

SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING: LA SOLUZIONE CHIAVE PER IL RILIEVO IN MOVIMENTO

di Eleonora Maset e Lorenzo Scalerà

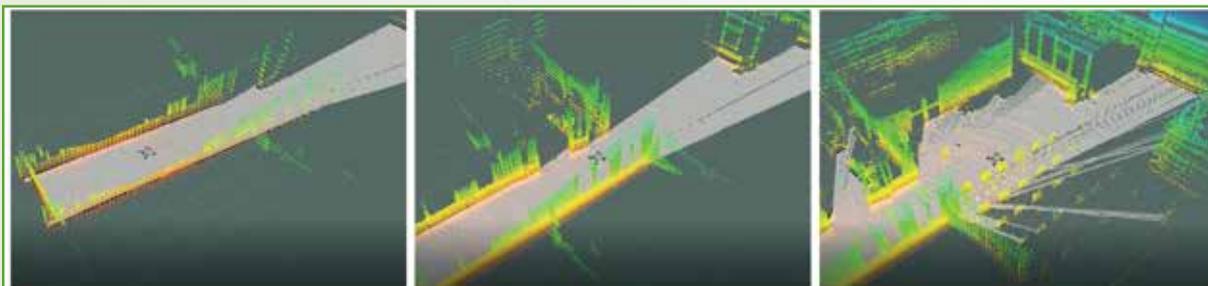


Fig. 1 - Sequenza di un robot che si muove all'interno di un ambiente sconosciuto, costruendone la mappa e determinando la sua posizione grazie ad un algoritmo SLAM.

Molti di noi, guardando un robot aspirapolvere di ultima generazione muoversi per casa, si sono sicuramente domandati come questo elettrodomestico "intelligente" sia in grado autonomamente di pulire tutte le superfici, evitando gli ostacoli presenti nell'area. La risposta è racchiusa nell'acronimo SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), ossia nella tecnica che consente ad un robot in movimento, dotato di sensori, di costruire la mappa dell'ambiente che lo circonda e, al tempo stesso, di usare tale mappa per determinare la sua posizione, come mostrato nella sequenza di immagini di Figura 1.

Sviluppata originariamente nel campo della robotica per permettere ad un robot di navigare in uno scenario sconosciuto, la tecnologia SLAM presenta in realtà molti punti di contatto con le tecniche della geomatica, e rappresenta soprattutto la chiave per realizzare il rilievo in movimento in contesti in cui non sia possibile utilizzare il sistema di posizionamento satellitare.

Facciamo un passo indietro, e più precisamente alla fine degli anni '80, quando si iniziarono a gettare le basi per la soluzione di quello che appare un problema chicken-and-egg: per sapere dove è collocato il sensore, infatti, è necessario disporre di una mappa dell'ambiente, ma per costruire tale mappa devono essere note le posizioni assunte dal sensore stesso. L'ingegnere britannico Hugh Durrant-White fu uno dei primi ad applicare metodi probabilistici a tale problema, evidenziando al tempo stesso le difficoltà per una sua risoluzione efficace, connesse alla poca memoria e capacità computazionale dei calcolatori dell'epoca (Durrant-Whyte e Bailey, 2006). La limitata potenza di calcolo, infatti, imponeva di rappresentare l'ambiente circostante attraverso un numero ridotto di

landmarks, ossia oggetti facilmente riconoscibili, e di risolvere il problema probabilistico attraverso metodi di filtraggio, come il ben noto filtro di Kalman.

A partire dagli anni 2000, grazie al notevole incremento della capacità di calcolo e alla rapida diffusione dei sensori LiDAR (Light Detection and Ranging), si assistette ad un crescente sviluppo dei metodi LiDAR SLAM, ancora oggi tra i più impiegati. Ora le mappe non sono più formate da pochi landmarks, bensì da nuvole di punti, e la base per la soluzione del problema è rappresentata dalla registrazione di scansioni consecutive. I metodi di filtraggio hanno lasciato quindi spazio ai cosiddetti metodi graph-based SLAM, basati cioè sulla risoluzione di un grafo, i cui nodi sono le posizioni (incognite) del sensore, mentre negli archi si trovano le trasformazioni relative tra due pose. Tali trasformazioni, che rappresentano un vincolo spaziale, possono essere stimate tramite opportuni metodi di registrazione di nuvole di punti, come l'algoritmo ICP (Iterative Closest Point), molto conosciuto nella comunità della geomatica.

Utilizzando un approccio incrementale, in cui ogni nuova scan-

sione acquisita viene registrata rispetto alla precedente, si assiste ad un accumulo dell'errore e ad una deriva della traiettoria, che porta a visibili errori nella mappa, come evidenziato in Figura 2. Risulta quindi fondamentale determinare le cosiddette "chiusure dell'anello" (loop closure), individuando cioè zone dell'ambiente circostante già mappate in precedenza, che consentono di imporre ulteriori vincoli e di ridurre (e redistribuire) l'errore. Una volta costruito un grafo che tenga conto anche dei vincoli imposti dalle chiusure dell'anello, un sistema di ottimizzazione consente di trovare la configurazione migliore, minimizzando i disallineamenti tra le varie scansioni (Grisetti et al., 2010). Oltre agli approcci LiDAR SLAM, non vanno dimenticati anche i metodi Visual SLAM, in cui il sensore impiegato è una fotocamera. In questo caso, la trasformazione relativa tra due pose successive è individuata a partire da algoritmi di image matching. Negli ultimi anni, la geomatica ha saputo far propri questi metodi, adattandoli alle esigenze



Fig. 3 - La tecnologia SLAM consente di effettuare rilievi in movimento anche in ambienti angusti e in assenza di segnale GNSS, come all'interno di una grotta.

