

# Indice

4.9 Coesistenza UWB e Cognitive Radio.....	pag. 106
4.10 Cognition Cycle.....	pag. 108
4.11 Rilevazione dello spettro.....	pag. 109

## 5 Ambiente di Simulazione e Risultati

5.1 Struttura simulatore e ambiente di simulazione.....	pag. 111
5.2 Modello di canale.....	pag. 123
5.3 Risultati campagne di simulazione.....	pag. 134
5.4 Raccolta dei risultati in forma tabellare.....	pag. 165
<b>Conclusioni e Sviluppi Futuri.....</b>	<b>pag. 168</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>pag. 172</b>
<b>Indice delle figure.....</b>	<b>pag. 176</b>
<b>Indice delle tabelle.....</b>	<b>pag. 180</b>

## Introduzione

### 1 Reti Wireless e panoramica Ultra WideBand

1.1 Introduzione.....	pag. 1
1.2 Classificazione delle Reti Wireless.....	pag. 3
1.3 Classificazione Tecnologie Wireless.....	pag. 5
1.4 Introduzione alla Tecnologia UWB.....	pag. 12
1.5 Un po' di storia.....	pag. 19

### 2 Applicazione, Caratteristiche e Problematiche UWB

2.1 Aree di applicazione.....	pag. 25
2.2 Applicazioni UWB citate dalla FCC.....	pag. 29
2.3 Parametri caratterizzanti UWB.....	pag. 31
2.4 Valutazione dell'UWB-pro e contro.....	pag. 39
2.5 Pro e contro UWB in localizzazione radio.....	pag. 41
2.6 Reti Wireless: problematiche.....	pag. 43
2.7 Parametri di performance.....	pag. 49

### 3 Proposte di standard per il Livello Fisico

3.1 Descrizione del gruppo.....	pag. 52
3.2 Descrizione standard DS-SS.....	pag. 56
3.3 Descrizione standard OFDM.....	pag. 66
3.4 Descrizione standard TH-PPM.....	pag. 71
3.5 Impulsi TH-SS.....	pag. 77
3.6 Struttura del segnale Time Hopping ad impulsi.....	pag. 78
3.7 TH e PPM a confronto.....	pag. 79
3.8 Varianti di modellazione dell'impulso.....	pag. 80

### 4 Analisi tipologiche impulsi UWB e Cognitive Radio

4.1 Introduzione agli impulsi radio.....	pag. 83
4.2 Considerazioni sugli IR-UWB.....	pag. 84
4.3 Definizione linee spettrali.....	pag. 85
4.4 Trattazione analitica degli impulsi UWB.....	pag. 87
4.5 Generazione impulsi tramite blocchi combinati.....	pag. 93
4.6 Cognitive Radio: introduzione.....	pag. 102
4.7 Cognitive Radio: che cos'è.....	pag. 105
4.8 Applicazioni Cognitive Radio.....	pag. 106

## Introduzione

Durante il corso della storia, l'uomo ha sempre sentito la necessità di comunicare al punto tale di diventare un bisogno primario per il genere umano. La **comunicazione** (dal lat. *cum* = con, e *munire* = legare, costruire) è lo scambio di informazioni per mezzo di segni tra sistemi, in particolare tra esseri viventi e tra persone. La caratteristica fondamentale dei sistemi che comunicano è la capacità di interagire comprendendo ciò che viene comunicato. Nell'uso quotidiano, la comunicazione è lo scambio di pensieri tra esseri umani per mezzo della parola, della scrittura, dei gesti, delle immagini e dei suoni.

L'affascinante storia della comunicazione tra gli uomini va dai graffiti delle caverne, ai geroglifici dell'antico Egitto, il sistema di comunicazione tramite il fumo praticato dagli indiani d'America fino agli attuali sistemi di comunicazione mediante i siti del web.

In principio, sulle pareti delle grotte della preistoria inizia il prodigioso scambio del pensiero. I gesti, il disegno, la parola, la scrittura, la stampa, la radio, la televisione e Internet, sono le pietre miliari del comunicare. L'evoluzione umana è speculare a quella dello scambio del pensiero. Il linguaggio dovette apparire ai nostri lontani antenati come dono divino. Tanto è che gli si attribuisce un significato trascendentale: la parola, il verbo, la scrittura, consentirono di materializzare la rappresentazione semantica del mondo del pensiero. Tutte queste forme di comunicazione hanno il limite di non riuscire a raggiungere individui che si trovano a distanza notevole dal luogo dove viene scritto o detto qualcosa.

