

Pan-sharpening, Estrazione DEM e Correzione Geometrica dei Satelliti SPOT-6 e SPOT-7

By Philip Cheng
GeoInformatics – Marzo 2015

Il successo dei satelliti SPOT-6 e SPOT-7 deriva dal fatto che fornisce un'alternativa alle immagini satellitari ad altissima risoluzione. Con il sensore pancromatico a una risoluzione di 1,5m e un sensore multispettrale con risoluzione 6.0m, i dati possono essere utilizzati in diverse applicazioni che non richiedono una risoluzione inferiore al metro. Questo articolo mostra come i dati sono in grado di generare immagini pansharpened ortorettificate ad alta precisione utilizzando il metodo pansharpening e il metodo di correzione geometrica polinomiale razionale. Modelli altimetrici digitali (DEM) possono anche essere estratti automaticamente da dati tri-stereo. Il recente rilascio di global SRTM DEM a 1 arco secondo offre l'opportunità di migliorare la precisione orto quando si utilizza SRTM DEM. Questo articolo paragona i risultati di ortorettifica usando SRTM DEMs a 1 e 3 archi secondi.



Figura 1: Immagine SPOT 6 di Barcellona, Spagna

Nel 2008, Spot Image (ora Geo-Intelligence program line of Airbus Defence and Space) di Tolouse, Francia, ha supportato un'iniziativa per costruire una nuova serie di missioni commerciali SPOT, denominati SPOT 6/7 per proseguire i servizi di alta risoluzione attualmente forniti dalla

missione SPOT-5. La produzione della costellazione gemella SPOT 6 e 7 è stata ufficialmente annunciata a metà del 2009 da Airbus Defence and Space.

La costellazione SPOT di due satelliti (SPOT-4, e SPOT-5) offre la più ampia gamma di immagini, includendo risoluzioni di 2.5, 5, 10, e 20 m. L'obiettivo della nuova serie SPOT-6 e -7 è di garantire un servizio operativo sostenibile per gli utenti finali.

A metà del 2009, la Airbus Defence and Space si è impegnata per lo sviluppo dei veicoli spaziali SPOT 6 e - 7, anche se non aveva ancora avuto alcun finanziamento governativo o accordi di vendita. I satelliti, costruiti da Space System Division di Airbus Defence and Space, sono stati i primi mai costruiti utilizzando tutti finanziamenti privati e segnando uno spartiacque nel servizio di informazioni geospaziali.

SPOT-6 è stato lanciato da Indias Polar Satellite Launch Vehicle sul volo C21 alle 04:23 UTC del 9 settembre 2012, mentre SPOT - 7 è stato lanciato su PSIV volo C23 alle 04:42 UTC del 30 giugno 2014. Insieme formano una costellazione di satelliti Earth-Imaging progettati per fornire la continuità di dati ad alta risoluzione e con ampia swath fino al 2024. Il 2 dicembre 2014, Airbus Defence and Space ha deciso di trasferire la proprietà di SPOT-7 a Azercosmos, l'agenzia spaziale dell'Azerbaijan come parte di una partnership a lungo termine.

Dal punto di vista tecnico, SPOT-6 e -7 beneficiano della conoscenza e dell'esperienza acquisita con SPOT 5 e Pleiades 1A e 1B, nonché dalla più recente tecnologia.

I satelliti SPOT 6 e 7 hanno affrontato il mercato con le seguenti caratteristiche migliorate rispetto a SPOT 5:

- (1) stesso swath di 60 km per mantenere alto il livello di capacità di copertura,
- 2) migliore risoluzione con prodotti ortorettificati a 1,5 metri
- 3) l'aggiunta di una banda blu per ottenere immagini a colori naturali
- 4) aumentata agilità del satellite, che consente di ottenere in modo efficiente sia l'acquisizione di grandi coperture che l'acquisizione di obiettivi individuali: più di 3 milioni di km quadrati al giorno per ogni satellite
- 5) reactive tasking: programmazione avanzata con un massimo di 6 piani di programmazione al giorno con possibilità di chiedere immagini senza nuvole
- 6) capacità di rivisitazione giornaliera grazie alla costellazione fasata di SPOT 6 e 7
- 7) 10 anni di vita per ciascun satellite, garantendo la continuità dei dati fino al 2024.

Grazie a una accuratezza di posizionamento migliore di 10 m (CE90) e una risoluzione di 1,5 m, SPOT-6 e -7 sono la soluzione ideale per mappe 1:25000.

