

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

Seconda sessione 2010

Ramo Telecomunicazioni - Vecchio ordinamento

Una sonda spaziale acquisisce fotografie a colori in formato 1024×768 pixel, con 24 bit per pixel in formato RGB (cioè 8 bit per il rosso, 8 per il verde e 8 per il blu). Le fotografie, non compresse, vengono inviate a terra una dopo l'altra, associando a ciascuna l'ora di generazione in formato `yyyymmddhhmmss` (usando un byte per ogni carattere, per un totale di 14 byte).

La trasmissione avviene secondo lo standard CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems) nella raccomandazione "TM synchronisation and channel coding", 131.0-B-1, Sept. 2003. La struttura del sistema di trasmissione risulta essere la seguente:

- I bit corrispondenti alla fotografia vengono divisi a gruppi di 8, ed ogni ottetto costituisce un simbolo di informazione.
- I simboli di informazione vengono inviati all'interlacciatore di Reed-Solomon, utilizzando una profondità di intrlacciamento $I = 5$. A livello funzionale, l'interlacciatore agisce come indicato nella figura 1:
 - lo switch S_1 invia il simbolo di informazione in ingresso ad uno degli I codificatori di Reed-Solomon presenti nel trasmettitore, in maniera ciclica;
 - dopo aver accumulato k simboli di informazione, ciascun codificatore di Reed-Solomon genera $n - k$ simboli di parità e produce una parola di codice di n simboli (il codice è sistematico ed i primi k simboli sono quelli di informazione);
 - lo switch S_2 legge un simbolo da ciascuno degli I codificatori, sempre in maniera ciclica.

Nella sequenza di simboli all'uscita dello switch S_2 sono presenti prima kI simboli di informazione e poi $(n - k)I$ simboli di parità. Le velocità di commutazione degli switch S_1 e S_2 sono tali per cui la durata di kI simboli di informazione all'ingresso di S_1 è uguale alla durata di nI simboli all'uscita di S_2 .

- Ogni codificatore di Reed-Solomon è caratterizzato dalla stessa coppia di parametri (n, k) , con $n = 2^8 - 1 = 255$ e $k = 223$. Il numero di simboli errati che il decodificatore di Reed-Solomon è in grado di correggere è $E = (n - k)/2 = 16$.

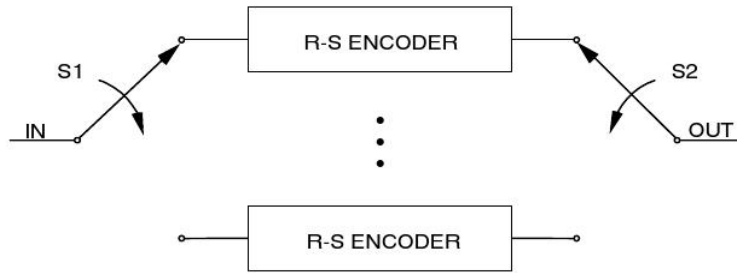


Figura 1: Interlacciatore di Reed-Solomon.

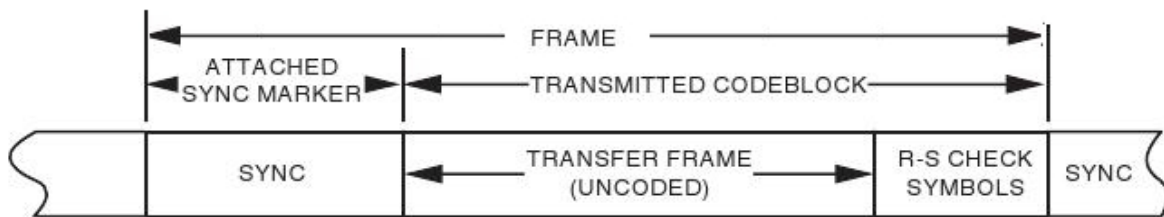


Figura 2: Formato del frame.

- Il gruppo di kI simboli inizialmente generati come uscita dello switch S_1 costituisce il “transfer frame”; il “frame” è invece costituito da:
 - un synch marker iniziale, necessario per consentire 1) al ricevitore di individuare l’inizio del transfer frame ed avere quindi un’asincronizzazione a livello di parola di codice di Reed-Solomon, 2) al demodulatore di risolvere l’ambiguità di fase; il synch marker è costituito da 32 bit (1ACFFC1D in notazione esadecimale);
 - il “transfer frame”, cioè i simboli di informazione
 - i simboli di parità

come indicato nella figura 2. Si noti che la trasmissione è continua, e dopo ogni frame c’è un altro frame, che inizia sempre con un synch marker, e non ci sono intervalli temporali di guardia tra un frame ed il successivo.

