

ẢNH HƯỞNG TẦNG ĐIỆN LY VÀO TRỊ ĐO GPS VÀ BIỆN PHÁP KHẮC PHỤC

EFFECTS OF IONOSPHERE ON GPS MEASUREMENTS AND REMEDIES

Trần Thị Mỹ Hạnh

Tóm tắt:

Bài báo trình bày ảnh hưởng của tầng điện ly đến trị đo GPS. Từ đó đưa ra những phương pháp, mô hình khắc phục những ảnh hưởng đó và hiệu quả của từng mô hình.

Từ khóa: tầng điện ly, trị đo GPS

Abstract:

This paper presents the influence of ionosphere on GPS measurements. From there, methods and models are proposed to overcome those effects and the effectiveness of each model.

Keywords: ionosphere, GPS measurements

ThS. Trần Thị Mỹ Hạnh

Khoa Xây dựng - Trường ĐHXD Miền Tây

Email: tranthimyhanh@mtu.edu.vn

ĐT: 0906 995 606

Ngày nhận bài: 16/5/2022

Ngày gửi phản biện: 01/6/2022

Ngày chấp nhận đăng: 10/6/2022

1. Giới thiệu tầng điện ly

Tầng điện ly là vùng khí quyển ở độ cao từ 50 km đến khoảng 1000km so với bề mặt Trái Đất [1]. Đặc điểm của tầng này là càng lên cao càng nóng. Ở độ cao 400km cách mặt đất, nhiệt độ vào khoảng 3.000 - 4.000 độ C do bức xạ tia tử ngoại từ mặt trời hoặc do các hạt giàu năng lượng có trong gió Mặt Trời đã ion hóa một phần các phân tử khí ở đây và giải phóng các electron tự do, vì thế tầng này gọi là tầng điện ly.

Bản thân toàn bộ tầng điện ly xấp xỉ là một plasma, có nghĩa là số điện âm và điện dương như nhau. Tuy nhiên, các electron trong bản thân tầng điện ly thay đổi phức tạp. Cũng giống bất kỳ một tín hiệu điện từ nào truyền qua môi trường ion hóa, các tín hiệu GPS cũng chịu ảnh hưởng của tính chất khuếch tán phi tuyến của môi trường này [1].

Các tín hiệu thu nhận được từ vệ tinh bị tác động bởi nhiều nguồn sai số khác nhau. Theo tài liệu [2], ảnh hưởng các sai số đến trị đo GPS như sau:

Bảng 1: Ảnh hưởng các loại sai số đến trị đo GPS

Loại sai số	Đơn vị tính (m)
Tầng điện ly	5,0
Tầng đối lưu	1,5
Sai số vệ tinh và quỹ đạo	5,0
Độ nhiễu tín hiệu máy thu	1,5
Hiện tượng đa đường	2,5

Từ bảng 1 cho thấy sai số thiết bị đo GPS gây ra do ảnh hưởng của tầng điện ly là rất lớn. Và cho đến hiện nay, người ta vẫn chưa có phương pháp nào loại bỏ được 100% ảnh hưởng của tầng điện ly. Do đó, việc tìm hiểu các biện pháp nhằm hạn

chế sự ảnh hưởng này đã và đang được nhiều sự quan tâm và nghiên cứu.

2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp tổng quan tài liệu: Nhằm thu thập, tổng hợp các thông tin, số liệu từ các tài liệu và các công trình nghiên cứu có liên quan trước đây về tầng điện ly, ảnh hưởng của tầng điện ly vào trị đo GPS và các biện pháp khắc phục đã được áp dụng hiệu quả.

3. Ảnh hưởng của tầng điện ly

3.1 Cấu trúc tín hiệu của vệ tinh và phương trình trị đo GPS

Các vệ tinh GPS phát tín hiệu trên hai tần số sóng điện từ: L1 = 1575,42 MHz và L2 = 1227,3 MHz [3].

