

SO SÁNH KẾT QUẢ PHÁT HIỆN TRƯỢT CHU KỲ TỪ TẬP TRỊ ĐO GNSS THEO MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP KHÁC NHAU

PHẠM NGỌC QUANG, NGUYỄN GIA TRỌNG, LÊ THỊ THANH TÂM

Trường Đại học Mỏ - Địa chất

LÊ THỊ TUYẾT NHUNG, Công ty TNHH MTV Trắc địa bản đồ

Tóm tắt: Hiện tượng trượt chu kỳ là một nguồn sai số thông thường trong trị đo pha sóng tải bằng công nghệ GNSS. Trong công tác xử lý số liệu GNSS, phát hiện và hiệu chỉnh trượt chu kỳ là một công đoạn tiền xử lý rất quan trọng và thường gặp nhiều khó khăn. Tất cả các phần mềm xử lý số liệu GNSS hiện nay đều phải thực hiện bài toán này trước khi tiến hành xử lý cạnh đo. Trong bài báo này, tác giả trình bày một số thuật toán phát hiện trượt chu kỳ trong trường hợp sử dụng một máy thu tín hiệu GNSS. Kết quả thực nghiệm cho thấy với phương pháp kết hợp trị đo pha và trị đo mã chỉ phát hiện được hiện tượng trượt chu kỳ xảy ra với mức độ lớn (hàng chục chu kỳ), phương pháp kết hợp pha - pha phân dư tầng ion cho phép khả năng phát hiện trượt chu kỳ với mức độ nhỏ hơn (cỡ vài chu kỳ). Tùy thuộc vào từng trường hợp cụ thể mà ta có thể sử dụng các thuật toán phát hiện trượt chu kỳ khác nhau.

1. Mở đầu

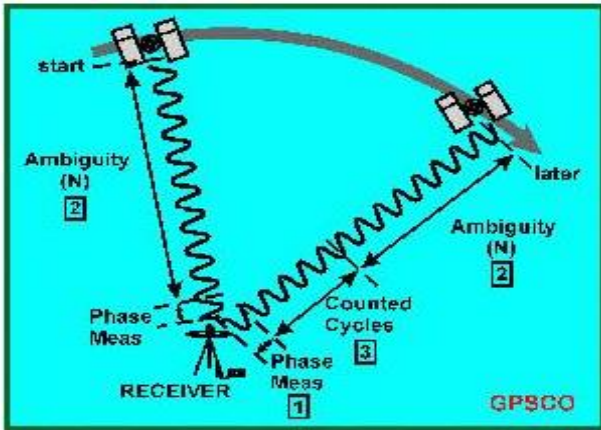
Từ khoảng những năm 70 của thế kỷ trước, các hệ thống định vị vệ tinh đầu tiên đã ra đời và tạo nên một cuộc cách mạng mới trong các hoạt động sản xuất và nghiên cứu khoa học. Các hệ thống định vị vệ tinh đầu tiên có thể kể tới như GPS (Global Positioning System) do Mỹ quản lý, GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System) của Nga. Tuy nhiên, các hệ thống định vị vệ tinh này còn nhiều hạn chế do đây là những hệ thống của quốc gia và phục vụ chủ yếu cho các mục đích quân sự. Với nhu cầu sử dụng một hệ thống định vị vệ tinh của dân sự, liên minh châu Âu đã lên kế hoạch xây dựng một hệ thống định vị toàn cầu dưới sự quản lý của cơ quan dân sự là Galileo. Cho đến nay, các hệ thống định vị vệ tinh trên toàn cầu được gọi tắt với tên chung là hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu GNSS (Global Navigation Satellite System).

Để định vị bằng các hệ thống GNSS, người ta thường sử dụng 3 loại trị đo đó là trị đo theo mã, trị đo theo pha sóng tải và trị đo Doppler. Trong đó, trị đo pha sóng tải là loại trị đo có độ chính xác cao nhất (cỡ mm), vì vậy nó được sử dụng trong hầu hết các hoạt động đo đạc trắc

địa và định vị với yêu cầu độ chính xác cao. Kỹ thuật quan trắc pha sóng tải tương đối phức tạp do liên quan đến số nguyên đa trị (Ambiguity) là giá trị chưa xác định trong quá trình quan trắc pha. Giá trị này thông thường là hằng số trong suốt quá trình quan trắc. Tuy nhiên, nếu xảy ra sự mất khóa tín hiệu nhất thời sẽ gây ra sự thay đổi số nguyên đa trị gọi là hiện tượng trượt chu kỳ (Cycle slip). Hiện tượng trượt chu kỳ có thể xảy ra với cấp độ nhỏ chỉ vài chu kỳ hoặc có thể lên tới hàng ngàn chu kỳ, do đó việc phát hiện và xử lý trượt chu kỳ là vấn đề rất quan trọng trong công tác xử lý số liệu GNSS.

