



Il DRM un po' più da vicino

di Angelo Brunero

1K1QLD

Si è detto recentemente che la tecnica di modulazione digitale utilizzata dal DRM è la COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) e che essa, prima di divenire un nuovo standard di disseminazione e decodifica per le emittenti di radiodiffusione circolare in Onda Media e Corta (broadcasting), fosse stata studiata e sperimentata con successo per i vari servizi di telefonia mobile (e prima ancora per servizi strategici).

Vediamo allora di capire come e dove si è partiti, sia per curiosità, sia per dovere di trattazione.

ODFM

Questa tecnica (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), in grado di dividere un canale in sottocanali e di codificare una porzione del segnale da trasmettere in parallelo su ogni sottocanale, è una specifica, un protocollo che vede la luce già nello standard IEEE802.1a ma che verrà applicato solo con la nascita dello standard successivo, IEEE802.1g.

Per quanto sono riuscito a sapere, la tecnica OFDM risale agli anni '70 ed era impiegata non solo, o forse non ancora, su canale radio, ma piuttosto su conduttore, fibra o cavo elettrico che fosse. Ed è una tecnica tuttora utilizzata da diversi modem xDLS.

Il sistema di modulazione OFDM utilizza una banda larga, divisa in tanti sottocanali, ognuno utilizzato per trasmettere dati. Il ricevitore si occupa di aggregare tutti i dati ricevuti per ricostruire l'informazione trasmessa; in pratica si ha un funzionamento simile al Multilink PPP (Point-to-Point Protocol) con BAP (Bandwidth Allocation Protocol) che aggrega più canali secondo le richieste di banda.

Lo schema di trasmissione è simile a quello utilizzato da FDM (Frequency Division Multiplexing), poiché entrambi suddividono la banda disponibile in tanti sottocanali distinti, disponibili per la trasmissione. Tuttavia in FDM sono utilizzate delle bande di protezione per evitare che un sottocanale invada lo spettro dei sottocanali adiacenti (fig. 1).

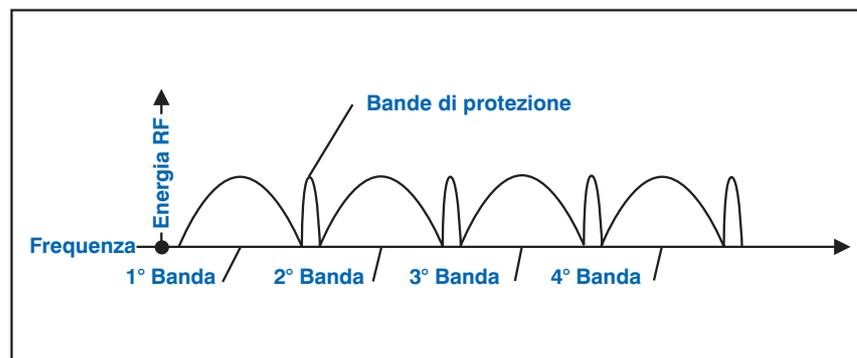
OFDM riesce invece ad incrementare la velocità rispetto a FDM, utilizzando i sottocanali in parallelo e multiplexando (cioè suddividendo) i dati su un set di

questi. Il principale difetto riscontrato nella tecnica FDM è la sua dipendenza dalle bande di protezione, che utilizzano banda utile riducendo la velocità. Per ridurre lo spreco di banda introdotto dalle bande di protezione, OFDM seleziona dei canali che si sovrappongono nello spettro, ma che non interferiscono tra loro.

È risaputo che l'uomo effettua continue ricerche per arrivare ad un minor spreco di risorse, specie se si riesce ad arrivare a risultati più performanti; se ciò non è sempre valido e rispettato, per scopi strategici, o laddove si corre dietro al mercato, questo è stato, nel nostro caso, il vero terreno di sfida e di ricerca.

Sarà possibile utilizzare canali sovrapposti, evitando le bande di protezione ed anzi utilizzando tale porzione di banda per veicolare informazione? Sì, è possibile, purché ovviamente questi siano ben separati e tali da poter essere distinti tra loro.

