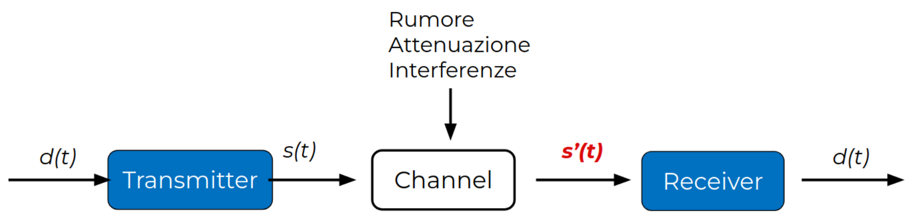
Reti Wireless E Mobili

Massimo Perego

Contents

1 Principi di Teoria della Trasmissione

Vogliamo **trasmettere informazioni** binarie su un **mezzo analogico**. Tipicamente abbiamo uno schema del tipo:



Si hanno dati nel tempo i quali passano da un **trasmettitore** il quale "traduce" i dati **digitali** in un segnale **analogico**, il quale può essere **trasmesso su un mezzo analogico** (e.g., aria, cavi, ecc.). Il segnale attraversa il mezzo e arriva a un ricevitore, il quale decodifica il segnale per tornare ai dati originali. Però, il canale non è perfetto o perfettamente affidabile, è possibile **introduca**:

- Il **rumore** in mezzi wireless può essere importante
- Il ricevitore deve essere in grado di recepire piccole quantità di potenza, in quanto il segnale potrebbe essere **attenuato**
- **Interferenze**, "casuali" dovute alla stessa tecnologia (propagazione del mezzo, ecc.) oppure volontarie (e.g., jamming).

Quindi il **segnale inviato** risulterà **diverso** dal **segnale ricevuto**, ma se il segnale viene strutturato correttamente ed è robusto a queste deformazioni il ricevitore sarà in grado di estrapolare ugualmente dati dal segnale "modificato". Quanto è facile ricostruire il segnale dipende da **quanto** i fenomeni di disturbo hanno **modificato** il segnale, può pure non essere ricostruibile.

Per **segnale**

- **analogico:** si intende una variazione continua, senza interruzioni o discontinuità
- **digitale:** un livello di segnale viene mantenuto costante per un determinato intervallo, con un cambio di livello rapido (quasi istantaneo)

Vogliamo passare da una forma d'onda all'altra (trasmettitore e ricevitore fanno questo).

1.1 Rappresentazione dei segnali

Dominio del tempo: Un segnale può essere visto nel dominio del tempo come un **segnale periodico sinusoidale**

$$s(t) = A\sin(2\pi ft + \phi)$$

Dove:

- **Ampiezza** (A): massimo livello o forza del segnale nel tempo (Volt)
- **Frequenza** (f): Numero di cicli al secondo (Hz)
- **Fase** (ϕ): posizione relativa all'interno del periodo
- **Periodo** (T): tempo impiegato per un ciclo ($1/f$)
- **Lunghezza d'onda** (λ): distanza occupata da un singolo ciclo: $\lambda = c/f$ oppure $\lambda = Tc$ dove $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

La variazione di ampiezza, fase e frequenza vengono usate per codificare le informazioni (e.g., radio AM e FM, modulazione di fase non per le radio, ma alter cose).

Dominio delle frequenze: Possiamo considerare un'onda elettromagnetica guardandola nel tempo, ma anche nel dominio delle frequenze. **Ogni segnale** (ragionevolmente periodico) **può essere scomposto da una serie di segnali periodici** (onde seno e coseno) con ampiezza, frequenza e fase differenti: trasformata di Fourier

$$s(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cdot \cos(2\pi nft)$$

Dove:

- $f = 1/T$: frequenza **fondamentale** ($n = 1$)
- a_n, b_n: **ampiezza** delle **singole componenti**, dette armoniche
- c: costante che rappresenta il **valore medio** del **segnale**

Possiamo **scomporre** un segnale in **diverse armoniche**, ognuna con il suo "contributo" rispetto al segnale originale. Questa è la serie di Fourier discreta, in un calcolatore saranno un numero finito di frequenze e la versione originale era con gli integrali, nel continuo.

Insomma, serve per passare da un dominio all'altro.

Cosa ci interessa: Dal punto di vista di un ricevitore, il quale riceverà tali segnali, ci interessa capire **com'è composta l'onda** a partire **da un'osservazione nel tempo** di quest'onda. Come faccio a **risalire alle componenti** a partire da un'osservazione nel tempo della forma d'onda? Le domande sono:

1. Come si fa a **determinare** le **ampiezze** di ciascuna componente
2. Con quale **frequenza campionare il segnale**? Il mondo digitale è discreto per definizione, in che punti della curva bisogna "leggere" per poter ricostruire l'onda in maniera precisa

Teorema del campionamento di Shannon: La **frequenza di campionamento** deve essere almeno il **doppio della frequenza massima del segnale** in ingresso.
Sapendo la frequenza massima (e tra ricevitore e trasmettitore ci si mette d'accordo), devo campionare ad almeno il doppio per evitare perdita di dati.

