

Reti Wireless e Mobili

Indice

1. Lezione 01 [25/02]	3
1.1. Principi di Teoria della Trasmissione	3
2. Lezione 02 [26/02]	5
2.1. Ancora basi di teoria della trasmissione	5
2.2. Multiplexing	6
2.3. Comunicazione wireless	6
3. Lezione 03 [04/03]	8
3.1. Codifica e trasmissione dei dati	9
4. Lezione 04 [05/03]	11
4.1. Esercizi	11
4.2. OFDM [Orthogonal Frequency Division Multiplexing]	11
4.3. Spread Spectrum	12
4.3.1. Frequency Hopping Spread Spectrum	13
4.3.2. Direct Sequence Spread Spectrum	13

1. Lezione 01 [25/02]

1.1. Principi di Teoria della Trasmissione

Tipicamente è uno schema del tipo

$$d(t) \rightarrow \text{trasmettitore} \rightarrow s(t) \rightarrow \text{channel} \rightarrow s(t) \rightarrow \text{receiver} \rightarrow d(t)$$

con dati analogici/digitali che vengono passati al trasmettitore (ho una sequenza di bit). s è segnale, d è dato.

Questo schema però è utopico, non è mai così: infatti, il canale è soggetto a

- rumore
- attenuazione (certa potenza che piano piano si perde, si affievolisce)
- interferenze

Ci esce un $s'(t)$ che esce dal canale. Ci saranno casi di s' impossibile da riconoscere oppure casi di s' che partono da un s così robusto da poterlo sistemare.

Segnale analogico:

- ha una variazione continua e non ci sono interruzioni/discontinuità

Segnale digitale:

- mantiene un livello di segnale costante per un determinato intervallo, con un rapido (quasi istantaneo) cambio di livello

I grafici sono nel dominio del tempo, ovvero come varia la misurazione nel tempo

Il segnale analogico, se periodico, è una sinusoidale

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

con 3 parametri sui quali giochiamo:

- A ampiezza, massimo livello o forza del segnale nel tempo (volt)
- f frequenza quanti cicli fa al secondo (Hertz)
- ϕ fase posizione relativa all'interno del periodo, dove parte

Abbiamo anche il periodo T inverso della frequenza, tempo impiegato per un ciclo. Infine anche la lunghezza d'onda λ che è la distanza occupata da un singolo ciclo, ed è tale che $\lambda = \frac{c}{f} = Tc$ con c velocità della luce, lunghezza spaziale.

Metti 4 esempi

Nel dominio delle frequenze, ogni segnale ragionevolmente periodico può essere scomposto in una serie di segnali periodici (onde seno e coseno) con ampiezza, frequenza e fase differenti. Idea di Fourier ad inizio 1800. Una serie di Fourier è tale che

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

dove $f = \frac{1}{T}$ è la frequenza fondamentale ($n=1$), a_n e b_n sono le ampiezze delle singole componenti dette armoniche e c è una costante che è il valore medio del segnale. Partendo dalla f fondamentale, ogni armonica avrà un multiplo di questa frequenza fondamentale.

Dato un grafico, come facciamo a determinare le ampiezze di ciascuna componente? Con quale frequenza dobbiamo campionare il nostro segnale?

Teorema 1.1.1 (Teorema del campionamento di Shannon): La frequenza di campionamento deve essere almeno il doppio della frequenza massima del segnale in ingresso.

Per passare dal dominio del tempo al dominio delle frequenze usiamo la FFT (Fast Fourier Transform), ovvero passiamo il campionamento fatto alla FFT e mi genera le frequenze. La Inverse FFT passa dalle frequenze al tempo.

Quando tutte le frequenze sono multipli interi di una frequenza base f (frequenza fondamentale, le altre sono kf armoniche), il periodo del segnale $s(t)$ è il periodo della frequenza fondamentale. Lo **spettro** (spectrum) del segnale è il range di frequenze che lo contiene. La absolute bandwidth è l'ampiezza dello spettro (max - min)

ESEMPIO

Trasmettiamo due bit per ogni due bit, quindi il data rate è di $2f$ bits. Maggior parte energia concentrata nelle prime frequenze ($kf \rightarrow$ ampiezza $1/k$), effective bandwidth

La capacità del canale è il massimo bit rate alla quale è possibile trasmettere dati su un canale di comunicazione in determinate condizioni. Il noise è un segnale NON VOLUTO che si combina al segnale trasmesso che lo altera o distorce. L'error rate, o tasso di errore, a questo livello si intende bit error rate.

