

MÔ HÌNH CẢM BIẾN QUANG - ĐIỆN ĐỘNG ĐƠN GIẢN DỰA VÀO PHÉP CHIẾU SONG SONG ĐỂ NẮN TRỰC ẢNH VỆ TINH CÓ ĐỘ PHÂN GIẢI KHÔNG GIAN CAO VÀ SIÊU CAO

LUONG CHÍNH KẾ

Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam

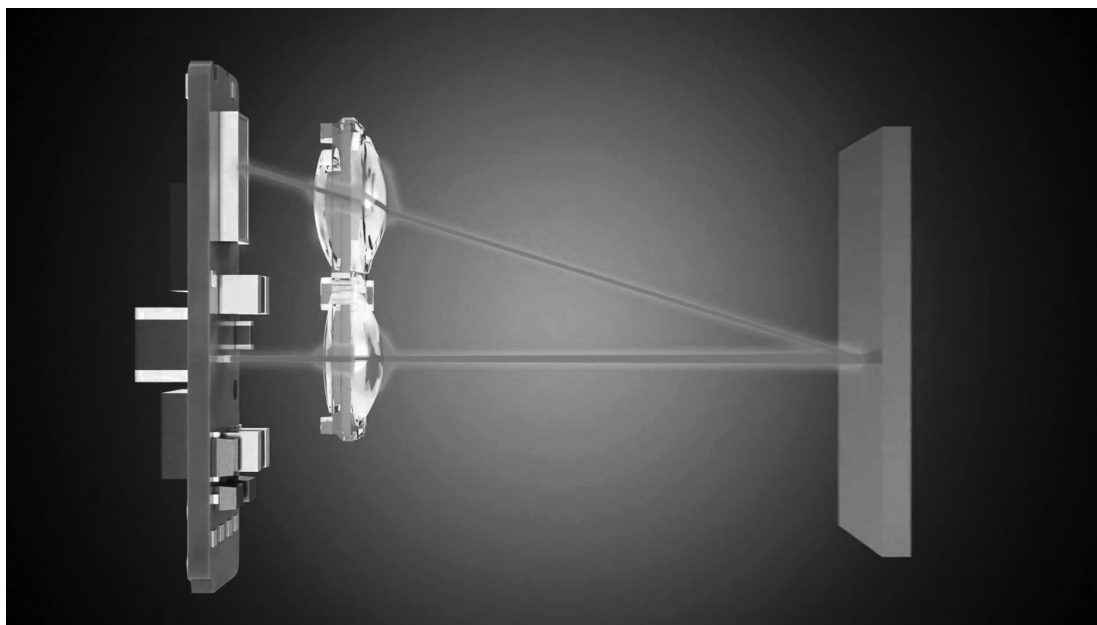
TÓM TẮT

Từng bước tiến tới làm chủ công nghệ xử lý ảnh vệ tinh, tự tạo ra những phần mềm có ứng dụng thực tiễn cao, giá thành hạ, đảm bảo yêu cầu về độ chính xác, không phụ thuộc vào những phần mềm thương mại, chúng ta cần nghiên cứu tìm hiểu và tái khôi phục mô hình hình học ảnh giống như thời điểm thu nhận ảnh.

Hầu hết đầu thu ảnh vệ tinh thụ động thế hệ mới hiện nay là đầu thu quang - điện quét theo đường, làm việc theo nguyên lý chổi đẩy, có độ phân giải không gian cao và siêu cao, ví dụ như đầu thu ảnh IKONOS, QuickBird, SPOT, GeoEye, WorldView. Một cảnh ảnh được ghép từ nhiều đường quét. Mỗi đường quét có tâm chiếu riêng vào thời điểm t . Một pixel ảnh liên quan tới hàng (trục x), cột (trục y), tâm chiếu của hàng (trục z có độ dài tiêu cự f) và thời gian quét ảnh (t). Hay nói cách khác, ảnh quét mà chúng ta thu nhận được là "ảnh động" trong không gian 4 chiều (x, y, z, t). Một đặc điểm quan trọng thứ hai của ảnh độ phân giải cao, siêu cao là góc FOV(Field Of View) nhỏ chỉ một vài độ. Dựa vào những đặc tính trên, chúng ta sẽ xây dựng mô hình ảnh động cho ảnh vệ tinh có độ phân giải không gian cao và siêu cao, trong đó có đầu thu ảnh trên vệ tinh VnRedsat-1 của Việt Nam.

Bài báo đề cập tới việc xây dựng thuật toán cho mô hình ảnh động, nhằm tái khôi phục hình học của ảnh giống như khi đầu thu quang-điện quét ảnh THEO NGUYÊN LÝ CHỔI ĐẨY, cho mục đích nắn trực ảnh. Kết quả thực nghiệm nắn trực ảnh IKONOS và QuickBird của Mỹ trên phần mềm mà chúng tôi xây dựng từ mô hình "ảnh động" cho độ chính xác tương đương với độ chính xác nắn trực ảnh trên phần mềm thương mại PCI của Canada và của trường Đại học Hanover, Đức.

Từ khóa: Nắn ảnh vệ tinh, ảnh vệ tinh độ phân giải cao, mô hình ảnh động



1. Đặt vấn đề

Những năm gần đây, ảnh vệ tinh đầu thu quang-điện có độ phân giải cao như IKONOS, QuickBird, OrbView (Mỹ), EROS (Israel), ALOS (Nhật), IRS (Ấn Độ), SPOT (Pháp) v.v. đang là đề tài nghiên cứu ứng dụng sôi động. Xu thế sử dụng ảnh vệ tinh có độ phân giải cao ngày càng cạnh tranh mạnh mẽ với chụp ảnh (số) hàng không. Ảnh vệ tinh độ phân giải cao trên phạm vi rộng đang có xu thế thay thế ảnh hàng không để thành lập bản đồ trực ảnh ở tỷ lệ 1/5000 và lớn hơn, cũng như bản đồ địa hình tỷ lệ 1/10.000 và lớn hơn. Đây là những dữ liệu chính trong hệ thống thông tin địa lý GIS. Vai trò trong đời sống kinh tế của ảnh vệ tinh độ phân giải cao, siêu cao rất to lớn như phục vụ quy hoạch sử dụng đất đai, quy hoạch kinh tế các dải ven biển, hải đảo, thăm dò tài nguyên, giám sát phòng ngừa nạn cháy rừng, lũ lụt, hiện tượng sóng thần, mô phỏng 3D thành phố, v.v. Bước vào thế kỷ 21, cuộc chạy đua trong lĩnh vực viễn thám vệ tinh không chỉ trong quân sự mà ngay trong cả dân sự. Mỹ đang xúc tiến các chương trình vệ tinh dân sự có ảnh Pan với độ phân giải không gian GSD (Ground Sampling Distance) dưới 0,5m, như WoldView-3, WoldView-4 (GSD = 0,25m). Rõ ràng, vai trò to lớn của ảnh vệ tinh trong đời sống kinh tế, xã hội đã được khẳng định.

