

**Esame di stato per l'abilitazione all'esercizio della
professione di Ingegnere
II sessione – anno 2003**

Telecomunicazioni – tema 2

Si deve progettare un ponte radio digitale punto punto per trasmettere un traffico $R_b=34$ Mbit/s in un canale di ampiezza totale $B=16.5$ MHz, centrato attorno alla frequenza $f_0=11$ GHz.

Parte I: modulazione e probabilità di errore

1. Si scelga opportunamente la modulazione numerica da impiegare nel caso di filtri di TX e RX uguali e del tipo "radice di coseno rialzato" con coefficiente di roll off pari a 0.35.

Le caratteristiche del collegamento sono le seguenti:

- potenza trasmessa pari a 16 dBm
 - antenne identiche in trasmissione e in ricezione, paraboliche, con diametro 57 cm ed efficienza 0.5
 - attenuazioni da considerare: attenuazione di spazio libero (si supponga che il collegamento sia in piena vista), attenuazione per pioggia stimata nell'ordine di 15 dB e perdite aggiuntive (assorbimento atmosferico, cavi, margine implementativo) dell'ordine di 5 dB.
 - come rumore si consideri il solo contributo della temperatura ambiente, pari a 300 K
 - cifra di rumore del ricevitore pari a 15 dB
 - distanza tra le due antenne pari a 8 km.
2. Si calcoli la potenza ricevuta.
 3. Si calcoli un'approssimazione asintotica della probabilità di errore per la modulazione scelta e si valuti il valore della probabilità di errore sul bit (Bit Error Rate, BER) in ricezione. Per il calcolo della erfc si usi l'approssimazione:

$$\text{erfc}(x) \approx \frac{1}{6}e^{-x^2} + \frac{1}{2}e^{-\frac{4}{3}x^2}$$

Parte II: codifica di canale

Per migliorare le prestazioni del collegamento si decide di utilizzare un turbo codice prodotto.

Un turbo codice prodotto è ottenuto a partire da due codici a blocco elementari $C_1(n_1, k_1)$ e $C_2(n_2, k_2)$. I bit di informazione da trasmettere vengono scritti in una matrice $(k_1 \times k_2)$. La codifica avviene nel modo seguente. Le k_1 righe vengono codificate mediante il codice C_2 , che aggiunge $(n_2 - k_2)$ bit di ridondanza a ciascuna riga. Le n_2 colonne così ottenute vengono codificate mediante il codice C_1 , che aggiunge $(n_1 - k_1)$ bit di ridondanza a ciascuna colonna. In questo modo l'operazione di codifica è sistematica e produce una matrice $(n_1 \times n_2)$ di bit che vengono trasmessi sul canale.

Si ha a disposizione un chip commerciale capace di implementare turbo codici prodotto dove i codici elementari sono codici di Hamming estesi di lunghezza compresa tra 8 e 256 bit.

Per semplicità, si scelga un turbo codice prodotto quadrato, cioè con lo stesso codice elementare sia per le righe che per le colonne: $C_1 = C_2$.

4. Quale turbo codice prodotto si sceglie di utilizzare nel nostro caso?
5. (facoltativo) Si calcoli la distanza minima del codice utilizzato.

Parte III: implementazione pratica del modem

Per realizzare praticamente il ponte radio si decide di utilizzare una frequenza intermedia pari a 70 MHz sia in trasmissione che in ricezione.

6. Disegnare lo schema a blocchi completo del ponte radio in trasmissione ed in ricezione, dalla banda base all'antenna e viceversa.

In ricezione, si vuole realizzare tutta la parte che va dalla frequenza intermedia alla banda-base mediante un'implementazione digitale.

7. Illustrare i vantaggi di un'implementazione digitale rispetto ad una implementazione analogica di questa parte del ricevitore.

Per fare questo si campiona il segnale con frequenza intermedia 70 MHz.

Il convertitore A/D a disposizione ha però una massima frequenza di sampling pari a 60 MHz.

8. Scegliere la frequenza di campionamento.

Si supponga infine che tutti gli oscillatori usati per l'up-conversion in trasmissione e la down-conversion in ricezione abbiano una precisione in frequenza di 5 parti per milione.

9. Verificare se la frequenza di campionamento scelta al punto precedente è ancora accettabile o, se necessario, scegliere il nuovo valore.