2. Trị đo pha sóng tải và hiện tượng trượt chu kỳ

Quan trắc pha được thực hiện dựa trên sự khác nhau giữa pha tín hiệu vệ tinh nhận được và pha tạo bởi máy thu tại các thời điểm đo. Trị đo pha được tạo ra bởi sự trôi tín hiệu pha mà máy thu tạo ra để quan trắc pha nhận được từ vệ tinh. Do máy thu không thể xác định được số nguyên lần bước sóng ban đầu khi thu nhận tín hiệu, chính vì vậy bản chất của quan trắc pha đó là đo phần lẻ của pha và quan trắc liên tục sự thay đổi của trị đo pha sóng tải. Ta có thể mô tả trị đo pha sóng tải bằng hình vẽ:



Hình 1. Trị đo pha sóng tải

Theo hình vẽ trên, ta thấy trị đo pha sóng tải bao gồm 3 thành phần:

- Phần lẻ của pha sóng tải mà máy thu đo được [1];
- Số nguyên đa trị N là số nguyên lần bước sóng chưa được xác định [2];
- Số chu kỳ thay đổi máy thu đếm được trong quá trình vệ tinh di chuyển trên quỹ đạo [3].

Theo [1], [2] trị đo pha sóng tải được mô tả bởi phương trình dạng pha:

$$\phi_r^s(t_r) = \frac{\rho_r^s(t_r, t_s)}{\lambda} - f(\delta t_r - \delta t_s) + N_r^s - \frac{\delta_{ion}}{\lambda} + \frac{\delta_{tro}}{\lambda} + \frac{\delta_{rel}}{\lambda} + \frac{\varepsilon}{\lambda} \quad (1)$$

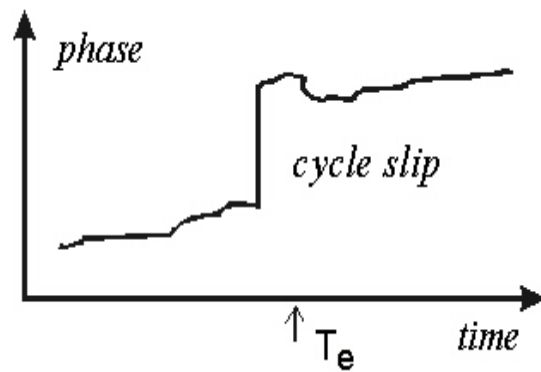
hoặc theo phương trình dạng khoảng cách:

$$\lambda \phi_r^s(t_r) = \rho_r^s(t_r, t_s) - c(\delta t_r - \delta t_s) + \lambda N_r^s - \delta_{ion} + \delta_{tro} + \delta_{rel} + \varepsilon \quad (2)$$

Trong công thức trên: $\phi_r^s(t_r)$ là trị đo pha sóng tải của máy thu r và vệ tinh s, t_r , t_s là thời điểm máy thu nhận tín hiệu và thời điểm vệ tinh phát tín hiệu, ρ_r^s là khoảng cách hình học giữa vệ tinh và máy thu, $\delta t_r, \delta t_s$ là sai số đồng hồ máy thu và đồng hồ vệ tinh, N_r^s là số nguyên đa trị giữa vệ tinh s và máy thu r, δ_{ion} là sai số tầng điện ly, δ_{tro} là sai số tầng đối lưu, δ_{rel} là ảnh hưởng của thuyết tương đối, ε là ảnh hưởng của các nguồn sai số khác.

Như đã nêu trên, trong quan trắc pha máy thu cần phải thu tín hiệu của vệ tinh liên tục

trong quá trình quan trắc để theo dõi sự thay đổi của pha tín hiệu nhận được. Tuy nhiên, vì một lý do nào đó máy thu không thể theo dõi vệ tinh liên tục sẽ xảy ra hiện tượng trượt chu kỳ (Cycle slip). Trượt chu kỳ là sự không liên tục của số nguyên lần chu kỳ trong trị đo pha sóng tải, đây là kết quả của sự mất khóa tín hiệu (loss of lock) tạm thời trong quá trình quan trắc liên tục của máy thu GNSS. Hiện tượng này làm cho số nguyên đa trị của tất cả các thời điểm thu tín hiệu sau khi xảy ra trượt chu kỳ bị thay đổi, gây ra sự sai lệch về khoảng cách giữa vệ tinh và máy thu [3].



