

THUẬT TOÁN TÍNH CẠNH SỬ DỤNG CÁC TRỊ ĐO KHOẢNG CÁCH GIẢ THEO MÃ

NGUYỄN GIA TRỌNG, VŨ VĂN TRÍ, PHẠM NGỌC QUANG
 Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Tóm tắt: Mỗi máy thu GPS đều có khả năng cung cấp một số loại trị đo khác nhau như trị đo khoảng cách giả theo mã, trị đo khoảng cách giả theo pha sóng tải... Một số bài toán định vị trong công nghệ GPS (hay GNSS) thường được lấy tên theo tên của loại trị đo tương ứng được sử dụng để giải bài toán đó. Bài báo giới thiệu hệ thống công thức và kết quả tính cạnh (Baseline) từ các trị đo khoảng cách giả theo mã C/A được đo bằng máy Hiper Ga, Gb đã được chuyển đổi về dữ liệu định dạng RINEX. Kết quả tính toán được so sánh với kết quả xử lý cạnh sử dụng phần mềm GPSSurvey 2.35 là một phần mềm được công nhận ở Việt Nam. Qua kết quả so sánh cho thấy, độ lệch các thành phần tọa độ tính được ở đây lệch vài cm so với lời giải fixed (cố định) khi tính bằng phần mềm GPSSurvey 2.35. Qua đây, các tác giả cũng kiến nghị về việc nghiên cứu việc tính cạnh sử dụng các trị đo pha sóng tải góp phần làm chủ công nghệ ở Việt Nam.

1. Thuật toán tính cạnh từ các trị đo khoảng cách giả theo mã

Khoảng cách giả theo mã từ vệ tinh i đến máy thu K có thể biểu diễn bằng công thức sau [1]:

$$P_K^i = \rho_K^i + c\delta_K - c\delta^i + I_K^i + T_K^i + e_K^i, \quad (1)$$

trong đó:

c - vận tốc truyền sóng ánh sáng trong môi trường chân không, $c = 299792458\text{m/s}$;

δ_K - sai số đồng hồ máy thu K ;

δ^i - sai số đồng hồ của vệ tinh i ;

I_K^i - sai số do ảnh hưởng của tầng điện ly;

T_K^i - sai số do ảnh hưởng của tầng đối lưu;

ρ_K^i - khoảng cách hình học giữa vệ tinh i với máy thu K ;

e_K^i - tổng hợp ảnh hưởng do sai số ngẫu nhiên và hiệu ứng đa đường dẫn;

P_K^i - trị đo khoảng cách giả theo mã (lấy từ tệp thông tin trị đo).

$$\rho_K^i = \sqrt{(X^i - X_K)^2 + (Y^i - Y_K)^2 + (Z^i - Z_K)^2}, \quad (2)$$

X^i, Y^i, Z^i - các thành phần tọa độ của vệ tinh i ;

X_K, Y_K, Z_K - các thành phần tọa độ của điểm quan sát trong hệ tọa độ WGS-84.

Vào một thời điểm nào đó có hai máy thu A và B cùng thu tín hiệu của vệ tinh j, k bất kỳ, sử dụng công thức (1) có thể biểu diễn khoảng cách giả theo mã từ vệ tinh tới hai máy thu như sau:

Đối với máy thu A :

$$P_A^j = \rho_A^j + c\delta_A - c\delta^j + I_A^j + T_A^j + e_A^j, \quad (3)$$

$$P_A^k = \rho_A^k + c\delta_A - c\delta^k + I_A^k + T_A^k + e_A^k, \quad (4)$$

Đối với máy thu B :

$$P_B^j = \rho_B^j + c\delta_B - c\delta^j + I_B^j + T_B^j + e_B^j, \quad (5)$$

$$P_B^k = \rho_B^k + c\delta_B - c\delta^k + I_B^k + T_B^k + e_B^k, \quad (6)$$

Các kí hiệu trong công thức (3) đến công thức (6) tương tự như trong công thức (1).

