu tiên theo đường dẫn LOS. Do đó, ds chuyển thành dl , và bây giờ chúng ta có:

$$\Delta S_{iono,p} = -\frac{40.3}{f^2} \int_{SV}^{User} n_e dl, \quad \Delta S_{iono,g} = \frac{40.3}{f^2} \int_{SV}^{User} n_e dl \quad (3.19)$$

Mật độ electron theo chiều dài đường dẫn được gọi là *tổng số electron* (TEC) và được xác định là:

$$TEC = \int_{SV}^{User} n_e dl$$

Tổng số electron (TEC) được thể hiện bằng đơn vị electron/m² hoặc đôi khi là *đơn vị TEC* (TECU) trong đó 1 TECU bằng 10¹⁶ electrons/m². TEC là hàm thời gian của một ngày, vị trí người dùng, góc ngẩng vệ tinh, mùa, dòng ion hóa, hoạt động từ tính, chu kỳ vết đen mặt trời và chỉ báo nhấp nháy. Nó dao động trong khoảng từ 10¹⁶ và 10¹⁹, với hai thái cực lần lượt diễn ra vào nửa đêm và giữa buổi chiều. Bây giờ chúng ta có thể viết lại (3.19) theo TEC:

$$\Delta S_{iono,p} = -\frac{40.3 TEC}{f^2}, \quad \Delta S_{iono,g} = \frac{40.3 TEC}{f^2} \quad (3.20)$$

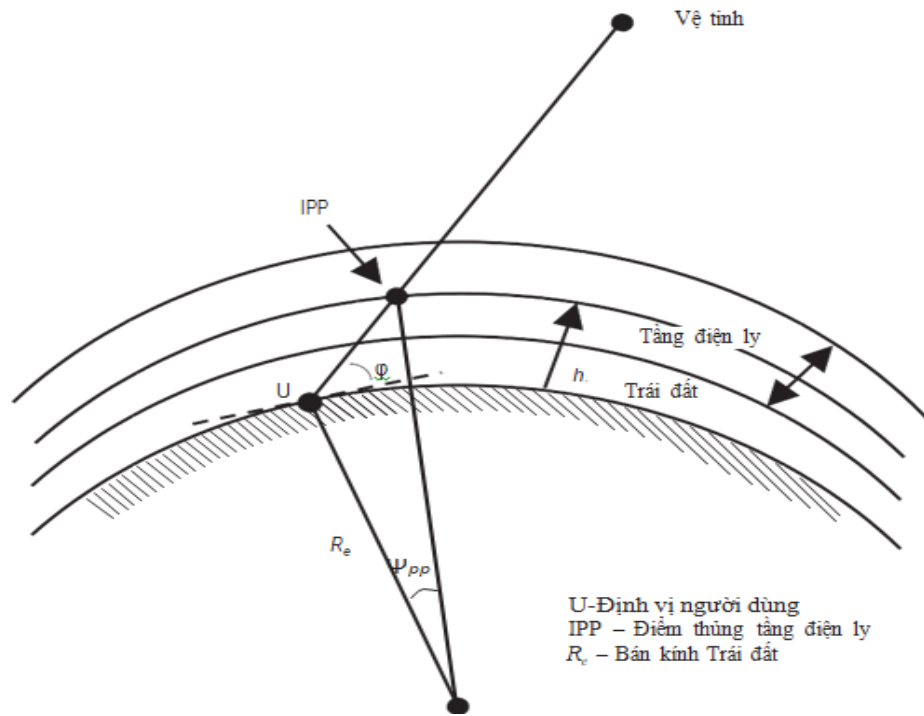
Vì TEC thường được chiếu theo phương thẳng đứng qua tầng điện ly, biểu thức bên trên thể hiện độ trễ đường dẫn theo phương thẳng đứng với vệ tinh tại góc ngẩng là 90° (ví dụ: góc thiên đỉnh). Với các góc ngẩng khác, chúng ta nhân (3.20) với một *hệ số góc nghiêng*. Hệ số góc nghiêng, được gọi là *hàm ánh xạ*, giải thích cho sự tăng lên của chiều dài đường dẫn mà tín hiệu sẽ dịch chuyển trong tầng điện ly. Rất nhiều mô hình hiện có cho hệ số góc nghiêng. Một ví dụ từ [44] là (phương trình được xác định trong Hình 3.4):

$$F_{pp} = \left[1 - \left(\frac{R_e \cos \phi}{R_e + h_I} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3.21)$$

Chiều cao của mật độ electron tối đa, h_I, trong mô hình này là 350 km. Khi cộng thêm hệ số góc nghiêng, biểu thức độ trễ đường dẫn từ (3.20) trở thành.

$$\Delta S_{iono,p} = -F_{pp} \frac{40.3 TEC}{f^2}, \quad \Delta S_{iono,g} = F_{pp} \frac{40.3 TEC}{f^2}$$

Vì độ trễ tầng điện ly là tần số độc lập, nó có thể gần như bị loại bỏ bằng cách thực hiện các phép đo khác nhau bằng một máy thu tần số kép. Sự chênh lệch phép đo khoảng cách giả đã được thực hiện ở cả L1 và L2 cho phép ước lượng độ chậm chễ của cả L1 và L2 (bỏ qua sai số tiếng ồn máy thu và đa đường dẫn). Đây là ước lượng cấp một, vì chúng dựa vào (3.11). Khoảng cách giả của tự do tầng điện ly có thể được hình thành như [34]:



Hình 3.4 Mô hình hình học tầng điện ly

$$\rho_{\text{tự do tầng điện ly}} = \frac{\rho_{L2} - \gamma \rho_{L1}}{1 - \gamma} \quad (3.22)$$

Ở đó $\gamma = (f_{L1}/f_{L2})^2$. Mặc dù sai số độ trễ tầng điện ly bị loại bỏ, phương pháp tiếp cận này có hạn chế là sai số phép đo bị phóng đại đáng kể thông qua sự kết hợp. Một phương pháp được ưu tiên đó là sử dụng phép đo khoảng cách giả L1 và L2 để ước lượng sai số tầng điện ly trong L1 sử dụng biểu thức sau:

$$\Delta S_{iono, corr_{L1}} = \left(\frac{f_{L2}^2}{f_{L2}^2 - f_{L1}^2} \right) (\rho_{L1} - \rho_{L2}) \quad (3.23)$$

Sự sai khác độ dài đường truyền có thể được ước tính bằng việc nhân $\Delta S_{iono, corr_{L1}}$ với hệ số $(f_1/f_2)^2 = (77/60)^2$

Những hiệu chỉnh ước tính có thể bị mất đi theo thời gian, vì sai số độ trễ tầng điện ly thường không thay đổi quá nhanh và bị trừ đi từ các phép đo giả cụ thể đi được thực hiện theo từng tần số.

Đối với máy thu đơn tần, hiển nhiên là (3.23) không thể sử dụng được hay không thể ước lượng được.

3.7 Độ trễ tầng đối lưu

Tầng đối lưu là phần dưới của bầu khí quyển, không phân tán đối với tần số lên tới 15 GHz [43]. Trong môi trường đó, vận tốc nhóm và pha liên kết với sóng mang

GPS và thông tin tín hiệu (mã PRN và dữ liệu định hướng / định vị) trong cả L1 và L2 bị chậm ngang nhau trong việc truyền tải trong không gian tự do. Độ trễ đó là một hàm của chỉ số khúc xạ tầng đối lưu, phụ thuộc vào nhiệt độ địa phương, áp suất, và độ ẩm tương đối. Phần còn lại không được bù lại, phạm vi tương đương với độ trễ này có thể dao động trong khoảng từ 2.4m đối với vệ tinh tại thiên đỉnh và người dùng ở mực nước biển, tới khoảng 25m đối với vệ tinh tại góc nâng (elevation angle) xấp xỉ 5° [43].

Từ (3.16), chúng ta có thể thấy rằng độ chênh lệch chiều dài đường truyền do độ trễ tầng đối lưu là:

$\Delta S_{tropo} = \int_{SV}^{User} (n - 1) ds$ với phép tích phân lấy theo đường truyền tín hiệu. (Các ký hiệu trong công thức có thể xem lại Mục 3.6)

Sự sai khác trong độ dài đường dẫn, thể hiện dưới dạng chỉ số khúc xạ:

$$\Delta S_{tropo} = 10^{-6} \int_{SV}^{User} N ds \quad (3.24)$$

Trong đó chỉ số khúc xạ N được tính xấp xỉ bằng:

$$N \equiv 10^6 (n - 1)$$

Chỉ số khúc xạ thường được mô hình hóa bao gồm cả thành phần khô (thủy tĩnh) và ẩm (không thủy tĩnh) [45]. Thành phần khô, phát sinh từ không khí khô, làm độ trễ tầng đối lưu tăng lên tới khoảng 90% và có thể được dự đoán rất chính xác. Thành phần ẩm, phát sinh từ hơi nước, rất khó để dự đoán do sự bất định trong phân bố khí quyển. Cả hai thành phần đều mở rộng tới độ cao khác nhau trong tầng đối lưu; lớp khô mở rộng tới độ cao khoảng 40 km, trong khi thành phần ẩm mở rộng tới độ cao khoảng 10 km.

Chúng ta xác định $N_{d,0}$ và $N_{w,0}$ giống như các chỉ số khúc xạ của thành phần khô và ẩm lần lượt theo mực nước biển chuẩn. Để thể hiện cả $N_{d,0}$ và $N_{w,0}$ theo áp suất và nhiệt độ, có thể sử dụng công thức [46]:

$$N_{d,0} \approx a_1 \frac{\rho_0}{T_0}$$

Với

ρ_0 = áp suất thành phần của thành phần khô tại mực nước biển chuẩn (mbar)

T_0 = nhiệt độ tuyệt đối tại mực nước biển chuẩn (K)

a_1 = hằng số thực nghiệm (77.624 K/mbar)

$$N_{w,0} \approx a_2 \frac{e_0}{T_0} + a_3 \frac{e_0}{T_0^2}$$

Trong đó a_2 và a_3 là hằng số thực nghiệm (lần lượt là -12.92 K/mbar và $371,900$ K²/mbar).

Độ trễ đường dẫn cũng thay đổi đối với chiều cao của người dùng, h . Do đó, cả chỉ số khúc xạ của thành phần khô và ẩm đều phụ thuộc vào điều kiện khí quyển ở chiều cao của người dùng trên elipxoit tham chiếu. Một mô hình xem xét về chiều cao và minh họa thành công trong [47], liên kết các phần được trích dẫn trong [45, 46, 48, 49]. Thành phần khô cũng như một hàm của chiều cao được xác định bởi:

$$N_d(h) = N_{d,0} \left[\frac{h_d - h}{h_d} \right]^\mu$$

và h_d , phần mở rộng bên trên của thành phần khô trong tầng đối lưu được quy chiếu với mực nước biển, được xác định bằng:

$$h_d = 0.011385 \frac{\rho_0}{N_{d,0} \times 10^{-6}} \quad (3.25)$$

Trong đó μ bắt nguồn từ việc sử dụng cơ bản từ định luật khí lý tưởng. Hopfield [45] phát hiện ra rằng cài đặt $\mu = 4$ cho kết quả tốt nhất đối với mô hình.

Tương tự hệ số khúc xạ, $N_w(h)$, của thành phần ẩm trong tầng đối lưu được xác định bởi:

$$N_w(h) = N_{w,0} \left[\frac{h_w - h}{h_w} \right]^\mu \quad (3.26)$$

trong đó h_w là phần mở rộng của thành phần ẩm trong tầng đối lưu được xác định bởi:

$$h_w = 0.011385 \frac{1}{N_{w,0} \times 10^{-6}} \left[\frac{1.255}{T_0} + 0.005 \right] e_0$$

Độ chênh lệch chiều dài đường dẫn khi vệ tinh ở thiên đỉnh và người dùng ở mực nước biển là:

$$\Delta S_{tropo} = 10^{-6} \int_{h=0}^{h_d} N_d(h) dh + 10^{-6} \int_{h=0}^{h_w} N_w(h) dh \quad (3.27)$$

Thay (3.25) và (3.26) vào (3.27), ta có:

$$\Delta S_{tropo} = \frac{10^{-6}}{5} [N_{d,0} h_d + N_{w,0} h_w] = d_{dry} + d_{wet} \quad (3.28)$$

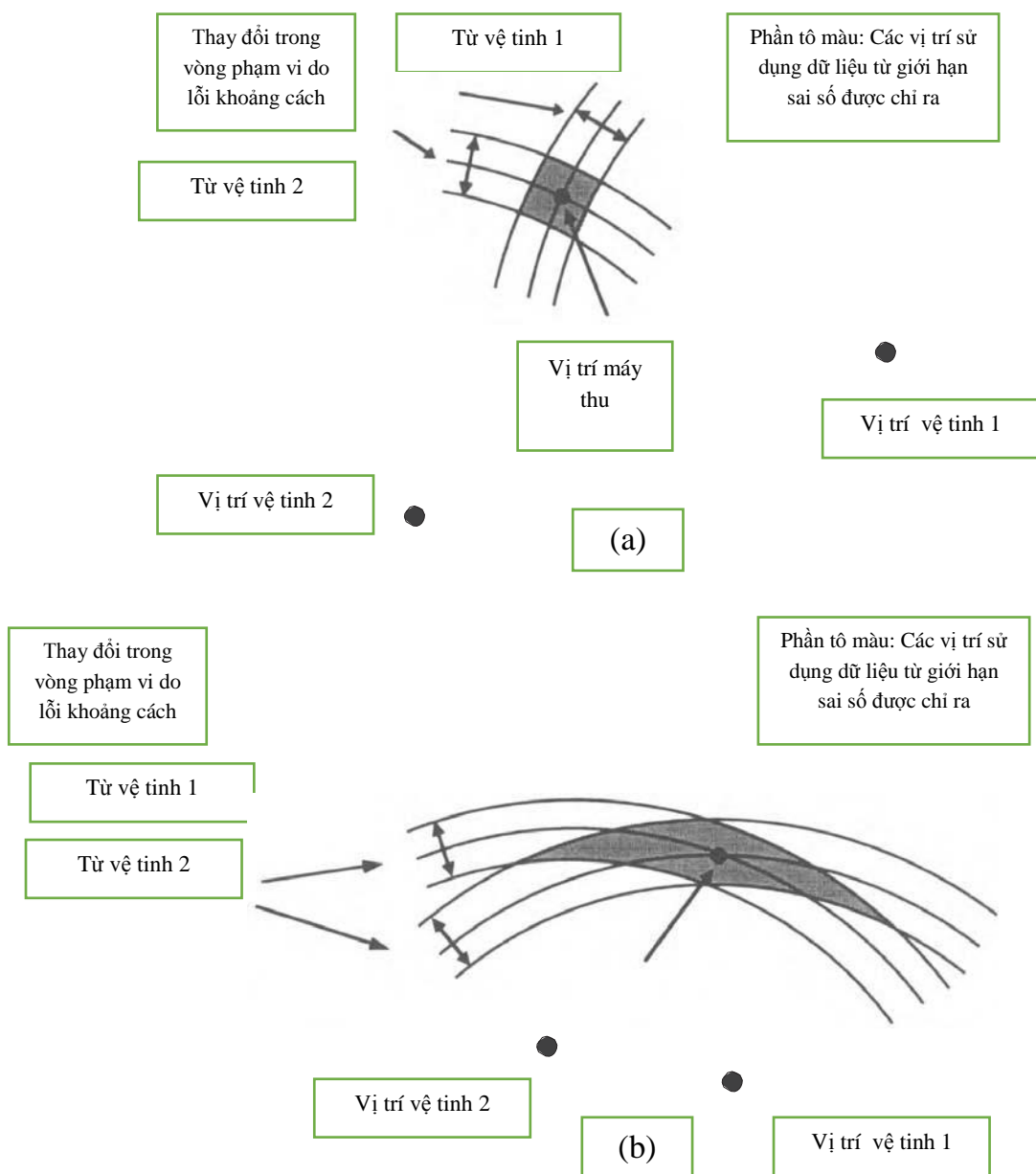
Để tính phép hiệu chỉnh tầng đối lưu trong (3.28), đầu vào cần có áp suất và nhiệt độ, ta có thể thu thập các thông số này bằng cách sử dụng thiết bị cảm biến khí tượng. Khi vệ tinh không ở thiên đỉnh, cần xây dựng mô hình hàm ánh xạ để xác định độ trễ tầng bao nhiêu nếu chiều dài đường dẫn của tín hiệu tăng lên khi đi qua tầng đối lưu. *Độ trễ của vệ tinh tại thiên đỉnh* thường được gọi là *độ trễ thẳng đứng* hoặc *độ trễ thiên đỉnh* và độ trễ của vệ tinh tại góc nâng bất kỳ được gọi là *độ trễ nghiêng*.