Hình 2. Hiện tượng trượt chu kỳ

Hiện tượng trượt chu kỳ xảy ra khi quá trình quan trắc pha liên tục bị ngắt quãng do các nguyên nhân như: do chướng ngại vật (các tòa nhà, cây cối), hoặc do ăng ten di chuyển quá nhanh (khi máy thu được gắn trên các phương tiện), do lỗi thu nhận tín hiệu của máy thu hoặc do tầng điện ly hoạt động quá mạnh. Trong quá trình xử lý số liệu GNSS, việc phát hiện và xử lý hiện tượng trượt chu kỳ là một công đoạn tiền xử lý số liệu rất quan trọng. Đây là một thao tác bắt buộc trước khi tiến hành xử lý cạnh đo GNSS.

3. Một số phương pháp phát hiện trượt chu kỳ

Hiện nay, có rất nhiều các thuật toán phát hiện trượt chu kỳ đã được đề xuất và đưa vào sử dụng trong các phần mềm xử lý số liệu GNSS. Phụ thuộc vào mức độ trượt chu kỳ mà người ta đã đưa ra các thuật toán phát hiện và xử lý trượt chu kỳ khác nhau. Trong bài báo này, tác giả sẽ trình bày một số phương pháp phát hiện trượt chu kỳ trong trường hợp sử dụng một máy thu GNSS.

Theo [2], ta có phương trình trị đo khoảng cách giả theo mã, phương trình trị đo pha sóng tải và phương trình trị đo Doppler được viết dưới dạng đơn giản như sau:

$$R_j = \rho - c(\delta t_r - \delta t_s) + \delta_{ion}(j) + \delta_{tro} + \delta_{rel} + \varepsilon_C. \quad (3)$$

$$\lambda_j \phi_j = \rho - c(\delta t_r - \delta t_s) + \lambda_j N_j - \delta_{ion}(j) + \delta_{tro} + \delta_{rel} + \varepsilon_p. \quad (4)$$

$$D_j = \frac{d\rho}{\lambda_j dt} - f_j \frac{d(\delta t_r - \delta t_s)}{dt} + \varepsilon_d. \quad (5)$$

trong đó: R_j là trị đo khoảng cách giả theo mã theo tần số j , ϕ_j là trị đo pha sóng tải theo tần số j , D_j là trị đo Doppler theo tần số j , ρ là khoảng cách hình học từ vệ tinh đến máy thu, $\delta t_r, \delta t_s$ là sai số đồng hồ máy thu và đồng hồ vệ tinh, N_j là số nguyên đa trị theo tần số j , $\delta_{ion}(j)$ là sai số tầng ion theo tần số j , δ_{tro} là sai số do tầng đôi lưu, δ_{rel} là sai số do hiệu ứng thuyết tương đối, $\varepsilon_C, \varepsilon_p, \varepsilon_d$ là các nguồn sai số khác đối với trị đo mã, trị đo pha và trị đo Doppler, λ_j là bước sóng của tần số j .

3.1. Phương pháp sử dụng kết hợp trị đo pha và trị đo mã

Xét hiệu giữa 2 thời điểm thu tín hiệu t_i và t_{i-1} , phương trình (3), (4) sẽ được viết lại có dạng như sau:

$$\Delta R_j = \Delta \rho - \Delta(\delta t_r - \delta t_s)c + \Delta \delta_{ion} + \Delta \delta_{tro} + \Delta \delta_{rel} + \Delta \varepsilon_C \quad (6)$$

$$\lambda \Delta \phi_j = \Delta \rho - \Delta(\delta t_r - \delta t_s)c + \lambda_j \Delta N_j - \Delta \delta_{ion} + \Delta \delta_{tro} + \Delta \delta_{rel} + \Delta \varepsilon_p \quad (7)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} \Delta R_j &= R_j^i - R_j^{i-1} \\ \Delta \phi_j &= \phi_j^i - \phi_j^{i-1} \\ \Delta N_j &= N_j^i - N_j^{i-1} \end{aligned} \quad (8)$$