Trong tính cạnh, để làm giảm ảnh hưởng của một số nguồn sai số chung, thông thường chọn cách lấy sai phân bậc 2. Từ các công thức (3), (4), (5) và (6) lấy sai phân bậc hai của các khoảng cách giả từ máy thu A, B đến vệ tinh j, k được phương trình sai phân bậc hai như sau:

$$P_{AB}^{jk} = \rho_{AB}^k - \rho_{AB}^j = (\rho_B^k - \rho_A^k) - (\rho_B^j - \rho_A^j) + I_{AB}^{jk} + T_{AB}^{jk} + e_{AB}^{jk}, \quad (7)$$

Để đưa trị đo lấy được từ phương trình sai phân nói trên vào phương trình định vị, cần phải tính ảnh hưởng của các nguồn sai số, vấn đề này được trình bày trong [2], [3] và [5].

Phương trình (7) là phương trình phi tuyến, để giải được phương trình trên theo nguyên lý

số bình phương nhỏ nhất cần khai triển thành phương trình tuyến tính. Muốn như vậy, cần phải có được tọa độ gần đúng của các điểm đặt máy thu A, B là (X_{A0}, Y_{A0}, Z_{A0}) và (X_{B0}, Y_{B0}, Z_{B0}) . Các giá trị tọa độ gần đúng nói trên có được thông qua giải bài toán định vị tuyệt đối [4].

Để có thể khai triển tuyến tính phương trình (7), ta bắt đầu từ việc khai triển tuyến tính từng khoảng cách giả theo mã theo phương trình sau:

$$\rho_A^j = \rho_{A0}^j + a_X^j dX_A + a_Y^j dY_A + a_Z^j dZ_A \quad , \quad (8)$$

Trong công thức (8):

$$a_X^j = \left(\frac{\partial \rho_A^j}{\partial X_A} \right)_0 = - \frac{X^j - X_{A0}}{\rho_{A0}^j}$$

$$a_Y^j = \left(\frac{\partial \rho_A^j}{\partial Y_A} \right)_0 = - \frac{Y^j - Y_{A0}}{\rho_{A0}^j}$$

$$a_Z^j = \left(\frac{\partial \rho_A^j}{\partial Z_A} \right)_0 = - \frac{Z^j - Z_{A0}}{\rho_{A0}^j}$$

Cần lưu ý rằng, khi tính cạnh, cần phải coi tọa độ của một điểm đầu cạnh đã biết trước có nghĩa là số hiệu chỉnh vào các thành phần tọa độ của nó đều bằng 0. Trong phương trình (7), giả sử tọa độ của điểm A đã biết trước có nghĩa là $dX_A = dY_A = dZ_A = 0$. Phương trình (7) ở dạng tuyến tính có thể biểu diễn như sau:

$$v_{\rho_{AB}^{jk}} = a_{XAB}^{jk} dX_B + a_{YAB}^{jk} dY_B + a_{ZAB}^{jk} dZ_B + l_{\rho_{AB}^{jk}} \quad . \quad (9)$$

Trong phương trình sai phân bao giờ cũng phải chọn 1 vệ tinh làm vệ tinh tham khảo (lấy các trị đo của các vệ tinh còn lại trừ đi trị đo của vệ tinh tham khảo) nên nếu tại một thời điểm nào đó máy thu quan sát được n vệ tinh thì chỉ lập được (n-1) phương trình sai phân có dạng (9). Trong phương trình (9) có 3 ẩn số là số hiệu chỉnh vào các thành phần tọa độ của điểm B nên để giải được (9) hai máy thu cần quan sát tối thiểu 4 vệ tinh chung và hoàn toàn có thể giải được phương trình trên khi có 1 tập hợp trị đo trong 1 thời điểm (epoch) nếu số lượng vệ tinh quan sát được lớn hơn 4.

