

# NHỮNG PHÁT TRIỂN TRONG VIỆC XỬ LÝ DỮ LIỆU GPS ĐỂ NGHIÊN CỨU CHUYỂN DỊCH CỦA VỎ TRÁI ĐẤT TẠI VIỆT NAM SOME ACHIEVEMENTS IN PROCESSING GPS FOR RESEARCHING EARTH CRUSTAL MOVEMENT IN VIETNAM

Hà Minh Hoà và Nguyễn Ngọc Lâu \*

Viện Nghiên Cứu Địa Chính, Việt Nam

\*Bộ Môn Địa Tin Học, Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Đại học Bách khoa, Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam

## BẢN TÓM TẮT

Trong bài báo này chúng tôi trình bày tóm tắt những thành tựu đạt được trong việc xử lý dữ liệu GPS để nghiên cứu sự chuyển dịch của vỏ trái đất tại khu vực Lai Châu - Điện Biên. Để đạt được yêu cầu rất cao về độ chính xác, mạng lưới địa động học Lai Châu - Điện Biên được tiến hành đo lặp bằng công nghệ GPS trong chu kỳ từ 2002 đến 2004. Dữ liệu đo từ mạng lưới này đã được xử lý chặt chẽ bằng phần mềm ECME-GPS do các tác giả viết ra.

## ABSTRACT

In this paper, we present briefly some achievements from processing GPS data for researching Earth crustal movements at Lai Chau – Dien Bien region. To obtain very high accuracy, Lai Chau – Dien Bien geodynamic network is surveyed repeatedly by GPS technology from 2002 to 2004. The data from this network were processed robustly by using software package ECME-GPS, which are coded by the authors

## 1. TỔNG QUAN VẤN ĐỀ

Trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường “ Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS để xác định chuyển dịch vỏ trái đất trên khu vực đứt gãy Lai Châu - Điện Biên”, nhóm nghiên cứu đề tài đã phát triển phần mềm ECME - GPS (Earth Crustal Movement Estimation by GPS technology) để xử lý dữ liệu đo GPS và xác định các vector chuyển dịch không gian, mặt bằng, đứng trên khu vực đứt gãy Lai Châu - Điện Biên trong giai đoạn từ 2/2002 đến 2/2004. Các cơ sở khoa học của việc xử lý dữ liệu đo GPS độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn đã được nghiên cứu và sử dụng để xây dựng mô đun GUST. Nhóm nghiên cứu đã tiến hành các nghiên cứu cơ bản như ảnh hưởng của sức hút Mặt trăng - Mặt trời đến việc lựa chọn thời gian thu tín hiệu vệ tinh [1], ảnh hưởng của sức hút Mặt trăng - Mặt trời và cực triều trái đất đến độ chính xác của vector baseline [2]. Nhưng nổi bật nhất là các kết quả nghiên cứu

và xây dựng các mô đun xử lý dữ liệu đo GPS và đánh giá các vector chuyển dịch không gian, mặt bằng, đứng. Các kết quả thực nghiệm trên cơ sở dữ liệu đo GPS trên đứt gãy Lai Châu - Điện Biên cho thấy mô đun GUST và phần mềm BERNESE cho kết quả tương đương nhau. Ngoài ra hàng loạt các nghiên cứu lý thuyết như xây dựng thuật toán  $T^{-T}$  để bình sai mạng lưới trắc địa tự do [3], thuật toán phân tích các thành phần của vector baseline thành hiệu độ cao trắc địa và các hiệu tọa độ trắc địa [6], quy trình và thuật toán xác định vector baseline phẳng [5] đã được áp dụng để xây dựng các mô đun của phần mềm ECME - GPS với mục đích đánh giá các vector chuyển dịch không gian, mặt bằng, đứng theo các chu kỳ đo GPS lặp trên khu vực đứt gãy Lai Châu - Điện Biên. Bài báo này sẽ tóm tắt các kết quả nghiên cứu được đề cập ở trên.