Do đặc thù kỹ thuật quét ảnh, mô hình hình học ảnh vệ tinh độ phân giải cao HRS (High Resolution Satellite Image) cần được nghiên cứu và khảo sát. Mối quan hệ toán học giữa ảnh HRS và địa hình giữ một vai trò quan trọng trong quá trình xử lý hình học ảnh. Mô hình toán học ảnh HRS có thể chia làm hai nhóm là *mô hình vật lý* hay *mô hình tham số* (còn gọi là *mô hình chặt chẽ*) và nhóm *mô hình đa thức* hay *mô hình phi tham số*. Trong nhiều tài liệu, nhóm mô hình phi tham số còn có tên gọi là *mô hình khái quát đặc trưng* (generalized models). Nhóm mô hình vật lý ảnh HRS biểu diễn trực tiếp mối quan hệ toán học giữa ảnh và thực địa thông qua các tham số quỹ đạo chuyển động của vệ tinh theo định luật Kepler. Nhóm mô hình phi tham số mô tả gián tiếp mối quan hệ toán học giữa ảnh và thực địa thông qua các hệ số của đa thức. Trong một số các hệ thống đo ảnh thương mại như ERDAS (Mỹ), PCI (Canada), Z/I, v.v., có thể cài các phần mềm xử lý ảnh vệ tinh cho hai mô hình hình học ảnh theo yêu cầu đặt hàng của người sử dụng.

Ảnh vệ tinh VNRedSat-1 của Việt Nam là ảnh vệ tinh quang - điện, có độ phân giải không gian cao. Để tiến tới làm chủ công nghệ viễn thám trong tương lai, chúng ta từng bước xây dựng những phần mềm chuyên dụng, phục vụ kịp thời cho nhu cầu sử dụng, cũng như giảm giá thành chi phí sản xuất. Để tiến tới mục đích đó, công tác nghiên cứu, nắm bắt những vấn đề cơ bản của công nghệ viễn thám là một vấn đề hết sức cần thiết, góp phần nâng cao vị thế của công nghệ viễn thám trong nền kinh tế đất nước và trong khu vực.

Bài báo giới thiệu phương pháp xây dựng "**mô hình ảnh động**" sử dụng để nắn chỉnh hình học ảnh HRS phục vụ thành lập bản đồ trực ảnh. Tiếp theo là phần thực nghiệm và các kết quả, đánh giá độ chính xác nắn chỉnh hình học ảnh IKONOS và QuickBird dựa vào mô hình ảnh động và so sánh với một số hệ thống ứng dụng khác như PCI (Canada), BLUH (Đức).

2. Mô hình hình học ảnh động của đầu thu quang-điện

Điểm xuất phát để xây dựng thuật toán mô hình nắn chỉnh hình học là mô hình vật lý Kepler, biểu diễn mối quan hệ toán học giữa vectơ điểm vật và điểm ảnh vệ tinh, trong đó các tham số Kepler là hàm số của biến thời gian t .

2.1. Dạng tổng quát mô hình hình học Kepler của ảnh đầu thu quang-điện

Hình 1 biểu diễn tọa độ điểm Q trên thực địa trong hệ tọa độ trắc địa cục bộ $O'X_L Y_L Z_L$ và tương ứng trên ảnh là điểm q trong hệ tọa độ ảnh $oxyz$ tại thời điểm t của vệ tinh S . Vết của quỹ đạo vệ tinh trên bề mặt quả đất là cung KPO' , bán kính của quả đất $R=OO'$, khoảng cách từ tâm O của quả đất tới vệ tinh S là $r=R+O'S$, ba tham số góc của quỹ đạo là i , Ω và \mathcal{I} .

Trên Hình 1 ký hiệu các điểm: γ - điểm xuân phân, i - góc nghiêng quỹ đạo, λ_0 - kinh tuyến gốc Greenwich, Ω - góc thăng thiên, K - điểm thăng thiên, w - số gia của điểm thăng thiên, P - điểm cận, \mathcal{I} - dị thường thực (vận tốc góc vệ tinh), Λ - kinh độ địa tâm, Φ - vĩ độ địa tâm. Có 4 hệ tọa độ cần lưu ý trên Hình 1 là: $oxyz$ - hệ tọa độ ảnh, $SX_S Y_S Z_S$ - hệ tọa độ vệ tinh, $O'X_L Y_L Z_L$ - hệ tọa độ trắc địa cục bộ, $OXYZ$ - hệ tọa độ địa tâm (WGS84).

Ảnh vệ tinh có độ phân giải cao (HRS) là ảnh nhận được với nguyên lý quét theo đường trên thanh cảm biến CCD (chíp CCD). Mỗi đường quét ứng với mỗi thời điểm t của vệ tinh S trên quỹ đạo (hay còn gọi là ảnh động). Trục quang của thiết bị quét (sensor) có thể nghiêng so với phương dây dọi, dọc theo quỹ đạo bay (ảnh IKONOS, QuickBird, OrbView v.v.), hoặc nghiêng về hai phía theo hướng vuông góc với quỹ đạo bay (ảnh SPOT1, 2, 4 hay ảnh IRS v.v.). Sau khi hiệu chỉnh tọa độ ảnh quét do ảnh hưởng các sai số các nguyên tố định hướng trong của thiết bị quét và góc nghiêng trục quang, chúng ta có tọa độ ảnh x_c, y_c, z_c của điểm q (Hình 1) trong hệ tọa độ ảnh tại thời điểm t . Tọa độ vệ tinh S cũng tại thời điểm t trong hệ thống tọa độ địa tâm sẽ là X_S, Y_S, Z_S ; tọa độ điểm Q trong hệ địa tâm ký hiệu là X, Y, Z . Theo điều kiện đồng phương, chúng ta có mối quan hệ phi tuyến cho *mỗi đường quét*:

