

Sistema di restituzione fotogrammetrica assistita da nuvola di punti

Aldo Facchin

(Geosoft s.r.l.); aldo.facchin@geosoft.it

Abstract

Scopo di questo articolo è presentare un metodo innovativo (brevettato e integrato nel software di fotogrammetria digitale Geosoft GDS) per la restituzione fotogrammetrica che utilizza le nuvole di punti in abbinamento alle coppie di immagini per determinare la quota del cursore stereoscopico.

Come è ben noto, un aspetto critico della fotogrammetria è l'accuratezza con la quale viene determinata la quota, che dipende fondamentalmente dal rapporto tra base di presa e quota di volo relativa, oltre che dalla capacità dell'operatore di percepire correttamente la profondità (nella collimazione manuale) o dall'applicabilità di algoritmi di correlazione di immagine (nella collimazione assistita).

Invece la tecnica di rilievo LiDAR ha il vantaggio di avere precisione in quota che dipende quasi esclusivamente dalla distanza tra il sensore e la superficie riflettente (oltre che dalle caratteristiche del sensore) ed è tipicamente migliore (a parità di quota di volo) di quella che si può ottenere fotogrammetricamente. D'altro canto le nuvole di punti, sia per la loro densità che per la loro natura stessa di elemento discreto, non si prestano molto bene nella interpretazione del dato e nella definizione planimetrica di punti notevoli (es. spigoli).

Da queste considerazioni si è pensato di utilizzare entrambi i metodi, fotogrammetrico e laser. Il primo viene impiegato per l'interpretazione e il posizionamento planimetrico, mentre il secondo per "la messa in quota" del cursore.

In pratica, dal punto di vista del software, l'operatore dispone di due finestre stereoscopiche separate. Nella prima, quella principale, si osservano stereoscopicamente le immagini e si controlla il movimento dei cursori, mentre nella seconda, collegata dinamicamente alla prima, si vede il cursore muoversi "al volo" sulla nuvola di punti dalla quale viene acquisita automaticamente la quota, secondo vari criteri e algoritmi di interpolazione e cattura impostabili.

Con questa tecnica, in cui la componente umana di "percezione della quota" ha solo funzione di controllo e non di misura, si ottiene contemporaneamente sia un'acquisizione più precisa e affidabile che più veloce e speditiva.

The purpose of this article is to present an innovative method (patented and integrated into Geosoft software GDS) for the stereoplotting which using the point clouds in conjunction with pairs of images to determine the height position of the stereoscopic cursor.

As is well known, a critical aspect of photogrammetry is the accuracy with which it is determined the height of the points, which depends crucially on flight geometry (base lengths and flight height) and from the operator's ability to perceive correctly the depth (in the manual collimation) or the applicability of the correlation algorithms image (in assisted collimation).

Instead, LiDAR technique has the advantage of height precision depends almost exclusively by the distance between the sensor and the reflecting surface (and by the characteristics of the sensor) and is typically better (for the same flight height) of what can be achieved by photogrammetry. On the other hand, the clouds of points for both their density which by their very nature of discrete elements, are not the best dataset type for the interpretation of the object types and for the precise collimation of remarkable points (for example, buildings corners).

From these considerations it was decided to use both methods, photogrammetry and lidar. The former is used for the interpretation and planimetric positioning, while the second for adjusting cursor height.

In practice, in terms of software, the operator has two separated stereoscopic windows. In the first, the main one, the operator observe stereoscopically the images and control the movement of cursors, while in the second, connected dynamically to the first, he see the cursor move on the fly on the cloud of points from which the height positions is acquired and corrected automatically, according to various criteria and configurable interpolation algorithms.

With this technique, in which the human component of "perception of the height" has only a quality control function and not a direct impact on the measures, we obtain at the same time a more accurate and a faster stereoscopic map compilation.