Esempio che non capisco

Considerazioni: impulso rettangolare ha banda infinita, noi vogliamo usare una banda finita. Banda minore ha maggiore distorsione

Scelgo la banda finita più ampia? Ho costi economici e limitazioni del dispositivo

Nyquist bandwidth

Dato un canale noise-free (ideale) la bandwidth limita il data rate

Ovvero, la Nyquist capacity ha un binary signals (2 livelli di voltaggio) quindi $C=2B$ o ha un multilevel signaling $C=2B \log_2(M)$ (con M numero di segnali discreti o livelli di voltaggio)

Il rumore è un segnale non voluto che si combina al segnale trasmesso che lo altera e distorce. Può essere:

- thermal noise
- intermodulation noise
- cross talk
- impulse noise

Indice

1. Lezione 01 [25/02]	3
1.1. Principi di Teoria della Trasmissione	3
2. Lezione 02 [26/02]	5
2.1. Ancora basi di teoria della trasmissione	5
2.2. Multiplexing	6
2.3. Comunicazione wireless	6
3. Lezione 03 [04/03]	8
3.1. Codifica e trasmissione dei dati	9
4. Lezione 04 [05/03]	11
4.1. Esercizi	11
4.2. OFDM [Orthogonal Frequency Division Multiplexing]	11
4.3. Spread Spectrum	12
4.3.1. Frequency Hopping Spread Spectrum	13
4.3.2. Direct Sequence Spread Spectrum	13

2. Lezione 02 [26/02]

2.1. Ancora basi di teoria della trasmissione

Rumore termico: agitazione delle molecole. Intermodulation noise problemi tra le diverse modulazioni, ci si accavalla per trasmettere. Cross talk è più nel parlato. Impulse noise, impulso elettromagnetico specifico, distrugge il segnale che è attraversato.

Il decibel (dB) è una misura che rapporto tra due potenze (scala logaritmica), ovvero

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right)_{dB} = 10 \log_{10}\left(\frac{P_1}{P_2}\right).$$

Fare un +3 fa doppio/metà.

Il decibel-milliWatt (dBm) è l'unità di misura del rapporto tra una potenza arbitraria e una potenza di 1mW (milliWatt), ovvero

$$P_{dBm} = \frac{P}{1mW}.$$

Il rumore c'è sempre: il rapporto segnale rumore (signal to noise ratio SNR) è il rapporto tra la potenza del segnale trasmesso e la potenza del rumore, ovvero

$$(SNR)_{dB} = 10 \log_{10}\left(\frac{\text{signal power}}{\text{noise power}}\right).$$

Più è alto più il segnale è forte rispetto al rumore

La Shannon Capacity Formula rappresenta la massima capacità teorica di un canale in bit al secondo in funzione del SNR, ovvero

$$C = B \log_2(1 + SNR)$$

dove B è la banda. Risultato puramente teorico e considera solo il thermal noise, tuttavia fornisce un limite superiore alla quantità di informazione (data rate) che può essere trasmessa senza errori.

In una determinata condizione di rumore (SNR) possiamo aumentare il data rate:

- aumentando la banda B ma il rumore termico è rumore bianco e maggiore è la banda e maggiore sarà il rumore che entrerà nel sistema
- aumentando la potenza del segnale, allora $SNR \uparrow \uparrow$ ma sarà maggiore l'intermodulation e il cross talk noise

Esempio 2.1.1: Supponiamo di avere uno spettro tra $3MHz$ e $4MHz$ e $SNR = 24dB$. La banda vale quindi $1MHz$ e SNR è 251

La capacità di Shannon è $C = 8Mbps$

Ora facciamo inverso di Nyquist

Se $C = 2B \log_2(M)$ andiamo a ricavare $M = 16$

Esempio 2.1.2: Altro esempio

2.2. Multiplexing

In quasi tutti i casi la capacità del mezzo di trasmissione è superiore alla capacità richiesta da una trasmissione. Vogliamo combinare sullo stesso link più trasmissioni. Abbiamo un maggior data rate con un minore costo kbps. Le singole comunicazioni richiedono un data rate inferiore rispetto alla capacità del link.

