

MODELLO RPC PER L'ORIENTAMENTO DI STEREOCOPPIE SATELLITARI NEL SOFTWARE SISAR

M. CRESPI, F. FRATARCANGELI, F. GIANNONE, F. PIERALICE

DITS – Area di Geodesia e Geomatica – Sapienza Università di Roma– via Eudossiana 18 – Rome, Italy -
<attia.crespi,francesca.fratarcangeli,francesca.giannone,francesca.pieralice>@uniroma1.it

Riassunto

Il modello di orientamento RPC, universalmente accettato e validato, costituisce un'ottima alternativa al modello di orientamento del sensore per immagini satellitari ad alta risoluzione. La sua ampia diffusione nei diversi settori è dovuta principalmente alla non necessaria conoscenza, per il suo utilizzo, di informazioni sul sensore, sull'assetto e sulle effemeridi del satellite.

I coefficienti RPC sono forniti, insieme alle immagini, dalle società che gestiscono alcune piattaforme satellitari (come QuickBird, Ikonos, Cartosat-1) e generati sulla base di un opportuno modello rigoroso.

Il gruppo di ricerca dell'Area di Geodesia e Geomatica, dell'Università di Roma, ha sviluppato ed implementato un software scientifico (SISAR - Software Immagini Satellitari ad Alta Risoluzione) per l'orientamento d'immagini satellitari acquisite dalle piattaforme QuickBird, Ikonos, Cartosat-1 ed EROS-A; all'interno è presente un modulo per l'orientamento delle stereocoppie con il modello RPC. Il software SISAR è in grado, inoltre, di generare autonomamente gli RPC a partire dal proprio modello rigoroso.

Il modulo è stato testato su diverse stereocoppie: quattro acquisite da Cartosat-1, tre acquisite rispettivamente da QuickBird, Ikonos e EROS-A. I risultati ottenuti, in termini di RMSE sui Check Point (CP), su tutte e tre le componenti (Est, Nord e quota) sono stati confrontati con i rispettivi risultati ottenuti con il software commerciale ERDAS v. 9.1 e il software scientifico RPCDEM, sviluppato dal Prof. K. Jacobsen dell'Università di Hannover.

Abstract

The Rational Polynomial Coefficient (RPC) model, universally accepted and validated, is an alternative sensor orientation model for high-resolution satellite imagery (HRSI).

Its widespread use in different sectors is due to the not necessary knowledge of camera model information, ephemeris and satellite attitude.

The RPC coefficients are supplied, together the imageries, by the societies to release them.

The research group of Geodesy and Geomatics Area of "Sapienza" University of Rome is developing and implementing a specific software (SISAR- Software per Immagini Satellitari ad Alta Risoluzione) for the orientation of imageries, acquired by QuickBird, Ikonos, Cartosat-1 and EROS-A satellite; the model may be used to orientate stereo pairs using RPC model and it is able to generate the own RPC starting from own rigorous model autonomously.

The model was been tested on different stereo pairs: four acquired by Cartosat-1, three acquired by Quickbird, Ikonos, EROS-A respectively. The results obtained, in term of RMSE on Check Points, on the three components (East, North, Height), are compared with the corresponding one obtained by the commercial software Erdas 9.1 and the scientific software RPCDEM, developed by Prof. Jacobsen (University of Hannover).

Introduzione

La messa in orbita di satelliti ad alta risoluzione (Ikonos, QuickBird, ecc.) ha consentito un rapido sviluppo di mappe digitali, la produzione e l'aggiornamento di cartografia a media scala. Tali satelliti non garantiscono solo un'elevata risoluzione geometrica e dati multispettrali ma sono in grado di acquisire in modalità stereo consentendo la generazione di modelli digitali del terreno e della superficie (DTM e DSM) e le estrazioni di caratteristiche 3D (city modeling).

Uno dei modelli più utilizzati per l'orientamento di stereocoppie satellitari è il modello rigoroso che consente la ricostruzione della geometria della presa, attraverso la conoscenza della modalità d'acquisizione, del tipo di sensore, della posizione e dell'assetto del satellite. La scrittura di tale modello, diverso da sensore a sensore, risulta di non facile realizzazione poiché spesso poche sono le informazioni necessarie a disposizione.