Fig. 1



Ortogonalità

L'abilità di separare questi canali dipende da una complessa relazione matematica, già vista nell'articolo precedente sul DRM, chiamata ortogonalità: in geometria il termine ortogonale indica un modo di incrocio di due linee rette che, incrociandosi, formano quattro angoli retti. Supponiamo di avere nello spettro delle frequenze due onde sinusoidali: queste vengono definite ortogonali quando un sottocanale raggiunge il suo massimo valore sull'asse delle ampiezze mentre il canale che gli è ortogonale avrà il suo valore pari a zero sull'asse delle frequenze. E viceversa (fig. 2).

OFDM seleziona un set di sottocanali derivanti dal canale principale per la trasmissione del segnale in radiofrequenza, ed esclude gli altri canali che compongono il set teorico.

Per realizzare l'ortogonalità, OFDM codifica il segnale per ogni sottocanale ed utilizza le funzioni di Fourier per creare l'onda composta, da inviare in radiofrequenza. Utilizzando la trasformata di Fourier è possibile ottenere da un'onda sinusoidale i valori espressi come frequenza ed energia; utilizzando invece la trasformata inversa è possibile ricreare il segnale originale. Per realizzare queste operazioni si utilizza la trasformata discreta di Fourier (DFT) e la sua inversa (IDFT). Questa tecnologia implica l'elaborazione del segnale in ricezione e in trasmissione, e il signal processing generato richiede un tempo di elaborazione proporzionale alla radice quadrata dei valori da calcolare. Per accelerare i calcoli esiste un algoritmo chiamato Fast Fourier Transform (FFT) e il suo inverso (IFFT), che riesce ad essere fino a 170 volte più veloce con valori in potenza di 2, consentendo notevoli incrementi nelle prestazioni del signal processing. Inoltre questo algoritmo è implementabile in hardware utilizzando dei DSP o Digital Signal Processors.

Ci viene ora nettamente più chiaro quanto un programma

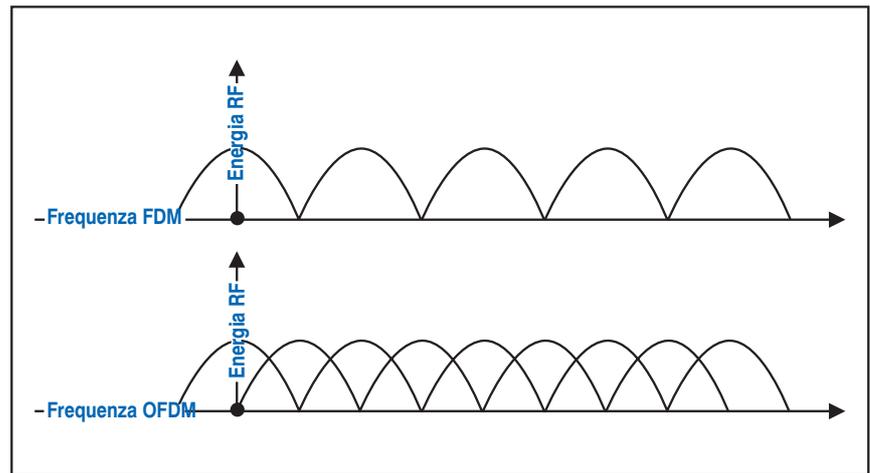


Fig. 2

per l'analisi del segnale DRM, come DReaM, ci dice rispetto a tutta una serie di parametri che, seppur non possano essere modificati dall'operatore, ci danno però l'idea di cosa stia avvenendo del segnale faticosamente captato, faticosamente estrapolato dal ricevitore, con il down-converter del caso, e mirabilmente trattato dagli algoritmi matematici che sovrintendono al suo funzionamento. Qui sotto ci sono un paio di esempi delle finestre di aiuto del programma DreaM, di cui si è detto in una precedente trattazione; ora ci è un po' più chiaro cosa significa...

Interferenze

Finora si sono considerati solo gli aspetti teorici della generazione del segnale da inviare, traslasciando gli aspetti legati alle interferenze. Le più devastanti sono quelle legate al fenomeno della ricezione multipla (multipath), delle rotazioni di fase e del fading; non sto qui a ricordare come i segnali radio arrivino alle nostre antenne sia diretti che riflessi, come le riflessioni ionosferiche provochino varie rotazioni di fase, come i percorsi multipli arrivino a generare il fenomeno del fading o dell'evanescenza. In particolare, quando due onde dello stesso segnale giungono in

Channel Estimation Settings: With these settings, the channel estimation method in time and frequency direction can be selected. The default values use the most powerful algorithms. For more detailed information about the estimation algorithms there are a lot of papers and books available.

