



Autore: Francesco Marino
<http://www.francescomarino.net>
info@francescomarino.net

Esame di Stato (1)

ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE A.S. 1999/2000

Indirizzo: ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI

Tema di: TELECOMUNICAZIONI

Traccia n° 1

Ad intervalli regolari di $T_c = 1,6$ ms un dispositivo di lettura segnala in modo indipendente le irregolarità presenti sulle due superfici di un nastro mentre viene arrotolato associando un '1' alla presenza e uno '0' all'assenza di irregolarità.

Le informazioni ottenute vengono trasmesse su un canale con rapporto segnale rumore

$$\frac{S}{N} = 30 \text{ dB, adottando un codice a 4 livelli.}$$

I valori di probabilità associati ai quattro eventi possibili (simboli) sono riportati nella seguente tabella.

10	0,21
11	0,3
01	0,26
00	0,23

Il candidato, formulata ogni ipotesi aggiuntiva che ritiene opportuna, illustri le tematiche inerenti l'informazione e la sua misura quindi, con riferimento al caso proposto, determini:

1. l'entropia della sorgente;
2. la velocità media di trasmissione;
3. la banda del canale secondo Shannon.

SOLUZIONE

Nella risoluzione della traccia si ipotizza che la sorgente sia senza memoria (la probabilità di emissione di un simbolo non dipende dai simboli precedenti). Poiché al punto 3 viene chiesto di applicare la formula di Shannon si deve ipotizzare che il canale sia di tipo ideale (guadagno costante nella banda passante) e il rumore sia di tipo gaussiano. Dato che applicando alla sorgente l'algoritmo di Huffman non si ottiene alcun beneficio in termini di lunghezza del codice (ciò è dovuto al fatto che le probabilità di emissione han-

no valori molto vicini tra loro) si ipotizza che vengano trasmessi in linea due bit per ogni lettura, secondo la tabella presente nella traccia.

Per quanto riguarda la trattazione delle tematiche inerenti l'informazione e la sua misura è possibile considerare i seguenti argomenti:

- definizione di sorgente discreta e di informazione;
- scopi della teoria dell'informazione;
- modello di un sistema di comunicazione numerico;
- definizione di quantità di informazione e di entropia;
- definizione di lunghezza di un codice e primo teorema di Shannon;
- codici a lunghezza variabile e codifica ottimale;
- capacità informativa di un canale trasmissivo.

Punto 1

Per il calcolo dell'entropia H della sorgente, essendo quest'ultima senza memoria come ipotizzato, è possibile utilizzare la relazione

$$H = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i = -(p_1 \log_2 p_1 + p_2 \log_2 p_2 + \dots) \quad [\text{bit/simbolo}]$$

ottenendo quindi

$$H = -(0,21 \log_2 0,21 + 0,3 \log_2 0,3 + 0,26 \log_2 0,26 + 0,23 \log_2 0,23) = 1,987 \text{ bit/simbolo}$$

avendo utilizzato per i calcoli la nota relazione $\log_2 x = \log x \cdot 3,322$.

Punto 2

La frequenza di lettura f_c del dispositivo è pari a

$$f_c = \frac{1}{T_c} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-3}} = 625 \text{ Hz}$$

Poiché ad ogni lettura corrisponde l'emissione di due bit (uno relativo alla superficie superiore del nastro e uno relativo a quella inferiore), la velocità trasmissiva che ne risulta, intesa come frequenza di cifra f_k , è pari a

$$f_k = 2f_c = 1250 \text{ bit/s}$$

Dato che per la trasmissione si adotta un codice a 4 livelli, associando a ciascun livello 2 bit, la velocità di

segnalazione v_b è pari alla metà della frequenza di cifra:

$$v_b = \frac{f_k}{2} = 625 \text{ baud}$$

Punto 3

Il quesito va interpretato nel senso della determinazione della banda minima richiesta al canale per trasmettere il flusso informativo generato dalla sorgente secondo la nota formula di Shannon

$$C = BW \log_2(S/N + 1)$$

con C : capacità trasmissiva del canale in bit/s

BW : larghezza di banda del canale

S/N : rapporto segnale rumore in unità naturali (non logaritmiche)

Essendo specificato nelle ipotesi iniziali il codice utilizzato (vedi tabella), che risulta quasi ottimale (lunghezza di 2 bit/simbolo contro entropia pari a 1,987 bit/simbolo), la capacità trasmissiva del canale C coincide con la frequenza di cifra f_k già calcolata. Può essere però ritenuta accettabile anche una soluzione in cui si faccia riferimento alla quantità di informazione emessa nell'unità di tempo, calcolata come prodotto tra l'entropia della sorgente e il numero di simboli emessi nell'unità di tempo ($1,987 \cdot 625$ bit/s).

