

01QZD

Laboratorio di Internet e Comunicazioni



Comunicazioni

LAB 3.1

In questa esercitazione è stato implementato un sistema di trasmissione digitale in grado di trasmettere un file di dati da un trasmettitore ad un ricevitore, attraverso l'utilizzo di un segnale audio trasportabile su un cavo audio standard.

Il modello implementato è stato testato su due tipi di file:

- un file di testo
- un file audio

Implementazione del Modello su un File di Testo

Operazioni al Trasmettitore

In ingresso è fornito un file che bisogna trasferire da un trasmettitore a un ricevitore.

Il primo passo consiste nel campionamento dei dati del file. Il file può essere considerato come un segnale analogico abbastanza anomalo, dato che è già codificato ASCII. Si sceglie una frequenza di campionamento $f_{c_{tx}} = 20000Hz$ abbastanza elevata in modo tale da avere l'assoluta sicurezza di rispettare il teorema del campionamento.

Il passo successivo è la quantizzazione del segnale campionato. Si sceglie in particolare di utilizzare una quantizzazione uniforme. Risulta dunque necessario determinare il numero di bit (e dunque il numero di livelli) su cui quantizzare. A tal proposito, si deve tener presente che la codifica ASCII comprende 256 simboli diversi. Dunque, per ottenere un segnale quantizzato che rispetti fedelmente il segnale originale, bisogna effettuare una quantizzazione con almeno 256 livelli, e quindi su almeno 8 bit. Infatti, nel caso in cui si implementi una quantizzazione su un numero di bit minore, ci sarebbe il rischio concreto di avere due caratteri diversi in codifica ASCII ma situati sullo stesso livello di quantizzazione, il che risulterebbe ovviamente gravoso per una trasmissione efficiente del segnale. La scelta finale ricade su una quantizzazione a 8 bit.

Dopo essere stato quantizzato, il segnale viene codificato in binario e trasformato dunque in una sequenza di bit da trasmettere. La tecnica scelta per la trasmissione della sequenza di bit ottenuta è la 2-PAM con NRZ. Si stabiliscono ora i valori di due parametri di progetto fondamentali:

- frequenza di trasmissione
- bit-rate R_B

Per quanto riguarda la frequenza di trasmissione, si assume che essa sia uguale alla frequenza di campionamento $f_{c_{tx}}$ del segnale originario, mentre il bit-rate scelto è pari a 100 bit/s. Noti questi due parametri di progetto, si determina l'SpS necessario a garantire la velocità di trasmissione scelta:

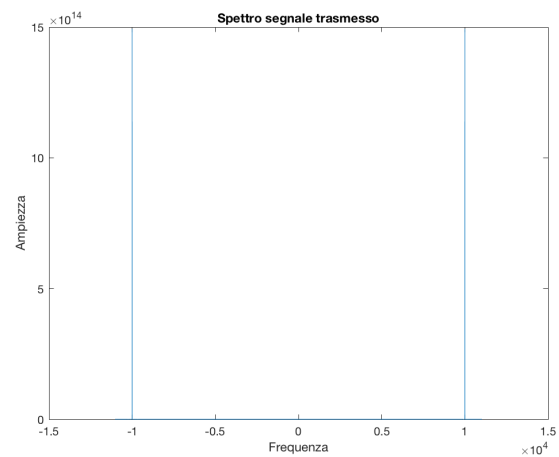
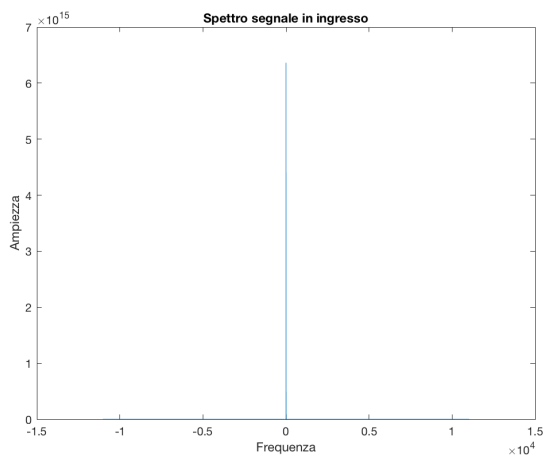
$$SpS = \frac{f_{c_{tx}}}{R_B} = 200$$

