

ESPERIENZE SULLA CALIBRAZIONE DELLA CAMERA LEICA ADS40

Vittorio CASELLA, Marica FRANZINI

DIET - Università degli Studi di Pavia, via Ferrata 1, 27100 Pavia, (vittorio.casella, marica.franzini)@unipv.it

Riassunto

Il lavoro concerne lo studio di un data-set acquisito nell'agosto del 2004 con una camera Leica ADS40, sul test-site di Pavia, dalla Compagnia Generale Ripreseeree (CGR). Il data-set è composto da tre sottoblocchi caratterizzati dalle quote di volo 2000, 4000 e 6000 metri.

Nella nota si studiano alcuni aspetti legati alla calibrazione della camera e all'accuratezza geometrica ottenibile, limitatamente al blocco a 2000 m. L'analisi avviene in tre passi principali: anzitutto viene effettuata l'analisi dell'accuratezza geometrica ottenibile con la calibrazione originaria della camera; in tale fase vengono considerate le misure fotogrammetriche a intersezione multipla, tradizionalmente usate per studi come quello presentato, ma anche quelle a modello singolo, che consentono di analizzare in maggior profondità alcuni fenomeni. In secondo luogo viene effettuata la auto-calibrazione della camera ed i nuovi parametri, così ottenuti, vengono confrontati con quelli originari. Infine la nuova calibrazione viene utilizzata per validare nuovamente il blocco considerato e quantificare l'incremento di accuratezza.

Abstract

The paper concerns and ADS40 data-set acquired in August 2004 by the Compagnia Generale Ripreseeree (CGR) above the Pavia test-site. The dataset is composed of three blocks characterized by the 2000 m , 4000 m and 6000 m flying heights.

Camera calibration and geometric accuracy are concerned in a three-fold way, involving the 2000 m block only. First of all, the original camera calibration is assessed in terms of geometric accuracy; together with the traditionally used multi-ray measurements, the single model ones are also considered, allowing us to perform deeper analysis. Further, camera self-calibration is performed and the newly obtained parameters are compared with the old ones. Finally, the considered block is assessed again, with the new calibration, in order to quantify the accuracy gain.

1 Introduzione

L'utilizzo di immagini aeree acquisite da sensori digitali lineari, come la Leica ADS40, è tuttora un argomento di forte interesse scientifico. Temi quali il modello matematico di camera, la calibrazione della camera, la stabilità nel tempo della calibrazione, i modelli di traiettoria e le accuratezze ottenibili, necessitano tuttora approfonditi studi su di un'ampia casistica. La quasi totalità delle letterature riguardante le camere aeree a linee evidenzia la necessità della auto-calibrazione della camera e ciò indica evidentemente la presenza di variazioni della geometria interna che devono essere stimate per ogni volo. Non vi sono tuttavia studi che quantifichino tali variazioni e ne analizzino gli effetti. Il Laboratorio di Geomatica dell'Università di Pavia ha iniziato, negli ultimi anni, un studio volto ad esaminare in dettaglio tali aspetti. In bibliografia si trovano riferimenti ad altri articoli correlati pubblicati dagli autori, talvolta anche in collaborazione con il gruppo dell'ETH di Zurigo.

Nel seguito, vengono descritti il data-set utilizzato (Sezione 2), una sintesi dei risultati pubblicati in precedenti lavori che hanno costituito il punto di partenza della presenta nota (Sezione 3), le analisi effettuate con un approccio a modello singolo (Sezione 4), il confronto effettuato sui parametri di calibrazione della camera prima e dopo la procedura di auto-calibrazione (Sezione 5), la valutazione delle accuratezze ottenibili utilizzando i nuovi parametri di calibrazione (Sezione 6).

