

Survey

Riccardo Paris

February 2025

1 Introduction

Nel documento si parla delle principali tecnologie messe in campo nel corso degli anni nel campo della localizzazione indoor, tra cui spiccano:

- Ultra wideband (UWB)
- Radio frequency identification device (RFID)

La localizzazione indoor è una nuova tecnologia che permette il tracciamento della posizione di utenti e/o dispositivi in un ambiente chiuso. Si è particolarmente sviluppata con l'avvento di nuove tecnologie per il tracciamento utente e beneficia una serie di ambiti quali l'ambito medico, il controllo dei disastri, l'Internet of Things.

L'Internet of Things (IoT) è quindi un'amalgamazione di numerose tecnologie che intendono provvedere una connettività end-to-end tra molteplici dispositivi. L'IoT riguarda una connettività che abbia un raggio locale, come l'UWB, il Bluetooth, ma anche a più ampio raggio, di base però queste ultime tendono a permettere uno scambio di dati di molto inferiore a quelle locali. Le tecnologie di comunicazione locali a corto raggio possono stimare la posizione indoor degli altri dispositivi IoT con buona precisione, dati dei punti di riferimento, ma non la posizione globale, per la quale occorrerebbe conoscere la posizione globale dei punti di riferimento. D'altra parte, le tecnologie IoT a lungo raggio permettono di ottenere una stima della posizione globale, ma con una bassa accuratezza. Un mix tra le due potrebbe portare al soddisfacimento dei requisiti di localizzazione dei dispositivi IoT.

Tra i concetti fondamentali rientrano:

- **Device based localization** (DBL), con la quale è possibile ottenere una stima rispetto alla locazione relativa a dei *Reference Nodes* (RN), usata ad esempio nei sistemi di guida
- **Monitor based localization** (MBL), il processo con il quale una serie di RN ottengono la posizione dell'utente in modo passivo
- **Proximity Detection**, il processo con il quale stimiamo la distanza tra l'utente ed un punto di interesse (PoI).

Si differenzia tra il DBL e il MBL dato che essi richiedono differenti risorse energetiche, scalabilità e performance. Inoltre il proximity detection non richiede la posizione relativa, piuttosto la distanza tra due oggetti.

Le tecnologie di *Location Based Services* (LBS) hanno iniziato a spopolare nel corso degli anni e possono essere usate con successo sia da provider di servizi che da utenti.

Example 1 *Nei centri commerciali gli utenti potrebbero usare la localizzazione interna per raggiungere in maniera efficiente i punti desiderati*

2 Tecniche di localizzazione

2.1 RSSI

L’RSS si basa sul determinare la distanza tra due dispositivi grazie alla potenza del segnale che viene ricevuto dal *receiver* (Rx) inviato dal *transmitter* (Tx). La distanza assoluta può essere misurata conoscendo la potenza di trasmissione e l’RSSI, un indice RSS definito dal produttore, che ad esempio può essere in range come $[0, 60]$ o $[0, 100]$. Nel caso del DBL si basa sulla tecnica della trilaterazione per il funzionamento, per cui la posizione viene stimata sulla base di 3 punti di riferimento. Nel caso del MBL è necessario un controller centrale per la raccolta dell’RSS.

E’ un approccio di per sé economico tuttavia soffre di scarsa accuratezza di localizzazione a causa dell’attenuazione del segnale dovuta anche ad ostacoli e a problemi di multipath e rumore indoor.

2.2 CSI

Il CSI fornisce dati più granulari e precisi, di fatto permette di misurare sia l’ampiezza che la fase del segnale a diverse frequenze, offrendo maggiore precisione rispetto all’RSSI. La sua efficienza migliora con la presenza di più antenne ed è più stabile e meno sensibile alle interferenze. E’ un sistema tuttavia molto più complesso da implementare.

2.3 Il fingerprint

E’ una tecnica che prevede due fasi principali.

Nella prima viene creata una mappa in cui vengono salvati i dati sulle misurazioni del segnale (RSSI) in vari punti dell’ambiente. Nella seconda, quando qualcuno usa il sistema, si confronta il segnale con la mappa creata.

Si possono usare diversi metodi di analisi:

1. Metodo probabilistico: Viene calcolata la probabilità che un utente si trovi in un certo punto, confrontando le misurazioni con quelle della mappa e si sceglie il punto più probabile;

2. Reti Neurali Artificiali: Viene creata una rete neurale che impara a riconoscere le posizioni dei segnali, una volta addestrata completamente può localizzare i device in tempo reale;
3. k-Nearest Neighbor: Cerca i k punti più simili nella mappa e fa una media per ottenere una posizione approssimativa;
4. Support Vector Machine: aiuta a determinare la posizione in base ai segnali, metodo molto preciso.

