

BỘ CÔNG THƯƠNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP QUẢNG NINH

-----❖❖❖❖-----

Chủ biên: TS. Bùi Ngọc Hùng
Tham gia: ThS. Nguyễn Thị Mai Anh



GIÁO TRÌNH
ĐỊNH VỊ VỆ TINH
(LƯU HÀNH NỘI BỘ)

Quảng Ninh – 2021

LỜI NÓI ĐẦU

Trong những năm gần đây, thông tin vệ tinh trên thế giới đã có những bước tiến vượt bậc đáp ứng nhu cầu đời sống, đưa con người nhanh chóng tiếp cận với các tiên bộ khoa học kỹ thuật. Nhằm đáp ứng được nhu cầu phát triển ngày càng cao của các lĩnh vực trong quân sự, kinh tế, xã hội, một số quốc gia và tổ chức quốc tế trên thế giới đã xây dựng nên các hệ thống định vị dẫn đường có độ chính xác cao để thay thế cho các phương pháp truyền thống như: NAVSTAR - GPS, GLONASS, INMARSAT, GALILEO...

Đối với lĩnh vực đo đạc bản đồ, hệ thống định vị toàn cầu có vai trò rất hữu hiệu nhờ vào khả năng định vị tọa độ các điểm, dẫn đường làm tăng năng suất lao động, giảm chi phí, nâng cao chất lượng sản phẩm.

Vì vậy, **giáo trình Định vị vệ tinh** sẽ cung cấp các kiến thức cơ bản về các hệ thống định vị toàn cầu cũng như sử dụng các máy đo, các phương pháp xử lý số liệu phổ biến hiện nay. Hy vọng giáo trình này là tài liệu bổ ích cho việc học tập, nghiên cứu của sinh viên ngành Kỹ thuật Trắc địa bản đồ.

Giáo trình bao gồm 5 chương:

Chương 1: Một số vấn đề cơ sở của trắc địa vệ tinh

Chương 2: Hệ thống định vị toàn cầu GPS

Chương 3. Một số hệ thống định vị toàn cầu khác

Chương 4: Ứng dụng của GPS trong trắc địa

Chương 5. Xử lý số liệu đo GPS

Tuy đã cố gắng, song chắc chắn giáo trình vẫn còn những khiếm khuyết. Nhóm tác giả mong nhận được sự góp ý của các bạn đồng nghiệp và độc giả để chỉnh sửa cho giáo trình được hoàn thiện hơn

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU

Chương 1. MỘT SỐ VẤN ĐỀ CƠ SỞ CỦA TRẮC ĐỊA VỆ TINH.....	6
1.1. Lịch sử phát triển và nhiệm vụ của trắc địa vệ tinh.....	6
1.1.1. Khái niệm về Trắc địa vệ tinh.....	6
1.1.2. Lịch sử phát triển của trắc địa vệ tinh.....	6
1.1.3. Nhiệm vụ của trắc địa vệ tinh	9
1.2. Các bài toán và các nguyên lý định vị vệ tinh	9
1.2.1. Các bài toán định vị vệ tinh.....	9
1.2.2. Các nguyên lý định vị vệ tinh	11
1.3. Các hệ tọa độ.....	13
1.3.1. Khái niệm về các hệ tọa độ.....	13
1.3.2. Hệ tọa độ sao	13
1.3.3. Hệ tọa độ Trái đất.....	15
1.3.4. Hệ tọa độ địa diện	18
1.3.5. Hệ quy chiếu trái đất sử dụng trong các hệ thống định vị toàn cầu.....	20
1.3.6. Khung tọa độ Trái đất quốc tế ITRF	21
1.4. Các hệ thống thời gian.....	22
1.4.1. Khái niệm chung	22
1.4.2. Các hệ thống thời gian	23
1.5. Chuyển động và quỹ đạo của vệ tinh	25
1.5.1. Quỹ đạo không bị nhiễu	25
1.5.2. Quỹ đạo bị nhiễu	28
1.5.3. Lịch vệ tinh	28
Chương 2. HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TOÀN CẦU GPS	31
2.1. Cấu trúc hệ thống GPS.....	31
2.1.1 Hệ thống định vị toàn cầu	31
2.1.2 Tín hiệu vệ tinh GPS	35
2.1.3. Cấu trúc tín hiệu GPS	36
2.1.4. Code tựa ngẫu nhiên.....	38
2.2. Trị đo khoảng cách giả.....	38
2.2.1. Đo khoảng cách giả theo tín hiệu Code tựa ngẫu nhiên	38

2.2.2. Đo khoảng cách giả theo pha sóng tải	40
2.2.3. Đo khoảng cách giả theo tần số Doppler	43
2.3. Định vị tuyệt đối	43
2.3.1. Khái niệm định vị GPS tuyệt đối	43
2.3.2. Bài toán định vị GPS tuyệt đối khoảng cách giả	44
2.3.3. Đánh giá độ chính xác định vị	46
2.4. Định vị tương đối	52
2.4.1. Khái niệm về định vị tương đối	52
2.4.3. Hiệu kép giữa hai máy thu và hai vệ tinh (Sai phân bậc hai)	54
2.4.4. Hiệu bội ba giữa hai máy thu, hai vệ tinh và hai thời điểm	55
2.4.5. Các dạng định vị GPS tương đối	56
2.5. Định vị GPS vi phân	57
2.5.1. Định vị vi phân trạm đơn	57
2.5.2. Định vị vi phân diện hẹp	59
2.5.3. Định vị vi phân diện rộng	59
2.5.4. Hệ thống các trạm tham chiếu làm việc liên tục (CORS)	59
2.5.5. Một số ứng dụng của DGPS	63
2.6. Các nguồn sai số trong đo GPS	64
2.6.1. Sai số phụ thuộc vào vệ tinh	64
2.6.2 Sai số phụ thuộc vào sự lan truyền tín hiệu	66
2.6.3. Sai số phụ thuộc vào máy thu	68
2.7. Máy thu GPS	69
2.7.1. Nguyên lý cấu tạo của máy thu GPS	69
2.7.2. Phân loại máy thu	72
2.7.3. Các máy thu GPS trong công tác trắc địa	72
2.7.4. Chọn điểm và thiết kế đo GPS	75
2.7.5. Đo tĩnh và xử lý số liệu đo tĩnh	79
Chương 3: MỘT SỐ HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TOÀN CẦU KHÁC	89
3.1. Hệ thống Glonass	89
3.1.1. Cấu trúc của hệ thống GLONASS	89
3.1.2. Đặc điểm của hệ thống GLONASS	92
3.2. Hệ thống Galileo	92
3.2.1. Cấu trúc của hệ thống GALILEO	92

