

Sistemes de comunicacions I

Margarita Cabrera
Francesc Rey Micolau
Francesc Tarrés Ruiz

Revisió a càrrec de
Francesc Rey Micolau
Francesc Tarrés Ruiz

PID_00184976

Material docent de la UOC


Margarita Cabrera

Enginyera de Telecomunicacions per l'Escola Tècnica Superior de Telecomunicacions de Barcelona (ETSETB) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) el 1986. Doctora en Telecomunicacions per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) el 1991. És professora titular d'universitat del Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions (TSC) de la UPC. Des del 1990 imparteix docència en els estudis de Telecomunicacions de l'ETSETB en les temàtiques de comunicacions analògiques i digitals, processament de senyal i matemàtiques orientades a les comunicacions. Té una llarga experiència en participació en projectes d'innovació docent basats en l'ús de noves tecnologies. Actualment és responsable del projecte COMWEB (Comunicacions al web), patrocinat per AGAUR i per la UPC i que es desenvolupa en el Departament de TSC de la UPC. Web del grup, que inclou la pàgina personal: <http://gps-tsc.upc.es/comm2>


Francesc Rey Micolau

Enginyer de Telecomunicacions per l'Escola Tècnica Superior de Telecomunicacions de Barcelona (ETSETB) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) el 1997 i doctor en Telecomunicacions per la UPC el 2006. Actualment és professor agregat en el Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions (TSC) de la UPC. Des del 2009 ha impartit docència en els estudis de Telecomunicacions a l'Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú (EPSVG), a l'Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels (EETAC) i a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicacions de Barcelona (ETSETB). La seva experiència docent està centrada en les temàtiques de processament del senyal, comunicacions digitals i comunicacions espacials. Els seus interessos en recerca s'emmarquen també en l'àrea de processament del senyal aplicat a comunicacions. Té una llarga experiència en projectes de recerca nacionals i internacionals, i també contractes amb empreses nacional i amb l'Agència Espacial Europea. Pàgina personal: <http://gps-tsc.upc.es/comm/frey/>


Francesc Tarrés Ruiz

Professor a la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), on actualment és responsable de les assignatures de Processament digital de senyal i de Sistemes audiovisuals a l'Escola Politècnica Superior de Castelldefels (EPSC). Ha col·laborat en el disseny de plans d'estudi i de continguts d'assignatures en diverses titulacions i escoles del sector de les telecomunicacions, com Enginyeria la Salle, l'Escola Politècnica del Baix Llobregat i l'EUEITT, centrant-se en les temàtiques de processament d'imatge i sistemes de difusió de continguts audiovisuals. També ha organitzat i participat en cursos de postgrau i màsters per a diferents empreses com SONY, Televisió de Catalunya, Panasonic, Mitsubishi Electric, Fundación Vodafone, Centro de la Imagen y Tecnología Multimedia, etc. Ha publicat llibres de text en les àrees de processament digital de senyal, sistemes de televisió analògica i digital i sistemes multimèdia. Pàgina personal a: http://gps-tsc.upc.es/GTAV/Tarres/Members_Tarres.htm

L'encàrrec i la creació d'aquest material docent han estat coordinats per la professora: Eugènia Santamaría Pérez (2012)

Primera edició: setembre 2012

© Margarita Cabrera, Francesc Rey Micolau, Francesc Tarrés Ruiz

Tots els drets reservats

© d'aquesta edició, FUOC, 2012

Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona

Disseny: Manel Andreu

Realització editorial: Eureka Media, SL

Dipòsit legal: B-19.363-2012



Els textos i imatges publicats en aquesta obra estan subjectes –llevat que s'indiqui el contrari– a una llicència de Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada (BY-NC-ND) v.3.0 Espanya de Creative Commons. Podeu copiar-los, distribuir-los i transmetre'ls públicament sempre que en citeu l'autor i la font (FUOC. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya), no en feu un ús comercial i no en feu obra derivada. La llicència completa es pot consultar a <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.ca>