È grazie ai grandi geni quali Marconi e Meucci che si è passati ad un modo di comunicare a distanza indipendentemente dal luogo in cui si trova la persona. Assistiamo ad un progresso tecnologico che comincia con il telegrafo, si prosegue con il telefono per poi passare all'avvento di internet che ha radicalmente cambiato il modo di comunicare in modo più semplice e veloce.

Manca un solo anello: il tele-trasporto della materia. Anche la materia è informazione, fatta di particelle atomiche e sub-atomiche aggregate secondo determinate informazioni. I classici sistemi di comunicazione sono la radio e la televisione che consentono di comunicare in tempo reale ma il web è di più: una immensa teleconferenza interattiva resa possibile dall'integrazione di computer e reti di comunicazioni: la telematica. Siamo quindi nell'Era del WEB o dell'Informazione e il futuro a cui si sta andando incontro velocemente è rappresentato dalla tecnologia Wireless che offre la possibilità all'uomo di comunicare con il resto del mondo ovunque ci si trovi senza bisogno di alcun tipo di cavo. Quindi l'ambito di sviluppo è quello della comunicazione a distanza senza l'impiego di mezzi fisici di comunicazione, ma avvalendosi solo delle propagazioni in radio frequenza. Questo modo di comunicare in maniera mobile, cioè da qualsiasi postazione in cui si può interagire a distanza va sotto il nome di comunicazione wireless. Nei sistemi di comunicazione di tipo wireless la banda di frequenze utilizzata rimane ancora una risorsa limitata; per questo motivo uno dei principali obiettivi di ricerca di questi ultimi anni è lo studio di nuovi sistemi di comunicazione che aumentano l'efficienza spettrale.

In questa tesi si propone lo studio di una nuova tecnologia wireless che prende il nome di Ultra Wide Band andando a valutare con particolare attenzione lo strato fisico analizzandone le prestazioni delle reti UWV al variare degli impulsi radio utilizzati. Il primo impiego delle radiocomunicazioni mobili risale alla fine del diciannovesimo secolo quando Marconi, sulla base degli studi effettuati da Hertz, dimostrò la possibilità di stabilire un collegamento radio tra una stazione base ed un mezzo in movimento senza utilizzare alcun tipo di cavo. Da allora le comunicazioni mobili si sono diffuse e sviluppate considerevolmente, dapprima nel settore marittimo e successivamente in quello militare e di sicurezza pubblica. L'intera tesi comprende una parte in cui viene proposta un'introduzione ai tipi di reti wireless e alle loro tecnologie utilizzate attuando un breve

richiamo sulla tecnologia Bluetooth, poiché l'UWB si presenta come evoluzione di questa tecnologia. L'idea di comunicazione digitale wireless non è nuova e negli ultimi anni sta interessando ogni settore della società, con la moltiplicazione di installazioni di reti wireless. In informatica, il termine **wireless** (dall'inglese **senza fili**) indica l'insieme dei sistemi di comunicazione tra dispositivi elettronici che non fanno uso di cavi. A seconda del raggio d'azione, le reti wireless possono essere distinte come rete **WPAN** (Wireless Personal Area Network). Si tratta di reti che hanno un raggio operativo intorno ai 10 metri e sono adatte per permettere collegamenti ad-hoc tra dispositivi elettronici che circondano una persona. La prima tecnologia denominata WPAN è stato il bluetooth caratterizzata da bassi consumi di energia, un costo ridotto e un bit rate limitato a 1 Mb/s. Adesso si sta affermando una nuova tecnologia che è nota come UWB (Ultra Wide Band) che si presenta nel mercato come la nuova evoluzione del bluetooth. Le WPAN si stanno sviluppando verso più alti bit rate per supportare applicazioni multimediali quali per esempio, la trasmissione di video ad alta definizione. Insieme alle WPAN sono presenti anche le **WLAN** (WirelessLocal Area Network). Esse si presentano come l'estensione delle LAN (rete locale) aggiungendo la possibilità di movimento ai nodi della rete. Il raggio d'azione è generalmente intorno ai 100 metri. Seguono poi le **WMAN** (Wireless Metropolitan Area Network) che hanno come raggio d'azione il chilometro e si pongono come alternative al collegamento dell'ultimo miglio cablato. Terminiamo la classificazione delle wireless con la presenza delle **WWAN** (Wireless Wide Area Network) le quali non hanno un limite di estensione e possono coprire l'intero pianeta. La copertura del territorio è fatta attraverso celle coperte da una stazione radio base. Il problema delle wireless attuali è quello di avere una bassa efficienza spettrale che influenza la qualità della comunicazione come ad esempio la possibilità di aumentare il rate dei bit informativi, la necessità di poter sfruttare una banda maggiore con la possibilità di avere maggiore accuratezza del segnale.

