

ANALISI DI SENSIBILITA' PER LA STIMA DELL'ALTEZZA DI EDIFICI DA IMMAGINI SAR

Giorgio Franceschetti, Raffaella Guida, Antonio Iodice,
Daniele Riccio, Giuseppe Ruello

Dipartimento di Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni,
Università di Napoli "Federico II", Via Claudio 21, 80125 Napoli
{gfrance; rafguida; iodice; dariccio; ruello}@unina.it

Abstract

In the last years, new approaches for feature extraction from high resolution SAR images have been presented. One of them is the deterministic approach for building height retrieval from double reflection contribution on SAR images of urban areas. Actually, promising results can be guaranteed only if a high aprioristic knowledge of involved radar and scene parameters is available, but this requirement is not always satisfied. For this reason, here we investigate the influence of an imperfect knowledge of the scene on the final result of building height estimation. In particular, by means of sensitivity analyses and simulation examples, the influence on the height retrieval of an error on the knowledge of the angle between the building wall and the radar flight trajectory is investigated and discussed.

INTRODUZIONE

Di recente sono stati presentati approcci innovativi per l'estrazione di parametri geometrici ed elettromagnetici da immagini SAR ad elevata risoluzione. Tra questi si colloca l'approccio deterministico [1] per la stima dell'altezza di edifici dal contributo di riflessione doppia in immagini SAR di aree urbane. I risultati promettenti sono però garantiti se si possiede una accurata conoscenza della scena indagata. Risulta evidente che non è sempre possibile soddisfare tale requisito. Pertanto, in questi casi, è indispensabile tentare di estrarre dall'immagine stessa le informazioni necessarie. Naturalmente questa operazione è intrinsecamente affetta da errore sia che si proceda in maniera semi-automatica (assistiti dal calcolatore), sia che ci si affidi esclusivamente all'operatore umano.

In questo lavoro ci proponiamo di studiare l'influenza esercitata da una imperfetta conoscenza della scena osservata sulla stima dell'altezza degli edifici da contributo di riflessione doppia secondo l'approccio presentato in [1].

Essendo molteplici i parametri influenti, ma non potendo prenderli tutti in considerazione in questa sede per ovvie esigenze di brevità, abbiamo concentrato l'attenzione su un parametro in particolare, ossia sull'angolo φ formato dalle pareti degli edifici con la traiettoria di volo del sensore.

Nella Sezione I è brevemente ripresa la relazione che vede coinvolti l'altezza degli edifici e l'angolo φ attraverso il contributo di riflessione doppia alla sezione radar. Nella stessa sezione viene quindi illustrata la metodologia adoperata nell'analisi di sensibilità. Nella Sezione II sono mostrati i risultati ottenuti con l'uso del simulatore e sono commentati i limiti dell'approccio insieme ai campi di applicabilità.

I. STIMA DELL'ALTEZZA DI EDIFICI

In [1] è stato dimostrato che, almeno in linea teorica, è possibile estrarre l'altezza degli edifici da parametri radiometrici misurabili sulle immagini SAR di aree urbane. Uno di questi è il contributo di riflessione doppia alla sezione radar. In particolare, se alla frequenza di lavoro siamo nelle ipotesi per applicare l'approssimazione di Ottica Geometrica (GO) al calcolo del segnale radar retrodiffuso dall'edificio, è possibile trovare la seguente relazione tra l'altezza dell'edificio h e i parametri del radar e della scena osservata [1]:

$$h = \frac{\sigma^o \cdot 8\pi^2 \cos^2 \vartheta \cdot \sigma^2 (-2/L^2)}{|S_{pq}| \tan \vartheta \cos \varphi (1 + \tan^2 \vartheta \sin^2 \varphi)} \exp \left[\frac{\tan^2 \vartheta \sin^2 \varphi}{2\sigma^2 (-2/L^2)} \right] = f(\varphi, \cdot), \quad (1)$$

dove σ^o è la sezione radar, θ è l'angolo di vista, σ ed L sono, rispettivamente, la deviazione standard e la lunghezza di correlazione del processo aleatorio che descrive il profilo microscopico del terreno, S_{pq} è il generico elemento della matrice di scattering, con p e q ad indicare la polarizzazione orizzontale (H) o verticale (V).