Nếu vào thời gian quan sát, hai máy thu thu được số lượng vệ tinh chung $n \geq 4$ ta có thể lập hệ phương trình sai phân ở dạng ma trận như sau:

$$V = AX + L \quad , \quad (10)$$

Trong phương trình (10) đã coi trọng số của tất cả các sai phân bậc 2 là như nhau. Trong đó ta có:

$$V = \begin{bmatrix} v_{\rho_{AB}^{12}} \\ v_{\rho_{AB}^{13}} \\ \dots \\ v_{\rho_{AB}^{1n}} \end{bmatrix}; A = \begin{bmatrix} a_{XAB}^{12} & a_{YAB}^{12} & a_{ZAB}^{12} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{XAB}^{1n} & a_{YAB}^{1n} & a_{ZAB}^{1n} \end{bmatrix}; L = \begin{bmatrix} l_{\rho_{AB}^{12}} \\ l_{\rho_{AB}^{13}} \\ \dots \\ l_{\rho_{AB}^{1n}} \end{bmatrix}$$

và có thể giải được nghiệm

$$X = -(A^T A)^{-1} A^T L \quad , \quad (11)$$

Sai số trung phương trọng số đơn vị được tính theo công thức:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{(n-1)-3}} \quad , \quad (12)$$

trong đó: n - số lượng vệ tinh chung mà hai máy thu quan sát được.

2. Giới thiệu về số liệu và kết quả thực nghiệm

2.1 Giới thiệu về số liệu thực nghiệm

Số liệu dùng trong bài báo này được đo bằng 2 máy Hiper Ga, Gb trong ngày 17 tháng 9 năm 2010 tại mỏ than Cọc Sáu thuộc tỉnh Quảng Ninh. Máy dùng để đo đạc là loại máy hai tần số do hãng Topcon (Nhật Bản) chế tạo. Trong bài báo này tiến hành tính toán thực nghiệm cho hai cạnh với chiều dài lần lượt là hơn 40m và hơn 1000m. Số liệu sau khi đo đạc được chuyển sang định dạng RINEX, ở định dạng này, tệp số liệu đo có 7 loại trị đo là các trị đo C1, P1, P2, L1, L2, D1, D2. Sau đây là một đoạn của tệp trị đo ứng với cạnh có chiều dài lớn hơn 40m (Hình 1).