Una possibile soluzione per migliorare l'efficienza spettrale è rappresentata dalle trasmissioni Ultra Wideband con modulazione Impulse Radio (UWB-IR). Un sistema di questo tipo, diversamente dalle usuali trasmissioni in banda base, prevede una trasmissione successiva di impulsi ad estensione temporale estremamente ridotta, garantendo in questo modo uno sfruttamento migliore dell'intera banda disponibile (qualche GHz). Continuando a discutere sul mio lavoro di tesi vengono affrontati gli aspetti che caratterizzano l'UWB sottolineando il suo ambito di sviluppo, le peculiarità di questa nuova tecnologia mostrandone pro e contro, le problematiche comuni delle reti wireless con particolare trattazione per quelle dell'UWB ed infine i relativi standard.

Nei sistemi di comunicazione si parla di ultra wide band (UWB) quando la banda di trasmissione  $B$ , o la più frequentemente usata banda a 3dB, è al meno il 25% della frequenza centrale  $f_0$  ovvero  $B > f_0/4$ . L'interesse per UWB nasce negli anni 90 quando la comunità americana di ingegneria inizia a focalizzare il suo interesse sui collegamenti radio che utilizzano le trasmissioni impulsive. Questo interesse è supportato da un nuovo tipo di tecnologia, implementato da Time Domain Inc., che tenta di generare impulsi ultracorti della durata inferiore al nanosecondo; questo tipo di impulsi ha uno spettro di frequenze fino a 5GHz.

La tecnica di modulazione più famosa è quella introdotta nel 1993 da R.A. Scholtz con il nome di Impulse Radio: si tratta di un modello basato sull'utilizzo combinato di codici di Time Hopping (TH) e della Pulse Position Modulation (PPM). Nel corso del mio studio ho potuto individuare due tipi di modulazione: PAM (Pulse Amplitude Modulation) e PPM (Pulse Position Modulation).

Con la tecnica di modulazione PAM l'informazione viene trasmessa variando l'ampiezza degli impulsi trasmessi mentre con la PPM l'informazione viene trasmessa variando la posizione sull'asse temporale degli impulsi trasmessi.

La novità maggiore delle trasmissioni UWB è l'idea di far coesistere nello stesso spettro più applicazioni diverse senza causare dannose interferenze. La tecnologia UWB si rivela quindi particolarmente adatta alla realizzazione di sistemi wireless indoor di nuova generazione perchè gode di alcune proprietà tra cui l'intero sistema funziona in banda base, perciò le strutture del trasmettitore e del ricevitore risultano avere una ridotta complessità che porta ad una possibilità di realizzazione a basso costo. Inoltre un segnale con queste caratteristiche presenta una migliore attitudine a penetrare la materia, ad esempio i muri degli edifici . Un'altra proprietà è dimostrata dalla breve durata degli impulsi che implica un'elevata risoluzione per i cammini multipli ovvero un'ampia capacità nel ridurre il fading. Il ricevitore infatti riesce a discriminare tutti i cammini che differiscono di almeno 30cm in lunghezza, corrispondenti a ritardi superiori al nanosecondo. Un'altra peculiarità dell'UWB è la ridotta densità spettrale di potenza del segnale trasmesso che permette di realizzare sistemi ad accesso multiplo (MA) che si rivelano particolarmente adatti in presenza di più utenti e garantiscono che non ci sia interferenza tra gli utenti stessi o con altri sistemi tradizionali a banda stretta.

I sistemi UWB sono adatti per comunicazione e posizionamento contemporanei, strutture su rete ad hoc e collegamenti di raggio corto.

Per limitare il rischio di sovrapposizione in banda con altri sistemi (rischio elevato, data la larghezza di banda propria dei sistemi UWB), si sono posti vincoli ben precisi alla massima potenza in emissione di un sistema UWB e così il comitato FCC per un segnale Uwb ha definito una maschera che definisce limiti di potenza nell'Uwb. Allo stato attuale Ultra Wide Band permette di trasmettere **fino a 500 Mb/s nel raggio di dieci metri e fino a 1 Gb/s nel raggio di un metro** (dunque è capace di trasmettere tutto il contenuto di un DVD in meno di 10 secondi), consumando una quantità nettamente inferiore di energia rispetto a Bluetooth e soprattutto a Wi-fi.

