

# POLITECNICO DI TORINO

## ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE II SESSIONE - ANNO 2000

Ramo TELECOMUNICAZIONI - TEMA N.2

Lo sviluppo delle trasmissioni radio di dati e voce nei sistemi mobili è caratterizzato da profonde e rapide trasformazioni. La ricerca di soluzioni, pratiche, economicamente vantaggiose e operanti con accettabile stabilità e qualità di servizio impone uno sfruttamento delle risorse trasmissive ai limiti definiti dalla teoria di Shannon. L'estensione dei servizi richiede, tra l'altro una maggiore disponibilità di banda per permettere maggiori velocità di trasmissione. Oltre alla onnipresente telefonia cellulare, un tipico impiego è la distribuzione di connessioni mobili in grandi sale tipo "open space", ove le velocità di spostamento dell'utente sono molto basse. In questo scenario, si faccia riferimento ad un sistema di trasmissione mobile le cui specifiche di progetto sono riportate in Tabella 1.

Tabella 1

Frequenza portante:	
Base a Mobile	2000 MHz
Mobile a Base	2100 MHz
Larghezza di banda del canale RF	2000 kHz
Numero del gruppo di utenti	10
Tipo di accesso al canale	TDMA
Modulatione numerica	$\pi/4 - QPSK$
Velocità di trasmissione netta per utente	384 kbit/sec
Lunghezza totale del pacchetto (header+carico)	1624 bit
Ritardo massimo consentito per utente	50 msec
Header di pacchetto	24 bit

Si consideri l'ambiente operativo cui il sistema è destinato affetto dal solo rumore gaussiano bianco e si assumano condizioni di propagazione praticamente ideali.

1. Progettare trasmettitore e ricevitore della stazione mobile dal punto di vista sistemistico, con l'obiettivo che, dopo la rivelazione, la probabilità di errore sul bit non superi  $p = 10^{-4}$ .

Indicare schemi e potenza di trasmissione e regioni di decisione, considerando come unico disturbo il rumore gaussiano bianco, con densità spettrale di potenza  $N_0 = 6 \cdot 10^{-10} W/Hz$ . Per determinare la potenza in trasmissione si assuma che il raggio utile delle celle sia di  $100m$  e che i guadagni d'antenna della stazione mobile e della stazione base siano rispettivamente  $G_{mob} = 2.0 dB$  e  $G_{base} = 50 dB$ .

2. Assumendo che il sistema di trasmissione sia quello determinato al punto 1, si sfrutti il margine di banda per trasmettere ad una velocità superiore per utente. Ipotizzando una equalizzazione perfetta, si utilizzi la maggiore velocità per impiegare codici correttori d'errore al fine di recuperare la probabilità di errore senza incrementare l'energia (e possibilmente anche la potenza) dei segnali da trasmettere.

In particolare si utilizzi il codice di Golay (24, 12, 8) per proteggere i 24 bit di indirizzo del pacchetto, e si calcoli la probabilità di errore residua osservando un decisivo incremento del throughput derivante dalla riduzione del numero di ritrasmissioni.

Inoltre si determini, utilizzando le formule per il calcolo della probabilità di errore residua dopo la decodifica quelle a fianco indicate, quale tra i seguenti codici permette di ottenere una probabilità di errore di  $10^{-8}$  sui bit di carico compatibilmente con il margine di velocità di trasmissione:

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| (a) codice di Goppa (17, 8, 5) | $p_b \approx 127.4p^3 - 845.7p^4$      |
| (b) codice BCH (63, 51, 5)     | $p_b \approx 2491p^3 - 102790p^4$      |
| (c) codice Hamming (31, 26, 3) | $p_b \approx 45p^2 - 730p^3 + 6930p^4$ |
| (d) codice Golay (24, 12, 8)   | $p_b \approx 1771p^4 - 21252p^5$       |

In tutti i casi,  $p$  è la probabilità di errore sul bit in assenza di codifica.

3. Sistemi di trasmissione di questo tipo possono essere usati in settori quali: e-commerce, home-banking o per gestire ordini e transazioni di tipo mercantile. In molte di queste applicazioni è richiesta la firma con funzioni di garanzia e non-ripudio. Descrivere un possibile protocollo in grado di consentire la firma elettronica su un canale mobile.

Per valutare la funzione d'errore *erfc* si può utilizzare la formula approssimata

$$\frac{1}{2}\text{erfc}\left(\frac{z}{\sqrt{2}}\right) = Q(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}z}e^{-z^2/2}$$

oppure la tabella seguente

**Tabella 1- Valori esatti BER per *M*-PSK con codifica di Gray**

$E_b/N_o$ dB	$p_b$ ( $M = 2, 4$ )
-2.0	$1.306 \cdot 10^{-1}$
-1.0	$1.038 \cdot 10^{-1}$
0.0	$7.865 \cdot 10^{-2}$
1.0	$5.628 \cdot 10^{-2}$
2.0	$3.751 \cdot 10^{-2}$
3.0	$2.288 \cdot 10^{-2}$
4.0	$1.250 \cdot 10^{-2}$
5.0	$5.954 \cdot 10^{-3}$
6.0	$2.388 \cdot 10^{-3}$
7.0	$7.727 \cdot 10^{-4}$
8.0	$1.909 \cdot 10^{-4}$
9.0	$3.363 \cdot 10^{-5}$
10.0	$3.872 \cdot 10^{-6}$