3.2.2. Đặc điểm tín hiệu và phương pháp định vị	94
3.3. Hệ thống Compass	95
3.3.1. Đoạn không gian	96
3.3.2. Đoạn mặt đất	97
3.3.3. Đoạn sử dụng	98
Chương 4. ỨNG DỤNG CỦA GPS TRONG TRẮC ĐỊA.....	99
4.1. Ứng dụng GPS trong xây dựng các mạng lưới trắc địa.....	99
4.1.1. Khái niệm lưới GPS	101
4.1.2. Phân cấp lưới GPS	102
4.1.3. Phân loại lưới GPS	103
4.2. Đo GPS động và các ứng dụng trong trắc địa bản đồ	103
4.2.1. Khái quát về đo động	103
4.2.2. Công tác đo ngoại nghiệp	106
4.2.3. Xử lý số liệu đo động.....	109
4.2.4. Ứng dụng của GPS trong trắc địa bản đồ	109
4.3. Ứng dụng GPS trong trắc địa công trình.....	111
4.3.1. Lập các mạng lưới Trắc địa công trình	111
4.3.2. Đo các mạng lưới quan trắc biến dạng và chuyển dịch công trình.....	113
4.3.3. Đo vẽ thành lập mặt cắt và đo tính khối lượng	116
4.3.4. Chuyển thiết kế ra thực địa.....	116
4.3.5. Ứng dụng GPS trong nghiên cứu địa động	117
4.4. Đo cao GPS	118
4.4.1. Cơ sở lý thuyết.....	118
4.4.2. Xác định dị thường độ cao theo các số liệu trọng lực	119
4.4.3. Xác định dị thường độ cao theo số liệu đo song trùng GPS-Thủy chuẩn.....	120
4.4.4. Xác định dị thường độ cao bằng mô hình Geoid.....	123
Chương 5. XỬ LÝ SỐ LIỆU ĐO GPS	126
5.1. Quy trình xử lý số liệu lưới GPS.....	126
5.1.1. Trút số liệu	126
5.1.2. Xử lý cạnh.....	127
5.1.3. Bình sai lưới GPS.....	133
5.1.4. Chuyển đổi hệ tọa độ	137
5.2. Phần mềm xử lý số liệu lưới GPS	145

Chương 1. MỘT SỐ VẤN ĐỀ CƠ SỞ CỦA TRẮC ĐỊA VỆ TINH

1.1. Lịch sử phát triển và nhiệm vụ của trắc địa vệ tinh

1.1.1. Khái niệm về Trắc địa vệ tinh

Trắc địa vệ tinh là một môn học của khoa học trắc địa, nó nghiên cứu việc quan sát vệ tinh phục vụ cho các mục đích trắc địa.

Định vị vệ tinh là việc xác định vị trí của một điểm trên mặt đất hoặc trong không gian bằng việc quan sát vệ tinh.

Vệ tinh là các vật thể vũ trụ hoặc vệ tinh nhân tạo, hiện nay chủ yếu là sử dụng vệ tinh nhân tạo.

Trắc địa vệ tinh có phạm vi rộng lớn hơn, nó không chỉ dừng lại ở việc nghiên cứu Trái đất mà còn nghiên cứu các vật thể vũ trụ. Các trị đo không chỉ là trị đo trên mặt đất mà còn là trị đo giữa mặt đất và vệ tinh, giữa vệ tinh và vệ tinh.

1.1.2. Lịch sử phát triển của trắc địa vệ tinh

Trắc địa là một trong những khoa học cổ xưa nhất về Trái đất. Từ xa xưa người Ai cập và người Hy Lạp đã biết sử dụng kết quả đo trắc địa vào việc phân chia và vẽ bản đồ ruộng đất. Cùng với sự phát triển của kinh tế và xã hội, phạm vi đo vẽ ngày càng lớn, yêu cầu độ chính xác đo vẽ ngày càng cao nên thiết bị đo, phương pháp đo và phương pháp xử lý số liệu đo cũng phải không ngừng phát triển. Đến thế kỷ XVI lưới tam giác đã có lý thuyết hoàn chỉnh và được ứng dụng ở châu Âu, đến đầu thế kỷ XX, lưới thiên văn - trắc địa mà cốt lõi là lưới tam giác đo góc đã trở thành lưới khống chế tọa độ ở hầu khắp các quốc gia trên thế giới.

Do nhiều nguyên nhân, cạnh của lưới tam giác hạng cao nhất có chiều dài trung bình 25 km. Để liên kết các điểm xa nhau với khoảng cách lớn hơn, sau Đại chiến thế giới lần thứ II ra đời hệ thống Shoran và Hiran nhưng độ chính xác đo khoảng cách thấp. Trong thời kỳ này để định vị trên biển và trên hoang mạc con người vẫn phải sử dụng chủ yếu là phương pháp thiên văn. Nhưng chúng ta biết đo thiên văn bị hạn chế khoảng cách đo ngắm và chịu ảnh hưởng rất lớn của điều kiện thời tiết.

Tháng 10 năm 1957 Liên Xô (cũ) phóng thành công vệ tinh nhân tạo (VTNT) đầu tiên của Trái đất (*Spunhic-I*) mở đầu kỷ nguyên chinh phục vũ trụ và cũng mở đầu kỷ nguyên mới của trắc địa: ra đời chuyên ngành khoa học Trắc địa vệ

tinh (TĐVT). Lúc đầu vệ tinh (VT) được đưa lên quỹ đạo và đóng vai trò như là mục tiêu cao, dùng các phương pháp quan sát mặt đất để xây dựng lưới tam giác vệ tinh. Đã có các lưới trắc địa vệ tinh đầu tiên để tính ra các tham số hình học và vật lý đầu tiên của Trái đất trên phạm vi toàn cầu.

Các giai đoạn của trắc địa vệ tinh được phân chia như sau:

1.1.2.1. Từ năm 1958 đến năm 1970

Phát triển các phương pháp cơ bản trong quan trắc vệ tinh, tính toán và phân tích quỹ đạo vệ tinh. Trong thời kỳ này, phương pháp quang học và chụp ảnh là phương pháp được áp dụng chủ yếu để đo hướng đến vệ tinh. Kết quả quan sát vệ tinh đã xác định được các hệ số của hàm điều hòa thế trọng trường Trái đất, nhờ đó đã công bố được mô hình Trái đất đầu tiên.