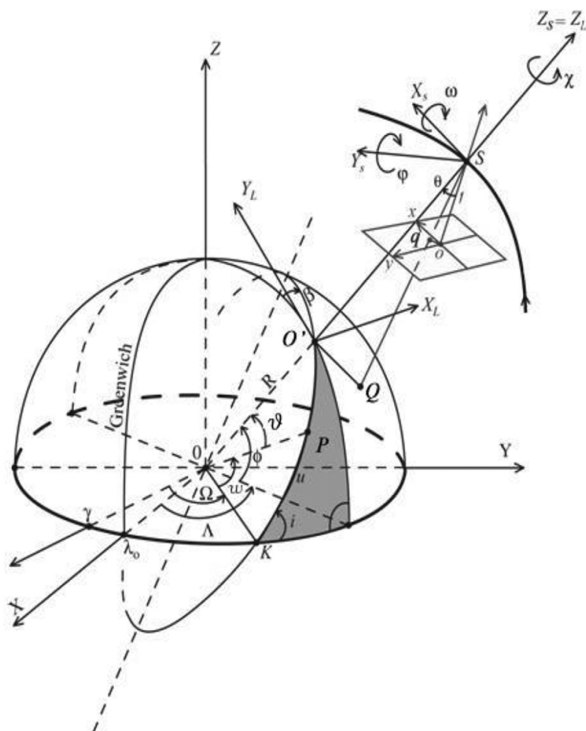
$$\begin{aligned}
 x_{ct} &= z_{ct} \frac{a_1(t)[X - X_s(t)] + a_2(t)[Y - Y_s(t)] + a_3(t)[Z - Z_s(t)]}{a_7(t)[X - X_s(t)] + a_8(t)[Y - Y_s(t)] + a_9(t)[Z - Z_s(t)]} \\
 y_{ct} &= z_{ct} \frac{a_4(t)[X - X_s(t)] + a_5(t)[Y - Y_s(t)] + a_6(t)[Z - Z_s(t)]}{a_7(t)[X - X_s(t)] + a_8(t)[Y - Y_s(t)] + a_9(t)[Z - Z_s(t)]}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

trong đó, $a_i(t)$ với $i = 1, 2, 3, \dots, 9$ là các phần tử ma trận quay các góc nghiêng xoay $\omega, \varphi, \chi, i, \Omega, u=w + \mathcal{G}$ của đường quét tại thời điểm t .

Tương tự $X_s(t), Y_s(t), Z_s(t)$ là tâm chiếu hay vị trí vệ tinh trên quỹ đạo xác định bởi các tham số $i, \Omega, e, a, u=w + \mathcal{G}$ tại thời điểm t . Vị trí vệ tinh trên quỹ đạo tại thời điểm t còn có thể xác định bằng tọa độ cực: góc u và khoảng cách $r=R+O'S$.

Phương trình (1) sẽ có dạng tổng quát:

$$\begin{aligned}
 F_{xt}(x_{ct}, z_{ct}, X, Y, Z, \omega(t), \varphi(t), \chi(t), i(t), \Omega(t), u(t), r(t)) &= 0 \\
 F_{yt}(y_{ct}, z_{ct}, X, Y, Z, \omega(t), \varphi(t), \chi(t), i(t), \Omega(t), u(t), r(t)) &= 0
 \end{aligned}
 \tag{2}$$



Hình 1: Quan hệ hình học điểm thực địa và điểm ảnh vệ tinh tại thời điểm t

Theo (2) mỗi đường quét cần xác định 7 tham số ẩn số. Một cảnh của ảnh IKONOS, QuickBird, OrbView có số đường tương ứng là 3454, 8656, 2000. Như vậy số tham số ẩn số sẽ rất lớn cho mỗi cảnh ảnh. Trong thực tế, cách giải gián tiếp là giải pháp nhằm giảm các tham số ẩn số mà vẫn đảm bảo yêu cầu độ chính xác được áp dụng.

Trên đây là mô hình tổng quát Kepler cho ảnh vệ tinh độ phân giải cao với nguyên lý quét ảnh theo đường của đầu thu quang-điện. Để mở rộng ứng dụng trong thực tế, mô hình Kepler cần được cải chỉnh cho đơn giản, phù hợp.

2.2. Đặc thù mô hình ảnh động

Mô hình Kepler là mô hình lý thuyết chặt chẽ cho ảnh gốc của mỗi đường quét. Việc áp dụng mô hình lý thuyết Kepler trong thực tế sẽ gặp hai trở ngại lớn:

1. Do vấn đề bảo mật, nhà phân phối ảnh độ phân giải cao và siêu cao thường cung cấp cho chúng ta ảnh đã được biến đổi sơ bộ (geo-image). Cụ thể là:
 - o Ảnh đã được chỉnh lý radio (mật độ quang học cho pixel ảnh),
 - o Làm mẫu lại độ lớn pixel thực địa,
 - o Chiếu về mặt phẳng lựa chọn (reference surface) so với mặt phẳng ellipsoid, nhưng chưa được cải chỉnh do chênh cao địa hình. Nhà phân phối ảnh thậm chí không cho biết về quan hệ toán học giữa hai mặt phẳng này.
2. Giữa các tham số Kepler có mối tương quan rất lớn, thậm chí khi giải các tham số Kepler trong bài toán bình sai sẽ không hội tụ [5b; 5c; 5d]. Nguyên nhân đó là:

- o Bản thân mô hình Kepler chứa nhiều tham số (tham số độ dài và tham số góc). Các tham số này đều liên quan tới ba hướng trục X, Y, Z. Hay nói cách khác, giữa các tham số tiềm ẩn mối quan hệ phụ thuộc rất lớn (hay tương quan);
- o Với ảnh độ phân giải cao, góc nhìn trường ảnh của mỗi đường quét rất hẹp. Ví dụ ảnh IKONOS, QuickBird, Spot-5 có góc nhìn nhỏ tương ứng là $0,93^\circ$; $2,12^\circ$ và $4,13^\circ$. Do vậy, tâm chiếu xác định bởi các tia chiếu cắt nhau sẽ có độ chính xác rất thấp hay gần như vô định.

Để khắc phục hai nhược điểm nêu ở trên, mô hình Kepler cần được cải chỉnh sao cho phù hợp với điều kiện thực tế của các tấm ảnh mà các nhà phân phối ảnh cung cấp và không chế hay giảm tối đa tính phụ thuộc giữa các tham số. Qua nghiên cứu các tài liệu, có ba giải pháp sau:

a. Cần xây dựng một công cụ toán học để xử lý bài toán bình sai với các tham số phụ thuộc. Dưới góc nhìn lý thuyết, giải pháp này rất phức tạp; dưới góc nhìn ứng dụng, giải pháp này rất rắc rối trong khi tính toán bình sai [5e].

b. Có thể đưa vào bài toán bình sai các phương trình điều kiện ràng buộc về quỹ đạo vệ tinh, sẽ làm giảm tính phụ thuộc giữa các tham số. Do đó bài toán bình sai xác định các tham số Kepler có thể hội tụ. Trong thực tế, các điều kiện về quỹ đạo khó có thể được tiếp cận, bởi vì đó là các số liệu được bảo mật. Các ảnh vệ tinh độ phân giải cao là các ảnh bán quân sự, bán dân sự.

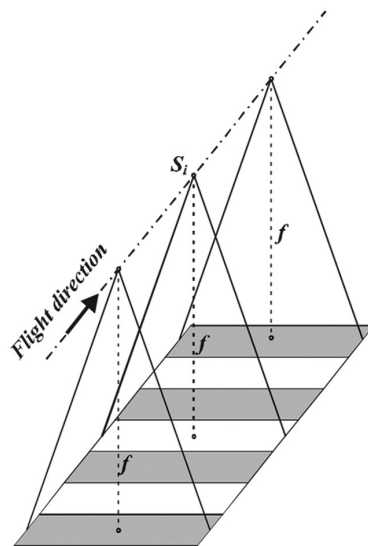
c. Giảm tối đa số lượng các tham số Kepler, tức là giảm tối đa mức độ tương quan *phụ thuộc* giữa các tham số nhưng vẫn đảm bảo tính chặt chẽ của giải pháp [6; 8]; đồng thời đảm bảo về nhu cầu của độ chính xác khi nắn chỉnh hình học ảnh.