3.8 Sai số dạng hình học

Để hiểu tại sao dạng hình học vệ tinh lại gây sự mất chính xác trong phép đo khoảng cách được áp dụng trong GPS, ta xem xét một ví dụ giữa vị trí của máy thu đối với 2 vệ tinh được máy thu nhìn thấy. Trong ví dụ này, máy thu tìm cách xác định vị

trí của mình từ phép đo khoảng cách từ 2 vệ tinh. Giả thiết rằng người sử dụng (máy thu) có đồng hồ đồng bộ về thời gian với 2 vệ tinh và biết được vị trí của 2 vệ tinh cũng như các thời điểm truyền tín hiệu của chúng. Máy thu tính toán thời gian truyền của mỗi vệ tinh và chỉ ra khoảng cách từ máy thu tới từng vệ tinh. Máy thu xác định vị trí của nó bằng phép giao các vòng tròn được chỉ ra từ khoảng cách từ máy thu đến các vệ tinh (với tâm là các vị trí vệ tinh).

Do sự xuất hiện của các sai số đo lường, các vòng tròn khoảng cách được sử dụng để tính vị trí máy thu sẽ bị sai số và dẫn tới sai số trong vị trí được tính toán. Khái niệm độ mất chính xác là khái niệm về sai số vị trí bắt nguồn từ các sai số đo lường tùy thuộc vào dạng hình học giữa các vệ tinh và máy thu mà nó được mô tả trong hình 3.5.



Hình 3.5 Hình học tương đối và mất độ chính xác: (a) hình học với DOP thấp, và (b) hình học với DOP cao

Trong hình 3.5(a), góc vuông giữa 2 vệ tinh lớn hơn góc giữa 2 vệ tinh trong hình 3.5 (b) với tâm các góc là vị trí thực của máy thu.

Các phần của các vòng tròn khoảng cách không sai số được chỉ ra và giao tại vị trí máy thu. Những đoạn thẳng trong vòng tròn được thêm vào để mô tả sự biến thiên của vị trí trong vòng tròn khoảng cách dẫn tới các sai số khoảng cách từ máy thu tới vệ tinh. Khoảng cách sai số được mô tả trong cả 2 hình là giống nhau. Các thành phần được tô màu chỉ một tập các vị trí có thể nhận được nếu một máy thu sử dụng các phép đo khoảng cách với các giới hạn lỗi được mô tả. Sự chính xác của vị trí được tính toán của 2 trường hợp rất khác nhau. Với cùng độ biến thiên sai số đo lường, dạng hình học trong hình học 3.5(b) gây ra nhiều sai số trong tính toán vị trí máy thu hơn dạng hình học 3.5 (a) một cách đáng kể, và hiển nhiên đây đơn thuần là phép đối sánh các phần được tô màu. Dạng hình học trong hình 3.5(b) như thế có độ mất chính xác cao hơn dạng hình học trong hình 3.5(a). Đối với các sai số đo lường được so sánh, dạng hình học trong hình 3.5(b) gây ra một lượng sai số lớn hơn trong quá trình tính toán vị trí.

Nguồn gốc căn bản của hệ thức DOP trong GPS bắt đầu bằng sự tuyến tính hóa của các phương trình khoảng cách giả được đưa ra tại Mục 2.3.2 (12a).

$$H\Delta x = \Delta\rho \quad (3.29)$$

Với

$$H = \begin{bmatrix} \frac{X_{Ges} - X_{Sat_1}}{R_{Ges_1}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat_1}}{R_{Ges_1}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat_1}}{R_{Ges_1}} & 1 \\ \frac{X_{Ges} - X_{Sat_2}}{R_{Ges_2}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat_2}}{R_{Ges_2}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat_2}}{R_{Ges_2}} & 1 \\ \frac{X_{Ges} - X_{Sat_3}}{R_{Ges_3}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat_3}}{R_{Ges_3}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat_3}}{R_{Ges_3}} & 1 \\ \frac{X_{Ges} - X_{Sat_4}}{R_{Ges_4}} & \frac{Y_{Ges} - Y_{Sat_4}}{R_{Ges_4}} & \frac{Z_{Ges} - Z_{Sat_4}}{R_{Ges_4}} & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Delta x = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ c \Delta t_0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta\rho = \begin{bmatrix} PSR_1 - R_{Ges_1} \\ PSR_2 - R_{Ges_2} \\ PSR_3 - R_{Ges_3} \\ PSR_4 - R_{Ges_4} \end{bmatrix}$$

Khi tuyến tính hóa, ta thu được một định thức Jacobi (3.29) để liên kết sự thay đổi trong vị trí người dùng và độ lệch thời gian với sự thay đổi về giá trị khoảng cách giả. Mỗi liên hệ này được đảo ngược theo giải thuật và được sử dụng để liên kết hiệp phương sai của vị trí người dùng và độ lệch thời gian với hiệp phương sai của sai số khoảng cách giả. Các thông số DOP được định nghĩa là các yếu tố hình học, liên kết

các thông số về sai số vị trí người dùng và độ lệch thời gian với các thông số của sai số khoảng cách giả.

Rõ ràng độ lệch Δx trong vị trí người dùng và độ lệch thời gian so với điểm tuyến tính có liên quan tới độ chênh lệch về giá trị $\Delta \mathbf{p}$ khoảng cách giả không sai số bằng phương trình (3.29).

Véc-tơ Δx có bốn thành phần. Ba thành phần đầu là độ chênh lệch vị trí của người dùng với vị trí tuyến tính hóa; thành phần thứ tư là độ chênh lệch về thời gian người dùng từ độ chênh lệch được giả định tại vị trí tuyến tính hóa. $\Delta \mathbf{p}$ là véc-tơ chênh lệch giữa các giá trị khoảng cách giả không sai số tương ứng với vị trí thực tế của người dùng và các giá trị khoảng cách giả phù hợp với điểm tuyến tính hóa. H là ma trận $n \times 4$.

Ta kí hiệu lại ma trận H như sau:

$$H = \begin{bmatrix} a_{x1} & a_{y1} & a_{z1} & 1 \\ a_{x2} & a_{y2} & a_{z2} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{xn} & a_{yn} & a_{zn} & 1 \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

và $\mathbf{a}_i = (\mathbf{a}_{xi}, \mathbf{a}_{yi}, \mathbf{a}_{zi})$ là véc-tơ đơn vị chỉ ra từ điểm tuyến tính hóa tới vị trí của vệ tinh thứ i . Nếu $n = 4$ và dữ liệu từ bốn vệ tinh được sử dụng, và điểm tuyến tính hóa gần với vị trí người dùng, vị trí người dùng và chênh lệch thời gian có thể thu được bằng việc giải (3.29) để tìm x (ví dụ: Nếu điểm tuyến tính hóa đủ gần với vị trí người dùng, không cần phải lặp lại). Thu được:

$$\Delta x = H^{-1} \Delta \rho \quad (3.31)$$

Với độ chênh lệch của vị trí người dùng từ điểm tuyến tính hóa được thể hiện là một hàm tuyến tính của $\Delta \mathbf{p}$. Trong trường hợp $n > 4$, phương pháp bình phương nhỏ nhất có thể được áp dụng để giải (3.29) tìm x [Phụ lục A của [2]]. Kết quả của phép bình phương nhỏ nhất có thể thu được bằng cách nhân vế trái của (3.29) với ma trận chuyển vị của H , thu được $H^T H \Delta \mathbf{x} = H \Delta \mathbf{p}$. Ma trận ghép $H^T H$ là một ma trận vuông 4×4 , và một ma trận có thể giải để tìm x bằng cách nhân cả hai vế với ma trận nghịch đảo, $(H^T H)^{-1}$. (Ma trận này sẽ cung cấp điểm đầu của véc-tơ đơn vị \mathbf{a}_i tất cả không cùng nằm trên một mặt phẳng). Thu được:

$$\Delta x = (H^T H)^{-1} H^T \Delta \rho \quad (3.32)$$

là công thức bình phương nhỏ nhất khi Δx là một hàm của $\Delta \mathbf{p}$. Chúng ta quan sát được rằng nếu $n = 4$, $(H^T H)^{-1} = H^{-1} (H^T)^{-1}$ và (3.32) thu về (3.31).

Phép đo khoảng cách giả có sai số và có thể được coi như là một sự kết hợp của ba giá trị:

$$\Delta\rho = \rho_T - \rho_L + dp \quad (3.33)$$

trong đó ρ_T là véc tơ các giá trị khoảng cách giả không sai số, ρ_L là véc tơ các giá trị khoảng cách giả được tính tại điểm tuyến tính hóa, và dp biểu thị cho sai số thực của các giá trị khoảng cách giả. Tương tự, Δx có thể được biểu thị như sau:

$$\Delta x = x_T - x_L + dx \quad (3.34)$$

Trong đó x_T là thời gian và vị trí không có sai số, x_L là thời gian và vị trí được xác định của điểm tuyến tính hóa, và dx là sai số ước tính thời gian và vị trí. Thay (3.34) và (3.33) vào (3.32), sử dụng mối liên hệ $x_T - x_L = (H^T H)^{-1} H^T (\rho_T - \rho_L)$ — tuân theo quan hệ $H(x_T - x_L) = (\rho_T - \rho_L)$, do viết lại (3.29) — ta thu được:

$$dx = [(H^T H)^{-1} H^T] dp = K dp \quad (3.35)$$

Ma trận K được xác định bằng biểu thức trong ngoặc. Phương trình (3.35) chỉ ra mối quan hệ hàm số giữa các sai số các giá trị khoảng cách giả và các sai số phát sinh trong quá trình tính độ lệch thời gian và vị trí. Nếu như điểm tuyến tính hóa đủ gần với vị trí người dùng và các sai số khoảng cách giả đủ nhỏ thì các lỗi trong việc thực hiện tuyến tính hóa có thể được bỏ qua.

Phương trình (3.35) thể hiện mối liên hệ cơ bản giữa sai số khoảng cách giả và sai số khi tính toán độ lệch thời gian và vị trí. Ma trận $(H^T H)^{-1} H^T$, đôi khi được gọi là ma trận giải bình phương nhỏ nhất, là ma trận $4 \times n$ và chỉ phụ thuộc vào dạng hình học tương đối của người dùng và các vệ tinh tham gia vào việc giải bình phương nhỏ nhất. Trong nhiều ứng dụng, dạng hình học người dùng/ vệ tinh có thể được xem là cố định, và (3.35) tạo ra một mối quan hệ tuyến tính giữa sai số khoảng cách giả và sai số độ lệch thời gian và vị trí phát sinh.

Theo [2] Độ mất chính xác hình học GDOP sẽ được tính từ các thành phần của $(H^T H)^{-1}$ bằng việc thể hiện $(H^T H)^{-1}$ dưới dạng các thành phần:

$$(H^T H)^{-1} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{34} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{44} \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

Và GDOP có thể được tính toán giống như căn bậc hai của vết ma trận $(H^T H)^{-1}$:

$$GDOP = \sqrt{D_{11} + D_{22} + D_{33} + D_{44}} \quad (3.37)$$

Một số thông số DOP khác cũng được sử dụng cho việc mô tả đặc tính chính xác của các thành phần thời gian/vị trí. Chúng được gọi là độ mất chính xác về vị trí (PDOP), độ mất chính xác theo phương ngang (HDOP), độ mất chính xác theo phương dọc (VDOP), và độ mất chính xác về thời gian (TDOP). Các thông số DOP này được tính như sau:

$$\text{PDOP} = \sqrt{D_{11} + D_{22} + D_{33}} \quad (3.38)$$

$$\text{HDOP} = \sqrt{D_{11} + D_{22}} \quad (3.39)$$

$$\text{VDOP} = \sqrt{D_{33}} \quad (3.40)$$

$$\text{TDOP} = \sqrt{D_{44}}/c \quad (3.41)$$

3.9 SNR của tín hiệu GPS và các yếu tố ảnh hưởng đến SNR

SNR là một phép đo lường thường được dùng trong khoa học và kỹ nghệ, nó biểu diễn tỉ lệ năng lượng tín hiệu trên năng lượng nhiễu trong một băng thông cho trước. Nó cũng là một trong những phương pháp để chỉ ra chất lượng tín hiệu hay cường độ tín hiệu trong viễn thông, đặc biệt là trong lĩnh vực công nghệ GPS.

Mục này đề cập đến 3 lớp chung về sự suy hao kênh tần số radio mà chúng làm giảm chất lượng tín hiệu. Lớp suy hao đầu tiên là nhiễu, được nói ở phần 3.9.1. Các tín hiệu tần số radio từ bất kỳ một nguồn không xác định được một thiết bị GPS thu đều được xem như nhiễu. Nhiễu thường không định trước. Nhiễu cũng có thể được định trước, mà ở trong trường hợp này nó thường được gọi như sự tự gây nhiễu.

Phần 3.9.2 sẽ đề cập đến lớp thứ 2 gây suy hao tín hiệu tần số radio, mà nó gọi là yếu tố đa đường. Luôn có những bề mặt phản xạ trong không gian giữa vệ tinh GPS với thiết bị thu của người dùng dẫn đến nhiều lần phản xạ của tín hiệu khi tới được thiết bị thu. Những sự phản xạ này được gọi là yếu tố đa đường, một thuật ngữ được bắt nguồn từ sự thật là từng tín hiệu được truyền sẽ truyền qua nhiều con đường để tới thiết bị thu- một đường trực tiếp và một số đường không trực tiếp (phản xạ).

Lớp thứ 3 (3.9.3) gây suy hao kênh được kể đến là sự nhấp nháy của tầng điện ly. Tính chập chờn tầng điện ly là hiện tượng tắt dần tín hiệu mà nguyên nhân do sự bất thường của tầng điện ly trong khí quyển của Trái Đất.

Ngoài ra 2 phần cuối (3.9.4, 3.9.5) là những kiến thức thu thập về ảnh hưởng của tầng đối lưu và yếu tố hình học vệ tinh với năng lượng tín hiệu.

3.9.1 Nhiễu tần số radio

Bởi vì các thiết bị thu GPS hoạt động trên các sóng tần số radio mở rộng, nên chúng có thể bị ảnh hưởng bởi nhiễu tần số radio (nhiễu không định trước hay có định

trước). Nhiều tần số radio có thể dẫn tới giảm sự chính xác trong định vị và mất hoàn toàn quá trình theo dõi thiết bị thu.

