Un algoritmo di pianificazione del percorso per la navigazione autonoma di un UGV basato su prodotti fotogrammetrici da UAV

Vincenzo Di Pietra[1-2], Francesco Messina[2], Federico Faedda[2] e Andrea M. Lingua[1-2]

[1] Department of Environment Land and Infrastructure Engineering (DIATI), Politecnico di Torino, Torino, 10129, Italy, vincenzo.dipietra@polito.it
[2] PIC4SeR-Politecnico di Torino Interdepartmental Centre for Service Robotics, Torino, 10129, Italy

Abstract. Negli ultimi anni, la navigazione autonoma è diventata un tema centrale per lo sviluppo tecnologico di mezzi e veicoli non solo nella robotica industriale e nell'*automotive*, ma anche in numerosi altri campi che beneficiano dell'uso di macchine automatizzate. Tra questi vi è il settore agricolo, che da anni utilizza i sistemi di posizionamento GNSS (Global Navigation Satellite System) e gli algoritmi di navigazione negli automezzi ad uso produttivo. L'implementazione delle tecnologie di guida autonoma richiede un sistema di navigazione, in grado di pianificare un percorso e inviare gli input corretti agli attuatori del veicolo. La pianificazione del percorso è considerata un passaggio fondamentale per le macchine agricole autonome, soprattutto in vigna, dove la morfologia del terreno e gli ostacoli rappresentano una grande sfida. In questo lavoro si presenta una versione modificata di un famoso algoritmo di *path-planning*, il *Rapidly-explore Random Tree* * (RRT *) e il suo utilizzo all'interno di un workflow più ampio che va dall'assemblaggio di un veicolo terrestre, all'applicazione in tempo reale del percorso pianificato attraverso la navigazione autonoma e la sua validazione. Il primo passo è stato la selezione e modifica di un veicolo radiocomandato (RC) commerciale, implementando i componenti hardware e i sensori necessari per la guida autonoma.

Parole chiave: Path-planning, UGV, UAV, navigazione autonoma, GNSS.

1 Abstract esteso

Nel settore agricolo, per aumentare la produttività e la sicurezza nelle procedure legate agli automezzi in movimento, sono stati recentemente implementati nuovi sistemi tecnologici che fanno affidamento su tecnologie di navigazione ben note come il GNSS e le sue ibridazioni. Altri sensori attivi e passivi sono stati utilizzati per aumentare la *context awareness* di queste macchine motrici, mentre sistemi informativi basati su informazioni spaziali vengono utilizzati per procedure di pianificazione ed analisi. In questo contesto gli algoritmi di pianificazione del percorso giocano un ruolo centrale nell'architettura utilizzata per la realizzazione dei veicoli autonomi. Essi risolvono il problema computazionale di spostare l'oggetto da una sorgente a una destinazione

trovando una sequenza di configurazioni valide [1]. Nonostante in letteratura siano presenti diverse soluzioni analitiche al problema, sono ancora possibili nuovi contributi grazie al continuo miglioramento di hardware e sensoristica e al crescente utilizzo dell'intelligenza artificiale, come le reti neurali [2] e gli algoritmi genetici [3].

In questo lavoro, un UGV commerciale su cui è stata integrata una sensoristica low-cost è stato utilizzato allo scopo di navigare in modo autonomo sui terreni sconnessi di una vigna. Il veicolo selezionato è il Traxxas X-Maxx, un fuoristrada radiocomandato molto compatto. La navigazione è demandata alla scheda di navigazione ArduPilot Pixhawk 1 che presenta un numero elevato di interfacce di I/O atte al collegamento di numerosi sensori. Nel sistema proposto, il ricevitore GNSS multi-frequenza multi-costellazione Piksi Multi è il principale sistema di posizionamento e navigazione.

Il nucleo di questo articolo è l'adattamento dell'algoritmo di pianificazione del percorso RRT * [4] per la navigazione autonoma nell'ambiente del vigneto. Il modo in cui l'algoritmo trova il percorso è ciò che differenzia l'algoritmo RRT * da altri tipi di tecniche di pianificazione del percorso. L'algoritmo RRT campiona punti casuali nello spazio e li collega in modo incrementale costruendo rami di alberi. Gli ostacoli nello spazio reale sono espressi dalla cosiddetta cost-map, una griglia 2-D di celle il cui valore va da 0 a 1, che rappresenta il costo di navigazione attraverso quella cella della griglia. Le caratteristiche del terreno diventano quindi parametri fondamentali per risolvere il problema di pianificazione e adattare la risposta dell'algoritmo. Attraverso un rilievo fotogrammetrico aereo da Uncrewed Aerial Vehicle (UAV), sono state prodotte mappe informative georeferenziate e metricamente accurate di un sito agricolo usato come caso studio. L' ortomosaico e il modello digitale del terreno (DTM) ottenuti vengono successivamente utilizzati per identificare i filari di una vigna [5] e per memorizzare le variazione di pendenza. L'algoritmo di pianificazione del percorso proposto utilizza quindi queste informazioni per generare una serie di waypoints utili all'autopilota per la navigazione autonoma.

Per quanto riguarda i risultati dell'algoritmo di path-planning, le prestazioni sono state convalidate in termini di probabilità per l'RRT * di trovare un percorso e in termini di tempo medio necessario per trovare il percorso. Per quanto riguarda i risultati di navigazione, il set di waypoints è stato confrontato con la soluzione di navigazione ottenuta dal filtro di navigazione dell'autopilota e con la traiettoria reale seguita dal rover e misurata da una stazione totale Leica MS50 (TS) più un ricevitore GNSS Leica GS14 in modalità di tracciamento continuo di un prisma posto sul drone. Il Root Mean Squared Error (RMSE) della soluzione 2D e la sua deviazione standard sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1. Errore di navigazione rispetto alla traiettoria stimata e a quella pianificata.

Comparison	2D RMSE	Std. Dev.
Real(TS) vs Autopilot	0.294 m	0.301 m
Real (TS) vs Path Plan	0.384 m	0.451 m

Riferimenti bibliografici

1. Lazea, G., & Lupu, A. E. (1996). Aspects on path planning for mobile robots. TEMPUS M-JEP 11467: Intensive Course on Computer Aided Engineering in Flexible manufacturing, 19-23.
2. Yang, S. X., & Luo, C. (2004). A neural network approach to complete coverage path planning. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 34(1), 718-724.
3. Hameed, I. A., Bochtis, D., & Sørensen, C. A. (2013). An optimized field coverage planning approach for navigation of agricultural robots in fields involving obstacle areas. International journal of advanced robotic systems, 10(5), 231.
4. Karaman, S., & Frazzoli, E. (2011). Sampling-based algorithms for optimal motion planning. The international journal of robotics research, 30(7), 846-894.
5. Zoto, J., Musci, M. A., Khaliq, A., Chiaberge, M., & Aicardi, I. (2019, June). Automatic path planning for unmanned ground vehicle using uav imagery. In International Conference on Robotics in Alpe-Adria Danube Region (pp. 223-230). Springer, Cham.Autore, F.: Titolo articolo. Giornale 2 (5), 99–110 (2016).