Trên các tần số sóng cực ngắn này, tín hiệu truyền đi rất tập trung theo hướng phát, có thể xuyên qua mây, sương mù và mưa nhưng dễ bị khóa và phản xạ từ các vật rắn và mặt nước. Các tín hiệu vệ tinh bao gồm:

- Hai sóng tải (L1, L2)
- Mã đo khoảng cách điều biến trên các sóng tải
- Thông báo hàng hải

Phương trình trị đo mã

Giả sử tín hiệu phát ra từ anten GPS ở thời điểm t_k (theo đồng hồ vệ tinh). Tín hiệu đến anten máy thu vào thời điểm t_i (theo đồng hồ máy thu). Theo định nghĩa, trị đo giả cự ly được đo bằng công thức [1]:

$$P = c(t_i - t_k) = c \quad (1.1)$$

Nhưng do ảnh hưởng của nhiều nguồn sai số như sai số đồng hồ vệ tinh, sai số đồng hồ máy thu, sai số do môi trường truyền sóng. Ta có phương trình trị đo giả cự ly được viết lại như sau [1, 4]:

$$P_i^k = \rho_i^k(t) + I_i^k + T_i^k + dm_i^k + c[dt_i(t) - dt^k(t - \tau_i^k)] + e_i^k \quad (1.2)$$

Trong đó:

$\rho_i^k(t)$ là khoảng cách hình học từ vệ tinh đến máy thu

I_i^k sai số do ảnh hưởng ở tầng điện ly

T_i^k sai số do ảnh hưởng ở tầng đối lưu

dm_i^k là sai số do hiện tượng đa đường

$dt_i(t)$ sai số do đồng hồ máy thu

$dt^k(t - \tau_i^k)$ sai số do đồng hồ vệ tinh

τ_i^k là thời gian tín hiệu lan truyền từ vệ tinh đến máy thu GPS

e_i^k là sai số trị đo giả cự ly

Phương trình trị đo pha

Phương trình trị đo pha được thành lập tương tự như phương trình trị đo giả cự ly. Trong đó về phải chỉ có thêm số hạng λN_i^k với N là tham số đa trị thể hiện số nguyên lần bước sóng và λ là bước sóng của sóng tải [1, 4]:

$$\phi_i^k = \rho_i^k(t) - I_i^k + T_i^k + dm_i^k + c[dt_i(t) - dt^k(t - \tau_i^k)] + \lambda N_i^k + \epsilon_i^k \quad (1.3)$$

Trong đó:

$\rho_i^k(t)$ là khoảng cách hình học từ vệ tinh đến máy thu

I_i^k sai số do ảnh hưởng ở tầng điện ly

T_i^k sai số do ảnh hưởng ở tầng đối lưu

dm_i^k là sai số do hiện tượng đa đường

$dt_i(t)$ sai số do đồng hồ máy thu

$dt^k(t - \tau_i^k)$ sai số do đồng hồ vệ tinh

τ_i^k là thời gian tín hiệu lan truyền từ vệ tinh đến máy thu GPS

e_i^k là sai số trị đo pha

3.2 Ảnh hưởng của tầng điện ly đến tín hiệu GPS

Tầng điện ly được mô tả thông qua các electron tự do và các hạt tích điện. Các ion tự do được sinh ra do sự bức xạ của các tia tử ngoại mặt trời và làm cho tín hiệu GPS khi truyền trong môi trường này bị phân tán và khúc xạ một cách không tuyến tính. Các ảnh hưởng chính của tầng điện ly đối với tín hiệu GPS được liệt kê như sau:

- Kéo dài thời gian truyền tín hiệu (group delay).
- Làm sớm pha sóng mang (phase advance).
- Làm yếu tín hiệu truyền qua (cường độ tín hiệu bị giảm đi khoảng 0,2 dB).
- Ảnh hưởng dao động tín hiệu ở tần số cao gây ra do sự tập trung của các electron tại một số chỗ trong tầng điện ly (scintillation).