## 2. PHÁT TRIỂN MÔ ĐUN GUST

GUST là tên viết tắt của cụm từ GPS processing Using Sequential static Techniques được tác giả thứ hai phát triển trong thời gian làm nghiên cứu sinh tại Đại học Tasmania, Australia và dưới sự hướng dẫn của giáo sư Richard Coleman [7]. GUST dựa trên bộ xử lý là bộ lọc Kalman cải tiến để có thể tích hợp đầy đủ mối liên hệ giữa các trị đo GPS theo thời gian. Dữ liệu đo pha GPS được phần mềm xử lý một cách liên tục nhằm khai thác tối đa ưu thế của việc giải đa trị. Đây là sự khác nhau cơ bản giữa GUST với những phần mềm khoa học thông dụng khác như GAMIT hay BERNESE.

GUST được thiết kế để nhằm đến hai mục đích phổ biến hiện nay:

- Xử lý chính xác các cạnh dài  
Để đạt được mục đích này GUST bao gồm đầy đủ các mô hình mới nhất về độ trễ đối lưu; mô hình biến động tâm pha anten GPS; mô hình chuyển dịch trạm đo dưới tác động của địa triều, thủy triều và cực triều trái đất; khả năng sử dụng quỹ đạo chính xác IGS và các thuật toán giải đa trị tin cậy trong những điều kiện khó khăn.

- Xử lý động  
Nhằm nghiên cứu các hiện tượng địa động học chậm chạp như băng tan, đất trượt hay những chuyển dịch tức thời như động đất, GUST cung cấp các chọn lựa đa dạng về tọa độ xử lý của trạm đo.

Trong các bài báo [8,9], chúng tôi đã tóm tắt một số ứng dụng đa dạng của GUST trong thực tế và so sánh với việc xử lý bằng phần mềm BERNESE và GAMIT. Kết quả cho thấy độ lệch ở thành phần mặt bằng ở mức độ mm. Trong khi ở thành phần độ cao, GUST cho thấy những ưu điểm nhất định so với các phần mềm khác.

### 3. PHÁT TRIỂN THUẬT TOÁN $T^{-T}$ .

Khi nghiên cứu chuyển dịch của vỏ trái đất trên một khu vực nhỏ và không gắn kết với các dự án quốc tế, chúng ta không đơn giản xử lý các dữ liệu đo GPS đồng thời với các dữ liệu đo GPS trên các điểm của mạng lưới IGS. Trong trường hợp này chúng ta phải sử dụng phương pháp bình sai mạng lưới trắc địa tự do để nghiên cứu sự ổn định của các điểm GPS và đánh giá các vectơ chuyển dịch không gian, mặt bằng, đứng theo hai chu kỳ đo GPS lặp.

Như vậy việc xây dựng thuật toán hiệu quả để bình sai mạng lưới trắc địa tự do đóng vai trò quyết định. Khái niệm thuật toán bình sai hiệu quả trên quan điểm hiện đại bao gồm khả năng loại bỏ ảnh hưởng của sự tích lũy sai số làm tròn và khả năng phát hiện và tìm kiếm các trị đo thô trong quá trình tính toán bình sai. Bởi vì phép biến đổi xoay thuộc lớp các phương pháp biến đổi trực giao, nên nó hạn chế ở mức tối đa sự tích lũy của sai số làm tròn. Trong [3] đã đề xuất thuật toán biến đổi xoay với ma trận làm việc là ma trận tam giác dưới nghịch đảo  $T^{-T}$ , ở đây ma trận  $T^{-T}$  liên hệ với ma trận nghịch đảo  $Q$  bởi biểu thức  $Q = R^{-1} = T^{-1} \cdot T^{-T}$ , còn  $R$  là ma trận chuẩn. Sở dĩ chọn ma trận  $T^{-T}$  làm ma trận biến đổi xoay là do nhờ ma trận này có thể được triển khai trong quy trình của phương pháp bình sai truy hồi để phát hiện sự có mặt của các trị đo thô và tiến hành tìm kiếm chúng. Ngoài ra thuật toán  $T^{-T}$  cho phép triển khai một cách đơn giản mô hình của bài toán bình sai mạng lưới trắc địa tự do:

$$\begin{aligned} V &= A \cdot \delta X + L, & P, \\ V_{\infty} &= C^T \cdot \delta X, & P_{\infty}, \end{aligned}$$

với ma trận trọng số  $P_{\infty} = \infty \cdot E$ , ở đây  $\infty$  - số lớn vô hạn.

