



## L'integrazione di comunicazione, localizzazione e sensing per le future reti 6G

**Caterina Giovannetti**

Dipartimento di Ingegneria Elettrica e dell'Informazione "Guglielmo Marconi" (DEI), corso di Dottorato in Ingegneria Elettronica, Telecomunicazioni e Ingegneria dell'Informazione (ET-IT), 39° ciclo.  
Supervisor: Prof. Davide Dardari, Dott. Nicolò Decarli



### Background

L'imminente ascesa delle reti wireless 6G prevede un'integrazione trasformativa tra comunicazione, localizzazione e sensing in un sistema unificato, rendendo realtà una pletera di nuove applicazioni, come ad esempio la guida autonoma, la realtà aumentata, o l'automazione industriale. Questa integrazione viene spesso indicata con il termine *integrated sensing and communication* (ISAC) o *joint communication and sensing* (JCS). Può essere implementata in vari modi: aggiungendo procedure di comunicazione a un sistema di sensing, includendo un modulo di sensing a un sistema di comunicazione, oppure considerando nuove forme d'onda che siano adatte per entrambi i moduli [1]. La scelta della forma d'onda da utilizzare dipende da vari fattori, come l'applicazione, l'ammontare di risorse disponibili, i costi o la principale funzionalità del sistema (comunicazione o sensing) [2]. Una scelta molto popolare in letteratura consiste nello sfruttare il segnale orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) utilizzato per la comunicazione nello standard 5G e che si prevede verrà impiegato anche nelle future reti 6G. In questo modo, sarà possibile adoperare l'infrastruttura già presente per implementare anche funzionalità di localizzazione e sensing senza costi supplementari. Oltre a garantire comunicazioni ultra-affidabili e a bassissima latenza, il 6G mira a fornire una precisa consapevolezza ambientale e localizzazione degli utenti, spesso con un'accuratezza inferiore al centimetro, per supportare casi d'uso sempre più complessi e interconnessi. Questa commistione delle tecnologie di comunicazione e sensing introduce nuove opportunità per i sistemi di comunicazione, consentendo la trasmissione di dati, la localizzazione e la mappatura ambientale simultaneamente attraverso risorse hardware e spettrali condivise [3]. Fondamentale per il raggiungimento di questi obiettivi è lo sfruttamento dei fenomeni di propagazione in campo vicino, in particolare quando si utilizzano grandi array di antenne. A differenza dei sistemi tradizionali in campo lontano, dove prevale l'ipotesi di fronte d'onda planare, i sistemi in campo vicino operano in un regime in cui i fronti d'onda sferici e le variazioni spaziali del segnale diventano prominenti. Questi effetti sono particolarmente pronunciati con l'emergere degli array estremamente grandi di antenne (ELAAs), che promettono di estendere la precisione di localizzazione e sensing [4].

### Project Goals

I principali obiettivi del progetto sono i seguenti:

- Definizione di un *framework* analitico in cui il sistema venga descritto nel suo complesso e che consenta di mettere in relazione tra loro i parametri in gioco e il loro impatto sulle prestazioni di comunicazione, localizzazione e sensing;
- Derivazione dei limiti teorici di prestazione, attraverso un approccio analitico seguito da simulazioni numeriche per verificarne l'andamento al variare dei parametri del sistema;
- Indagine di schemi pratici per la realizzazione di comunicazione, localizzazione e sensing che tengano conto dei nuovi regimi operativi (antenne multiple-input multiple-output (MIMO) massive, larga banda, alta frequenza portante...), attraverso l'implementazione di appositi algoritmi e la creazione di simulatori ad hoc.

### Experimental Approach

Il progetto descritto segue un approccio principalmente teorico e analitico. Si compone di diversi step: in primis, si conduce un'ampia e approfondita ricerca della letteratura scientifica, in modo da analizzare le più recenti soluzioni per implementare l'integrazione tra comunicazione, localizzazione e sensing. Una volta consolidato il background delle conoscenze, si formula il contesto analitico per modellare il sistema e vengono derivati quantitativamente i limiti di prestazione per la stima dei parametri d'interesse, come la posizione del target in termini di distanza e angolo di arrivo o la sua velocità, tenendo conto anche degli effetti della propagazione in campo vicino. Successivamente, viene sviluppato il simulatore tramite il software MATLAB per la verifica numerica dei limiti teorici ricavati precedentemente e vengono ottenute delle curve di prestazione al variare dei parametri del sistema, come la frequenza portante, il numero di antenne che compone l'array o il rapporto segnale rumore (SNR).

### Expected Outcomes

I risultati attesi sono:

- Implementazione di un simulatore MATLAB che realizzi le curve di prestazione al variare dei parametri del sistema e metta in pratica degli algoritmi di stima;
- Pubblicazione di articoli di alta qualità su riviste scientifiche;
- Partecipazione a conferenze internazionali per discutere della tematica di ricerca e presentarne i risultati.

I risultati ottenuti possono essere considerati come una valutazione quantitativa delle potenzialità dei sistemi ISAC basati su segnali OFDM. Essi, infatti, mostrano come sia possibile raggiungere un'elevata accuratezza senza impiegare moduli dedicati esclusivamente alla localizzazione e al sensing. Uno degli ambiti che principalmente potrà trarre vantaggio da questa integrazione sarà la mobilità. Infatti, si prevede che anche i veicoli diventeranno dispositivi connessi e che si scambieranno messaggi per migliorare la sicurezza stradale e implementare la guida cooperativa. Sarà quindi possibile sfruttare lo stesso segnale previsto per la comunicazione anche per localizzare altri utenti connessi e per rilevare la presenza di ostacoli passivi, come pedoni o ostacoli lungo il percorso.

### References

- [1] Q. Wang, A. Kakkavas, X. Gong and R. A. Stirling-Gallacher, "Towards Integrated Sensing and Communications for 6G," 2022 2nd IEEE International Symposium on Joint Communications & Sensing (JC&S), Seefeld, Austria, March 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/JCS54387.2022.9743516.
- [2] T. Wild, V. Braun and H. Viswanathan, "Joint Design of Communication and Sensing for Beyond 5G and 6G Systems," in IEEE Access, vol. 9, pp. 30845-30857, Feb. 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3059488.
- [3] F. Liu et al., "Integrated Sensing and Communications: Toward Dual-Functional Wireless Networks for 6G and Beyond," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 40, no. 6, pp. 1728-1767, June 2022, doi: 10.1109/JSAC.2022.3156632.
- [4] H. Chen et al., "6G Localization and Sensing in the Near Field: Features, Opportunities, and Challenges," in IEEE Wireless Communications, vol. 31, no. 4, pp. 260-267, August 2024, doi: 10.1109/MWC.011.2300359.

