



L'HYPERSPECTRAL IMAGING PER VEDERE L'INVISIBILE

Aldo Cavalcoli

Nel contesto visione artificiale, il termine spettro può essere riferito all'intensità della luce in funzione della lunghezza d'onda, e la spettroscopia si può considerare più semplicemente come la scienza della misurazione dell'intensità della luce a diverse lunghezze d'onda. Lo spettro elettromagnetico descrive tutti i tipi di radiazione: onde radio molto lunghe, microonde, radiazione infrarossa, luce visibile, raggi ultravioletti, raggi X, raggi gamma. La maggior parte di queste radiazioni non è visibile all'occhio umano, che si limita alla luce visibile, tra 380nm e 750nm, range che tra l'altro corrisponde alla cattura di immagini con telecamere RGB, Red-Green-Blue, mentre l'Hyperspectral image capture

si estende da 250nm a 15000nm, prendendo parte dell'ultravioletto, la luce visibile e parte dell'infrarosso. L'Hyperspectral Imaging, o HSI, è una tecnica analitica basata sulla spettroscopia, che raccoglie migliaia di immagini a diverse lunghezze d'onda per una stessa area spaziale, permettendo l'analisi degli spettri punto per punto sulla base delle caratteristiche spettrali uniche che possono essere rilevate in diverse posizioni spaziali di un singolo oggetto, da cui, appunto, la possibilità di rilevare proprietà e sostanze che non possono essere altrimenti distinte visivamente.

DIFFERENZE CON TELECAMERA RGB

Una telecamera a colori standard impiega in genere filtri passa-banda rossi, verdi e blu applicati direttamente sul sensore di immagini

per formare un'immagine a colori. Semplificando, un terzo dei pixel del sensore come verde filtrato, un terzo blu e un terzo rosso, e l'interpolazione software dei pixel RGB separati viene utilizzata per ricreare un'immagine a colori full frame. Le informazioni spettrali contenute in un'immagine a colori sono limitate alla quantità di luce visibile che passa attraverso i filtri RGB, per cui non si tratta di dati spettrali in sé, ma di un'immagine correlata al colore dell'oggetto che si potrebbe percepire guardandolo direttamente. In altri termini, l'occhio umano è senz'altro in grado di eseguire una forma di analisi spettrale, pur limitata alle bande relative ai colori. Le telecamere iperspettrali, invece, utilizzano sensori spettrali multicanale che possono catturare simultaneamente dati spettrali in centinaia di bande, fornendo informazioni spet-

trali più ricche per l'identificazione di sostanze e materiali. In dettaglio, l'Hyperspectral Imaging prevede l'utilizzo di uno spettrometro di imaging, che è poi la telecamera iperspettrale, che cattura la luce di una scena, separata nelle sue singole lunghezze d'onda, fornendo un'immagine bidimensionale e registrando contemporaneamente le informazioni spettrali di ogni pixel.

IL 3D HYPERSPECTRAL CUBE

Il risultato è un'immagine in cui ogni pixel rappresenta uno spettro unico, che può essere paragonato a un'impronta digitale: dato che ogni materiale o sostanza reagisce alla luce in modo diverso, anche le sue firme spettrali sono diverse, e proprio come le impronte digitali possono essere utilizzate per identificare una persona, gli spettri

L'IMAGING IPERSPETTRALE È UNA TECNICA NON INVASIVA E NON DISTRUTTIVA CON CUI INDIVIDUARE O QUANTIFICARE LA CONCENTRAZIONE O PRESENZA DI SOSTANZE E MATERIALI CHE SONO INVISIBILI ALLE COMUNI TELECAMERE O ALL'OCCHIO UMANO

FOTO BOEING

possono identificare e quantificare i materiali in una scena. Combinando i vantaggi dell'imaging digitale e della spettroscopia, i dati raccolti formano il cosiddetto "3D Hyperspectral Cube", cubo iperspettrale tridimensionale, un "image stack" (a strati sovrapposti) dove ciascuna immagine corrisponde a una banda spettrale. La tridimensionalità è data dal fatto che due dimensioni rappresentano l'estensione spaziale e la terza il suo contenuto spettrale.