Nhiều thông thường được chia thành nhiều băng tần rộng và băng tần hẹp, phụ thuộc vào việc băng thông của nó là lớn hay nhỏ so với băng thông tín hiệu GPS kỳ vọng. Chú ý rằng có thể coi nhiều là nhiều băng tần rộng đối với GPS L1 mã C/A còn L2C có thể băng tần hẹp với mã P(Y), mã M hoặc L5. Giới hạn cuối về nhiều băng tần hẹp là tín hiệu chỉ chứa một thành phần tần số, được gọi là sóng liên tục (CW). Nhiều RF có thể là không chủ đích hoặc có chủ đích (jamming). Có một mức độ nhiễu cố định giữa các tín hiệu của cùng một loại, mà ở đó tín hiệu từ các vệ tinh khác nhau trong một hệ thống nhiễu. Những nhiễu như thế được gọi là tự nhiễu hoặc nhiễu trong hệ thống. Nhiễu giữa 2 hệ thống định vị vệ tinh chẳng hạn như tín hiệu GPS và GALILEO được gọi là nhiễu liên hệ thống. Nếu như kỹ thuật giả lập vệ tinh được sử dụng, tính toán trong khoảng cách gần tới các thiết bị phát gần mặt đất hầu như sẽ chắc chắn gây ra nhiễu các tín hiệu vệ tinh, mặc dù các ảnh hưởng của nhiễu như vậy có thể được khử qua việc sử dụng các kỹ thuật burst (pulse) bởi các giả vệ tinh để khử chu trình nhiệm vụ. Sự thực, kỹ thuật có định trước băng tần rộng hiệu quả sử dụng một dạng sóng dựa trên một bộ điều chế giống nhau, có tần số sóng mang giống nhau, nên tạo ra *nhiều phổ như nhau*. Nếu mục đích việc truyền có chủ đích không chỉ phá vỡ tính toán GPS, mà còn sinh ra vị trí sai cho các thiết bị thu bị hại qua việc quảng bá các tín hiệu GPS sai, việc truyền đó được gọi là *spoofing*. Như một ví dụ spoofing, khi thiết bị thu GPS được kết nối với một thiết bị giả lập tín hiệu GPS để kiểm thử, thiết bị thu trong kiểm thử này đang bị lừa.

Jamming và spoofing có chủ đích phải được dự đoán trước trong quá trình thiết kế cho các thiết bị thu quân sự. Do đó, tất cả các lớp thiết bị gây nhiễu trong dải, bao gồm các thiết bị gây nhiễu đa truy cập (ví dụ, các thiết bị gây nhiễu từ một chuỗi các vị trí chiến lược), phải được xem xét trong thiết kế. Tuy nhiên trong phạm vi luận văn, tác giả sẽ sử dụng các thiết bị thu dân sự và thao tác với hệ thống vệ tinh thật nên phần nhiễu có chủ đích có thể bỏ qua.

Nhiều tần số radio không chủ đích có thể được dự tính ở những mức độ thấp khi một thiết bị thu GPS hoạt động thực tế ở bất kỳ đâu trên thế giới. Có một lượng lớn các hệ thống mà chúng ta phụ thuộc trong cuộc sống thường nhật dựa trên sự truyền năng lượng RF trong băng tần L. Chẳng hạn như ở Mỹ có những hệ thống trắc địa dùng để vẽ bản đồ và nghiên cứu địa hình, hệ thống dự báo thời tiết... Còn như ở Việt Nam, các ứng dụng về giám sát xe của các hãng taxi, cung cấp dịch vụ xe grab, uber...

Không thể tránh được việc một số năng lượng ngoài băng tần từ các tín hiệu trong các băng tần gần kề sẽ một vài lần rơi vào khoảng tần số được xử lý bởi thiết bị thu GPS. Năng lượng này có thể bắt nguồn từ hiệu ứng tràn năng lượng từ các băng tần ở ngay trên hoặc dưới một trong các tần số sóng mang GPS, từ các sự hòa âm (harmonics) hay từ các sản phẩm nội điều chế.

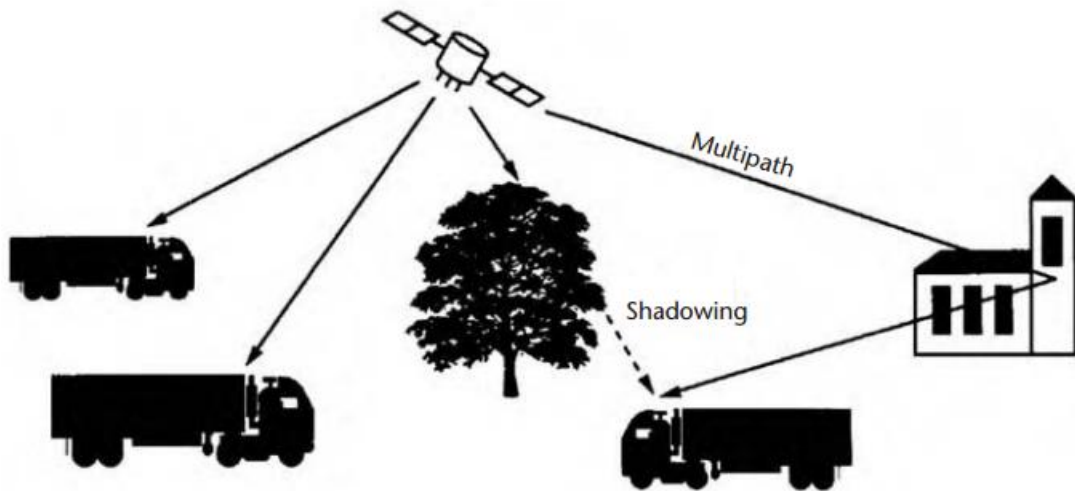
Nhiều không chủ đích bắt nguồn từ chính thiết bị thu, bao gồm sự mất mát qua dây cáp truyền (từ ăng ten đến thiết bị thu) và nhiễu trong chính thiết bị thu đó. Tín hiệu di chuyển trên cáp đồng trục giữa ăng ten và máy thu hay bộ khuếch đại bị tắt dần. Sự tắt dần phụ thuộc vào loại và chiều dài của dây cáp. Thêm vào đó sự không tương thích trở kháng giữa ăng ten và bộ kết nối thiết bị thu có thể sinh lỗi và mất mát.

3.9.2 Yếu tố đa đường

Các tiến bộ kỹ thuật không ngừng của lĩnh vực GPS đang làm giảm thiểu rất nhiều nguồn lỗi, chỉ còn yếu tố đa đường và bóng là có ý nghĩa và đôi khi có các đóng góp vượt trội với lỗi. Mục này bàn về các nguồn lỗi, các tác động của nó.

Đa đường là sự thu nhận các bản sao được phản xạ hay bị nhiễu xạ của tín hiệu nguyên gốc. Do đường truyền có sự phản xạ bao giờ cũng dài hơn đường truyền thẳng, nên hiệu ứng đa đường gây ra một độ trễ tương đối so với đường thẳng. Khi độ trễ đa đường là lớn, thiết bị thu phải có khả năng giải quyết hiệu ứng đa đường. Nếu thiết bị thu nhận và phát hiện được tín hiệu truyền theo đường thẳng (bao giờ cũng tới sớm hơn các thành phần đa đường khác), thì những tín hiệu đa đường chỉ gây tác động nhỏ tới hiệu năng. Tuy nhiên, nếu sự phản xạ đa đường xảy ra ở gần máy thu, hay thậm chí sự phản xạ ở vật thể ở xa (so với máy thu), cũng có thể làm cho tín hiệu tới trong độ trễ ngắn (một phần 10 hoặc 1000 của nano giây) ngay sau khi tín hiệu truyền theo đường thẳng tới. Những đa đường như thế bóp méo hàm tương quan giữa các tín hiệu hỗn hợp nhận được (đường thẳng cộng đa đường) và tín hiệu tự sinh cục bộ của thiết bị thu. Chúng có thể bóp méo pha tổng hợp của tín hiệu nhận được, sản sinh ra các lỗi trong các phép đo pha sóng mang và phạm vi giả mà chúng có kết quả khác nhiều so với các tín hiệu từ các vệ tinh khác nhau, và do đó gây lỗi về vị trí, vận tốc, thời gian.

Khác với hiệu ứng đa đường, hiệu ứng bóng là sự suy giảm tắt dần của tín hiệu truyền theo đường thẳng, điển hình, sẽ phát sinh nếu như đường thẳng truyền qua tán lá hoặc một kiến trúc. Trong khi hiệu ứng đa đường không có sự suy giảm tắt dần như vậy, năng lượng nhận được của đa đường có thể thậm chí còn lớn hơn năng lượng nhận được của đường thẳng có hiệu ứng bóng. Hiệu ứng này thường xuất hiện trong các tình huống ở ngoài trời, và cũng cả tình huống trong nhà, chẳng hạn đường truyền thẳng nhưng xuyên qua các bức tường, hay trần hay mái nhà, trong khi hiệu ứng đa đường phản xạ từ các tòa nhà khác, và đến qua cửa sổ đang đóng hoặc đang mở. Do đó, hiệu ứng bóng trên đường truyền thẳng và đa đường gây ảnh hưởng kết hợp tới độ dài tương đối của đường truyền thẳng và đường truyền có hiệu ứng đa đường. Trong một số trường hợp, hiệu ứng bóng trên đường truyền thẳng có thể ảnh hưởng trầm trọng tới mức thiết bị thu chỉ nhận được các tín hiệu đa đường.



Hình 3.6 Trường hợp đa đường ngoài trời.

Sai số được sản sinh do hiệu ứng đa đường không chỉ phụ thuộc vào độ trễ của chúng, mà còn phụ thuộc vào năng lượng và pha sóng mang có liên quan đến sai số của các đường truyền thẳng. Các đường truyền đa đường với năng lượng nhận được ít hơn nhiều năng lượng của đường truyền thẳng sẽ ít gây bóp méo tín hiệu nhận và do đó sinh ít lỗi. Pha sóng mang nhận được trên đường truyền đa đường so với pha sóng mang của đường truyền thẳng cũng có sự ảnh hưởng trực tiếp đến bậc và đặc tính của sự biến dạng.

3.9.3 Sự nhấp nháy tầng điện ly

Tính không đồng nhất hay bất thường của tầng điện ly trong khí quyển trái đất có thể nhiều lần dẫn đến hiện tượng mờ (suy giảm) khá nhanh trong mức năng lượng tín hiệu nhận được. *Hiện tượng này gọi là sự nhấp nháy điện ly, có thể dẫn tới thiết bị thu không thể theo dõi một hoặc một vài vệ tinh thấy được trong các khoảng thời gian ngắn.* Mục này diễn tả nguyên nhân gây chập chờn điện ly, đặc tả sự mờ dần liên quan đến tính chập chờn, và ảnh hưởng sự chập chờn này đến hiệu năng của máy thu.

Tầng điện ly là một vùng trong khí quyển trái đất từ độ cao khoảng 70 km trở lên đến một vài khu vực có bán kính trái đất cao hơn mà ở đó bức xạ mặt trời tới làm phân tách một phần nhỏ các thành phần trung tính thông thường thành các hạt electron tự do và các ion mang điện. Mật độ của các electron tự do là lớn nhất tại độ cao khoảng 350 km so với bề mặt trái đất vào ban ngày. Hầu hết thời gian, ảnh hưởng mang tính lý thuyết của sự hiện diện các electron tự do trong tầng điện ly gây ra sự trễ với tín hiệu. Tuy nhiên sự bất thường trong mật độ electron đôi khi gây ra nhiễu tích cực và tiêu cực trong từng tín hiệu. Các sự bất thường như vậy là phổ biến và gay gắt nhất sau lúc mặt trời lặn trong vùng gần xích đạo (trong khoảng $\pm 20^\circ$ từ xích đạo). Các vùng có vĩ độ cao hơn cũng chịu sự nhấp nháy, bớt gay gắt hơn nhiều so với vùng xích đạo, nhưng tiếp diễn trong các khoảng thời gian dài. Sự chập chờn cũng phổ biến và gay gắt hơn trong cao độ của vòng đời năng lượng mặt trời 11 năm.

3.9.4 Sự ảnh hưởng của tầng đối lưu

Tầng đối lưu là một phần của khí quyển và gần trái đất nhất. Nó trải rộng từ bề mặt tới khoảng 9 km ở các cực và 16 km ở xích đạo, nhưng cái cần xem xét là khu vực đỉnh của tầng đối lưu và tầng bình lưu, được nhiều nhà nghiên cứu GPS quan tâm. Do đó, hiệu ứng tầng đối lưu sẽ bao gồm các tầng trong khí quyển tới 50 km trên bề mặt trái đất.

Tầng đối lưu và điện ly có những tác động không giống nhau tới tín hiệu vệ tinh. Trong khi tầng đối lưu có sự khúc xạ tới tín hiệu GPS nhưng không hề liên quan đến tần số của nó. Sự khúc xạ tương đương với độ trễ trong quá trình truyền tín hiệu GPS của vệ tinh. Tầng đối lưu là một phần của tầng trung hòa điện của khí quyển trái đất nghĩa là nó không có ion. Tầng đối lưu cũng là môi trường không tán sắc đối với các tần số dưới 30GHz. Do đó L1, L2, và L5 có sự khúc xạ như nhau. Nghĩa là khoảng cách giữa vệ tinh và thiết bị thu sẽ chỉ dài hơn một tí so với giá trị thực.

Tuy nhiên, mật độ hơi nước ảnh hưởng tới tính nghiêm trọng của độ trễ tín hiệu khi nó truyền qua tầng đối lưu, qua đó ảnh hưởng tới năng lượng tín hiệu. Ví dụ, khi một vệ tinh gần phương ngang, độ trễ của tín hiệu gây ra bởi tầng đối lưu là lớn nhất. Độ trễ tầng đối lưu của tín hiệu từ vệ tinh ở đỉnh, ngay trên máy thu là nhỏ nhất.

Thành phần ẩm và khô của khúc xạ. Sự khúc xạ trong tầng đối lưu liên quan đến thành phần khô và ướt. Thành phần khô đóng góp hầu hết các độ trễ, từ 80% đến 90 % tương quan rất gần với áp suất không khí. Thành phần khô có thể dễ dàng đoán biết hơn thành phần ướt. May mắn là thành phần khô đóng góp phần lớn hơn các lỗi khoảng cách trong tầng đối lưu bởi vì độ lớn thành phần trễ của thành phần ướt phụ thuộc vào sự phân bố hơi nước có độ biến thiên cao trong khí quyển. Mặc dù thành phần ướt trong khí quyển gần bề mặt trái đất hơn, các phép đo nhiệt độ và độ ẩm không đủ mạnh để chỉ ra điều kiện trên đường đi giữa vệ tinh và thiết bị thu. Trong khi đó các công cụ có thể hỗ trợ cho các ý tưởng về điều kiện trên đường đi giữa vệ tinh và máy thu lại hữu dụng hơn trong việc mô hình hóa ảnh hưởng tầng đối lưu, chi phí cao trong việc gửi các máy bức xạ và máy thăm dò hơi nước lên tầng đối lưu, nói chung dẫn tới giới hạn việc sử dụng chúng cho các công việc GPS độ chính xác cao.

3.9.5 Yếu tố hình học của vệ tinh

Do tác giả tập trung vào việc xem xét giá trị SNR tín hiệu của từng vệ tinh đến máy thu nên dạng hình học tương đối của các vệ tinh đối với máy thu sẽ không ảnh hưởng tới SNR mà thay vào đó là sự ảnh hưởng vị trí tương đối của từng vệ tinh với máy thu mới được quan tâm.

Rõ ràng nếu như cùng một vị trí trên Trái Đất, nếu như góc nâng và góc phương vị của vệ tinh (trong hệ tọa độ xoay hướng tâm) khác nhau sẽ dẫn đến độ dài đường truyền tín hiệu từ vệ tinh tới vị trí máy thu là khác nhau. Truyền càng xa thì năng lượng tín hiệu bị suy hao càng nhiều dẫn tới chỉ số SNR cũng thay đổi theo. Ấy là

chưa kể nhiễu do tiếng ồn... phát sinh trong đường truyền dài hơn cũng gây ảnh hưởng tới chỉ số SNR.

Thêm vào đó, trong quá trình tín hiệu truyền từ vị trí vệ tinh tới vị trí máy thu, thì bản thân Trái Đất cũng tự quay quanh nó, dẫn tới vị trí tương đối giữa vệ tinh và máy thu ban đầu cũng sai khác đi. Vì thế yếu tố này cũng không được loại trừ trong việc xem xét các nguyên nhân ảnh hưởng tới chỉ số SNR.