Introducció

En el mòdul “Introducció als sistemes de comunicacions”, hem pretès proporcionar una visió molt genèrica dels sistemes de comunicacions, identificant els diferents components que formen el sistema, les característiques que tenen i les funcions que han de dur a terme els diferents mòduls de processament de senyal al transmissor i el receptor. Les característiques dels sistemes i les funcions s’han presentat en la majoria dels casos sense justificar i molts detalls han quedat “ocults” per a afavorir una visió global del sistema. En la resta de mòduls de l’assignatura, ens centrarem en els principis matemàtics de la modulació i veurem amb detall les diferents alternatives existents en funció de les característiques de les aplicacions. Els temes que es cobreixen en la resta de mòduls es poden considerar fonamentals en els sistemes de comunicació digital. Algunes de les qüestions més específiques o aplicades es deixen de banda perquè es tractaran amb més detall en assignatures avançades.

En els mòduls de comunicacions analògiques s’estudien aquest tipus de modulacions sota dues perspectives: una perspectiva històrica, en què es comenten les modulacions AM i FM; i una perspectiva més matemàtica, en què es generalitza el concepte de *senyal passabanda*. Com a cas general d’aquestes modulacions es presenten les modulacions I&Q (en fase i en quadratura), mitjançant les quals es poden modular dos senyals passabaix diferenciats traslladant-los a la freqüència portadora. S’analitzen amb detall dos sistemes de modulació amb font o missatge de naturalesa analògica (modulacions AM i FM). Es presenta el missatge que s’ha de transmetre com un procés aleatori i es caracteritza mitjançant la funció de densitat espectral. S’analitza la degradació que provoca el soroll additiu de canal i es mesura mitjançant el quocient SNR de potències en detecció entre el senyal útil i el senyal de soroll. La recepció heterodina es presenta com una tècnica de sintonització de freqüències per al disseny de receptors de radiodifusió.

En el mòdul “Introducció als sistemes de comunicacions digitals” hem volgut completar la introducció feta en el primer mòdul d’aquest curs, incloent-hi les especificitats dels sistemes de transmissió digital, i emfatitzant la funcionalitat de dos blocs que no es detallen en el curs: el codificador de font i el codificador de canal.

En el mòdul “Modulacions digitals en banda base”, s’estudien les modulacions digitals en banda base, particularitzant la major part dels desenvolupaments en les modulacions de polsos per amplitud (PAM). En els primers apartats del mòdul es prioritza la definició dels principals paràmetres, que resulten fonamentals en el disseny d’una modulació M-PAM, i es presenta el modulador digital format bàsicament pel codificador de símbols i pel conformador de polsos. S’estudien polsos de tipus rectangular i polsos limitats en banda. Es defi-

neix formalment el concepte d'*interferència intersimbòlica*. Es proporcionen les eines matemàtiques bàsiques per a l'anàlisi de la probabilitat d'error. Com a tècnica senzilla per a disminuir el nivell d'ISI en la detecció, s'estudien tècniques bàsiques d'equalització transversal lineal.

En el mòdul "Modulacions digitals passabanda", s'estudien les modulacions digitals passabanda i es classifiquen en modulacions lineals de tipus QAM (en fase i en quadratura) i en modulacions digitals de freqüència. Es fa l'anàlisi de la probabilitat d'error de les modulacions de tipus QAM en canals gaussians, i es proporcionen les expressions per a modulacions PSK. S'obtenen expressions que depenen de l'energia mitjana transmesa per bit, de manera anàloga als desenvolupaments fets amb modulacions PAM. Es porta a terme una presentació principalment descriptiva de les modulacions CPM, ja que resulten un tipus de modulacions angulars relativament complexes d'implementar i de desmodular. S'emfatitzen els objectius d'utilitzar modulacions de tipus CPM, enfocats a obtenir una funció de densitat espectral d'amplada de banda relativament reduïda.

