

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM
VIỆN ĐỊA CHẤT VÀ ĐỊA VẬT LÝ BIỂN**

**VIETNAM ACADEMY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
INSTITUTE OF MARINE GEOLOGY AND GEOPHYSICS**

**TUYỂN TẬP BÁO CÁO KHOA HỌC
HỘI NGHỊ KHOA HỌC ĐỊA CHẤT BIỂN
TOÀN QUỐC LẦN THỨ BA**

PROCEEDING

**THE THIRD NATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ON MARINE GEOLOGY
HANOI, 22-23 OCTOBER, 2019**

**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ CÔNG NGHỆ
PUBLISHING HOUSE FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY**

XÁC ĐỊNH ĐỘ CAO CHÍNH BẰNG TÍN HIỆU GPS DỰA TRÊN THUYẾT TƯƠNG ĐỐI RỘNG

Hoàng Anh Thế^{1,2*}, Nguyễn Quang Phúc³

¹- Viện Nông nghiệp và Tài nguyên, Trường Đại học Vinh

²-NCS Đại học Vũ Hán, Trung Quốc

³-Khoa Trắc địa-Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mở-Địa chất

*Email: anhthe.dhv@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày ý tưởng cơ bản để xác định độ cao chính bằng tín hiệu GPS. Giả sử một bộ phát đặt trên vệ tinh đồng thời phát ra hai sóng điện từ tới hai máy thu đặt tại các điểm P và Q trên mặt đất thì sự khác biệt về thế trọng trường giữa hai điểm này có thể được xác định từ tần số của các tín hiệu được ghi bởi máy thu P và Q dựa trên phương trình thay đổi tần số thế trọng trường xuất phát từ thuyết tương đối rộng. Sau đó, sự khác biệt độ cao chính giữa hai điểm này có thể được xác định bằng cách sử dụng công thức Bruns. Các nguồn lỗi tín hiệu khác nhau cũng được phân tích trong bài báo.

TỪ KHÓA: Độ cao chính, GPS, thế trọng trường, thuyết tương đối rộng.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thông thường, chênh lệch độ cao chính giữa hai điểm P và Q nằm trên bề mặt Trái đất được xác định bằng trọng lực và thủy chuẩn. Tuy nhiên chúng ta gần như không thể kết nối hai điểm này khi chúng nằm riêng rẽ ở hai lục địa khác nhau (hoặc nằm ở các hòn đảo - Việt Nam có rất nhiều hòn đảo chưa thể đo kết nối độ cao với hệ thống độ cao trên đất liền). Hoặc giả sử hai điểm ở hai quốc gia khác nhau đều đã có độ cao chính, nhưng hệ thống độ cao khởi tính của hai điểm này tại hai quốc gia là khác nhau. Làm thế nào để xác định sự khác nhau của hệ thống độ cao chính giữa hai quốc gia và trên toàn cầu là một vấn đề cần được giải quyết. Để xử lý vấn đề này, người ta cần xác định sự khác biệt về thế trọng trường giữa hai mốc hệ thống độ cao được đề cập. Nhờ các khái niệm *trắc địa tương đối tính* (Bjerhammar, 1985) [1] và *Geoid tương đối tính* (Shen et al., 1993) [2] dựa trên lý thuyết tương đối rộng của Albert Einstein, vấn đề xác định sự khác biệt về thế trọng trường có thể được giải quyết. Theo thuyết tương đối rộng, tốc độ của bất kỳ đồng hồ nào và tần số liên quan phụ thuộc vào trạng thái chuyển động của đồng hồ và vị trí của nó trong trường hấp dẫn (Pound và Rebka, 1960) [3].