Mô hình toán học cho *ảnh động* được xây dựng theo giải pháp thứ ba. Giải pháp này dựa vào:

- o Đặc thù ảnh quét theo đường là có góc nhìn trường ảnh của mỗi đường quét rất hẹp, do đó tâm chiếu có thể coi như ở vô định và phép chiếu xuyên tâm được biến đổi về phép chiếu song song. Mối quan hệ toán học giữa tọa độ ảnh từ phép chiếu xuyên tâm sang phép chiếu song song được thiết lập [8].

- o Chuyển động của vệ tinh trong khoảng không vũ trụ là chuyển động đều. Nói cách khác, ở các khoảng thời gian bằng nhau, các đường quét có độ rộng bằng nhau (do làm mẫu lại độ lớn pixel thực địa) và song song với nhau (Hình 2) [7].

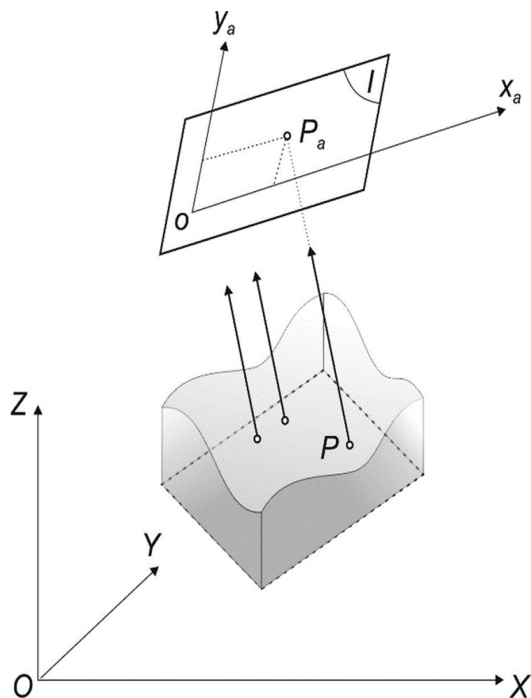
Bằng giải pháp nêu ở trên, mô hình toán học *ảnh động* được xây dựng từ mô hình lý thuyết Kepler với ứng dụng điều kiện đồng phương chặt chẽ giữa véc tơ ảnh và véc tơ vật cho mỗi đường quét tuân theo phép chiếu xuyên tâm, được tính chuyển về phép chiếu song song. Trong mô hình này, số tham số cần tính toán bình sai giảm xuống tối thiểu, chỉ còn 2 tham số là thông số độ dài tiêu cự của đầu thu f và góc nghiêng chính α của cảnh ảnh so với mặt phẳng nằm ngang; số tham số còn lại được chuyển hóa thành các hệ số trong phép biến đổi từ phép chiếu xuyên tâm sang phép chiếu song song.



Hình 2: Các đường quét trong chuyển động đều của vệ tinh

2.3. Mô hình ảnh động đơn giản dựa vào phép chiếu song song

Cho điểm vật $P(X, Y, Z)$ trong hệ quy chiếu $OXYZ$ được chiếu về mặt phẳng ảnh I - hay còn gọi là "ảnh affine", với việc sử dụng các phép biến đổi affine. Điểm ảnh Pa trên ảnh affine được xác định bằng phép chiếu song song có tọa độ (x_a, y_a) trong hệ thống tọa độ $(ox_a y_a)$. Trong phép chiếu song song với hướng chiếu từ các đối tượng về mặt phẳng ảnh I phải song song với nhau và vuông góc với mặt phẳng ảnh (Hình3).



Hình 3. Nguyên lý của phép chiếu song song

Mối quan hệ giữa điểm vật P và điểm ảnh của nó Pa trên mặt phẳng ảnh I được viết dưới dạng phi tuyến tổng quát như sau (Morgan et al, 2004; Ono et al, 1996):

$$\begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ 0 \end{bmatrix} = s\lambda R^T \begin{bmatrix} L \\ M \\ N \end{bmatrix} + sR^T \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

với $L; M; N = \sqrt{1 - L^2 - M^2}$ - thành phần của vector đơn vị phép chiếu;

$x_a, y_a, \Delta x, \Delta y$ - tọa độ của điểm ảnh và độ lệch tương ứng;

s - hệ số tỷ lệ;

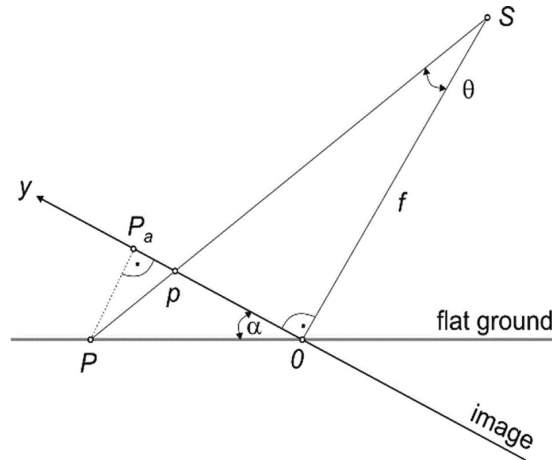
λ - khoảng cách giữa điểm vật và điểm ảnh;

R - ma trận xoay, thực hiện biến đổi điểm vật thành điểm ảnh;

X, Y, Z - tọa độ của điểm vật.

Trong thực tế, đường CCD đặt trên mặt phẳng tiêu cự của đầu thu quang-điện là đường quét ảnh như các vệ tinh WorldView, IKONOS, QuickBird, SPOT, IRS, v.v. thực hiện theo nguyên lý của phép chiếu xuyên tâm. Các đầu thu quang-điện quét ảnh theo đường thể hệ mới có góc trường nhìn FOV (Field Of View) rất hẹp. Ví dụ, các đầu thu (sensor) IKONOS, QuickBird và SPOT có FOV tương ứng là 0.93°, 2.12°, 4.13°. Điều này gây ra sự tương quan rất cao giữa các tham số định hướng khi sử dụng phép chiếu xuyên tâm. Vì vậy, khi tính các tham số ẩn số của phương trình (2) có thể không hội tụ. Một trong những cách để khắc phục vấn đề này là sử dụng lý thuyết phép chiếu song song thay cho phép chiếu xuyên tâm, bằng cách chuyển đổi ảnh theo nguyên lý phép chiếu xuyên tâm về ảnh affine.