Passaggi di dominio: Per passare da un dominio all'altro abbiamo due algoritmi:

- **Fast Fourier Transform FFT:** da tempo a frequenze, passandogli la forma d'onda nel tempo restituisce le componenti
- **Inverse Fast Fourier Transform IFFT:** da frequenze a tempo, partendo dalle componenti restituisce la forma d'onda

Con "componenti" si intende i coefficienti a_n e b_n viste nella serie di Fourier.
Questi algoritmi sono semplici, vengono implementati tramite hardware nei dispositivi, i quali devono effettuarle costantemente.

Assegnando dei bit al fingerprint di una forma d'onda (valori della trasformata), posso creare una lookup table per trovare il "significato" di una forma d'onda a partire dalla sua trasformata (osservo l'onda, faccio la trasformata, lookup per il significato).

Nel dominio delle frequenze: quando **tutte le frequenze** sono **multipli interi di una frequenza base**:

- f = **frequenza fondamentale**
- kf = **armonica** $(k > 1)$

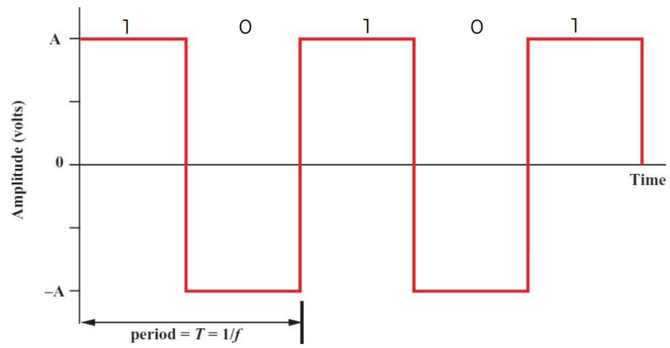
Periodo: Il periodo di $s(t)$ è il periodo della frequenza fondamentale ($T = 1/f$).

Spettro: Lo spettro del segnale è il range di frequenze che lo contiene (da dove a dove vanno le frequenza).

Banda: Absolute bandwidth è l'ampiezza dello spettro ("larghezza" dello spettro).

1.2 Relazione tra Bandwidth e Data Rate

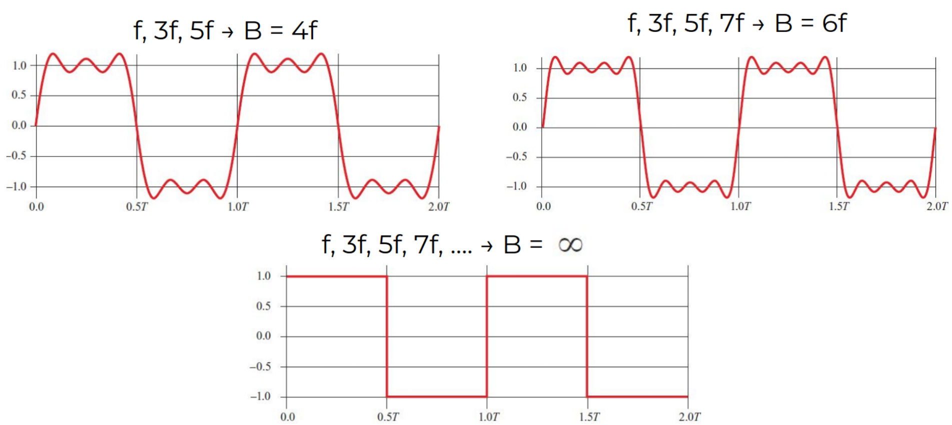
Esempio: vogliamo trasmettere un'onda quadra come **composizione finita di onde sinusoidali**. Esempio:



Trasmettiamo 2 bit per ogni periodo, ovvero un data rate di 2 bit. Possiamo avere una **sommatoria** infinita di onde **sinusoidali**:

$$s(t) = A \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{k \text{ odd}, k=1}^{\infty} \frac{\sin(2\pi k f t)}{k}$$

Ma questo richiederebbe una banda infinita, il che è difficile, quindi possiamo **ridurre lo spettro** per ottenere un'**approssimazione**:



Nel primo esempio una banda di $4f$ che va da f a $5f$, nel secondo aumentiamo la banda a $6f$, migliorando l'approssimazione. Con la banda che tende all'infinito otteniamo l'onda originale.

