

Esame di stato per l'abilitazione all'esercizio della professione di Ingegnere

I sessione 2010

Sezione A - Laurea Specialistica

Settore dell'Informazione

Classe 30/S: Ingegneria delle Telecomunicazioni e Ingegneria Telematica

Prova pratica 1

Si vuole progettare un nuovo sistema di telefonia mobile, basato su tecnica TDMA/TDD (Time Division Multiple Access e Time Division Duplexing) a commutazione di circuito. In particolare, si ha una struttura a trame ed ogni trama è costituita da 8 slot iniziali per la trasmissione in downlink (da stazione base a terminale mobile) seguiti da 8 slot per la trasmissione in uplink (da terminale mobile a stazione base). Gli slot in uplink e downlink hanno la stessa durata. Ad un terminale mobile viene allocato uno degli 8 slot in downlink, ad esempio lo slot $k_d = 3$, a cui corrisponde lo slot $k_u = 8 + k_d = 11$ per l'uplink. In ogni cella sono disponibili due frequenze: f_B per gestire l'accesso multiplo e inviare le informazioni di controllo comuni a tutti i terminali mobili, ed f_T per il traffico. Ogni terminale mobile è dotato di un unico transceiver, e quindi il terminale non può contemporaneamente trasmettere e ricevere.

Il codificatore vocale analizza intervalli di parlato di durata pari a 20 ms e genera blocchi di 95 bit, tra cui 21 sono in classe A (richiedono maggiore protezione), 20 in classe B (richiedono meno protezione) e 54 sono in classe C (non richiedono protezione).

Il codificatore di canale genera 142 bit ogni 95 bit generati dal codificatore vocale, nella seguente maniera: ai 21 bit in classe A vengono aggiunti 3 bit di CRC, i 24 bit così ottenuti ed i 20 bit in classe B vengono codificati con un codice convoluzionale a rate 1/2 (senza bit di tail), mentre i 54 bit in classe C non vengono codificati.

I 142 bit codificati vengono trasmessi tutti in un unico burst di traffico, così composto:

- 4 bit iniziali pari a zero, per consentire al modulatore di accendersi e raggiungere la potenza di trasmissione desiderata
- preambolo di 16 bit (necessario per effettuare la stima del canale e definire i coefficienti dell'equalizzatore da usare in ricezione)

- 2 bit per specificare il tipo di burst: 00 per il burst che trasporta voce, 01 per il burst che trasporta la segnalazione in banda, 10 per il burst di dati con codifica a correzione d'errore e 11 per il burst di dati con codifica a rivelazione d'errore;
- 142 bit di payload
- 4 bit finali pari a zero, per consentire al modulatore di spegnersi,

per un totale di 168 bit. Il tempo di slot, in cui il burst va trasmesso, è pari a 176 bit ed include un tempo di guardia pari a 8 bit.

Il sistema prevede un controllo di potenza e un controllo sul timing advance: la stazione base invia al mobile l'ordine di aumentare o ridurre la potenza trasmessa e l'ordine di anticipare o ritardare la trasmissione una volta al secondo. I due ordini vengono inseriti in un unico burst di segnalazione che ha la stessa struttura e durata del burst di traffico, e viene trasmesso "in banda" cioè utilizzando lo stesso slot k_d usato per il traffico vocale (frequenza centrale f_T). Si ha dunque una struttura a multitrama in cui sono presenti N trame di traffico ed una trama di segnalazione. Si trovino i valori dei seguenti parametri:

1.1 numero di trame di traffico N in una multitrama

1.2 durata della multitrama T_{mf}

1.3 durata della trama T_f

1.4 durata dello slot T_s

1.5 durata del burst di traffico T_{bu}

1.6 durata del bit all'ingresso del modulatore T_b

1.7 bit rate R_b all'ingresso del modulatore

Ogni terminale mobile deve sincronizzarsi con la sua stazione base. Il terminale mobile, all'accensione, si aggancia al segnale che la sua stazione base trasmette in broadcast a frequenza f_B per ricavare il tempo di inizio di ciascuna trama, e poi sposta il proprio riferimento interno di inizio trama seguendo i comandi che gli vengono inviati dalla stazione base. Si noti che ogni terminale mobile deve avere un proprio tempo di inizio trama, perché il tempo di propagazione del segnale dipende dalla distanza tra telefono mobile a stazione base, e questa è in genere diversa per tutti gli utenti. Per questo motivo, i comandi di timing advance vengono inviati "in banda". Si supponga di essere a regime e che sia attiva una telefonata per l'utente. Il sistema di controllo del timing advance funziona nel seguente modo:

- la stazione base ordina al mobile di ritardare la trasmissione di un intervallo di bit T_b se il tempo che intercorre tra l'inizio effettivo dello slot e l'inizio del primo tail bit ricevuto dalla stazione base è minore di $3T_b$
- la stazione base ordina al mobile di anticipare la trasmissione di T_b se il tempo che intercorre tra la fine dell'ultimo tail bit ricevuto e la fine dello slot è minore di $3T_b$.

In questo modo viene garantito che tra due burst consecutivi ricevuti dalla stazione base ci sia un intervallo di almeno $6T_b$. Il sistema di controllo di potenza avviene chiedendo al terminale mobile di aumentare la potenza trasmessa di 1 dB se la potenza ricevuta dalla stazione base è troppo bassa, e di diminuire la potenza trasmessa di 1 dB se la potenza ricevuta dalla stazione base è troppo alta.

2.1 Si supponga che l'utente si allontani radialmente dalla stazione base a velocità v . Se in un tempo pari alla durata di una multitrama il mobile si sposta in modo tale che a) il tempo di propagazione aumenta di più di T_b , oppure b) l'attenuazione aumenta di più di 1 dB, allora il sistema di controllo non riesce a "rincorrere" le variazioni e a mantenere il collegamento tra mobile e stazione base all'interno delle specifiche. Si calcoli il massimo valore di v che consente di rispettare la condizione a). Si calcoli il massimo valore di v che consente di rispettare la condizione b), supponendo che l'attenuazione sia proporzionale a d^n , con d distanza tra le antenne e n coefficiente che assume valori tra 2 e 4, a seconda dell'ambiente trasmissivo (urbano, suburbano, ecc).

Il sistema deve poter funzionare nel caso in cui l'utente si muova a 50 km/h: se la velocità v_{max} trovata è inferiore a 50 km/h, si proponga una modifica al sistema di controllo. Nei punti successivi, comunque, si usi la struttura di slot/trama/multitrama specificata nel testo e non quella che eventualmente risulti necessaria dall'analisi di questo punto.

2.2 Se il tempo di propagazione tra terminale mobile e stazione base è τ , qual è il tempo minimo θ_{min} che intercorre tra la fine della ricezione di un burst e l'inizio della successiva trasmissione all'interno del terminale mobile? Si consiglia di schizzare una serie di grafici che indichino le posizioni temporali dei segnali trasmessi e ricevuti per la stazione base e per il terminale mobile.

2.3 È data la possibilità all'utente di trasmettere/ricevere dati durante una conversazione, allocandogli un ulteriore slot della trama. Che cosa succede se lo slot associato alla conversazione è il primo della trama (slot 1) e lo slot associato al trasferimento dati è l'ultimo (slot 8)? Come nel punto [2.2], si schizzino i grafici che indicano le posizioni temporali dei segnali trasmessi e ricevuti per la stazione base e per il terminale mobile. Tenuto conto della presenza del tempo di guardia, e supponendo che la commutazione tra fase di ricezione e fase di trasmissione (e viceversa) all'interno del terminale mobile sia istantanea, è possibile allocare gli slot 1 e 8 di ciascuna trama allo stesso utente? esiste un vincolo sul valore massimo del tempo di propagazione τ ? se questo vincolo esiste, qual è il corrispondente raggio massimo della cella?