FDM frequency division multiplexing, sfrutta il fatto che la banda disponibile sul mezzo di trasmissione eccede la banda richiesta da un singolo segnale. Divido la banda totale in sotto-bande, ognuna delle quali è canale parallelo.

TDM time division multiplexing sfrutta il fatto che il data rate del mezzo di trasmissione eccede il data rate richiesto da un singolo segnale. Sono robe pseudo-parallele

2.3. Comunicazione wireless

Trasmissione in banda base (baseband), ovvero ho dato digitale, che diventa analogico, canale, riconvertito, eccetera.

Per gestire sto segnale ho la banda B , dove parte? Dove arriva? Usiamo per semplicità 0 a B . Problemi:

- se tutti i dispositivi usano questo le comunicazioni interferiscono
- più è bassa la frequenza e più l'antenna deve essere grande
- ogni range di radio frequenze (RF) possiede diverse proprietà di propagazione e attenuazione

Soluzione è la banda traslata (o passa banda), ovvero ho sempre B ma ho una frequenza portante (frequency carrier) e il mio range di trasmissione è

$$f_c - \frac{B}{2} \rightsquigarrow f_c + \frac{B}{2}$$

Ora il trasmettitore, che prende il dato, lo codifica, lo modula con la portante f_c , fa il power control (amplificatore) e poi lo manda. Il bro invece fa de-modulazione e il decoding.

Ci chiediamo:

- quale spettro utilizzare (f_c)?
- come codifico i dati?
- come modulo il mio segnale in banda base sulla portante?

L'encoding symbol e symbol rate

Un simbolo è una forma d'onda, uno stato o una condizione significativa del canale di comunicazione che persiste per un intervallo di tempo fissato

Il symbol rate è il numero di simboli trasmetti al secondo, misurato in baud

In generale un simbolo può contenere più bit (codifica e modulazione), quindi symbol rate diverso da bit rate

Una data banda può supportare diversi data rate, a seconda dell'abilità del ricevente di distinguere 0 e 1 in presenza di rumore. Un simbolo può codificare più bit alla stessa frequenza.

La trasmissione che faremo noi è la radio Line of sight (LOS), ovvero sono in linea. Soffre di:

- free space loss & path loss (attenuazione del segnale dovuta alla distanza e all'ambiente in cui il segnale si propaga)
- rumore (disturbo che distorce il segnale)
- multipath (il segnale tra TX e RX può subire riflessioni, diffrazioni e scattering, causando la ricezione di più onde elettromagnetiche dello stesso segnale in tempi diversi)
- effetto Doppler (il segnale cambia a causa del movimento di TX, RX e ostacoli)

Il path loss è l'attenuazione del segnale radio in funzione della distanza tra TX e RX, ovvero

$$\frac{P_t}{P_r} = \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right)^2 d^n = \left(\frac{4\pi f}{c} \right)^2 d^n$$

misurato in decibel. Questo è direttamente proporzionale alla frequenza (al quadrato), ad una potenza della distanza e n dipende dall'ambiente. Se free space ho praticamente una sfera, più sono lontano e meno ho segnale. Perdiamo sempre potenza, anche se non abbiamo rumore, e dipende tutto da quella formula.