In questo articolo esamineremo quattro tipi di processamento. Il primo è il pansharping dei dati per generare dati multispettrali alla risoluzione di 1.5m. Il secondo è la correzione geometrica dei dati utilizzando il metodo dei coefficienti di polinomi razionali (RPC) senza punti di controllo a terra (GCP) o con un numero minimo di GCP. Il terzo è il confronto dei risultati di ortorettifica usando il DEM SRTM a 1 e a 3 archi secondi (30m e 90m). In ultimo, l'estrazione automatica di un DEM utilizzando le tri-stereo sarà testata e confrontata con i DEM SRTM.

Dati campione e software

I set di dati di due diverse aree sono stati forniti da Airbus Defence and Space. La prima serie di dati è una SPOT 6 tri-stereo acquisita il 28 Giugno 2013 che copre Barcellona e le zone circostanti in Spagna. La maggior parte della zona è montuosa con un'elevazione che va dal livello del mare a 1200 metri. Gli angoli di incidenza along-track sono rispettivamente 7.6° , 12.7° e 2.5° , mentre across-track sono -16.0° , -11.7° e -13.5° . È stata fornita anche una immagine SPOT-7 acquisita il mese di ottobre 2014, l'angolo di incidenza along-track è di $8,0^\circ$ e across-track di $11,5^\circ$ che copre la stessa area.



Figura 2: area campione SPOT 6 a piena risoluzione della Spagna

Il secondo set di dati comprende immagini SPOT-6 e SPOT-7 di Hong Kong. SPOT 6 è stata acquisita in data 31 luglio 2014, con un angolo di incidenza along-track e across-track rispettivamente di 16.7° e 0.7° . Il dato SPOT-7 è stato acquisito il 11 novembre 2014, con un angolo di incidenza along-track e across-track rispettivamente di 0° e -4.4° . Hong Kong è costituito da isole, montagne e aree urbane con molte strutture create dall'uomo e con un'elevazione che va dal livello del mare a 850m. Tutti i dati sono distribuiti con coefficienti di polinomiali razionali (RPC).

Il software OrthoEngine 2014 di PCI Geomatics è stato utilizzato per questo test. Questo software supporta la lettura dei dati, la raccolta manuale o automatica di GCP e tie point (TP), la

modellazione geometrica di diversi satelliti utilizzando il modello rigoroso di Toutin o il modello RPC, la generazione automatica e la modifica del DEM, l'ortorettifica, e la mosaicatura manuale e automatica.

Pansharpening

Come la maggior parte dei satelliti ad alta risoluzione, i dati pancromatici e multispettrali di SPOT-6 e -7 sono adatti per la creazione di immagini pansharpened. È preferibile eseguire il processo pansharpening prima della correzione geometrica se si desidera un'immagine ortorettificata pansharpened. Questo metodo funziona per la maggior parte delle aree con terreno pianeggiante. L'esecuzione del pansharpening dopo la

correzione geometrica dei dati pancromatici e multispettrali spesso provoca piccoli disallineamenti tra i dati ortorettificati a causa dell'accuratezza dei GCP e dei DEMs utilizzati nel processo di ortorettifica. Per eseguire il processo di pansharpening prima della correzione geometrica, sia i dati pancromatici che multispettrali devono essere perfettamente allineati tra loro e sia SPOT6 e 7 rispondono a questa richiesta. Il programma pansharpening PCI è stato usato per generare immagini pansharpened di SPOT 6 e 7. Le figure 1 e 2 mostrano rispettivamente l'overview e un'area campione a piena risoluzione delle immagini pansharpened

di SPOT 6 dei dati della Spagna. Le Figura 3 e la figura 4 mostrano rispettivamente l'overview e un'area campione a piena risoluzione delle immagini pansharpened di SPOT 6 dei Dati di Hong Kong.



Figura 3: Immagine SPOT 6 di Hong Kong



Figura 4: Area campione a piena risoluzione di immagine SPOT-6 di Hong Kong

Metodo RPC

Per creare accurate mappe utilizzando immagini satellitari, le immagini devono essere corrette in base alla proiezione della mappa. Questo processo di correzione è chiamato ortorettifica o correzione geometrica. Il processo richiede l'utilizzo di un modello geometrico rigoroso, GCPs, e un DEM. Dopo l'introduzione del metodo (RPC) per correggere dati Ikonos, questo è diventato il metodo più diffuso per la correzione geometrica dei dati satellitari, in quanto richiede solo un piccolo numero di GCP, e in alcuni casi, nessun punto GCP.