Kết hợp phương trình (6) và (7) ta có biểu thức:

$$\lambda_j \Delta \phi_j - \Delta R_j = \lambda \Delta N_j - 2\Delta \delta_{ion} + \Delta \varepsilon_{p-c}. \quad (9)$$

Dựa vào phương trình (9), ta có thể phát hiện được hiện tượng trượt chu kỳ. Như đã trình bày ở trên, số nguyên đa trị thông thường sẽ là hằng số trong suốt quá trình thu tín hiệu, do đó nếu không xảy ra hiện tượng trượt chu kỳ giá trị

$\Delta N_j = 0$. Giá trị $\Delta \varepsilon_{p-c}, \Delta \delta_{ion}$ thường có giá trị rất nhỏ. Để nhận biết trượt chu kỳ ta sẽ theo dõi sự biến đổi bất thường của giá trị của biểu thức trên. Với việc sử dụng phương pháp so sánh trị đo mã và trị đo pha ta có thể xác định trượt chu kỳ trên từng trị đo sóng tải khác nhau. Tuy nhiên, do trị đo mã có độ chính xác thấp hơn nhiều so với trị đo pha, vì thế phương pháp trên chỉ được sử dụng để phát hiện trượt chu kỳ với mức độ lớn.

3.2. Phương pháp phần dư tầng điện ly

Phương pháp này được sử dụng để phát hiện trượt chu kỳ đối với các máy thu GNSS 2 tần số. Ta có phương trình trị đo pha trên sóng tải L1 và L2 được viết dưới dạng:

$$\lambda_1 \phi_1 = \rho - c(\delta t_r - \delta t_s) + \lambda_1 N_1 - \delta_{ion}(1) + \delta_{tro} + \delta_{rel} + \varepsilon_p \quad (10)$$

$$\lambda_2 \phi_2 = \rho - c(\delta t_r - \delta t_s) + \lambda_2 N_2 - \delta_{ion}(2) + \delta_{tro} + \delta_{rel} + \varepsilon_p \quad (11)$$

Xét hiệu của phương trình (10) và (11) ta có:

$$\lambda_1 \phi_1(t_i) - \lambda_2 \phi_2(t_i) = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 - \Delta \delta_{ion}(t_i) + \Delta \varepsilon_p. \quad (12)$$

Nếu xét hiệu của 2 thời điểm thu tín hiệu t_i và t_{i-1} ta có:

$$\lambda_1 \Delta \phi_1(t_i) - \lambda_2 \Delta \phi_2(t_i) = \lambda_1 \Delta N_1 - \lambda_2 \Delta N_2 - \Delta \nabla \delta_{ion}(t_i) + \Delta \nabla \varepsilon_p, \quad (13)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} \Delta \delta_{ion}(i) &= \Delta \delta_{ion}(1) - \Delta \delta_{ion}(2) \\ \Delta \nabla \delta_{ion}(i) &= \Delta \delta_{ion}(i) - \Delta \delta_{ion}(i-1) \\ \Delta \nabla \varepsilon_p &= \Delta \varepsilon_p^i - \Delta \varepsilon_p^{i-1} \end{aligned} \quad (14)$$

Hiện tượng trượt chu kỳ có thể được phát hiện trên tần số L1 hoặc tần số L2 bằng cách sử dụng phương trình (13). Trong phương trình trên, giá trị $\Delta \nabla \delta_{ion}(t_i)$ được gọi là phần dư tầng ion. Thông thường, số hiệu chỉnh tầng điện ly giữa 2 thời điểm thu tín hiệu liên tiếp có sự thay đổi rất nhỏ do đó giá trị $\Delta \nabla \delta_{ion}(t_i)$ cũng có giá trị rất nhỏ. Nếu trong quá trình thu tín hiệu không xảy ra hiện tượng trượt chu kỳ, hiệu $\lambda_1 \Delta N_1 - \lambda_2 \Delta N_2 = 0$. Do vậy, nếu biểu thức bên phải của phương trình (13) có giá trị lớn bất thường sẽ là dấu hiệu nhận biết sự xảy ra của hiện tượng trượt chu kỳ. Phương pháp này dùng

để phát hiện trượt chu kỳ xảy ra với mức độ nhỏ cỡ vài chu kỳ, tuy nhiên nhược điểm của phương pháp đó là không thể xác định được hiện tượng trượt chu kỳ xảy ra trên sóng tải L1 hay trên sóng tải L2.