3.10 Kết luận chương

Chương này tổng hợp và phân tích các yếu tố khác nhau ảnh hưởng sai số trong phép định vị vị trí người dùng trong cả ứng dụng dân sự lẫn quân sự. Đồng thời, cũng chỉ ra chi tiết SNR chịu sự ảnh hưởng của các yếu tố nào. Đây cũng là cơ sở lý thuyết cho việc thiết kế thực nghiệm để kiểm chứng sự ảnh hưởng của tầng đối lưu đối với chỉ số SNR và đồng thời xây dựng một ánh xạ 2 chiều từ sự biến thiên của chỉ số SNR trong từng điều kiện thời tiết tới việc kết luận trạng thái thời tiết đơn giản: có mưa hoặc không mưa. Khi ta biết được chi tiết những yếu tố này là gì, ảnh hưởng thế nào, và khi nào tới chỉ số SNR, ta có thể tìm cách lược bỏ hoặc hằng số hóa độ ảnh hưởng của các yếu tố này tới chỉ số SNR (ngoại trừ yếu tố tầng đối lưu), và khi đó ta sẽ xây dựng được phép suy một-một giữa sự biến thiên chỉ số SNR với trạng thái thời tiết như đã nói. Phép kiểm chứng còn thô sơ nhưng đã có kết quả bước đầu, tác giả sẽ trình bày chi tiết hơn ở chương 4.

4 CHƯƠNG 4. ĐÁNH GIÁ CƯỜNG ĐỘ TÍN HIỆU GPS BẰNG SMARTPHONE CHẠY ANDROID

4.1 Giới thiệu về ANDROID

Android là một hệ điều hành dựa trên nền tảng Linux được thiết kế dành cho các thiết bị di động có màn hình cảm ứng như điện thoại thông minh và máy tính bảng. Ban đầu, Android được phát triển bởi Tổng công ty Android, với sự hỗ trợ tài chính từ Google và sau này được chính Google mua lại vào năm 2005. Android ra mắt vào năm 2007 cùng với tuyên bố thành lập Liên minh thiết bị cảm tay mở: một hiệp hội gồm các công ty phần cứng, phần mềm, và viễn thông với mục tiêu đẩy mạnh các tiêu chuẩn mở cho các thiết bị di động. Chiếc điện thoại đầu tiên chạy Android được bán vào tháng 10 năm 2008.

Android có mã nguồn mở và Google phát hành mã nguồn theo Giấy phép Apache. Chính mã nguồn mở cùng với một giấy phép không có nhiều ràng buộc đã cho phép các nhà phát triển thiết bị, mạng di động và các lập trình viên nhiệt huyết được điều chỉnh và phân phối Android một cách tự do. Ngoài ra, Android còn có một cộng đồng lập trình viên đông đảo chuyên viết các ứng dụng để mở rộng chức năng của thiết bị, bằng một loại ngôn ngữ lập trình Java có sửa đổi. Vào tháng 10 năm 2012, có khoảng 700.000 ứng dụng trên Android, và số lượt tải ứng dụng từ Google Play, cửa hàng ứng dụng chính của Android, ước tính khoảng 25 tỷ lượt.

Những yếu tố này đã giúp Android trở thành nền tảng điện thoại thông minh phổ biến nhất thế giới, vượt qua Symbian vào quý 4 năm 2010, và được các công ty công nghệ lựa chọn khi họ cần một hệ điều hành không nặng nề, có khả năng tinh chỉnh, và giá rẻ chạy trên các thiết bị công nghệ cao thay vì tạo dựng từ đầu. Kết quả là mặc dù được thiết kế để chạy trên điện thoại và máy tính bảng, Android đã xuất hiện trên TV, máy chơi game và các thiết bị điện tử khác. Bản chất mở của Android cũng khích lệ một đội ngũ đông đảo lập trình viên và những người đam mê sử dụng mã nguồn mở để tạo ra những dự án do cộng đồng quản lý. Những dự án này bổ sung các tính năng cao cấp cho những người dùng thích tìm tòi hoặc đưa Android vào các thiết bị ban đầu chạy hệ điều hành khác.

Android chiếm 87,7% thị phần điện thoại thông minh trên toàn thế giới vào thời điểm quý 2 năm 2017 với tổng cộng 2 tỷ thiết bị đã được kích hoạt và 1,3 triệu lượt kích hoạt mỗi ngày. Sự thành công của hệ điều hành này cũng khiến nó trở thành mục tiêu trong các vụ kiện liên quan đến bằng phát minh, góp mặt trong cái gọi là "cuộc chiến điện thoại thông minh" giữa các công ty công nghệ.

Ngoài tính phổ dụng và mã nguồn mở, trên hầu hết các thiết bị điện thoại thông minh chạy Android đều có chức năng như một bộ thu tín hiệu GPS, kèm theo đó nền tảng Android có API hỗ trợ việc phát triển các ứng dụng liên quan đến GPS.

Android SDK hỗ trợ lấy các tham số GPS sau:

- Danh sách các vệ tinh GPS kèm theo các thông tin về vệ tinh: góc nâng, góc phương vị, mã PRN, SNR của tín hiệu vệ tinh.
- Vị trí máy thu (kinh độ, vĩ độ, độ cao), tốc độ hiện tại, thời gian hiện tại, góc của hướng di chuyển máy thu theo phương ngang, độ chính xác của phép đo vị trí (theo mét)

Android SDK hỗ trợ các cách thức kết nối: Wifi, 3G, 4G, đủ mạnh để kết nối và truyền dữ liệu về trung tâm dự báo thời tiết nếu cần.

Hiện nay giá thành của một smartphone Android có hỗ trợ GPS thuộc loại rẻ (dòng XiaoMi) có giá dưới 200\$, còn một thiết bị chuyên dụng GPS ít nhất trên 1000\$ vì vậy việc sử dụng smartphone Android cho ứng dụng GPS là rất kinh tế.

Tuy nhiên do độ nhạy của ăng ten tín hiệu của Smartphone Android không thể nào bằng thiết bị chuyên dụng, vì vậy sẽ có nhiều giới hạn trong việc thu phát tín hiệu, cũng như sai số máy thu... Ví dụ như thiết bị mà chúng tôi sử dụng để thực nghiệm dưới đây chỉ có thể bắt được tín hiệu GPS rõ ràng trong khoảng từ 12h trưa cho đến 10h tối cùng ngày.

4.2 Đặt vấn đề

Ta biết rằng muốn định vị vị trí của người sử dụng, thì máy thu phải thu được tín hiệu GPS từ vệ tinh. Khi tín hiệu đó đi qua tầng khí quyển, đặc biệt là tầng đối lưu – nơi xảy ra các hiện tượng thời tiết như mưa, mây, nắng... thì sẽ có sự ảnh hưởng nhất định đối với phép đo vị trí và cường độ tín hiệu GPS. Chính vì thế mục tiêu của chương này chính là khảo sát sự thay đổi cường độ tín hiệu GPS với thông số đặc trưng là SNR trong các điều kiện thời tiết khác nhau. Qua đó có thể rút ra được phương pháp hỗ trợ dự đoán thời tiết dựa trên sự thay đổi của cường độ tín hiệu GPS.

Cường độ tín hiệu đặc trưng bởi thông số SNR của tín hiệu, để tìm ra được sự ảnh hưởng của điều kiện thời tiết đối với thông số SNR ta phải tiến hành một số điều kiện ràng buộc sau:

- Chọn nơi có tầm nhìn thoáng và trên cao (tốt nhất là nhà cao tầng) với mục đích là để hạn chế tối đa sự ảnh hưởng của yếu tố đa đường và bóng.
- Chọn khoảng thời gian khảo sát ngắn nhưng vẫn đủ để lập biểu đồ SNR theo thời gian. Khoảng thời gian này phải tương đương với thời gian vệ tinh chỉ di chuyển được 5 độ trên quỹ đạo tâm trái đất (khi đó ta có thể coi như quỹ đạo hình học giữa vệ tinh và thiết bị thu không thay đổi nhiều) tương đương khoảng thời gian 10 phút.
- Sử dụng thống nhất một thiết bị thu, kết nối dây cáp giữa ăng ten thu và bộ nhận tín hiệu là rất ngắn (Loại bỏ tối đa nhiễu trên dây cáp, và nhiễu trên thiết bị phân cứng là cố định).

4.3 Mô hình và kịch bản

Thiết bị: Máy smartphone Galaxy J5 Prime (một máy cấu hình khá khỏe có hỗ trợ bộ thu GPS).

Phần mềm: Ứng dụng nhỏ do tôi tự phát triển có chức năng thu tín hiệu và vẽ biểu đồ SNR các tín hiệu vệ tinh theo thời gian kèm chụp ảnh minh chứng (Xem mục 4.4).

Kịch bản:

Chọn nơi cao của một tòa nhà cao tầng (tầng 8), hướng máy ra một nơi có tầm nhìn quang đãng. Tiến hành chạy ứng dụng trong 10 phút với chu kỳ lấy mẫu 1s với các thời điểm bắt đầu khảo sát là thời điểm cố định trong tình huống ngày mà lúc đó có thể diễn ra các trạng thái thời tiết sau:

- Bình thường
- Có mưa
- Có gió

Thời điểm chọn là : 20h. Ta chọn ra từ 4 đến 10 ngày khác nhau để đo đạc.

Nơi khảo sát: Hà nội ($20^{\circ}53'$ đến $21^{\circ}23'$ vĩ độ Bắc và $105^{\circ}44'$ đến $106^{\circ}02'$ độ kinh Đông)

Các vệ tinh khảo sát có mã PRN là: 23, 27, 70, 31, 16, 29, 22

4.4 Phần mềm

4.4.1 Phân tích yêu cầu

Để thực nghiệm, phần mềm tự phát triển phải có khả năng ghi lại từng thông số của vệ tinh phục vụ cho quá trình vẽ lại biểu đồ SNR: mã PRN, thời điểm khảo sát, chỉ số SNR ứng với thời điểm mẫu được ghi nhận. Thêm vào đó, để mang tính thuyết phục hơn, phần mềm cũng cần có chức năng thu nhận lại hình ảnh bằng camera trước của smartphone. Cuối cùng dựa vào các mẫu thực nghiệm đã ghi lại, người thực nghiệm có thể xem lại các kết quả hiển thị dưới dạng biểu đồ để làm kết quả so sánh và phân tích.

4.4.2 Biểu đồ chức năng

Từ hàng thứ 2 trở đi lần lượt là các chức năng chủ chốt đã phân tích ở mục phân tích yêu cầu.

Tracker: Đảm nhận việc thiết lập kết nối và thu nhận dữ liệu của vệ tinh dưới dạng mẫu tạm thời trong một lần đo. Có 2 chức năng con trong chức năng này:

- **Scheduler:** Tiến hành lập lịch đo trong khoảng một khoảng thời gian và tự động lưu lại các mẫu đã đo dưới dạng tệp đã được đặt tên sẵn.

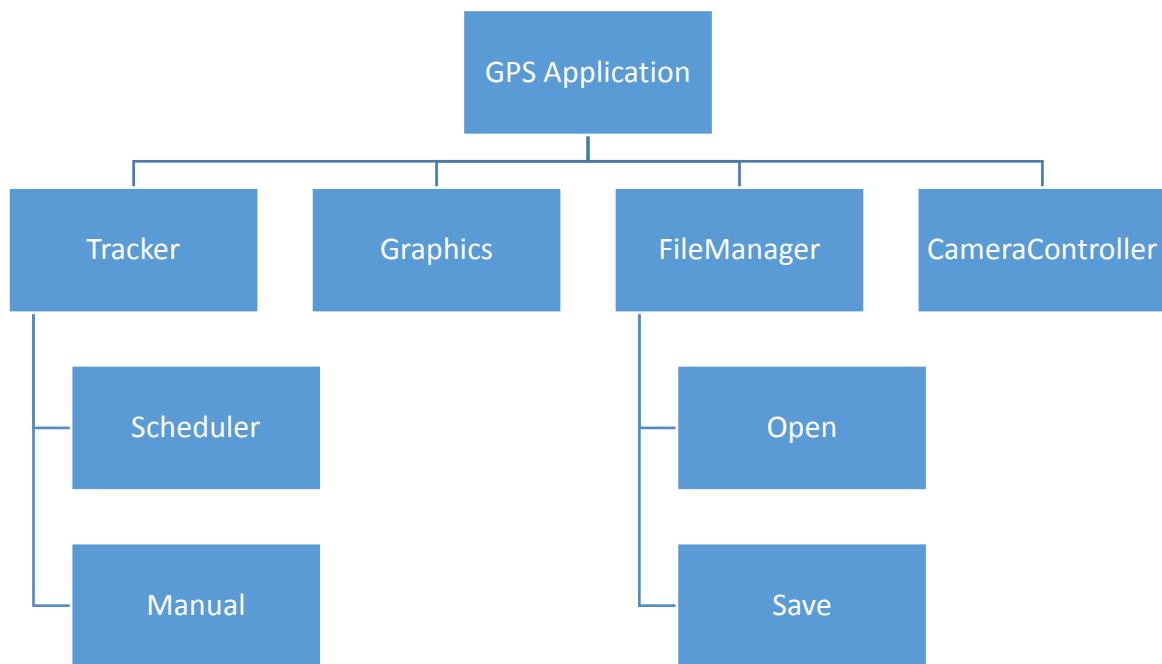
- **Manual:** Tự động đo với các cầu hình đã được thiết lập từ trước cho đến khi người dùng yêu cầu dừng. Chức năng này yêu cầu người dùng phải tự save lại kết quả đã đo.

Graphics: Sau một lần đo kết thúc / Khi xem lại kết quả một lần đo, chức năng này sẽ tiếp nhận các mẫu đã đo được, phân tích và tiến hành vẽ biểu đồ SNR theo thời gian

FileManager: Quản lý các tệp liên quan đến quá trình thực nghiệm. Trong đó có 2 chức năng con:

- Open: Thực hiện duyệt thư mục và mở tệp mẫu được chỉ định,
- Save: Thực hiện lưu lại các mẫu thử của lần đo vừa kết thúc.

CameraController: Chức năng chụp lại ảnh bầu trời bằng camera trước trong mỗi lần đo. Hiện chức năng này chỉ áp dụng cho chế độ Scheduler của Tracker và được thực hiện 4 lần trong suốt khoảng thời gian đo (do kích thước một ảnh là khá lớn so với dữ liệu của 1 mẫu thử).