Introduzione

Ormai da tempo la tecnica LiDAR (Light Detection And Ranging), basata sull'impiego di sensori *laser scanner* è impiegata sempre più di frequente in molti dei campi di applicazione che sono stati tipicamente ad appannaggio della fotogrammetria (industriale, terrestre e aerea), tuttavia spesso l'approccio è stato spesso di tipo "competitivo" e non "collaborativo", come se una tecnica escludesse l'altra.

Va riconosciuto che i dispositivi basati su "laser scanner" sono spesso corredati di camere digitali per l'acquisizione di immagini, ma il più delle volte queste immagini sono considerate solo di ausilio alla nuvola di punti per attività secondarie come, ad esempio, la colorazione degli stessi o al massimo per la produzione di ortofoto.

Le caratteristiche del dato LiDAR hanno anche in parte modificato la tipologia di prodotti cartografici derivabili, cercando di spostare l'offerta verso prodotti che fossero il più possibile di derivazione automatica (classificazione, segmentazione, ecc.) quasi ad ignorare che spesso, ancora oggi, per rappresentare adeguatamente un territorio all'intero di un sistema di supporto alle decisioni, quale dovrebbe essere un GIS, è necessario modellare i dati sotto forma di normali *features* (es. edifici, strade, ponti, ecc.).

In altre parole è ancora (e lo sarà ancora per molto) necessario "cartografare" almeno alcune categorie di oggetti.

Le sole immagini aeree o da satellite non possono essere considerate un prodotto finito, ed altrettanto non possono esserlo le nuvole di punti (anche classificate) acquisite con questi nuovi sensori laser.

D'altro canto l'introduzione di nuove camere aeree digitali *a frame* di formato rettangolare (le più diffuse sono la DMC della Z/I e la UltraCam della Vexcel, non consideriamo in questo lavoro i sensori *pushbroom* tipo Leica ADS40 perchè la loro diffusione sembra minore nel mercato nazionale nelle attività di restituzione, anche se la tecnica proposta è applicabile anche a questi sensori), con il lato più corto verso la direzione di volo, ha portato ad una criticità nella geometria dei modelli stereoscopici che vengono formati.

In altre parole, i rapporti B/H (base di presa/quota di volo relativa) sono ora molto più sfavorevoli rispetto al passato, quando si utilizzavano le immagini provenienti dal formato 23 x 23 cm con la classica focale da 150 mm e di conseguenza la qualità altimetrica dei prodotti derivabili può diventare più scadente (a parità di altri fattori di errore).

Per contro, a parità di quota di volo, un rilievo LiDAR offre una nuvola di punti di elevata qualità altimetrica, ma di scadente qualità planimetrica e di densità insufficiente a determinare, ad esempio, lo spigolo di un edificio o a riconoscere certe tipologie di oggetti (rispetto a quanto è possibile fare con una immagine aerea).

Questo lavoro scaturisce quindi dalle seguenti considerazioni :

- è ancora necessario rappresentare il territorio per oggetti ("cartografare" o meglio "modellare")
- la tecnica LiDAR non è da sola una alternativa alla tecnica fotogrammetrica (e viceversa)

- la restituzione fotogrammetrica aerea eseguita con le nuove camere digitali a *frame* presenta una criticità nella componente altimetrica
- le immagini aeree consentono un agevole riconoscimento degli oggetti ed un preciso puntamento planimetrico
- le nuvole di punti hanno una ottima precisione altimetrica e sono facilmente classificabili almeno nelle 3 principali categorie (terreno, vegetazione, edificato).

Considerazioni sulle precisioni di collimazione da fotogrammetria e da LiDAR

Per quanto riguarda la fotogrammetria aerea, abbiamo calcolato **il minimo dislivello apprezzabile in stereoscopia**, corrispondente allo spostamento di 1 pixel in una delle due immagini del modello stereoscopico. Tale quantità altimetrica è stimabile con un semplice calcolo che tenga conto del GSD (*ground sample distance*, ovvero dimensione del pixel a terra, che a sua volta dipende dalla focale, dalla risoluzione del sensore e dalla quota di volo relativa) e della base di presa, ovvero del ricoprimento longitudinale.