En el mòdul "Multiplexació i sistemes d'accés múltiple", es tracten les diferents tècniques per a la multiplexació d'usuaris. Es presenten de manera breu els principis generals i es proporcionen alguns exemples que pretenen il·lustrar la naturalesa i l'essència d'aquests mecanismes per a compartir els recursos.

Objectius

L'objectiu general de l'assignatura consisteix a proporcionar una introducció general als sistemes de comunicacions, emfatitzant en les tècniques de transmissió analògica i en les tècniques de transmissió digital. Aquest objectiu es desglossa en els següents:

- 1.** Conèixer els elements bàsics que constitueixen un sistema de comunicacions, incloent-hi els blocs i les funcionalitats del transmissor, el canal de comunicacions i el receptor. Ser capaç de diferenciar entre les diferents funcions que es realitzen en cada un dels blocs tant des del punt de vista de codificació de la informació com des del punt de vista de les modulacions i desmodulacions del senyal. Identificar també les causes que puguin introduir distorsió en els senyals rebuts.
- 2.** Conèixer l'anàlisi de les modulacions analògiques de manera genèrica que es denominen *modulacions de fase i quadratura*, així com la seva caracterització com a processos aleatoris. Conèixer la mesura de la qualitat d'aquestes modulacions mitjançant el paràmetre de relació senyal a soroll (SNR, *signal to noise rate*).
- 3.** Caracteritzar les modulacions digitals en banda base a partir de la seva amplada de banda i de les seves prestacions. Analitzar la mesura de la qualitat d'aquestes modulacions mitjançant el paràmetre de probabilitat d'error de bit (BER, *bit error rate*).
- 4.** Caracteritzar les modulacions digitals passabanda i classificar-les en modulacions lineals i modulacions freqüencials.
- 5.** Conèixer les diferents alternatives existents perquè diversos usuaris puguin compartir els mateixos mitjans i recursos físics realitzant comunicacions simultànies. Identificar les diferències i les particularitats entre les diferents estratègies de multiplexació de canals.

Continguts

Mòdul didàctic 1

Introducció als sistemes de comunicacions

Margarita Cabrera i Francesc Tarrés Ruiz

1. Introducció als sistemes de comunicacions
2. Transmissor, canal i receptor
3. Canal de comunicacions
4. Modulador (en el transmissor)
5. Desmodulador (en el receptor)

Mòdul didàctic 2

Comunicacions analògiques: modulacions AM i FM

Francesc Rey Micolau i Francesc Tarrés Ruiz

1. Les comunicacions telegràfiques
2. Amplitud modulada
3. Altres esquemes de modulació d'amplitud
4. La modulació en freqüència

Mòdul didàctic 3

Comunicacions analògiques: senyals passabanda

Margarita Cabrera i Francesc Tarrés Ruiz

1. Modulacions analògiques passabanda
2. Qualitat del sistema de comunicacions: la relació senyal a soroll (SNR)

Mòdul didàctic 4

Introducció als sistemes de comunicacions digitals

Francesc Rey Micolau i Francesc Tarrés Ruiz

1. Introducció als sistemes de comunicacions digitals
2. Transmissor digital
3. Receptor digital

Mòdul didàctic 5

Comunicacions digitals en banda base

Margarita Cabrera i Francesc Tarrés Ruiz

1. La modulació digital en banda base. Aspectes essencials
2. Aplicacions de les modulacions digitals en banda base
3. Modulacions d'impulsos d'amplitud (PAM)
4. Probabilitat d'error
5. Ocupació espectral de les modulacions de impulsos
6. Interferència intersimbòlica

Mòdul didàctic 6

Comunicacions digitals passabanda

Margarita Cabrera i Francesc Tarrés Ruiz

1. Modulacions lineals QAM
2. Modulacions digitals de freqüència

Mòdul didàctic 7

Multiplexació i sistemes d'accés múltiple

Francesc Rey Micolau i Francesc Tarrés Ruiz

1. Conceptes bàsics
2. Divisió en temps (TDM/A)
3. Divisió en freqüència (FDM/A)
4. Divisió en codi (CDM/A)
5. Divisió en espai (SDM/A)
6. Divisió en polarització (PDM/A)
7. Divisió en freqüències ortogonals (OFDM/A)
8. Mecanismes d'accés al medi per contesa: ALOHA (i variants)
9. Mecanismes d'accés al medi per contesa: CSMA (i variants)