Si prevede che l'UWB potrà raggiungere una velocità di trasmissione quattro volte più elevata della rete Wi-Fi, e con circa la metà del consumo energetico. La banda larghissima consente di attraversare gli ostacoli, facendo dell'UWB una tecnologia particolarmente indicata per la trasmissione di grandi flussi di dati (come segnali video ad alta definizione) all'interno degli edifici.

Questa nuova tecnologia wireless sta per "rivoluzionare" l'intero sistema informatico e non solo poiché l'Ultra Wide Band trova largo impiego in molti settori. Continuiamo dicendo che una delle caratteristiche che rendono interessante questa nuova tecnologia è il fatto di avere innumerevoli aree di applicazione, in ognuna delle quali si sfruttano, tutti o in parte, i diversi pregi dell'UWB. Le aree principali trovano impiego nell'ambito militare, in applicazioni mediche per il monitoraggio dei pazienti, in applicazioni di sistemi radar veicolari con la presenza di dispositivi in grado di determinare la posizione e il movimento di oggetti nelle vicinanze di un veicolo permettendo così di impedire collisioni, di rendere più sicura l'attivazione dell'airbag e di migliorare i sistemi di sospensione con una migliore risposta alle condizioni del manto stradale.

La tecnologia UWB, utilizzando una tecnica trasmissiva wireless, è naturale che vada a risentire delle problematiche che presenta una rete wireless. Gli inconvenienti che vanno a penalizzare la performance di una rete wireless sono il Fading, la Pathloss, lo Shadowing e il Multipath.

La **Path loss** è un fenomeno presente nel canale che provoca un decadimento di potenza cioè aumentando la distanza di comunicazione allora aumenta l'attenuazione di potenza cioè si attenua il segnale.

Lo **Shadowing** è l'effetto ombra che viene generato da un ostacolo che si oppone ad un flusso radio di un segnale e quindi fa da attenuazione al segnale.

Il **Fading** letteralmente significa evanescenza del segnale ed è un fenomeno che si verifica nel canale ed è rappresentato dalla variazione del contenuto

del segnale intorno al valore medio della pathloss. La tempo varianza del fading provoca un cosiddetto “Cluster di errori sui bit” cioè errori consecutivi. Il fading tanto elevato in ambiente outdoor a causa della presenza di grandi ostacoli mentre è lento in ambiente indoor poiché la velocità dei terminali è nulla

Il **Multipath** si ha invece quando i segnali arrivano da cammini multipli causando dei ritardi temporali. I problemi relativi alla propagazione multipercorso sono:

- Auto interferenza: è noto anche come delay spread ed è l'interferenza provocata dal segnale stesso a causa dei ritardi dovuti ai cammini multipli. L'auto interferenza provoca il fenomeno dell'ISI (interferenza intersimbolica) nel senso che al ricevitore arrivano le repliche del segnale ritardato a causa dei cammini multipli. Quindi per ISI intendiamo una sovrapposizione di contributi dovuti ad altri simboli precedenti o seguenti e tale fenomeno è fortemente legato alla propagazione multipath. L'auto interferenza può essere costruttiva e anche distruttiva, E' costruttiva quando il segnale risultante ha un'ampiezza maggiore delle repliche mentre se tale ampiezza è minore delle repliche allora si tratta di una auto interferenza distruttiva;

- Veloci fluttuazioni temporali: variazioni dell'ampiezza del segnale ricevuto e ciò è noto anche come fading di rayleigh;
- Modulazione di frequenza casuale: è noto anche come doppler shift relativo ai differenti cammini cioè si tratta della variazione della frequenza portante che dipende dalla mobilità del dispositivo. Il fenomeno Doppler Shift diventa trascurabile in ambienti indoor e diventa non trascurabile in ambiente outdoor.

I canali di tipo indoor sono caratterizzati dal fenomeno del dense multipath, ossia dalla presenza di cammini multipli che complicano l'individuazione dei vari arrivi al ricevitore; per ovviare a questo problema vengono utilizzati in trasmissione segnali di tipo UWB che presentano una risoluzione temporale

elevata, associata ad uno spettro molto ampio e quindi soffrono poco di fenomeni selettivi in frequenza.

Nell'ipotesi che il mezzo sia isotropo ed omogeneo, la radiazione elettromagnetica si propaga seguendo traiettorie rettilinee a tratti, dette raggi. Causa del *multipath* è dunque la geometria: ogni qualvolta un raggio elettromagnetico incontra un ostacolo, assunto in quiete e con superficie perfettamente liscia, viene riflesso e cambia direzione.