Sotto le seguenti ipotesi :

- ricoprimento : 65%
- precisione di collimazione : 1 pixel
- quota di volo relativa : 2000 metri

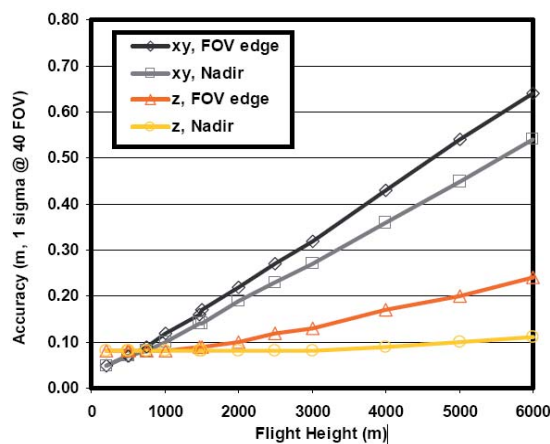
si ottengono i seguenti risultati :

Camera	Focale	Formato (pixel)	GSD	DZ
DMC	120 mm	7680 x 13824	0.20	0.74
UltraCam D	100 mm	7500 x 11500	0.18	0.76
UltraCam X	100 mm	9420 x 14430	0.14	0.61
Camera analogica (*)	150 mm	16400 x 16400	0.19	0.36

(*) considerando la scansione a 14 micron per pixel

Per quanto riguarda il LiDAR, si deve considerare invece la precisione altimetrica ottenibile, che dipende tipicamente dalle caratteristiche del sensore laser impiegato e dalla riflettività del materiale a terra (erba, asfalto, cemento, vegetazione, ecc.) e quindi è desumibile, per valori standard di riflettività, dal *datasheet* della casa costruttrice.

A titolo di esempio si riporta un grafico relativo alla precisione del sensore Leica ALS50-II :



Come si può notare, alla quota relativa di 2000 metri, mentre la precisione planimetrica è già oltre i 20 cm, quella altimetrica è compresa tra 8 e 10 cm.

Dal punto di visto planimetrico però, anche se la precisione di un singolo punto è di 20 cm, la densità dei punti della nuvola rappresenta un grosso problema.

Se, per ipotesi, avessimo una densità di 4 pt/mq, ciò significherebbe avere a terra un punto ogni 50 cm circa. Il fatto che il singolo punto sia preciso non è di grandissimo aiuto se poi tra punto e punto la distanza è molto elevata.

E' chiaro quindi che chiunque vorrebbe un sistema che permetta di acquisire la planimetria dalle immagini aeree e la quota dalle nuvole di punti, ed è quello che è stato fatto con questo lavoro.

Descrizione del sistema di restituzione brevettato (interfaccia e metodo di funzionamento)

Il metodo di restituzione descritto nel presente articolo prevede di visualizzare in maniera accoppiata i modelli stereoscopici formati dalle immagini aeree e le nuvole di punti prodotte dal laser scanner, dividendo lo schermo in due parti, come illustrato nella figura seguente :



La parte sinistra rappresenta la vista stereoscopica con le immagini aeree e la marca di collimazione (anch'essa stereoscopica), l'operatore muove il cursore per spostarla sul particolare da acquisire.

In questa finestra è agevole riconoscere gli oggetti (si usano immagini aeree) e puntare con precisione i punti notevoli (come ad esempio gli spigoli dei fabbricati).

Nella parte destra vi è la nuvola di punti LiDAR.

Anche nella nuvola di punti viene visualizzata la marca di collimazione (le due marche di muovono allo stesso modo e rappresentano la stessa posizione spaziale).