Hình 4 cho thấy góc α là góc hợp bởi giữa bề mặt địa hình bằng phẳng và mặt phẳng đường ảnh quét theo nguyên lý phép chiếu xuyên tâm, điểm p biểu thị điểm ảnh thực, P là điểm thực địa và Pa là điểm ảnh affine. Mối quan hệ giữa điểm ảnh p(x,y) theo nguyên lý phép chiếu xuyên tâm và điểm ảnh affine Pa(xa,ya) tương ứng, với giả thiết các nguyên tố định hướng trong bằng 0 (Okamoto et al., 1999). Lưu ý là tia PPa song song với tia OS.



Hình 4. Quan hệ hình học giữa điểm ảnh p trong phép chiếu xuyên tâm và điểm Pa trong phép chiếu song song

Các nguyên tố định hướng ngoài (độ dài và góc) của bất kỳ đường quét i tại thời điểm t đượcký hiệu là $X_{Si}(t)$, $Y_{Si}(t)$, $Z_{Si}(t)$, và $\phi_i(t)$, $\omega_i(t)$, $\chi_i(t)$ tương ứng. Sử dụng điều kiện đồng phương cho mối quan hệ giữa tọa độ của điểm bất kỳ thuộc từng đường quét $(0, y-f)$ và điểm vật tương ứng (X, Y, Z) đượcmô tả trong phép chiếu xuyên tâm như sau:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ y \\ -f \end{bmatrix} = \lambda [\mathbf{R}(t)]^T \begin{bmatrix} X - X_S(t) \\ Y - Y_S(t) \\ Z - Z_S(t) \end{bmatrix} \tag{4}$$

với

$$[\mathbf{R}(t)]^T = \begin{bmatrix} a_{11}(t) & a_{12}(t) & a_{13}(t) \\ a_{21}(t) & a_{22}(t) & a_{23}(t) \\ a_{31}(t) & a_{32}(t) & a_{33}(t) \end{bmatrix}$$

và $a_{jk}(t) = F[(\phi_i(t), \omega_i(t), \chi_i(t))]$; $(j, k = 1, 2, 3)$ là những nguyên tố phụ thuộc thời gian t của ma trận quay \mathbf{R} ; trong đó, λ là tham số tỷ lệ, f là tiêu cự của hệ thống quang học đầu thu và $X_S(t)$, $Y_S(t)$, $Z_S(t)$ là tọa độ của tâm chiếu của đường ảnh quét (Hình 2).

Nếu điểm thực địa được chiếu lên mặt phẳng ảnh bằng phép chiếu song song, độ dài tiêu cự f so với độ cao quỹ đạo vệ tinh là rất nhỏ cho nên có thể coi tâm chiếu của đường quét đặt ở "vô cùng", và do đó, phương trình thứ ba của (4) không còn ý nghĩa [7]. Hai phương trình còn lại của (4) có thể được viết dưới dạng:

$$\begin{aligned} 0 &= a_{11}(t)[X - X_S(t)] + a_{12}(t)[Y - Y_S(t)] + a_{13}(t)[Z - Z_S(t)] \\ y_a &= a_{21}(t)[X - X_S(t)] + a_{22}(t)[Y - Y_S(t)] + a_{23}(t)[Z - Z_S(t)] \end{aligned} \tag{5}$$

Giả sử tọa độ của tâm chiếu cho bất kỳ đường quét i tại thời điểm t là tuyến tính và được định nghĩa (Hình2):

$$\begin{aligned} X_{Si}(t) &= X'_0 + \Delta X' \cdot t \equiv X_0 + \Delta X \cdot i \\ Y_{Si}(t) &= Y'_0 + \Delta Y' \cdot t \equiv Y_0 + \Delta Y \cdot i \\ Z_{Si}(t) &= Z'_0 + \Delta Z' \cdot t \equiv Z_0 + \Delta Z \cdot i \end{aligned} \tag{6}$$

trong đó, $X'_0, Y'_0, Z'_0; \Delta X', \Delta Y', \Delta Z'$ là các hệ số tuyến tính từ tệp siêu dữ liệu được ghi lại sau mỗi khoảng khắc t quét đường ảnh i ; X_0, Y_0, Z_0 và $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ là giá trị hằng số được xác định từ các đường quét i .

Phương trình thứ nhất của (5) có thể được viết:

$$i = \frac{a_{11}(t)[X - X_0] + a_{12}(t)[Y - Y_0] + a_{13}(t)[Z - Z_0]}{a_{11}(t)\Delta X + a_{12}(t)\Delta Y + a_{13}(t)\Delta Z} \quad (7)$$

Số đường i được tính dọc theo hướng bay và có thể được thay thế bằng tọa độ x . Phương trình (7) sẽ tương đương với phương trình sau:

$$x_a = A_1(t)X + A_2(t)Y + A_3(t)Z + A_4(t) \quad (8)$$

Tương tự, phương trình thứ hai của (5) được viết:

$$y_a = B_1(t)X + B_2(t)Y + B_3(t)Z + B_4(t) \quad (9)$$

Hai phương trình (8) và (9) biểu diễn mô hình affine cho ảnh động trong phép chiếu song song ở dạng ẩn. Giữa tọa độ của điểm $P(x_a, y_a)$ theo phép chiếu song song và điểm $p(x, y)$ trên ảnh theo phép chiếu xuyên tâm được thể hiện trên Hình 4 và được chứng minh theo *Onoetal, 1996*.

Các hệ số $A_j(t), B_j(t), j = (1, 2, 3, 4)$ gọi là hệ số biến thời gian hay hệ số “động” năng.

Giả sử hệ số động năng $A_j(t), B_j(t)$ trong (8) và (9) là tuyến tính theo thời gian thay số đường quét i , tương đương với tọa độ x , nghĩa là:

$$\begin{aligned} A_j(t) &= A'_{0j} + A'_{1j} t \equiv A''_{0j} + A''_{1j} i = A_{0j} + A_{1j} x \\ B_j(t) &= B'_{0j} + B'_{1j} t \equiv B''_{0j} + B''_{1j} i = B_{0j} + B_{1j} x \quad \text{cho } (j = 1, 2, 3, 4) \end{aligned} \quad (10)$$

với $A'_{kj}, B'_{kj}; A''_{kj}, B''_{kj}, (k = 0, 1)$ là các hệ số.