2 Il data-set utilizzato

Nell'agosto del 2004 sono stati acquisiti sul test-site di Pavia tre blocchi fotogrammetrici con una camera Leica ADS0 di prima generazione. I blocchi sono caratterizzati dalle quote di 2000, 400 e 6000 metri, corrispondenti a valori di GSD (*Ground Sample Distance*) di circa 20, 4 e 60 cm.

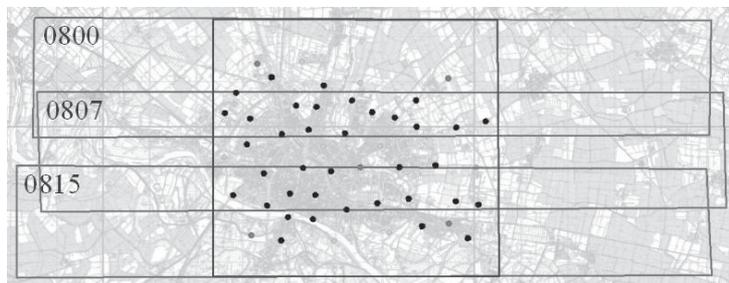


Figura 1- Struttura del blocco a 2000 m e distribuzione dei punti di controllo

Nella presente nota, viene preso in considerazione solo il blocco a 2000 m. In Figura 1 è mostrata la struttura del blocco considerato, costituito da tre strisciate Est-Ovest.

Il test-site di Pavia dispone, tra gli altri elementi, di 50 punti di controllo artificiali, aventi lato di 60 cm, appositamente creati per la ricerca su ADS0, la cui disposizione è riportata in figura. I diversi colori indicano l'uso che

di tali punti viene fatto nelle elaborazioni: i quattro rossi agli angoli insieme ai verdi costituiscono i 12 GCP usati nella triangolazione aerea; tutti gli altri punti vengono usati unicamente come CKP (*Check Point*) indipendenti. Ancora, il rettangolo blu in Figura 1 rappresenta l'area sulla quale viene calcolata la triangolazione aerea.

I file di calibrazione della camera, che descrivono la geometria interna del dispositivo, e i dati relativi ai *misalignment* fra il corpo della camera e il sensore IMU sono stati forniti da CGR, che a sua volta li ha avuti da Leica Geosytems: la data di calibrazione è 1 marzo 2004.

3 Studio dell'accuratezza con un approccio multi-raggio

La presente sezione sintetizza risultati già pubblicati, nei quali il data-set è stato validato adottando il classico approccio ad intersezione multipla, in cui le coordinate oggetto di un CKP sono determinate mediante l'intersezione di tutti i raggi originati da quel punto. Sono stati creati appositi moduli Matlab per effettuare l'intersezione multipla in avanti e analizzare le accuratèzze mediante confronto tra le coordinate ottenute per via fotogrammetrica e quelle misurate con GPS.

Vengono presi in considerazione tre scenari: **DG**, nel quale vengono utilizzati direttamente i parametri di orientamento esterno determinati dal sistema GPS-IMU; **BASIC**, nel quale gli orientamenti diretti, congiuntamente alle osservazione sui punti di legame e di appoggio, sono inseriti come osservazioni all'interno della triangolazione aerea; **SELF**, nel quale, durante la

triangolazione aerea, vengono ristimati alcuni elementi aggiuntivi: i *misalignment* fra camera e IMU, i parametri relativi alla auto-calibrazione e quelli relativi ad una trasformazione di datum a 7 parametri. Maggiori dettagli possono essere trovati in (Casella et al., 2007a e 2007c).