La nuvola di punti può essere ruotata intorno agli assi per percepire meglio la scena, e può essere visualizzata stereoscopicamente applicando un valore di parallasse a piacere.

Nel caso i punti siano classificati (ad esempio nelle tre classi di base : terreno, edificato, vegetazione) è possibile colorare, attivare e disattivare le singole classi in modo da distinguere i punti appartenenti all'una o all'altra classe.

L'operatore può attivare quindi una funzione di "Z Assist" (cioè di supporto alla messa in quota della marca di collimazione) che agisce correggendo di continuo la Z del cursore in base alle quote dei punti della nuvola che si trovano nelle vicinanze.

In altre parole, muovendosi in planimetria nella finestra stereoscopica "fotogrammetrica" il sistema corregge la quota della marca di collimazione continuamente, calcolandola in base ai punti della

nuvola di punti, secondo vari algoritmi impostabili (punto più vicino in 2D, punto più vicino in 3D, media pesata dei punti vicini, piano locale, ecc.).

L'operatore quindi usa la scena stereoscopica "fotogrammetrica" per puntare gli oggetti planimetricamente e per capire di quali oggetti si tratta (fotointerpretazione), che sono due attività difficili da svolgere con la sola nuvola di punti, ed il sistema preleva la componente altimetrica dal dato LiDAR (con una precisione non ottenibile fotogrammetricamente a parità di quota di volo).

Se i punti della nuvola sono classificati, l'algoritmo di estrazione della Z considera solo le classi attive, permettendo quindi all'operatore di escludere ad esempio i punti del terreno se si vuole restituire un tetto di un fabbricato.

In entrambe le finestre è possibile sovrapporre i vettori tracciati (cartografia) per il controllo di qualità (congruenza e completezza).

Dal punto di vista altimetrico, all'operatore stesso è richiesto solo di controllare la bontà del risultato di questo processo automatico per evitare errori accidentali.

Questo controllo è estremamente agevole in presenza di visione stereoscopica, in quanto può percepire che la marca di collimazione "salta" in quota e non rimane adagiata al terreno.

Esistono infatti nel mercato diverse soluzioni operative che permettono la digitalizzazione di vettori dalle immagini (fotogrammi originali oppure ortofoto) in monoscopica prelevando la componente altimetrica dalle nuvole di punti o da una mesh, ma la mancanza di visione stereoscopica non permette all'operatore di accorgersi di un errore accidentale, soprattutto in presenza di forti differenze di quota.

Si immagini allo scopo di acquisire il bordo di un viadotto : un piccolissimo errore di puntamento potrebbe fare acquisire la quota dalla vallata sottostante piuttosto che dal ciglio strada. Solo la visione stereoscopica della posizione in quota farebbe immediatamente percepire la differenza.

Attualmente il sistema è disponibile all'interno della suite di moduli per la fotogrammetria digitale Geosoft GDS e come estensione di ArcGIS di ESRI (ArcGDS).

Problemi aperti

Anche se sono ampiamente disponibili velivoli che consentono l'installazione di camere digitali aeree per fotogrammetria e laser scanner, è ancora frequente il ricorso al doppio volo.

Questo comporta maggiori costi e anche maggiori errori, in quanto si deve provvedere al processamento di due traiettorie GPS/INS, con possibili problemi di congruenza.

Tuttavia nel caso di unico volo con entrambi i sensori, va affrontato dal punto di vista progettuale il problema della congruenza tra il FOV (*field of view* o angolo di apertura trasversale) della camera digitale e del laser scanner impiegato, altrimenti ci troveremmo con zone di territorio non coperte dall'uno o dall'altro sensore.