Thế (10) vào (8), (9) và sau khi thực hiện một số phép tính số học, mô hình ảnh động đơn giản dựa vào phép chiếu song song có dạng tường:

$$x_a = \frac{T_{01}}{1 - T_{11}} \quad (11)$$

$$y_a = \frac{T_{01}}{1 - T_{11}} T_{12} - \frac{T_{02}}{1 - T_{11}} T_{11} + \frac{T_{02}}{1 - T_{11}}$$

trong đó

$$T_{01} = A_{01}X + A_{02}Y + A_{03}Z + A_{04}$$

$$T_{02} = B_{01}X + B_{02}Y + B_{03}Z + B_{04}$$

$$T_{11} = A_{11}X + A_{12}Y + A_{13}Z + A_{14}$$

$$T_{12} = B_{11}X + B_{12}Y + B_{13}Z + B_{14}$$

Mô hình thuật toán “ảnh động” đề xuất xây dựng trên đây được chúng tôi lập trình theo ngôn ngữ JAVA. Để chứng minh mô hình ảnh động đáp ứng về độ chính xác, phần thực nghiệm dưới đây sử dụng ảnh IKONOS và QuickBird của hai khu vực địa hình “khu vực 1” (bằng phẳng) và “khu vực 2” (đồi núi) sẽ làm sáng tỏ điều đó. Đồng thời, chúng tôi tiến hành so sánh độ chính xác nắn chỉnh hình học theo mô hình kiến nghị trên đây với độ chính xác nắn chỉnh hình học trên hệ thống thương mại PCI của Canada và hệ thống BLUH của Trường ĐH Hannover (CHLB Đức).

3. Thực nghiệm

3.1. Giới thiệu tư liệu ảnh

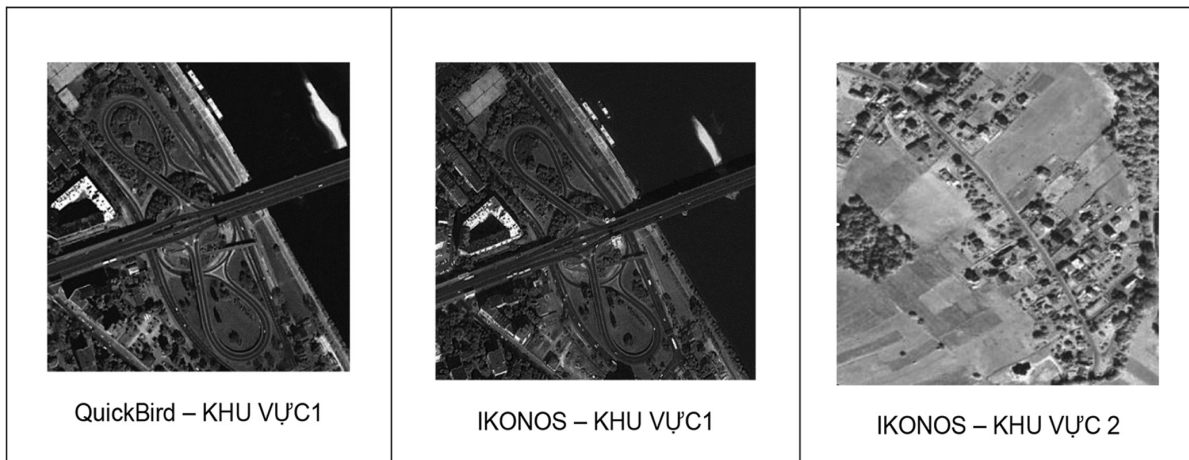
Hai khu vực thực nghiệm “1” và “2” thuộc địa hình bằng phẳng và đồi núi. Khu thực nghiệm “1” có độ chênh cao không quá 80m, là khu vực thành phố. Khu thực nghiệm “2” có độ chênh cao lớn, có nơi lên tới 600m, là khu vực đồi núi. Cho cả hai khu vực thực nghiệm, chúng tôi sử dụng hai loại ảnh vệ tinh IKONOS và QuickBird với các tham số ảnh ghi trong Bảng 1. Ba góc ảnh của ba cảnh thuộc hai khu vực thực nghiệm được giới thiệu trên Hình 5. Các phương án nắn chỉnh hình học ảnh dựa vào số lượng điểm khống chế ảnh GCP (Ground Control Points) lần lượt là 5; 7; 9; 12; 15 điểm. Để đánh giá độ chính xác nắn trực ảnh cho khu vực “1” chúng tôi sử dụng 16 điểm kiểm tra ICP (Independent Check Points); cho khu vực “2” với số lượng điểm ICP không quá 10 điểm.

Bảng 1: Các tham số ảnh vệ tinh thực nghiệm “khu vực 1” và “khu vực 2”

Các thông số	QuickBird - Khu vực 1	IKONOS - Khu vực 1	IKONOS-Khu vực 2
Năm, tháng, quét ảnh	2004-05-11	2003-08-06	2005-06-25
Thời gian quét ảnh	09:38 GMT	10:01 GMT	10:00 GMT
Sản phẩm ảnh	GeoTIFF	Geo Ortho Kit	Geo Ortho Kit
Trục quang nghiêng [°]	12	15	13
Độ phân giải radio	11bit	11bit	11bit
Pixel thực địa [m]	0,6	1.0	0,8
Kích cỡ ảnh [km]	16 x 16	11 x 19	12 x 23
Loại địa hình	Bằng phẳng	Bằng phẳng	Đồi núi cao

3.2. Kết quả nắn trực ảnh theo mô hình ảnh động

Phần mềm mô hình ảnh động đã được xây dựng và thử nghiệm để nắn trực ảnh cho hai loại ảnh IKONOS và QuickBird của hai vùng địa hình giới thiệu ở Mục 3.1. Trong công tác nắn trực ảnh cần sử dụng DEM. Cho cả ba trường hợp, độ cao lấy từ số liệu mô hình số địa hình DTM có kích thước lưới ô vuông 30m x 30m với sai số độ cao $\pm 1,0m$. Kết quả nắn chỉnh hình học ảnh được đánh giá bằng sai số trung phương RMSE (Root Mean Square Error) cho tọa độ X, Y khi sử dụng 5, 7, 9, 12, 15 điểm khống chế GCP như được mô tả trên Hình 6.



Hình 5. Ba góc của ba cảnh ảnh vệ tinh

Từ Hình 6, chúng ta nhận thấy nắn trực ảnh theo mô hình ảnh động (11) có thể đạt độ chính xác tọa độ mặt bằng với số lượng điểm khống chế ảnh sử dụng nắn chỉnh từ 7 điểm:

- ❖ dưới $\pm 1m$ cho địa hình bằng phẳng khi sử dụng ảnh IKONOS,
- ❖ từ $\pm 1,5m$ đến $\pm 2,0m$ cho địa hình đồi núi khi sử dụng ảnh IKONOS;
- ❖ nhỏ hơn $\pm 0,5m$ cho địa hình bằng phẳng khi sử dụng ảnh QuickBird.