Indice

1. Lezione 01 [25/02]	3
1.1. Principi di Teoria della Trasmissione	3
2. Lezione 02 [26/02]	5
2.1. Ancora basi di teoria della trasmissione	5
2.2. Multiplexing	6
2.3. Comunicazione wireless	6
3. Lezione 03 [04/03]	8
3.1. Codifica e trasmissione dei dati	9
4. Lezione 04 [05/03]	11
4.1. Esercizi	11
4.2. OFDM [Orthogonal Frequency Division Multiplexing]	11
4.3. Spread Spectrum	12
4.3.1. Frequency Hopping Spread Spectrum	13
4.3.2. Direct Sequence Spread Spectrum	13

3. Lezione 03 [04/03]

Se $n = 2$ nel free space loss allora

$$L_{dB} = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right) = 20 \log \left(\frac{4\pi f}{c} \right)$$

A parità di distanza, maggiore è la frequenza e maggiore è il path loss. La potenza di trasmissione è regolamentata. A parità di potenza, maggiore è la frequenza e minore è il raggio di copertura (segnali sufficientemente forte da essere utilizzabile).

Antenne sono isotropiche (ideali), ovvero sono sfere. Un'altra ideale è quella direzionale, tipo ellisse. Il gain (guadagno) dell'antenna è definito come il rapporto tra l'intensità della radiazione elettromagnetica in una data direzione e l'intensità che si avrebbe se si usasse un'antenna isotropica. Il gain è misurato in dBi (isotropic)

Il path loss, con antenna gain, è

$$\frac{P_t}{P_r} = \left(\frac{4\pi f}{c} \right)^2 d^n = \frac{(4\pi f)^2}{G_{t_x} G_{r_x} c^2} d^n$$

e quindi

$$L_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_t}{P_r} \right) = 20 \left(\log_{10} \left(\frac{4\pi f}{c} \right) - \log_{10}(G_{t_x}) - \log_{10}(G_{r_x}) \right)$$

Vediamo il multipath: io sto mandando in LOS, ma ho interazioni con l'ambiente, tipo:

- riflessione
- scattering (se $\lambda \sim$ oggetto)
- diffrazione (se $\lambda \ll$ oggetto, effetto sui bordi)

Uno degli effetti è il **fading** (evanescenza), dovuto a interferenze distruttive tra più onde elettromagnetiche; le interferenze sono variabili nel tempo, perché siamo in un ambiente dinamico, e dipende anche dalla mobilità del dispositivo (entrambi ciao). Un altro è l'**interferenza Inter-Simbolo** (ISI Inter-symbol interference) ovvero la ricezione sovrapposta di simboli adiacenti a

causa del ritardo di ricezione delle onde dei diversi percorsi. La durata è del simbolo è \sim o $<$ la max differenza dei tempi di arrivo.

Nel fading, il coherence time è la scala temporale in cui si possono considerare le caratteristiche del segnali costanti. Si calcola con

$$T_c = \frac{1}{f_D}.$$

La frequenza doppler dipende dalla velocità di movimento e dalla frequenza (oltre che da c) ed è

$$f_D = \frac{v}{c} f_c$$

Usiamo il MIMO (Multiple Input Multiple Output), che può essere di diversi tipi

3.1. Codifica e trasmissione dei dati

Dati utente \rightarrow forward error correction (FEC) ovvero encoder \rightarrow modulation e coding con la frequenza portante \rightarrow power amplifier (amplificatore) e lo mandiamo. Quando riceviamo abbiamo de-modulazione (demodulation) e decoding \rightarrow forward error correction (FEC) e decoder

Schema di modulazione e codifica. Sappiamo che

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

ed esistono diverse tecniche per codificare dati digitali in segnali analogici.

Diversi livelli di ampiezza per diversi bit (o gruppi) parliamo di Amplitude-shift keying (ASK)

Diverse frequenze per diversi bit (o gruppi) parliamo di Frequency-shift keying (FSK)

Diverse fasi per diversi bit (o gruppi) parliamo di Phase-shift keying (PSK)

Il simbolo è una forma d'onda, uno stato o una condizione significativa del canale di comunicazione che persiste in un intervallo di tempo fissato. Il symbol rate è il numero di simboli trasmessi al secondo [baud]

In generale, un simbolo può contenere più bit, quindi symbol rate diverso da bit rate

Metti esempi vari

Tecniche che permettono più di un bit per simbolo:

- MFSK multilevel frequency-shift keying ($L = \log_2(M)$)
- QPSK quadrature phase-shift keying (2)
- X-QAM quadrature Amplitude modulation ($L = \log_2(X)$)

Vediamo ora QPSK. Usa la fase per determinare ...