DFT Zero Pad: Channel estimation method for the frequency direction using Discrete Fourier Transformation (DFT) to transform the channel estimation at the pilot positions to the time domain. There, a zero padding is applied to get a higher resolution in the frequency domain -> estimates at the data cells. This algorithm is very speed efficient but has problems at the edges of the OFDM spectrum due to the leakage effect.

Impulse Response: This plot shows the estimated Impulse Response (IR) of the channel based on the channel estimation. It is the averaged, Hamming Window weighted Fourier back transformation of the transfer function. The length of PDS estimation and time synchronization tracking is based on this function. The two red dashed vertical lines show the beginning and the end of the guard-interval. The two black dashed vertical lines show the estimated beginning and end of the PDS of the channel (derived from the averaged impulse response estimation). If the "First Peak" timing tracking method is chosen, a bound for peak estimation (horizontal dashed red line) is shown. Only peaks above this bound are used for timing estimation.

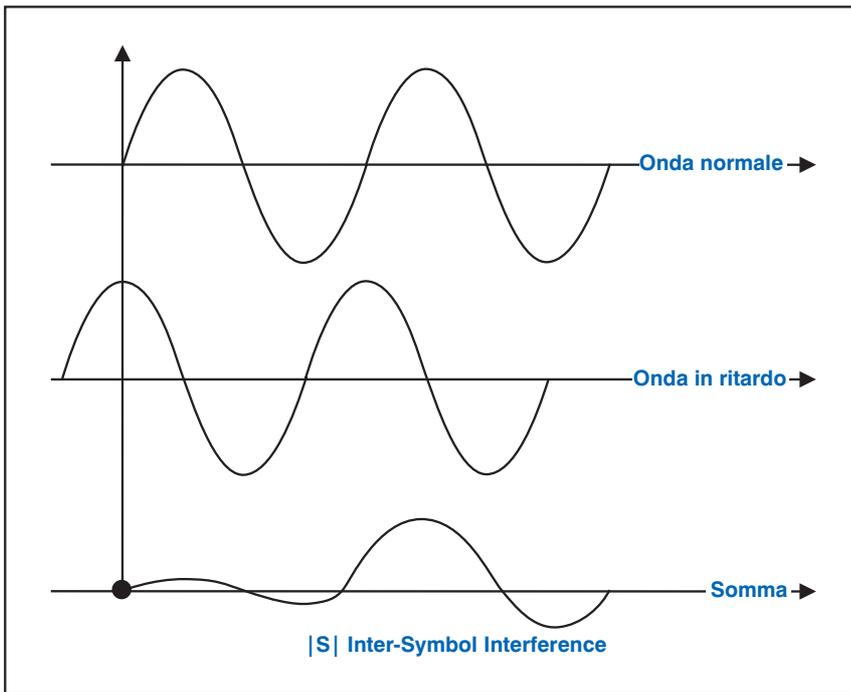


Fig. 3

tempi diversi possono generare un'onda piatta, ovvero annullarsi (succede anche in acustica); questo particolare tipo di interferenza prende il nome di ISI o Inter-Symbol Interference. OFDM utilizza la FFT (Fast Fourier Transform) per ricavare l'onda ricevuta dal treno di sottocanali nei diversi segnali, permettendo di ignorare i picchi ricevuti dai segnali in ritardo (fig. 3).