Hình 4.1 Biểu đồ chức năng của Ứng dụng/Phần mềm tự phát triển

4.4.3 Thiết kế giao diện

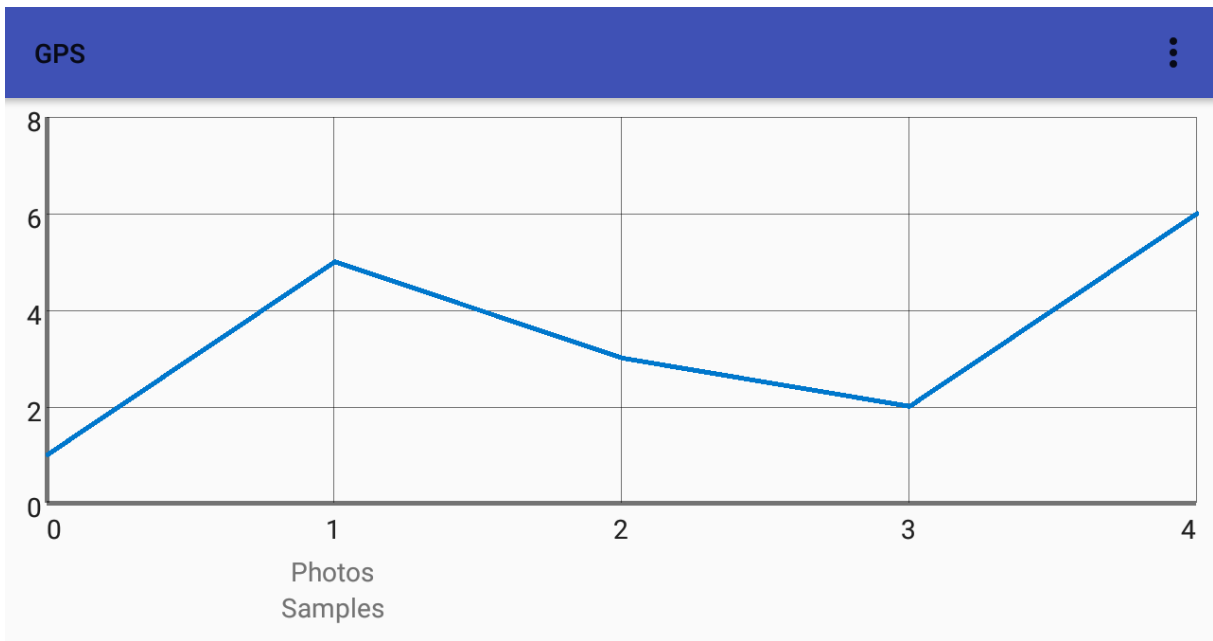
Giao diện phần mềm lúc chưa bật tab chức năng

Giao diện này chỉ làm 3 phần:

Phần tabbar màu xanh dùng để hiển thị tên ứng dụng và bật mở các chức năng con

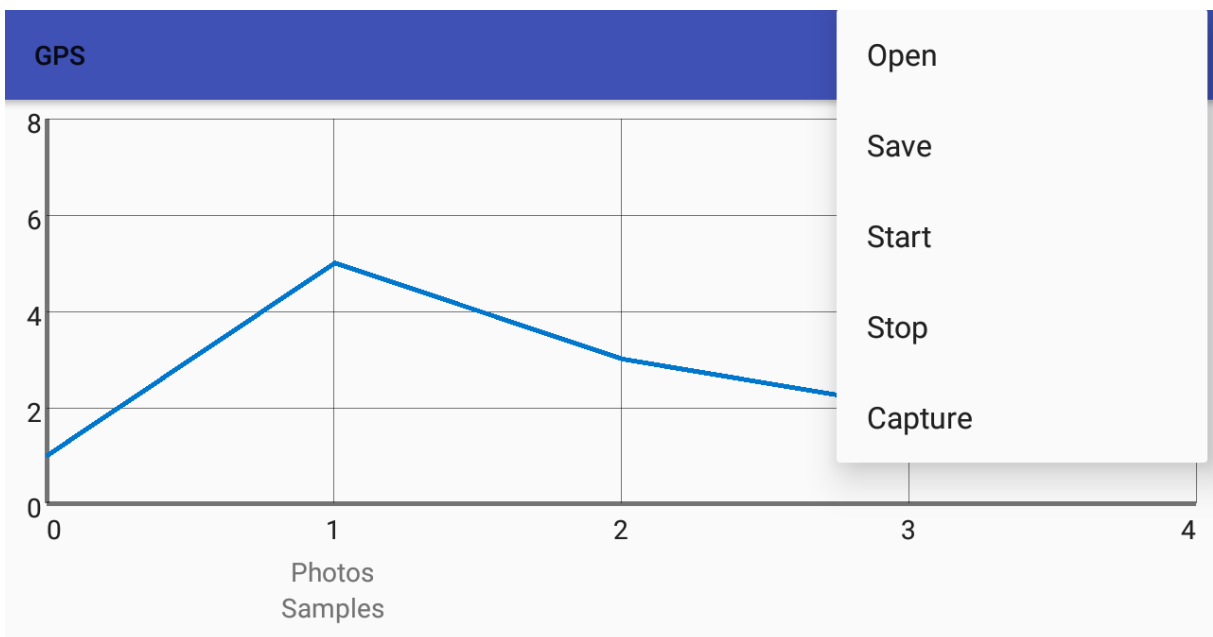
Phần giữa để hiển thị kết quả các mẫu trong lần đo thực nghiệm vừa thực hiện có khả năng co kéo tùy theo số lượng và độ lớn của các giá trị đo,

Phía dưới cùng có hiển thị số lượng mẫu hình ảnh và mẫu thông số thu được.



Hình 4.2 Giao diện đầu tiên của ứng dụng

Giao diện phần mềm lúc đã bật tab chức năng



Hình 4.3 Các chức năng con

Từ trên xuống dưới là các chức năng con liên quan đến chức năng chính:

Open: Mở và hiển thị một tệp mẫu đo.

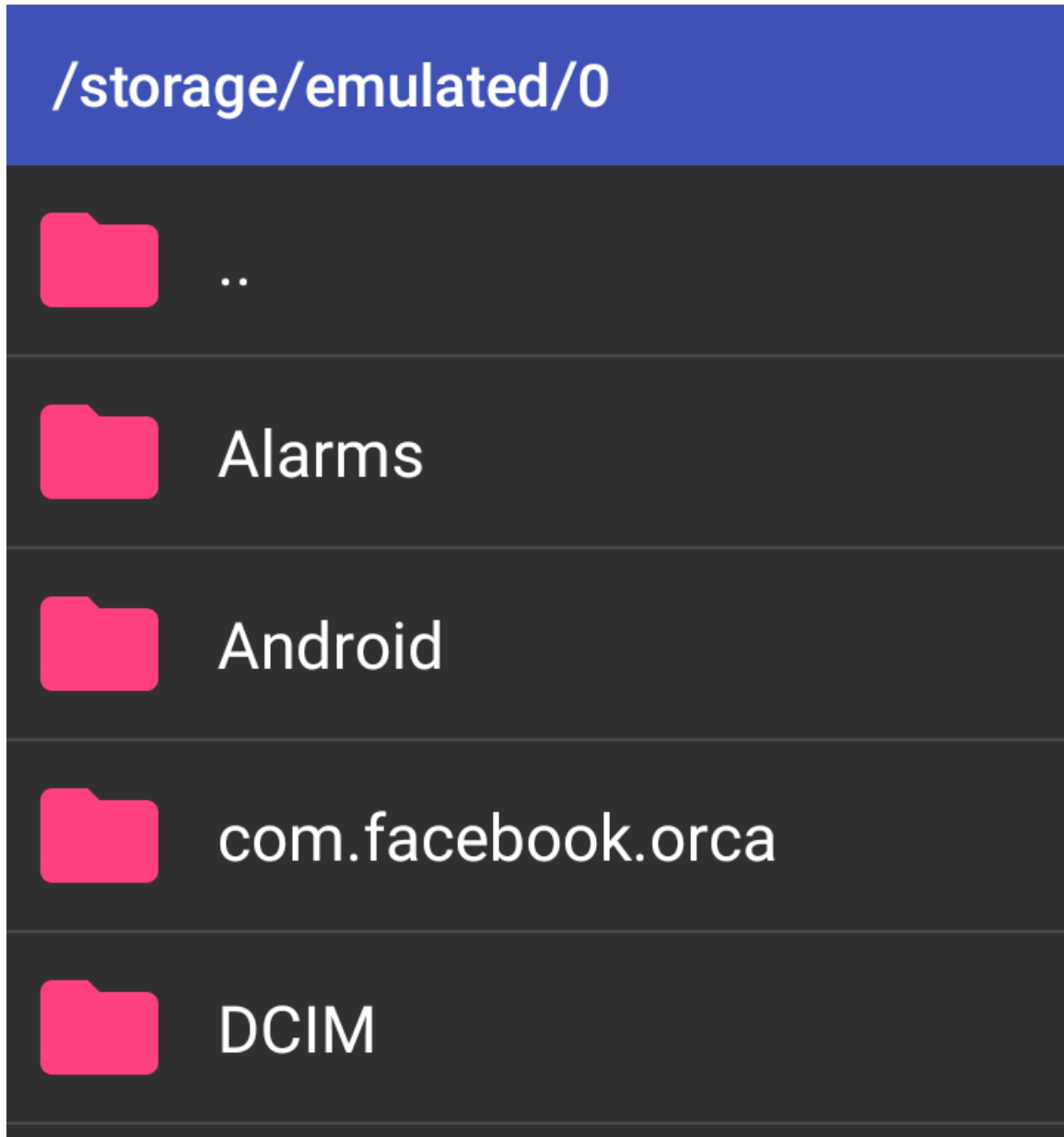
Save: Lưu lại các mẫu thử vừa đo vào một tệp theo tên.

Start: Khởi tạo thông số một lần đo và tiến hành đo

Stop: Dừng quá trình đo và hiển thị kết quả đo được dưới dạng biểu đồ

Capture: Thử chụp một ảnh từ camera trước.

Giao diện chức năng Open



Hình 4.4 Giao diện chức năng Open

Mở ra cây thư mục và người dùng có thể chọn tệp mẫu thử theo ý muốn.

Giao diện chức năng Start

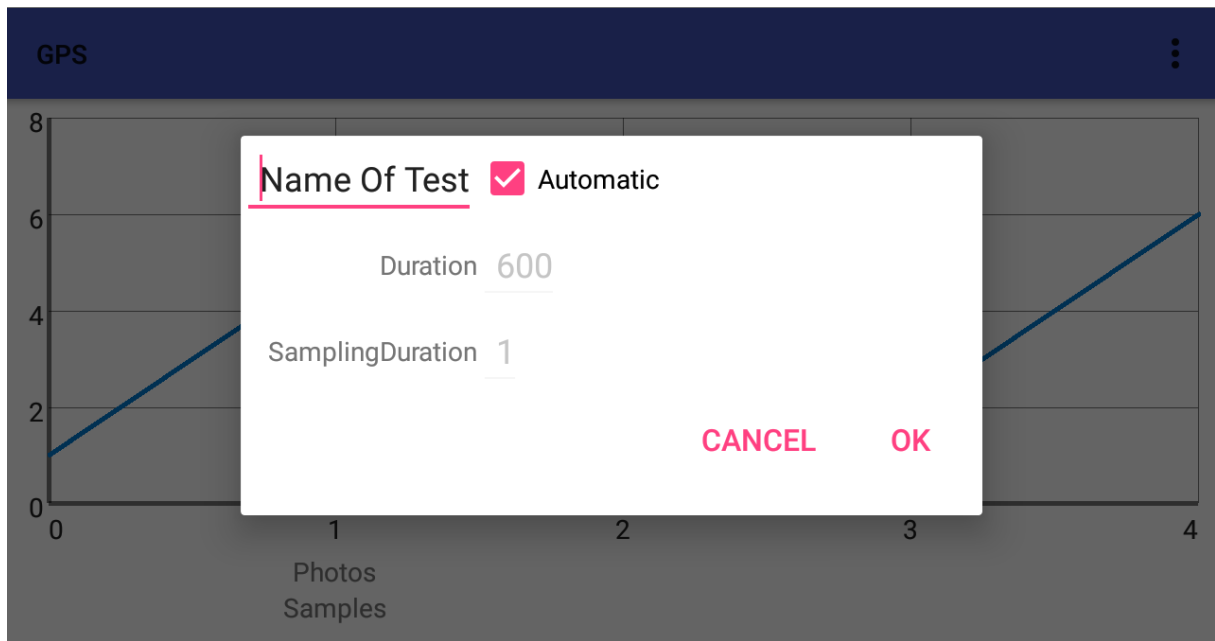
Name Of Test: Đặt tên lần đo thực nghiệm:

Automatic: Nếu được tích là chế độ Scheduler, nếu không thì chế độ Manual

Mỗi mẫu test Scheduler đều có khoảng thời gian là 600s, với chu kỳ lấy mẫu là 1 s (mặc định và không đổi).

Ok: Tiến hành đo

Cancel: Hủy tiến hành đo



Hình 4.5 Giao diện chức năng Start

4.5 Kết quả thực nghiệm và phân tích

Các đường đồ thị là biểu đồ theo SNR ứng với từng vệ tinh dưới dạng đường gấp khúc nối giá trị các mẫu đo được trong khoảng thời gian đo.

Các màu tương ứng với từ vệ tinh có mã SNR như sau:

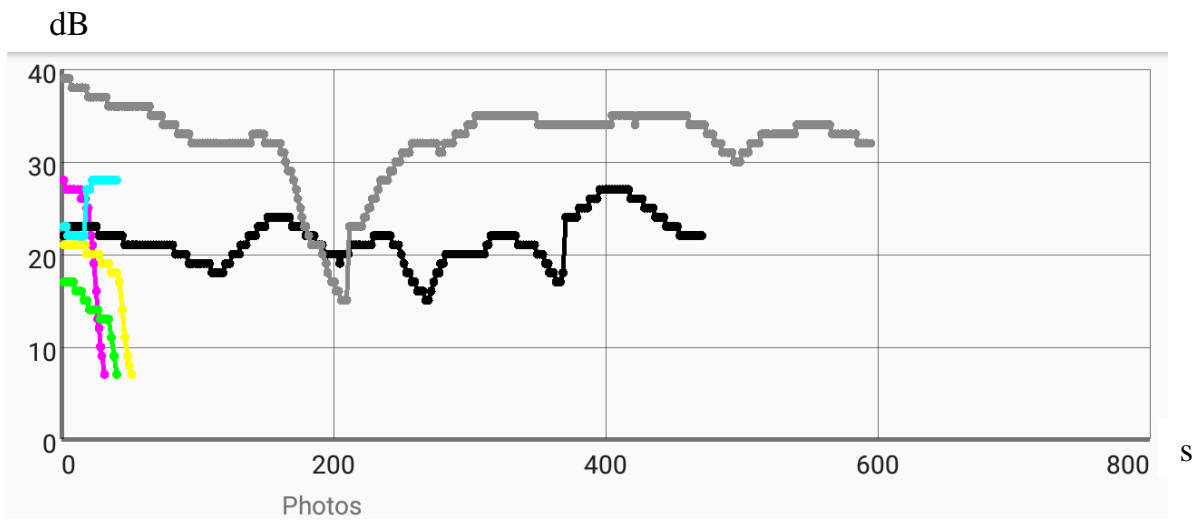
Bảng 4.1 Bảng tương màu đồ thị và mã PNR

Màu (đồ thị)	PNR (vệ tinh)
Màu đen	23
Màu xanh da trời	27
Màu lục lam	70
Màu xám	31
Màu xanh lá	16
Màu hồng	29
Màu vàng	22

Các điểm tròn trên các đường đồ thị là giá trị của các mẫu được ghi nhận.