Để triển khai thuật toán  $T^{-T}$  khi bình sai mạng lưới trắc địa tự do, chúng ta cần chọn ma trận ban đầu có dạng sau:

$$T_0^T = 10^6 \cdot E_{k \times k},$$

ở đây  $E_{k \times k}$  - ma trận đơn vị bậc  $k$ .

Giả sử sau khi đưa vào tính toán  $(i-1)$  trị đo đầu tiên theo thuật toán đang xem xét chúng ta đã nhận được ma trận biến đổi  $T_{i-1}^{-T}$ , véc tơ ản  $dx_{i-1}$ , tổng  $[pvv]_{i-1}$ . Bây giờ chúng ta đưa vào tính toán trị đo  $y_i$  với phương trình số cải chính:

$$v_i = a_i \cdot \delta x_i + l_i^{(0)}, \quad p_i \quad (1)$$

ở đây số hạng tự do  $l_i^{(0)} = \varphi_i(X^{(0)}) - y_i$ ;  $\varphi_i$  - véc tơ - hàm liên hệ;  $X^{(0)}$  - vectơ ản gần đúng;  $P_i$  - trọng số của trị đo  $y_i$ .

Chúng ta lập ma trận phụ:

$$B_i = \begin{bmatrix} T_{i-1}^T & t_i \\ 0 & \delta_i^{(0)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

ở đây  $\delta_i^{(0)}$  được xác định theo công thức

$$\delta_i = 1/\sqrt{P_i}, \quad (3)$$

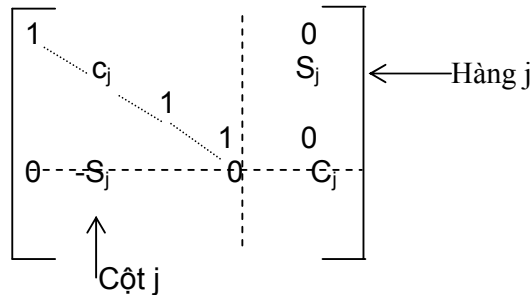
còn vector  $t_i$

$$t_i = T_{i-1}^{-T} \cdot a_i^T.$$

Chúng ta thấy từ (3) rằng khi trọng số  $P_i = \infty$ , số  $\delta_i = 0$ .

Lần lượt biến đổi xoay đối với các hàng  $j = \overline{1, k}$ , ở đây  $k$  là bậc của ma trận  $T_{i-1}^T$ . Để biến đổi hàng thứ  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, k$ ), cần lập ma trận xoay:

$$H_j =$$



Trong đó  $C_j = x/f$ ;  $S_j = -y/f$ ;  $f = (x^2 + y^2)^{1/2}$

$x = \delta_i^{(j-1)}$ ;  $y = \{t_i\}_j$  - thành phần thứ  $j$

của véc tơ  $t_i$ .

Nhân ma trận xoay  $H_j$  từ bên trái với ma trận  $B_i$  (2). Kết quả sẽ biến đổi xong hàng thứ  $j$  của ma trận  $B_i$ . Bằng cách như vậy, sau khi biến đổi xong tất cả  $k$  hàng đầu tiên của ma trận  $B_i$ , chúng ta sẽ nhận được ma trận:

$$\bar{B}_i = \begin{bmatrix} T_i^{-T} & 0 \\ \eta_i & \gamma_i \end{bmatrix}$$

Véc tơ ần số và  $[p_{vv}]_i$  được tính theo các công thức sau:

$$dx_i = dx_{i-1} - \frac{1}{\gamma_i} \cdot \eta_i^T \cdot l_i$$

$$[p_{vv}]_i = [p_{vv}]_{i-1} + \varepsilon_i^2$$

ở đây số hạng tự do  $l_i = a_i \cdot dx_{i-1} + l_i^{(0)}$ ; còn số  $\varepsilon_i = 1/\gamma_i$ .

Trong trường hợp trị đo  $y_i$  là trị đo dư việc kiểm tra sự có mặt của trị đo thô được tiến hành dựa trên việc so sánh số hạng tự do  $l_i$  với giá trị cho phép của nó  $(l_i)_{cp}$ , ở đây

$$(l_i)_{cp} = 3 \cdot \tau_0 \cdot \sqrt{g_i},$$

còn  $\tau_0$  - giá trị tiên nghiệm của sai số trung phương của trị đo;  $g_i$  được tính theo công thức

$$g_i = P_i^{-1} + t_i^T \cdot t_i$$

Việc tìm kiếm các véc tơ baseline thô khi bình sai mạng lưới GPS được đề xuất trong [4].