Sự phân tán và khúc xạ của tín hiệu GPS đã ảnh hưởng vào sai số đo khoảng cách thể hiện qua độ trễ điện ly được tính bằng công thức sau [1, 4]:

$$d_{ion} = \frac{c'}{f^2} \quad (1.4)$$

Trong đó:

d_{ion} là độ trễ tại tầng điện ly

c' là hằng số

f là tần số tín hiệu

Đặc tính độ trễ trên tầng điện ly:

- Độ trễ tầng điện ly phụ thuộc vào tần số.
- Độ trễ càng lớn khi góc cao độ vệ tinh càng thấp.
- Cực đại vào ban ngày và giảm đi vào đêm tối (do hiệu ứng bức xạ mặt trời).
- Lớn hơn tại khu vực xích đạo và khu vực các cực từ của Trái Đất
- Độ trễ phụ thuộc vào TEC (Total Electronic Content)

Chỉ số TEC (Total Electron Content):

Ở tầng điện ly, mật độ electron thay đổi độ cao so với bề mặt Trái Đất: bắt đầu tăng ở độ cao 50 km, đạt tới đỉnh điểm tại độ cao 300 - 350 km với mật độ 10^{12} electron/m³. Đây là tầng khí quyển gây ảnh hưởng nghiêm trọng nhất đến chất lượng định vị, đặc biệt là khi các electron bị kích hoạt mạnh xảy ra cơn bão điện ly (ionospheric storm).

Vì mật độ electron trong tầng điện ly rất quan trọng tới sai số của phép đo tín hiệu GPS, đưa đến khái niệm cần được hiểu rõ là TEC (Total Electron Content). TEC là mật độ electron dọc theo đường truyền tín hiệu [5]:

$$TEC = \int_a^b N_e(r)dl(r) \quad (1.5)$$

Với N_e là mật độ electron của tầng điện ly.

TEC là một tham số thời tiết quan trọng đặc trưng cho trạng thái và động học của plasma trong tầng điện ly. TEC thay đổi đáng kể trong các sự kiện mặt trời như bão từ và phản ánh tính động học của các quá trình trong môi trường không gian của Trái Đất. TEC biến động nhiều theo không gian và thời gian. Sự biến động chủ yếu này là ngày đêm. Các giá trị điển hình của TEC vào thời gian ban ngày tại vĩ độ trung bình là 100 TECU, ban đêm là 10 TECU (1 TECU = 10^{16} m⁻²).

VTEC (Vertical Total Electron Content) là chỉ số TEC theo hướng thiên đỉnh.

4. Biện pháp khắc phục

4.1. Các hướng khắc phục sai số của tầng điện ly

Một số phương pháp có thể được sử dụng để xử lý sai số tầng điện ly:

- Dùng máy thu hai tần số với phương pháp kết hợp tuyến tính trên L1 và L2. Đây là biện pháp hiệu quả nhất cho đến thời điểm hiện nay.
- Sử dụng các tham số trong thông báo hàng hải để hiệu chỉnh theo phương pháp Klobuchar.
- Sử dụng mô hình dự báo: giảm thiểu được khoảng 50% sai số này, thích hợp với các phương pháp định vị di động.
- Phương pháp hiệu chỉnh vi sai: có thể loại bỏ tới đa ảnh hưởng này của tầng điện ly trong trường hợp đường dây ngắn.
- Bỏ qua độ trôi, quan trắc vào ban đêm: thời điểm ít chịu ảnh hưởng của sai số này nhất.