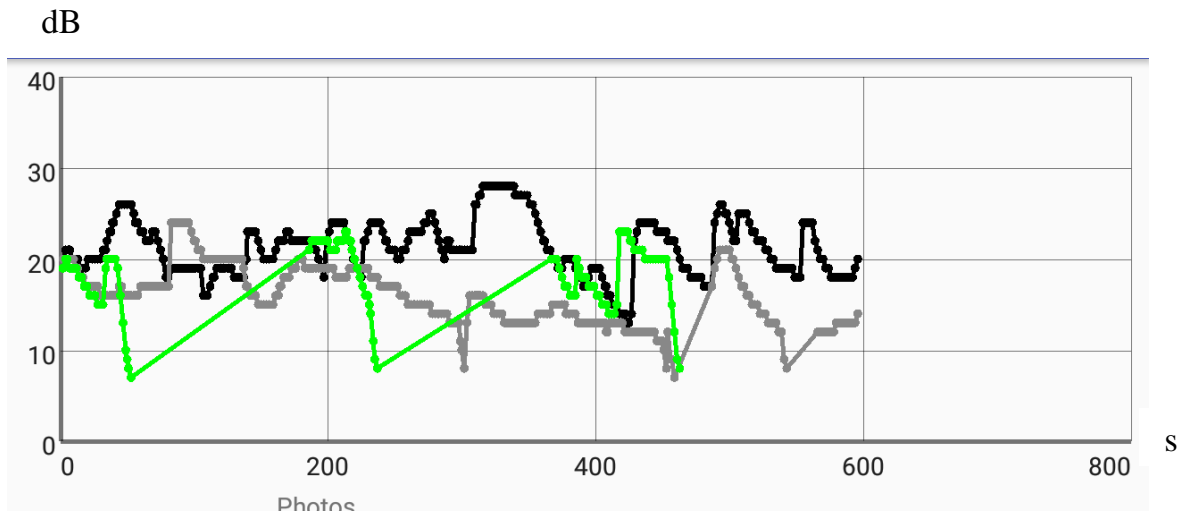
20h-20h10

22/11: trời gió, lạnh



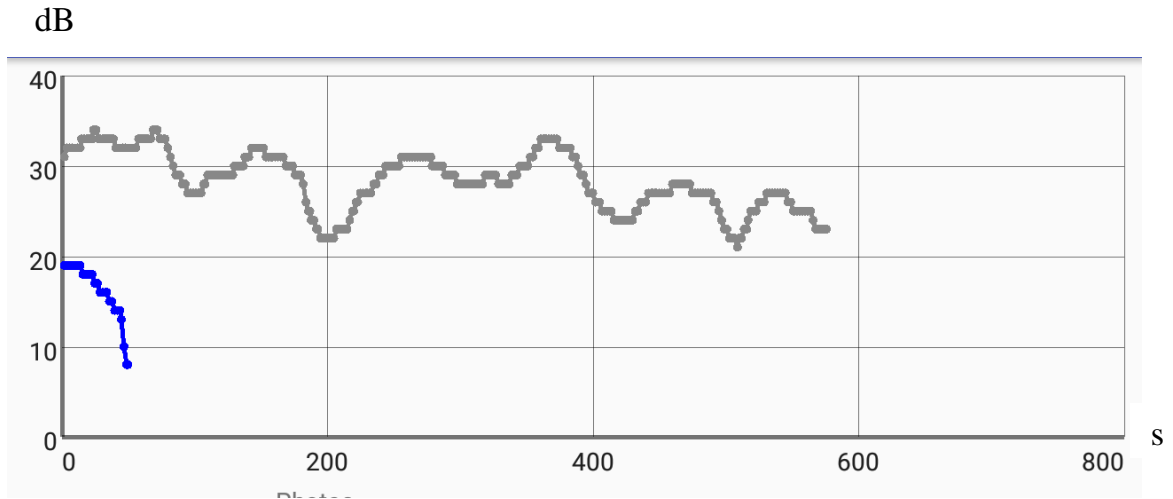
Hình 4.6 Biểu đồ SNR ngày 22/11 trong khoảng 20h-20h10, trời hiện tại lạnh và có gió

21/11: trời mưa rất lạnh



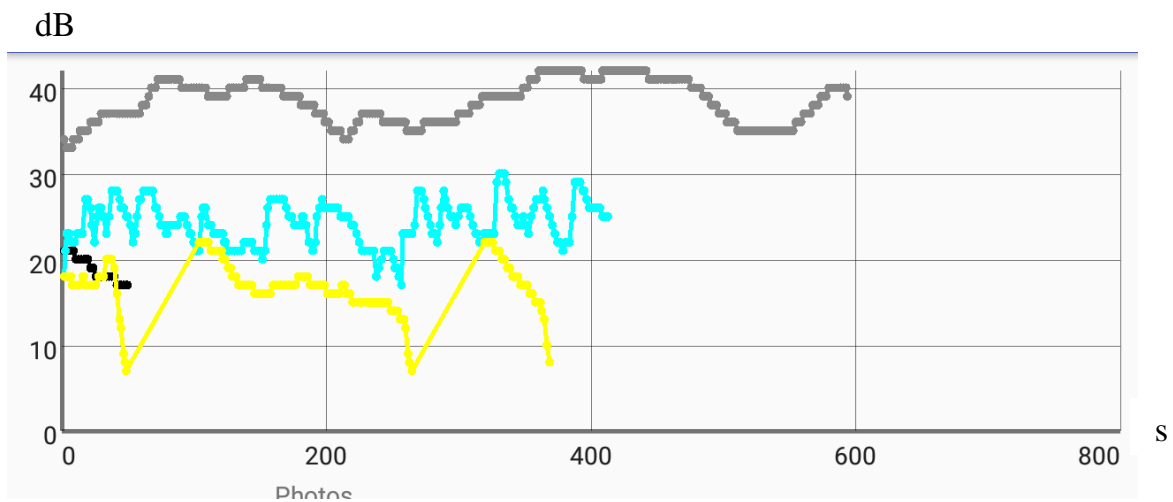
Hình 4.7 Biểu đồ SNR ngày 21/11 trong khoảng 20h-20h10, trời mưa và rất lạnh

20/11: trời gió lạnh



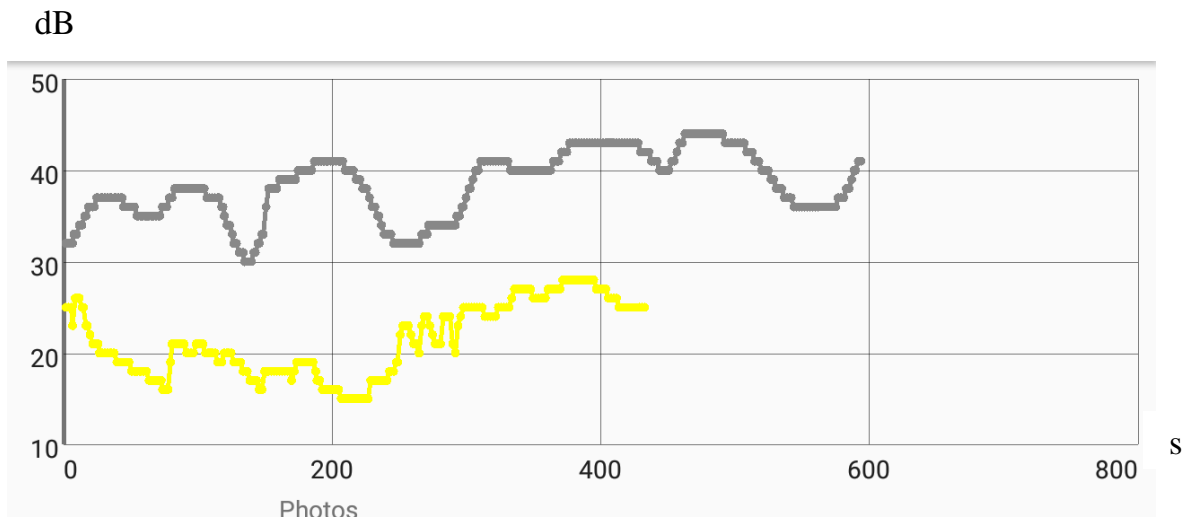
Hình 4.8 Biểu đồ SNR ngày 20/11 trong khoảng 20h-20h10, trời gió và lạnh

14/11: trời hơi gió



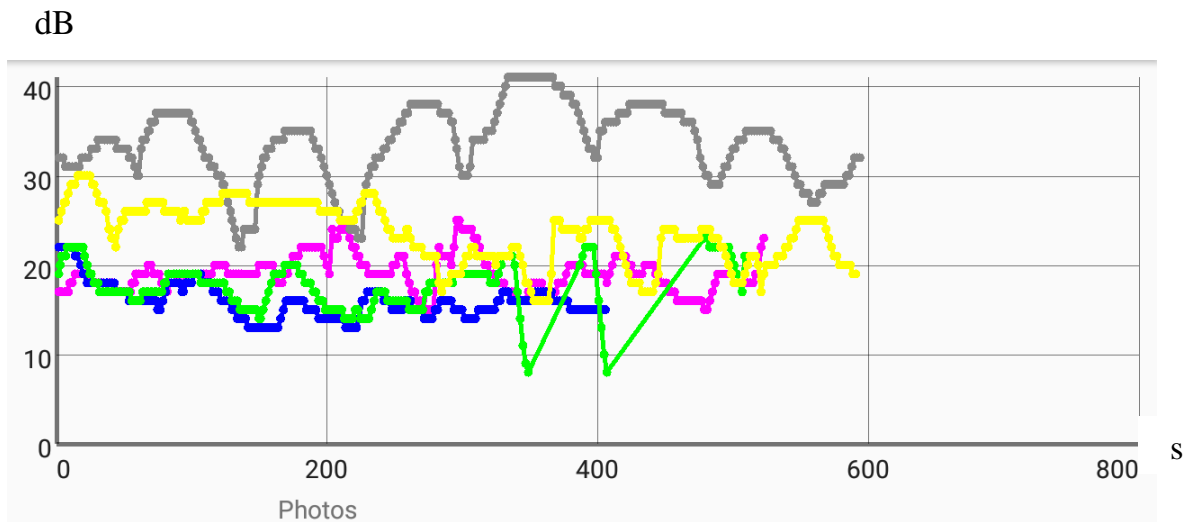
Hình 4.9 Biểu đồ SNR ngày 14/11 trong khoảng 20h-20h10, trời hơi gió

13/11: trời bình thường



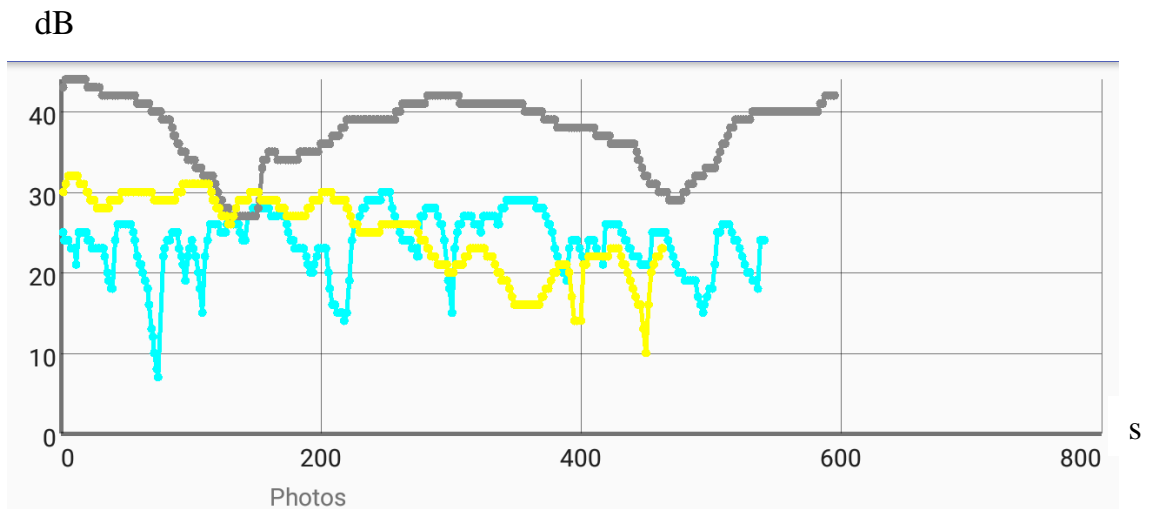
Hình 4.10 Biểu đồ SNR ngày 13/11 trong khoảng 20h-20h10, trời bình thường

12/11: trời bình thường



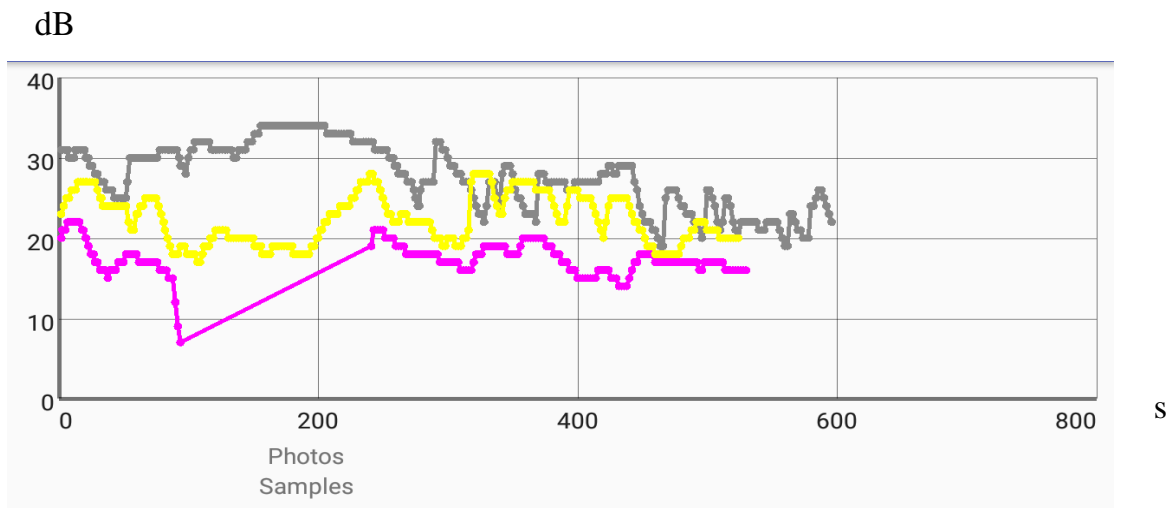
Hình 4.11 Biểu đồ SNR ngày 12/11 trong khoảng 20h-20h10, trời bình thường

10/11: trời bình thường



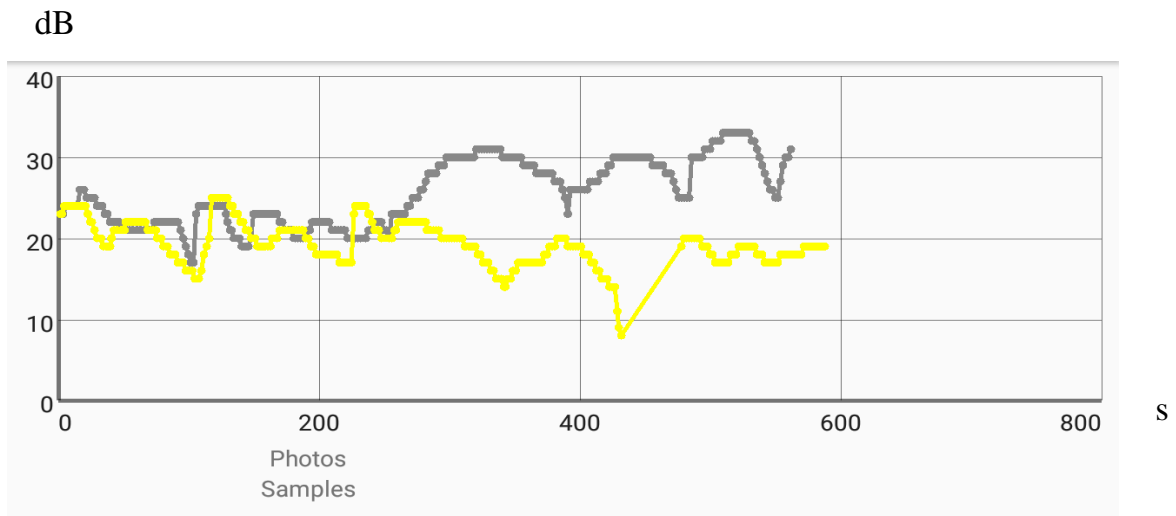
Hình 4.12 Biểu đồ SNR ngày 10/11 trong khoảng 20h-20h10, trời bình thường

17/10: trời lạnh, có gió



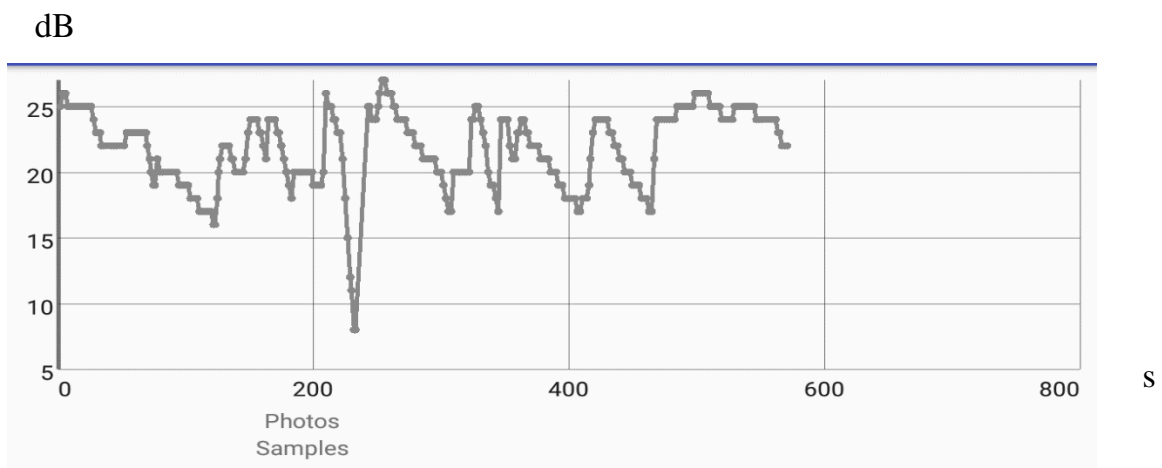
Hình 4.13 Biểu đồ SNR ngày 17/10 trong khoảng 20h-20h10, trời hiện tại hơi lạnh và có gió