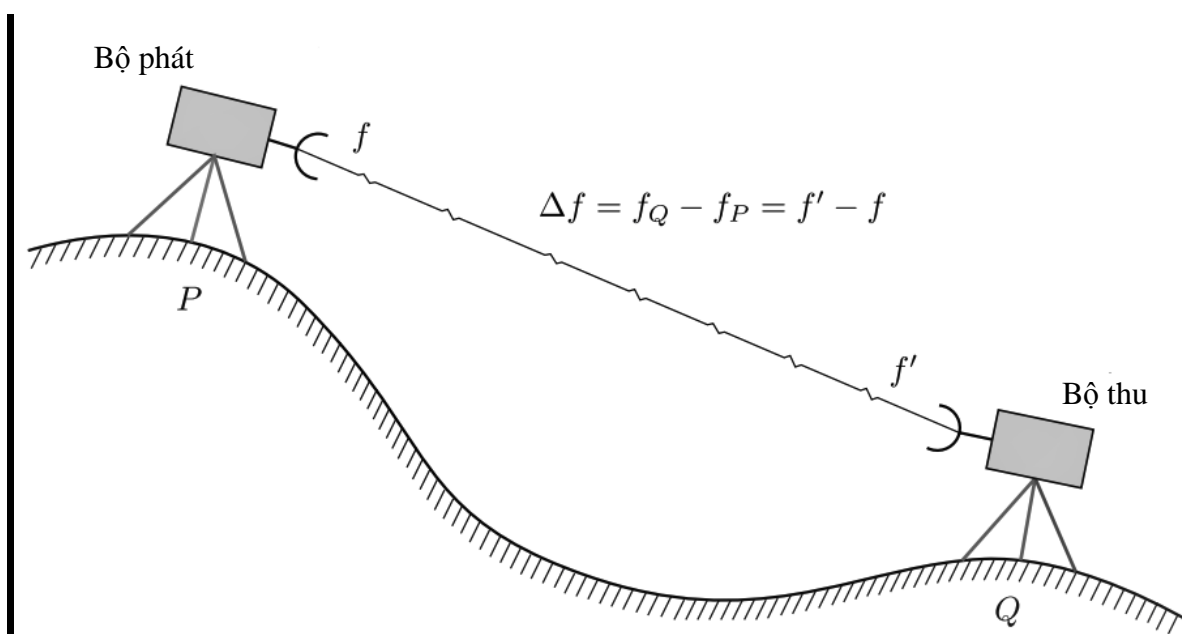
Trong trắc địa tương đối tính, Bjerhammar (1985) [1] đề xuất rằng chênh cao giữa các điểm có thể được xác định bằng cách so sánh tốc độ của đồng hồ nguyên tử tại các điểm khác nhau trên bề mặt Trái đất (gọi là phương pháp đồng hồ). Khác với Bjerhammar, Shen et al. (1993) [2] đề nghị xác định sự khác biệt về thế trọng trường (kéo theo sự khác biệt về độ cao chính) bằng cách nhận tín hiệu sóng điện từ (gọi đơn giản là tín hiệu) hoặc đặc biệt là tín hiệu GPS phát ra từ một bộ phát có thể nằm trên bề mặt Trái đất hoặc trên một vệ tinh (gọi là phương pháp thay đổi tần số hoặc phương pháp tín hiệu GPS).

2. PHƯƠNG TRÌNH THAY ĐỔI TẦN SỐ THỂ TRỌNG TRƯỜNG

Giả sử tín hiệu có tần số f được phát ra từ bộ phát tại điểm P và tín hiệu được nhận bởi bộ thu tại điểm Q (Hình 1).

Do sự khác biệt về thể trọng trường giữa hai điểm này, tần số của tín hiệu thu được không phải là f mà là f' . Gọi f_P và f_Q tương ứng lần lượt là giá trị của f và f' , ta có phương trình sau [2], [5]:

$$\Delta f = f_Q - f_P = \frac{f(W_Q - W_P)}{c^2} = \frac{f\Delta W_{PQ}}{c^2} \quad (1)$$



Hình 1. Xác định chênh lệch thể trọng trường dựa trên phương trình thay đổi tần số

Trong phương trình (1), c là vận tốc ánh sáng trong chân không, W_P và W_Q lần lượt là thể trọng trường tại các điểm P và Q ($W_Q - W_P = \Delta W_{PQ}$), thể trọng trường W là tổng của thế năng hấp dẫn Newton $V(x, y, z)$ và thế năng ly tâm $\omega^2(x^2 + y^2)/2$, trong đó ω là vận tốc góc của vòng quay Trái đất [6].