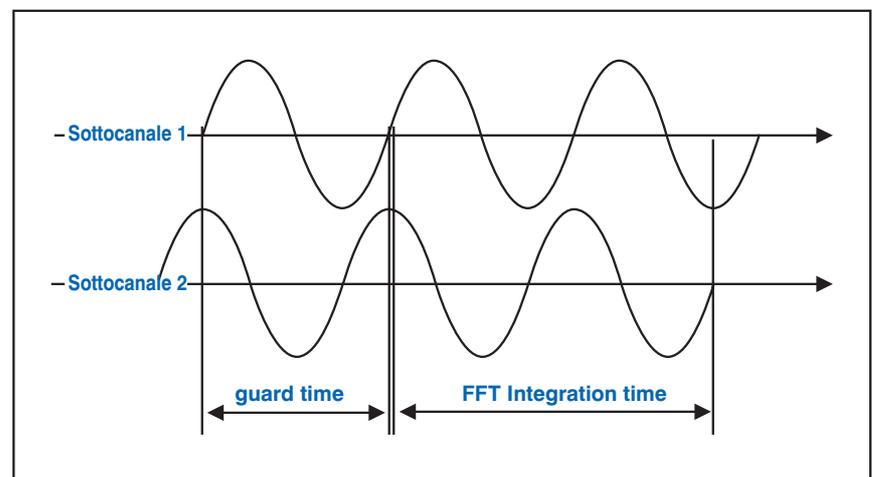
Inoltre, poiché i sottocanali fanno parte di un unico canale, i piccoli errori d'allineamento generano differenze di frequenza tra i sottocanali causando interferenza tra i canali che trasportano il segnale; questo fenomeno è noto con il nome di ICI o Inter Carrier Interference (sono differenze di frequenza che possono anche essere generate da discrepanze, magari minime, nel clock dei trasmettitori o dei ricevitori o delle schede audio dei PC che decodificano il DRM).

Per evitare le interferenze ISI e ICI, OFDM riserva la porzione iniziale del flusso di dati da trasmettere alle funzioni di timing, come ad esempio il tempo di guardia o Guard Time, e calcola con FFT solo la porzione restante della funzione di timing, per

mezzo di un processo chiamato FFT Integration Time. La scelta del valore di Guard Time nei sistemi OFDM e COFDM è un elemento cruciale nel dimensionamento del sistema, soprattutto per le implicazioni che ha sulle prestazioni, poiché un valore troppo elevato riduce la disponibilità di tempo di trasmissione, dovendo attendere la disponibilità del sottocanale, abbassando di conseguenza le prestazioni; mentre un valore troppo basso non protegge dalle interferenze.

Il metodo più semplice utilizza-

Fig. 4

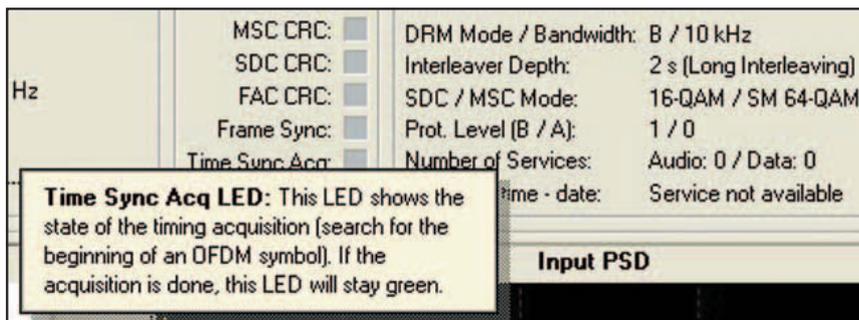


to per implementare il Guard Time consiste nella non trasmissione durante il periodo stesso; tuttavia questo processo può portare alla perdita di ortogonalità dei canali e alla presenza di segnali in ritardo. Inoltre OFDM deve avere un numero intero di onde tra i vari canali, e quando un'onda ha un Guard Time piatto e quindi non trasmette, questa condizione viene a decadere. Per ovviare a questo inconveniente è utilizzata una tecnica chiamata Cyclic Prefix Extension, che consente di mantenere valida l'analisi dello spettro anche nel caso in cui un sottocanale presenti un canale in ritardo: la porzione in ritardo viene inclusa nel Guard Time precedente, consentendo di mantenere l'ortogonalità delle frequenze dei sottocanali, come illustrato in fig. 4.

Nella pratica, le stazioni broadcasting ottengono la modulazione multicanale (multiplex) di un sistema OFDM o COFDM utilizzando un numero elevato di modulatori, oppure, con un approccio più efficiente, utilizzando IFFT per creare un singolo segnale baseband, modulato per mezzo di un solo modulatore per alta frequenza.

