UNIVERSITÀ DI PISA

AUTOMOTIVE COMMUNICATIONS AND NAVIGATION

VINCENZO LOTTICI

Anno accademico	2021/22
CdS	INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI
Codice	1083I
CFU	6

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
AUTOMOTIVE COMMUNICATIONS AND NAVIGATION	ING-INF/03	LEZIONI	60	VINCENZO LOTTICI

Obiettivi di apprendimento

Conoscenze
Per raggiungere livelli di automazione elevati, i veicoli saranno equipaggiati con un numero sempre più elevato di sensori. Questo significa che la connettività a larga banda appare critica per permettere ai veicoli e all'infrastruttura di aumentare la distanza di copertura e l'affidabilità. In aggiunta la connettività rende possibili altre applicazioni come "infotainment" o elevati livelli di coordinamento del traffico.
Alla conclusione del corso gli studenti avranno acquisito conoscenze inerenti:

- l'evoluzione delle tecniche di comunicazione veicolare e delle relative tecnologie;
- l'architettura dei sistemi di comunicazione "Vehicular to Everything" (V2X) (veicoli con altri veicoli, infrastruttura, rete) attualmente in fase di standardizzazione, IEEE 802.11bd e 3GPP 5G New Radio (NR) V2X;
- l'architettura dei segmenti Spazio, Controllo e Utente del sistema di posizionamento NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System (NAVSTAR GPS);
- i sistemi GPS differenziali per aumentare l'accuratezza della stima;
- la struttura del segnale trasmesso da un satellite GPS e gli algoritmi utilizzati per stimare la posizione utente e il Coordinated Universal Time (UTC).

Modalità di verifica delle conoscenze
Le conoscenze acquisite saranno verificate durante la sessione di esame orale.

Capacità
Alla conclusione del corso, gli studenti sapranno:

- definire la struttura e scegliere i parametri di un sistema di comunicazione veicolare, stimando le relative prestazioni;
- comprendere l'architettura dei sistemi di comunicazione V2X attualmente in fase di standardizzazione IEEE 802.11bd e 3GPP 5G NR V2X;
- comprendere l'architettura del sistema di posizionamento satellitare GPS, segmenti Spazio, Controllo e Utente;
- definire la struttura del segnale trasmesso da ogni satellite della costellazione GPS, gli algoritmi per la stima della posizione e del timing UTC, le principali sorgenti di errore e le prestazioni di accuratezza.

Modalità di verifica delle capacità
Verranno svolti esempi numerici con il linguaggio Matlab con lo scopo di analizzare i sistemi introdotti nello svolgimento del corso.

Comportamenti
Gli studenti potranno

- acquisire o incrementare consapevolezza riguardo le scelte progettuali imposte da vincoli sia tecnologici che ambientali;
- essere in grado di collaborare attivamente nelle discussioni tecniche durante lo svolgimento degli esercizi proposti.

Modalità di verifica dei comportamenti
Durante le esercitazioni verranno verificate e valutate

- l'accuratezza e la precisione delle attività svolte;
- le modalità di elaborazione delle soluzioni adottate.

Prerequisiti (conoscenze iniziali)

- Teoria dei segnali, teoria dei sistemi
- Fondamenti di Telecomunicazioni
- Digital Communications

Indicazioni metodologiche

- Modalità di svolgimento delle lezioni: lezioni in presenza con supporti come Powerpoint, video.
- Supporto alle lezioni: siti web.
- Utilizzo del sito di e-learning del corso per il download del materiale didattico e per le comunicazioni tra docente e studenti.
- Tipo di interazione tra il docente e gli studenti: riunioni fisiche, Teams, Skype, e-mail, telefono.
- Lingua italiana.

Programma (contenuti dell'insegnamento)

Parte I - Introduzione ai sistemi di comunicazione veicolare
- Definizione di Intelligent Transport System (ITS), banda 5.85-5.925 GHz.
- 5G Automotive Association, https://5gaa.org, (organizzazione che unisce da Sept. 2016 piu' di 130 aziende del settore automotive, telecomunicazioni, tecnologia per lo sviluppo dei servizi futuri di mobilità).
- Definizione di connettività V2X ed evoluzione dei sistemi V2X.
- Comunicazioni dedicate a corto raggio (DSRC).
- Dispositivi di posizionamento e sensing.

Parte II - Standard IEEE 802.11p per DSRC
- Assegnazione e suddivisione della banda.
- Allocazione con accesso TDM del canale di controllo (CCH) e canali di segnalazione (SCH) mediante il Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE).
- Struttura del livello fisico (PHY):
numero e spaziatura sottoportanti (SCS) OFDM, formati di modulazione, codice convoluzionale, coding rate, reiezione del canale adiacente, bit rate disponibili.
- Struttura del livello MAC:
WAVE Basic Service Set (WBSS), segnalazione ''WAVE beacon'' contenente i parametri per l'autoconfigurazione, Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) per gestire il meccanismo di ACK e ordinare l'accesso dei messaggi in base alla priorità.