- I bit del frame vengono ulteriormente codificati con un codice convoluzionale a rate $1/2$ e constraint length (o lunghezza di vincolo) pari a 7. Il codificatore convoluzionale lavora sui singoli bit.
- I bit all’uscita del codificatore convoluzionale vengono inviati ad un modulatore 4PSK con filtro di trasmissione a radice di coseno rialzato con roll-off $\rho = 0.5$.

La figura 3 mostra in maniera grafica la sequenza di operazioni descritte nello standard per passare dalle transfer frame ai bit all’ingresso del modulatore 4PSK; l’operazione “pseudo-random sequence generation” serve ad aiutare la sincronizzazione di simbolo in ricezione e, nel caso in esame, non viene inserita.

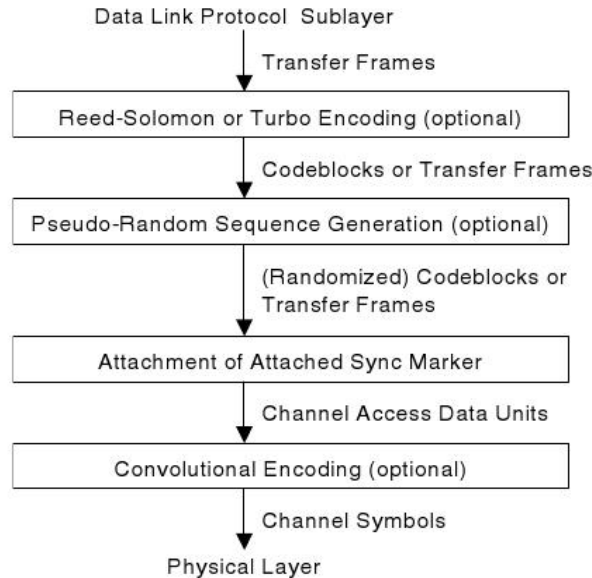


Figura 3: Sequenza di operazioni previste dallo standard per ottenere i bit all'ingresso del modulatore 4PSK a partire dal transfer frame. L'operazione "pseudo-random sequence generation" non viene eseguita nel caso in esame.

Il sistema descritto è progettato per trasmettere kI simboli di informazione alla volta, ma può succedere che i simboli di informazione da trasmettere siano in numero inferiore. In questo caso, si usa una codifica di Reed-Solomon "shortened": si aggiungono q simboli nulli all'ingresso di ogni codificatore, in modo da ottenere complessivamente k simboli, si calcolano gli $n - k = 2E$ simboli di parità come nel caso normale, si genera un "transfer frame" accorciato, costituito dai soli $I(k - q)$ simboli di informazione effettivi, e si aggiungono tutti i simboli di parità ($2EI$). In sostanza i qI simboli nulli aggiunti non vengono trasmessi ed il frame trasmesso risulta accorciato.

Tra una fotografia e la successiva viene trasmesso un frame accorciato in cui $q = k$.

1. Disegnare uno schema a blocchi che specifichi la struttura del ricevitore.
2. Calcolare quanti bit di canale (cioè bit all'ingresso del modulatore QPSK) devono essere trasmessi per ogni fotografia, specificando il numero totale di trame ed il numero di eventuali trame accorciate necessarie. Si noti che non si vuole trasmettere nella stessa trama bit appartenenti a due fotografie diverse.
3. Scrivere la sequenza di 32 bit del synch marker.
4. Indipendentemente dal fatto che nel caso specifico servano o no, indicare come è possibile gestire i frame accorciati. In particolare spiegare: a) come si può mantenere un bit rate costante all'ingresso del modulatore QPSK in presenza di frame accorciati, b) come può il ricevitore riconoscere la presenza di un frame accorciato, anche se il frame non contiene nessun bit di segnalazione per indicare la tipologia del frame.