Phương trình (1) là phương trình thay đổi tần số thể trọng trường mô tả mối quan hệ giữa sự thay đổi tần số và chênh lệch thể trọng trường. Do đó, nếu biết thể trọng trường tại điểm P thì thể trọng trường tại điểm Q tùy ý có thể được xác định từ công thức (1) bằng cách đo sự thay đổi tần số Δf giữa P và Q .

Giả sử một bộ phát E trên tàu vệ tinh phát ra tín hiệu tại thời điểm phát t và hai bộ thu tín hiệu tại P và Q trên mặt đất nhận tín hiệu đồng thời (Hình 2). Các tần số tín hiệu nhận được f_P và f_Q được ghi lại tương ứng được ghi bởi các máy thu P và Q . Theo lý thuyết đã nghiên cứu ở phần trên, có một độ trễ về thời gian giữa các tín hiệu nhận được bởi các máy thu P và Q . Bằng cách so sánh tần số nhận được $f_P (= f)$ và $f_Q (= f')$, chênh lệch thể trọng trường $\Delta W_{PQ} (= W_Q - W_P)$ có thể được xác định bằng phương trình (1).

Nếu xác định được ΔW_{PQ} , dựa vào công thức Bruns sẽ xác định được chênh lệch độ cao chính Δh_{PQ} theo phương trình sau [4], [6]:

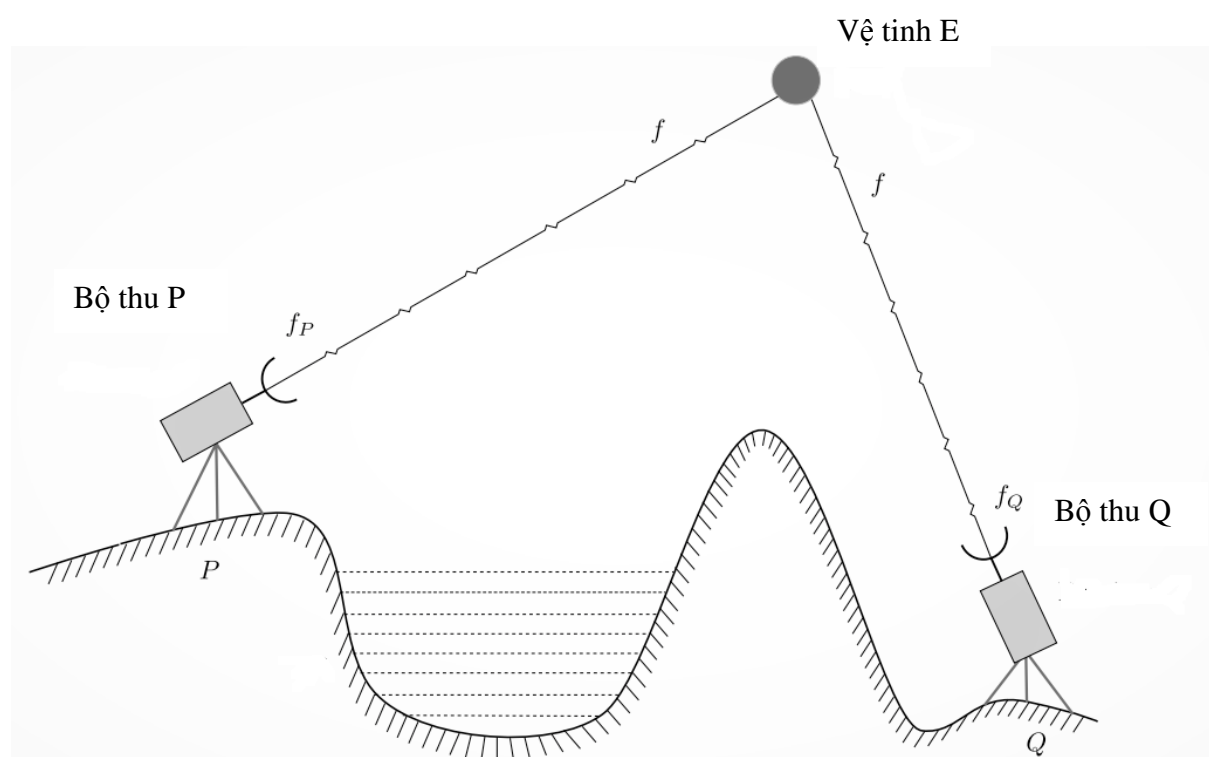
$$\Delta h_{PQ} = \frac{-\Delta W_{PQ}}{\gamma} \quad (2)$$