Ora, supponiamo di conoscere perfettamente tutti i parametri presenti in (1) ad eccezione dell'angolo φ noto a meno di un errore $\Delta\varphi$. Come conseguenza di ciò, l'altezza h dell'edificio sarà anch'essa nota con un errore Δh dato da:

$$\Delta h = \frac{\partial f}{\partial \varphi} \Delta \varphi \quad (2)$$

con

$$\frac{\partial f}{\partial \varphi} = \frac{h}{|S_{pq}|} \cdot \left\{ -\frac{S_{pq}}{|S_{pq}|^2} \cdot \frac{\partial S_{pq}}{\partial \varphi} + \tan \vartheta - \frac{\sin 2\varphi \tan^2 \vartheta}{1 + \tan^2 \vartheta \sin^2 \varphi} + \sin 2\varphi \right\}. \quad (3)$$

Sebbene il calcolo della derivata in (3) non sia del tutto sviluppato è possibile notare il legame di proporzionalità diretta tra l'altezza dell'edificio e l'errore Δh , ossia quanto più è elevato l'edificio tanto più peserà sulla stima della sua altezza un errore sulla conoscenza dell'angolo φ . A questo punto è necessario conoscere la polarizzazione in trasmissione e ricezione per proseguire nello sviluppo della derivata in (3). Nonostante il calcolo si mostrasse molto articolato, per completezza lo abbiamo comunque derivato almeno in polarizzazione HH; tuttavia l'espressione finale ricavata si presenta così complicata da scoraggiarne l'uso per una stima dell'errore derivato su h da una imperfetta conoscenza di φ .

Per questo motivo, abbiamo preferito proseguire empiricamente l'analisi di sensibilità, aiutati cioè da esempi di simulazione, consci del fatto che tale metodologia se da un lato si presenta senza dubbio più agevole dell'analisi teorica dall'altro non sempre conduce a conclusioni generali. La Sezione II illustra i passi di questo approccio alternativo e ne commenta i risultati.

II. ANALISI DI SENSIBILITA'

Consideriamo un suolo rugoso sul quale siano posti tre edifici descritti dallo stesso modello geometrico adottato in [1]. Per il radar si assumano i parametri tipici di un sensore da aereo con una frequenza di 1.282 GHz, funzionante in polarizzazione HH. Supponiamo che gli edifici abbiano altezze rispettivamente di 10, 20 e 30 metri e che i muri formino un angolo φ con la direzione di volo del sensore. La Figura 1 mostra una

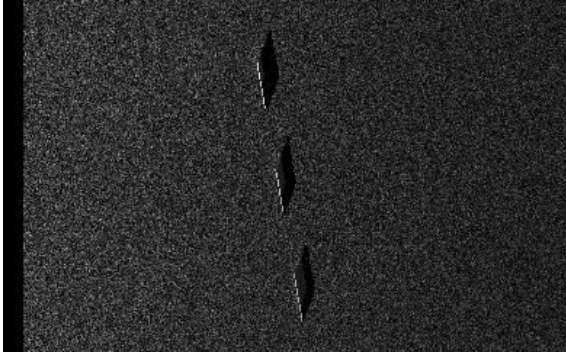


Figura 1

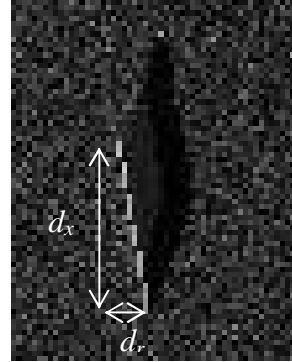


Figura 2

delle tipiche immagini simulate in coordinate azimuth x e slant range r relative alla scena appena descritta. Nel caso in Figura 1 l'angolo φ è stato assunto pari a 35° . Negli esempi di simulazione abbiamo fatto variare φ da un minimo di 15° ad un massimo di 40° con passo di 5° (colonna 1 in Tabella I) e abbiamo proceduto in tre diversi modi per l'estrazione dell'altezza. In ciascuno si sono sempre supposte note le altezze di due edifici per stimare quella di 20m del palazzo centrale al fine di calibrare radiometricamente l'immagine SAR. Inizialmente, l'altezza dell'edificio centrale è stata estratta in assenza di errore su φ . I relativi risultati sono riportati nella colonna 2 della Tabella I. In una seconda fase abbiamo supposto di non conoscere l'angolo φ e abbiamo provato a ricavarlo dalle immagini in coordinate azimuth e slant range con l'espressione:

$$\varphi = \text{tg}^{-1} \left[\frac{d_y}{d_x} \right], \quad d_y = \frac{d_r}{\text{sen}\vartheta} \quad (4)$$

dove d_r e d_x rappresentano le lunghezze dei segmenti indicati in Figura 2 e, in particolare, d_r è la proiezione di d_y nel piano di coordinate azimuth e slant range. I valori estratti di φ e le relative altezze sono riportate, rispettivamente nelle colonne 3 e 5 della Tabella I. Osservando questi risultati si nota che l'angolo φ è solitamente sovrastimato ma di un'entità abbastanza variabile sebbene inferiore a 7° nel 95% dei casi (colonna 4 in Tabella I). Infatti, un'analisi statistica mostra un errore medio sulla stima di φ di 3.4° con una deviazione standard di 3.1° . In realtà, come si vede dalla (4), essendo questa stima fortemente legata alla risoluzione sia in azimuth che in slant range dell'immagine, rispettivamente di 2.57m e 4.84m nelle simulazioni considerate, è ragionevole credere che sia suscettibile di miglioramento con la ormai imminente disponibilità di sensori ad elevata risoluzione.