1.1.2.2. Từ năm 1970 đến năm 1980

Đây là giai đoạn thực hiện các dự án khoa học. Người ta đã đưa ra các kỹ thuật mới để quan sát vệ tinh nhân tạo, trong đó có phương pháp đo khoảng cách bằng laser đến vệ tinh và đến Mặt trăng, phương pháp đo cao từ vệ tinh. Trong thời kỳ này, Mỹ đã xây dựng hệ thống định vị toàn cầu TRANSIT dựa trên nguyên lý định vị Doppler, còn Liên Xô có hệ thống tương tự mang tên TSIKADA. Đã công bố một số mô hình trọng trường Trái đất nâng cao như GEM 10, GRIM. Độ chính xác quan sát vệ tinh được nâng cao nhờ có xét đến hiện tượng địa động như chuyển động quay của Trái đất, chuyển dịch cực Trái đất, biến dạng vỏ Trái đất. Trong thời kỳ này kỹ thuật quan sát Doppler được áp dụng rộng rãi trong trắc địa.

1.1.2.3. Từ năm 1980 đến năm 1990

Đây là giai đoạn ứng dụng mạnh mẽ kỹ thuật vệ tinh trong Trắc địa cao cấp, trong địa động học và trong đo đạc. Trong thời gian này, sự phát triển của trắc địa vệ tinh đi theo hai hướng chủ yếu sau:

- Hướng thứ nhất mở rộng các ứng dụng của quan trắc vệ tinh. Các phương pháp đo đạc bằng vệ tinh được ứng dụng rộng rãi để thay thế các phương pháp đo đạc truyền thống. Cụ thể là các ứng dụng của công nghệ GPS trong thời gian này đã giải quyết có hiệu quả nhiều nhiệm vụ khác nhau của công tác trắc địa - bản đồ.

- Hướng thứ hai là đi sâu nghiên cứu nâng cao độ chính xác định vị vệ tinh. Nhờ đó phương pháp trắc địa vệ tinh đã thay thế phương pháp thiên văn truyền

thống trong giám sát chuyển dịch cực Trái đất và chuyển động quay của Trái đất. Bằng quan trắc vệ tinh, người ta đã đo đạc xác định được biến dạng vỏ Trái đất trên quy mô toàn cầu.

1.1.2.4. Từ năm 1990 đến năm 2000

Đây là thời kỳ phát triển các dịch vụ trạm thường xuyên quốc gia và quốc tế. Trong thời gian này, các hoạt động của IERS và IGS dựa trên mạng lưới các trạm quan trắc thường trực bằng các kỹ thuật đo đạc không gian chính xác như VLBI, LLR, SLR, GPS đã cung cấp các thông số định hướng Trái đất với độ chính xác cao, nhờ đó đã xây dựng được khung quy chiếu sao quốc tế (ICRF) và khung quy chiếu Trái đất quốc tế (ITRF) với độ chính xác cao. Trong thời gian này, số trạm IGS thường trực trên toàn cầu đã nên đến 300.

Cũng trong thời gian này, nhiều quốc gia đã xây dựng hệ thống trạm quan sát liên tục CORS như hệ thống CORS của Mỹ, CACS của Canada và SAPOS của CHLB Đức,....

1.1.2.5. Từ năm 2000 trở lại đây

Sau hơn 40 năm phát triển của trắc địa vệ tinh, từ năm 2000 kỹ thuật này tiếp tục được phát triển. Độ chính xác của các dạng lời giải không gian, thời gian được nâng cao hơn. Trắc địa vệ tinh đã mở rộng ứng dụng khoa học và thực tiễn sang các lĩnh vực mới. Trong thời gian này phải kể đến một số thành tựu sau:

- Đưa các vệ tinh CHAMP, GRACE và GOCE lên quỹ đạo phục vụ quan sát trường trọng lực Trái đất với độ phân giải cao.
- Tiếp tục nâng cấp hệ thống vệ tinh đạo hàng toàn cầu GNSS với các vệ tinh GPS thế hệ mới thuộc khối IIR, IIF, các vệ tinh GLONASS - M, GLONASS - K và các vệ tinh thử nghiệm của hệ thống GALILEO.
- Nâng cao độ chính xác quan sát Trái đất nhờ công nghệ rada vệ tinh độ phân giải cao SAR.
- Xây dựng các hệ thống giám sát thường trực về tai biến tự nhiên và quan trắc môi trường.
- Phát triển tích hợp các công nghệ trắc địa không gian di chuyển được (TIGO) để xây dựng các hệ thống giám sát địa động lực.

Lịch sử phát triển của trắc địa vệ tinh đã trải qua hai thời kỳ công nghệ, đó là thời kỳ sử dụng các vệ tinh thụ động để giải quyết bài toán định vị theo phương

pháp hình học và thời kỳ sử dụng các vệ tinh chủ động để giải quyết bài toán định vị theo phương pháp động học.

Ở Việt Nam, các ứng dụng của công nghệ GPS trong trắc địa mới chỉ bắt đầu từ những năm 1990, song chúng ta đã khai thác có hiệu quả trong công tác xây dựng và hoàn thiện mạng lưới thiên văn - trắc địa quốc gia. Xây dựng lưới trắc địa biển, liên kết đất liền với các hải đảo nằm xa đất liền. Công nghệ GPS đã góp phần xây dựng cơ sở dữ liệu để hình thành hệ quy chiếu VN-2000. Bên cạnh đó chúng ta đã ứng dụng GPS để đo đạc một số mạng lưới nghiên cứu địa động trên các khu vực đứt gãy Sông Hồng, đứt gãy Điện Biên - Lai Châu và tham gia cùng các nước trong khu vực thực hiện đo đạc và nghiên cứu chuyển dịch vỏ Trái đất thuộc vùng Đông Nam Á.

1.1.3. Nhiệm vụ của trắc địa vệ tinh

Từ lịch sử phát triển của trắc địa vệ tinh, ta có thể thấy rằng nhiệm vụ của trắc địa vệ tinh là nhiệm vụ của trắc địa cao cấp được giải quyết bằng lý thuyết mới và công nghệ mới.