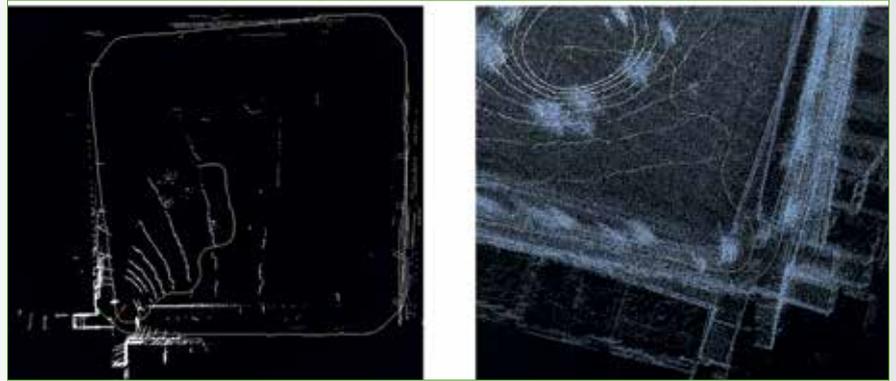


Fig. 2 - Un approccio incrementale conduce ad una elevata deriva della traiettoria (in giallo) e ad errori evidenti nella mappa ricostruita.

del rilievo e applicandoli per la realizzazione dei sistemi portatili che stanno trovando una crescente diffusione tra i professionisti del settore. Tali strumenti, infatti, consentono di mappare in maniera rapida ed efficiente ambienti altrimenti difficilmente rilevabili, come interni, ambienti industriali, spazi angusti, e più in generale aree in cui è assente il segnale GNSS, tra cui miniere e grotte (Figura 3).

Per molti versi, il problema SLAM al giorno d'oggi può dirsi risolto dal punto di vista teorico (Durrant-Whyte e Bailey, 2006). La ricerca tuttavia non è conclusa, ed è orientata allo sviluppo di algoritmi sempre più performanti ed in grado di gestire quantità di dati (scansioni o immagini) sempre più elevate. Se la comunità della robotica continua ad essere molto attiva su questo fronte, sviluppando algoritmi che consentono una efficace e sicura navigazione autonoma dei robot mobili in ambienti sconosciuti, dall'altro lato la collaborazione con il mondo della geomatica può giocare un ruolo importante sulla qualità della ricostruzione 3D fornita da tali metodi. Alcuni studi, infatti, mettono in evidenza come i più recenti algoritmi open-source siano in grado di stimare la traiettoria del robot in modo accurato, producendo spesso però modelli 3D non adatti a scopi topografici, poco dettagliati e molto rumorosi

(Tiozzo Fasiolo et al., 2022).

Il dialogo e l'interazione tra geomatica e robotica è quindi fondamentale per una sempre maggiore automazione del rilievo, e per uno sviluppo di tecnologie che tengano in considerazione le esigenze e possano giovare agli obiettivi applicativi di entrambe le discipline.

Bibliografia

- Durrant-Whyte, H, e Bailey, T., 2006. Simultaneous Localization and Mapping (SLAM): Part I, The Essential Algorithms. *Robotics & Automation Magazine*, 13.
- Grisetti, G., Kümmerle, R., Stachniss, C., Burgard, W., 2010. A tutorial on graph-based SLAM. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 2(4), pp. 31–43.
- Tiozzo Fasiolo D., Scalera L., Maset E., Gasparetto A., 2022. Experimental evaluation and comparison of LiDAR SLAM algorithms for mobile robotics. In: Niola, V., Gasparetto, A., Quaglia, G., Carbone, G. (eds) *Advances in Italian Mechanism Science. IFToMM Italy 2022. Mechanisms and Machine Science*, 122, pp. 795 – 803.

PAROLE CHIAVE

GEOMATICA; SLAM; RILIEVO; ROBOTICA

ABSTRACT

Many of us, looking at a latest robot vacuum cleaner generation move for home, you definitely are ask yourself how this appliance "smart" is able independently to clean all surfaces, avoiding the obstacles present in the area. The answer is enclosed in the acronym SLAM (Simultaneous Localisation and Mapping), i.e. in the technique that allows a moving robot, equipped with sensors, to build the map of the environment that surrounds it and, at the same time, to use such a map to determine its location, such as shown in the sequence of images of Figure 1.

AUTORE

ELEONORA MASET
ELEONORA.MASET@UNIUD.IT

LORENZO SCALERA
LORENZO.SCALERA@UNIUD.IT

DPiA – DIPARTIMENTO POLITECNICO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA – UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE
VIA DELLE SCIENZE 206, 33100 UDINE