12/10: trời bình thường



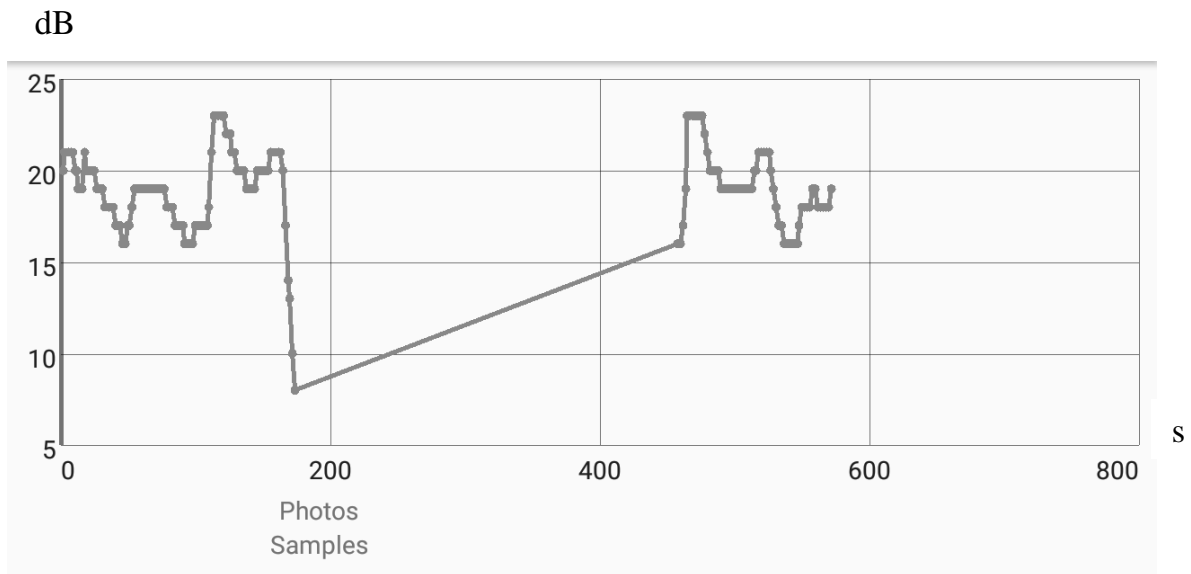
Hình 4.14 Biểu đồ SNR ngày 12/10 lúc 20h-20h10 lúc này trời bình thường (lặng gió, không mưa, nhiệt độ trên 25 độ C)

11/10: mưa



Hình 4.15 Biểu đồ SNR ngày 11/10 lúc 20h-20h10 lúc này trời đang mưa

9/10: mưa



Hình 4.16 Biểu đồ SNR ngày 9/10 lúc 20h - 20h10 lúc này trời đang mưa

Nhận xét: Qua 4 kết quả khảo sát, ta nhận thấy rằng khi trời không mưa, ta thu được tín hiệu của ít nhất 2 vệ tinh hoặc hơn, còn khi mưa thì số lượng thu được chỉ còn là 1.

Thêm nữa khi nhìn vào sự biến thiên tín hiệu màu ghi ở 4 kết quả khảo sát, ta thấy được ở 2 trường hợp mưa có sự giảm sút khá đột ngột từ giá trị khoảng trên 20 thấp xuống hẳn dưới 10 của giá trị SNR, trong khi ở các trường hợp còn lại thì biên độ lên xuống trong khoảng từ 20 đến trên 30. Như vậy dựa trên cái nhìn định tính, ta cũng thấy được sự khác biệt trong đồ thị SNR của 2 trường hợp mưa và các trường hợp còn lại.

Ở ngày 17/10 (đường màu hồng), và ngày 9/10 (đường màu ghi), ta thấy rằng đều có một khoảng khá rộng khi đó máy thu không nhận được bất kỳ mẫu SNR nào của tín hiệu vệ tinh. Đó có thể là độ nhạy của ăng ten máy thu trong thiết bị thử nghiệm không được tốt gây mất mẫu thử. Tình trạng mẫu thử này sẽ được cải thiện đáng kể nếu ta có thiết bị thu chuyên nghiệp.

4.6 Kết luận chương

Sự biến thiên cường độ GPS trong trường hợp không mưa hay mưa là khác biệt nên ta hoàn toàn có cơ sở để tìm một giải pháp đối sánh mức độ biến thiên của mẫu đo trong trường hợp bất kỳ (nếu tiếp tục thử nghiệm kỹ hơn với các dạng thời tiết) với mức độ biến thiên của mẫu đã thử để đưa ra kết luận về thời tiết.

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Để đo sự ảnh hưởng của tầng đối lưu (nơi diễn ra các hiện tượng thời tiết) tới thông số SNR, ta sẽ tìm cách cố định sự ảnh hưởng các yếu tố còn lại thông qua điều kiện đo lường trong phần 4.2. Qua các kết quả đo, ta thấy được rõ ràng các trạng thái thời tiết xảy cùng một thời điểm (khác ngày) cùng một vị trí có sự ảnh hưởng khác nhau rõ rệt tới đồ thị SNR (cường độ) của tín hiệu GPS. Như vậy việc sử dụng thông số SNR này làm một thông số hỗ trợ cho việc dự báo thời tiết tổng thể là khả quan.

Bằng phương pháp thực nghiệm ta dựa vào sự biến đổi SNR có thể suy ra các trạng thái thời tiết sẽ có chứa các yếu tố như có nắng, có mây, có mưa...

Với sự phổ dụng và phát triển của Smartphone chạy Android hiện nay, ta sẽ dễ dàng lập một hệ thống ghi nhận, theo dõi và đánh giá mức độ ảnh hưởng của thời tiết tới thông số SNR của tín hiệu vệ tinh tại nhiều điểm trên Việt Nam (mỗi điểm này ở phạm vi gần trong khoảng 50m đồ lại) và rộng hơn là toàn thế giới. Qua đó, ta sẽ lập được *một bản đồ ảnh hưởng theo cả thời gian lẫn cả không gian (chú thích ngày giờ, vị trí khi đo rồi truyền lên hệ thống) của sự ảnh hưởng tới thông số SNR, chuyển giao tới tay các chuyên gia thời tiết và hỗ trợ họ trong việc dự báo thời tiết chuyên sâu.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Anh

1. Jean-Marie Zogg (2002), *GPS-Basics-Intro-to-the-System-App-Overview*
2. Elliott D. Kaplan, Christopher J. Hegarty (2006), *Understanding GPS: Principles and Applications* (2nd version)
3. Department of Defense, GPS Navstar Global Positioning System (February 2007), *Global Positioning System- Precise Positioning Service -Performance Standard*
4. <https://www.quora.com/Is-there-any-difference-between-military-GPS-data-and-civilians-in-terms-of-accuracy>
5. <http://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>
6. http://www.csr.utexas.edu/texas_pwv/midterm/gabor/gps.html#anchor1738342
7. <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1719>
8. Bhatia, R.C., Brij Bhushan and Rajeswara Rao, V. 1999. Application of water vapour imagery received from INSAT-2E. *Current Science*, 76: 1448-1450.
9. https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_meteorology#19th_century
10. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_number_of_mobile_phones_in_use
11. <https://www.statista.com/statistics/274774/forecast-of-mobile-phone-users-worldwide/>
12. *Fostering Innovation, Creating Jobs, Driving Better Decisions: The Value of Government Data. Economics and Statistics Administration Office of the Chief Economist. July 2014. p. 15.*
13. Dirmeyer, Paul A.; Schlosser, C. Adam; Brubaker, Kaye L. (February 1, 2009). "Precipitation, Recycling, and Land Memory: An Integrated Analysis". *Journal of Hydrometeorology*. 10: 278288. Bibcode:2009JHyMe..10..278D. doi:10.1175/2008JHM1016.1. Retrieved December 30, 2016.
14. <https://scied.ucar.edu/atmosphere-layers>
15. <https://en.wikipedia.org/wiki/Precipitation>
16. <http://www.e-missions.net/wvstorm/?cat=2&sid=1&pid=31&page=Understanding%20We>
17. https://en.wikipedia.org/wiki/Weather_forecasting
18. Kington, John (1997). Mike Hulme and Elaine Barrow, ed. *Climates of the British Isles: Present, Past and Future*. Routledge. p. 147
19. Hofmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger, and J. Collins, *GPS Theory and Practice*, New York: Springer-Verlag, 1993

20. Hopfield, H., "Two-Quartic Tropospheric Refractivity Profile for Correcting Satellite Data," *Journal of Geophysical Research*, Vol. 74, No. 18, 1969
21. https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_infrared_sounder
22. <https://pmm.nasa.gov/gpm/flight-project/gmi>
23. <http://www.mwrf.com/active-components/microwave-sounders-mine-data-long-term-weather-models>
24. <https://en.wikipedia.org/wiki/GLONASS>
25. https://en.wikipedia.org/wiki/BeiDou_Navigation_Satellite_System
26. https://en.wikipedia.org/wiki/Quasi-Zenith_Satellite_System
27. [https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_\(satellite_navigation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_(satellite_navigation))
28. U.S. Coast Guard Navigation Center, <http://www.navcen.uscg.gov>
29. <https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>
30. https://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution
31. Ward, P., "An Inside View of Pseudorange and Delta Pseudorange Measurements in a Digital NAVSTAR GPS Receiver," *International Telemetry Conference, GPS-Military and Civil Applications*, San Diego, CA, October 14, 1981, pp. 63–69
32. van Graas, F., and M. Braasch, "Selective Availability," in *Global Positioning System: Theory and Applications*, Volume I, B. Parkinson, and J. J. Spilker, Jr., (eds.), American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, D.C., 1996.
33. The White House, Office of the Press Secretary, "Statement by the President Regarding the United States' Decision to Stop Degrading Global Positioning System Accuracy," White House Press Announcement, May 1, 2000
34. ARINC Research Corporation, NAVSTAR GPS Space Segment/Navigation User Interfaces, Interface Specification, IS-GPS-200D (Public Release Version), ARINC Research Corporation, Fountain Valley, CA, 2004
35. Dieter, G. L., G. E. Hatten, and J. Taylor, "MCS Zero Age of Data Measurement Techniques," *Proc. of 35th Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Meeting*, Washington, D.C., December 2003
36. Taylor, J., and E. Barnes, "GPS Current Signal-in-Space Navigation Performance," *Proc. Of The Institute of Navigation National Technical Meeting*, San Diego, CA, January 2005
37. Yinger, C. H., et al., "GPS Accuracy Versus Number of NIMA Stations," *Proc. of ION GPS/GNSS 2003*, Portland, OR, September 9–12, 2003
38. Warren, D. L. M., and J. F. Raquet, "Broadcast vs. Precise GPS Ephemerides: A Historical Perspective," *Proc. of ION National Technical Meeting*, San Diego, CA, January 28–30, 2002
39. Seeber, G., *Satellite Geodesy*, Berlin, Germany: Walter de Gruyter, 1993.

40. Hatch, R., "Relativity and GPS-I," *Galilean Electrodynamics*, Vol. 6, No. 3, May–June 1995, pp. 52–57
41. Ashby, N., and J. J. Spilker, Jr., "Introduction to Relativity Effects on the Global Positioning System," in *Global Positioning System: Theory and Applications*, Volume II, B. Parkinson and J. J. Spilker, Jr., (eds.), Washington, D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996
42. Ashby, N., and M. Weiss, *Global Positioning System Receivers and Relativity*, National Institute of Standards and Technology (NIST) Technical Note 1385, Boulder, CO, March 1999
43. Hofmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger, and J. Collins, *GPS Theory and Practice*, New York: Springer-Verlag, 1993
44. Special Committee 159, "Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment," Document DO-229C, Washington, D.C.: RTCA, 2001
45. Hopfield, H., "Two-Quartic Tropospheric Refractivity Profile for Correcting Satellite Data," *Journal of Geophysical Research*, Vol. 74, No. 18, 1969.
46. Smith, E., Jr., and S. Weintraub, "The Constants in the Equation for Atmospheric Refractive Index at Radio Frequencies," *Proc. of Institute of Radio Engineers*, No. 41, 1953.
47. Remondi, B., "Using the Global Positioning System (GPS) Phase Observable for Relative
48. *Geodesy: Modeling, Processing, and Results*," Ph.D. Dissertation, Center for Space
49. Research, University of Austin, Austin, TX, 1984.
50. Goad, C., and L. Goodman, "A Modified Hopfield Tropospheric Refraction Correction Model," *Proc. of Fall Annual Meeting of the American Geophysical Union*, San Francisco, CA, 1974.
51. Saastomoinen, J., "Atmospheric Correction for the Troposphere and Stratosphere in Radio Ranging of Satellites," *Use of Artificial Satellites for Geodesy*, Geophysical Monograph 15, American Geophysical Union, Washington, D.C., 1972.

PHỤ LỤC

Mã nguồn:

1.GPSTracker.java

Nguồn: Tự phát triển

Chức năng: Tracker (như đã mô tả trong chương 4)

Input : Các cấu hình thông số về tên, chế độ đo của từ lần đo

Output: Một mảng dữ liệu các mẫu thử thu được.

```

package com.essay.gps;

import android.Manifest;
import android.app.Activity;
import android.app.AlertDialog;
import android.app.Service;
import android.content.Context;
import android.content.DialogInterface;
import android.content.Intent;
import android.content.pm.PackageManager;
import android.icu.text.IDNA;
import android.location.GpsSatellite;
import android.location.GpsStatus;
import android.location.Location;
import android.location.LocationListener;
import android.location.LocationManager;
import android.location.LocationProvider;
import android.os.Bundle;
import android.os.Debug;
import android.os.Environment;
import android.os.IBinder;

import android.os.SystemClock;

import android.provider.Settings;
import android.support.v4.app.ActivityCompat;
import android.text.InputFilter;
import android.text.Spanned;
import android.util.Log;
import android.view.LayoutInflater;
import android.view.View;
import android.widget.CheckBox;
import android.widget.CompoundButton;
import android.widget.EditText;
import android.widget.Toast;

import com.jjoe64.graphview.series.DataPoint;

import java.io.BufferedReader;
import java.io.File;
import java.io.FileInputStream;
import java.io.FileOutputStream;
import java.io.IOException;
import java.io.InputStreamReader;
import java.text.SimpleDateFormat;
import java.util.ArrayList;
import java.util.Date;
import java.util.HashMap;
import java.util.Iterator;
import java.util.concurrent.Executors;

```

```

import java.util.concurrent.ScheduledExecutorService;
import java.util.concurrent.ScheduledFuture;
import java.util.concurrent.TimeUnit;

import static java.util.concurrent.TimeUnit.SECONDS;

public class GPSTracker extends Service {

    private final MainActivity mContext;

    // flag for GPS status
    boolean isGPSEnabled = false;

    // flag for network status
    boolean isNetworkEnabled = false;

    // flag for GPS status
    boolean canGetLocation = false;

    Location location; // location
    double latitude; // latitude
    double longitude; // longitude

    // The minimum distance to change Updates in meters
    private static final long MIN_DISTANCE_CHANGE_FOR_UPDATES = 0; // 10 meters

    // The minimum time between updates in milliseconds
    public static long MIN_TIME_BW_UPDATES = 1000; // * 60 * 1; // 1 minute
    public static long UPDATE_TIME = 86400;

    public long duration = UPDATE_TIME; // time in s
    public long samplingDuration = MIN_TIME_BW_UPDATES / 1000; // time in s
    private boolean automatic = true;
    public String testName = "";

    // Declaring a Location Manager
    protected LocationManager locationManager;
    protected String strGpsStats = "";

    protected GpsStatus.Listener statusListener;
    protected LocationListener locationListener;
    private long mLastLocationMillis;
    private HashMap<String, ArrayList<InfoPoint>> samples = new HashMap<String,
ArrayList<InfoPoint>>();
    private Runnable doneAfterMesuare;
    private int samplesTime = 0;
    private int photosTime = 0;

    ScheduledExecutorService scheduler =
        Executors.newScheduledThreadPool(2);
    ScheduledFuture<?> snrTracker = null;
    ScheduledFuture<?> photoTracker = null;
    ScheduledFuture<?> photoHallTracker = null;

    public GPSTracker(MainActivity context, Runnable done) {
        this.mContext = context;
        this.doneAfterMesuare = done;
        createListener();
        //getLocation();
        showInfoAlert();
    }

    private void createListener() {
        statusListener = new GpsStatus.Listener() {
            @Override
            public void onGpsStatusChanged(int event) {