Il passo successivo consiste nella modulazione dell'ampiezza del segnale. Questa operazione viene effettuata per rendere il segnale da trasmettere compatibile con la scheda audio di entrambi i dispositivi. Infatti, da una parte il segnale in banda base ha uno spettro centrato nell'origine che non può essere trasmesso dalla scheda audio che non supporta frequenze minori di circa 20 Hz. Dunque, per trasmettere efficientemente il segnale, evitando rischi di perdita di informazione, è necessario shiftarne lo spettro verso frequenze più elevate. La frequenza di modulazione f_0 va inoltre scelta tenendo anche conto del limite massimo di frequenza compatibile con la scheda, pari a circa 20000 Hz. Un ultimo vincolo per la scelta di f_0 è costituito dalla frequenza di campionamento f_c scelta: deve essere valida infatti la seguente relazione:

$$f_{c_{tx}} \geq f_0 + 2R_S$$

$$R_S = \frac{f_{c_{tx}}}{SpS} \text{ coincide con il bit-rate perchè } BpS = 1$$

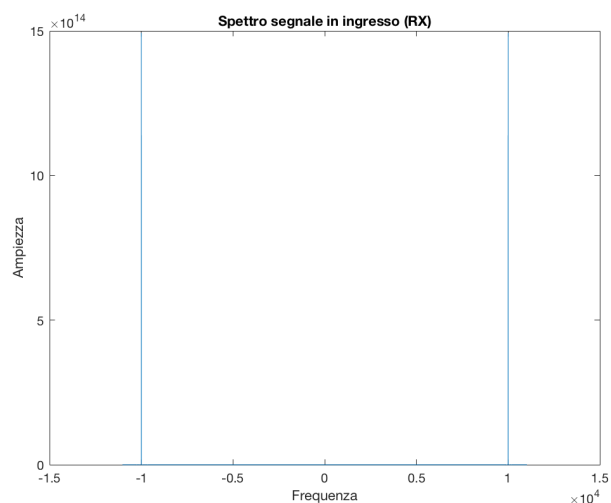
Un valore di f_0 che rispetti tutti i vincoli è 10000 Hz. Lo shift del segnale in banda base avviene moltiplicando il segnale stesso per un carrier avente frequenza f_0 . Si ottiene dunque il segnale nella configurazione in cui esso sarà trasmesso al ricevitore.



Operazioni al Ricevitore

La prima operazione che il ricevitore svolge all'arrivo del segnale è il campionamento dello stesso. Bisogna dunque scegliere una nuova frequenza di campionamento $f_{c_{rx}}$ che rispetti il teorema del campionamento. Non necessariamente la frequenza di campionamento a ricevitore deve equivalere quella a trasmettitore, ma per questioni di semplicità si pone $f_{c_{rx}} = f_{c_{tx}}$.