2.4 Angle of Arrival

La tecnica fa uso di un gruppo di antenne per stimare la posizione del dispositivo, richiede due punti di riferimento in un ambiente 2D e tre in un ambiente 3D. E' molto efficiente quando l'utente è vicino e perde molto di accuratezza con l'aumentare della distanza. Richiede hardware molto complesso.

L'efficienza dei metodi appena descritti si disperde molto se vengono inseriti nuovi ostacoli.

2.5 Time of Flight (ToF)

Questa tecnica prevede la misurazione del tempo necessario per far sì che un segnale arrivi dal trasmettitore al ricevitore per determinare la distanza, il tempo viene di fatto moltiplicato per la velocità della luce. Richiede tre punti di riferimento, una sincronizzazione continua tra trasmettitore e ricevitore con alta frequenza di aggiornamenti e un'ampia larghezza di banda.

I problemi principali che riguardano questa tecnica sono la presenza degli ostacoli, che potrebbero aumentare il tempo necessario per far sì che il segnale raggiunga il ricevitore falsando quindi i dati sulla distanza.

2.6 Time Difference of Arrival (TDoA)

Rispetto al ToF ha la differenza di richiedere una sincronizzazione solo tra ricevitori, di fatto non misura il tempo assoluto piuttosto la differenza di tempo tra segnali di diversi trasmettitori e stima la posizione del ricevitore con delle curve iperboliche.

2.7 Return Time of Flight (RToF)

Con questa tecnica vi è uno scambio di segnali tra il trasmettitore e il ricevitore, viene stimata la distanza calcolando il tempo necessario per far sì che un segnale arrivi al ricevitore e torni indietro al trasmettitore. Ha il vantaggio di non dover richiedere una sincronizzazione dato che viene calcolato il tempo totale impiegato ed è abbastanza semplice da impiegare. Gli svantaggi riguardano la probabilità di errore dovuta ai due viaggi che compie il segnale e che con dispositivi molto vicini tra di loro perde di efficacia.

2.8 Phase of Arrival (PoA)

Viene usata la fase del segnale per determinare le distanze. Richiede tuttavia una vista diretta tra i due dispositivi. E' spesso utilizzata insieme ad altre tecniche per migliorare la precisione dei dati.

3 Tecnologie per la localizzazione

Analizziamo una serie di tecnologie usate per la localizzazione in ambienti interni.

3.1 WiFi

Il WiFi ha la caratteristica di essere estremamente diffuso nei dispositivi mobile e nell'infrastruttura esistente, portandolo ad essere una delle tecnologie più testate in questo ambito. Può raggiungere range che vanno fino a 1km, lo svantaggio principale è dovuto al fatto che è stata pensata come tecnologia di comunicazione piuttosto che come tecnologia di localizzazione, presentando dunque interferenze. Raggiunge tuttavia un'accuratezza di localizzazione fino a 23cm.

Utilizza varie tecniche come l'RSS, CSI, ToF e AoA.

3.2 Bluetooth

Il bluetooth d'altro canto prevede velocità di trasmissione che raggiungono i 24Mbps e una portata che oscilla tra i 70 e i 100 metri. Fa uso di RSS per la facilità di implementazione e ha due protocolli specializzati, per i dispositivi Ios viene usato iBeacons mentre per i dispositivi Google si fa uso di Eddystone.

Permette inoltre una classificazione delle distanze tra dispositivi, date da:

- Immediata, <1m
- Vicina, inclusa tra 1m e 3m
- Lontana, >3m

3.3 ZigBee

Progettato per funzionare a basso costo, bassa velocità e risparmio energetico, funziona principalmente sui sensori wireless.

Ha lo svantaggio di non essere presente in buona percentuale dei dispositivi sul mercato.

3.4 RFID

La tecnologia RFID prevede il trasferimento dati grazie all'uso delle onde elettromagnetiche. Si può contraddistinguere in due principali categorie:

- RFID Attivi: Funzionano con alimentazione e possono avere portate di centinaia di metri, operano con onde ultra-alte e microonde ma hanno lo svantaggio di non funzionare propriamente a distanze basse
- RFID Passivi: Non necessitano di alimentazione e hanno una portata molto più limita, che si aggira intorno agli 1-2 metri. A causa di questa portata non si possono usare nel localizzazione indoor.

3.5 Ultra Wideband (UWB)

Una tecnologia di per sé molto funzionale, di fatto opera su un vasto range di frequenze, dai $3.1GHz$ ai $6GHz$ e con brevissimi impulsi di $< 1ns$. Ha la caratteristica di penetrare gli ostacoli, con una precisione molto elevata fino a $10cm$ ed è resistente agli effetti multi-path.