La modellazione del canale può avvenire per mezzo di diverse tecniche numeriche di tracciamento di raggi (*ray tracing, beam tracing, etc.*) che collegano la sorgente del campo al punto di osservazione per mezzo di spezzate e danno luogo al cosiddetto *d.s.s. (delay spread spectrum)* o dispersione dei ritardi (ovvero la risposta all'impulso del canale); questo ultimo descrive l'ampiezza del campo elettromagnetico, agli istanti di tempo corrispondenti all'arrivo dei vari raggi nel punto d'osservazione.

Dopo aver descritto la tecnologia UWB, spiegato quali sono le problematiche e gli inconvenienti a cui si può andare incontro, adesso il percorso di studio della mia tesi si sposta nel descrivere quali sono gli standard che sono stati proposti per il livello fisico delle reti Ultra-wideband. Si tratta di tre standard di molta importanza perché vanno a specificare il tipo di segnale che viene trasmesso. Un primo standard è quello che prende il nome di **standard DS-SS**. L'idea di tale standard è quello di andare a separare gli utenti tramite un codice detto Pseudo Noise Number e tutti gli utenti accedono nella stessa frequenza e nello stesso tempo. Più lungo codice e maggiore è la reiezione dell'interferenza. Il segnale informativo per poter essere trasmesso viene moltiplicato per la sequenza di spread che è stata assegnata all'utente cioè il segnale che trasporta le informazioni viene moltiplicato direttamente per un codice ad alto *chip rate*. In trasmissione avviene operazione di Spreading mentre in ricezione avviene l'operazione di Despsreading.

Se il ricevitore moltiplica per una sequenza di spreading uguale a quella usata dal trasmettitore idealmente si riesce a ricostruire il segnale iniziale.

Le operazioni di spreading e despreading possono essere raccolte in tre passi. Nel primo passo troviamo che il segnale utile in seguito all'operazione di spreadig viene spalmato su tutta la banda, poi in seguito all'operazione di despreading ritorna nel suo stato originale ma osserviamo però la presenza di un segnale di disturbo (derivante dal canale) che bisogna attenuare ed infine nell'ultimo passo notiamo che dopo il filtraggio l'interferenza viene ripulita e così il ricevitore potrà recuperare idealmente il segnale originale così come era prima dello spreading.

Facendo un breve richiamo il termine **spread-spectrum** letteralmente significa **espansione di spettro** che è una tecnica utilizzata nelle telecomunicazioni in cui il segnale viene trasmesso su una banda di frequenze che è considerevolmente più ampia di quella dell'informazione contenuta nel segnale stesso. Tutto ciò viene fatto o allo scopo di migliorare il rapporto segnale/rumore, eliminando il maggior numero di interferenze e consentendo l'utilizzo contemporaneo della stessa gamma di frequenze a più utenti, oppure allo scopo di mimetizzare il segnale radio trasmesso abbassandone la potenza specifica e portandolo quindi a confondersi con il rumore radio di fondo, in modo da sfuggire al rilevamento da parte delle stazioni di intercettazione radio. Il salto di frequenza, il sequenziamento diretto, l'utilizzo di rumore pseudocasuale, il *time scrambling* e il *chirping* sono tutte tecniche a diffusione di spettro, così come la loro combinazione.

Fra i parametri principali del sistema ci sono la banda occupata dal segnale trasmesso indicata con  $B$  (Hz), il numero di bit al secondo trasmessi, detto velocità di trasmissione, indicato con  $R$  (bit/sec) ed il numero di simboli al secondo trasmessi, detto velocità o frequenza di simbolo, indicato con  $f_s$  (Hz, o simb/sec). Nei sistemi radio tradizionali si cerca sempre di ridurre al minimo l'occupazione di banda, visto che la banda è una risorsa scarsa, che deve essere suddivisa fra i diversi utenti e sistemi. Come è noto la banda minima necessaria alla trasmissione è dettata dalla velocità di trasmissione. In particolare nei sistemi tradizionali la banda richiesta è grosso modo pari