4.2. Các phương pháp được ứng dụng phổ biến hiện nay

4.2.1. Sử dụng máy thu 2 tần số

Hiệu chỉnh tần số kép (dual frequency correction) loại bỏ được hầu hết ảnh hưởng của tầng điện ly trong các trị đo mã hoặc phase của sóng mang (khoảng 90%)[6]. Bởi vì ảnh hưởng của tầng điện ly phụ thuộc tần số, cho nên trị đo giả cự ly theo L1 và L2 có thể được so sánh với nhau để ước lượng trị ảnh hưởng như sau [1, 4]:

$$d\rho_{ion}(L1) = [\rho(L1) - \rho(L2)] \frac{f_2^2}{(f_2^2 - f_1^2)} \quad (1.6)$$

Một phương pháp tương tự cũng được dùng để hiệu chỉnh các trị đo phase sóng mang theo biểu thức [1, 4]:

$$d\phi_{ion}(L1) = \left[\phi(L1) - \frac{\phi(L2)f_1}{f_2} - N(L1) - \frac{f_1}{f_2} N(L2) \right] \frac{f_2^2}{(f_2^2 - f_1^2)} \quad (1.7)$$

4.2.2. Phương pháp Klobuchar

Nhằm tăng chất lượng định vị GPS trên máy thu một tần số, nhiều phương pháp và thuật toán khác nhau đã được phát triển để xác định và giảm

bớt sai số của tầng điện ly đến mức tối thiểu. Phương pháp đơn giản nhất là Klobuchar, được đặt theo tên của nhà sáng lập ra nó. Mô hình Klobuchar thường được dùng để tính độ trễ hướng thiên đỉnh cho tín hiệu L1 [7]:

$$I^z = DC + A \cos \frac{2\pi(t-t_0)}{P} \quad (1.8)$$

Trong đó:

t là thời gian địa phương ở máy thu (s)

t_0 là thời gian địa phương của số hiệu chỉnh điện ly cực đại

I^z là độ trễ do tầng điện ly ở hướng thiên đỉnh (s)

DC là thời trễ điện ly cơ bản (được chọn $5 \cdot 10^{-9}$ s)

A là biên độ của hàm trễ điện ly (s)

P là chu kỳ của hàm trễ điện ly (s)

Các giá trị A, P được tính từ các hệ số α và β trong thông báo hàng hải như sau:

$$A = \alpha_0 + \alpha_1 \phi_{om} + \alpha_2 \phi_{om}^2 + \alpha_3 \phi_{om}^3 \quad (1.9)$$

$$P = \beta_0 + \beta_1 \phi_{om} + \beta_2 \phi_{om}^2 + \beta_3 \phi_{om}^3 \quad (1.10)$$

Trong đó:

ϕ_{om} là vĩ độ địa từ ở tầng điện ly (biểu diễn ở đơn vị nửa vòng tròn):

$$\phi_{om} = \phi_i + 0.064 \cos(\lambda_i - 1.617)$$

ϕ_i, λ_i là vĩ độ và kinh độ của người sử dụng ở đơn vị nửa vòng tròn

α_i, β_i là các hệ số cho trong header của bản lịch phát tín

Độ trễ tín hiệu dọc theo đường truyền bất kỳ sẽ được xác định bằng [6]:

$$I = m_1(z) I^z \quad (1.11)$$

Trong đó:

I^z là độ trễ do tầng điện ly ở hướng thiên đỉnh (s)

m_1 là hàm ánh xạ lớp đơn của tầng điện ly được tính theo công thức [6]:

$$m_1 = \frac{1}{\cos z'} \quad \text{với} \quad \sin z' = \frac{R}{R+H} \sin z \quad (1.12)$$

z, z' là góc thiên đỉnh của hướng truyền tín hiệu tại vị trí máy thu và tại điểm P

R là bán kính trung bình của Trái Đất và H là độ cao của tầng điện ly so với mặt đất (thường chọn là 400km).

Mô hình này có thể phân tích khoảng 70% - 90% độ trễ điện ly vào thời gian ban ngày và khoảng 60% - 70% vào thời gian ban đêm tại vĩ độ trung bình. Trong khoảng thời gian hoạt tính mặt trời cao, mô hình này chỉ có thể loại trừ hơn 50 - 60% ảnh hưởng của tầng điện ly [6].

Phương pháp này có ưu điểm là được miễn phí nguồn cung cấp, tính được theo thời gian thực. Nhưng có hạn chế là độ chính xác không cao, chỉ dùng được trên các loại máy thu một tần số có độ chính xác thấp, lĩnh vực áp dụng giới hạn cho các hoạt động của di động, đồng hồ, tính toán dao động leo núi,...