Abreviatures

ADPCM *adaptive pulse code modulation*

AM *amplitude modulation*

AMI *alternate mark inversion*

APK *amplitude and phase keying*

APSK *amplitude and phase shift keying*

AWGN *additive white gaussian noise*

BCCH *broadcast control channel*

BPSK *binary PSK*

CC *convolucional code*

CCCH *common control channel*

CDMA *code division multiple access*

COFDM *coded OFDM*

CPCH *common physical channel*

CP *cyclic prefix*

CPFSK *continuous phase frequency shift keying*

CPM *continuous phase modulation*

CRC *cyclic redundancy checksum*

DAB *digital audio broadcasting*

DCCH *dedicated control channel*

DECT *digital enhanced cordless telecommunications*

DeIL *deinterleaving*

DL *down link*

DPCCH *dedicated physical control channel*

DPCH *dedicated physical channel*

DPDCH *dedicated physical data channel*

DPSK *differential PSK*

DRM *digital radio mondiale*

DS-CDMA *direct sequence CDMA*

DTX *discontinuous transmission*

DVB *digital video broadcasting*

DSB *double side band*

ETSI *European Telecommunications Institute*

FDD *full duplex division*

fdp *funció de densitat de probabilitat*

FEC *forward error correction*

FIR *finite impulse response*

FM *frequency modulation*

FSK *frequency shift keying*

GMSK *gaussian MSK*

GSM *global system of mobile communications*

HDB3 *high Density Bipolar of order 3 code*

ICI *inter carrier interference*

IEEE *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

IIR *infinite impulse response*

IL *interLeaving*

ISDN *integrated Services digital network*

ISI *inter symbol interference*

I&Q *en fase i en quadratura*

LTP *long term prediction*

MAI *multiple access interference*

MSK *minimum shift keying*

NRZ *non return to zero*

NRZI *NRZ inverted*

N-CDMA *narrow CDMA*

OFDM *orthogonal frequency division multiplex*

OFDMA OFDM access

OVSF orthogonal variable spreading factor

PAM pulse amplitude modulation

PPM pulse position modulation

PSK phase Shift Keying

QAM quadrature amplitude modulation

QoS quality of service

QPSK quadrature and phase shift keying

RF radiofreqüència

RPE regular pulse excited

RRC root raised cosinus

RS-232 recommended standard 232

RZ return to zero

SC single carrier

SF spreading factor

SER symbol error rate

SFN single frequency network

SNR signal to noise rate

SOFDMA scalable OFDMA

TCH traffic chanel

TCH/FS TCH full rate speech

TDD time duplex division

TDMA time division multiple access

TTI transmisión time interval

UMTS universal mobile telecommunication system

USB universal serial bus

UTRA UMTS terrestrial radio access

VAD voice activity detector

VCO *voltage control oscillator*

WIMAX *worldwide interoperability for microwave access*

WLAN *wireless local area network*

W-CDMA *wideband CDMA*

ZF *zero forcing*

Bibliografia

Bibliografia bàsica

Carlson, A. B.; Crilly, P. B.; Rutledge, J. C. (2007). *Sistemas de comunicació*. McGraw-Hill.

Proakis, J. G.; Salehi, M. (2002). *Communication systems engineering* (2a. ed.). Prentice Hall.

Bibliografia complementària

Proakis, J. (2003). *Digital communications* (4a. ed.). McGraw-Hill.

Sklar, B. (2001). *Digital communications: Fundamentals and applications* (2a. ed.). Prentice Hall.

Benedetto, S.; Biglieri, E. (1999). *Principles of digital transmission*. Kluwer Academic Press / Plenum Publishers.