alla velocità di simbolo così che per questi sistemi risulta  $B \gg 2f_s$ . Al contrario i sistemi a Spettro Espanso (SS, Spread Spectrum) devono il loro nome al fatto che in questo tipo di trasmissioni la banda viene deliberatamente aumentata rispetto al minimo necessario, così che per i sistemi SS risulta  $B \gg 2f_s$  e il rapporto  $B/(2f_s)$  è detto il fattore di espansione spettrale. Esistono molti tipi differenti di trasmissioni SS. La più nota ed utilizzata è probabilmente la trasmissione con Espansione a Sequenza Diretta (DS-SS, Direct Sequence Spread Spectrum) citata in precedenza. In questa forma di trasmissione SS il segnale occupa interamente la banda, per tutto il tempo della trasmissione. Una seconda forma di trasmissione SS è il sistema a Salti in Frequenza (FH-SS, *Frequency Hopping Spread Spectrum*). In questa forma di trasmissione il segnale trasmesso occupa, istante per istante, una banda limitata, ma la frequenza portante del sistema viene cambiata periodicamente nel tempo, facendola "saltellare" su un insieme di possibili frequenze in modo da aumentare l'occupazione di banda effettiva. Un terzo tipo di trasmissioni SS sono le trasmissioni Impulse Radio UWB (IR, Impulse Radio). Un ulteriore standard prende il nome di **standard OFDM**. Tale standard prevede la suddivisione del canale in sottoportanti e ogni utente può trasmettere in una sottoportante per tutto il tempo che desidera cioè l'utente durante la sua trasmissione ha vincoli spaziali (cioè ha a disposizione una sottobanda limitata) e non vincoli temporali. Quindi quando si devono trasmettere più simboli contemporaneamente quello che si fa è di inviarti nello stesso tempo ma su frequenze distinte. L'idea fondamentale della modulazione OFDM consiste nello scomporre il flusso dei dati da trasmettere ( $R$  bit/s) in  $N$  flussi in parallelo da inviare mediante un insieme di portanti con spaziatura  $\Delta f$  in modo tale da non avere interferenza mutua tra i flussi (ortogonalità tra le portanti, multiplex a divisione di frequenza). L'ortogonalità si ha se la durata  $T_s = N/R$  dei simboli trasmessi sulle sottoportanti è legata alla spaziatura in frequenza dalla relazione  $\Delta f = 1/T_s$ .

Questo modo di trasmissione su più sottoportanti anziché su un'unica portante si presenta utile sui canali di trasmissione molto distortenti. In questo caso se si trasmette l'intero flusso  $R$  su un'unica portante occupando una banda  $B$ , si avrebbe forte interferenza intersimbolica e quindi necessità di una complessa equalizzazione di canale. Trasmettendo invece  $N$  flussi ciascuno a velocità  $N/R$  in  $N$  sottobande di larghezza  $\Delta f = B/N$ , si può dire in prima approssimazione che la funzione di trasferimento del canale per ciascuna sottobanda può essere considerata in pratica non distortente (se  $\Delta f$  è sufficientemente piccola) e quindi la funzione di equalizzazione non risulta necessaria o viene comunque molto semplificata.

La tecnica OFDM consente quindi di frazionare un canale distortente in un insieme di sottocanali paralleli non distortenti. I sottocanali rispetto al canale di partenza che poi dividiamo sono non distortenti poiché la larghezza di banda ora è stata ridotta e quindi il segnale durante il suo tragitto subirà una effetto distortente più debole come intensità e quindi da considerare trascurabile (cioè vorrei sapere se la distorsione è legata alla larghezza di banda). Si pensi, come tipico canale distortente, al caso di presenza sul collegamento radio di "cammini" multipli e quindi alla presenza in ricezione di "echi" ritardati tra loro nel tempo. La durata del simbolo OFDM (blocco di  $N$  simboli d'informazione) verrà scelta molto maggiore del ritardo relativo tra gli echi. In tal modo gli echi in pratica verranno a sovrapporsi, potendosi trascurare il ritardo relativo, e in pratica non si avrà distorsione. Per assicurare la non interferenza tra i simboli OFDM e l'ortogonalità delle sottoportanti in presenza di dispersione temporale sul canale, si inserisce tra un simbolo ed il successivo un intervallo di guardia (più precisamente, nell'intervallo di guardia si trasmette un'estensione ciclica del simbolo OFDM).

La tecnica OFDM per assicurare la non interferenza tra i simboli OFDM e l'ortogonalità delle sottoportanti in presenza di dispersione temporale sul canale, si inserisce tra un simbolo ed il successivo un intervallo di guardia.

