

Università degli Studi di Palermo
A.A.2012/2013

Laurea in Ingegneria Elettronica
Fondamenti di comunicazioni elettriche (9cfu)

Laurea in Ingegneria Informatica e delle Telecomunicazioni
Comunicazioni elettriche (6cfu)

Propedeuticità

Per il corso da 9cfu, Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica: Fisica matematica.

Per il corso da 6cfu, Corso di Laurea in Ingegneria Informatica e delle Telecomunicazioni: Teoria dei segnali.

Programma del corso

Teoria della probabilità

Esperimento casuale, insieme dei risultati, evento, probabilità come misura. Probabilità condizionata, formula di Bayes, teorema della probabilità totale. Eventi indipendenti ed eventi mutuamente esclusivi.

Variabili aleatorie

Definizioni, funzioni di distribuzione cumulativa e di densità di probabilità, valutazione della probabilità di un evento. Variabili aleatorie congiunte, funzioni di distribuzione cumulativa e di densità di probabilità congiunta. Variabili aleatorie indipendenti. Densità di probabilità marginali. Densità di probabilità della somma di variabili aleatorie indipendenti.

Medie statistiche. Linearità ed omogeneità del valore medio. Valore quadratico medio, varianza di una variabile aleatoria. Disuguaglianza di Chebychev. Correlazione e coefficiente di correlazione. Densità di probabilità condizionate. Caso particolare del condizionamento a probabilità nulla. Relazione tra incorrelazione ed indipendenza di variabili aleatorie. Funzioni di variabili aleatorie, densità di probabilità e media di una funzione di variabile aleatoria.

Variabili aleatorie notevoli: Bernoulli, uniforme, binomiale, esponenziale (proprietà di assenza di memoria), Poisson, Cauchy, Gaussiana (enunciato del teorema limite centrale).

Processi stocastici

Definizioni, caratterizzazione di un segnale aleatorio mediante la densità di probabilità di qualsiasi ordine. Stazionarietà in senso stretto ed in senso lato. Ergodicità in senso stretto ed in senso lato. Richiami sulla trasformata di Fourier. Sviluppo in serie di Fourier del segnale periodico per costruzione. Spettro di un processo aleatorio. Densità spettrale media di energia e di potenza di un segnale aleatorio.

Variabili aleatorie congiuntamente Gaussiane e processi Gaussiani

Indipendenza ed incorrelazione per variabili aleatorie congiuntamente Gaussiane, metodo dell'ispezione diretta per trovare media, varianza e correlazione di variabili congiuntamente Gaussiane. Processi Gaussiani stazionari all'uscita di sistemi lineari e tempo-invarianti. Il processo di rumore termico. Densità spettrale di potenza della tensione di rumore termico ai capi di un resistore e relativa potenza disponibile.

Cenni alla teoria dell'informazione

Informazione come funzione della probabilità. Sorgente d'informazione. Entropia di una variabile casuale discreta. Distribuzione di massa di probabilità in corrispondenza al massimo dell'entropia. Enunciato del teorema della codifica di sorgente.

Canale discreto. Informazione mutua. Enunciato del teorema di Shannon sulla codifica di canale. Ruolo della codifica di canale nei sistemi di comunicazione. Esempi di codifica di canale: il codice a ripetizione e la regola di decisione a maggioranza. Il codice di Hamming.

Cenni alla elaborazione numerica dei segnali

Vantaggi dell'elaborazione a tempo discreto dei segnali. Condizione di Shannon-Nyquist per la ricostruzione di un segnale campionato. Teorema del campionamento. Sviluppo in serie di Fourier del segnale periodico per costruzione. Dimostrazione alternativa mediante la formula di Poisson.

Conversione A/D: filtro anti-aliasing, campionatore e quantizzatore. Caratteristica di quantizzazione ottima

nel senso del minimo errore quadratico medio. Legge di quantizzazione uniforme e relazione tra precisione in bit ed errore di quantizzazione. Modulazione PCM.

Conversione D/A: interpolazione cardinale. Trasformata di Fourier di un segnale campionato. Interpolazione a tempo discreto (implementazione polifase). Filtro anti-aliasing.