Siamo nello spazio complesso (viva Edu) ma usiamo le coordinate polari. Il segnale è

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \dots$$

Ogni punto codifica una coppia di bit. Sono 4 fasi differenti, distanziate di 90 gradi. Usiamo 2 bit per simbolo, usando una codifica Gray per punti adiacenti.

Vediamo QAM. Cambia un po', ma combina variazioni di ampiezza e fase, ad esempio 16-QAM usa 4 bit per simbolo e la costellazione è più densa.

Bit error rate curve: le curve di BER rappresentano la probabilità di errore di un bit in funzione del rapporto tra la densità di energia del segnale per bit ed il livello del rumore, ovvero

$$BER = func\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$$

La formula analitica (verificata poi sperimentalmente) è una stima ottimistica rispetto al caso reale, ovvero

$$BER = \frac{4}{n} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3nE_B}{(M-1)N_0}} \right)$$

con n bit per simbolo, M numero di simboli diversi (costellazione) e erfc funzione degli errori di Gauss complementare, ovvero

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2} dt$$

AMC è adaptive modulation and coding

Il forward error correction aggiunge bit ai dati, così il ricevente li può usare per vedere se ci sono stati errori. Se la error detection vede un errore il blocco di dati viene ritrasmesso usando lo schema ARQ. Nelle trasmissioni wireless la probabilità di errore di un bit è elevata. Definiamo code redundancy come

$$\frac{n-k}{k}$$

mentre la coding rate come

$$\frac{k}{n}$$

A seconda delle condizioni del canale wireless il trasmettitore sceglie lo schema di modulazione e codifica opportuno

Indice

1. Lezione 01 [25/02]	3
1.1. Principi di Teoria della Trasmissione	3
2. Lezione 02 [26/02]	5
2.1. Ancora basi di teoria della trasmissione	5
2.2. Multiplexing	6
2.3. Comunicazione wireless	6
3. Lezione 03 [04/03]	8
3.1. Codifica e trasmissione dei dati	9
4. Lezione 04 [05/03]	11
4.1. Esercizi	11
4.2. OFDM [Orthogonal Frequency Division Multiplexing]	11
4.3. Spread Spectrum	12
4.3.1. Frequency Hopping Spread Spectrum	13
4.3.2. Direct Sequence Spread Spectrum	13

4. Lezione 04 [05/03]

4.1. Esercizi

Abbiamo $\text{SNR} = 8 \text{ dB}$ e un obiettivo che il canale deve garantire di $\text{BER} = 10^{-2}$ (sbagliare un bit ogni 100)

Abbiamo anche una tabella dei coding rate (k/n vedi Shannon)

SNR	BPSK	QPSK	16-QAM
$< 6 \text{ dB}$	0.6	0.4	0.2
$6 - 10 \text{ dB}$	0.8	0.6	0.5
$> 10 \text{ dB}$	0.9	0.8	0.7

Poi abbiamo un grafico con SNR sulle x e BER sulle y , di solito in scala

I simboli al secondo sono 1000 syb/s

Noi siamo a 8 dB quindi siamo sulla linea centrale. Noi vorremmo un BER uguale a 10^{-2} , quindi scegliamo BPSK. La QPSK invece non va bene, faccio troppi errori. Guardando la tabella, selezioniamo 0.8 vista la zona e la codifica.

Facciamo quindi $\text{syb/s} \cdot \text{bit/syb} \cdot \text{CR} [\text{ad}]$, ovvero

$$1000 \cdot 1 \cdot 0.8 = 800 \text{ bit /s}$$

Se avessi chiesto 10^{-1} prendevo anche QPSK, facevo conti e prendevo il migliore. Basta prendere tutto quello che è meglio di quello richiesto.

4.2. OFDM [Orthogonal Frequency Division Multiplexing]

Abbiamo già visto TDM e FDM con divisione in frequenza e tempo in base al segnale.