#### 4. PHÁT TRIỂN THUẬT TOÁN PHÂN TÍCH VEC TƠ BASELINE THÀNH HIỆU ĐỘ CAO TRẮC ĐỊA VÀ VEC TƠ BASELINE PHẪNG

Để đánh giá các véc tơ chuyển dịch ngang và chuyển dịch đứng trong hai chu kỳ đo lặp trên mạng lưới GPS cần thực hiện chuyển các thành phần  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  của véc tơ baseline trong từng chu kỳ đo lặp thành hiệu độ cao trắc địa  $\Delta H$  (nhằm tạo mạng lưới độ cao tự do trong từng chu kỳ đo lặp) và thành các thành phần  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  của véc tơ baseline phẳng (các hiệu tọa độ phẳng của hai điểm đầu của baseline nhằm tạo mạng lưới mặt bằng  $(x, y)$  - tự do). Các công thức cơ bản để giải bài toán nêu trên do GS.TSKH. Phạm Hoàng Lân đề xuất [6]:

$$\Delta B = B_2 - B_1 = \text{arcSin} \left[ \left( \frac{\text{Cos}B_1^{(0)} \cdot \Delta Z}{N_2 + H_2^{(0)}} - \frac{\left(1 - e^2 + \frac{H_1^{(0)}}{N_1}\right) \cdot \text{Sin}B_1^{(0)}}{1 + \frac{H_1^{(0)}}{N_1}} \right) \times \right. \\ \left. \times \left( 2 \cdot \text{Cos}B_2^{(0)} \cdot \text{Sin}^2 \frac{\Delta L}{2} + \frac{\text{Cos}L_1^{(0)} \cdot \Delta X + \text{Sin}L_1^{(0)} \cdot \Delta Y}{N_2 + H_2^{(0)}} \right) + \frac{2 \cdot e^2 \cdot \text{Cos}B_1^{(0)} \cdot \text{Cos}B_m \cdot \text{Sin} \frac{\Delta B}{2}}{1 + \frac{H_2^{(0)}}{N_2}} + \right. \\ \left. + e^2 \cdot \text{Sin}B_1^{(0)} \times \left( \frac{2 \cdot \text{Sin}B_m \cdot \text{Sin} \frac{\Delta B}{2}}{\left(1 + \frac{H_1^{(0)}}{N_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{H_2^{(0)}}{N_2}\right)} - \frac{\text{Cos}B_2^{(0)}}{\left(1 + \frac{H_1^{(0)}}{N_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{N_2}{H_2^{(0)}}\right)} + \frac{\text{Cos}B_1^{(0)}}{\left(1 + \frac{H_2^{(0)}}{N_2}\right) \cdot \left(1 + \frac{N_1}{H_1^{(0)}}\right)} \right) \right];$$

$$\Delta L = L_2 - L_1 = \text{arcSin} \left[ \frac{\text{Cos}L_1^{(0)} \cdot \Delta Y - \text{Sin}L_1^{(0)} \cdot \Delta X}{(N_2 + H_2^{(0)}) \cdot \text{Cos}B_2} \right]; \quad (4)$$

$$\Delta H = H_2 - H_1 = 2 \cdot (N_2 + H_2^{(0)}) \cdot \text{Sin}^2 \frac{\Delta L}{2} + \\ \left( \text{Cos}L_1^{(0)} \cdot \Delta X + \text{Sin}L_1^{(0)} \cdot \Delta Y + 2 \cdot (N_1 + H_1^{(0)}) \cdot \text{Sin}B_m \times \text{Sin} \frac{\Delta B}{2} \right) / \text{Cos} B_2^{(0)} - \\ - 2 \cdot b_2 \cdot \text{Sin}2B_m \cdot \text{Sin}\Delta B + 2 \cdot b_4 \cdot \text{Sin}4B_m \cdot \text{Sin}2\Delta B - 2 \cdot b_6 \cdot \text{Sin}6B_m \cdot \text{Sin}3\Delta B + \\ 2 \cdot b_8 \cdot \text{Sin}8B_m \cdot \text{Sin}4\Delta B - 2 \cdot b_{10} \cdot \text{Sin}10B_m \cdot \text{Sin}5\Delta B + 2 \cdot b_{12} \cdot \text{Sin}12B_m \cdot \text{Sin}6\Delta B;$$