Scenario	GCPs/ CKPs	Comp.	Media [m]	STD [m]	RMSE [m]
DG	0 / 46	x	0.015	0.119	0.120
		y	-0.007	0.093	0.093
		z	-0.558	0.319	0.643
BASIC	12 / 34	x	0.043	0.212	0.217
		y	-0.011	0.215	0.215
		z	-0.258	0.114	0.282
SELF	12 / 34	x	-0.009	0.055	0.056
		y	-0.010	0.036	0.037
		z	-0.008	0.062	0.062

In Tabella 1 è riportata una sintesi dei risultati. Il

Tabella 1- Validazione del blocco a 2000 m in un approccio multi-raggio

DG presenta forti sistematismi in Z, la cui fonte è spesso stata imputata, durante precedenti discussioni con altri ricercatori ed esperti, ad un errore nella soluzione GPS. Le componenti

planimetriche appaiono invece prive di *bias* anche se, come verrà meglio esposto nel paragrafo successivo, esse nascondano alcuni fenomeni più complessi. Lo scenario **BASIC** mostra RMSE tutti al di sotto del pixel; tale accuratezza si riduce ulteriormente (circa 1/3 di pixel) quando si passa allo scenario **SELF**. Dettagliati commenti possono essere trovati nella letteratura riportata in bibliografia.

4 Validazione con un approccio a modello singolo

Nel paragrafo precedente sono state analizzate le accuratezze determinate attraverso un approccio ad intersezione multipla; nella presente sezione saranno invece analizzate le accuratezze attraverso un approccio a modello singolo nel quale ogni CKP viene determinato più volte utilizzando due soli raggi omologhi alla volta. *I risultati riportati riguardano unicamente lo scenario DG.*

L'analisi è stata condotta utilizzando appositi programmi Matlab capaci di restituire ciascun punto di controllo in ognuno dei modelli in cui esso è visibile; le coordinate ottenute per via fotogrammetrica sono state comparate con quelle rilevate con GPS e gli scarti analizzati. Seguendo l'approccio descritto, l'insieme delle misure effettuate è davvero grande e comprende modelli longitudinali (*along-track*) e modelli trasversali (*across-track*); per questo motivo sono stati creati appositi moduli Matlab che consentono di estrarre dall'insieme complessivo i diversi sottoinsiemi che si intendono analizzare.

Per motivi di spazio, nella nota sono riportate unicamente le analisi relative all'intero blocco; risultati più dettagliati, per singola strisciata o modello, possono essere trovati in (Casella et al., 2008). In Tabella 2 sono riassunte le accuratezze per tutti i modelli presenti (**All**), per i soli modelli

Modelli	N. CKPs	N. Obs.	Comp.	Media [m]	STD [m]	RMSE [m]
All	46	426	x	0.044	0.171	0.176
			y	-0.008	0.255	0.255
			z	-0.473	0.476	0.671
Along	46	207	x	0.024	0.166	0.168
			y	0.002	0.354	0.354
			z	-0.865	0.162	0.880
Across	26	219	x	0.064	0.173	0.184
			y	-0.018	0.091	0.093
			z	-0.103	0.365	0.379

Tabella 2- Validazione del blocco a 2000 m in un approccio a modello singolo

longitudinali (**Along**) e per i soli modelli trasversali (**Across**).

Nel breve spazio disponibile, evidenziamo anzitutto che il forte errore sistematico in Z per la configurazione DG nella Tabella 1 (-0.56 m), non viene confermato dalla Tabella 2, in cui il sottoinsieme Across è pressoché libero da sistematismi in altezza (-0.10 m), mentre il sottoinsieme Along evidenzia un valore

molto grande (-0.86 m). Questa osservazione smentisce evidentemente la presenza di un semplice bias uniforme nella soluzione GPS, che invece la Tabella 1 sembrerebbe evidenziare.

Esaminando la sola Tabella 2, i sottoinsiemi Along ed Across, hanno comportamenti diversi non solo per l'altimetria, come già evidenziato, ma anche per la planimetria, e in particolare per la componente Y che viene analizzata nella prossima sezione.