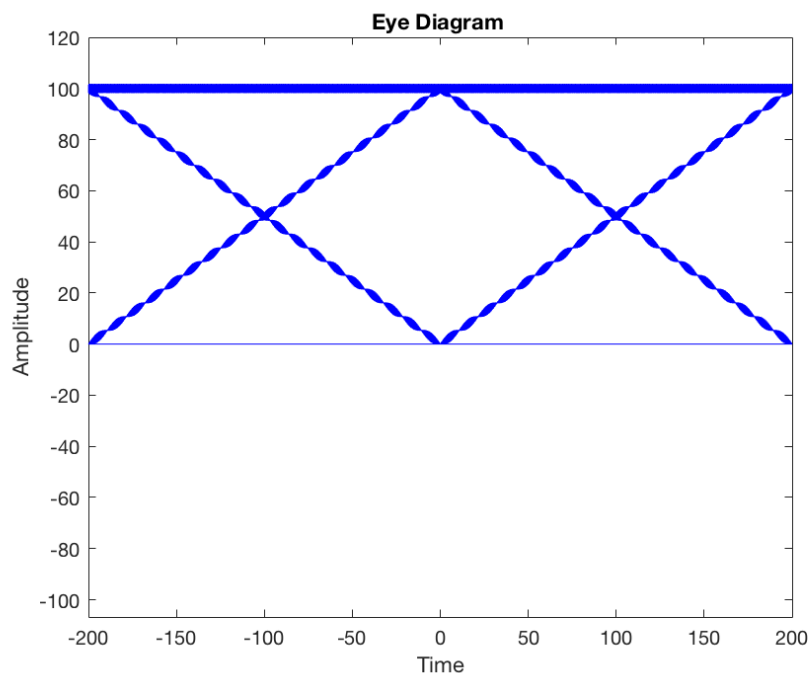
Il segnale appena campionato è un segnale passa banda. È dunque necessario attuare una demodulazione che consenta di ritornare a un segnale



banda base. L'operazione è effettuata moltiplicando il segnale passa banda per un carrier avente la stessa f_0 del carrier a trasmettitore.

Per depurare lo spettro dai due picchi concentrati in corrispondenza delle frequenze $\pm 2f_0$, si fa passare il segnale attraverso un filtro passabasso ottimizzato.

A questo punto si ha a disposizione una sequenza di bit da cui bisogna ricostruire il segnale codificato in binario. A tale scopo è necessario scegliere il bit migliore su cui campionare. La scelta viene effettuata costruendo il diagramma ad occhio del segnale a ricevitore.



Il bit migliore è evidentemente il primo.

L'ultimo passo consiste nel confronto del segnale di output a ricevitore con il segnale di input a trasmettitore, al fine di effettuare il conteggio degli errori. Il numero di errori trovato è pari a 0, dunque il modello si può ritenere perfettamente funzionante per il file che è dato in ingresso. Infatti, riconducendo nuovamente il segnale a ricevitore alla codifica ASCII e stampando il testo, esso risulta totalmente identico al testo di partenza.

Implementazione del Modello su un File Audio

Operazioni al Trasmettitore

Utilizzando la funzione `audioread`, si effettua l'acquisizione del segnale e della frequenza a cui esso è campionato ($f_s = 22050Hz$).

Si procede ora alla quantizzazione, che si effettua ancora su 8 bit, un buon compromesso per ottenere una quantizzazione efficiente senza appesantire eccessivamente il file in uscita. La PDF del segnale audio, come evidenziato nel Lab 1, non è uniforme, ma ha un picco nella regione centrale. Per poter utilizzare una quantizzazione uniforme, evitando il rischio di perdita eccessiva di informazione, si usa la tecnica del companding che appiattisce la PDF del segnale, rendendo la quantizzazione uniforme più efficace.