3.3. Phương pháp tích phân Doppler

Theo [2], tích phân của trị đo Doppler tức thời giữa 2 thời điểm t_i và t_{i-1} được viết dưới dạng:

$$\lambda_j \int_{t_{i-1}}^{t_i} D_j dt = \Delta\rho - \Delta(\delta t_r - \delta t_s)c - \Delta\delta_{ion} + \Delta\delta_{tro} + \Delta\delta_{rel} + \varepsilon_d \quad (15)$$

Kết hợp phương trình (7) và phương trình (15) ta có:

$$\Delta N_j = \Delta\phi_j + \int_{t_{i-1}}^{t_i} D_j dt + \varepsilon_1 \quad (16)$$

Với việc sử dụng phương trình trên, hiện tượng trượt chu kỳ xảy ra trên tần số j sẽ được phát hiện. Như đã nêu trên, quan trắc pha dựa trên việc đo phần lẻ của pha và quan trắc liên tục trong quá trình thu tín hiệu. Nếu xảy ra sự mất khóa tín hiệu trong quãng thời gian thu tín hiệu, số nguyên đa trị sẽ bị sai lệch và xảy ra trượt chu kỳ. Do vậy, tích phân trị đo Doppler tức thời giữa 2 thời điểm thu tín hiệu liên tiếp là giải pháp hữu hiệu để phát hiện trượt chu kỳ. Tích phân này có thể được tạo ra bởi dữ liệu Doppler với một đa thức có bậc phù hợp.

4. Kết quả tính toán thực nghiệm

Để khảo sát khả năng phát hiện trượt chu kỳ theo các thuật toán nêu trên, tác giả đã tiến hành xây dựng module chương trình phát hiện trượt chu kỳ sử dụng hai phương pháp đó là phương pháp kết hợp pha và mã và phương pháp phần dư tầng ion.

Số liệu được sử dụng để tính toán trong bài báo được đo bằng máy thu hai tần số GB-1000 của hãng Topcon tại khu vực huyện Thanh Oai, Hà Nội vào ngày 20 tháng 9 năm 2013. Số liệu sau khi đo đạc đã được chuyển về khuôn dạng chuẩn RINEX để thuận tiện cho công tác tính toán xử lý số liệu.

4.1. Kết quả tính toán thực nghiệm theo phương pháp kết hợp pha và mã

Các bảng dưới đây sẽ thể hiện kết quả phát hiện trượt chu kỳ trên sóng tải L1 và sóng tải L2 đối với vệ tinh GPS có số hiệu 12.

Bảng 1. Kết quả phát hiện trượt chu kỳ trên sóng tải L1

Thời điểm t_1	Thời điểm t_2	Kết quả tính(mét)
01h09m50s	01h09m55s	0,85
01h09m55s	01h10m00s	-1,36
01h10m00s	01h10m05s	-1,89
01h10m05s	01h10m10s	1,58
01h10m10s	01h10m15s	460,48
01h10m15s	01h10m20s	-1,25
01h10m20s	01h10m25s	1,42

Bảng 2. Kết quả phát hiện trượt chu kỳ trên sóng tải L2

Thời điểm t_1	Thời điểm t_2	Kết quả tính(mét)
01h09m50s	01h09m55s	2,21
01h09m55s	01h10m00s	-4,49
01h10m00s	01h10m05s	-1,73
01h10m05s	01h10m10s	-1,26
01h10m10s	01h10m15s	256,01
01h10m15s	01h10m20s	-0,84
01h10m20s	01h10m25s	-1,01

Theo kết quả tính toán của hai bảng trên, ta thấy giá trị sai phân giữa hai thời điểm 01h10m10s và 01h10m15s có giá trị khác biệt hẳn so với sai phân tại các thời điểm khác. Điều này chứng tỏ tại thời điểm 01h10m15s đã xảy ra hiện tượng trượt chu kỳ trên cả sóng tải L1 và sóng tải L2.

Như đã thảo luận ở trên, phương pháp này chỉ được sử dụng đối với trường hợp hiện tượng trượt chu kỳ với giá trị lớn cỡ vài chục chu kỳ. Do đó, kết quả phát hiện trượt chu kỳ tại thời điểm 01h10m15s là hoàn toàn có thể tin cậy. Các giá trị sai phân khác tuy đều khác 0 nhưng do phương pháp này còn tồn tại một số sai số chưa thể hiệu chỉnh nên chúng ta chỉ xét đến sự thay đổi lớn bất thường của giá trị sai phân tính được.