trong đó

$$b_0 = n_0 + \frac{n_2}{2} + \frac{3}{8} \cdot n_4 + \frac{5}{16} \cdot n_6 + \frac{35}{128} \cdot n_8 + \frac{63}{256} \cdot n_{10} + \frac{231}{1024} \cdot n_{12};$$

$$b_2 = \frac{n_2}{2} + \frac{n_4}{2} + \frac{15}{32} \cdot n_6 + \frac{7}{16} \cdot n_8 + \frac{105}{256} \cdot n_{10} + \frac{198}{512} \cdot n_{12};$$

$$b_4 = \frac{1}{8} \cdot n_4 + \frac{3}{16} \cdot n_6 + \frac{7}{32} \cdot n_8 + \frac{15}{64} \cdot n_{10} + \frac{495}{2048} \cdot n_{12};$$

$$b_6 = \frac{1}{32} \cdot n_6 + \frac{1}{16} \cdot n_8 + \frac{45}{512} \cdot n_{10} + \frac{110}{124} \cdot n_{12};$$

$$b_8 = \frac{1}{128} \cdot n_8 + \frac{5}{256} \cdot n_{10} + \frac{66}{2048} \cdot n_{12}; \quad b_{10} = \frac{1}{512} \cdot n_{10} + \frac{6}{1024} \cdot n_{12};$$

$$b_{12} = \frac{1}{2048} \cdot n_{12}; \quad n_0 = a \quad \langle m \rangle; \quad n_2 = \frac{1}{2} e^2 \cdot n_0; \quad n_4 = \frac{3}{4} e^2 \cdot n_2;$$

$$n_6 = \frac{5}{6} e^2 \cdot n_4; \quad n_8 = \frac{7}{8} e^2 \cdot n_6; \quad n_{10} = \frac{9}{10} e^2 \cdot n_8; \quad n_{12} = \frac{11}{12} e^2 \cdot n_{10};$$

$$B_m = \frac{1}{2} (B_1^{(0)} + B_2^{(0)}), \quad \Delta B = B_2^{(0)} - B_1^{(0)}, \quad \Delta L = L_2^{(0)} - L_1^{(0)}.$$

Trong các công thức trên,  $B_1^{(0)}, L_1^{(0)}, H_1^{(0)}$  và  $B_2^{(0)}, L_2^{(0)}, H_2^{(0)}$  - các tọa độ ellipsoid của các điểm 1 và 2 là các điểm đầu của baseline nhận

được từ kết quả bình sai mạng lưới GPS;  $a$  và  $e^2$  - các tham số của ellipsoid thực dụng;  $N$  - bán kính cong của đường thẳng đứng thứ nhất :

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 B}}$$

Ma trận tương quan của hiệu tọa độ trắc địa  $\Delta B, \Delta L$  được tính theo công thức:

$$K_{\Delta B, \Delta L} = \gamma \cdot K_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z} \cdot \gamma^T,$$

ở đây  $K_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z}$  - ma trận tương quan của các thành phần  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  của vectơ baseline, ma trận hệ số

$$\gamma = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{pmatrix},$$

còn các hệ số

$$a_1 = \frac{\alpha}{\cos \Delta B} \cdot \frac{\sin L_1^{(0)}}{N_2 + H_2^{(0)}}; a_2 = \frac{-\alpha}{\cos \Delta B} \cdot \frac{\cos L_1^{(0)}}{N_2^{(0)} + H_2^{(0)}}; a_3 = \frac{1}{\cos \Delta B} \cdot \frac{\cos B_1^{(0)}}{N_2 + H_2^{(0)}};$$

$$\alpha = \frac{\left(1 - e^2 + \frac{H_1^{(0)}}{N_1}\right) \cdot \sin B_1^{(0)}}{1 + \frac{H_1^{(0)}}{N_1}};$$

$$b_1 = -\frac{1}{\cos \Delta L} \cdot \frac{\sin L_1^{(0)}}{\beta}; b_2 = \frac{1}{\cos \Delta L} \cdot \frac{\cos L_1^{(0)}}{\beta}; b_3 = 0; \beta = (N_2 + H_2^{(0)}) \cdot \cos B_2^{(0)}.$$