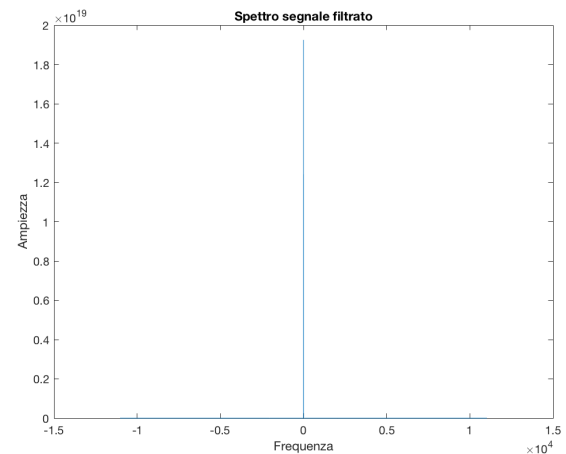
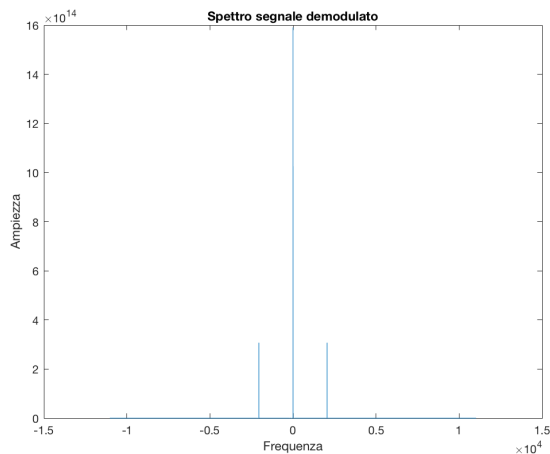
In seguito alla quantizzazione, il segnale viene codificato in binario e trasformato dunque in una sequenza di bit da trasmettere. La tecnica scelta per la trasmissione della sequenza di bit è anche in questo caso la 2-PAM con NRZ. La frequenza di trasmissione è assunta uguale ad f_s mentre il bit-rate scelto è $R_B = 150 \text{ bit/s}$. L'SpS risultante è pari a 147.

Si passa ora alla modulazione del segnale per cui si sceglie una f_0 pari a 10000 Hz tale da soddisfare tutti i vincoli già evidenziati per il modello implementato per il file di testo.

Operazioni al Ricevitore

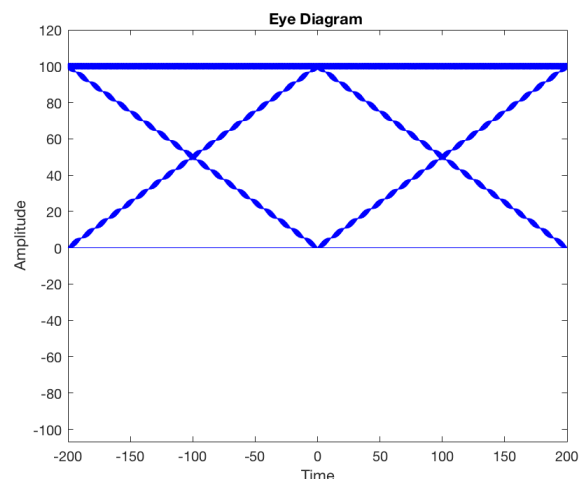
Per quanto riguarda il campionamento del segnale in arrivo, si sceglie anche qui una frequenza di campionamento pari ad f_s .

Al campionamento del segnale segue la demodulazione, consistente nella moltiplicazione del segnale per un carrier avente frequenza f_0 , seguita dall'azione di un filtro passabasso ottimizzato che depura lo spettro dai picchi situati in corrispondenza delle frequenze $\pm 2f_0$.



Si ricostruisce ora il segnale in output, scegliendo il bit ottimale su cui campionare, e successivamente si procede al conteggio degli errori, confrontando bit per bit il segnale in output con il segnale in input.

Come si osserva dal diagramma ad occhio il bit ottimale è il primo. Il segnale risulta trasmesso efficientemente, con un numero di errori nullo, dunque il modello risulta perfettamente funzionante. Infatti, riproducendo il file a ricevitore, l'audio viene scandito fedelmente al segnale originario, con disturbi praticamente inesistenti.



Test del Bit-Rate massimo

Per testare il bit-rate massimo si può diminuire SpS: si diminuisce finché il numero di errori è uguale a 0, quando gli errori crescono vuol dire che si è andati oltre al massimo supportabile dall'hardware.

Diminuendo sempre di più SpS si ottiene che il valore minimo per cui non si hanno errori è 5. Quindi il bit-rate supportabile dall'hardware utilizzato per l'esperimento è

$$R_s = \frac{f_c}{SpS} = \frac{22050}{5} = 4410 \text{ bit/s}$$