2.2. Kết quả tính toán thực nghiệm

2.2.1 Kết quả tính toán với cạnh có độ dài lớn hơn 40m

Với số liệu đo đạc như trên, sử dụng các trị đo khoảng cách giả theo mã C1, lấy sai phân bậc 2, tiến hành tính toán theo hệ thống các công thức từ (1) đến (12) thu được kết quả cho trong bảng 1. Trong kết quả tính toán, đã sử dụng tọa độ của các điểm đo cho trong phần tiêu đề của tệp trị đo (tọa độ này được tính toán trong quá trình chuyển đổi định dạng số liệu).

```

2.10      OBSERVATION DATA  G (GPS)      RINEX VERSION / TYPE
Topcon Link 7.1      17-SEP-10 21:51  PGM / RUN BY / DATE
build July 25, 2002 (c) Topcon Positioning Systems  COMMENT
IA          MARKER NAME
           MARKER NUMBER
IA          -Unknown-      OBSERVER / AGENCY
8QLY2GIDRSW  -Unknown-    -Unknown-    REC # / TYPE / VERS
TPSHIPER_GB  -Unknown-    ANT # / TYPE
-1773899.7109 5685397.9016 2275207.1287  APPROX POSITION XYZ
  1.4837    0.0000    0.0000    ANTENNA: DELTA H/E/N
  1 1      WAVELENGTH FACT L1/2
2010 9 17 0 54 50.0000000  GPS  TIME OF FIRST OBS
2010 9 17 5 27 55.0000000  GPS  TIME OF LAST OBS
  5.000    INTERVAL
  15      LEAP SECONDS
  17      # OF SATELLITES
  7 C1 P1 P2 L1 L2 D1 D2  # / TYPES OF OBSERV
G 1 1596 1590 1589 1596 1589 1596 1589  PRN / # OF OBS
G 3 3228 3218 3218 3228 3218 3228 3218  PRN / # OF OBS
G 6 2745 2735 2735 2745 2735 2745 2735  PRN / # OF OBS
G 7 1792 1787 1787 1792 1787 1792 1787  PRN / # OF OBS
G 8 764 748 748 764 748 764 748  PRN / # OF OBS
G11 1784 1784 1784 1784 1784 1784 1784  PRN / # OF OBS
G13 2832 2825 2825 2832 2825 2832 2825  PRN / # OF OBS
G14 643 643 643 643 643 643 643  PRN / # OF OBS
G16 2366 2354 2354 2366 2354 2366 2354  PRN / # OF OBS
G17 449 442 442 449 442 449 442  PRN / # OF OBS
G19 3273 3270 3270 3273 3270 3273 3270  PRN / # OF OBS
G20 1965 1957 1957 1965 1957 1965 1957  PRN / # OF OBS
G23 3278 3277 3277 3278 3277 3278 3277  PRN / # OF OBS
G24 2678 2678 2678 2678 2678 2678 2678  PRN / # OF OBS
G28 346 287 287 346 287 346 287  PRN / # OF OBS
G31 1971 1970 1970 1971 1970 1971 1970  PRN / # OF OBS
G32 1690 1688 1688 1690 1688 1690 1688  PRN / # OF OBS
SE TPS 00000000  COMMENT
           END OF HEADER
10 9 17 0 54 50.0000000 0 8G 1G 3G 6G14G16G23G31G32
22369467.014 22369466.6654 22369469.9994 117552339.837 8 91599233.75446
-521.068 -406.062
23487825.456 123429360.530 7
 4619.364
22750209.609 119553164.510 7
 3644.282
24511921.231 24511921.4404 24511925.9744 128811023.142 6 100372226.95843
-1472.911 -1147.699
21874252.655 21874253.0624 21874255.6064 114949983.512 8 89571419.68946
 399.118 310.988
24730342.203 129958833.593 7
 4693.759
24008306.360 24008305.7874 24008309.2164 126164510.873 7 98310012.06343
 582.014 453.487
23581324.808 123920707.514 7
 200.075

```

Hình 1. Một đoạn của tệp trị đo ứng với cạnh có chiều dài lớn hơn 40m

Bảng 1. Kết quả tính cạnh cho từng thời điểm

TT	Thời điểm	Các hiệu tọa độ tính toán được			Sai số trung phương trọng số đơn vị
		ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)	
1	1h 00m 00s	-16,5705	6,1737	-36,9722	0,514
2	1h 00m 05s	-16,4884	5,4572	-37,1586	0,547
3	1h 00m 10s	-16,6498	5,9053	-37,0143	0,679
4	1h 00m 15s	-16,1337	5,5371	-36,9990	0,382
...					
Trung bình		-16,3610	5,568	-36,993	

Trong bảng 1:

$$\Delta X_{tb} = \frac{\sum_{i=1}^m \Delta X}{m}; \quad \Delta Y_{tb} = \frac{\sum_{i=1}^m \Delta Y}{m}; \quad \Delta Z_{tb} = \frac{\sum_{i=1}^m \Delta Z}{m}$$

với m - số thời điểm có trị đo và m = 1368 thời điểm tương ứng với thời gian đo xấp xỉ 2 tiếng.

Để có số liệu so sánh, đã tiến hành xử lý số liệu đo nói trên bằng phần mềm GPSurvey 2.35 cho dạng lời giải là L1 fixed. Kết quả thu được có $\Delta X = -16,372m$; $\Delta Y = 5,576m$; $\Delta Z = -37,025m$.

Giá trị độ lệch của kết quả tính được so với kết quả tính bằng phần mềm GPSurvey 2.35 được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Giá trị độ lệch hiệu các thành phần tọa độ tính được so với phương án tính bằng phần mềm GPSurvey 2.35 cho từng thời điểm

TT	Thời điểm	Độ lệch hiệu các thành phần tọa độ		
		$\delta \Delta X$ (m)	$\delta \Delta Y$ (m)	$\delta \Delta Z$ (m)
1	1h 00m 00s	-0,198	0,598	0,005
2	1h 00m 05s	-0,116	-0,119	-0,133
3	1h 00m 10s	-0,278	0,329	0,001
4	1h 00m 15s	0,238	-0,003	0,003
....				
Độ lệch so với giá trị trung bình		0,011	-0,008	0,032