La maggior parte delle immagini satellitari commerciali sono distribuite con RPCs. Il metodo RPC utilizza un modello empirico/statistico sviluppato da Space Imaging (ora DigitalGlobe) che approssima il modello 3D fisico del sensore di un satellite. Questo metodo è utile in quanto elimina la necessità di modello fisico 3D, permettendo agli utenti che hanno poca dimestichezza con il sensore del satellite di eseguire una correzione geometrica senza GCP; è necessario solo un DEM. Poiché esistono ancora errori negli RPC, gli RPC originali possono essere migliorati con un

aggiustamento polinomiale di ordine zero o primo calcolato da alcuni GCP molto accurati.

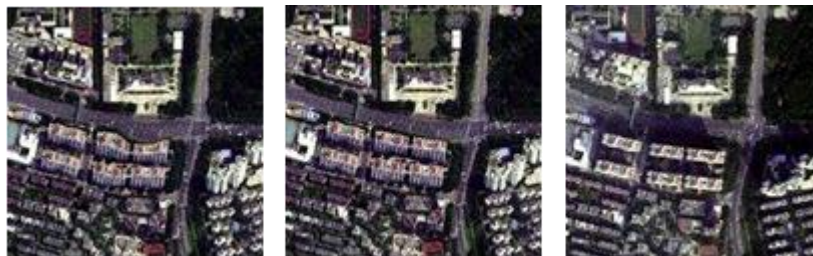


Fig. 5: Ortoimmagine SPOT 6 di Hong Kong usando SRTM a 1 arc/sec. Fig. 6: ortoreimmagine SPOT 6 di Hong Kong usando SRTM a 3 arc/sec. Fig. 7: ortoreimmagine SPOT 7 di Hong Kong usando SRTM a 1 arc/sec.

Gli aggiustamenti di ordine zero o primo richiedono un minimo di 1 e 3 GCP

Case	RPC Polynomial Adjustment Order	No. of GCPs / image	No. of ICPs / image	RMS Error (m)		Maximum Error (m)	
				X	Y	X	Y
1		0	40	1.3	2.0	3.2	5.8
2	0	4	6	1.0	1.5	2.5	4.9
3	1	4	6	0.8	0.7	1.5	1.8
4	1	4	6	0.9	1.5	1.4	3.0

Tabella 1: confronto dei risultati dei dati SPOT 6 e 7 della Spagna usando diversi GCP e ICP

rispettivamente.

Un aggiustamento polinomiale di ordine zero che calcola unicamente la traslazione nella direzione orizzontale e verticale per l'intera immagine è sempre preferibile perché i GCP possono essere raccolti dovunque nell'immagine. Un aggiustamento polinomiale di ordine primo, che deforma un'immagine in contrapposizione ad una semplice traslazione orizzontale e verticale, richiede che i GCP siano raccolti in modo uniforme su tutta l'immagine per ottenere la migliore accuratezza per l'intera immagine. In questo articolo, verranno esaminate le correzioni con aggiustamenti di ordine zero e primo.

Risultati

Per testare il set di dati della Spagna, sono stati utilizzati un'immagine orto SPOT 7 a risoluzione 1,5 fornita da Airbus Defence and Space ed un SRTM DEM a 1 arco secondo. Sono stati raccolti dieci punti su ogni immagine, la tabella 1 mostra i risultati dei check point indipendenti (ICP)

Case	RPC Polynomial Adjustment Order	No. of GCPs	No. of ICPs	RMS Error (m)		Maximum Error (m)	
				X	Y	X	Y
1		0	6	2.5	1.2	3.0	1.7
2	0	4	2	0.5	0.3	0.5	0.5
3	1	4	2	0.6	0.3	0.7	0.4

Tabella 3: Confronto tra i risultati di Hong Kong usando diversi GCP e ICP per SPOT 7

usando 0 e 4 GCP con aggiustamento polinomiale di ordine zero e primo. I casi 2 e 3 hanno GCP situati vicino i confini di ogni immagine con ICP raccolti dentro. Il Caso 4 ha GCPs situati vicino al

centro di ciascuna immagine con ICP raccolti al di fuori dei confini dei GCP. L'accuratezza di correzione RMS geometrica senza GCP è all'interno dei 2 m con un errore massimo di 5.8 m. Nel confrontare il caso 2 e 3 si trovano i risultati migliori quando si usa l'aggiustamento di ordine primo, con errore RMS inferiore a 1 m. Il Caso 4 mostra l'importanza della posizione dei GCP quando si utilizza l'aggiustamento di primo ordine. Gli ICP al di fuori del confine dei GCP non sono così accurati perché è necessaria l'estrapolazione quando si utilizza l'aggiustamento di primo ordine. Pertanto, i GCP devono essere raccolti vicino ad ogni confine di un'immagine se è richiesta un'elevata accuratezza per l'intera immagine.