Cioè con la tecnica dell'ortogonalità i segnali sono sovrapposti ma è possibile distinguerli. Quando i segnali viaggiano insieme allora bisogna evitare delle interferenze tra una portante e l'altra e per questo sono presenti dei toni di guardia che sono buchi di frequenza non utilizzati per la trasmissione dei segnali. Il terzo ed ultimo standard va sotto il nome di **standard TH-PPM**. Si tratta di un tipo di accesso multiplo in cui il codice Pseudo-Random determina i salti nel tempo su cui l'utente potrà trasmettere: quindi, mentre per lo standard OFDM ci avviciniamo di più ad un accesso multiplo come FDMA, nel caso dello standard TH-PPM ci avviciniamo all'accesso multiplo come il TDMA. Quindi si ha che il tempo viene diviso in frame e in chip.

Con il PPM si modula andando a variare il tempo di trasmissione dell'impulso cioè ogni utente ha un salto temporale. Ogni utente trasmette in un solo chip che varia da frame a frame. Il chip in cui trasmettere è indicato dal codice e quindi codici diversi permettono la multi-accesso.

La tecnica Time Hopping ha l'intento di appiattare lo spettro rendendolo più simile al rumore e anche per stabilire la canalizzazione cioè di consentire l'accesso multiplo. In un sistema ad accesso multiplo ciascun utente ha un'unica sequenza di codice PN. Solo un ricevitore che opera con la stessa sequenza di codice PN può decodificare la trasmissione.

Per quanto riguarda il discorso della performance del TH possiamo dedurre che più lo spazio tra i time-hop è corto e più il data rate è elevato ma è più probabile la possibilità di collisione. Per diminuire le possibilità di collisioni allora si rende lo spazio tra i time-hop più largo ma facendo in questo modo i ritardi diventeranno significativi.

Il Time-Hopping è usato solo per il trasferimento di brevi messaggi di controllo. Da quando questi messaggi non sono frequenti e sono di breve durata allora la probabilità di collisione è bassa relativamente al fatto di avere uno spazio piccolo tra i time-hop.

Un'altra parte della tesi che personalmente considero interessante è quella relativa alla trattazione analitica dei diversi impulsi UWB effettuando uno

studio di fattibilità delle forme d'onda utilizzabili nella trasmissione UWB. Tale parte della tesi si basa su uno studio basato sulla presentazione di un nuovo approccio che si tratta degli Impulse Radio che è un sistema di generazione di segnali radio di durata inferiore al nanosecondo con una nuova tecnica di commutazione. Diversamente dalle usuali trasmissioni, in cui il segnale in banda base è modulato con una frequenza radio di riferimento, per IR il sistema di trasmissione consiste in un semplice generatore di impulsi la cui estensione temporale estremamente ridotta garantisce lo sfruttamento dell'intera banda (qualche GHz). In letteratura sono presenti molti studi sugli impulsi UWB, ma nessuno di questi studi ha analizzato nel dettaglio le prestazioni dei sistemi DS-UWB in termini di BER e PER al variare del tipo di impulso impiegato in trasmissione, proprio per questo ho deciso di parlarne nel mio studio di ricerca e di analisi didattica. Tale parte, quindi, comprende la trattazione dei tipi di forme d'onda che un impulso Ultra Wide Band può presentare.

La trasmissione dei dati nello scenario ultra wide band non avviene come per le radio AM/FM o la televisione, che evitano di interferire fra di loro utilizzando determinati confini dello spettro delle frequenze e trasmettono i dati modulando l'ampiezza dell'onda all'interno di questi limiti. Le emissioni Ultra Wide Band sono composte da una serie di **impulsi intermittenti** inviati a bassa potenza su un raggio molto ampio dello spettro.

I dati trasmessi sono codificati tramite l'ampiezza, la durata e la polarità di questi impulsi. Per poter leggere i dati inviati tramite questo metodo, il dispositivo che riceve deve conoscerne la codifica e soprattutto deve sincronizzarsi, con chi ha trasmesso il messaggio, conoscendo a quali intervalli di tempo i dati saranno trasmessi. Se il ricevente non conosce la codifica e non è sincronizzato con chi trasmette, non può distinguere una trasmissione UWB dal cosiddetto rumore di fondo, ossia le radiazioni a bassa potenza generate da un asciugacapelli, o da un computer acceso piuttosto che dal corpo umano.

Questa caratteristica rende l'UWB un metodo di trasmissione molto sicuro perchè **difficile da intercettare** e non è quindi un caso che esso sia nato in ambito militare. Per rafforzare la sicurezza delle trasmissioni, gli impulsi vengono generati ad intervalli di tempo apparentemente casuali, in modo da "mimetizzarsi" alla perfezione con il rumore di fondo.