L'accesso del terminale mobile al sistema avviene con tecnica slotted aloha sulla frequenza f_B . L'access burst è costituito da 4 bit di tail, 32 bit di preambolo, 80 bit di informazione codificata e 4 bit di tail finali. Il terminale mobile trasmette il burst nello slot k_u , sincronizzandosi con il segnale ricevuto in downlink a frequenza f_B , e la stazione base deve ricevere il burst all'interno dello slot k_u , con un margine di almeno $3T_b$ rispetto all'inizio dello slot successivo.

3.1 Si calcoli il massimo ritardo di propagazione τ_{max} che consente il corretto funzionamento del sistema. Si calcoli quindi il corrispondente raggio massimo della cella R_{max} .

Il sistema di codifica vocale è dotato di un "voice activity detector" (VAD) che identifica i periodi in cui l'utente non parla (o perché ascolta o perché inserisce pause nel parlato). Si

supponga che l'utente parli in media per il 40 % del tempo. Nei periodi di assenza di attività vocale, lo slot di traffico lasciato libero viene utilizzato per trasmettere altri dati (tipo sms o upload/download di file). Il burst utilizzato ha la stessa durata e struttura, ma ha diversi tipi di codifica di canale, a seconda della qualità del canale.

4.1 Si calcoli il bit rate di informazione medio nel caso in cui il coding rate ϵ_c sia $1/2$, $1/4$ e $3/4$ con codificatore a correzione d'errore.

4.2 Nel caso in cui il canale sia particolarmente favorevole, si usa un semplice CRC di 8 bit. Il ricevitore verifica la correttezza del CRC ricevuto e, se trova un errore, chiede la ritrasmissione (protocollo ARQ). Si consideri il caso in cui l'utente debba scaricare un file dalla rete fissa. Si supponga che a) questo tipo di codifica si usi solo se l'utente si trova a meno di 5 km dalla stazione base, b) il canale di downlink sia modellabile come un canale BSC senza memoria con probabilità d'errore pari a 10^{-5} , mentre il canale di uplink (su cui viaggiano i burst ack/nack) abbia probabilità d'errore pari a zero in quanto il burst, che porta un bit di informazione, occupa comunque un intero slot e quindi è molto protetto, c) il decodificatore sia in grado di rivelare tutti e soli gli errori singoli e doppi ($d_{min} = 3$) eventualmente occorsi in downlink, d) la probabilità che uno slot sia libero ed utilizzabile per la trasmissione dei dati sia 0.6, senza memoria, sia in uplink sia in downlink (ipotesi semplificativa).

Si calcoli la probabilità $P(R)$ che il terminale mobile chieda alla stazione base la ritrasmissione di un burst, a causa del fallimento del controllo del CRC.

Si calcoli il ritardo di propagazione τ per una distanza di 5 km e si discuta l'influenza di τ nel dimensionamento del sistema.

Si discutano vantaggi e svantaggi dell'utilizzo dei protocolli "stop and wait" e "selective repeat". Quale dei due protocolli fornisce il bit rate (netto) più elevato? Quale protocollo è più complesso? Quale protocollo richiede un header e di quali dimensioni (approssimative)?

Per il protocollo "stop and wait", si disegni un grafo che descriva l'evoluzione degli stati del sistema a partire dallo stato iniziale "start" in cui la stazione base ha un burst di dati che deve essere trasmesso allo stato finale "end" in cui il terminale mobile accetta il burst, dopo le eventuali ritrasmissioni ed attese di uno slot libero. Si etichetti ciascun arco con la corrispondente probabilità di transizione.

Si calcoli il bit rate medio netto (cioè considerando i bit di informazione effettivamente accettati dal terminale mobile) per il protocollo "stop and wait". Nota: questo calcolo è complesso, lo si affronti solo se si è data la risposta a tutti i quesiti precedenti.