La tecnica OFDM permette di inviare uno stream di bit usando frequenze differenti per inviare porzioni dello stream. Offriamo canali differenti usando una divisione in frequenza. Vogliamo garantire stesso data rate in TDD. Qua manteniamo fissa la banda ma garantendo lo stesso data

rate Qui ho N stream paralleli, uno per ogni frequenza, e ho R/N bps di durata N/R. Stesso data rate in entrambi, ma qui abbiamo tanti sotto stream su tutte le frequenze disponibili

Come lo si implementa:

- dobbiamo fare una conversione seriale -> parallelo
- mandiamo R/N bit ad ogni frequenza diversa detta subcarrier (sotto-portanti)
- ogni stream viene modulato indipendentemente usando lo stesso schema di modulazione codifica MCS
- l'onda trasmessa è la combinazione di tutti i subcarrier modulati

Partiamo da una frequenza base e poi la spostiamo

Come troviamo la f_b ? Nel caso di FDM classico viene lasciato uno spazio di guardia per evitare interferenze. In questo caso, i subcarrier sono ortogonali tra di loro e non interferiscono. La distanza tra i subcarrier è studiata in modo da evitare interferenze

Ortogonalità non ha interferenze.

Come garantiamo l'ortogonalità?

La scelta dipende dalla durata del simbolo T, ovvero

$$f_b = \frac{1}{T}$$

ovvero più il simbolo è breve e più devo distanziare, più il simbolo è lungo meno devo distanziare.

Considerazioni:

- più robusto riguardo ad interferenze che riguardano solo alcuni subcarrier; nel caso di sx rompe le palle a tutto, nel caso di dx solo un bit (o R/N) sarebbe interessato
- più robusto rispetto ai problemi di multipath perché la distanza tra un simbolo e l'altro è maggiore (inter-symbol interference (ISI) ridotto)

Multiple access: condividere il canale di comunicazione tra più utenti. In generale MA diverso da multiplexing. Ora abbiamo:

- TDMA slot temporali diversi
- FDMA frequenze diverse per gli utenti
- CDMA codificare l'informazione [3g e satellite]
- CSMA controllare il canale
- FHSS frequenze diverse saltando random
- OFDMA subcarrier [4g e 5g]

4.3. Spread Spectrum

Spread Spectrum (spettro espanso) consiste nel trasmettere il segnale di informazione su uno spettro di frequenze più ampio di quella del segnale

Ho input, poi encoder, il modulator prende uno pseudonoise generator oppure uno spreading code (deciso), canale, de-modulatore e poi fine

Motivazioni:

- immunità a diversi tipi di rumore e distorsioni multipath
- utilizzato per nascondere e cifrare il segnale. Solo TX e RX sono a conoscenza del codice di spreading
- molti utenti possono usare indipendentemente la stessa banda più ampia con pochissima interferenza, usata da CDMA

4.3.1. Frequency Hopping Spread Spectrum

In FHSS il codice di spreading determina quale frequenza usare per trasmettere il segnale. Ad ogni intervallo di tempo prestabilito, la frequenza viene cambiata (Frequency Hopping). Sequenza nota a TX e RX

Ci si mette d'accordo su due parametri: ogni quanto fare hopping (anche pubblico) e pseudonoise bit source, il seed della sequenza da generare

Cosa possiamo dire:

- più resistente al rumore e al jamming
 - ▶ jamming su una frequenza compromette solo quella
 - ▶ jamming su tutta la banda spread ha meno efficacia
- un altro ricevitore che si sincronizza con il trasmettitore può solo leggere alcuni pezzi di messaggi perché non conosce la sequenza di frequency hopping

4.3.2. Direct Sequence Spread Spectrum

Data una sequenza di bit D , ogni bit della sequenza viene rappresentato da un insieme di bit usando un codice di spread

1 bit di informazione diventa N ottenuti da una sequenza casuale

I bit della sequenza di spread sono più piccoli (durano $1/N$ dei bit di informazione) e sono denominati chip

Vogliamo mantenere lo stesso data rate, quindi abbiamo bisogno di N volte la banda utilizzata per l'informazione

Esempio 4.3.2.1: Devo trasmettere $D = 101$ e ho un fattore $N = 3$. Per ogni bit di D uso 3 bit casuali. Faccio XOR (bit per ogni bit della sequenza) e poi mando.

Un bit di informazione va in xor con i bit del chip