Ogni impulso trasmesso è riferito come un monociclo. La trasmissione ad impulsi elimina la necessità di convertire e recuperare cicli di frequenze. Il nome di trasmissione UWB è dovuto al fatto che il treno di impulsi in banda base possono avere uno spettro di frequenza espanso da zero a diversi GHz. L'UWB sta diventando una soluzione interessante per comunicazioni wireless, particolarmente per brevi e medi range applicativi. Aspetti differenti dell'UWB includono la sincronizzazione, la stima del canale, la non interferenza con sistemi di comunicazione narrowband, bassa complessità di energia UWB rilevata.

Il rilevamento di impulsi molto brevi e presenti in gran numero richiede un'accurata e rapida sincronizzazione. La sincronizzazione per ricevitori coerenti consiste nell'acquisizione di tempi iniziali del segnale, code tracking e algoritmi per il controllo logico che gestisce le transizioni tra acquisizione e tracking modes. L'acquisizione iniziale consiste di simboli, frame e acquisizioni di level timing. Nella fase di acquisizione il ricevitore tenta di determinare l'esistenza di un segnale di start. Se c'è un segnale, allora il code phase e il time offsets di ogni path necessita di essere stimato.

Un concetto assai importante per l'UWB è che occorre utilizzare impulsi il cui spettro rientri nella banda assegnata, ed aventi inoltre una componente in continua trascurabile. Tra gli impulsi inizialmente viene trattato quello rettangolare il quale trova applicazione sono in ambito accademico poiché possiede l'inconveniente di avere una componente in continua non affatto trascurabile che determina instabilità al segnale e quindi è necessario andare ad individuare forme d'onde più opportune. Tra gli impulsi utilizzabili troviamo l'impulso Gaussiano e le sue derivate. Lo spettro contenuto nel



dominio della frequenza dipende dal tipo di forma d'onda dell'impulso e della sua ampiezza. Lo spettro della frequenza desiderata della forma d'onda monociclo dovrebbe essere piatto sopra un obiettivo di banda larga non includendo la frequenza zero.

Dall'impulso Gaussiano si possono poi ottenere molti altri tipi di impulsi tra cui il Monociclo facendo la derivata seconda dell'impulso Gaussiano.

L'importanza dell'impulso Gaussiano è che la maggior parte delle forme comuni degli impulsi per comunicazioni UWB sono derivate dall'impulso Gaussiano. L'impulso Gaussiano da solo ha una componente continua nella frequenza centrale che lo rende indesiderabile per le comunicazioni radio. Quello che si nota è che facendo le sue derivate si hanno decrementi dell'ampiezza di banda ed incrementi come frequenza centrale.

Diciamo che il monociclo Gaussiano viene utilizzato come modello per la forma dell'impulso. Per questo tipo di segnali assume un ruolo fondamentale la densità spettrale di energia: idealmente più il segnale assomiglia ad un rumore bianco minore è l'interferenza nei confronti degli altri sistemi a banda stretta. Un'osservazione da tenere presente è che la maggior parte dei sistemi usano forme per modellare l'impulso al fine di controllare l'occupazione spettrale di ogni impulso per conformarsi entro i limiti definiti dalla maschera FCC. Un altro tipo di impulso è il Gaussiano Doppio il quale compare come un segnale bipolare che consiste di due ampiezze riservate degli impulsi Gaussiani con un tempo di distacco (gap)  $T_w$  tra i due impulsi. L'ultimo impulso analizzato è il Rayleigh che proviene dalla derivata prima dell'impulso Gaussiano.

Lo studio effettuato sugli impulsi UWB può risultare molto utile nell'ottica dell'emergente tecnologia "**cognitive radio**". Tale tecnologia è basata su sistemi radio programmabili che si adattano a far collaborare nodi vicini per massimizzare l'efficienza spettrale e distribuire equamente la banda disponibile. Il cognitive radio adopera tecniche basate sul controllo della potenza per rispondere al cambiamento delle condizioni locali dello scenario

in cui opera. Si tratta quindi di un sistema che si adatta alle condizioni del canale in cui lavora. In modo dinamico e automatico per regolare i propri parametri radio operativi e massimizzare il throughput, facilitando così l'interoperabilità tra i nodi. Tale tecnologia vede una rete di ricetrasmittenti capaci di scegliere all'istante le frequenze libere e utilizzarle senza dover rispettare una canalizzazione predefinita. Si tratta quindi di un buon modo per sfruttare in maniera efficiente porzioni di spettro ristrette o non sottoposte a licenze, come appunto quelle assegnate ai sistemi di trasmissione UWB.