4.1 Ulteriore analisi sulla componente Y

Come evidenziato nella precedente Sezione, la componente Y presenta valori elevati della deviazioni standard nei modelli longitudinali, cosa che non si verifica per quelli trasversali. In Figura 2 sono riportate, a titolo di esempio, i residui per la strisciata 807: le linee verdi rappresentano gli scarti planimetrici e le linee blu quelli altimetrici. La presenza di tre linee verdi è dovuta al fatto che le coordinate di ogni CKP, in un approccio a modello singolo, sono determinate

utilizzando tre modelli (*nadir-backward*, *nadir-forward* e *backward-forward*). E' facilmente osservabile come il residuo sulla componente Y aumenti all'aumentare della distanza dall'asse della strisciata e come tali residui abbiano segno opposto a seconda che ci si trovi nella parte alta o bassa dell'immagine.

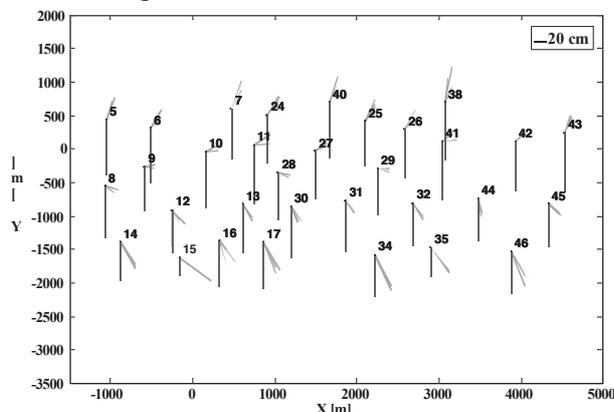


Figura 2. Residui sui modelli longitudinali della strisciata 807

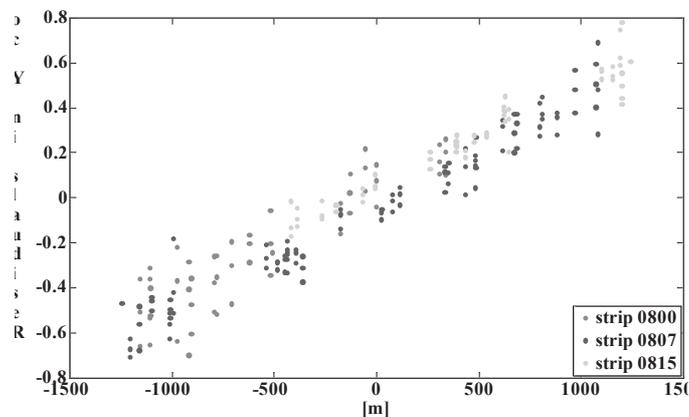
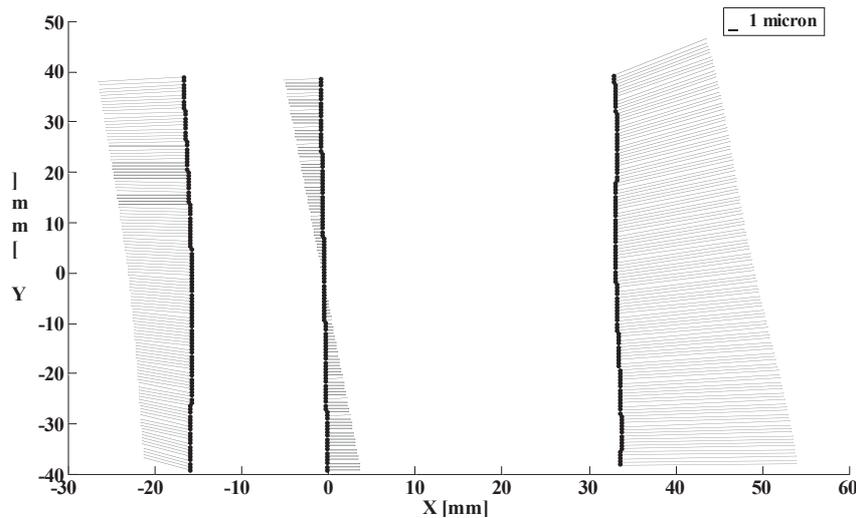