A titolo di esempio si riportano le caratteristiche dei sensori più diffusi :

Sensore	Tipo	FOV trasversale (max)
DMC (Intergraph Z/I Imaging)	Camera	61°
UltraCam D (Vexcel)	Camera	55°
UltraCam X (Vexcel)	Camera	61°
ADS40 (Leica GeoSystems)	Camera	64°
ALS50-II (Leica GeoSystems)	Laser Scanner	75°
ALTM Gemini 167 (Optech)	Laser Scanner	50°
LMS-Q560, LMS-Q680 (Riegl)	Laser Scanner	60°

Da questa tabella si nota che i sensori più diffusi in ambito *laser scanner* e in ambito *aerial camera* sono abbastanza compatibili in termini di FOV.

Sviluppi futuri

Esistono diversi margini di miglioramento del metodo qui proposto, soprattutto nel settore dell'automazione nel tracciamento e nella strutturazione di alcuni tipi di oggetti (come ad esempio i corpi di fabbrica), nel riconoscimento automatico, negli algoritmi di interpolazione della quota (outlier detection, filtraggio, smoothing, ecc.), nella diagnostica di blocchi di punti errati (si pensi ad esempio ai veicoli lungo un'autostrada che "sporcano" la nuvola di punti).

Aspetti positivi e negativi di questa tecnica (rispetto al metodo fotogrammetrico classico)

Gli aspetti positivi sono fondamentalmente due :

- è un metodo di restituzione più preciso (non si riuscirebbe ad ottenere uguale precisione altimetrica senza i dati LiDAR)
- è un metodo di restituzione più rapido (l'operatore non deve mettersi in quota con cura in ogni punto ma solo controllare che non ci siano errori accidentali)

Ci sono poi una serie di altri benefici minori come la possibilità di istruire più facilmente il personale alla collimazione stereoscopica, una migliore fruizione delle nuvole di punti, una soluzione al problema dell'accuratezza altimetrica ottenibile con le nuove camere digitali aeree *a frame*, una spinta alla diffusione dei rilievi laser scanner, ecc.

L'ultimo aspetto citato può essere considerato anche come un aspetto negativo, in quanto questa tecnica necessita anche del dato LiDAR e quindi potrebbe essere antieconomica, tuttavia pensiamo che ogni stimolo alla diffusione di un tipo di dato come il dato LiDAR sia positivo sia per le Committenti (in una ottica di controllo e pianificazione del territorio) sia per il mercato, specie in un approccio "collaborativo" piuttosto che "competitivo" come proposto da questa tecnica.

Conclusioni

Con questo lavoro si è voluto provare ad applicare un approccio "collaborativo" e non "competitivo" nell'impiego di fotogrammetria aerea e lidar allo scopo di consentire agli operatori di ottenere prodotti qualitativamente sempre migliori, pur nella ricerca di metodi di restituzione sempre più speditivi.

Le modalità di implementazione nel software e l'interfaccia utente realizzata hanno permesso una agevole introduzione nei processi produttivi delle aziende, senza che questi venissero stravolti o eccessivamente modificati dall'introduzione di un nuovo tipo di dati (la nuvola di punti prodotta dal laser scanner). La minor abilità richiesta nella "messa in quota" della marca fiduciale nell'attività della restituzione fotogrammetrica (senza che ciò abbia ricadute nella qualità del prodotto cartografico ottenuto) agevola le attività di affiancamento e formazione di nuovo personale, con ricadute positive per le aziende stesse e di conseguenza per il personale addetto.

Bibliografia

Brevetto "Metodo di restituzione fotogrammetrica assistita da nuvola di punti e relativo apparato" depositato da Geosoft srl.

Karl Kraus, *Fotogrammetria (vol.I)*, Libreria Universitaria Levrotto & Bella, Torino (1994)

http://www.ejournal.com/dac_chart.pdf (visitato il 30.09.2009)

http://www.aoc.co.za/resources/pdf/products/airborne_LiDAR/als50-ii.pdf (visitato il 30.09.2009)

<http://www.optech.ca/pdf/Gemini167.pdf> (visitato il 30.09.2009)