φ	h [m]	e [m]	$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$	$\Delta\varphi_1, \Delta\varphi_2, \Delta\varphi_3$	h [m]	e [m]
15°	18.38	-1.62	$19.5^\circ; 21.8^\circ; 17.6^\circ$	$4.5^\circ; 6.8^\circ; 2.6^\circ$	19.93	-0.07
20°	23.25	3.25	$26.6^\circ; 24.0^\circ; 19.5^\circ$	$6.6^\circ; 4.0^\circ; -0.5^\circ$	22.32	2.32
25°	18.87	-1.13	$27.4^\circ; 29.8^\circ; 26.6^\circ$	$2.4^\circ; 4.8^\circ; 1.6^\circ$	20.66	0.66
30°	19.79	-0.21	$29.8^\circ; 29.8^\circ; 34.7^\circ$	$-0.2^\circ; -0.2^\circ; 4.7^\circ$	18.79	-1.21
35°	20.71	0.71	$36.1^\circ; 38.7^\circ; 41.7^\circ$	$1.1^\circ; 3.7^\circ; 6.7^\circ$	21.56	1.56
40°	19.95	-0.05	$51.5^\circ; 40.2^\circ; 41.1^\circ$	$11.5^\circ; 0.2^\circ; 1.1^\circ$	16.31	-3.69

Tabella I

Questi primi risultati permettono due considerazioni sulla stima dell'altezza. La prima è che, nonostante la presenza di errori sulla conoscenza di φ dei tre palazzi nella scena, è ancora possibile stimare l'altezza dell'edificio centrale con un errore inferiore a 2.5m

nell'80% dei casi (colonna 7). Inoltre, nel 50% dei casi, la stima di h risulta addirittura migliore rispetto alla situazione di perfetta conoscenza di φ (cfr. colonne 3 e 7).

Sempre dalla Tabella I, però, si vede che gli stessi risultati non sono di grande aiuto per comprendere le conseguenze sulla stima di h in quanto più errori di diversa entità sono presi contemporaneamente in considerazione. Per sperare quindi di individuare un possibile andamento dell'errore su h in funzione dell'errore su φ era necessario considerare un solo errore per volta. Abbiamo pertanto ripetuto l'esperimento supponendo, questa volta, di stimare solo l'angolo φ del palazzo centrale con un errore di 5° . I risultati sulla stima di h e il relativo errore sono mostrati in Tabella II.

φ	$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$	h_{ephi} [m]	e
15°	$15^\circ; 20^\circ; 15^\circ$	20.67	0.67
20°	$20^\circ; 25^\circ; 20^\circ$	27.25	7.25
25°	$25^\circ; 30^\circ; 25^\circ$	22.23	2.23
30°	$30^\circ; 35^\circ; 30^\circ$	23.54	3.54
35°	$35^\circ; 40^\circ; 35^\circ$	24.55	4.55
40°	$40^\circ; 45^\circ; 40^\circ$	23.20	3.20

Tabella II

Dalla Tabella II si osserva che l'errore su h ha lo stesso segno dell'errore su φ . Sebbene questo risultato non sia immediatamente deducibile dalla (3) può essere spiegato osservando che, all'aumentare di φ , diminuisce il contributo retrodiffuso verso il radar, per cui un ritorno più forte è attribuito ad un'altezza maggiore. Inoltre, l'errore sembra peggiore per angoli di rotazione maggiori. Un andamento simile si poteva anche osservare per le simulazioni in Tabella I. È curioso notare, in linea con quanto già cominciato a dire, che ora l'errore su h è sempre peggiore rispetto al caso in cui tutti gli angoli φ sono stimati con errore.

Al momento gli autori stanno lavorando con ulteriori simulazioni diversificando la scena osservata e i parametri del radar [2].

CONCLUSIONI

Il lavoro analizza la robustezza del metodo deterministico per l'estrazione dell'altezza di edifici da immagini SAR rispetto alla presenza di errori nella conoscenza di parametri della scena estraibili dall'immagine stessa. Dopo aver mostrato la non convenienza di un approccio meramente teorico, gli autori hanno condotto un'analisi di sensibilità con l'aiuto di tecniche di simulazione mostrando come, in certi casi, il metodo analizzato risulti ancora affidabile. Simulazioni di scene più complesse e l'applicazione ad immagini reali sono in corso per indagare a fondo i campi di applicabilità dell'approccio deterministico.

BIBLIOGRAFIA

- [1]G. Franceschetti, R. Guida, A. Iodice, D. Riccio, G. Ruello, "Deterministic Extraction of Building Parameters from High Resolution SAR Images", *Proceedings of the 3rd RSS/ISPRS joint Symposium on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas*, Tempe (Arizona, USA), 2005.
- [2]G. Franceschetti, R. Guida, A. Iodice, D. Riccio, G. Ruello, "Accuracy of Building Height Estimation from SAR images", *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Denver (Colorado), 2006, in stampa.