Nhiệm vụ tổng quát của trắc địa vệ tinh là nghiên cứu quan hệ tương hỗ giữa các điểm trên bề mặt trái đất và thiết bị đặt trên VTNT chuyển động trong trường trọng lực của Trái đất và các đặc điểm của trường trọng lực này bằng các lý thuyết và thiết bị liên quan đến trị đo từ mặt đất đến vệ tinh. Nhiệm vụ này có thể diễn đạt cụ thể hơn như sau:

- *Xác định chính xác vị trí không gian của các điểm trên mặt đất, trong không gian quanh Trái đất trong phạm vi khu vực và toàn cầu.*
- *Xác định thế trọng trường Trái đất và những yếu tố liên quan như Ellipsoid trái đất, Geoid, địa hình mặt biển...*
- *Đo đạc và mô hình hóa các hiện tượng địa động.*

1.2. Các bài toán và các nguyên lý định vị vệ tinh

1.2.1. Các bài toán định vị vệ tinh

Trắc địa vệ tinh là môn khoa học nghiên cứu việc ứng dụng các kết quả quan sát vệ tinh nhân tạo hoặc vệ tinh tự nhiên của Trái đất và các vật thể vũ trụ khác để giải quyết các nhiệm vụ kỹ thuật của trắc địa.

Để giải quyết nhiệm vụ xác định vị trí điểm trên bề mặt Trái đất dựa vào quan sát vệ tinh, người ta đưa ra hai nguyên tắc đó là ***nguyên tắc hình học*** và ***nguyên tắc động học***.

Trước đây người ta đưa lên quỹ đạo một số vệ tinh nhân tạo đóng vai trò như những mục tiêu di động phát sáng hoặc được chiếu sáng, nhờ đó các trạm quan sát trên mặt đất có thể ghi nhận được vị trí bằng chụp ảnh vệ tinh trên nền sao. Bằng cách này người ta có thể tiến hành xác định được vị trí điểm quan sát trên mặt đất mà không cần biết vị trí chính xác của vệ tinh. Các vệ tinh này được gọi là các vệ tinh thụ động, và bài toán xác định trong trường hợp này được giải quyết theo nguyên tắc hình học ***còn gọi là bài toán hình học***. Trong bảng 1-1 thống kê một số vệ tinh thụ động.

Bảng 1.1. Một số vệ tinh thụ động

Vệ tinh	Năm sử dụng	Độ cao vệ tinh (km)
ECHO-1	1960 - 1968	1600
ECHO-2	1964 - 1969	1200
PAGEOS	1966 - 1972	2800 - 5600
EXPLORER-19	1963	1300
EXPLORER-39	1968	700 - 2500
STARLETTE	1975	810 - 1100
LAGEOS	1976	5900

Phương pháp tam giác vệ tinh được xây dựng dựa trên kết quả quan sát đồng thời các vệ tinh thụ động. Các trị đo có thể là các trị đo hướng, đo khoảng cách từ điểm quan sát đến vệ tinh. Thông qua các trị đo hướng, trị đo khoảng cách đến các vệ tinh, người ta xây dựng các mạng lưới tam giác không gian liên kết các điểm trên mặt đất. Sau khi bình sai mạng lưới không gian, người ta sẽ tính chuyển tọa độ cho các điểm trong mạng, đồng thời cũng nhận được vị trí vệ tinh tại thời điểm quan sát. Trong trường hợp này vị trí vệ tinh đóng vai trò như các điểm ngắm phụ trợ để tạo nên mạng lưới không gian.

Nhược điểm cơ bản của bài toán hình học là không thể thực hiện định vị tuyệt đối tức thời mà chỉ có thể thực hiện định vị tương đối xử lý sau. Trong bài

toán hình học, thiết bị quan sát công kênh, việc tổ chức đo phức tạp, tốn nhiều thời gian, độ chính xác thấp.

Những thời gian sau này, nhờ sự phát triển của kỹ thuật điện tử, các vệ tinh được trang bị nguồn phát tín hiệu vô tuyến, gương phản chiếu laser, đồng hồ chính xác...v.v. Trong quá trình chuyển động trên quỹ đạo người ta xác định được vị trí chính xác của vệ tinh, từ đó xác định được vị trí của các trạm thu tín hiệu vệ tinh hoặc trạm đo khoảng cách tới vệ tinh bằng laser. Các vệ tinh như vậy gọi là các vệ tinh chủ động và bài toán định vị trong trường hợp được giải quyết theo nguyên tắc động học còn gọi là **bài toán động học**. Các vệ tinh của hệ thống TRANSIT, GPS và GLONASS, GALILEO thuộc nhóm vệ tinh chủ động. Trong bảng 1-2 thống kê một số vệ tinh chủ động.

Bảng 1.2. Một số vệ tinh chủ động

Vệ tinh	Bắt đầu sử dụng	Độ cao vệ tinh (km)	Góc nghiêng quỹ đạo (i)
ANNA-1B	1962	1100	51 ⁰
GEOS-1	1965	1100 - 2300	29.5
GEOS-2	1968	1100 - 1600	106
TRANSIT	1962	1100	90
GPS	1978	20200	55
GLONASS	1992	19100	64.8

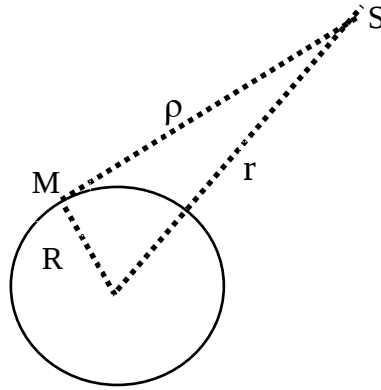
Theo bài toán động học để duy trì hoạt động của hệ thống định vị vệ tinh, mạng lưới các trạm quan trắc của đoạn điều khiển phải liên tục quan trắc vệ tinh là cơ sở để xác định các tham số trường trọng lực Trái đất, xác định quỹ đạo của vệ tinh, lập lịch vệ tinh. Từ đó cung cấp cho người sử dụng các tham số quỹ đạo chuyển động của VTNT trong môi trường có nhiễu của trọng trường Trái đất để thực hiện công tác định vị điểm trên mặt đất và trong không gian.

1.2.2. Các nguyên lý định vị vệ tinh

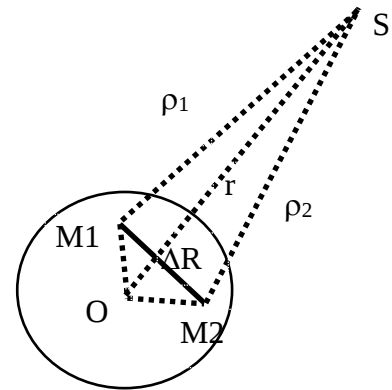
Trong định vị bằng VTNT bao gồm 2 nguyên lý định vị là: **định vị tuyệt đối** và **định vị tương đối**. Định vị tuyệt đối là xác định vị trí tuyệt đối của điểm quan sát trong hệ tọa độ quy ước, còn định vị tương đối là xác định hiệu tọa độ (vị trí tương đối) của hai hoặc nhiều điểm quan sát trong hệ tọa độ đó.