4.2.3. Dùng lưới ô vuông TEC từ tổ chức IGS [8]

Tương tự phương pháp Klobuchar, độ trễ tín hiệu dọc theo đường truyền bất kỳ sẽ được xác định bằng: $I = m_1(z) I^z$

Độ trễ điện ly theo hướng thiên đỉnh I^z sẽ được tính từ chỉ số VTEC (theo hướng thiên đỉnh của TEC) theo công thức:

$$I^z = \frac{40.3 \times \text{VTEC}}{f^2} 10^{16} \text{ (m)} \quad (1.13)$$

Trong đó: f là tần số sóng tải GPS ($f = 1575.42$ Hz)

4.2.4. Coi độ trễ điện ly thiên đỉnh I^z là ẩn số [8]

Chúng ta có thể coi các tham số I^z là ẩn số bổ sung để xử lý cùng với tham số tọa độ máy thu. Tuy nhiên:

- I^z biến động theo thời gian, nên dùng bộ lọc Kalman để xử lý và mô hình các tham số điện ly và bước ngẫu nhiên (random walk) với tần số cập nhật 15 phút / 1 lần.

- I^z biến động theo vị trí của điểm P. Nếu chỉ dùng một tham số duy nhất I^z sẽ không cho độ chính xác mong muốn vì ảnh hưởng điện ly còn thể hiện ở các thành phần gradient trên mặt phẳng. Do đó trong xử lý phải khảo sát ba tham số liên quan đến độ trễ điện ly gồm a_0, a_1 và a_2 như sau:

$$I^z = a_0 + \tan z' (\sin \alpha \times a_1 + \cos \alpha \times a_2) \quad (1.14)$$

Trong đó:

α là góc phương vị vệ tinh

a_0 đóng vai trò là độ trễ điện ly thiên đỉnh tại máy thu

a_1 và a_2 là thành phần gradient hướng Đông và hướng Bắc của điểm P so với máy thu.

4.2.5. Phương pháp vi sai (DGPS)[3]

DGPS là sự phối hợp của hai máy thu, một máy đặt tại một vị trí đã biết gọi là trạm tham chiếu và một máy khác di chuyển tới vị trí cần định vị. Trạm tham chiếu hay còn gọi là trạm nền làm việc như một cái chìa khoá, nó liên kết tất cả các thông số vệ tinh để tính các số hiệu chỉnh cho trị đo giả cự ly (PRC), trong đó có số hiệu chỉnh độ trễ của tầng điện ly. Sau đó phát các hiệu chỉnh này đi tới các máy di động, gán với thời gian thực. Máy di động kết hợp các số hiệu chỉnh này vào trị đo giả cự ly đo được và xác định vị trí điểm với khoảng cách đã hiệu chỉnh.

4.2.6. Phương pháp trên không gian hai chiều

Ngoài phương pháp Klobuchar, một vài kỹ thuật xác định sai số điện ly trên không gian 2 chiều (2D modelling techniques) có thể được dùng để tính toán xấp xỉ sai số điện ly dựa trên các trị đo GPS 2 tần số tại một số vị trí mốc đã xác định trước trong một vùng không gian nào đó. Sau đó, giá trị bù trừ cho sai số điện ly có thể được cung cấp theo thời gian thực hoặc gần thực cho người sử dụng trong vùng bằng cách nội suy. Phương pháp này được gọi là 2 chiều vì giả thiết tầng điện ly là một tầng có độ cao cố định.

Các cách xác định sai số này được nhóm thành 2 loại:

- Dựa trên hàm số (function-based)

Cố gắng trùng khớp các giá trị độ trễ điện ly thu nhận được tại các trạm thu mốc vào một bề mặt, được biểu diễn bằng một hàm số của điểm tới của tín hiệu trên tầng điện ly.