```

```

        if (ActivityCompat.checkSelfPermission(mContext,
Manifest.permission.ACCESS_FINE_LOCATION) != PackageManager.PERMISSION_GRANTED)
    {
        Toast.makeText(mContext, "ACCESS_FINE_LOCATION not
granted", Toast.LENGTH_LONG).show();
        return ;
    }

    switch (event) {
        case GpsStatus.GPS_EVENT_SATELLITE_STATUS:
            GpsStatus satelliteStatus =
locationManager.getGpsStatus(null);

            Iterable<GpsSatellite> iSatellites = satelliteStatus
                .getSatellites();
            Iterator<GpsSatellite> it = iSatellites.iterator();
            int maxsatellites = 0;
            strGpsStats = "";
            // Log.d(getClass().getName(), "size
samples"+samples.keySet().size());
            // for (String key : samples.keySet()) {
            //     Log.d(getClass().getName(), "|" +key+"|");
            // }

            if (SystemClock.elapsedRealtime() - mLastLocationMillis
>= samplingDuration * 1000) {

                } else return;
                while (it.hasNext()) {
                    GpsSatellite oSat = (GpsSatellite) it.next();
                    strGpsStats+= (maxsatellites) + ": |" +
oSat.getPrn() + "| "+oSat.getSnr()+ " \n\n";
                    ArrayList<InfoPoint> points =
samples.containsKey(oSat.getPrn()+"")? samples.get(oSat.getPrn()+"") : null;
                    Log.d(getClass().getName(), oSat.getPrn()+"
"+samples.containsKey(oSat.getPrn()+"")+ " "+points);
                    if (points == null) {
                        points = new ArrayList<>();
                        samples.put(oSat.getPrn()+"", points);
                    }
                    points.add(new InfoPoint(oSat.getPrn(),
oSat.getSnr(), SystemClock.elapsedRealtime()));

                    maxsatellites++;
                }
                mLastLocationMillis = SystemClock.elapsedRealtime();
                samplesTime++;
                mContext.updateUI(photosTime, samplesTime);
            // mContext.takeScreenShot(testName);
            // Toast.makeText(mContext, "not take a photo",
Toast.LENGTH_SHORT).show();

            Log.d(getClass().getName(), "sampling "+
Math.round(SystemClock.elapsedRealtime() * 1.0f / 1000)+" "+strGpsStats+"
"+maxsatellites);
            // Toast.makeText(mContext, strGpsStats, Toast.LENGTH_LONG).show();

            // if (mLastLocation != null)
            //     if ((SystemClock.elapsedRealtime() -
mLastLocationMillis) < 3000) {
            //         isGPSFix = 7; // Enumeration for
ONC_STAT_3D
            //     } else {
            //         isGPSFix = 2; // Enumeration for
ONC_STAT_BAD_COVER

```



```

//          }
//          }
//          if (isGPSFix == 1) { // A fix has been acquired.
//              // Do something.
//          } else { // The fix has been lost.
//              // Do something.
//          }
//
//          break;
//          case GpsStatus.GPS_EVENT_FIRST_FIX:
//              // Do something.
//              isGPSFix = 1;
//          break;
//          case GpsStatus.GPS_EVENT_STOPPED:
//              if ((mLastLocation = locationManager
//              .getLastKnownLocation(LocationManager.GPS_PROVIDER)) != null) {
//                  isGPSFix = 5; // Enumeration for
//              } else {
//                  isGPSFix = 2; // Enumeration for
//              }
//          }
//      }
//  };

    locationListener = new LocationListener() {
        @Override
        public void onLocationChanged(Location location) {
            double latitude=location.getLatitude();
            double longitude=location.getLongitude();
            String msg="New Latitude: "+latitude + "New Longitude:
"+longitude;
            //          Toast.makeText(mContext,msg,Toast.LENGTH_LONG).show();

            //          mLastLocationMillis = SystemClock.elapsedRealtime();
            Log.d(getClass().getName(), "location time
"+location.getTime());

        }

        @Override
        public void onStatusChanged(String s, int i, Bundle bundle) {

        }

        @Override
        public void onProviderEnabled(String s) {

        }

        @Override
        public void onProviderDisabled(String s) {

        }
    };
}

    public Location getLocation() {
        try {
            samples.clear();
            locationManager = (LocationManager) mContext

```

```

        .getSystemService(LOCATION_SERVICE);

        // getting GPS status
        isGPSEnabled = locationManager
            .isProviderEnabled(LocationManager.GPS_PROVIDER);

        // getting network status
        isNetworkEnabled = locationManager
            .isProviderEnabled(LocationManager.NETWORK_PROVIDER);

        if (!isGPSEnabled && !isNetworkEnabled) {
            // no network provider is enabled
        } else {

            // First get location from Network Provider
            Log.d(getClass().getName(), "GPS "+isGPSEnabled+" NetWork
 "+isNetworkEnabled);
            if (ActivityCompat.checkSelfPermission(mContext,
Manifest.permission.ACCESS_FINE_LOCATION) != PackageManager.PERMISSION_GRANTED)
            {
                Toast.makeText(mContext, "ACCESS_FINE_LOCATION not
 granted", Toast.LENGTH_LONG).show();
                return null;
            }

            this.canGetLocation = true;

            if (isNetworkEnabled) {

                locationManager.requestLocationUpdates(
                    LocationManager.NETWORK_PROVIDER,
                    samplingDuration * 1000,
                    MIN_DISTANCE_CHANGE_FOR_UPDATES, locationListener);
                Log.d("Network", "Network");
                if (locationManager != null) {
                    location = locationManager

                .getLastKnownLocation(LocationManager.NETWORK_PROVIDER);
                    if (location != null) {
                        latitude = location.getLatitude();
                        longitude = location.getLongitude();
                    }
                }
            }

            // if GPS Enabled get lat/long using GPS Services
            if (isGPSEnabled) {
                locationManager.requestLocationUpdates(
                    LocationManager.GPS_PROVIDER,
                    samplingDuration * 1000,
                    MIN_DISTANCE_CHANGE_FOR_UPDATES, locationListener);

                Log.d("GPS Enabled", "GPS Enabled");
                if (locationManager != null) {
                    location = locationManager

                .getLastKnownLocation(LocationManager.GPS_PROVIDER);
                    if (location != null) {
                        latitude = location.getLatitude();
                        longitude = location.getLongitude();
                    } else Toast.makeText(mContext, "No location",
 Toast.LENGTH_LONG).show();
                }
            }

            locationManager.addGpsStatusListener(statusListener);

```

```

        mLastLocationMillis = SystemClock.elapsedRealtime() -
        samplingDuration * 1000;
    }

    } catch (Exception e) {
        Toast.makeText(mContext, getClass().getName()+" "+e.getMessage(),
        Toast.LENGTH_LONG).show();
    }

    return location;
}

public void startUsingGPS() {
    if(locationManager != null){

    }
}

/**
 * Stop using GPS listener
 * Calling this function will stop using GPS in your app
 */
public void stopUsingGPS(){
    if(locationManager != null){
        locationManager.removeUpdates(locationListener);
        locationManager.removeGpsStatusListener(statusListener);
        if (automatic) {
            if (snrTracker != null) {
                snrTracker.cancel(true);
                snrTracker = null;
            }
            // if (photoHallTracker != null) {
            //     photoHallTracker.cancel(true);
            //     photoHallTracker = null;
            // }

            if (photoTracker != null) {
                photoTracker.cancel(true);
                photoTracker = null;
            }
            automatic = false;
        }
    }
}

/**
 * Function to get latitude
 */
public double getLatitude(){
    if(location != null){
        latitude = location.getLatitude();
    }

    // return latitude
    return latitude;
}

/**
 * Function to get longitude
 */
public double getLongitude(){
    if(location != null){
        longitude = location.getLongitude();
    }
}

```

```

        // return longitude
        return longitude;
    }

    /**
     * Function to check GPS/wifi enabled
     * @return boolean
     */
    public boolean canGetLocation() {
        return this.canGetLocation();
    }

    /**
     * Function to show settings alert dialog
     * On pressing Settings button will launch Settings Options
     */
    public void showSettingsAlert(){
        AlertDialog.Builder alertDialog = new AlertDialog.Builder(mContext);

        // Setting Dialog Title
        alertDialog.setTitle("GPS is settings");

        // Setting Dialog Message
        alertDialog.setMessage("GPS is not enabled. Do you want to go to
settings menu?");

        // On pressing Settings button
        alertDialog.setPositiveButton("Settings", new
DialogInterface.OnClickListener() {
            public void onClick(DialogInterface dialog,int which) {
                Intent intent = new
Intent(Settings.ACTION_LOCATION_SOURCE_SETTINGS);
                mContext.startActivity(intent);
            }
        });

        // on pressing cancel button
        alertDialog.setNegativeButton("Cancel", new
DialogInterface.OnClickListener() {
            public void onClick(DialogInterface dialog, int which) {
                dialog.cancel();
            }
        });

        // Showing Alert Message
        alertDialog.show();
    }

    public void measure(final String nameOfTest, boolean auto, long duration ,
long sDuration) {
        this.testName = nameOfTest;
        this.automatic = auto;
        this.duration = duration;
        this.samplingDuration = sDuration;
        samplesTime = 0;
        photosTime = 0;
        mContext.updateUI(photosTime, samplesTime);
        if (automatic) {

            snrTracker = scheduler.schedule(new Runnable() {
                public void run() { ((Activity)mContext).runOnUiThread(new
Runnable() {
                    @Override
                    public void run() {
                        doneAfterMesuare.run(); // stopService dung tat ca luon

```

```

        saveToFile(nameOfTest);
    }
}); }
}, this.duration, SECONDS);
//mContext.takeScreenShot(testName);
photoTracker = scheduler.scheduleAtFixedRate(new Runnable() {
    @Override
    public void run() {
        mContext.takeScreenShot(testName);
        photosTime++;
        mContext.updateUI(photosTime, samplesTime);
    }
}, 0, this.samplingDuration, TimeUnit.SECONDS);
//
// photoHallTracker = scheduler.schedule(new Runnable() {
//     @Override
//     public void run() {
//         if (photoTracker != null) {
//             photoTracker.cancel(true);
//             photoTracker = null;
//         }
//     }
// },this.duration, TimeUnit.SECONDS);

    getLocation();
} else {
    getLocation();
}
}

public void showInfoAlert() {
    AlertDialog.Builder builder = new AlertDialog.Builder(mContext);
    // Get the layout inflater
    final LayoutInflater inflater =
((Activity)mContext).getLayoutInflater();

    // Inflate and set the layout for the dialog
    // Pass null as the parent view because its going in the dialog layout

    CharSequence[] array = {"Automatic"};
    final View view = inflater.inflate(R.layout.dialog, null);

    builder.setView(view)
        // Add action buttons
        .setPositiveButton("Ok", new DialogInterface.OnClickListener()
{
    @Override
    public void onClick(DialogInterface dialog, int id) {
        // sign in the user ...
        EditText edit = (EditText)
view.findViewById(R.id.name);
        EditText edit1 = (EditText)
view.findViewById(R.id.durations);
        EditText edit2 = (EditText)
view.findViewById(R.id.samplingdurations);
        //
        getLocation();

        try {

measure(edit.getText().toString(),edit1.isEnabled(),
Long.parseLong(edit1.getText().toString()),
Long.parseLong(edit2.getText().toString()));
        } catch (Exception e) {

measure(edit.getText().toString(),edit1.isEnabled(), UPDATE_TIME,

```

```

MIN_TIME_BW_UPDATES / 1000);
    }

    })
    .setNegativeButton("Cancel", new
DialogInterface.OnClickListener() {
    public void onClick(DialogInterface dialog, int id) {
        dialog.cancel();
    }
});

CheckBox checkBox = (CheckBox) view.findViewById(R.id.checkBox);
checkBox.setOnCheckedChangeListener(new
CompoundButton.OnCheckedChangeListener() {
    @Override
    public void onCheckedChanged(CompoundButton compoundButton, boolean
b) {
        if (b) {
            EditText edit = (EditText)
view.findViewById(R.id.durations);
            edit.setEnabled(true);
        } else {
            EditText edit = (EditText)
view.findViewById(R.id.durations);
            edit.setEnabled(false);
        }
    }
});

EditText edit1 = (EditText) view.findViewById(R.id.durations);
EditText edit2 = (EditText) view.findViewById(R.id.samplingdurations);

InputFilter filter = new InputFilter() {
    public CharSequence filter(CharSequence source, int start, int end,
        Spanned dest, int dstart, int dend) {
        for (int i = start; i < end; i++) {
            if (!Character.isLetterOrDigit(source.charAt(i))) {
                return "";
            }
        }
        return null;
    }
};
edit1.setFilters(new InputFilter[] { filter });

filter = new InputFilter() {
    public CharSequence filter(CharSequence source, int start, int end,
        Spanned dest, int dstart, int dend) {
        for (int i = start; i < end; i++) {
            if (!Character.isLetterOrDigit(source.charAt(i))) {
                return "";
            }
        }
        return null;
    }
};
edit2.setFilters(new InputFilter[] { filter });

builder.show();
}

@Override

```

```

public IBinder onBind(Intent arg0) {
    return null;
}

public HashMap<String, ArrayList<InfoPoint>> getSamples() {
    return samples;
}

private File writeTextToSDCard(String testName, String text) {
    File mediaStorageDir = new
File(Environment.getExternalStoragePublicDirectory(Environment.DIRECTORY_PICTUR
ES), "GPS/"+testName);
    if(!mediaStorageDir.exists()){
        if(!mediaStorageDir.mkdirs()){
            Toast.makeText(mContext, "failed to create directory of Test",
Toast.LENGTH_LONG).show();
            return null;
        }
    }
    // Create a media file name
    String timeStamp = new SimpleDateFormat("yyyyMMdd_HH:mm:ss").format(new
Date());
    File mediaFile = new
File(mediaStorageDir.getPath()+File.separator+testName+".txt");
    mContext.writeText(mediaFile, text);
    return mediaFile;
}

private String readTextFromSDCard(File file) {
    if (file == null || !file.exists()) {
        Toast.makeText(mContext, "file not exist",
Toast.LENGTH_LONG).show();
        return null;
    }
    return mContext.readText(file);
}

public void saveToFile(String fileName) {
    String total = "";
    int index = -1;
    for (String key : samples.keySet()) {
        index++;
        ArrayList<InfoPoint> sample = samples.get(key);
        String satellite = key+": ";
        DataPoint[] points = new DataPoint[sample.size()];
        for (int i = 0; i < points.length; i++) {
            DataPoint point = i == 0 ? new DataPoint(i + 1,
sample.get(i).snr) : new DataPoint(Math.round((sample.get(i).time -
sample.get(0).time) * 1.0f / GPSTracker.MIN_TIME_BW_UPDATES) + 1,
sample.get(i).snr);
            points[i] = point;
            satellite += i == 0? point.getX()+"_"+point.getY():
"_"+point.getX()+"_"+point.getY();
        }
        satellite = index == 0? "" + satellite:"|"+satellite;
        total += satellite;
    }
    Log.d(getClass().getName(), "result = "+total);

    File file = writeTextToSDCard(fileName, total);

    String result = readTextFromSDCard(file);
    Log.d(getClass().getName(), "read File = "+result);
}
}

```

