UNIVERSITÀ DI PISA

ELECTRONICS AND COMMUNICATIONS SYSTEMS

MARCO MORETTI

Academic year	2023/24
Course	COMPUTER ENGINEERING
Code	598II
Credits	9

Modules	Area	Type	Hours	Teacher(s)
ELECTRONICS AND COMMUNICATIONS SYSTEMS	ING-INF/01,ING-INF/03	LEZIONI	90	LUCA FANUCCI MARCO MORETTI PIETRO NANNIPIERI

Obiettivi di apprendimento

Conoscenze

Lo studente che completa con successo il corso sarà in grado di dimostrare una solida conoscenza delle principali questioni relative all'elettronica e ai sistemi di comunicazione.
Lo studente acquisirà la capacità di comprendere il principio di funzionamento dei principali elementi costitutivi dei sistemi elettronici e di valutare le metriche delle prestazioni, di progettare sistemi elettronici considerando diversi trade-off (area, velocità, consumo energetico e flessibilità) sfruttando strumenti di progettazione assistita da computer all'avanguardia e metodologie di progettazione di alto livello per FPGA e tecnologie semi-custom. Lo studente acquisirà la capacità di progettare sistemi elettronici basati su sensori, compresa l'acquisizione, il condizionamento e la fusione dei dati.
Lo studente acquisirà anche una conoscenza generale dei sistemi di comunicazione wireless. In particolare, alla fine del corso lo studente avrà una conoscenza di base delle architetture di trasmettitori e ricevitori e sarà in grado di valutare quali sono gli effetti più importanti del canale di propagazione sulla qualità complessiva della trasmissione. Un'attenzione specifica sarà data ad alcune delle tecnologie impiegate nei sistemi cellulari 4G e 5G.

Modalità di verifica delle conoscenze

Lo studente sarà valutato sulla sua capacità dimostrata di discutere i principali contenuti del corso utilizzando la terminologia appropriata. Lo studente dovrà dimostrare la capacità di mettere in pratica e di eseguire, con consapevolezza critica, le attività illustrate o svolte sotto la guida del docente durante il corso. A tal fine lo studente potrà richiedere ai docenti di svolgere un progetto pratico di progettazione per la parte di sistemi elettronici.
Metodi:
Esame orale finale
Relazione orale
Relazione scritta

Capacità

Alla fine del corso, lo studente avrà una solida conoscenza delle principali questioni relative all'elettronica e ai sistemi di comunicazione.
In particolare, lo studente sarà in grado di effettuare un'analisi comparativa fra le varie tecniche di realizzazione di circuiti integrati (GPP, DSP, FPGA, ASIC semi-custom and full-custom) per sistemi di telecomunicazioni tenendo conto delle principali metriche prestazionali (area occupata, velocità, consumo di potenza e affidabilità).
Lo studente sarà in grado di svolgere le fasi principali per la progettazione di un circuito integrato digitale su tecnologia semi-custom basandosi sul linguaggio di descrizione dell'hardware ad alto livello (VHLD) e programmi di sintesi logica automatica. In particolare sarà in grado di svolgere tutte le fasi progettuali per la realizzazione di progetto digitale su tecnologia FPGA Xilinx (basandosi sul tool di simulazione ModelSim ed il tool di sintesi e programmazione Xilinx VIVADO) e la relativa implementazione e collaudo sulla scheda prototipale Zybo.
Lo studente sarà in grado di valutare con cognizione di causa i principali parametri che determinano le prestazioni di un sistema di comunicazioni wireless. Inoltre avrà i fondamenti per implementare in software i blocchi principali di un tranceiver digitale.

Modalità di verifica delle capacità

Durante le lezioni di laboratorio, lo studente sarà messo alla prova con la progettazione di un sintetizzatore di frequenza digitale diretto: dalle specifiche di progetto, alla sua descrizione e verifica con il linguaggio di descrizione dell'hardware VHDL, fino alla progettazione su piattaforma FPGA Zync e all'implementazione e collaudo sulla scheda prototipale Zybo.
Opzionalmente, lo studente avrà l'occasione di completare il flusso di progetto di semplici sistemi digitali (dalla specifica alla sintesi su piattaforma FPGA) cimentandosi nell'esecuzione di un progetto assegnato dal docente a gruppi di 1-3 persone.
Durante le ore di lezione frontale, la partecipazione degli studenti sarà stimolata per verificare le capacita individuali relativamente ai principali

temi delle comunicazioni wireless.