Il modello basato sulle Funzioni Polinomiali Razionali (RPF) con i Coefficienti Polinomiali Razionali (RPC) costituisce un'ottima soluzione al problema essendo un modello generico che non tiene conto del processo fisico-geometrico di generazione dell'immagine ed è valido per qualsiasi piattaforma satellitare. I coefficienti RPC sono forniti dalle stesse società che mettono a disposizione le immagini e generati a partire dal proprio modello rigoroso.

Modello RPC

Il modello RPC descrive la relazione analitica esistente fra lo spazio immagine (I,J) e lo spazio oggetto (latitudine φ , longitudine λ e quota ellissoidica h) attraverso semplici rapporti di polinomi (fino al terzo ordine):

$$I = \frac{P_1(\varphi, \lambda, h)}{P_2(\varphi, \lambda, h)} = \frac{a_0 + a_1\lambda + a_2\varphi + a_3h + a_4\lambda\varphi + \dots + a_{17}\lambda^3 + a_{18}\varphi^3 + a_{19}h^3}{1 + b_1\lambda + b_2\varphi + b_3h + b_4\lambda\varphi + \dots + b_{17}\lambda^3 + b_{18}\varphi^3 + b_{19}h^3} \quad [1]$$

$$J = \frac{P_3(\varphi, \lambda, h)}{P_4(\varphi, \lambda, h)} = \frac{c_0 + c_1\lambda + c_2\varphi + c_3h + c_4\lambda\varphi + \dots + c_{17}\lambda^3 + c_{18}\varphi^3 + c_{19}h^3}{1 + d_1\lambda + d_2\varphi + d_3h + d_4\lambda\varphi + \dots + d_{17}\lambda^3 + d_{18}\varphi^3 + d_{19}h^3} \quad [2]$$

dove a_j , b_j , c_j , d_j sono gli RPC.

Sia le coordinate a terra (φ , λ , h) che le coordinate immagine (I,J) sono normalizzate utilizzando parametri della normalizzazione inseriti nel file degli RPC.

La generica formula utilizzata per la normalizzazione è:

$$T_n = \frac{T - T_{\text{offset}}}{T_{\text{scale}}} \quad [3]$$

dove T_n è la coordinata normalizzata, T_{offset} e T_{scale} sono i parametri di normalizzazione (forniti dal metadata file) e T rappresenta la coordinata a terra o la coordinata immagine ($T = I, J, \varphi, \lambda, h$).

L'accuratezza ottenibile dall'applicazione del modello è dell'ordine delle decine di metri raffabile con l'introduzione nelle equazioni [1] e [2] di un polinomio del primo ordine che descrive una trasformazione affine:

$$I = A_0 + A_1I + A_2J + \frac{a_0 + a_1\lambda + a_2\varphi + a_3h + a_4\lambda\varphi + \dots + a_{17}\lambda^3 + a_{18}\varphi^3 + a_{19}h^3}{1 + b_1\lambda + b_2\varphi + b_3h + b_4\lambda\varphi + \dots + b_{17}\lambda^3 + b_{18}\varphi^3 + b_{19}h^3} \quad [4]$$

$$J = B_0 + B_1I + B_2J + \frac{c_0 + c_1\lambda + c_2\varphi + c_3h + c_4\lambda\varphi + \dots + c_{17}\lambda^3 + c_{18}\varphi^3 + c_{19}h^3}{1 + d_1\lambda + d_2\varphi + d_3h + d_4\lambda\varphi + \dots + d_{17}\lambda^3 + d_{18}\varphi^3 + d_{19}h^3} \quad [5]$$

A_i , e B_i rappresentano i coefficienti della trasformazione affine determinabili sulla base di alcuni Ground Control Point (GCP) (Bianconi et al., 2007, Fraser et al., 2003).

