

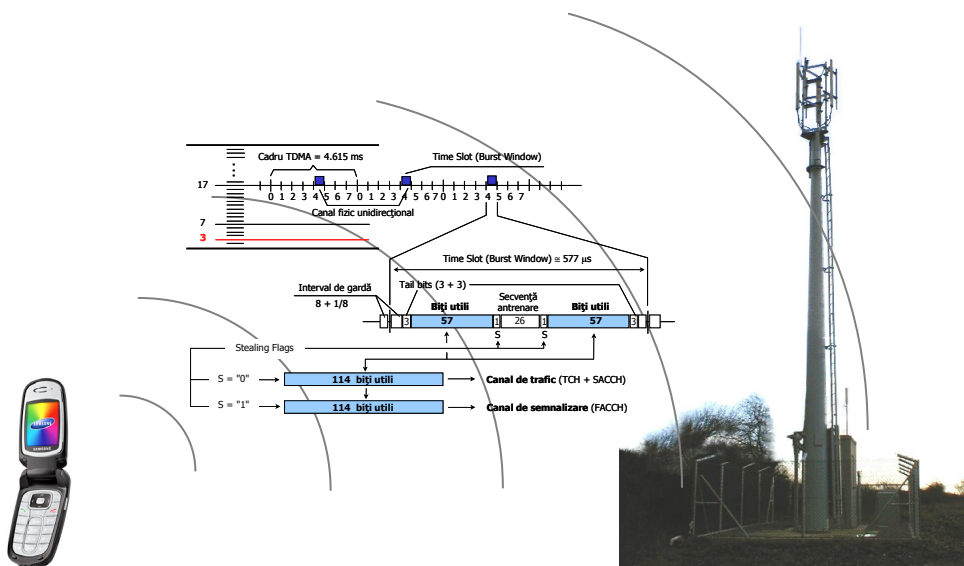
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" TIMIȘOARA
FACULTATEA DE AUTOMATICĂ ȘI CALCULATOARE
DEPARTAMENTUL DE CALCULATOARE

Mihai V. MICEA

Telecomunicații Digitale Moderne

Suport de curs

Ediția a III-a



2008

**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" TIMIȘOARA
FACULTATEA DE AUTOMATICĂ ȘI CALCULATOARE
DEPARTAMENTUL DE CALCULATOARE**

Mihai V. MICEA

Telecomunicații Digitale Moderne

Suport de curs

Ediția a III-a

Material realizat în cadrul



în colaborare cu



Alcatel·Lucent

2008

Prefață

Comunicațiile reprezintă unul din factorii esențiali care au determinat evoluția societății umane, de la stadiul de triburi de mici dimensiuni, ce vânau cu unelte din lemn, os și piatră, la stadiul de metropole cu zeci de milioane de oameni care utilizează laser și microunde în aparatele casnice din viața de zi cu zi, fără a conștientiza măcar, în cele mai multe cazuri, cantitatea și nivelul tehnologiilor încorporate în aceste aparate.

Un sistem de comunicații se compune în principiu dintr-una sau mai multe (de regulă una) surse de informație (emițător), un mediu de reprezentare a informației, un mediu de difuzare la distanță scurtă (de regulă undele acustice, sau mediul vizual, distanța de difuzare fiind mai mică decât limita de percepție auditivă sau vizuală a omului), un mediu de prezentare a informației și unul sau mai mulți receptori ai informației. La rândul său, informația comunicată se bazează pe utilizarea unui limbaj specific, adică a unui alfabet (un set de simboluri distincte cu semantică asociată) și a unei sintaxe ce stabilește regulile de combinare a simbolurilor în structuri complexe.

Telecomunicațiile reprezintă comunicații la distanță (în principiu, la o distanță mai mare decât limita de percepție umană directă). Prin urmare, un sistem de telecomunicații este compus dintr-un sistem de comunicații și un mediu de transmisie la distanță a informației.

Semnalizările utilizând fumul sau diverse instrumente acustice (tobe, fluier, etc.) au fost probabil primele exemple de telecomunicații, evident simpliste. De asemenea, telecomunicațiile pe bază de mesageri umani au o istorie îndelungată. Apariția alfabetelor, a limbilor fonetice și apoi a scrisului a avut ca efect dezvoltarea primelor sisteme de telecomunicații. Primele relatări scrise ale utilizării porumbeilor călători pentru transmiterea de mesaje datează din anii 776 î.H., când locuitorii Atenei antice au fost anunțați despre câștigătorul Jocurilor Olimpice.

