



Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria delle Telecomunicazioni  
**COMUNICAZIONI DIGITALI - Prova scritta d'esame del 07/07/14**

1) In un collegamento radio, l'equivalente in banda base del segnale trasmesso è

$$s(t) = \sum_i c_i g_T(t - iT)$$

dove il filtro di trasmissione ha risposta impulsiva

$$g_T(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} \operatorname{sinc}\left(\frac{t}{T}\right)$$

e i simboli  $c_i$  appartengono ad una costellazione complessa con punti  $c^{(0)} = (0,0)$ ,  $c^{(1)} = (\sqrt{2}, \sqrt{2})$  e  $c^{(2)} = (-2\sqrt{2}, -2\sqrt{2})$ . Tali simboli risultano indipendenti e hanno probabilità  $\Pr\{c_i = c^{(0)}\} = \Pr\{c_i = c^{(2)}\} = 1/4$ , e  $\Pr\{c_i = c^{(1)}\} = 1/2$ . Il canale di trasmissione introduce rumore Gaussiano bianco con densità spettrale di potenza bilaterale pari a  $N_0/2$ . Il segnale ricevuto è inviato al filtro di ricezione adattato a quello di trasmissione, ed è campionato agli istanti  $t_k = kT$ .

i) Calcolare una maggiorazione della probabilità di errore sul simbolo  $c_i$  in funzione di  $E_s/N_0$  (essendo  $E_s$  l'energia media di un simbolo ricevuto).

ii) Utilizzare la probabilità di errore calcolata al punto i) per calcolare la perdita rispetto ad un collegamento in cui i simboli  $c_i$  sono equiprobabili e appartengono ad una QPSK.

2) L'ingresso di un canale rumoroso di trasmissione dell'informazione è una sorgente digitale  $a_n$  senza memoria che assume i valori  $\pm 1$ . L'uscita del canale è del tipo

$$x(n) = a_n + w(n)$$

dove  $w(n)$  è un disturbo Gaussiano a media nulla e varianza unitaria indipendente da  $a_n$ . Calcolare il *log-a-posteriori-probability-ratio* (LAPPR)  $L(a_n)$  relativo al simbolo di informazione  $a_n$ .

3) In una trasmissione digitale, viene usata una tecnologia OFDM con  $N = 512$  sottoportanti di cui  $N_v = 64$  virtuali, e una modulazione 16-QAM con mappatura di Gray. Il canale di trasmissione ha un delay spread pari a 24 campioni e introduce rumore

Gaussiano bianco. Il trasmettitore impiega su ciascuna sottoportante un codice a blocco (6, 3) con matrice generatrice

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Assumendo che il valore della risposta in frequenza del canale su di una generica sottoportante sia costante su tutte le sottoportanti e pari a  $1.3 - j2.2$ , ricavare mediante decodifica a sindrome la sequenza di bit di informazione trasmessi quando il blocco di tre campioni consecutivi ricevuti sulla stessa  $n$ -esima sottoportante e inviati in ingresso ad un equalizzatore di tipo ZF sono  $2.3 - j0.3$ ,  $2.1 - j6.9$  e  $-4.1 + j3.9$  (supporre stima ideale della risposta del canale).

4) Nel downlink di una rete cellulare basata sulla tecnologia CDMA e con formato di modulazione DS/SS BPSK vi sono tre utenti attivi, a ciascuno dei quali viene assegnato un codice con fattore di spreading  $M = 8$ . In particolare, i codici assegnati ai tre utenti sono ottenuti dalla seconda, terza e settima riga della matrice di Hadamard di ordine 8. Calcolare la probabilità di errore al ricevitore del primo utente in presenza di rumore Gaussiano bianco con densità spettrale di potenza  $N_0/2$ , e nell'ipotesi in cui (per un errore di design del multiplexer di Base Station) il terzo e quarto chip del codice della seconda riga siano invertiti tra di loro.

Questo stesso testo si può trovare, insieme con gli altri temi d'esame di Comunicazioni Digitali sul sito Internet

<http://www.iet.unipi.it/m.luise/>

<http://www.iet.unipi.it/l.sanguinetti/>