4.2. Kết quả tính toán theo phương pháp phần dư tầng ion

Theo phương pháp phần dư tầng ion, ta chỉ có thể phát hiện trượt chu kỳ xảy ra tại thời điểm nào đó chứ không thể phát hiện trượt chu kỳ xảy ra trên sóng tải nào. Bảng 3 dưới đây sẽ thể hiện kết quả phát hiện trượt chu kỳ đối với vệ tinh 12 sử dụng tệp số liệu như trên:

Bảng 3. Kết quả phát hiện trượt chu kỳ theo phương pháp phần dư tầng ion

Thời điểm t_1	Thời điểm t_2	Kết quả tính(mét)
01h09m50s	01h09m55s	-0,52
01h09m55s	01h10m00s	-0,65
01h10m00s	01h10m05s	-0,16
01h10m05s	01h10m10s	-0,32
01h10m10s	01h10m15s	204,47
01h10m15s	01h10m20s	-0,41
01h10m20s	01h10m25s	-0,4

Theo bảng kết quả trên, có thể thấy tại thời điểm 01h10m15s có kết quả tính phần dư tầng ion khác biệt so với các thời điểm tính sai phân còn lại, điều này chứng tỏ tại thời điểm đó đã xảy ra hiện tượng trượt chu kỳ. Sự thay đổi giá trị sai phân giữa các thời điểm tính toán có biên độ biến đổi nhỏ hơn nhiều so với phương pháp so sánh pha – mã, vì vậy ta có thể sử dụng phương pháp này để phát hiện trượt chu kỳ xảy ra với mức độ nhỏ.

Qua kết quả tính toán theo 2 phương pháp, có thể thấy rằng với việc sử dụng 2 thuật toán khác nhau chúng ta đều thu được thời điểm trượt chu kỳ giống nhau. Điều này chứng tỏ độ tin cậy của 2 phương pháp là như nhau.

5. Kết luận

- Trong các phương pháp phát hiện trượt chu kỳ, ta đều sử dụng các thuật toán sai phân

giữa các thời điểm thu tín hiệu liên tục để theo dõi sự thay đổi bất thường của số nguyên đa trị nhằm xác định thời điểm xảy ra trượt chu kỳ.

- Với việc sử dụng phương pháp kết hợp trị đo pha và trị đo mã ta có thể phát hiện hiện tượng trượt chu kỳ xảy ra với mức độ lớn cỡ vài chục chu kỳ trở lên, phương pháp phần dư tầng ion có thể sử dụng để phát hiện trượt chu kỳ với mức độ nhỏ hơn trong khoảng 10 chu kỳ.

- Mỗi thuật toán nêu trên đều có các ưu điểm và nhược điểm riêng, do đó tùy thuộc vào từng trường hợp cụ thể mà ta có thể áp dụng các thuật toán khác nhau một cách phù hợp nhất.

- Thông thường, hiện tượng trượt chu kỳ xảy ra độc lập trên sóng tải L1 hoặc L2. Kết quả tính toán cho thấy, vệ tinh 12 bị trượt chu kỳ với giá trị tương đối lớn và xảy ra trượt chu kỳ trên cả hai sóng tải, do vậy cần tìm hiểu sâu hơn nhằm xác định nguyên nhân gây ra trượt chu kỳ đối với tệp số liệu tham khảo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đặng Nam Chinh, Đỗ Ngọc Đường, 2012. Giáo trình định vị vệ tinh. Trường đại học Mở Địa chất Hà Nội.
- [2]. GuoChangXu, 2007. GPS Theory, Algorithms and Application. Second Edition.
- [3]. http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/glossary_a-c.htm.

SUMMARY

Comparing the result of cycle slip detection in GNSS data by a few different methods

Pham Ngoc Quang, Nguyen Gia Trong, Le Thi Thanh Tam

Ha Noi University of Mining and Geology

Le Thi Tuyen Nhung, *Survey and Aerial Mapping One Member Limited Liability Company*

Cycle slip is a common error source in GNSS's carrier phase measurements. Detecting and repairing cycle slip is a extremely important and difficult step in GNSS pre-processing. All GNSS software have to implement it before processing baselines. In this article, we introduce a few algorithms to detect cycle slip in case of using single GNSS receiver. The experimental results show that, the phase-code comparison method can only detect cycle slip when it occurred in higher level (a few dozen cycles), the phase – phase ionospheric residual method has possibility to detect cycle slip with lower level (a few cycles). Depending on specific circumstances, we can use different algorithms to detect cycle slip.