Diversity Antenna

Oltre ai sistemi visti, che non permettono all'utilizzatore generico di intervenire se non in mini-



Come evidenziato dalla finestra di aiuto del programma DReaM, il preambolo di sync non è ricevuto: il LED rimane spento e la ricezione risulta impossibile.

ma parte e comunque sempre via software (mi riferisco alle esperienze fatte con DReaM, ma sicuramente anche gli altri software per la decodifica del Digital Radio Mondiale si comportano in modo analogo o confrontabile), per ovviare alle interferenze cosiddette multipath è possibile intervenire anche in altro modo, magari non in maniera definitiva, ma sicuramente alla portata di un appassionato di radioascolto che abbia voglia e modo di sperimentare. Un segnale radio ha più di un percorso possibile tra antenna trasmittente ed antenna ricevente, con tutte le riflessioni che tale segnale può avere sia sul terreno, sia su manufatti, sia sulla ionosfera: l'interferenza di tanti segnali captati può causare un notevole aumento dell'energia trasferita dall'antenna ai primi stadi del ricevitore; l'AGC può ovviare solo in parte a questa interferenza, e comunque discretamente bene in ambiente analogico (AM, SSB, persino CW), ma assolutamente inefficiente in ambiente digitale.

Per ovviare a ciò si sono sperimentate due strategie: spostare l'antenna ricevente al di fuori del punto di convergenza dei segnali; oppure utilizzare un'antenna di tipo diversity.

Il primo caso è fattibile ovviamente per impianti di antenna non fissi o comunque sufficientemente mobili, ed è (e sarà) oggetto di prove e sperimentazioni da parte del sottoscritto nei vari campi di ascolto dell'AIR (Associazione Italiana Radioascolto) ai quali riesco a partecipare (e

sono tanti, in varie zone d'Italia ed in diversi periodi dell'anno); si è ormai sperimentato con successo il sistema del radiatore verticale tenuto in piedi da una canna da pesca sufficientemente lunga, coniugato al ricevitore per mezzo di balun magnetico o altro sistema: è leggero e pratico da spostare.

L'antenna cosiddetta diversity può essere paragonata ad uno switch in grado di selezionare un'antenna tra tutte quelle possibili, senza mai selezionarle tutte contemporaneamente (cosa che non fa lo splitter che, pur selezionando effettivamente tutte le antenne possibili, può comunque essere un buon strumento di partenza per ovviare alla mancata ricezione del preambolo di sync).

Una realizzazione semplice ma efficace della diversity antenna consiste in due antenne, il più possibile identiche tra loro, posizionate ad una certa distanza (da calcolare o trovare sperimentalmente a seconda della banda, del tipo di riflessione ionosferica, dell'ampiezza del fading, etc.) sia orizzontale che verticale, che forniscano lo stesso grado di copertura. Non appena la radio riceve su un'antenna un preambolo di sync, ci si posiziona sulle altre antenne e si confronta la qualità del segnale ricevuto. Immagino che in un prossimo futuro sarà possibile effettuare questo switch in modo continuo, con sistemi di antenne di piccole dimensioni, in modo automatico, magari gestito da un programma o da un microprocessore realizzato all'uopo.

Il futuro della radiofonia

Ecco perché, come ho avuto modo di ribadire più volte, non credo che il mondo della radiofonia abbia smesso di giocare le sue carte e chi lo dava per spacciato ha sbagliato clamorosamente: c'è da sperimentare, da inventare, da scoprire... a seconda del posizionamento geografico e orografico dei siti trasmettenti in DRM, si sperimentano sistemi di antenne multiple, complessi o comunque diversi dagli attuali, perché trasmettere una costellazione di segnali come nella tecnica DRM non è certo la stessa cosa che trasmettere in AM. E chi si predispone all'ascolto avrà da sperimentare nuovi algoritmi per combattere la degradazione di un segnale digitale e nuovi sistemi di antenne. Il campo è apertissimo sia per i BCL, sia per i radioamatori.

Il futuro è, come sempre, appena dietro l'angolo. L'importante è non spaventarsi quando, girato l'angolo, lo si incontra.

angelo@brunero.it

P.S.



DReaM è la parte software open-source (cioè è un programma) di un ricevitore DRM. Quello che occorre per ascoltare un'emissione in DRM è un PC con scheda sonora ed un ricevitore analogico tradizionale, modificato mediante un down-converter applicato ad una media frequenza, che ottenga un segnale di 12 kHz o dalla IF a 455 kHz (solitamente sempre presente) o da altra IF, da inviare alla scheda sonora di un computer. DReaM è un free-software, utilizzabile secondo le specifiche GNU General Public Licence.