Nel caso di stereocoppie satellitari il valore di quota, essenziale per la generazione di modelli digitali del terreno, è determinabile come intersezione di raggi omologhi. Esso è calcolato, insieme alle coordinate planimetriche, con un processo di stima a minimi quadrati una volta che sono stati determinati i 12 parametri dell'affine (6 per ogni immagine). I due modelli utilizzati, rispettivamente per il calcolo dei coefficienti dell'affine [6] e delle coordinate a terra dei CP [7] sono:

$$\begin{matrix}
 \begin{matrix}
 R_1 \\
 \vdots \\
 R_j \\
 \vdots \\
 R_n
 \end{matrix}
 \begin{matrix}
 A_0^1 \\
 A_1^1 \\
 A_2^1 \\
 B_0^1 \\
 B_1^1 \\
 B_2^1 \\
 A_0^2 \\
 A_1^2 \\
 A_2^2 \\
 B_0^2 \\
 B_1^2 \\
 B_2^2
 \end{matrix}
 +
 \begin{matrix}
 P_1 \\
 \vdots \\
 P_j \\
 \vdots \\
 P_n
 \end{matrix}
 = 0
 \end{matrix}
 \quad
 R_j =
 \begin{bmatrix}
 1 & I_j^1 & J_j^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & I_j^1 & J_j^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & I_j^2 & J_j^2 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & I_j^2 & J_j^2
 \end{bmatrix}
 \quad
 P_j =
 \begin{bmatrix}
 P_1^1(!, ,h)/P_2^1(!, ,h) \\
 P_3^1(!, ,h)/P_4^1(!, ,h) \\
 P_1^2(!, ,h)/P_2^2(!, ,h) \\
 P_3^2(!, ,h)/P_4^2(!, ,h)
 \end{bmatrix}
 \quad [6]$$

dove l'apice 1 o 2 indica la prima o la seconda immagine, mentre il pedice indica il j-esimo GCP. Gli A_i^j , B_i^j sono i coefficienti dell'affine relativi alla prima e alla seconda immagine, I_i^j , J_i^j sono le coordinate immagine del medesimo punto individuabile su tutte e due le immagini, gli P_j rappresentano i rapporti di polinomi espressi nelle equazioni [1] e [2]. Il numero minimo di GCP necessari per risolvere il sistema è di 3.

Il calcolo delle coordinate a terra è eseguito un numero di volte pari al numero di punti da calcolare, il sistema è costituito sempre da 3 incognite e 4 osservazioni.

$$\begin{matrix}
 I^1 \\
 J^1 \\
 I^2 \\
 J^2
 \end{matrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 [4]/ ! & [4]/ # & [4]/ h \\
 [4]/ ! & [4]/ # & [4]/ h \\
 [5]/ ! & [5]/ # & [5]/ h \\
 [5]/ ! & [5]/ # & [5]/ h
 \end{bmatrix}
 \begin{matrix}
 ! \\
 # \\
 h
 \end{matrix}
 +
 \begin{bmatrix}
 P_1^1(\#, !, h)/P_2^1(\#, !, h) \\
 P_3^1(\#, !, h)/P_4^1(\#, !, h) \\
 P_1^2(\#, !, h)/P_2^2(\#, !, h) \\
 P_3^2(\#, !, h)/P_4^2(\#, !, h)
 \end{bmatrix}
 \quad [7]$$

gli apici 1 o 2 indicano la prima o la seconda immagine (Fraser et al., 2005, Croitoru et al., 2004, Tao et al., 2002, Grodecki et al., 2003).

I valori approssimati delle coordinate a terra, utilizzati nell'equazione [7], sono calcolati attraverso una DLT (Direct Linear Transformation) utilizzando un set di Ground Control Point (GCP).

Direct Linear Transformation

La DLT descrive la relazione esistente tra il piano immagine e lo spazio oggetto. Tale trasformazione non richiede informazioni sull'orientamento dell'immagine e la formula che la rappresenta è la seguente:

$$\begin{matrix}
 I = \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \\
 J = \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1}
 \end{matrix}
 \quad [8]$$

dove L_i sono i coefficienti della DLT e X,Y,Z sono le coordinate a terra dei GCP nel sistema locale con origine nel centro dell'immagine.

Dai coefficienti della DLT (11 per ogni immagine), calcolati usando un numero minimo di GCP pari a 6, si ricavano le coordinate approssimate di tutti i CP, in seguito inserite nell'equazione [7].

Risultati

Il modello è stato testato su 13 stereocoppie acquisite da diverse piattaforme satellitari utilizzando 3 software diversi: il software commerciale Erdas v.9.1, e i due software scientifici SISAR (sviluppato dal gruppo di ricerca dell'Università di Roma) e RPCDEM (sviluppato dal Prof.

Jacobsen dell'Università di Hannover). Per le immagini EROS-A i risultati ottenuti con il software SISAR usando il modello RPC sono confrontati con quelli ottenuti con il modello rigoroso di OrthoEngine.

