

Posizionamento a banda ultra-larga per applicazioni sportive: un servizio avanzato e a basso costo per il benessere di tutti gli sportivi

Marco Dolfi, Alessio Martinelli, Simone Morosi

Nella vita quotidiana, i sistemi di comunicazione, monitoraggio e localizzazione svolgono un ruolo fondamentale nell'aumentare la percezione di comfort e sicurezza, oltre a migliorare la qualità delle attività e delle interazioni con le diverse istituzioni con cui ci confrontiamo. In particolare, le tecniche di posizionamento e navigazione hanno recentemente acquisito una rilevanza sempre maggiore, anche in virtù dell'uso quasi incessante degli smartphone per finalità sociali, commerciali e ricreative. Tra i settori in cui i servizi basati sulla localizzazione (location-based services, LBS) riscontrano un notevole successo, è opportuno menzionare anche le applicazioni relative alla salute, al benessere e allo sport.

In questo contesto generale, i ricercatori e le ricercatrici del Laboratorio di Elaborazione dei Segnali e Comunicazione (LESC) del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Firenze hanno avviato, a partire dal 2013, un'attività di ricerca intensa e proficua focalizzata sulle tecniche e sui sistemi di posizionamento. Tra i temi esplorati nel corso degli anni si annoverano l'adozione di strategie cooperative nei sistemi GPS (Morosi, Martinelli, Del Re 2016), l'integrazione delle tecniche di navigazione satellitare con quelle inerziali (Basso et al. 2021), l'identificazione dei vari movimenti e della lunghezza dei passi in sistemi Dead Reckoning di tipo pedestrian (Martinelli, Morosi, Del Re 2016; Martinelli et al. 2018) e infine lo sviluppo di sistemi di localizzazione a banda ultra-larga in contesti ludico-sportivi (Martinelli et al. 2020). Di seguito, verranno illustrati alcuni dei risultati più significativi conseguiti nell'ambito delle attività di ricerca e sperimentazione riguardanti il posizionamento a banda ultra-larga per applicazioni sportive.

Come è ben noto, le tecniche di posizionamento e navigazione possono essere suddivise in due categorie principali: il position fixing e il Dead Reckoning. La prima consente di determinare la posizione con un margine d'errore contenuto, facendo leva sulla comunicazione tra l'oggetto in movimento e un'infrastruttura esterna, quale un sistema

Marco Dolfi, University of Florence, Italy, marco.dolfi@unifi.it, 0000-0001-5520-7322

Alessio Martinelli, University of Florence, Italy, alessio.martinelli@unifi.it, 0000-0002-8509-5322

Simone Morosi, University of Florence, Italy, simone.morosi@unifi.it, 0000-0002-0145-8406

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)

Marco Dolfi, Alessio Martinelli, Simone Morosi, *Posizionamento a banda ultra-larga per applicazioni sportive: un servizio avanzato e a basso costo per il benessere di tutti gli sportivi*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0975-5.21, in Stefano Selleri, Alberto Tesi, Enrico Vicario (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 2. Ingegneria dell'Informazione*, pp. 83-86, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0975-5, DOI 10.36253/979-12-215-0975-5

satellitare. Al contrario, la seconda si basa esclusivamente su sensori installati a bordo dell'oggetto per calcolare la distanza percorsa e la direzione. Un esempio emblematico di successo nell'applicazione del metodo position fixing è rappresentato dal Global Positioning System (GPS). D'altro canto, i sistemi di navigazione inerziale (INS) sono considerati una tecnologia consolidata che adotta l'approccio del Dead Reckoning.

Il posizionamento a banda ultra-larga (Ultra-Wide Band UWB) rappresenta una soluzione promettente per il tracciamento della posizione nel contesto sportivo. Questa tecnologia è in grado di supportare una dinamica elevata nei movimenti, poiché consente di determinare la posizione target con frequenze elevate e precisione poco più che centimetrica. Un sistema di posizionamento UWB segue un modello di position fixing e si fonda su un'infrastruttura fissa locale, che può essere installata sia in ambienti interni che esterni. La tecnologia UWB impiega segnali di comunicazione a banda larga, particolarmente idonei per il posizionamento indoor e per contesti caratterizzati da una significativa presenza di multipath. È importante notare che tale fenomeno può compromettere notevolmente le prestazioni dei sistemi di posizionamento che utilizzano segnali a banda stretta, come nel caso del GNSS, a causa dell'effetto di evanescenza o fading sul segnale ricevuto.

Nel contesto sportivo del calcio a cinque, la struttura fondamentale del sistema è costituita da quattro ricevitori UWB statici, noti come ancore, collocati agli angoli del campo, e da un giocatore in movimento equipaggiato con un trasmettitore UWB indossabile (tag), come illustrato nella Figura 41.

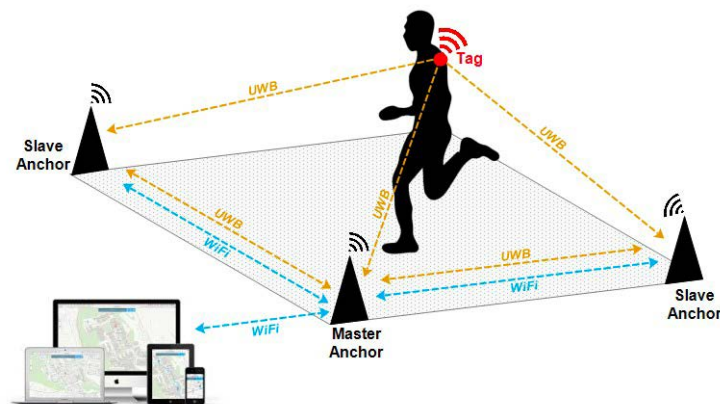


Figura 41 – L'architettura proposta per il sistema di posizionamento UWB.