Comportamenti

Lo studente imparerà ad esplorare lo spazio di progetto per la progettazione di sistemi microelettronici digitali per sistemi di telecomunicazioni tenendo conto delle principali metriche prestazionali (area occupata, velocità, consumo di potenza e affidabilità).
Lo studente acquisirà una prima comprensione di quali siano i requisiti fondamentali per la progettazione ed il dimensionamento di un sistemacomunicazioni wireless.

Modalità di verifica dei comportamenti

Lo studente verrà periodicamente interrogato durante le lezioni allo scopo di capire come si rapporta di fronte a semplici problemi che riguardano l'uso dei sistemi di elaborazione digitale del segnale che vengono di volta in volta introdotti dai docenti.
Per gli studenti che scelgono di svolgere i progetti opzionali, è prevista una fase di discussione dei risultati nella quale il docente valuta l'effettivo grado di confidenza assunto dagli studenti nei confronti delle tecniche progettuali.

Prerequisiti (conoscenze iniziali)

Lo studente dovrà avere una buona conoscenza dei seguenti argomenti:
1) tecnologie di fabbricazione dei circuiti integrati CMOS
2) conoscenze di porte logiche in CMOS (combinatorie e sequenziali)
3) Architettura di massima di un calcolatore
4) Teoria dei segnali aleatori e deterministici
5) Conoscenza dei ssitemi lineari
6) Nozioni di sitemi di telecomunicazioni

Indicazioni metodologiche

Attività di apprendimento:

- Seguire le lezioni
- Seguire le attività sperimentali
- Eseguire i progetti opzionali come lavoro di gruppo.

Frequenza: fortemente consigliata ma non obbligatoria
Metodi di insegnamento:

- Erogazione di lezioni ed esercitazioni sperimentali
- Attività di tutoraggio per le esecuzione dei progetti opzionali.

Erogazione: didattica frontale emergenza COVID-19 permettendo altrimenti a distanza su piattaforma Teams

Programma (contenuti dell'insegnamento)

Il corso è organizzato in due parti. La prima riguarda i sistemi elettronici:

- Metriche di progettazione nella progettazione di circuiti integrati digitali per sistemi di telecomunicazione
- Progettazione di scambi per l'esplorazione dello spazio tra computer per uso generale, processore di segnale digitale, processore di set di istruzioni specifiche per l'applicazione, gate programmabile sul campo e circuito integrato specifico per l'applicazione.
- Profilazione e mappatura di algoritmi DSP in architetture VLSI, inclusi gli effetti aritmetici finiti (implementazione floating vs. fixed point).
- Implementazione CMOS dei principali blocchi di elaborazione del segnale digitale: adder, moltiplicatore, unità logica aritmetica, moltiplicatore e unità di accumulo, filtri CORDIC, FIR e IIR.
- Strumenti di automazione della progettazione elettronica di alto livello per il co-design hardware-software per circuiti integrati digitali semi-custom. Linguaggi di descrizione dell'hardware per la modellazione, la simulazione e la sintesi logica.
- Consumo di energia in IC digitale CMOS. Tecniche di progettazione per la riduzione del consumo di energia a diversi livelli di astrazione.

