



Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria delle Telecomunicazioni  
**COMUNICAZIONI DIGITALI - Prova scritta d'esame del 03/02/15**

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 in frequenza

$$G_T(f) = \frac{\sqrt{T}}{2} \text{sinc}(fT)$$

e dove i simboli  $c_i$  appartengono ad una costellazione binaria complessa con punti  $c^{(0)} = 2+j0$  e  $c^{(1)} = -1+4j$ . I simboli trasmessi risultano poi indipendenti con  $\Pr\{c_i = c^{(0)}\} = 3/4$  e  $\Pr\{c_i = c^{(1)}\} = 1/4$ . 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 ideali  $t_k = kT$ . Determinare le zone di decisione che minimizzano la probabilità di errore sui simboli  $c_i$ .

2) Un collegamento dati QPSK utilizza un codice a ripetizione di ordine  $N$ . I campioni ricevuti durante il  $k$ -esimo blocco dopo demodulazione, sincronizzazione e filtraggio adattato sono del tipo

$$x_k(n) = h_k(n)c_k + w_k(n) \quad n = 1, \dots, N$$

dove  $c_k$  è il simbolo trasmesso,  $h_k(n)$  è il coefficiente di canale (noto al ricevitore) e  $w_k(n)$  è rumore termico Gaussiano bianco complesso a media nulla e varianza  $2\sigma_w^2$ . Determinare la strategia a massima verosimiglianza per la decodifica dei simboli informativi  $\{c_k\}$ .

3) Un collegamento wireless impiega un segnale digitale di tipo OFDM con  $N = 256$  sottoportanti di cui  $N_v = 34$  virtuali, e protegge i dati con un codice convoluzionale con tasso  $2/3$  e constraint length  $K = 7$ . Il prefisso ciclico ha lunghezza  $N_g = 32$ . Per variare l'efficienza spettrale del collegamento, il trasmettitore può impiegare una costellazione a

scelta tra 4-QAM, 16-QAM e 64-QAM.

i) Supponendo di utilizzare una modulazione 16-QAM sulle sottoportanti di indice  $[17 \div 90]$ , una 64-QAM sulle quelle di indice  $[91 \div 164]$ , ed infine una 4-QAM sulle rimanenti sottoportanti di indice  $[165 \div 238]$ , determinare la banda del collegamento e il bit rate complessivo nell'ipotesi in cui la velocità di segnalazione su ciascuna sottoportante sia di  $10 \text{ kbaud}$ .

ii) Calcolare il tempo necessario per trasmettere un'immagine HD di  $1920 \times 1080$  pixel con profondità di 48 bit/pixel nelle condizioni rispettivamente di massima e minima protezione dagli errori.

4) In una rete cellulare UMTS vi sono due classi di utenti. La prima classe impiega una modulazione 16-QAM e codici di spreading di lunghezza  $M_1 = 32$ , mentre la seconda classe utilizza una modulazione 4-QAM con mappatura di Gray e spreading factor  $M_2 = 128$ . I bit informativi di entrambe le classi sono protetti dagli errori con un codice a ripetizione con  $N = 3$  e decodifica a maggioranza. Il controllo di potenza fa sì che l'energia per simbolo ricevuta della seconda classe sia di 9 dB superiore a quella della prima. Trascurando il rumore termico e supponendo l'interferenza da accesso multiplo Gaussiana, determinare il numero massimo  $N_1$  di utenti ammissibili nella prima classe, sapendo che il numero di utenti attivi della seconda classe è  $N_2 = 16$  e che la qualità del servizio richiesta per gli utenti della seconda è  $\text{BER}_2 = 10^{-5}$ .

---

*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/>