5. La sonda si trova ad una altitudine $h = 465133$ migliaia di chilometri dalla superficie terrestre, corrispondente ad una distanza $d = h + R_E$ dal centro della terra, essendo $R_E = 6378.14$ km il raggio terrestre (medio), e la stazione di terra vede la sonda con un angolo di elevazione ψ pari a 10 gradi. Si derivi la formula che consente di calcolare la distanza esatta d_s (“slant range”) tra stazione di terra e sonda in funzione di d e ψ . Si calcoli d_s nel caso in questione.
6. La sonda trasmette una potenza P_T pari a 14.5 dBW, ed è dotata di una antenna direzionale con guadagno 44.32 dBi; l’antenna ha un errore di puntamento che causa una perdita di 0.28 dB e trasmette con polarizzazione circolare destra. Il segnale viene trasmesso a frequenza $f_c = 8.42$ GHz. L’atmosfera terrestre aggiunge una perdita di 0.5 dB. L’antenna di ricezione della stazione di terra ha un guadagno di 68.2 dBi e non ha errore di puntamento.
- Calcolare la densità di potenza di flusso (power flux density) alla stazione di terra in dBm/m².
 - Calcolare la potenza ricevuta P_R in dBm.
7. La stazione di terra ha la seguente struttura: antenna, feed, preamplificatore, cavo, amplificatore e ricevitore vero e proprio. La temperatura di antenna è di 20 K, il feed ha un VSWR pari a 1.03, il preamplificatore ha un guadagno disponibile di 20 dB e cifra di rumore di 1dB, il cavo ha attenuazione di 3 dB, l’amplificatore ha guadagno disponibile di 30 dB e cifra di rumore di 6 dB, il ricevitore ha cifra di rumore di 4 dB. A parte il preamplificatore, che è raffreddato, tutto il sistema si trova ad una temperatura di 17 gradi celsius. Calcolare
- la temperatura equivalente di rumore di sistema T_{sys} in gradi kelvin
 - lo spettro di potenza $G_n(f) = N_0/2$ W/Hz del rumore che nel modello si somma al segnale ricevuto (con potenza P_R).
8. Si desidera ottenere una probabilità d’errore sul bit pari a 10^{-6} dopo la decodifica di Reed-Solomon. Nel caso di trasmettitore e ricevitore QPSK ideali, ciò si ottiene con un rapporto segnale/rumore pari a $E_b/N_0 = 2.61$ dB (E_b è l’energia ricevuta per bit di informazione). A causa delle non-idealità (errori di sincronizzazione, amplificatore non lineare ecc), si ha una perdita di implementazione pari a 0.9 dB.
- Calcolare la massima velocità di trasmissione in bit di informazione al secondo R_b , e la corrispondente velocità di trasmissione in bit di canale al secondo R_c . Si utilizzino questi valori nei successivi punti.
 - Calcolare l’occupazione di banda del segnale trasmesso dalla sonda.
 - Calcolare il tempo necessario per trasmettere una fotografia.
 - Calcolare la probabilità che un pixel non venga ricevuto correttamente, supponendo che il sistema si comporti come un canale BSC senza memoria.
 - Calcolare il numero medio di pixel sbagliati in una fotografia.

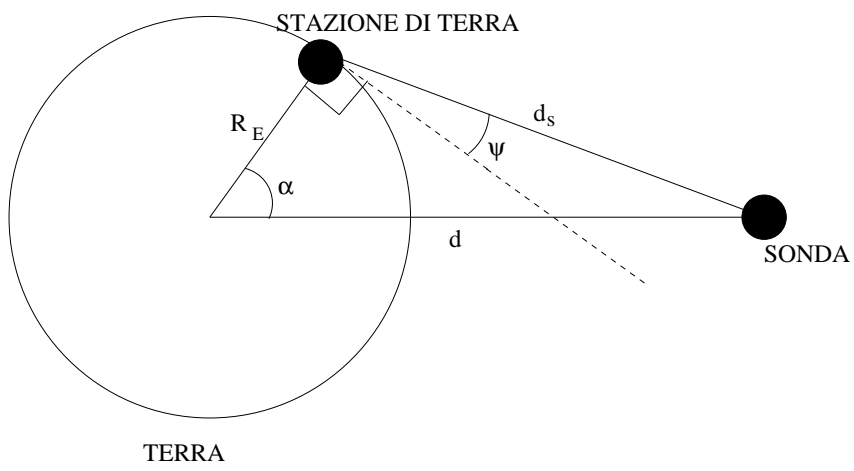


Figura 4: Posizione della sonda rispetto alla stazione di terra.