trong đó $\gamma = 9.8 \text{ ms}^{-2}$ là giá trị trung bình của trọng lực. Thay ΔW_{PQ} từ phương trình (1) vào phương trình (2) ta thu được:

$$\Delta h_{PQ} = \frac{-\Delta f_{PQ} c^2}{f\gamma} \quad (3)$$

trong đó f là tần số phát ra từ bộ phát, f hoàn toàn có thể biết trước được. Như vậy nếu xác định được chênh lệch tần số Δf_{PQ} thì từ công thức (3) chúng ta sẽ xác định được chênh cao Δh_{PQ} . Nếu tại điểm P đã biết độ cao chính là H_P thì ta xác định được độ cao chính của điểm Q :

$$H_Q = H_P + \Delta h_{PQ} \quad (4)$$



Hình 2. Xác định chênh lệch thế trọng trường bằng tín hiệu GPS

3. CÁC NGUỒN LỖI

Trong thực tế, tần số nhận được không chỉ chứa sự thay đổi tần số trọng lực mà cả các thay đổi tần số khác gây ra bởi các nguồn lỗi khác nhau. Các nguồn lỗi chính bao gồm [7-9]: (1) các hiệu ứng tầng điện ly và tầng đối lưu; (2) các lỗi đồng hồ; (3) hiệu ứng Doppler. Để có được sự thay đổi tần số trọng lực từ dữ liệu được quan sát, các ảnh hưởng gây ra bởi các nguồn lỗi phải được hủy bỏ hoặc giảm bớt.

(1) *Hiệu ứng tầng điện ly và tầng đối lưu.* Tầng điện ly là môi trường phân tán tần số trong các dải vô tuyến của phổ điện từ, tức là chỉ số khúc xạ phụ thuộc vào tần số truyền tín hiệu. Trong các tính toán, Doppler đo D1 và D2 trên các sóng mang L1 và L2 được sử dụng để

hủy các hiệu ứng tầng điện ly. Ngược lại, do tầng đối lưu không phải là môi trường phân tán theo tần số của tín hiệu GPS, nên không thể loại bỏ ảnh hưởng của tầng đối lưu bằng phương pháp tương tự. Tuy nhiên, người ta có thể sử dụng các mô hình thích hợp để tính toán các ảnh hưởng tầng đối lưu.

(2) *Lỗi đồng hồ*. Sự phát xạ và thu tín hiệu GPS phải được chuyển đến các đồng hồ chính xác, các sai số đồng hồ đều có ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả đo đạc. Để giảm các ảnh hưởng xuất phát từ các lỗi đồng hồ, vấn đề chính là sử dụng đồng hồ nguyên tử với độ ổn định cao. Ngoài ra, các hiệu ứng tương đối do sự thay đổi tốc độ của bất kỳ đồng hồ nào, liên quan đến trạng thái chuyển động và vị trí của nó (trong trường hấp dẫn), phải được tính đến.

(3) *Hiệu ứng Doppler*. Hiệu ứng Doppler phụ thuộc vào trạng thái chuyển động của cả vệ tinh GPS và máy thu, có thể được tính bằng cách sử dụng lịch vệ tinh chính xác sau xử lý. Hơn nữa, phần dư của hiệu ứng bậc 1 của dịch chuyển Doppler có thể được loại bỏ bằng kỹ thuật hủy Doppler [9].