Trong số 1368 thời điểm đã được tính toán thì giá trị độ lệch lớn nhất là thời điểm 4h47m35s với $\delta \Delta X = 5,633m$; $\delta \Delta Y = 1,093m$; $\delta \Delta Z = 6,031m$; giá trị độ lệch tổng hợp lớn nhất là 6,031m. Giá trị độ lệch nhỏ nhất vào thời điểm 3h29m05s với $\delta \Delta X = 0,021m$; $\delta \Delta Y = -0,014m$; $\delta \Delta Z = 0,028m$; giá trị độ lệch tổng hợp nhỏ nhất là 0,038m. Kết quả thống kê cho thấy, các thời điểm có giá trị độ lệch tổng hợp nhỏ hơn 2m chiếm 94,43%; các thời điểm có giá trị độ lệch tổng hợp nhỏ hơn 1m chiếm 65,79% và các thời điểm có giá trị độ lệch tổng hợp nhỏ hơn 0,5m chiếm 20,79%.

2.2.2 Kết quả tính toán với cạnh có chiều dài lớn hơn 1000m

Với cách làm tương tự như trên, có kết quả tính toán ứng với trường hợp này cho trong các bảng sau:

Bảng 3. Kết quả tính cạnh cho từng thời điểm

TT	Thời điểm	Các hiệu tọa độ tính toán được			Sai số trung phương trọng số đơn vị
		ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)	
1	23h 35m 25s	-617,6674	342,0663	-783,7133	0,178
2	23h 35m 30s	-617,6936	342,4157	-783,1788	0,255
3	23h 35m 35s	-618,4092	343,5847	-782,5348	0,092
4	23h 35m 40s	-619,2217	344,2262	-782,0809	0,215
...					
Trung bình		-617,8969	343,4234	-782,8444	

Tương tự như trường hợp trên, ở đây cũng xác định hiệu các thành phần tọa độ sử dụng phần mềm GPSurvey 2.35 với dạng lời giải L_1 fixed có $\Delta X = -617,877m$; $\Delta Y = 343,364m$; $\Delta Z = -782,782m$. Và cũng tính được độ lệch các thành phần tọa độ cho từng thời điểm cho trong bảng sau:

Bảng 4. Giá trị độ lệch hiệu các thành phần tọa độ tính được so với phương án tính bằng phần mềm GPSurvey 2.35

TT	Thời điểm	Độ lệch hiệu các thành phần tọa độ		
		$\delta\Delta X$ (m)	$\delta\Delta Y$ (m)	$\delta\Delta Z$ (m)
1	23h 35m 25s	-0,210	1,297	0,931
2	23h 35m 30s	-0,183	0,948	0,397
3	23h 35m 35s	0,532	-0,221	-0,247
4	23h 35m 40s	1,344	-0,862	-0,701
...				
Độ lệch so với giá trị trung bình		-0,0199	0,0594	-0,0624

Tương tự như trường hợp trên, giá trị độ lệch lớn nhất là thời điểm 1h10m00s với $\delta\Delta X = -4,066m$; $\delta\Delta Y = -1,680m$; $\delta\Delta Z = 4,432m$; giá trị độ lệch tổng hợp lớn nhất là 6,245m. Giá trị độ lệch nhỏ nhất vào thời điểm 0h54m10s với $\delta\Delta X = 0,002m$; $\delta\Delta Y = -0,010m$; $\delta\Delta Z = 0,032m$; giá trị độ lệch tổng hợp nhỏ nhất là 0,034m. Kết quả thống kê cho thấy, các thời điểm có giá trị độ lệch tổng hợp nhỏ hơn 2m chiếm 98,32%; các thời điểm có giá trị độ lệch tổng hợp nhỏ hơn 1m chiếm 73,39% và các thời điểm có giá trị độ lệch tổng hợp nhỏ hơn 0,5m chiếm 27,56%.