Ma trận tương quan của hiệu độ cao trắc địa được xác định theo công thức:

$$m_{\Delta H}^2 = \begin{pmatrix} d_1 & d_2 & d_3 \end{pmatrix} \cdot K_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z} \cdot \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{pmatrix},$$

ở đây các hệ số

$$d_1 = \frac{\cos L_1^{(0)}}{\cos B_2^{(0)}}; d_2 = \frac{\sin L_1^{(0)}}{\cos B_2^{(0)}}; d_3 = 0.$$

Việc tính các thành phần  $\Delta x, \Delta y$  của vectơ baseline phẳng giữa hai điểm đầu của baseline được thực hiện theo quy trình sau: sử dụng tọa độ trắc địa  $B_1, L_1$  bình sai của điểm đầu baseline để tính tọa độ trắc địa  $B_2, L_2$  của

điểm cuối baseline dựa trên các hiệu tọa độ trắc địa  $\Delta B, \Delta L$  giữa hai điểm đó được tính theo các công thức (4). Tiếp theo thực hiện chuyển đổi các tọa độ trắc địa của các điểm này về các tọa độ phẳng  $x_1, y_1$  và  $x_2, y_2$  và thực

hiện tính toán các thành phần  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  của vector baseline phẳng giữa hai điểm đó .

Vấn đề tiếp theo là xác định ma trận liên hệ  $K_{\Delta x, \Delta y}$  dựa trên ma trận liên hệ  $K_{\Delta B, \Delta L}$ . Từ các công thức tính tọa độ trắc địa của điểm 2 :

$$B_2 = B_1 + \Delta B$$

$$L_2 = L_1 + \Delta L,$$

chúng ta có thể tính ma trận liên hệ  $K_{B_2, L_2}$  theo công thức sau :

$$K_{B_2, L_2} = K_{B_1, L_1} + K_{\Delta B, \Delta L} \quad (5)$$

Tuy nhiên khi sử dụng lịch vệ tinh chính xác trong ITRF-yy do Tổ chức IGS cung cấp và sử dụng phần mềm có tính đến tất cả các nguồn sai số trong dữ liệu đo GPS chúng ta sẽ nhận được các vector baseline độ chính xác rất cao ở mức mm và nhỏ hơn. Do đó khi bình sai

mạng lưới GPS trong ITRF-yy, sai số trung phương tọa độ trắc địa sau bình sai rất nhỏ chỉ ở mức 0.00001". Điều này cho phép bỏ qua thành phần  $K_{B_1, L_1}$  trong công thức (5). Khi đó chúng ta có :

$$K_{B_2, L_2} = K_{\Delta B, \Delta L} \quad (6)$$

Từ (6) chúng ta sẽ nhận được công thức tính ma trận liên hệ  $K_{\Delta x, \Delta y}$  của các thành phần  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ :

$$K_{\Delta x, \Delta y} = C \cdot K_{B_2, L_2} \cdot C^T$$

Ma trận hệ số C có dạng:  $C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix}$ ,

trong đó các thành phần  $C_{11}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{21}$  và  $C_{22}$  được xác định theo các công thức sau [5]:

$$C_{11} = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3; C_{12} = \alpha_4 + \alpha_5; C_{21} = \alpha_6 + \alpha_7; C_{22} = \alpha_8 + \alpha_9;$$

$$\alpha_1 = \frac{a}{\sqrt{1-e^2}} \cdot \left[ \beta_0 + A_1 \cdot \cos B - \sin^2 B \cdot (\beta_2 + 3 \cdot \beta_4 \cdot \cos^2 B + 5 \cdot \beta_6 \cdot \cos^4 B + 7 \cdot \beta_8 \cdot \cos^6 B) \right];$$

$$\alpha_2 = \gamma_1 \cdot \frac{l^2}{2} \cdot N \cdot \left( \frac{e^2 \cdot \sin^2 2B}{4 \cdot (1-e^2 \cdot \sin^2 B)} + \cos 2B \right);$$