Parte III - Standard IEEE 802.11bd per DSRC
- Evoluzione dello standard 802.11p per ridurre le limitazioni applicative (disponibile dal 2021-2022).
- Struttura del livello PHY:
numero sottoportanti OFDM ed efficienza in base al multipath fading e Doppler spread, tecnica di codifica Low Density Parity Check (LDPC), antenne multiple per spatial diversity o spatial multiplexing.
- Diversità in frequenza (DCM).
- Stima del canale mediante preambolo e midamboli inseriti nel frame.
- Ritrasmissione del frame per migliorare l'affidabilità.
- Tecniche di positioning: integrazione dei dati GPS con quelli DSRC.
- Interoperabilità tra i sistemi 802.11p e 802.11bd.

Parte IV - Standard 3GPP Cellular-V2X (C-V2X)
- Evoluzione dello standard 3GPP C-V2X:
comunicazione diretta Device-to-Device (D2D) di prossimità basata sull'interfaccia radio 4G Long Term Evolution (LTE), Release 12-13 LTE D2D;
comunicazione uplink, downlink e diretta (sidelink) a breve raggio nella banda ITS, solo broadcast, Release 14-15 LTE V2X.
- Struttura del livello PHY:
Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) in downlink (DL);
risorsa base allocabile nel tempo 1 subframe di 1 ms pari a 14 simboli OFDMA e in frequenza 12 sottoportanti con SCS di 15 kHz pari a 180 kHz;
definizione di slot e radio frame;
simboli di sottoportante (dati QPSK, 16QAM, 64QAM e 256QAM codificati turbo, simboli di controllo, simboli di riferimento per la stima di canale);
Single Carrier (SC) FDMA in uplink (UL) con risorsa base allocabile uguale al DL.

- Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) per spatial diversity o spatial multiplexing.
- Multimedia Broadcast Multicast Services (MBMS), interfaccia 3GPP punto-multipunto per servizi in broadcast e multicast.
- C-V2X con interfaccia Uu:
interfaccia radio convenzionale tra eNodeB (stazione radio base LTE) e User Equipment (UE).
- Modalità di trasmissione Uu:
ogni UE trasmette il messaggio al eNodeB in UL che lo invia in DL al UE di destinazione;
il messaggio ricevuto puo' essere trasmesso da un eNodeB a maggiore distanza utilizzando l'unicast DL o eMBMS.
- C-V2X con interfaccia PC5:
interfaccia radio per comunicazione diretta (sidelink) tra gli UE senza passare dal eNodeB;
struttura del pacchetto sidelink (payload dati e
Sidelink Control Information per le informazioni necessarie alla decodifica).
- Modalità trasmissione sidelink:
l'allocazione delle risorse sidelink è gestita da un eNodeB nel caso sia disponibile (Mode 3);
gli UE per i quali non è disponibile la copertura radio di un eNodeB effettuano l'allocazione delle risorse sidelink autonomamente utilizzando un algoritmo di sensing del canale in modo tale che gli UE vicini prenotino risorse ortogonali nel tempo, nella frequenza o entrambi (Mode 4).
- Vantaggi e svantaggi delle interfacce LTE-Uu e LTE-PC5.

Parte V - Standard 5G NR V2X
- Introduzione allo standard 5G NR V2X: Release 16 e Release 17.
- Use cases definiti da 3GPP e 5GAA:
vehicles platooning; advanced driving; extended sensors; remote driving; safety; vehicle operation management; convenience; traffic efficiency.
- Requisiti dei use cases:
payload; Tx rate; max latenza end-to-end; affidabilità; data rate.
- Esempio di architettura del sistema (5GS):
Next-Generation Radio Access Network (NG-RAN) e core network 5G (5GC);
modi di comunicazione V2X mediante interfaccia Uu o PC5 (sidelink sia per NR che LTE).
- Livello PHY 5G NR V2X sidelink (SL) - Numerologia OFDM scalabile:
bande di frequenza ITS, frequency range 1 (FR1), frequency range 2 (FR2);
formato di modulazione OFDM con 1 frame di 10 ms suddiviso in 10 subframe di 1 ms;
la numerologia è definita dalla durata del prefisso ciclico (CP), numero di slot per subframe e SCS tra le sottoportanti (15 kHz, 30 kHz, 60 kHz, 120 kHz), ed è scelta in base allo scenario applicativo (frequenza portante, variabilità del canale, requisiti di latenza).
- Livello PHY 5G NR V2X SL - Bandwidth Parts (BWPs):
definite come porzioni di banda contigue di una data portante con singola numerologia utilizzate da UE che non possono gestire bande elevate per limitazioni sul consumo di potenza;
le BWP e SL BWP nella banda disponibile possono avere numerologie diverse ottenendo un uso più efficiente e flessibile delle risorse;
i segnali dati dei SL UE sono allocati nel SL BWP assieme ai segnali di riferimento e di sincronizzazione;
il SL BWP è suddiviso in common resource blocks (RBs), ognuno di 12 sottoportanti contigue con la stessa SCS data dalla numerologia del SL BWP.
- Livello PHY 5G NR V2X SL - Resource Pool (RP):
subset delle risorse SL disponibili, nel tempo (slots) e in frequenza (common RB in un SL BWP), utilizzate da alcuni UE per le loro trasmissioni SL;
struttura e proprietà di un RP.
- Canali fisici del livello PHY 5G NR V2X SL:
Physical Sidelink Shared Channel (PSSCH) trasporta i dati del SL UE;
Physical Sidelink Control Channel (PSCCH) contiene le informazioni di controllo;
Physical Sidelink Broadcast Channel (PSBCH) contiene le informazioni di sincronizzazione;
Physical Sidelink Feedback Channel (PSFCH) è usato per trasmettere il feedback HARQ dal ricevitore al trasmettitore SL UE.
- Segnali fisici del livello PHY 5G NR V2X SL:
Demodulation Reference Signal (DM-RS) è utilizzato per la demodulazione del PSCCH, PSSCH e PSBCH;
Channel State Information Reference Signal (CSI-RS) è usato come segnale di riferimento per il sounding/reporting del CSI tra un trasmettitore e un ricevitore UE;
Sidelink Primary/Secondary Synchronisation Signal (S-PSS/S-SSS) sono utilizzati per la