1.2.2.1. Nguyên lý định vị tuyệt đối

Trên hình 1-1a trình bày nguyên tắc cơ bản của bài toán định vị tuyệt đối bằng vệ tinh.



Hình 1.1a: Định vị tuyệt đối



Hình 1.1b: Định vị tương đối

Trong đó, S là vị trí của vệ tinh, nhờ thu tín hiệu từ vệ tinh ta xác định được vector từ điểm quan sát đến vệ tinh, ký hiệu là ρ . Nếu vị trí của vệ tinh vào thời điểm quan sát đã biết thì vector địa tâm r hoàn toàn xác định. Như vậy vị trí của điểm quan trắc M sẽ được xác định thông qua biểu thức:

$$\bar{R} = \bar{r} - \bar{\rho} \quad (1.1)$$

1.2.2.2. Nguyên lý định vị tương đối

Để định vị tương đối giữa hai điểm M_1 và M_2 trên mặt đất (hình 1.1b), người ta sử dụng phương pháp đo đồng thời từ hai điểm quan trắc. Từ đó ta lập được hai phương trình tại hai điểm quan trắc là:

$$\begin{aligned} \bar{R}_1 &= \bar{r} - \bar{\rho}_1 \\ \bar{R}_2 &= \bar{r} - \bar{\rho}_2 \end{aligned} \quad (1.2)$$

Từ hai phương trình trên ta xác định được vị trí tương đối giữa hai điểm:

$$\Delta \bar{R} = \bar{R}_1 - \bar{R}_2 = \bar{\rho}_2 - \bar{\rho}_1 \quad (1.3)$$

Có thể thấy rằng bằng phương pháp quan trắc đồng thời, ta có thể xác định được vị trí tương đối giữa các điểm trên mặt đất mà không cần biết chính xác vị trí của vệ tinh (r). Trong nguyên tắc động học, nhờ quan sát đồng thời nên đã giảm được khá nhiều nguồn sai số, như sai số đồng hồ, đặc biệt là sai số của vị trí vệ tinh trên quỹ đạo. Định vị tương đối đạt độ chính xác cao do đó được ứng dụng rộng rãi trong trắc địa. Định vị tuyệt đối đạt độ chính xác thấp nên thường chỉ sử dụng trong công tác đạo hàng.

1.3. Các hệ tọa độ

1.3.1. Khái niệm về các hệ tọa độ

Vị trí của các điểm trên mặt đất, trong không gian đều được biểu thị bằng giá trị tọa độ trong một hệ tọa độ nào đó. Các hệ tọa độ khác nhau cho các tham số tọa độ khác nhau. Trước khi tìm hiểu về các hệ tọa độ dùng trong trắc địa vệ tinh, ta hãy tìm hiểu về một số khái niệm có tính chất như tiêu chí để nói về một hệ tọa độ. Khi nói đầy đủ, một hệ tọa độ có tên rất dài để chỉ rõ tham số, gốc tọa độ, định hướng của các trục tọa độ, mặt phẳng gốc .vv... Ví dụ: Hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm, hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện xích đạo...

Xét theo việc chọn điểm nào làm gốc tọa độ, người ta chia ra hệ tọa độ địa tâm là hệ tọa độ lấy tâm Trái đất làm gốc, hệ tọa độ địa diện là hệ tọa độ lấy một điểm bất kỳ trên bề mặt Trái đất làm gốc tọa độ và hệ tọa độ vật tâm lấy trọng tâm của vật chuyển động trong không gian làm gốc tọa độ.

Tên một hệ tọa độ còn liên quan đến hệ tọa độ đó có hay không tham gia vào chuyển động ngày đêm của Trái đất. Với tiêu chí này có **hệ tọa độ sao** và **hệ tọa độ Trái đất**.

Cuối cùng cũng nên hiểu thêm về tọa độ nhà nước. Tọa độ nhà nước thông thường có hai thành phần: Tọa độ mặt bằng thường được biểu diễn dưới dạng tọa độ trắc địa (B, L) hoặc tọa độ vuông góc phẳng (X, Y) tuân theo một phép chiếu nào đó; thành phần thứ hai là độ cao thường hoặc độ cao chính. Tọa độ mặt bằng lấy mặt ellipsoid quy chiếu làm gốc tọa độ, còn độ cao lại lấy mặt Kvadigeoid hoặc Geoid làm gốc.

1.3.2. Hệ tọa độ sao

Hệ tọa độ sao có tên gọi là (Hệ) tọa độ thiên thể. Có thể coi đây là hệ tọa độ dùng để mô tả chuyển động của vệ tinh nhân tạo.

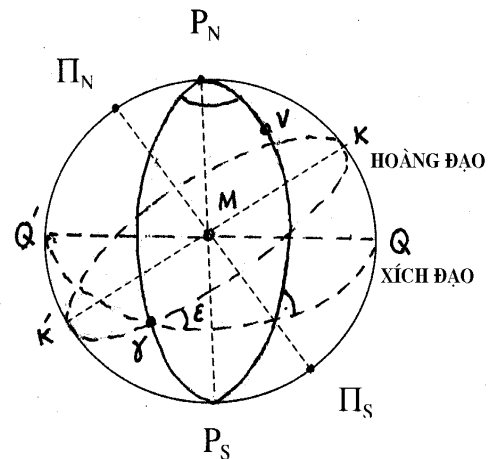
1.3.2.1. Thiên cầu

Thiên cầu là một mặt cầu có bán kính tùy ý, tâm là một điểm bất kỳ trong không gian, mang trên bề mặt hình chiếu của các thiên thể, được sử dụng để tính toán và dựng hình khác nhau trong thiên văn học. Trong thiên văn - trắc địa người ta lấy tâm thiên cầu trùng với điểm quan sát, dựng thiên cầu có bán kính đơn vị, vì vậy khi dùng tham số tọa độ là tọa độ cầu chỉ còn 2 tham số đó là độ vĩ xích đạo δ

và góc giờ của thiên thể ký hiệu là t (nếu dùng hệ toạ độ xích đạo I) hoặc độ độ vĩ xích đạo δ và độ kinh xích đạo α (nếu sử dụng hệ toạ độ xích đạo II). Trong hệ toạ độ chân trời thiên văn dùng toạ độ cực cũng chỉ có 2 tham số là góc phương vị thiên văn A và khoảng thiên đỉnh Z của thiên thể. Trong trắc địa vệ tinh, tâm thiên cầu lấy ở trọng tâm M của Trái đất và bán kính thiên cầu có giá trị r nào đó (thường r là bán kính vector từ trọng tâm trái đất M đến vệ tinh v).