Sapendo che il rapporto segnale rumore in dB è pari a $S/N(\text{dB}) = 10 \log(S/N)$, invertendo tale relazione si ottiene

$$S/N = 10^{\frac{S/N(\text{dB})}{10}} = 1000$$

Pertanto la larghezza di banda BW richiesta al canale è pari a

$$BW = \frac{f_k}{\log_2(S/N + 1)} = 125,4 \text{ Hz}$$

Si noti che il valore di BW ricavato non è compatibile con la tecnica di trasmissione indicata nella traccia. In questo caso infatti data la velocità di segnalazione pari a $v_b = 625$ baud la banda occupata dal segnale B_s è pari a

$$B_s = \frac{3}{4} v_b = 469 \text{ Hz}$$

(ipotizzando il taglio dello spettro del segnale a 3/4 del primo lobo).

ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE A.S. 1999/2000

Indirizzo: ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI

Tema di: TELECOMUNICAZIONI

Traccia n° 2

I dati provenienti da una sorgente d'informazione, prima di essere trasmessi in linea, vengono organizzati in una trama (*PDU*) in base ad un determinato protocollo di livello 2 secondo la disposizione della figura seguente:

<i>FLAG</i>	<i>ADDRESS</i>	<i>CONTROL</i>	<i>PROTOCOL</i>	<i>INFO</i>	<i>FCS</i>	<i>FLAG</i>
<i>1 byte</i>	<i>1 byte</i>	<i>1 byte</i>	<i>2 byte</i>	<i>Da 512 a 1500 byte</i>	<i>2 byte</i>	<i>1 byte</i>

Il campo informativo, insieme ai dati costituenti il messaggio da trasmettere, contiene le intestazioni (*header*) dei protocolli di livello superiore per un totale di *32 byte*. Per la trasmissione dei dati viene adottato un modem fonico intelligente il quale lavora, in modalità full-duplex, con una velocità di modulazione di *2400 baud* operando su *64 livelli*; inoltre adotta un protocollo per la compressione dei dati in ingresso con efficienza del *200%*.

Il candidato, formulata ogni ipotesi aggiuntiva che ritiene opportuna, illustri le tematiche inerenti la classificazione dei protocolli quindi, con riferimento al caso proposto, produca quanto segue:

- Determinare il tempo necessario per trasmettere un testo di *263760 caratteri* di 8 bit in condizioni di linea ideale (senza ritrasmissione di pacchetti) con conseguente dimensione massima del campo dati. Per il calcolo si trascuri il ritardo introdotto dal collegamento e dal processo di elaborazione. Ripetere il calcolo in condizioni di linea rumorosa con una percentuale di ritrasmissione di pacchetti del 10% confrontando e commentando il dato trovato con il valore ottenuto precedentemente;
- indicare quali vantaggi si potrebbero avere nel ridurre la dimensione del campo dati;
- specificare il tipo di modulazione e la tecnica di trasmissione adottata dal modem per operare alla velocità calcolata precedentemente in full-duplex su linea commutata PSTN.

SOLUZIONE

Nella risoluzione della traccia si ipotizza che il protocollo di linea proposto sia il PPP, la cui trama corrisponde a quella proposta. Poiché il PPP è un protocollo orientato al byte e utilizza il character stuffing per eliminare le sequenze di flag all'interno del campo dati, si deve premettere che l'inserimento di tali caratteri sarà trascurato in quanto il suo peso sulla trasmissione è imprecisato. Oltre a ciò si ipotizza che il protocollo operi in modalità sliding window con apertura delle finestre massima (127), in modo tale da poter considerare nulli i tempi morti che si verificherebbero con altre modalità trasmissive (per esempio sliding

window con apertura della finestra pari a 1), per via dell'attesa dei messaggi di ACK provenienti dal destinatario. Si intende inoltre, nei calcoli che seguono, che l'efficienza di compressione del modem va applicata all'intera trama trasmessa.

Per quanto riguarda la trattazione delle tematiche inerenti la classificazione dei protocolli è possibile considerare i seguenti argomenti:

- concetto di protocollo di trasmissione;
- modello gerarchico e definizione di livelli e interfacce;
- modello di riferimento ISO/OSI e funzioni dei diversi strati.