Poiché la differenza di altitudine tra l'antenna trasmittente e quella ricevente ha un impatto significativo sulle prestazioni di un sistema di localizzazione che utilizza segnali UWB, sono state ottimizzate le performance del sistema proposto, tenendo conto di diverse altezze per l'antenna ricevente. In particolare, si è fatto riferimento all'altezza media alla quale si trova l'antenna trasmittente del tag, indossato sulla parte superiore della schiena del soggetto, come illustrato nella Figura 42 (a destra).

Nell'ambito della valutazione delle prestazioni del sistema (Martinelli et al. 2020) si è richiesto ad alcuni volontari di mantenere una velocità costante mentre percorrevano un tracciato prestabilito all'interno dell'area di gioco, come rappresentato nella Figura 43. Questo percorso è stato progettato per simulare in modo ottimale una serie di movimenti naturali che un calciatore potrebbe eseguire durante una partita reale di calcio a cinque, includendo le traiettorie più comuni. Per confrontare le prestazioni

del sistema di posizionamento in relazione alle diverse altezze delle antenne dei ricevitori, sono state considerate tre metriche: la precisione della posizione stimata per il trasmettitore UWB, la percentuale di pacchetti persi da ciascun'ancora e la percentuale di pacchetti ricevuti da una, due, tre e quattro ancore rispetto al totale dei pacchetti trasmessi. La seconda metrica si concentra sulla valutazione delle prestazioni del singolo collegamento di comunicazione tra il trasmettitore e i ricevitori, mentre la terza mira a stimare l'efficacia del sistema di posizionamento nella determinazione della soluzione di posizione. Inoltre, è stata analizzata la potenza del segnale rilevata da ciascun ricevitore per le tre altezze testate, osservandone la variazione in funzione della posizione del giocatore in movimento.



Figura 42 – (a sinistra) Struttura hardware del tag. (a destra) Il tag indossato sulla parte superiore della schiena del giocatore (racchiuso in un piccolo case giallo).

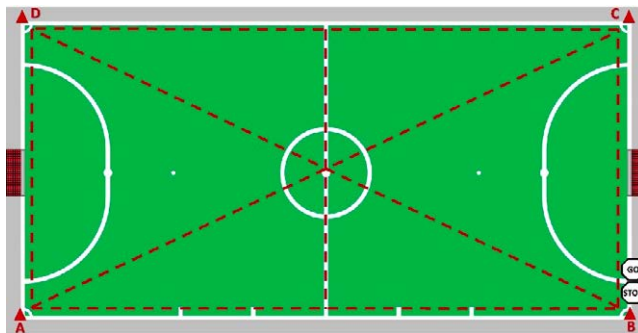


Figura 43 – Il campo da calcetto utilizzato (39 m x 20.20 m). La linea tratteggiata rossa illustra il percorso sperimentale della prova, che è stato percorso da ciascun giocatore in entrambe le direzioni. I coni rossi rappresentano i quattro ricevitori UWB statici posti agli angoli del campo.

Le prove sperimentali precedentemente illustrate hanno dimostrato che la configurazione con un'altezza dell'antenna di 1,60 m produce i risultati più favorevoli, caratterizzati da un RMSE inferiore, una minore percentuale di pacchetti persi dalle ancore e un numero maggiore di pacchetti ricevuti correttamente dalle tre ancore. Le attività mirate all'ottimizzazione del sistema di localizzazione a banda ultra-larga hanno costi-

tuito la base per la redazione di un articolo pubblicato su una rivista scientifica internazionale sottoposta a peer review, nonché per alcuni contributi presentati in conferenze. Inoltre, il sistema di posizionamento sviluppato è stato brevettato nel 2018. Attualmente, i ricercatori e le ricercatrici del LESC stanno esplorando l'integrazione del sistema a banda ultra-larga con un sistema di posizionamento inerziale.

Riferimenti bibliografici

- Morosi, S., A. Martinelli e E. Del Re. 2016. "Peer-to-peer cooperation for GPS positioning." *International Journal of Satellite Communications and Networking* 35(4).
- Basso, M., A. Martinelli, S. Morosi e F. Sera. 2021. "A Real-Time GNSS/PDR Navigation System for Mobile Devices." *Remote Sensing* 13(8): 1567.
- Martinelli, A., S. Morosi e E. Del Re. 2016. "Daily Living Movement Recognition for Pedestrian Dead Reckoning Applications." *Mobile Information Systems* 2016: Article ID 7128201.
- Martinelli, A. et al. 2018. "Probabilistic Context-aware Step Length Estimation for Pedestrian Dead Reckoning." *IEEE Sensors Journal* 18(4): 1600-11.
- Martinelli, A. et al. 2020. "Ultra-wide Band Positioning in Sport: How the Relative Height Between the Transmitting and the Receiving Antenna Affects the System Performance." *International Journal of Wireless Information Networks* 27(1): 18-29.