Stima numerica della trasformata di Fourier, trasformata di Fourier finestrata. Fenomeno del mascheramento e scelta della finestra. Necessità della discretizzazione in frequenza. Trasformata discreta di Fourier (DFT). Complessità della DFT. Cenni alla trasformata di Fourier veloce (FFT).

Trasmissione numerica in banda base

Segnale numerico modulato linearmente. Densità spettrale di potenza del segnale numerico modulato linearmente. Schema di un sistema di trasmissione numerica. Modulazione numerica binaria in banda base: segnalazione bipolare, unipolare, bipolare alternata.

Modulazione numerica lineare in banda base M-PAM. Struttura del ricevitore nel caso di canale AWGN: filtro, campionatore, decisore. Analisi delle prestazioni nel caso di annullamento dell'interferenza intersimbolica (isi). Regole di decisione a minima probabilità d'errore e a massima verosimiglianza. Probabilità di errore sul simbolo e limite inferiore alla probabilità d'errore sul bit nel caso di mapping di Gray. Ricevitore a filtro adattato, scelta del ritardo di campionamento nel ricevitore a filtro adattato. Probabilità d'errore nel caso del ricevitore a filtro adattato. Densità spettrale di potenza ed energia media per simbolo e per bit nella modulazione PAM. Calcolo della probabilità di errore sul bit (BER).

Espressione dell'isi con modulazione lineare sul canale additivo Gaussiano. Condizione di Nyquist sull'annullamento dell'isi nel dominio della frequenza. Impulso a coseno rialzato ed a radice di coseno rialzato. Ortogonalizzazione di impulsi di segnalazione che non soddisfano la condizione di Nyquist. Schema completo del sistema di modulazione numerica in banda base M-PAM. Condizione per l'indipendenza dei campioni del rumore bianco Gaussiano filtrato. Compromesso tra banda, probabilità di errore e potenza richiesta per la trasmissione del segnale numerico M-PAM.

Modulazioni passa banda

Esigenza della modulazione in banda passante. Multiplicazione a divisione di frequenza (FDM). Modulazioni d'ampiezza AM e DSB-SC. Rivelazione ad involuppo per la modulazione d'ampiezza. Schema del ricevitore coerente per la modulazione DSB-SC. Considerazioni sul mixer e sul problema di ricostruzione della portante. Modulatore e demodulatore in quadratura. Modulazione SSB e trasformatore di Hilbert, modulazione VSB.

Modulazione numerica QAM. Espressione del segnale numerico lineare con l'involuppo complesso. Costellazioni QAM quadrate, costellazioni PSK, mapping di Gray, regola di decisione a minima probabilità d'errore. Regioni di decisione per PSK e QAM, probabilità d'errore per BPSK e QPSK. Limitazioni sulla probabilità d'errore per la modulazione 8-PSK. Probabilità di errore nella QAM, calcolo della probabilità di errore sul bit.

Cenni alla trasmissione numerica su canali non ideali

Diagramma ad occhio di un sistema di trasmissione binario. Equalizzazione nel dominio della frequenza: Zero-Forcing (o BLUE) ed equalizzazione MMSE. Cenni alla modulazione OFDM: espressione del segnale, struttura del trasmettitore e del ricevitore. Caratteristiche della modulazione OFDM definita nel livello fisico dello standard IEEE 802.11g.

Materiale didattico di riferimento

- Giovanni Mamola, Giovanni Garbo, “Lezioni di Teoria dei Segnali *Vol.II* Analisi dei segnali aleatori”, Editore Dario Flaccovio
- Sandro Bellini, “Teoria dei fenomeni aleatori”, Società Editrice Esculapio
- Giovanni Garbo, Stefano Mangione, “Appunti di Teoria dell'Informazione e Codici”, disponibile online: [http://www.tti.unipa.it/~garbo/Teoria InfeCodici.pdf](http://www.tti.unipa.it/~garbo/Teoria%20InfeCodici.pdf)
- Giovanni Mamola, “Lezioni di Comunicazioni elettriche”, disponibili online: <http://www.tti.unipa.it/~mamola/>
- Maria Gabriella Di Benedetto, “Comunicazioni elettriche – *Fondamenti*” ed “– *Approfondimenti*”, Casa Editrice Pearson – Prentice Hall Italia