Ngoài các nguồn lỗi đã nói ở trên, còn có các nguồn lỗi khác, ví dụ: hiệu ứng đa đường, rối loạn tầng đối lưu,... Tất cả những ảnh hưởng này cần được tính đến để việc xác định độ cao chính có kết quả chính xác hơn.

4. KẾT LUẬN

Việc xác định chênh lệch thế trọng trường cũng như xác định độ cao chính một cách chính xác bằng phương pháp xác định thay đổi tần số thế trọng trường, đặc biệt là phương pháp sử dụng tín hiệu GPS ngày càng có triển vọng. Ưu điểm của phương pháp tiếp cận tín hiệu GPS nằm ở chỗ có thể thiết lập hệ thống dữ liệu độ cao toàn cầu thống nhất: hai máy thu tại hai điểm chuẩn *A* và *B* thuộc hai lục địa (hoặc đảo) có thể nhận được đồng thời các tín hiệu phát ra từ bộ phát trên một vệ tinh và do đó, xác định được sự thay đổi tần số giữa hai điểm *A*, *B*. Từ đó sẽ xác định được sự thay đổi thế trọng trường giữa chúng.

Độ chính xác của phương pháp này phụ thuộc chủ yếu vào độ ổn định tần số của máy thu. Hiện tại, độ ổn định tần số là 10^{-17} - 10^{-18} , tương ứng với sự thay đổi chiều cao trong khoảng 1 cm [10], tương lai có thể nâng độ chính xác lên mm. Nghiên cứu ứng dụng thuyết tương đối vào trong đo đạc Trắc địa nói chung và nghiên cứu xác định độ cao chính bằng cách so sánh tín hiệu GPS nói riêng trên thế giới đã nghiên cứu từ nhiều năm trước nhưng tại Việt Nam thì đang là một cánh cửa mới, cần được nghiên cứu khai phá và ứng dụng. Nghiên cứu này có thể sử dụng để kết nối độ cao chính ra các đảo trên biển một cách chính xác và nhanh chóng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. A. Bjerhammar, *On a relativistic geodesy*, Bull. Geod. 59 (1985) 207-220.
2. W. B. Shen, D. Chao and R. Jin, *On the relativistic geoid*. Boll. Geod. Sci. Aff. 52 (1993) 207-216.
3. R. V. Pound and G. A. Rebka, *Apparent weight of photons*. Phys. Rev. Lett. 4 (1960) 337.

4. V. A. Brumberg and E. Groten, *On determination of height by using terrestrial clocks and GPS signals*, J. Geod. 76 (2002) 49-54.
5. R. V. Pound and J. L. Snider, *Effect of gravity on gamma radiation*, Phys. Rev. 140B (1965) 788.
6. W. A. Heiskanen and H. Moritz, *Physical geodesy*. Freeman and Company, San Francisco (1967).
7. M. D. Harkins, *The relativistic Doppler shift in satellite tracking*. Radio Science 114(4) (1979) 671-675.
8. J. Jaffe, *Feasibility of a second-order gravitational red-shift experiment*, Phys. Rev. 14(12) (1976) 3294-3300.
9. R. F. C. Vessot and M. W. Levine, *A test of the equivalence principle using a space-borne clock*, Gen. Relat. Gravit. 10(3) (1979) 181-204.
10. L. S. Ma, Z. Bi, A. Bartels, L. Robertsson, M. Zucco, R. S. Windeler, G. Wilpers, C. Oates, L. Hollberg and S. A. Diddams, *Optical frequency synthesis and comparison with uncertainty at the 10^{-19} level*, Science 303 (2004) 1843 -1845.

ABSTRACT

USING GPS SIGNALS DETERMINE THE ORTHOMETRIC HEIGHT BASED ON GENERAL RELATIVITY

Hoang Anh The^{1,2*}, **Nguyen Quang Phuc**³

¹Vinh University

²Wuhan University

³Hanoi University of Mining and Geology

*E-mail: anhthe.dhv@gmail.com

This paper presents the basic idea for determining the orthometric height by using GPS signals. Suppose an emitter on board a satellite emitted simultaneously two electromagnetic waves to two receivers at P and Q points on the ground, The geopotential difference between these two points can be determined from the frequencies of the signals recorded by the P and Q receivers based on the gravity frequency shift equation derived from the general relativity theory. After that, the orthometric height difference between these two points can be determined using the Bruns formula. Different error signal sources are also analyzed in the paper.