- Dựa trên lưới (grid-based)

Dùng kỹ thuật này, có một số điểm mốc dưới mặt đất có vị trí được xác định trước một cách chính xác. Sai số điện ly theo chiều thẳng đứng tại

mỗi điểm mốc được xác định với độ chính xác cao khi dùng phép đo pha GPS hai tần số L1 và L2. Sau đó toàn bộ vùng khảo sát sẽ được bao phủ bởi một mạng lưới các điểm nút mà độ phân giải của nó phụ thuộc vào kích thước của vùng, tọa độ của chúng được xác định theo phương pháp nội suy, dựa trên khoảng cách tới các điểm đã biết. Sai số điện ly cho bất kỳ một máy thu tín hiệu GPS nào nằm trong lưới này sẽ được ước lượng bằng phép nội suy.

Một trong những phương pháp dùng lưới là mô hình lưới hiệu chỉnh của IGS. IGS đã xây dựng hệ thống trạm quan trắc trên phạm vi toàn cầu để cung cấp các giá trị hiệu chỉnh với độ chính xác khá cao.

4.2.7. Phương pháp xây dựng lưới cạnh đáy ngắn

Phương pháp này dựa trên cơ sở xây dựng mô hình độ trễ điện ly thiên đỉnh cho một mạng lưới GPS 2 tần số, có cạnh ngắn khoảng 100km. Dựa trên mô hình đã xây dựng, tiến hành kiểm tra giá trị nội suy để xem xét tính tin cậy của mô hình. Các bước thực hiện như sau:

- *Bước 1:* Thiết kế mạng lưới GPS phục vụ cho nghiên cứu.

- *Bước 2:* Thu thập dữ liệu ngoài thực địa.

- *Bước 3:* Tính toán độ trễ điện ly thiên đỉnh tại từng điểm và so sánh với các giá trị có sẵn.

- *Bước 4:* Nội suy độ trễ điện ly tại một điểm giữa lưới và so sánh với giá trị tính được.

5. Kết luận

Nội dung bài báo đã tổng hợp được những nguyên nhân gây ảnh hưởng đến tín hiệu do tầng điện ly và các phương pháp hiện nay dùng để giảm thiểu sai số này. Từ đó giúp người dùng có thể hạn chế được sai số ảnh hưởng tầng điện ly đến trị đo GPS. Trong tương lai việc định vị kết hợp các hệ thống GPS, Galileo, Beidou, ... sẽ là ưu điểm cực tốt cho việc loại bỏ các ảnh hưởng của tầng điện ly.

Tài liệu tham khảo

- [1]. David Wells, Lê Văn Hưng, *Sổ tay định vị GPS*, NXB Khoa học kỹ thuật, 1997.
- [2]. Nguyễn Ngọc Lâu, Hồ Nguyễn Hoàng Vũ, *Xây dựng mô hình độ trễ điện ly từ trị đo pha GPS*, Hội nghị Khoa học và Công nghệ lần thứ 10, Phân ban Trắc địa - Trường Đại học Bách Khoa Hồ Chí Minh, 2007.

[3]. Trần Vĩnh Phước, *GPS Hệ thống định vị toàn cầu*, NXB Đại học Quốc gia TP.HCM, 2014

[4]. David Wells, N.Beck, *Guide to GPS Positioning*, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Canada, 1999.

[5]. Nguyễn Ngọc Lâu, *Trích lục chỉ số TEC từ trị đo GPS*, Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ, số 3-3/2010.

[6]. Nguyễn Ngọc Lâu, Trần Văn Nam, *Định vị tuyệt đối kết hợp ba hệ thống GPS, Galileo và Beidou*, Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ số 38-12/2018.

[7]. Klobuchar, J., *Ionospheric Time-Delay Algorithms for Single-Frequency GPS Users*, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems (3), 1987, pp. 325-331.

[8]. Nguyễn Ngọc Lâu, *Định vị điểm chính xác với các máy thu GPS rẻ tiền*, Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ số 6, 12/2010.