Nel presente articolo sono riportati solo alcuni dei risultati ottenuti. Le caratteristiche delle immagini presentate nell'articolo sono riportate nella tabella seguente (Tabella 1):

Sensore	Area	GSD[m]	Angolo di off-nadir medio[°]	n° GCP
QuickBird	Augusta (*P001)	0.77	29.2	39
	Augusta (*P002)	0.75	28.2	
Ikonos	Bagnoli1	1.00	25.6	25
	Bagnoli2	1.00	27.1	
Cartosat-1	Mausanne (BandA)	2.50	26.0	32
	Mausanne (BandF)	2.50	26.0	
Cartosat-1	CastelGandolfo (BandA)	2.50	26.0	25
	CastelGandolfo (BandF)	2.50	26.0	
EROS-A	Roma (ITA-e1038452)	1.80	9.2	49
	Roma (ITA-e1090724)	2.60	35.0	

Tabella 1-Data set

I punti a terra, uniformemente distribuiti sulle diverse immagini, sono stati acquisiti con rilievi GPS con le seguenti precisioni: 0.1 m in planimetria e 0.2 m in quota.

Per le piattaforme satellitari di QuickBird, Ikonos e Cartosat-1 sono disponibili le stereocoppie acquisite in modalità along-track con intervallo di tempo di qualche minuto e i rispettivi RPC. Nel caso del satellite EROS-A le due immagini utilizzate non sono una stereocoppia reale ma due immagini di diversa dimensione e risoluzione spaziale, acquisite con circa un anno di differenza e completamente sovrapposte; inoltre la società che le rilascia non fornisce gli RPC. Gli RPC usati per le immagini EROS sono stati generati autonomamente dal software SISAR e di conseguenza confrontati con i risultati ottenuti con il modello rigoroso di OrthoEngine, non avendo ne Erdas, ne RPCDEM il modulo per il loro utilizzo.

Nei grafici di sinistra sono riportati i residui sui CP in planimetria (Nord N, Est E), in quelli di destra i rispettivi residui in quota Z.

Per le stereocoppie di Augusta e di Cartosat-1 (Figura 2, 4, 5) il software SISAR restituisce in planimetria accuratèzze confrontabili con il GSD con un lieve peggioramento nel caso della stereocoppia di Bagnoli (Figura 3). I medesimi risultati sono ottenuti con il software commerciale Erdas, alte accuratèzze mostra invece il software RPCDEM nel caso delle immagini QuickBird e accuratèzze non rilevabili nel caso delle immagini Ikonos dovute probabilmente a errori informatici nel software che è ancora in fase di test.

In altimetria, le accuratèzze ottenute con il software SISAR sono confrontabili con quelle ottenute con il software Erdas e dell'ordine di 1 m per l'immagine di Augusta, di circa 2 m per le immagini di Ikonos e di CastelGandolfo e di circa 4 m per l'immagine di Mausanne.

Per la coppia di immagini acquisite da EROS-A, gli RPC generati dal software SISAR a partire dal modello rigoroso in esso implementato, utilizzati per l'orientamento stereo restituiscono risultati confrontabili con quelli ottenuti con il modello rigoroso di OrthoEngine in planimetria, con accuratèzze più elevate in quota (Figura 6).

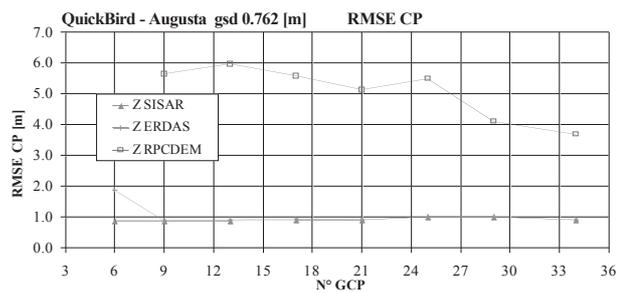
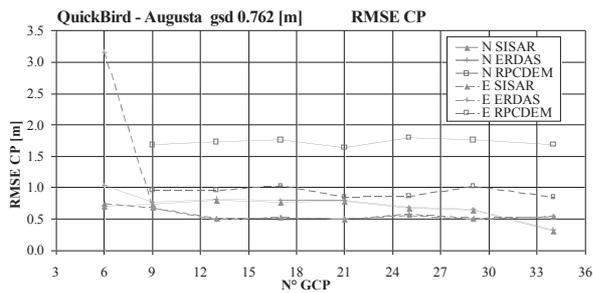