3. Kết luận và kiến nghị

- Bài báo đã làm rõ hệ thống công thức và quy trình tính cạnh sử dụng các trị đo khoảng cách giả từ tệp số liệu RINEX.

- Từ hệ thống công thức đã có, tiến hành tính toán thực nghiệm cho một số cạnh có độ dài khác nhau. Từ các kết quả tính toán có thể thấy hệ thống công thức tính cạnh sử dụng các trị đo khoảng cách giả theo mã là hoàn toàn rõ ràng và có thể ứng dụng để tính toán được.

- Kết quả tính cạnh sử dụng các trị đo khoảng cách giả theo mã với hệ thống công thức đã trình bày có độ lệch xấp xỉ 1dm (đối với lời giải fixed) khi chạy bằng phần mềm GPSurvey 2.35.

- Cần tìm cách loại trừ hoặc hạn chế đến mức tối thiểu ảnh hưởng của các nguồn sai số đối với các trị đo để nâng cao độ chính xác của bài toán định vị.

- Giá trị hiệu tọa độ xác định được khi sử dụng các trị đo khoảng cách giả theo mã ở đây

có thể dùng trong xác định nghiệm nguyên (họ nghiệm số nguyên đa trị) trong giải phương trình định vị tương đối pha sóng tải.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Đỗ Ngọc Đường, Đặng Nam Chinh, 2009. *Bài giảng Công nghệ GPS* (dành cho bậc Đại học), Trường Đại học Mỏ - Địa chất.
[2]. Đặng Nam Chinh, Nguyễn Gia Trọng, 2006. So sánh quỹ đạo vệ tinh GPS xác định theo lịch quảng bá và lịch chính xác. Báo cáo Hội nghị khoa học lần thứ 17, Đại học Mỏ - Địa chất.

[3]. Đặng Nam Chinh, Nguyễn Gia Trọng, 2010. Ảnh hưởng khúc xạ tầng đối lưu đến kết quả định vị bằng khoảng cách giả, Tạp chí Kỹ thuật Mỏ - Địa chất, Hà Nội.

[4]. Nguyễn Duy Đô, Nguyễn Gia Trọng, 2007. Xác định tọa độ tuyệt đối điểm định vị theo trị đo khoảng cách giả từ tệp RINEX, Tạp chí Địa chính, Hà Nội.

[5]. Nguyễn Gia Trọng, Nguyễn Thị Mai Anh, 2008. Nội suy tọa độ vệ tinh từ lịch vệ tinh chính xác sử dụng hàm Lagrange với số bậc khác nhau, Báo cáo Hội nghị khoa học lần thứ 18, Đại học Mỏ - Địa chất.

SUMMARY

The algorithm processing baseline using code measurements

Nguyen Gia Trong, Vu Van Tri, Pham Ngoc Quang

University of Mining and Geology

Each GPS receiver has the ability provide several different types of measurement as pseudo-range, phase observation ... Some of problem positioned in GPS technology (or GNSS) name is often taken as the name of correspondent observation are used to solve the problem. The paper shows the system of formula and the results of GPS baseline based on C/A pseudo-range which measured by Hiper Ga, Gb receiver has been converted to RINEX data file. Calculation results are compared with the baseline processing using GPSurvey 2.35 softwawe which is recognized in Vietnam. The result of comparison shows that the diviation of coordinates are a few cm from fixed solution processed by GPSurvey 2.35 softwawe. Through this, the authors propose about research on processing baseline using phase observation to contribute technology in Vietnam.

HỆ THỐNG DẪN ĐƯỜNG QUÁN TÍNH...

(tiếp theo trang 84)

SUMMARY

Inertial Navigation System during control orbits of flying body

Hoang Minh Ngoc, Defense Mapping Agency

This paper introduces the principle inertial navigation positioning in orbit control of flying body and analyze the advantages and disadvantages of the inertial navigation system; based on that comment here positioning technology is a guide for effective use in defense and security. However, in order to improve the navigation precision need to integrate with satellite positioning system in order to overcome the disadvantages of each system.