Figura 3. Residui sulla componente Y in funzione della distanza dall'asse della strisciata

Il fenomeno può essere efficacemente illustrato anche utilizzando una rappresentazione come quella mostrata in Figura 3. Ogni punto rappresenta una determinazione di un CKP (a colori diversi sono associate strisciate diverse); in ascissa è riportata la distanza del CKP dall'asse della strisciata; in ordinata sono indicati i residui per la componente Y. L'osservazione delle nuvole di punti mostra chiaramente una dipendenza lineare diretta tra il valore del residuo e la distanza dall'asse della strisciata.

5 Le nuove calibrazioni della camera

Il modello di camera adottato da Orima è basato sulle cosiddette *lookup-table*, contenenti le coordinate-immagine di ogni elemento dei sensori CCD, necessarie per convertire le coordinate-pixel degli oggetti collimati sulle immagini in coordinate-immagine, che possono essere inserite nelle equazioni di collinearità. Il contenuto delle *lookup-table* è determinato in modo da annullare le distorsioni della camera: le coordinate-immagine ottenute per la via descritta sono virtualmente prive di distorsioni. Si può dire che le *lookup-table* quantificano la geometria interna della camera. Le coordinate inserite nelle *lookup-table* vengono calcolate con una calibrazione in volo (*in-flight calibration*): si adotta un modello matematico delle varie distorsioni presenti, se ne stimano i parametri e successivamente si valuta il modello nel centro di ogni elemento CCD. Nel caso di Orima, il modello adottato è quello di Brown (Brown, 1976) a 21 parametri; originariamente definito per le camera analogiche a largo formato, è stato adattato ed implementato anche per le camere a linee.



E' possibile che la geometria interna di una camera cambi successivamente alla calibrazione, a causa delle sollecitazioni meccaniche e delle variazioni termiche. Consapevoli di questa possibilità, abbiamo deciso di eseguire una nuova calibrazione della camera, proprio sul blocco acquisito su Pavia, determinando una seconda versione delle lookup-table. In Figura 4

Figura 4. Confronto tra la nuova calibrazione e quella originaria

è riportato il confronto tra i due set di dati: la posizione assegnata sul piano focale agli elementi CCD nelle tabelle originarie è indicata in nero, mentre le linee rosse mostrano invece il contenuto delle nuove tabelle, in termini di variazioni. La loro entità è significativa e, in alcuni casi, risulta essere superiore ai 21 micron, corrispondenti a circa 3 pixel. Maggiori dettagli, relative alle analisi condotte anche sulle altre quote di volo, possono essere trovati in (Casella et al., 2008).

6 Validazione delle accuratezze del blocco utilizzando la nuova calibrazione

Nel presente paragrafo viene nuovamente effettuata la validazione del blocco a 2000 m utilizzando i nuovi file di calibrazione. Per omogeneità con la Sezione 3, e con altre pubblicazioni precedenti, l'analisi viene condotta utilizzando un approccio multi-raggio, relativamente agli scenari DG e BASIC.

Scenario	GCPs/ CKPs	Comp.	Mean [m]	STD [m]	RMSE [m]
		x	0.015	0.121	0.122
DG	0 / 46	y	0.004	0.079	0.080
		z	0.057	0.125	0.138
		x	-0.017	0.057	0.059
BASIC	12 / 34	y	-0.001	0.033	0.033
		z	0.051	0.079	0.094

Tabella 3- Validazione del blocco a 2000 m in un multi-raggio, utilizzando i nuovi file di calibrazione