L'OPZIONE MULTISPETTRALE

Le tecniche di analisi spettrale includono anche l'imaging multispettrale (MSI), diverso dall'iperspettrale. Come differenza principale, se la HSI utilizza intervalli di lunghezze d'onda continui e contigui, per esempio da 400 a 1100nm con incrementi di 1nm, MSI utilizza un sottoinsieme di lunghezze d'onda mirate in posizioni scelte, per esempio da 400 a 1100nm in

incrementi di 20nm. I sensori MSI hanno solitamente tra 3 e 10 diverse misurazioni di banda in ogni pixel, mentre le immagini HSI possono contenere migliaia di bande spettrali più strette, ma contigue, e di conseguenza i sensori HSI contengono molti più dati rispetto ai sensori MSI. Giusto per rendere l'idea, e come analizzare un'area boschiva nel suo insieme piuttosto che le singole specie arboree che la costituiscono. Con MSI si intende quindi un sottoinsieme ridotto di HSI, ma le due tecnologie sono complementari e la scelta è funzione dei requisiti dell'applicazione. Esempificando in ambito agricolo, MSI può essere utilizzato per individuare ammaccature difficili da vedere su frutti come le mele, ma se si vuole un'analisi molto dettagliata del contenuto di grassi degli avocado, allora serve la tecnologia HSI che mette a disposizione uno spettro ottico completo per ogni pixel dell'immagine.

LE TECNICHE HSI

Nella pratica, non esiste una HSI unica ma modalità diverse per catturare le informazioni e generare il 3D Hyperspectral Cube, e sono disponibili differenti telecamere iperspettrali. Per esempio la tecnica Point Scanning (scansione a punti) acquisisce un singolo pixel alla volta, con l'immagine che si costruisce man mano che la telecamera scandisce il campione, e contiene tutte le sue informazioni spettrali: richiede molto tempo per l'acquisizione, ma garantisce una risoluzione spettrale molto elevata. La tecnica Line Scanning (scansione lineare) misura spettri continui, una riga di pixel alla volta, ed è ideale nel controllo qualità industriale. La spettroscopia in trasformata di Fourier (FT) combina un sensore di imaging monocromatico con un interferometro.

La tecnica utilizza l'interferenza della luce per misurare gli spettri: la luce che entra nella totocamera viene divisa in due percorsi ottici all'interno di un interferometro e la trasformata di Fourier dell'interferogramma risultante produce lo spettro della luce in entrata. Queste telecamere sono ideali per applicazioni con bassi livelli di luce. Lo Spectral scanning raccoglie l'intera informazione spaziale per una data lunghezza d'onda, una lunghezza d'onda alla volta: è veloce a livello immagine ma produce i 3D cube lentamente per il tempo necessario a cambiare le lunghezze d'onda. Da citare anche le Hyperspectral fast camera per la cattura di video iperspettrali: hanno risoluzione spettrale e spaziale limitata, sono più simili a quelle multispettrali, ma sono veloci e ideali per l'imaging di oggetti in movimento, come nel caso di un telerilevamento tramite droni.

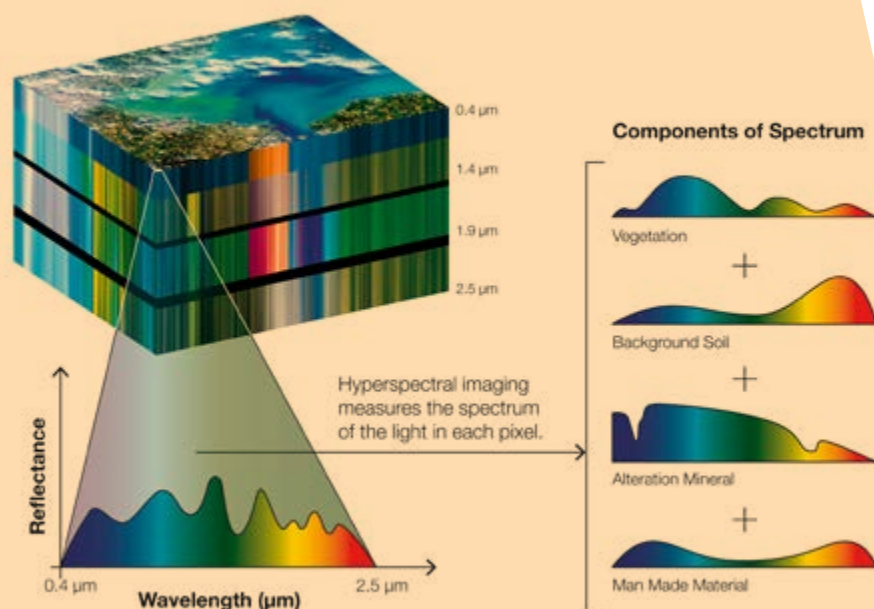
RAPPRESENTARE I DATI

Per la rappresentazione dei dati iperspettrali, i valori misurati da un sensore di imaging iperspettrale sono memorizzati in un file di dati binari utilizzando i formati di codifica BSQ (band sequential, sequenziale a banda), BIP (band-interleaved-by-pixel, interlacciato a banda per pixel), BIL (band-interleaved-by-line, interlacciato a banda per linea). Il file di dati è associato a un file di intestazione che contiene informazioni ausiliarie (metadati) come parametri del sensore, impostazioni di acquisizione, dimensioni spaziali, lunghezze d'onda spettrali e formati di codifica necessari per una corretta rappresentazione dei valori nel file di dati.