sincronizzazione SL;
Phase Tracking Reference Signal (PT-RS) è usato come segnale di riferimento per la compensazione del phase noise.
- Evoluzione del 5G NR V2X come integrazione del C-V2X.
- Coesistenza tra C-V2X e 5G NR V2X.

Parte VI - Sistema di posizionamento satellitare NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System)
- Introduzione ai sistemi di navigazione e specifiche del sistema GPS.
- Architettura del sistema GPS:
segmento Spazio, segmento Controllo, segmento Utente;
programma di aggiornamento.
- GPS differenziale (DGPS).

Parte VII - Segnale trasmesso dai satelliti GPS
- Allocazione delle frequenze di trasmissione: L1, L2, L2C, L5.
- Formato: Direct-Sequence Spread-Spectrum Code Division Multiple Access (DS-SS-CDMA) con modulazione BPSK.
- Codici di ranging: short code C/A, long code P(Y).
- Struttura del messaggio di navigazione NAV.
- Densità spettrale di potenza e livello di potenza del segnale ricevuto per L1 e L2.

Parte VIII - Algoritmi per la stima della posizione utente e del timing UTC
- Stima della distanza del ricevitore GPS dai satelliti in LOS mediante “one-way ranging”.
- Differente accuratezza dei clock atomici dei satelliti e del clock del ricevitore.
- Stima della posizione del ricevitore e del timing UTC.
- Struttura del ricevitore utente:
principali funzioni di elaborazione del segnale;
acquisizione coarse del codice e dell’offset Doppler;
tracking del codice e dell’offset Doppler.
- Sorgenti di errore e prestazioni di accuratezza.
- Applicazioni del sistema GPS.

Bibliografia e materiale didattico

- Materiale didattico fornito dal docente;
- E. D. Kaplan and C. J. Hegarty, “Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications”, Artech House, 2017;
- X. Cheng, R. Zhang and L. Yang, “5G-Enabled Vehicular Communications and Networking”, Springer, 2019.

Indicazioni per non frequentanti

Nessuna indicazione particolare.

Modalità d'esame

- L’esame comprende una prova orale.
- La prova orale consiste in un colloquio tra il candidato e il docente.
- Durante la prova orale il candidato dovrà rispondere ad alcune domande sull’architettura, scelte progettuali effettuate e analisi delle prestazioni dei sistemi illustrati durante il corso.
- Durante la prova orale al candidato potrà essere richiesto la soluzione di semplici esercizi relativi agli argomenti svolti.
- La durata media del colloquio è circa 30 minuti.
- Il numero dei professori della commissione è due.
- La prova orale fallirà in uno dei seguenti casi: 1) il candidato non mostra la capacità di esprimersi in modo chiaro utilizzando una terminologia corretta; 2) il candidato non risponde in modo sufficiente alle domande che riguardano i concetti di base dei sistemi illustrati nel corso; 3) il candidato non mostra la capacità di collegare parti del programma tra loro per rispondere ad una domanda in modo esatto.

Stage e tirocini

Nessuna indicazione particolare.

Altri riferimenti web

- E-learning/Moodle: https://elearn.ing.unipi.it/enrol/index.php?id=2623
- Teams: https://teams.microsoft.com/l/channel/19%3agam5ZeeFel6uxUu3BHZVsgHTRQEO4HTcswQl_MFowmU1%40thread.tacv2/General?groupId=7333fc34-aee8-445b-9ada-16bf8e12dfca&tenantId=c7456b31-a220-47f5-be52-473828670aa1

UNIVERSITÀ DI PISA

- Portale Valutami: https://esami.unipi.it

Ultimo aggiornamento 11/09/2022 16:57