Con una certa banda, **quanti dati possiamo trasmettere?** Esempio:

Freq. fondamentale (f)	1 MHz	2 MHz
Spettro	1 Mhz - 5 Mhz	2 Mhz - 10 Mhz
Periodo (T)	1 μs	0.5 μs
Durata di 1 bit	0.5 μs	0.25 μs
Bandwidth (B)	4 Mhz ($5f - f$)	8 Mhz ($2(5f - f)$)
Data rate (bps)	2 Mbps (2 bit/μs)	4 Mbps (4 bit/μs)

Con il doppio della banda abbiamo raddoppiato il data rate.

Capacità del canale: Quanti bit possiamo trasmettere sul canale senza perdere informazioni?

- **Channel capacity:** massimo bit rate alla quale è possibile trasmettere dati su un canale di comunicazione in determinate condizioni
- **Noise:** segnale NON voluto che si combina al segnale trasmesso, distorcendolo
- **Error rate:** tasso di errore (bit error rate), quante volte viene modificato involontariamente il segnale

Come possiamo trasmettere la **stessa quantità di informazioni senza usare più banda**? La soluzione è **ridurre il numero di armoniche**, semplificando la forma d'onda e peggiorando l'approssimazione. Questo si può fare finché l'onda non è un'approssimazione "troppo approssimata" (deve essere distinguibile).

Considerazioni: Vogliamo trasmettere una banda infinita con banda finita, ma una banda minore porta a distorsione maggiore. Una soluzione potrebbe essere scegliere la banda finita più ampia; sarebbe fattibile ma ci sono costi economici (i.e., la banda non è gratis) e il dispositivo deve essere in grado di gestirla. Inoltre può creare rumore aggiuntivo.

Nyquist Bandwidth: Dato un canale noise-free (ideale) la bandwidth limita il data-rate. Il **limite della quantità di informazioni** (misurata in bit/secondo e multipli) è limitato da due volte la banda

$$C = 2B$$

per **segnali binari** (2 livelli di voltaggio). Per **segnali multilivello**, codificare i dati su più livelli di segnale

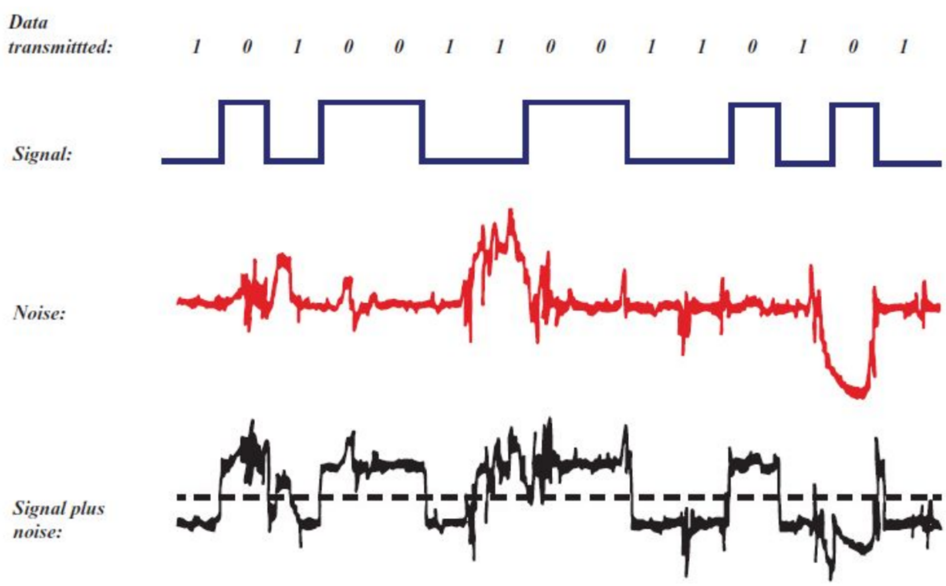
$$C = 2B \log_2 M$$

Dove M è il numero di livelli.

La **capacità del canale aumenta con il numero di possibili livelli** in cui codificare il segnale, modificando uno dei parametri (ampiezza, frequenza, fase). Il numero di livelli di segnale aumenta il numero di bit che si possono trasmettere con ogni trasmissione: con 2 valori trasmettiamo 1 bit, con 8 possibili valori possiamo trasmettere 3 bit alla volta.

Questo possibile solo se non c'è rumore, il massimo possibile. Tenendo il considerazione il rumore la capacità si abbassa.

Esempio di effetto del rumore sul segnale trasmesso:



Considerando il profilo temporaneo del rumore, il ricevitore riceve un segnale diverso, con modifiche su cui non abbiamo controllo, indipendenti da ricevitore e trasmettitore.