$$\gamma_1 = 1 + A_2 + A_3;$$

$$\alpha_3 = \left[ -\frac{l^2 \cdot \sin 2B}{12} \cdot (6 + 18 \cdot e'^2 \cdot \cos^2 B + 12 \cdot e'^2 \cdot \cos^4 B) + \frac{l^4}{6} \cdot \sin 2B \cdot (\sin^2 B - 30 \cdot \cos^2 B) \right] \cdot A_4;$$

$$\alpha_4 = \gamma_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot N \cdot \sin 2B;$$

$$\alpha_5 = \left[ \frac{l}{6} \cdot (5 \cdot \cos^2 B - \sin^2 B + 9 \cdot e'^2 \cdot \cos^4 B + 4 \cdot e'^4 \cdot \cos^6 B) + \frac{l^3}{90} \cdot (61 \cdot \cos^4 B - 58 \cdot \sin^2 B \cdot \cos^2 B + \sin^4 B) \right] \cdot A_4;$$

$$\alpha_6 = \gamma_2 \cdot l \cdot N \cdot \left( \frac{e^2 \cdot \sin^2 B \cdot \cos B}{2 \cdot (1-e^2 \cdot \sin^2 B)} - \sin B \right); \quad \gamma_2 = 1 + A_6 + A_7;$$

$$\alpha_7 = \left[ -\frac{l^2 \cdot \sin 2B}{3} \cdot (1 + e'^2 \cdot \cos^2 B) + \frac{l^4 \cdot \sin 2B}{30} \times \right. \\ \left. \times (-7 \cdot \cos^2 B + 5 \cdot \sin^2 B - 25 \cdot e'^2 \cdot \cos^4 B + 29 \cdot e'^2 \cdot \sin^2 B \cdot \cos^2 B) \right] \cdot A_5;$$

$$\alpha_8 = \gamma_2 \cdot N \cdot \cos B;$$

$$\alpha_9 = \left[ \frac{l}{3} \cdot (\cos 2B + e'^2 \cdot \cos^4 B) + \frac{l^3}{30} \cdot (5 \cdot \cos^4 B - 18 \cdot \sin^2 B \cdot \cos^2 B + \sin^4 B + 14 \cdot e'^2 \cdot \cos^6 B - 58 \cdot e'^2 \cdot \sin^2 B \cdot \cos^4 B) \right] \cdot A_5;$$

$$A_1 = \beta_2 \cdot \cos B + \beta_4 \cdot \cos^3 B + \beta_6 \cdot \cos^5 B + \beta_8 \cdot \cos^7 B;$$

$$A_2 = \frac{l^2}{12} \cdot \left[ -1 + \cos^2 B \cdot (6 + 9 \cdot e'^2 \cdot \cos^2 B + 4 \cdot e'^4 \cdot \cos^4 B) \right];$$

$$A_3 = \frac{l^4}{360} \cdot (61 \cdot \cos^4 B - 58 \cdot \sin^2 B \cdot \cos^2 B + \sin^4 B);$$

$$A_4 = \frac{l^2}{2} \cdot N \cdot \sin B \cdot \cos B;$$

$$A_5 = l \cdot N \cdot \cos B;$$

$$A_6 = \frac{l^2}{6} \cdot (\cos 2B + e'^2 \cdot \cos^4 B);$$

$$A_7 = \frac{l^4}{120} \cdot (5 \cdot \cos^4 B - 18 \cdot \sin^2 B \cdot \cos^2 B + \sin^4 B + 14 \cdot e'^2 \cdot \cos^6 B - 58 \cdot e'^2 \cdot \sin^2 B \cdot \cos^4 B);$$

$$\beta_0 = 1 - \frac{3}{4} \cdot e'^2 + \frac{45}{64} \cdot e'^4 - \frac{175}{256} \cdot e'^6 + \frac{11025}{16384} \cdot e'^8;$$

$$\beta_2 = \beta_0 - 1;$$

$$\beta_4 = \frac{15}{32} \cdot e'^4 - \frac{175}{384} \cdot e'^6 + \frac{3675}{8192} \cdot e'^8;$$

$$\beta_6 = -\frac{35}{96} \cdot e'^6 + \frac{735}{2048} \cdot e'^8;$$

$$\beta_8 = \frac{315}{1024} \cdot e'^8;$$

a là bán trục lớn của ellipsoid thực dụng;

$e^2$  và  $e'^2$  - các độ lệch tâm thứ nhất và thứ hai của ellipsoid thực dụng;

$l = L - L_0$ , ở đây  $L_0$  - kinh độ kinh tuyến trực của múi chiếu;

$B, L$  - toạ độ trắc địa của điểm;  $N$  - bán kính cong của đường thẳng đứng thứ nhất.