3.3. So sánh kết quả nắn trực bằng mô hình ảnh động PW với kết quả nắn ảnh trên hệ thống PCI (Canada) và BLUH (Đức)

Trên cùng ba cảnh ảnh như giới thiệu ở Hình 5 chúng tôi tiến hành đánh giá độ chính xác nắn chỉnh hình học theo mô hình ảnh động PW với hai hệ thống khác. Đó là:

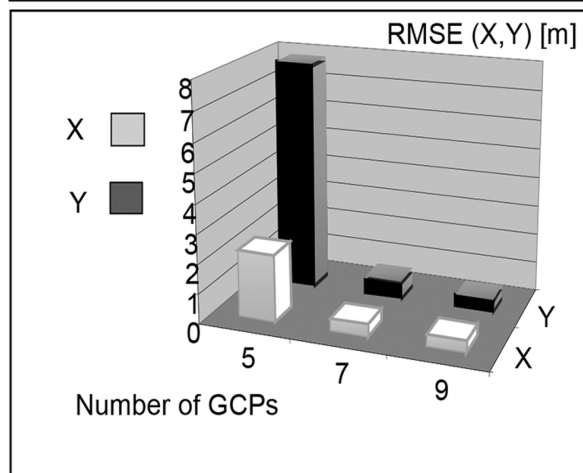
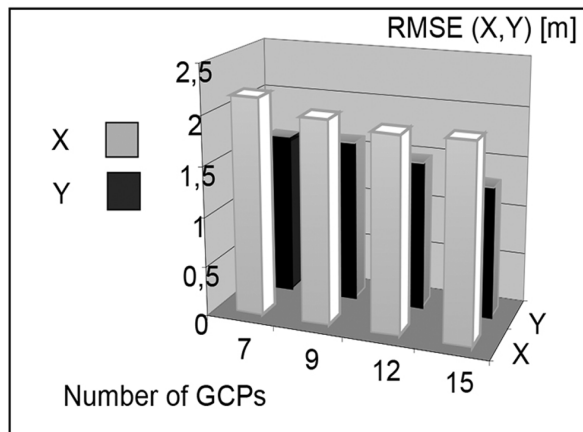
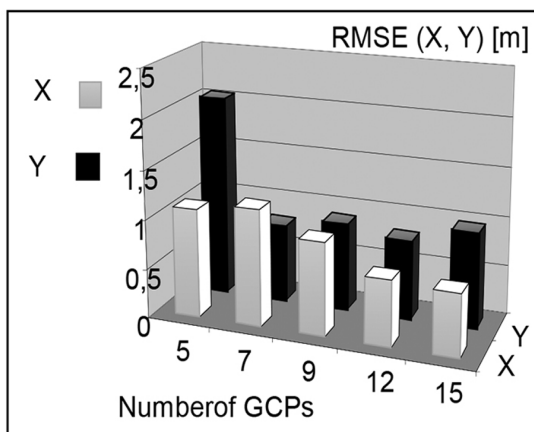
- Hệ thống BLUH của trường Đại học Tổng hợp Kỹ thuật Hannover (Đức) [3];
- Hệ thống thương mại PCI của Canada.

Kết quả đánh giá so sánh độ chính xác dựa trên cơ sở:

- Sử dụng cùng số lượng điểm khống chế ảnh trong quá trình nắn chỉnh;
- Sử dụng cùng số lượng điểm kiểm tra để tính sai số trung phương.

Kết quả so sánh đánh giá độ chính xác ảnh theo mô hình ảnh động PW, sử dụng hệ thống BLUH (Đức) và PCI (Canada) giới thiệu trên Hình 7 [2, 3]. Chúng ta nhận thấy:

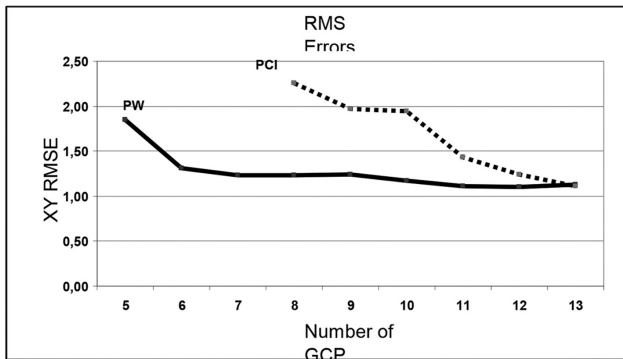
- Xu thế biến thiên sai số trung phương (RMSE) nấn chỉnh hình học theo mô hình ảnh động PW và trên BLUH, PCI tương tự giống nhau và phụ thuộc vào số lượng điểm khống chế ảnh (GCP) sử dụng trong quá trình nấn.
- Thậm chí ở địa hình bằng phẳng với chênh cao không vượt quá 100m đối với ảnh IKONOS, Kết quả của theo mô hình ảnh động PW có độ chính xác cao hơn hệ thống PCI trong khoảng điểm khống chế ảnh (GCP) sử dụng để nấn chỉnh từ 6 đến 12 điểm; có sai số trung phương RMSE xấp xỉ $\pm 1,0m$.
- Ở địa hình đồi núi của ảnh IKONOS, mô hình ảnh động PW có độ chính xác nằm ở khoảng giữa của hai hệ thống BLUH và PCI với độ chênh lệch khoảng $\pm 0,20m$.
- Ở địa hình bằng phẳng của ảnh QuickBird, mô hình ảnh động PW và 2 hệ thống BLUH, PCI có độ chính xác nấn trực ảnh tương đương nằm trong khoảng điểm khống chế ảnh (GCP) sử dụng để nấn chỉnh từ 7 điểm đến 11 điểm. Sai số trung phương RMSE dao động trong khoảng $\pm 0,6m$.



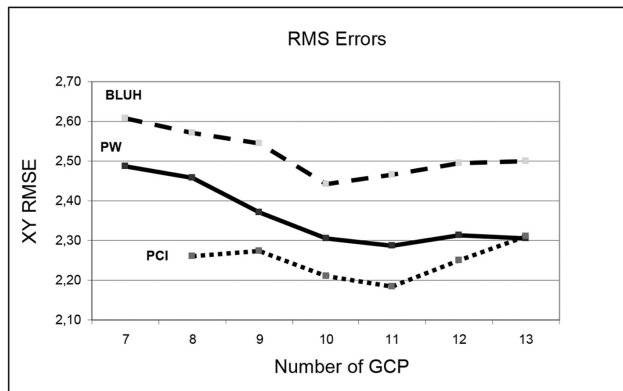
Hình 6. Sai số trung phương (RMSE) tọa độ mặt bằng X, Y của IKONOS - khu vực 1 (trên-trái), IKONOS - khu vực 2 (trên-phải) và QuickBird - khu vực 1 (dưới-phải).

Qua phần thực nghiệm chúng ta có thể rút ra kết luận chung là: Mô hình ảnh động PW được xây dựng có mô hình thuật toán đơn giản, song có độ chính xác tương đương như một số các hệ thống khác đang sử dụng trong thực tiễn.