Hình 1-2 là thiên cầu và các yếu tố của thiên cầu, trong đó:

- + P_N, P_S là cực bắc và cực nam Thiên cầu
- + Π_N, Π_S là cực bắc và cực nam Hoàng đạo
- + ε là góc nghiêng của mặt phẳng Hoàng đạo so với mặt phẳng xích đạo.



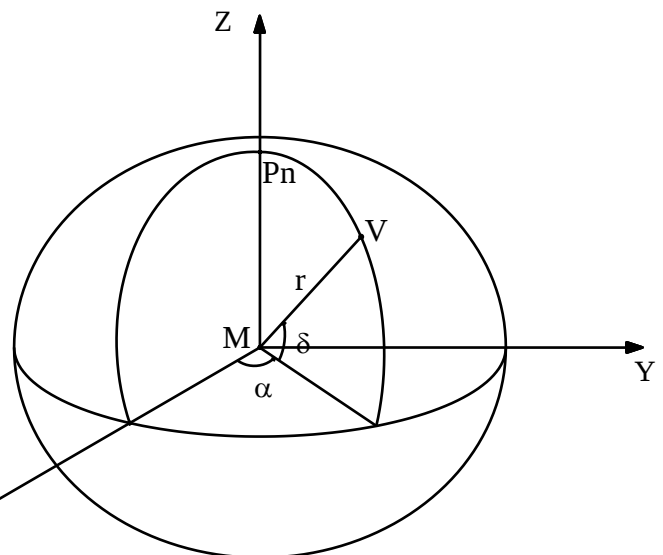
Hình 1-2. Thiên cầu

1.3.2.2. Hệ toạ độ sao

Trong hệ toạ độ sao, vị trí của vệ tinh có thể biểu thị dưới dạng toạ độ vuông góc không gian (X, Y, Z) hoặc toạ độ cầu (r, α, δ) như hình 1-3.

Hệ toạ độ vuông góc không gian được định nghĩa:

- Góc toạ độ trùng với trọng tâm Trái đất M .
- Trục Z trùng trục quay của Trái đất, chiều dương hướng tới cực Bắc thiên cầu.
- Trục X hướng tới điểm Xuân phân γ (giao điểm của đường xích đạo và đường Hoàng đạo).



Hình 1.3. Hệ toạ độ sao

- Trục Y vuông góc với mặt phẳng XMZ hợp với trục X , trục Z theo quy tắc bàn tay phải.

Toạ độ của vệ tinh V trong cách biểu diễn theo toạ độ vuông góc không gian là $V(X, Y, Z)$.

Hệ toạ độ cầu là $V(r, \alpha, \delta)$, trong đó:

r - bán kính vectơ từ trọng tâm Trái đất M đến vệ tinh V;

α - Độ kinh xích đạo, là góc nhị diện giữa mặt phẳng kinh tuyến thiên văn đi qua điểm Xuân phân và mặt phẳng kinh tuyến thiên văn đi qua điểm xét V;

δ - Độ vĩ xích đạo, là góc kẹp giữa bán kính vectơ r và mặt phẳng Xích đạo thiên văn.

Toạ độ vuông góc không gian và toạ độ vuông góc cầu có mối quan hệ như sau:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = r \cdot \begin{bmatrix} \cos \delta \cdot \cos \alpha \\ \cos \delta \cdot \sin \alpha \\ \sin \delta \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

hoặc ngược lại:

$$\begin{cases} r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \\ \alpha = \arctg \frac{Y}{X} \\ \delta = \arctg \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \end{cases} \quad (1.5)$$

Vì điểm Xuân phân không tham gia vào chuyển động ngày đêm của Trái đất nên hệ toạ độ sao không tham gia vào chuyển động ngày đêm của Trái đất, do đó nó được dùng để biểu thị vị trí và trạng thái của vệ tinh trên quỹ đạo. Tuy nhiên trong tính toán, toạ độ vệ tinh tại thời điểm nào đó cũng được xác định trong hệ toạ độ trái đất (hệ WGS-84, hoặc ITRF).

1.3.3. Hệ toạ độ Trái đất

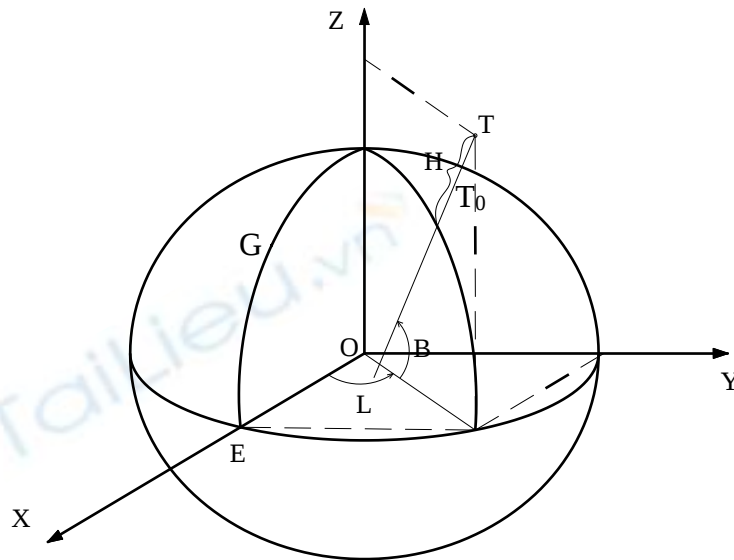
1.3.3.1. Hệ toạ độ trái đất tức thời

Hệ toạ độ sao nói trên không tham gia chuyển động tự quay của Trái đất. Toạ độ 1 điểm trên mặt đất biểu diễn trong hệ toạ độ sao sẽ luôn thay đổi, cho nên cần phải có một hệ toạ độ tham gia vào quá trình tự quay của Trái đất và gọi là hệ toạ độ Trái đất.

Trong hệ toạ độ Trái đất, vị trí điểm T cũng có 2 cách biểu thị. Toạ độ vuông góc không gian (X, Y, Z) hoặc toạ độ trắc địa (B, L, H) (Hình 1.4).

