



1) Nella costellazione digitale rappresentata in Fig. 1, i simboli sono indipendenti ed equiprobabili. Sapendo che il canale di trasmissione è AWGN con densità spettrale di potenza bilaterale  $N_0/2$  e il filtro di trasmissione e quello di ricezione sono entrambi a radice di coseno rialzato:

- i) determinare una maggiorazione e una minorazione della probabilità di errore sul simbolo;
- ii) determinare il valore numerico della maggiorazione trovata al punto i) nell'ipotesi in cui  $E_s/N_0 = 10$  dB, dove  $E_s$  è l'energia media per simbolo ricevuta.

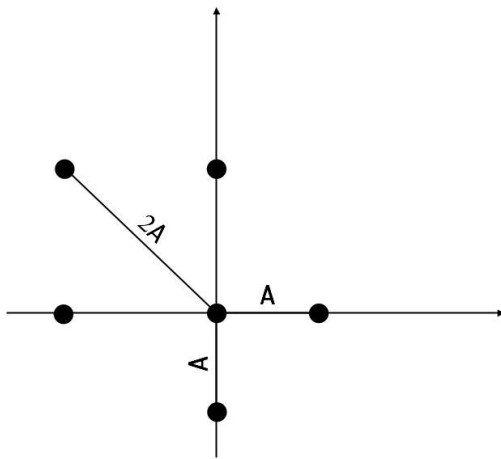


Fig. 1

2) In una rete di broadcasting via satellite, i bit informativi sono protetti dagli errori con un codice a ripetizione con lunghezza di blocco  $K = 3$  e decodifica a maggioranza. I simboli binari codificati così ottenuti sono ulteriormente protetti dagli errori con un codice convoluzionale con constraint length  $K = 3$ , tasso  $r = 2/3$ , generatori  $\mathbf{g}_1 = 27$ ,  $\mathbf{g}_2 = 75$ ,  $\mathbf{g}_3 = 72$  e decodifica soft. Il trasmettitore può impiegare una modulazione a scelta tra BPSK, QPSK e 16-QAM, tutte con mappatura di Gray e impulso a radice di coseno rialzato con roll-off  $\alpha = 0.35$ . Il canale di trasmissione introduce rumore Gaussiano bianco con densità spettrale di potenza bilaterale pari a  $N_0/2$ . Nell'ipotesi in cui il rapporto  $E_s/N_0$  sia pari a 6 dB (dove  $E_s$  è l'energia media ricevuta per simbolo di un sistema non codificato), determinare il tipo di modulazione da impiegare affinché l'efficienza

spettrale del sistema sia maggiore di 0.25 bit/s/Hz e la probabilità di errore in uscita al decodificatore a maggioranza sia inferiore a  $3 \times 10^{-6}$ .

3) Un collegamento dati su doppino telefonico impiega un segnale digitale di tipo OFDM con  $N = 256$  sottoportanti di cui  $N_v = 34$  virtuali, e con un prefisso ciclico di lunghezza  $N_g = 32$ . Per aumentare l'efficienza spettrale del collegamento, il trasmettitore usa una costellazione a scelta tra 16-QAM, 64-QAM e 256-QAM.

i) Supponendo che venga utilizzata una modulazione 256-QAM sulle sottoportanti di indice  $[17 \div 90]$ , una 64-QAM su quelle di indice  $[91 \div 164]$  ed infine una 16-QAM sulle rimanenti sottoportanti di indice  $[165 \div 238]$ , determinare la banda necessaria al collegamento nell'ipotesi in cui il bit rate complessivo sia 10 Mbit/s.

iii) Calcolare il tempo necessario per trasmettere un'immagine HD di  $1920 \times 1080$  pixel con profondità di 48 bit/pixel nell'ipotesi in cui la velocità di segnalazione su ciascuna sottoportante sia pari a 4 kbaud.

4) Un segnale DS/SS BPSK ha fattore di spreading  $M = 16$  e usa il codice di spreading ottenuto dalla sesta riga della matrice di Walsh-Hadamard di ordine  $M$ . La velocità di chip è  $R_c = 3.84$  Mchip/s, mentre il canale di comunicazione è del tipo multipath a due raggi con risposta impulsiva

$$c(t) = 0.5\delta(t - 2T_c) + 0.125e^{j\pi/2}\delta(t - 6T_c)$$

Nell'ipotesi in cui il rumore di canale sia Gaussiano bianco con densità spettrale di potenza bilaterale pari a  $N_0/2$ , calcolare la probabilità d'errore sul simbolo nel caso di ricevitore RAKE a due rami.

*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/>