



1) Il ricevitore di un collegamento wireless BPSK con simboli indipendenti ed equiprobabili ha  $N$  rami in diversità. La variabile in uscita dall' $n$ -esimo demodulatore coerente a filtro adattato all'istante di tempo  $k$ -esimo è

$$x_n(k) = r_n c(k) + w_n(k)$$

dove  $w_n(k)$  sono variabili aleatorie Gaussiane bianche indipendenti a media nulla e varianza  $2N_0$ . La variabile di decisione finale sul simbolo BPSK  $c(k)$  è ottenuta semplicemente ricavando:

$$z(k) = \sum_{n=1}^N r_n x_n(k)$$

Calcolare la probabilità di errore in funzione del rapporto  $E_s/N_0$ , nell'ipotesi in cui i coefficienti  $r_n$  siano variabili aleatorie indipendenti che assumono i valori 0 e 1 con probabilità rispettivamente  $1-p$  e  $p$ .

2) Un collegamento wireless impiega un segnale digitale di tipo OFDM con  $N = 256$  sottoportanti di cui  $N_v = 34$  virtuali. 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. 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  $[165 \div 238]$ ,

i) Determinare l'efficienza spettrale del collegamento nell'ipotesi in cui la velocità di segnalazione su ciascuna sottoportante sia di  $8 \text{ kbaud}$ .

ii) Nell'ulteriore ipotesi in cui l'energia media ricevuta per simbolo OFDM sia pari a  $E_{\text{OFDM}} = 8 \times 10^{-11} \text{ J}$ , determinare la probabilità di errore sui bit di informazione sapendo che il canale di trasmissione introduce solo rumore Gaussiano bianco con densità spettrale di potenza  $N_0/2 = 2.28 \cdot 10^{-14} \text{ W/Hz}$ .

3) In una rete cellulare UMTS vi sono due classi di utenti. La prima classe impiega una modulazione 4-QAM e codici di spreading di lunghezza  $M_1 = 64$ , mentre la seconda classe utilizza una modulazione 16-QAM con mappatura di Gray e spreading factor  $M_2 = 256$ . Il controllo di potenza fa sì che l'energia per simbolo ricevuta della prima classe sia di 6 dB superiore a quella della seconda. 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 prima è  $\text{BER}_1 = 10^{-2}$ .

---

*Questo stesso testo si può trovare, insieme con gli altri temi d'esame di Comunicazione Digitale, sui siti Internet*

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

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