Hệ tọa độ vuông góc không gian được định nghĩa:

- Gốc tọa độ 0 chọn ở trọng tâm Trái đất.
- Trục Z trùng với trục quay của Trái đất, chiều dương hướng về cực Bắc.
- Trục X đi qua điểm E, là giao điểm của mặt phẳng kinh tuyến Greenwich và mặt phẳng Xích đạo.
- Trục Y hợp với trục X và trục Z theo quy tắc bàn tay phải.



Hình 1.4. Hệ tọa độ Trái đất

Tọa độ trắc địa B, L, H của điểm T được định nghĩa:

- Độ vĩ trắc địa B là góc hợp bởi đường pháp tuyến đi qua điểm xét và mặt phẳng xích đạo. Các điểm nằm phía Bắc bán cầu có độ vĩ trắc địa trong khoảng từ 0^0 đến 90^0 vĩ Bắc, các điểm nằm phía Nam bán cầu có độ vĩ trắc địa trong khoảng từ 0^0 đến 90^0 vĩ Nam.

- Độ kinh trắc địa L là góc nhị diện giữa mặt phẳng kinh tuyến trắc địa gốc và mặt phẳng kinh tuyến trắc địa đi qua điểm xét. Trên toàn bộ mặt ellipsoid Trái đất, độ kinh trắc địa được tính từ kinh tuyến gốc ($L = 0^0$) về hai phía Đông và Tây. Các điểm nằm ở phía Đông bán cầu có giá trị trong khoảng từ 0^0 đến 180^0 kinh Đông, còn các điểm nằm ở phía Tây bán cầu có giá trị trong khoảng từ 0^0 đến 180^0 kinh Tây.

- Độ cao trắc địa H là khoảng cách tính theo phương pháp tuyến từ điểm xét đến mặt ellipsoid. Điểm nằm phía trên mặt ellipsoid có giá trị độ cao trắc địa mang

dấu dương ($H > 0$), còn điểm nằm phía dưới mặt Ellipsoid có độ cao trắc địa mang dấu âm ($H < 0$).

1.3.3.2. Hệ tọa độ trái đất qui ước

Vật chất trong lòng đất luôn luôn biến đổi tạo thành các dòng đối lưu, dẫn đến trọng tâm của Trái đất cũng luôn thay đổi và cực Bắc cũng thay đổi theo, gọi là hiện tượng chuyển dịch cực. Hệ tọa độ Trái đất tức thời lấy cực Bắc làm chuẩn để xây dựng trục Z khi cực Bắc thay đổi cũng bị thay đổi theo. Để khắc phục điều này người ta xây dựng hệ tọa độ trái đất quy ước. Năm 1967, Hiệp hội Thiên văn và Trắc địa quốc tế đã tính vị trí cực trung bình từ kết quả quan sát 5 năm và lấy tâm Trái đất tương ứng làm gốc, gọi là điểm gốc quy ước quốc tế CIO và tương ứng xây dựng được hệ tọa độ Trái đất quy ước CTS.

1.3.3.3. Hệ tọa độ WGS-84

Đây cũng là một dạng của hệ tọa độ trái đất quy ước, được Bộ quốc phòng Mỹ xây dựng, GS.TS Moritz chủ trì, bắt đầu tiến hành xây dựng năm 1980, đến năm 1984 thì hoàn thành. Lúc đầu người ta sử dụng 5 trạm thuộc khối điều khiển của hệ thống GPS làm lưới tọa độ quy chiếu quốc tế, các trạm này có tên gọi là Air-Force Tracking Station. Tọa độ tương đối giữa các trạm này được xác định bằng nhiều kỹ thuật khác nhau nhưng chủ yếu là kỹ thuật giao thoa cạnh đáy dài (VLBI). Về sau, người ta đã thiết lập thêm 7 trạm quan trắc nữa gọi là các trạm NIMA Tracking Station. Hệ tọa độ này được hiệu chỉnh 2 lần, lần thứ nhất vào năm 1994 và lần thứ hai vào năm 1996. Đến nay thì hệ tọa độ WGS-84 khá thống nhất với khung tọa độ quốc tế ITRF. Hệ tọa độ này gắn với ellipsoid WGS-84, ellipsoid này được định vị phù hợp trên toàn cầu. Đây là hệ tọa độ thế giới, được sử dụng thống nhất cho toàn bộ công tác định vị GPS.

1.3.3.4. Hệ tọa độ trái đất địa phương

Mỗi quốc gia lại xây dựng cho mình một hệ tọa độ riêng bằng cách lựa chọn một ellipsoid thực dụng và định vị nó cho phù hợp với lãnh thổ quốc gia mình, gọi là hệ tọa độ trái đất địa phương. Hệ tọa độ trái đất địa phương và hệ tọa độ thế giới khác nhau bởi 9 tham số:

- dX , dY , dZ là 3 tham số tịnh tiến gốc, tức là dịch chuyển cho gốc tọa độ của hai hệ trùng nhau;

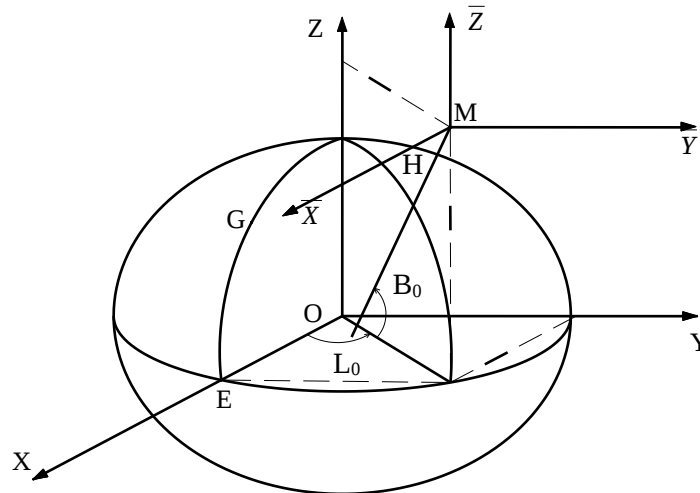
- e_x, e_y, e_z là 3 góc xoay Ole, xoay cho các trục tọa độ tương ứng của hai hệ song song với nhau;
- dm là tỷ số chiều dài giữa hai hệ tọa độ;
- Δa và $\Delta \alpha$ là sự khác nhau của hai ellipsoid quy chiếu.