Ha lo svantaggio di non essere presente in molti dispositivi attualmente sul mercato.

3.6 VLC

Funziona con impulsi di luce che si trovano nel range di $[400, 800]THz$ e fa uso di led come trasmettitori e sensori di luce come ricevitori. Ha la caratteristica di essere ben diffusa sul mercato e funziona bene con la tecnica AoA. Lo svantaggio principale è che richiede una vista diretta tra trasmettitore e ricevitore.

3.7 Segnalatori acustici

Il funzionamento di questa tecnologia si basa sull'invio di segnali acustici che vengono ricevuti dai microfoni dei telefoni e calcolando il tempo di volo e l'effetto Doppler per dispositivi in movimento.

Di per sé risulta essere molto preciso nella localizzazione e sfrutta tecnologie già presenti sui dispositivi. Vanta tuttavia di una serie di vantaggi dati dal fatto che le frequenze sono molto limitate, fino a $20KHz$, questo a causa della potenza dei microfoni dei telefoni, inoltre richiede l'installazione di nuove infrastrutture che fungano da fonti sonore e comporta per i dispositivi mobili un consumo energetico abbastanza elevato con l'esecuzione di un algoritmo complesso che gestisca le basse frequenze.

3.8 Ultrasuoni

La tecnologia a ultrasuoni prevede di far uso di frequenze superiori ai $20KHz$ e quindi non udibili dall'uomo calcolando sempre le distanze con il ToF e richiedendo un impulso radio per la sincronizzazione.

Ha una serie di benefici dati dal fatto che comporta un consumo energetico abbastanza basso, non comporta problemi a causa di ostacoli, ed ha una precisione molto elevata anche a livello di centimetri.

Gli svantaggi principali sono dovuti al fatto che la velocità del suono varia in base alle condizioni ambientali come temperatura e umidità, è dunque richiesto

un termometro con il quale, sulla base dei dati raccolti, si riadatta il calcolo per il posizionamento. E' inoltre molto sensibile al rumore esterno e necessita di algoritmi complessi per il filtraggio.

4 Localization and Internet of Things

L'Internet of Things è quindi una tecnologia che propone di connettere dispositivi tra di loro. Di per sé vanta di 3 componenti fondamentali date da

- Raccolta dati: vengono raccolti dati ambientali come temperatura, ecc.
- Comunicazione dei dati: I dati vengono salvati in una struttura centrale e poi resi disponibili all'utente
- Elaborazione dei dati: necessaria per gestire l'enorme quantità di informazioni passate

Aspetto fondamentale di questa tecnologia è l'eterogeneità dei protocolli utilizzati, che possano essere WiFi, ZigBee, ecc., rendendo quindi complicato la comunicazione tra dispositivi che usano diversi protocolli. Inoltre proprio a causa del fatto che i dispositivi mobile sono progettati per essere economici e quindi vantano di una potenza limitata escono fuori una serie di difficoltà nell'implementazione di tecnologie per la localizzazione. Inoltre il singolo scambio di pacchetti per la localizzazione può comportare problemi a causa della sovrapposizione delle frequenze con altri protocolli, la limitatezza dello scambio costante di pacchetti con i dispositivi mobile attuali, rendendo quindi difficile un tracciamento costante.

Un problema fondamentale che può sorgere nell'uso di questa tecnologia è di privacy, di fatto anche se l'utente non usa direttamente un dispositivo mobile altri dispositivi possono tracciare informazioni critiche dell'utente. Nel corso degli anni sono emerse una serie di tecnologie differenti tra cui SigFox che opera su bande ISM non licenziate offrendo una comunicazione a lungo raggio che raggiunge i 40km ma con velocità molto basse. Di per sé richiede un consumo energetico ed una potenza molto bassa, ma nella localizzazione indoor è molto sensibile al multipath e al fading.

Altro esempio è dato dal LoRaWAN, opera a livello fisico LoRa ed è resiliente contro interferenze ed effetti Doppler. Lo svantaggio è che ha limitata larghezza di banda e copre distanze operative relativamente basse.

Il WiFi HaLow è molto promettente dato che si basa su tecnologie e dispositivi già esistenti e permette un buon bilanciamento tra copertura e velocità dati.

Abbiamo poi Weightless che prevede tre varianti date da Weightless-N (simile a SigFox), Weightless-W (utilizza spazi bianchi TV) e Weightless-P (operante in bande ISM sub-GHz), ma comunque non adatto allo scopo della localizzazione.

5 Evaluation Framework