La seconda parte riguarda i sistemi di comunicazione ed è organizzata in cinque blocchi:
1. Comunicazioni analogiche. Come i servizi di telecomunicazione mappano lo spettro radio. Sistemi analogici. Modulazione AM-DSB. Architetture di modulatori e demodulatori. QAM analogico. Segnali in fase e in quadratura. Demodulatore QAM analogico. Sistemi a banda base e a banda passante. Inviluppo complesso e modello equivalente a banda base per segnali a banda passante. FM analogico: modello di segnale, inviluppo complesso e definizione dell'indice di modulazione. Larghezza di banda per un segnale FM modulato da un tono sinusoidale. Regola della larghezza di banda di Carson. Descrizione e meccanismi di funzionamento di una radio definita dal software. Un caso particolare: RTL-SDR. Elaborazione del segnale e flusso di dati in un ricevitore RTL-SDR. Implementazione SDR di un ricevitore FM mono. Implementazione MATLAB del ricevitore FM mono che utilizza i campioni all'uscita di un RTL-SDR.
2. Comunicazioni digitali. Architettura del trasmettitore PAM. Mappatura dei simboli. Progettazione del filtro di trasmissione. Breve panoramica dei processi stocastici. Densità spettrale di potenza. Calcolo della PSD per un processo a stato discreto in tempo reale. Effetto della media dei simboli sullo spettro del segnale. Scompensi nella scelta del filtro di trasmissione. Definizione di un processo stocastico. Distribuzione e

funzione di densità di probabilità. Media e autocorrelazione di un processo stocastico. Stazionarietà e stazionarietà in senso lato. Densità spettrale di potenza. Progettazione del ricevitore PAM. Criterio di Nyquist nel dominio del tempo e della frequenza. Filtri coseno rialzati. Progettazione del filtro di ricezione PAM: Filtro accoppiato. Filtri a coseno rialzato radice. Larghezza di banda di un segnale PAM. Calcolo dell'energia per simbolo PAM. Strategia di decisione: criterio di massima verosimiglianza e rilevamento a distanza minima. Regioni di decisione. Probabilità di errore dei simboli PAM. Uso della funzione Q per calcolare la probabilità di errore. Proprietà della funzione Q. Probabilità di errore di bit. Confronto delle prestazioni di 2-PAM, 4-PAM e 8-PAM in termini di probabilità di errore di bit in funzione di Eb/N0. Modulazioni in quadratura. Simboli QAM complessi. Calcolo del valore quadratico medio dei simboli QAM e dell'energia per simbolo QAM. Approssimazione della probabilità di errore per simbolo per una costellazione QAM in funzione del PAM corrispondente. Derivazione della probabilità di errore di bit. Realizzazione in MATLAB di una simulazione Monte-carlo di un sistema di comunicazione 4-PAM. Spettro di un segnale modulato in QAM. Effetto della scelta del fattore di roll-off RRC sullo spettro del segnale e sulle variabili di decisione quando la risposta all'impulso del filtro RRC è troncata.
3. Il canale di propagazione senza fili. Fenomeni di propagazione. Dissolvenza su larga scala: perdita di percorso. Esponente di perdita di percorso. Shadowing e distribuzione dello shadowing log-normale. Fading su larga scala: calcolo della potenza media ricevuta come combinazione di path-loss e shadowing. Canale modellato come LTI. Modello di canale ideale senza distorsione. Dissolvenza su piccola scala. Inviluppo complesso del canale di propagazione. Cluster di onde ricevute: teorema del limite centrale e sua applicazione per derivare la distribuzione dei guadagni complessi del canale. Distribuzione di Rayleigh. Dissolvenza su piccola scala. Definizione di larghezza di banda di coerenza. Flat fading. Dissolvenza multipla. Canali selettivi di frequenza. Prestazioni dei sistemi di comunicazione su AWGN, canali flat fading e canali multipath. Definizione di piano di errore. Definizione di spread di ritardo del canale e come calcolarlo. Diffusione del ritardo e larghezza di banda di coerenza. Esempio di modello di canale a due raggi. Inviluppo complesso per la risposta all'impulso di un canale che varia nel tempo. Definizione di Doppler shift e Doppler spread. Spettro di potenza Doppler di Jake. Funzione di autocorrelazione del guadagno del canale di un canale variabile nel tempo. Definizione di tempo di coerenza del canale. Distanza di coerenza. Definizione di canali a dissolvenza lenta e veloce sulla base del tempo del simbolo del segnale e della larghezza di banda del segnale.
4. Modulazioni multiportante. Caratteristiche principali della multiportante. Risposta all'impulso del canale come linea di ritardo intercettata. Convoluzione discreta come prodotto di una matrice Toeplitz. Modello di segnale OFDM: estensione ciclica. Convoluzione circolare. Notazione Matix per la convoluzione circolare: Matrici circolanti. Diagonalizzazione di matrici circolanti. Come sfruttare la proprietà di diagonalizzazione delle matrici circolanti per implementare trasmissioni OFDM non affette da ISI al ricevitore. Schema a blocchi del ricetrasmettitore OFDM. Interpretazione dell'OFDM. Periodicità del segnale OFDM. Spettro del segnale OFDM e ortogonalità delle sottoportanti. Esempio di OFDM: WIFi - IEEE 802.11. Variabili di decisione per un ricevitore OFDM. Implementazione MATLAB di un trasmettitore e ricevitore OFDM.
5. Diversità nelle comunicazioni wireless: diversità di tempo, frequenza e spazio. Diversità temporale: interleaving e codifica. Codifica di rilevamento degli errori. Codifica di correzione degli errori. Encoder e decoder per codici a blocchi. Codificatore e per codici convoluzionali. Convoluzione in GF(2). Definizione dei parametri di un codificatore a blocchi. Diagramma di stato e diagramma di Trellis per un codificatore convoluzionale. Strategia di decodifica per codici convoluzionali. Codici convoluzionali: l'algoritmo di Viterbi. Interleaving e deinterleaving. Motivazione per l'uso di un interleaver su un canale fading. Esempio di un interleaver a blocchi. Codici turbo. Schema a blocchi e meccanica del codificatore. Decodificatore turbo. Esempio semplificato di un codificatore e decodificatore turbo. Trade-off tra prestazioni e latenza nei codici turbo. Diversità spaziale: definizione di array e guadagno di diversità. Canale MIMO e matrice di canale. Canale SIMO e combinatore a rapporto massimo. Calcolo dell'SNR al ricevitore. Canale MISO e combinatore di trasmissione a rapporto massimo. Pesi ottimali del combinatore. Calcolo del SNR ricevuto. Effetto dell'impiego di antenne multiple sulla funzione di densità di probabilità dei guadagni del canale. Multiplazione spaziale MIMO. Numerologia del livello fisico LTE. Calcolo di come la velocità di picco dei dati di 1.6 (2) Gb/s è raggiunta in un terminale LTE di classe 19 (20).

