

Abstract

Multispectral and Hyperspectral Pansharpening: A Critical Examination and New Developments

Questa attività di tesi è focalizzata allo studio di tecniche di fusione del dato grezzo, cioè, così come acquisito dal sensore a bordo di una piattaforma aerea o satellitare. In questa categoria, una delle applicazioni di maggior rilevanza scientifica, dimostrata negli anni sia dall'organizzazione di un IEEE contest nel 2006 sia dalla moltitudine di articoli pubblicati sulle riviste di settore, è senza dubbio il *Pansharpening*. Sotto questo nome sono classificate tutte le tecniche che cercano di usare un dato pancromatico (immagine con una sola banda spettrale che ricopre lo spettro del visibile e del vicino infrarosso) per aumentare la risoluzione spaziale di un dato spettralmente più ricco ma spazialmente meno preciso. Solitamente si tratta di immagini acquisite da sensori multispettrali (un numero di bande nell'ordine della decina) o iperspettrali (con un numero di bande nell'ordine delle centinaia). Questa tecnica nasce cioè dalla necessità di avere un dato ricco sia da un punto di vista spaziale che spettrale atto all'utilizzo diretto in applicazioni visive come Google Earth o come ingresso di algoritmi di classificazione o di change detection. La fusione di questi dati sopperisce così alla mancanza di immagini con adeguato dettaglio nei due domini, dovuta innanzitutto a vincoli fisici del sensore remoto, ma anche alle problematiche di immagazzinamento del dato sulla piattaforma satellitare e al suo successivo trasferimento a terra.

Un algoritmo di pansharpening è solitamente formato da due fasi: estrazione dei dettagli dall'immagine pancromatica ed iniezione nell'immagine multispettrale a bassa risoluzione. Per quel che concerne la prima fase, l'estrazione dei dettagli dall'immagine pancromatica avviene mediante un filtro con risposta in ampiezza complementare alla Modulation Transfer Function (MTF) del sensore multispettrale. Questa scelta richiede la conoscenza esatta della MTF per ogni singolo sensore. Anche sotto tali ipotesi, i valori di quest'ultima possono cambiare nel tempo, cioè, dalla sua misurazione all'acquisizione dell'immagine. In ogni caso, la MTF dei sensori attualmente disponibili non è nota e solo una misura più o meno accurata del suo valore alla frequenza di Nyquist è fornita dai costruttori. La MTF viene poi ricavata da questa misura e dall'ipotesi di forma Gaussiana. Per ovviare a tutte queste problematiche, un algoritmo di stima della risposta spaziale del sensore remoto (point spread function – PSF) è stato proposto in questa tesi. La sua validazione è stata effettuata sia a scala ridotta, per verificare quantitativamente l'accuratezza del processo di stima, sia a scala piena dove alcune peculiarità dei filtri usati emergono più facilmente (ad esempio, la maggiore degradazione nella direzione along-track, dovuta al contributo di movimento della piattaforma).

In questo lavoro sono state anche evidenziate alcune peculiarità dei modelli di iniezione. In particolare, è stata effettuata la comparazione tra due dei più popolari modelli di iniezione. Il primo è anche chiamato modello basato sull'errore, mentre il secondo è quello basato sul contrasto. I risultati hanno evidenziato sperimentalmente la superiorità del secondo, che era stata

congetturata a partire da considerazioni fisiche. Nel lavoro, inoltre, è stata proposta una derivazione di tale modello di iniezione imponendo l'uguaglianza delle caratteristiche di risoluzione spaziale tra sensore pancromatico e prodotto fuso. Questa condizione rappresenta, infatti, uno dei due principali requisiti comunemente accettati che un algoritmo di fusione deve garantire (protocollo di Wald).

In questa tesi, un'altra interessante problematica è stata discussa e affrontata. Infatti, il pansharpening è solitamente applicato ad immagini multispettrali, mentre sono pochi i tentativi di cercare di fondere immagini provenienti da sensori iperspettrali. In primis, vale la pena sottolineare che, in questo momento, non esistono piattaforme satellitari orbitanti in cui è prevista la disponibilità di entrambi i dati. Quindi, procedure come coregistrazione ed intercalibrazione delle immagini acquisite devono essere svolte come passo preliminare. Le peculiarità di una fusione con immagini iperspettrali, rispetto al caso multispettrale, sono legate ai costi computazionali dovuti al numero elevato di bande da fondere e alla dimensione spettrale di ogni singola banda, che, comparata al caso tradizionale, risulta molto più ridotta. Entrambe queste caratteristiche fanno pensare all'applicazione, prima della fusione, di tecniche di riduzione della dimensionalità che siano capaci di trasformare il dato iniziale in modo che nel nuovo spazio esista una componente che meglio rappresenti il dato pancromatico degradato alla scala dell'immagine multispettrale. Una delle tecniche più comuni per ottenere ciò è l'analisi a componenti principali (PCA). In questo lavoro, è stata proposta una comparazione tra i risultati ottenuti con la classica PCA e quelli che si ottengono con l'applicazione di una analisi a componenti principali non lineari (NLPCA) ottenuta tramite reti neurali auto associative. I risultati evidenziano un miglioramento del prodotto fuso con l'uso della NLPCA (in particolare nel caso in cui l'immagine venga acquisita da piattaforma satellitare, dove l'atmosfera aggiunge ai dati un forte contributo non lineare) ma con tempi di elaborazione superiori, dovuti principalmente alla fase di addestramento della rete neuronale sul dato in questione.

Infine, una buona attività sperimentale richiede una corretta implementazione dei paradigmi di validazione, degli indici di qualità, degli algoritmi di confronto e delle procedure di elaborazione preventiva. A tale scopo, a valle di una collaborazione tra il GIPSA-Lab di Grenoble, le università di Firenze, Siena e Salerno ed il MINES ParisTech è stato sviluppato un toolbox in MATLAB che a partire da un'immagine multispettrale e una pancromatica prevede il confronto di vari algoritmi appartenenti allo stato dell'arte, sfruttando le due principali procedure di validazione e gli indici di valutazione quantitativa più comunemente utilizzati. Questo lavoro rappresenta un grosso passo in avanti verso la standardizzazione di alcuni processi, tra cui quelli validativi, ed a valle della sua diffusione in rete, aiuterà tutti coloro intendano proporre un nuovo algoritmo di pansharpening, agevolando così il processo di miglioramento e la ricerca in questo particolare settore della fusione dati.