Case	RPC Polynomial Adjustment Order	No. of GCPs	No. of ICPs	RMS Error (m)		Maximum Error (m)	
				X	Y	X	Y
1		0	11	3.3	2.5	4.1	3.3
2	0	4	7	0.6	1.1	0.9	1.5
3	1	4	7	0.5	1.1	0.8	1.4

Tabella 2: Confronto dei risultati di Hong Kong usando diversi GCP e ICP per SPOT 6

Per testare i dati SPOT6 e 7 di Hong Kong, punti di accuratezza sub-metrica sono stati ottenuti dal Dipartimento di Ingegneria e Sviluppo Civile di Hong Kong (HKCEDD). Undici punti sono stati collocati sull'immagine SPOT 6 e sei punti sulla immagine SPOT 7. Le Tabelle 2 e 3 mostrano i risultati di ICP usando 0 e 4 GCP con aggiustamenti di ordine zero e primo. L'errore massimo RMS è 3.3 m e con nessun GCP l'errore massimo è 4.1 m come mostrato nella tabella 2. In questo caso sia gli aggiustamenti di ordine zero che primo hanno risultati simili. L'errore massimo RMS si trova entro 1.1 m e l'errore massimo è 1.5 m quando si utilizzano 4 GCP.

SRTM DEM a 1 e 3 archi/secondo

Lo Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) è una ricerca internazionale che ha ottenuto dati di elevazione su scala quasi globale da 56° S a 60° N. Il risultato è stato quello di generare il DEM ad alta risoluzione più completo della Terra, prima del rilascio di ASTER GDEM nel 2009. SRTM era

costituito da un sistema radar appositamente modificato che ha volato a bordo dello Space Shuttle Endeavour durante gli 11 giorni di missione STS-99 nel febbraio 2000. La risoluzione dei dati grezzi è un arco secondo (30 m), ma questo è stato rilasciato solo sul territorio degli Stati Uniti. Per il resto del mondo sono disponibili i dati con tre archi al secondo (90 m). L'SRTM è stato una delle principali fonti di DEM per correggere i dati quando i DEM ad alta risoluzione non erano disponibili. Il 23 settembre 2014, la Casa Bianca ha annunciato che l'alta risoluzione di un SRTM DEM a 1 arco secondo sarebbe stata rilasciata a livello mondiale. Poiché sia il DEM SRTM a 1 e che a 3 archi secondo sono disponibili per Hong Kong, è utile esaminare le differenze nei risultati di ortorettifica utilizzando i due DEM nelle aree urbane.

Quando si confrontano gli SRTM DEM di Hong Kong, la più grande differenza in valori di elevazione è fino a 70m. Discrepanze di valore di elevazione sono più evidenti nelle zone di montagna. Le differenze tra i valori di elevazione GCP e SRTM DEM a 1 arco secondo sono tutte entro i 10 metri. Anche se è ovvio che l'utilizzo di SRTM DEM a 1 arco secondo dovrebbe produrre risultati più accurati, e che dovrebbe essere sempre utilizzato quando disponibile, esso può generare risultati di ortorettifica indesiderati nelle aree urbane. Le Figure 5 e 6 mostrano esempi di immagini SPOT 6 ortorettificate con SRTM DEM a 1 e 3 archi secondi.

Strade ed edifici deformati possono essere trovati al centro della figura 5 quando si utilizza l'SRTM a 1 arco secondo ma non quando si utilizza SRTM a 3 archi secondi. Confrontando SRTM DEM a 1 arco secondo e a 3 nello stesso luogo si è riscontrato che le distorsioni sono dovute agli effetti di edifici nel DEM a 1 arco secondo, che non sono stati trovati nel SRTM DEM a 3 archi secondi.

Poiché SPOT 6 è stato acquisito con un angolo along track di 16.7°, è più sensibile agli errori del

DEM. L'immagine ortorettificata SPOT 7 (figura 7) non ha questo stesso problema perché il dato è stato acquisito ad un angolo quasi nadirale. Questo significa che anche se SRTM DEM a 1 arco secondo è più accurato, contiene anche elementi che possono causare distorsioni nei risultati di ortorettifica in aree urbane. Pertanto, è importante conoscere i tipi di terreno, le caratteristiche e gli angoli di incidenza del satellite prima di decidere quale SRTM utilizzare.