Bibliografia e materiale didattico

La lettura consigliata include:
- P. Pirsch, "Architetture per l'elaborazione del segnale digitale", Wiley
- J. M. Rabaey, A. Chandrakasan, B. Nikolic, Circuiti integrati digitali 2/E, Prentice-Hall
- K.C. Chang, "Digital Systems Design with VHDL and Synthesis", IEEE Computer Society

Specificamente per la parte di telecomunicazioni
- T.S. Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practice", 2nd Edition. [Cap. 1 e 3]
- R.W. Stewart, K.W. Barlee, D.S.W. Atkinson, L.H. Crockett, "Software Defined Radio Using Matlab & Simulink and The Rtl-Sdr", University of Strathclide [Cap. 1 (SDR)].
- J. Proakis, "Digital Communications", 5th Revised edition, McGraw-Hill, Prentice Hall. [Cap.1 (complex envelope) e 2]
-D. Tse, P. Visnawath, Fundamentals Of Wireless Communication, Cambrdige University Press [Cap. 4 e 5].

Ulteriori materiali saranno forniti dai docenti e disponibili sul canale Teams del corso.

Indicazioni per non frequentanti

Il programma è lo stesso per studenti frequentanti e non frequentanti. Gli studenti non frequentanti possono trovare tutto il materiale del corso nella pagina web indicata dal docente e sul canale Teams del corso.

Modalità d'esame

Esame orale, in genere 2/3 domande ampie su argomenti selezionati per ciascun modulo (electronics and communication), circa 40/50 minuti in totale.

Note

COMMISSIONE DI ESAME: Marco Moretti, Luca Fanucci, Pietro Nannipieri

Ultimo aggiornamento 26/07/2023 09:54