In Tabella 3 sono mostrate le accuratezze ottenute con i nuovi file di calibrazione; esse possono essere direttamente comparate con quelle riportate in Tabella 1, ottenute utilizzando i file originari. Complessivamente, i nuovi file di calibrazione permettono di ottenere accuratezze molto buone anche utilizzando i parametri di orientamento diretti (scenario DG); in particolare, è

evidente come l'errore sistematico in quota scompaia, passando da -56 cm a 6 cm. Lo scenario BASIC mostra anch'esso dei miglioramenti: l'RMSE planimetrico è inferiore al terzo di GSD e coincide sostanzialmente con quello ottenuto nello scenario SELF utilizzando la calibrazione originaria (Tabella 1); l'RMSE altimetrico è inferiore al mezzo GSD ma, ciononostante, maggiore che nel vecchio SELF (nel quale veniva effettuata anche una ristima dei *misalignment* ed un cambio di datum). In conclusione, l'assunzione nei nuovi file della camera determina un significativo incremento delle accuratezze ottenibili.

7 Conclusioni

Nella presente nota è stata affrontata un'analisi approfondita della camera Leica ADS40, utilizzando un data-set acquisito sul test-site di Pavia nell'agosto del 2004; in particolare è stato esaminato il blocco a 2000 metri.

Il blocco è stato preliminarmente validato utilizzando i file di calibrazione originari forniti dalla ditta, risalenti al marzo del 2004. La validazione è stata condotta sia seguendo un approccio a multi-raggio che a modello singolo. Il confronto tra questi due approcci ha permesso di individuare alcuni fenomeni altrimenti nascosti, come il diverso comportamento dei modelli longitudinali e trasversali. Successivamente è stata effettuata una nuova calibrazione della camera, i cui file sono stati comparati con quelli originali: il confronto evidenzia come la geometria della camera si sia significativamente modificata tra marzo e agosto 2004. Infine, utilizzando la nuova calibrazione, è stato nuovamente validato il blocco in esame: l'accuratezza risulta notevolmente migliorata anche quando vengono usati i parametri di orientamento diretto (scenario DG).

Si ringrazia la Compagnia Generale Riprearee di Parma per aver gentilmente messo a disposizione le immagini utilizzate per lo studio.

8 Bibliografia

- Brown D.C. (1976). The Bundle Adjustment – Process and Prospects. Invited Paper to the 13th Congress of the ISPRS Comm. III, Helsinki.
- Casella V., Franzini M., Kocaman S., Gruen A. (2007a). Triangulation and Self-calibration of the ADS40 Imagery: A Case Study over the Pavia Test Site. In: 8th Conference on “Optical 3D Measurement Techniques”, Zurich, Switzerland, 9-12 July, pubblicato su DVD.
- Casella V., Franzini M., Padova B. (2007b). Accuracy assessment of ADS40 imagery as a function of flying height and of aerial triangulation strategies. In: 5th MMT Symposium, 29-31 May 2007, Padova, Italy, pubblicato su DVD.
- Casella V., Franzini M., Padova B. (2007c). Valutazione dell'accuratezza delle immagini ADS40 in funzione del modello di camera e della quota di volo. In: XI Conferenza ASITA, Torino, Italy, pubblicato su DVD.
- Kocaman S., Casella V., Franzini M., Gruen A. (2007a). The triangulation accuracy of ADS40 imagery over the Pavia Testsite. In: The Remote Sensing and Photogrammetry Society Annual Conference, Newcastle upon Tyne, Great Britain, pubblicato su DVD.
- Kocaman S., Gruen A., Casella V., Franzini M. (2007b). Accuracy assessment of ADS40 imagery over the Pavia Testsite In: The 28th Asian Conference on Remote Sensing, Kuala Lumpur, Malaysia, pubblicato su DVD.
- Casella V., Franzini M. (2008). Analysis of camera systematic errors in an ADS40 dataset. In: EuroCOW Workshop, Castelldefels, Spain, pubblicato su DVD.
- Kocaman S., Gruen A., Casella V., Franzini M. (2008). Accuracy Assessment of ADS40 Imagery Over The Pavia Testsite. In: Asian Journal of Geoinformatics, Vol. 8, No. 1.