Estrazione del DEM

Poiché le immagini tri-stereo sono state fornite con il set di dati della Spagna, è possibile estrarre automaticamente il DEM. Invece di usare tutte le diverse combinazioni di coppie stereo per generare il DEM, è meglio scegliere la coppia ottimale in base ai tipi di terreno. Per terreno pianeggiante o dolce si consiglia la coppia stereo "fore and aft". Per terreni accidentati e le zone montane, è meglio usare la coppia stereo nadir-fore o nadir-aft. Poiché i dati in Spagna sono costituiti principalmente da aree di montagna è stata scelta la coppia stereo nadir-aft.

Per generare automaticamente un DEM, una coppia di immagini epipolari viene generata dalla coppia stereo. Una procedura automatica di matching di immagine viene utilizzata per produrre il DEM attraverso un confronto tra i rispettivi valori di grigio di queste immagini. Per trovare i corrispondenti pixel nelle immagini epipolari di destra e di sinistra, questa procedura utilizza un metodo di corrispondenza gerarchico sub-pixel. Il metodo genera coefficienti di correlazione tra 0 e 1 per ciascun pixel corrispondente, in cui 0 rappresenta un totale disallineamento e 1 rappresenta una corrispondenza perfetta.



Figura 8a: Immagine SPOT 6 di Barcellona e aree limitrofe

La differenza di posizione tra le immagini dà la disparità, o parallasse, derivante dal rilievo, che viene poi convertito in valori di elevazione assoluti sull'ellissoide WGS84.

Le Figure 8a e 8b mostrano l'immagine e il corrispondente DEM estratto a 3 m. Confrontando il DEM estratto con i GCP, l'errore medio è 0.57m con una deviazione standard di 2.93 m. Confrontando il DEM estratto con SRTM DEM a 1 arco secondo, ha un errore medio di -0.16m con una deviazione standard di 8.32 m.

Conclusioni

In questo articolo abbiamo esaminato il pan-sharpening e l'estrazione di DEM da immagini SPOT 6 e 7, insieme alla correzione geometrica utilizzando il DEM SRTM sia a 1 che a 3 archi secondi. Il pan-sharpening può essere eseguito prima della correzione geometrica. Il metodo RPC con l'aggiustamento polinomiale di ordine primo dovrebbe essere utilizzato per correggere i dati. Gli errori RMS per entrambi i satelliti sono entro i 3 metri e 1 metro usando zero GCP e 4 GCP rispettivamente. Quando si usa l'SRTM DEM a 1 o 3 archi secondo, l'utente dovrebbe prendere in considerazione i tipi di terreno, le caratteristiche e gli angoli di incidenza satellitare. Il DEM può essere estratto automaticamente dai dati stereo.

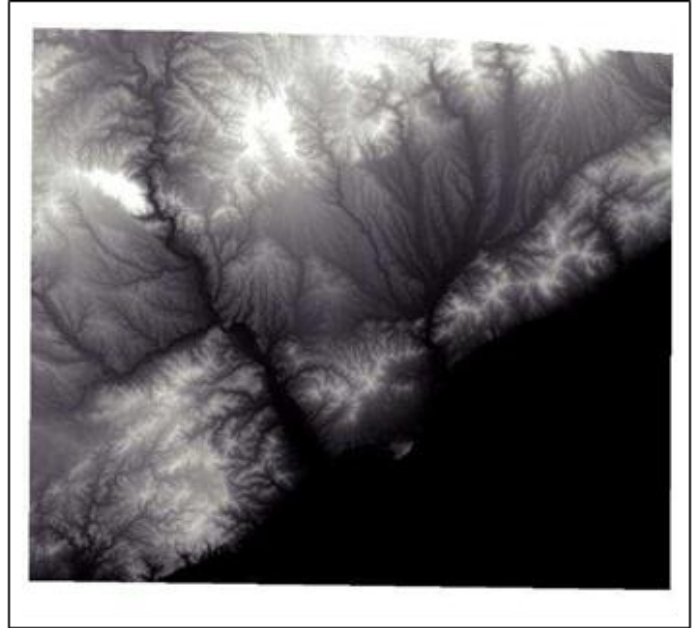


Figura 8b: DEM estratto da immagini SPOT 6 di Barcellona e aree limitrofe

L'errore medio tra il DEM estratto e l'SRTM DEM a 1 arco secondo è -0.16m in questo studio.

Sysdeco Italia – www.sysdecoitalia.com

-Rivenditore unico PCI Geomatica in Italia

-Distributore Airbus