I PARAMETRI DELLE TELECAMERE IPERSPETTRALI

L'Intervallo spettrale è uno dei parametri più basilari e critici: sostanze diverse mostrano caratteristiche spettrali uniche in diverse bande spettrali, tal per cui l'intervallo spettrale determina i tipi di sostanze che si possono rilevare e analizzare. Per esempio, in ambito agricolo, per rilevare umidità, contenuto di nutrienti, parassiti e malattie delle colture, va coperto l'intervallo spettrale dalla luce visibile al vicino infrarosso, mentre l'identificazione dei minerali nell'analisi geologica richiede un intervallo spettrale più ampio, includendo bande di luce visibile, vicino infrarosso e infrarosso a onde corte. Alcune telecamere hanno un intervallo spettrale di 400-1000nm che soddisfa la maggior parte delle esigenze di rilevamento, mentre altre per usi specifici possono avere una gamma spettrale più mirata. La risoluzione spettrale

Hyperspectral Imaging Technology



Copyright © 2014 Boeing. All rights reserved.

NEL 2014 L'AZIENDA DI WASHINGTON DC HYSPECIQ, SPECIALIZZATA NELL'IMAGING IPERSPETTRALE E NELL'ANALISI DEI DATI, HA ACQUISTATO UN SISTEMA COMPLETO PER L'HYPERSPETRAL IMAGING DA BOEING, CHE INCLUDE I 502 PHOENIX SMALL SATELLITE

riflette la capacità di una telecamera di distinguere la luce di diverse lunghezze d'onda: se elevata, può distinguere più finemente le differenze nelle caratteristiche spettrali di una sostanza, se bassa alcune caratteristiche spettrali simili potrebbero essere indistinguibili. La risoluzione spaziale determina il minimo dettaglio spaziale che può essere chiaramente rappresentato, da cui la capacità di distinguere la struttura spaziale di un oggetto, stante che nelle applicazioni pratiche oltre alle informazioni spettrali si devono anche comprendere le caratteristiche morfologiche di un oggetto. In

applicazioni industriali, un'elevata risoluzione spaziale ha un ruolo importante nel rilevamento di piccoli difetti e lesioni. Il rapporto segnale/rumore riflette la qualità del segnale raccolto, e più è alto più accurati e affidabili saranno i dati spettrali. Il frame rate è il numero di immagini per unità di tempo. Per alcuni scenari applicativi di monitoraggio in tempo reale o rilevamento rapido, le telecamere ad alta frequenza di fotogrammi possono ottenere le informazioni spettrali degli oggetti più rapidamente e riflettere i cambiamenti dinamici degli oggetti in modo tempestivo. Infine il tipo di

rilevatore: tipi diversi hanno diverse caratteristiche di risposta alla luce in differenti bande, influenzando le prestazioni complessive della telecamera. I rilevatori più comuni sono CMOS, con elevata integrazione e basso consumo energetico adatti nelle bande visibili e del vicino infrarosso, e InGaAs, con elevata sensibilità e buona stabilità, adatti per scenari applicativi con elevati requisiti per le informazioni spettrali del vicino infrarosso.

LE APPLICAZIONI

L'imaging iperspettrale è in crescita nell'industria, nell'agricoltura e

nel telerilevamento per individuare o quantificare la concentrazione di sostanze e materiali invisibili alle comuni telecamere o all'occhio umano. Questa crescita sta avvenendo malgrado i costi delle telecamere iperspettrali siano ben superiori a quelli delle telecamere tradizionali, ciò perché i vantaggi che si possono ottenere con le telecamere iperspettrali sono spesso superiori all'impegno economico. L'imaging iperspettrale consente infatti molteplici tipologie di applicazioni, in particolare nel monitoraggio ambientale, per individuare cambiamenti nell'uso dei terreni, stato di salute della vegetazione, qualità dell'acqua nel tempo, per rilevare i primi segni di degrado ecologico e monitorare l'efficacia degli sforzi di conservazione. Altri ambiti sono l'esplorazione mineraria per mappare giacimenti, rilevare la composizione e quantità di minerali, il controllo qualità in linea della produzione alimentare, con identificazione di oggetti estranei, contaminanti, umidità e quantità di grassi o di zuccheri, e la gestione dei rifiuti, per la separazione di materiali diversi e acquisizione di informazioni per meglio automatizzare il riciclaggio e aumentare il valore del materiale riciclato. In agricoltura, montando una telecamera iperspettrale su un drone si può avere un remote sensing per valutare salute e resa delle colture, monitoraggio dell'umidità del suolo e del contenuto di nutrienti. Da aggiungere la sicurezza per rilevamento e identificazione di materiali pericolosi, e il contesto delle indagini forensi, per raccogliere prove da una scena del crimine, tipo tracce di sangue o residui di polvere da sparo. ▲