Figura 2 – Stereocoppia QuickBird-Augusta. Confronto delle accuratze ottenute nei software Erdas, SISAR e RPCDEM con gli RPC forniti dal metadata, in planimetria (a sinistra) e in quota (a destra)

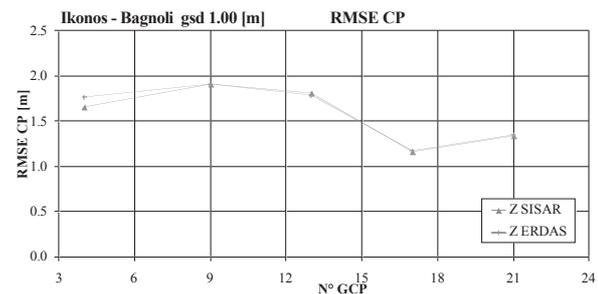
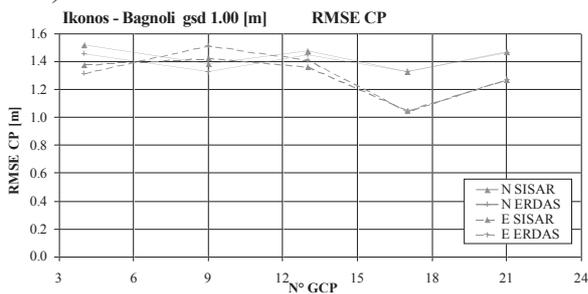


Figura 3 – Stereocoppia Ikonos-Bagnoli. Confronto delle accuratze ottenute nei software Erdas, SISAR con gli RPC forniti dal metadata, in planimetria (a sinistra) e in quota (a destra)

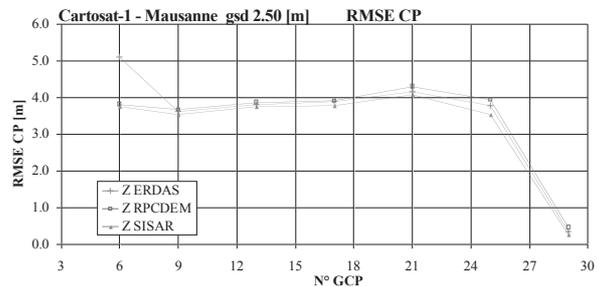
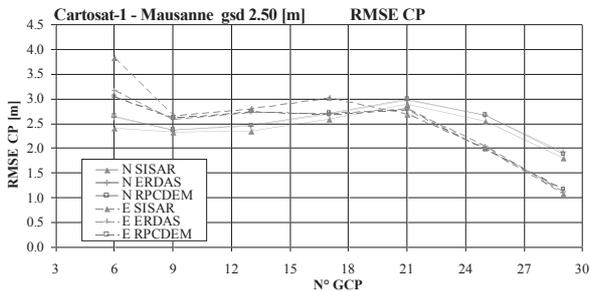


Figura 4 – Stereocoppia Cartosat-1-Mausanne. Confronto delle accuratze ottenute nei software Erdas, SISAR e RPCDEM con gli RPC forniti dal metadata, in planimetria (a sinistra) e in quota (a destra)

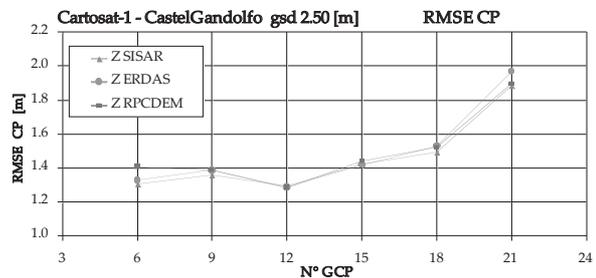
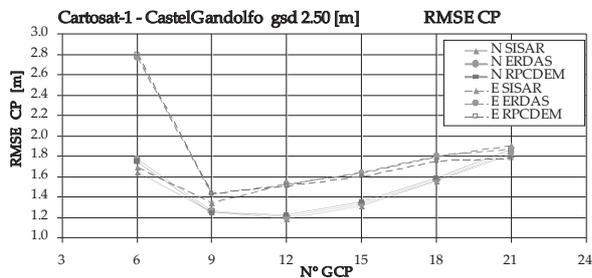