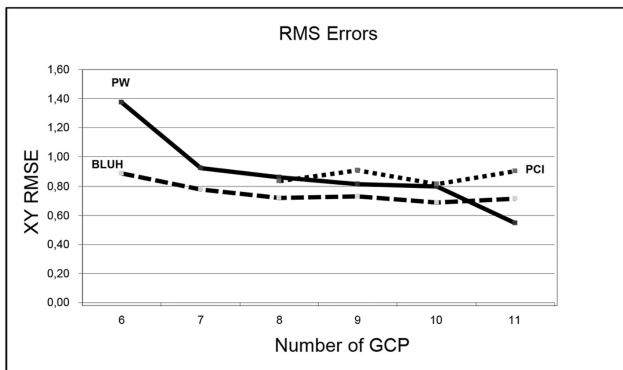
Mô hình ảnh động được xây dựng trên đây có thể áp dụng cho ảnh vệ tinh của Việt Nam VNRedsat-1. Để khẳng định điều đó chúng ta cần tiến hành làm thực nghiệm để đánh giá. Xây dựng hệ thống mô hình ảnh động để nấn chỉnh hình học ảnh, tạo ra khả năng lớn cho các cấp cơ sở mở rộng và chủ động ứng dụng công nghệ viễn thám trong tác nghiệp hàng ngày, nâng cao hiệu suất công việc và đặc biệt giảm giá thành sản phẩm.



IKONOS
khu vực 1 (PW)



IKONOS
khu vực 2 (PW)



QuickBird
Khu vực 1 (PW)

Hình 7. So sánh sai số trung phương (RMS Errors) tọa độ mặt bằng X, Y (trục tung) của mô hình ảnh động (Ký hiệu là PW) với hệ thống BLUH (ĐH TH Hannover, Đức) và hệ thống thương mại PCI (Canada) trên cùng số lượng điểm khống chế ảnh GCP (trục hoành).

4. Kết luận

Bài báo trình bày với 2 nội dung: về lý thuyết và thực nghiệm cho mô hình ảnh động. Để đảm bảo tính chặt chẽ của mô hình hình học ảnh đòi hỏi cần tuân thủ nguyên lý vật lý-quang học của đầu thu cũng như hình học của quá trình tạo ảnh. Mô hình ảnh động phản ánh một cách khách quan sát thực của đầu thu Quang-điện thực hiện quét ảnh trên quỹ đạo vệ tinh theo nguyên lý chổi đẩy. Tính chặt chẽ của mô hình ảnh động được bảo toàn, trong khi đó giảm tối đa những tham số cho mỗi đường quét ảnh dựa trên nguyên lý của phép chiếu song song. Mô hình ảnh động ở dạng tổng quát được thể hiện bằng phương trình [1 1]. Trong thực tế khi xây dựng hệ thống phần mềm nắn chỉnh hình học ảnh, mô hình 11 được biến đổi gọn nhẹ hơn.

Kết quả thực tế trên thực nghiệm cho thấy độ chính xác hệ thống phần mềm nắn chỉnh hình học ảnh theo mô hình ảnh động của chúng tôi tương đương với độ chính xác của hệ thống thương mại PCI của Canada như thể hiện trên Hình 7. Ở khu vực đồng bằng, mô hình ảnh động cho độ chính xác mặt bằng nhỏ hơn 1,0m và 2,5m trên ảnh Quickbird và Ikonos khi sử dụng số lượng khống chế từ 7 đến 11 điểm. Ở khu vực đồi núi cao (trên 500m, địa hình khu vực 2), độ chính xác mặt bằng nằm trong khoảng 2,3m -2,5m khi sử dụng ảnh Ikonos. Trong khi đó, hệ thống thương mại PCI cho độ chính xác 2,2m -2,3m và hệ thống PLUH cho độ chính xác 2,45m -2,60m với số lượng điểm khống chế tối ưu từ 10-12 điểm □

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1] Fraser C.S., Hanley H.B., Yamakawa T., (2002): High-precision geopositioning from IKONOS satellite imagery, Proceedings of ASPRS annual conference, Washington, (CD-ROM).
- [2] Iwanicki M, Luong Chinh.Ke., Wolniewicz W., (2007a): First results of the parametrical model for satellite sensors, Proceeding of ISPRS Hannover Workshop 5 May 2007, (CD).
- [3] Luong Chinh.Ke, Iwanicki M, Wolniewicz W., (2007b): Evaluation of usefulness of strict correction model for IKONOS and QuickBird (in Polish), Przegł#d Geodezyjny 2007.
- [4] Jacobsen K., (2003): Geometric potential of IKONOS and QuickBird images, Photogrammetric Week-03, pp. 101–110.
- [5] Jacobsen K., (2006): Pros and cons of the orientation of very high resolution optical space images, Archives of ISPRS, Band 36-1, WG I/5, Paris (CD).
- [6] Jacobsen K., Passini R., (2003): Accuracy of digital orthophotos from high resolution space imagery, ISPRS Workshop, Hannover (CD).
- [7] Luong Chinh Ke, (2007): Dynamic sensor model of HRS Geo-images using parallel projection theory. Geodesy and Cartography. Vol. 56. No 2, pp.73-82.
- [8] Morgan M., Kim K., Jeong S., Habib A., (2004): Parallel projection modelling for linear array scanner scenes, IAPRS of 20th Congress, Commission I, WG V/5, Istanbul (CD).
- [9] Okamoto A., Ono T., Akamatsu S., (1999): Geometric characteristics of alternative triangulation models for satellite imagery, Proceedings of ASPRS annual conference (CD).
- [10] Ono T., Okamoto A., Hattori S., Hasegawa H., (1996): Fundamental analytic of satellite CCD camera imagery using affine transformation, Archives of ISPRS, Vol. 31, pp. 611-615.

THE SIMPLE DYNAMIC OPTICAL-ELECTRONIC SENSOR MODEL BASED ON PARALLEL PROJECTION FOR ORTHORECTIFICATING ITS IMAGES WITH HIGH AND VERY HIGH SPATIAL RESOLUTION

LUONG CHINH KE

Vietnam Association of Geodesy - Cartography - Remote Sensing

Abstract:

Step by step to mastery of satellite image processing technology, creating the software with high practical application, low cost, ensuring the required accuracy, regardless of the commercial software, we need research to learn and re-construct the image geometry like image acquired in the time on an orbit.

Most passive satellite sensor now of the new generation is Optical-Electrical sensor linear-scanning, working under the pushbroom principle, with high and super high spatial resolution, eg. IKONOS, QuickBird, SPOT, WorldView, GeoEye sensors. A scene image acquired from multiple scan lines. Each scan line has its own projection center at the time t . An image pixel has row (x), column (y -axis), the projection center of its scan line (z -axis with a focal length f) and scanning time t . In other words, the scanned image that we

acquired is "dynamic image" in 4-dimensional space (x, y, z, t). A second important characteristic of high and super-high resolution images is the small Field Of View (FOV), only a few degrees. Based on these features, we will build a model for dynamic imagery with high and super high spatial resolution, including the sensor on Vietnam's satellite VNREDSat-1.

The article refers to the construction of algorithms for dynamic image model, for reconstructing the image geometry just as in the time of optical-electronic sensor done, for the purpose of image orthorectification. Experimental results from IKONOS image orthorectification on our software of dynamic image model gave the accuracies comparable to the commercial software PC of Canada and the University of Hannover, Germany.