KEYWORDS: Orthometric height, GPS, geopotential, general relativity.

MỤC LỤC

LỜI GIỚI THIỆU

Phần 1: ĐỊA CHẤT, ĐỊA VẬT LÝ VÀ TÀI NGUYÊN, KHOÁNG SẢN BIỂN

- 1 **Nguyễn Ngọc, Nguyễn Đình Đán.** Dẫn liệu bước đầu về hóa thạch Foraminifera trong trầm tích đáy ở trũng sâu Biển Đông Việt Nam 1
- 2 **Nguyễn Ngọc, Bùi Thị Luận.** Hóa thạch trùng lỗ kích thước lớn (Larger Foraminifera) trong trầm tích Carbonat Miocen và một số vấn đề liên quan ở thềm lục địa Việt Nam 15
- 3 **Bùi Văn Vượng, Trần Đình Lân, Trần Đức Thạnh, Đặng Hoài Nhơn, Nguyễn Đắc Vệ, Dương Thanh Nghị, Đinh Văn Huy, Nguyễn Huy Hoàng, Nguyễn Thị Mai Lựu, Hoàng Văn Long, Trần Xuân Trường.** Ảnh hưởng của suy giảm trầm tích đến phân bố trầm tích lơ lửng và hình thái địa hình ven bờ châu thổ Sông Hồng 31
- 4 **Syrbu N.S, Shakirov R.B, Trinh Hoai Thu, Vu Thị Thu Anh, Kholmogorov A.O. Pham Quoc Hiep, Pham Hong Cuong, Le Duc Anh.** New data on thermal sources geochemistry in the north-west region of Viet Nam 44
- 5 **Trần Anh Tuấn, Lê Đình Nam, Phạm Việt Hồng, Nguyễn Thị Ánh Nguyệt.** Phân vùng địa lý tự nhiên và định hướng phát triển kinh tế, đảm bảo quốc phòng - an ninh khu vực Tây Nam Việt Nam 52
- 6 **Lê Cảnh Tuân.** Biển đảo Phú Quốc: Tài nguyên vị thế và những cảnh báo trong phát triển bền vững 67
- 7 **Đặng Hoài Nhơn, Trần Đức Thạnh, Lại Thị Bích Thủy, Bùi Văn Vượng, Nguyễn Đắc Vệ.** Phân bố thành phần khoáng vật trong trầm tích tầng mặt vịnh Hạ Long, Việt Nam 80
- 8 **Hoàng Anh Thế, Nguyễn Quang Phúc.** Xác định độ cao chính bằng tín hiệu GPS dựa trên thuyết tương đối rộng 92
- 9 **Bùi Hồng Long, Phan Minh Thụ, Nguyễn Như Trung.** Vai trò của một số yếu tố thủy động lực đối với quá trình hình thành vỏ và kết hạch sắt-mangan trong Biển Đông 97
- 10 **Cao Đình Trọng, Cao Đình Triều, Đặng Thanh Hải, Phạm Nam Hưng, Lê Văn Dũng, Nguyễn Hữu Tuyên, Thái Anh Tuấn, Mai Xuân Bách.** Các đới đứt gãy hoạt động chính trên khu vực Biển Đông Việt Nam và kế cận 105
- 11 **Nguyễn Kim Dũng, Đỗ Đức Thanh, Hoàng Văn Vượng, Nguyễn Bá Đại, Nguyễn Thế Luân, Trần Tuấn Dương.** Phân bố không gian hệ đứt gãy sâu trên Biển Đông 120
- 12 **Phạm Nam Hưng, Cao Đình Trọng, Lê Văn Dũng, Thái Anh Tuấn, Mai Xuân Bách, Nguyễn Ánh Dương.** Cấu trúc vỏ trái đất khu vực thừa thiên huế và lân cận trên cơ sở phân tích kết hợp tài liệu trọng lực- từ 132