Punto 1

Poiché la dimensione del campo dati è massima (1500 byte), considerando i 32 byte di header risulta che ciascuna trama trasporta $1500 - 32 = 1468$ byte di messaggio. Per trasmettere 263760 byte sono necessarie pertanto 179 trame di dimensione massima e una trama che trasporta 988 byte di messaggio:

$$(179 \cdot 1468) + 988 = 263760 \text{ byte}$$

Può essere considerata accettabile anche una soluzione in cui si considerano per i calcoli 180 trame di dimensione massima. Le trame di dimensione massima hanno una lunghezza di $1500 + 8 = 1508$ byte, mentre la trama che trasporta i 988 byte di messaggio ha una lunghezza pari a $988 + 32 + 8 = 1028$ byte. Il numero di byte da trasmettere è quindi pari a $(179 \cdot 1508) + 1028 = 270960$ byte che corrispondono a

$$270960 \cdot 8 = 2167680 \text{ bit}$$

Il modem opera su 64 livelli e pertanto ad ogni segnalazione sono associati 6 bit ($2^6 = 64$). la frequenza di cifra sulla linea f_{kl} è pari al prodotto tra la velocità di modulazione e il numero di bit per segnalazione: $f_{kl} = 2400 \cdot 6 = 14400$ bit/s. Poiché lo stesso modem adotta la compressione dati con efficienza del 200%, dal lato DTE la velocità trasmissiva f_k è pari al doppio del valore f_{kl} calcolato: $f_k = 2f_{kl} = 28800$ bit/s. Il tempo t necessario alla trasmissione del messaggio si ricava dal rapporto tra il numero di bit da trasmettere e la velocità trasmissiva lato DTE:

$$t = \frac{n. \text{ bit}}{f_k} = \frac{2167680}{28800} = 75,27 \text{ s}$$

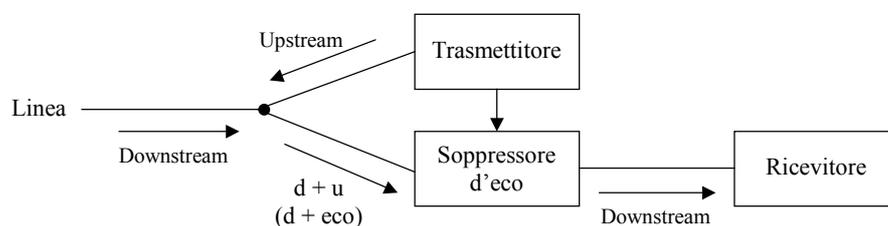
Nel caso in cui ci sia una ritrasmissione dei pacchetti in misura del 10%, il tempo t_r necessario alla trasmissione del messaggio aumenta nella stessa percentuale: $t_r = t + (10t)/100 = 82,8$ s. La ritrasmissione del 10% dei pacchetti implica la presenza di almeno un errore ogni 15000 byte e cioè 120000 bit; si può osservare come anche un BER relativamente alto ($\approx 10^{-5}$) influisce in maniera non troppo marcata sul tempo di trasmissione.

Punto 2

La riduzione del campo dati non implica alcun vantaggio nel caso di linea priva di rumore, e anzi fa diminuire la percentuale dei byte di messaggio rispetto al totale (messaggio + header + flag ecc.), con conseguente aumento del tempo di trasmissione. Nel caso invece di linea rumorosa la riduzione del campo dati fa diminuire la percentuale di pacchetti ritrasmessi con conseguente riduzione del tempo di trasmissione. Per esempio un tasso di errore di 1 bit su 120000 produce un errore ogni 10 trame se queste ultime hanno la dimensione di circa 1500 byte, mentre viene prodotto solo un errore ogni 20 trame se la dimensione di queste è ridotta alla metà.

Punto 3

Un modem dalle caratteristiche descritte può utilizzare una modulazione QAM a 64 combinazioni di ampiezza e fase. La velocità di modulazione di 2400 baud comporta il fatto che la banda del segnale occupa praticamente tutta la banda disponibile del canale fonico ($300 \div 3400$ Hz), il che non consente di realizzare la separazione in banda dei due canali utilizzati nella comunicazione full-duplex (come avveniva nei modem a più bassa velocità). In questo caso è necessario utilizzare la tecnica della cancellazione d'eco, che consiste nel sottrarre dal segnale ricevuto il segnale trasmesso che risulta sovrapposto a quest'ultimo (vedi figura 1).

**Figura 1**