1.3.4. Hệ tọa độ địa diện

Hệ tọa độ địa diện là những hệ tọa độ có gốc tọa độ là điểm trên mặt đất (hoặc trên mặt Ellipsoid). Các hệ tọa độ địa diện đóng vai trò là các hệ tọa độ trung gian dùng để giải quyết các bài toán trong trắc địa vệ tinh. Sau đây là một số hệ tọa độ địa diện thường dùng:

1.3.4.1. Hệ tọa độ địa diện xích đạo

Hệ tọa độ địa diện xích đạo là hệ tọa độ vuông góc không gian (3 chiều) có gốc tọa độ trùng với điểm M trên mặt đất (hình 1-5). Các trục tọa độ là $M\bar{X}, M\bar{Y}, M\bar{Z}$, trong đó trục $M\bar{Z}$ song song với trục OZ của hệ tọa độ trái đất. Mặt phẳng $\bar{X}M\bar{Y}$ song song với mặt phẳng xích đạo XOY , và các trục tọa độ $M\bar{X}, M\bar{Y}$ tương ứng song song với các trục OX và OY .



Hình 1.5. Hệ tọa độ địa diện xích đạo

Hệ tọa độ này có điểm gốc nằm trên mặt đất và mặt phẳng gốc song song với mặt phẳng xích đạo nên gọi là hệ tọa độ địa diện xích đạo. Nó được dùng làm trung gian khi tính chuyển giữa hệ tọa độ trái đất và hệ tọa độ địa diện chân trời.

Vì các trục của hai hệ này song song nhau cho nên tọa độ của một điểm nào đó trong hai hệ sẽ có quan hệ như sau:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (N_0 + H_0) \cos B_0 \cos L_0 \\ (N_0 + H_0) \cos B_0 \sin L_0 \\ [N_0(1 - e^2) + H_0] \sin B_0 \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

trong đó: B_0, L_0, H_0 là toạ độ trắc địa của gốc hệ toạ độ địa diện M trong hệ địa tâm; N_0 là bán kính vòng thẳng đứng thứ nhất đi qua hệ toạ độ địa tâm, nó được xác định:

$$N_0 = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2} \cdot \sin^2 B} \quad (1.7)$$

1.3.4.2. Hệ toạ độ địa diện chân trời

Hệ toạ độ địa diện chân trời có gốc toạ độ O trùng với điểm O' trên mặt đất (thường là điểm quan sát). Ba trục toạ độ là $O'x', O'y', O'z'$. Trục $O'z'$ trùng với phương pháp tuyến tại điểm O', trục $O'x'$ nằm trong mặt phẳng kinh tuyến qua O', vuông góc với trục $O'z'$ và hướng về cực bắc Trái đất. Trục $O'y'$ vuông góc với trục $O'x', O'z'$ và hướng về phía Đông. (Hình 1-6).

Có thể gọi hệ này là **hệ toạ độ địa diện chân trời vuông góc không gian**. Trong hệ toạ độ này, người ta có thể biểu diễn toạ độ của 1 điểm bởi 3 giá trị toạ độ x', y', z' , và cũng có thể biểu diễn dưới dạng toạ độ cực bởi 3 giá trị bán kính vector ρ , phương vị A và góc cao h (hoặc E). Có thể gọi hệ này là **hệ toạ độ cực địa diện chân trời**. Các công thức tính chuyển toạ độ giữa x', y', z' và ρ, A, h như sau:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho \cdot \cosh \cdot \cos A \\ \rho \cdot \cosh \cdot \sin A \\ \rho \cdot \sinh \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

hoặc ngược lại:

$$\rho = \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} \quad (1.9)$$

$$A = \arctan \frac{y'}{x'} \quad (1.10)$$

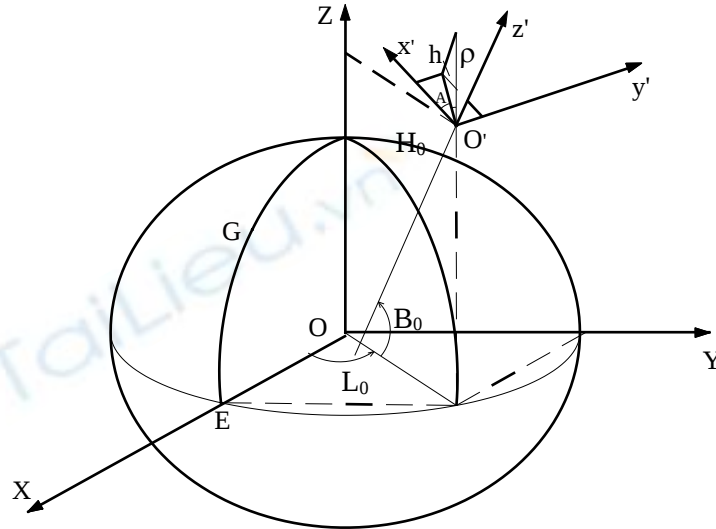
$$h = \arctan \frac{z'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \quad (1.11)$$

Để chuyển đổi giữa toạ độ trái đất và toạ độ địa diện chân trời chúng ta sử dụng các công thức sau:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R \cdot \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (N_0 + H_0) \cos B_0 \cdot \cos L_0 \\ (N_0 + H_0) \cos B_0 \sin L_0 \\ [N_0(1 - e^2) + H_0] \sin B_0 \end{bmatrix} \quad (1.12)$$

trong đó R là ma trận xoay:

$$R = \begin{bmatrix} -\sin B \cdot \cos L & -\sin L & \cos B \cdot \cos L \\ -\sin B \cdot \sin L & \cos L & \cos B \cdot \sin L \\ \cos B & 0 & \sin B \end{bmatrix} \quad (1.13)$$



Hình 1.6. Hệ tọa độ địa diện chân trời

1.3.5. Hệ quy chiếu trái đất sử dụng trong các hệ thống định vị toàn cầu

Để làm cơ sở cho một hệ định vị vệ tinh dẫn đường toàn cầu cần phải thiết lập một khung quy chiếu Trái đất quy ước sử dụng trên toàn cầu và phải đạt được một số tiêu chuẩn như sau:

- Gốc hệ tọa độ địa tâm phải trùng với trọng tâm của Trái đất
- Các trục tọa độ được xác định như hệ tọa độ trái đất đã nêu ở trên
- Vị trí các điểm xác định khung quy chiếu trong đoạn điều khiển phải có độ chính xác cao, thỏa mãn yêu cầu giám sát vệ tinh, xác định tọa độ vệ tinh phục vụ lập lịch vệ tinh và định vị bằng vệ tinh.
- Có thể chuyển đổi tọa độ từ hệ này sang hệ quy chiếu khác nhờ các tham số chuyển đổi tọa độ đã xác định.
- Hệ thống thời gian phải đảm bảo chặt chẽ, chính xác, phù hợp với độ chính xác định vị.