## 5. KẾT LUẬN

Việc nghiên cứu, xây dựng được các cơ sở lý thuyết của quá trình xử lý các dữ liệu đo GPS trên các khoảng cách lớn và áp dụng thành công bước đầu vào việc xây dựng phần mềm ECME - GPS khẳng định sự trưởng thành vượt bậc của đội ngũ các nhà khoa học trắc địa Việt Nam trong việc làm chủ công nghệ GPS. Không những thế, các kết quả nghiên cứu còn khẳng định vị thế của các nhà trắc địa Việt Nam so với các nước trong khu vực trong việc chiếm lĩnh công nghệ GPS để giải quyết các nhiệm vụ khoa học - kỹ thuật của Trắc địa cao cấp. Mạng lưới địa động học Lai Châu - Điện Biên là mạng lưới GPS có độ chính xác cao hơn mm đầu tiên do các nhà trắc địa Việt Nam tự thiết kế, thi công và trực tiếp xử lý dữ liệu đo GPS bởi phần mềm ECME - GPS tự làm ra. Đây là kết quả hợp tác khoa

học đầy hiệu quả giữa các Viện và các trường đại học như Viện nghiên cứu Địa chính, Viện địa chất thuộc Viện khoa học và công nghệ Việt Nam, trường Đại học Bách khoa thành phố Hồ Chí Minh và Trường Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hà Minh Hoà và Nguyễn Ngọc Lâu. Nghiên cứu xác định khoảng thời gian thu tín hiệu vệ tinh GPS trên mạng lưới địa động học Lai Châu-Điện Biên. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất. Số 1-2003, Tr. 99-102. Trường Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội.
2. Hà Minh Hoà, Nguyễn Ngọc Lâu và Vũ Trung Ruy. Nghiên cứu ảnh hưởng của các hiện tượng triều Quả đất và triều cực Quả đất đến kết quả đo đạc GPS độ chính

- xác cao trên khoảng cách lớn. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất . Số 10-2005. Trường Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội.
3. Hà Minh Hòa. Nghiên cứu một thuật toán bình sai mạng lưới trắc địa tự do. Tạp chí Địa chính, 10-2002, Tr. 9-12. Tổng cục Địa chính.
  4. Hà Minh Hoà. Nghiên cứu phương pháp kiểm tra và tìm kiếm các vector baseline thô từ kết quả xử lý dữ liệu GPS theo một ca đo. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất. Số 3-2003. Trường đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội.
  5. Hà Minh Hoà, Nguyễn Xuân Thủy. Xác định các hiệu tọa độ phẳng và hiệu độ cao trắc địa dựa trên các thông tin của vector Baseline để nghiên cứu chuyển dịch vỏ Trái đất bằng công nghệ GPS. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất . Số 5-2004. Trg. 79 - 83. Trường Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội.
  6. Phạm Hoàng Lân. Về vấn đề tính chuyển kết quả đo GPS. Tạp chí Trắc địa – Bản đồ, No 1, 1993, trg.1-18. Cục Đo đạc và Bản đồ Nhà nước.
  7. Nguyễn Ngọc Lâu, Improving GPS results using continuous processing strategies, Ph.D thesis, (2000), University of Tasmania, Australia.
  8. Nguyễn Ngọc Lâu. Xây dựng phần mềm GUST – thành tựu bước đầu của việc phát triển công nghệ xử lý dữ liệu đo GPS độ chính xác cao ở Việt Nam. Tạp chí Địa chính, 8-2005, Tr. 31-35. Tổng cục Địa chính.
  9. L.N. Nguyen, R. Coleman, M. King and P. Morgan, Comparison of GPS results from different processing of ambiguity parameters – a case study in the Amery Ice Shelf region, East Antarctica, accepted for publish on Journal of Asian Geoinformatics in 2005.