Figura 5 – Stereocoppia Cartosat-1-CastelGandolfo. Confronto delle accuratze ottenute nei software Erdas, SISAR e RPCDEM con gli RPC forniti dal metadata, in planimetria (a sinistra) e in quota (a destra)

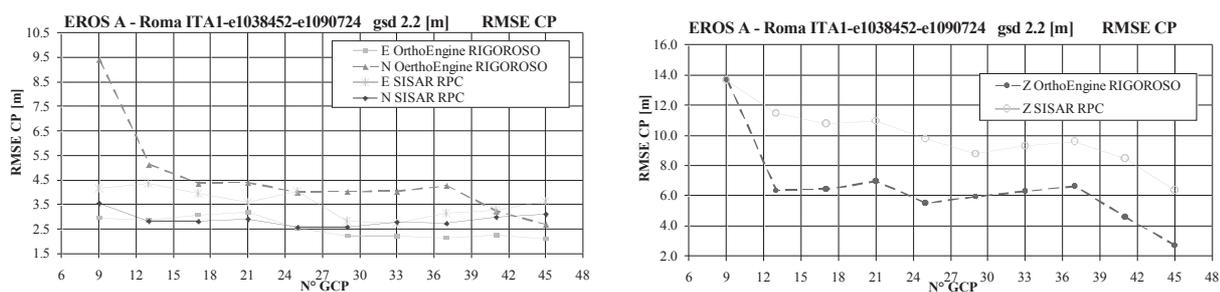


Figura 6 - Coppia di immagini EROS-A-Roma. Confronto delle accuratèzze ottenute nel software SISAR con gli RPC generati da SISAR e con il modello rigoroso di OrthoEngine, in planimetria (a sinistra) e in quota (a destra)

Conclusioni

I satelliti ad alta risoluzione oggi in orbita oltre ad offrire alte risoluzioni geometriche consentono una modalit  di acquisizione stereo necessaria per la generazione di modelli digitali del terreno e della superficie (DTM e DSM) e per estrazioni di caratteristiche 3D (city modeling).

Il modello di orientamento delle stereocoppie, basato sulle Funzioni Polinomiali Razionali (RPF) con i Coefficienti Polinomiali Razionali (RPC), costituisce un'ottima alternativa al modello del sensore poich  generico e di facile utilizzo.

Tale modello, implementato all'interno del software scientifico SISAR, restituisce risultati, per tutte le stereocoppie testate, con esiti uguali o leggermente migliori a quelli forniti dai software analizzati, ottenendo in planimetria accuratèzze dell'ordine del GSD e buone accuratèzze in quota (tra 1-4 m).

Per la coppia di immagini acquisite da EROS-A, gli RPC generati dal software SISAR a partire dal modello rigoroso in esso implementato, utilizzati per l'orientamento stereo restituiscono risultati confrontabili con quelli ottenuti con il modello rigoroso di OrthoEngine in planimetria, con accuratèzze pi  elevate in quota.

Bibliografia

Bianconi, M., Crespi, M., Fratarcangeli, F., Giannone, F., Pieralice, F. (2007) Generazione ed utilizzo di RPC per l'orientamento di immagini satellitari ad alta risoluzione. Atti XI Conferenza Asita, Centro Congressi Lingotto, Torino 6-9 novembre 2007.

Croitoru, A., Tao, V., Hu, Y., Xu, J., 2004. The rational function model: a unified 2d and 3d spatial data generation scheme, ASPRS Annual Conference Proceedings May 2004 * Denver, Colorado.

Fraser, C. S., H. B. Hanley (2003). Bias compensation in rational functions for Ikonos satellite imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 69(1): 53-57.

Fraser, C.S., Dial, G., Grodecki, J., 2005. Sensor orientation via RPCs. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 60 (2006): 182-194.

Grodecki, J. and Dial, G., 2003. Block adjustment of high-resolution satellite images described by rational polynomials. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 69(1): 59-68.

Tao, V., Hu, Y., 2002. 3-D reconstruction algorithms with the rational function model, PE&RS, 68(7), pp. 705-714.