Serviciul poștal a fost primul sistem complex de telecomunicații, fiind atestat documentar în China anilor 900 î.H. pentru uz guvernamental. Romanii au perfecționat sistemul (în perioada împăratului Gaius Julius Caesar Octavianus Augustus, 63 î.H. – 14 D.H.), punând bazele serviciilor poștale moderne, prin construirea pe întreg teritoriul imperiului a unei rețele de drumuri pavate, dotate cu stații pentru schimbarea cailor și a trăsurilor și cu funcționari specializați în transmiterea mesajelor și coletelor poștale. Sistemul poștal roman purta denumirea de "cursus publicus". Pentru un astfel de sistem, sursa de informație (emițătorul)

era, de exemplu, împăratul Marcus Ulpius Nerva Traianus, în Roma. Mediul de reprezentare a informației comunicate (de exemplu, un ordin administrativ), era un sul papirus cu înscrisele și sigiliul oficial. Mediul de transmisie la distanță era sistemul poștal, capabil să acopere o distanță medie de peste 300 km în 24 de ore, prin utilizarea stațiilor de schimb de pe traseu. Pentru mesaje urgente, emise de oficiali de rang înalt, sistemul putea să asigure o distanță de acoperire de până la 700 – 800 km în 24 de ore. Ajuns la destinație, ordinul administrativ al Împăratului putea fi citit de către un oficial roman (mediul de prezentare – vocea oficialului) astfel încât să fie auzit de către destinatar, de exemplu consulul roman ("legatus Augusti pro praetore") al provinciei Dacia Augusti Provincia, în capitala Ulpia Traiana Sarmizegetusa. Astfel, mediul de difuzare este reprezentat de unele acustice.

În Franța anului 1791 doi adolescenți, frații Chappe, studiau la școli aflate la o distanță relativ mare, dar totuși în raza vizuală reciprocă. Ei au primit permisiunea de a crea un sistem de semnalizare vizuală pentru a-și putea transmite mesaje. Sistemul semafor consta din poziționarea unor brațe mobile pe un stâlp pentru a simboliza câte o literă. În 1793, ei stabilesc primul sistem semafor comercial, între două localități din apropierea Parisului. Napoleon a considerat sistemul ca o idee revoluționară și în scurt timp majoritatea orașelor mari din Franța au fost conectate la acest sistem. Capabilitățile sale: 15 caractere pe minut, iar prin introducerea ulterioară a dicționarelor de coduri, se puteau transmite propoziții întregi reprezentate prin câteva caractere. Sistemul s-a răspândit rapid în Italia, Germania și Rusia. Pe de altă parte, în Anglia semafoarele nu au avut succes mai ales din cauza condițiilor atmosferice dificile: ceață frecventă și smogul Revoluției Industriale. Se impunea găsirea unui alt mediu de transmisie. În anul 1835, Samuel F. B. Morse, despre care se spune că a văzut sistemul semafor operațional din Europa, inventează telegraful electric și codul Morse, prima demonstrație reușită având loc în Statele Unite, în 1838, pentru o conexiune de 5 km lungime. Succesul telegrafului este fulminant: până în anul 1851, doar în Statele Unite lungimea totală a liniilor de telegraf depășea 32000 km.

Sistemul convențional de telefonie a fost patentat în 1876 în Statele Unite de către Alexander Graham Bell. Primele cuvinte transmise prin telefon au fost adresate de către domnia sa, asistentului: "Domnule Watson, vino imediat, am nevoie de dumneata." În același an, Alexander Graham Bell împreună cu susținătorul său financiar (Gardiner G. Hubbard) au oferit patentul proaspăt obținut spre utilizare companiei "Telegraph Company" (predecesoarea lui "Western Union"), în schimbul sumei de 100000 dolari. Președintele de atunci al companiei a desemnat o comisie de specialiști pentru a investiga oferta lui Bell. Raportul comisiei a fost deseori citat de atunci. Câteva fraze extrase din acest raport: "Domnii Hubbard și Bell doresc să instaleze câte unul din 'dispozitivele lor telefonice' în fiecare oraș. Aceasta idee este idioată. Mai mult; de ce ar dori o

persoană să utilizeze acest dispozitiv nepractic și ineficient când poate foarte bine să trimită un mesager la oficiul de telegraf și să transmită un mesaj scris în clar spre oricare mare oraș din Statele Unite ? [...] Electricienii companiei noastre au realizat toate îmbunătățirile semnificative în domeniul telegrafiei până în prezent și nu vedem nici un motiv pentru care un grup de indivizi din afară, cu idei extravagante și nepractice, să se distreze și să li se facă pe plac, atunci când ei nu au nici cea mai vagă idee despre adevăratele probleme implicate. [...]". Ironia și mai mare este că până în anul 1882, Bell deținea deja pachetul majoritar de acțiuni la compania Western Union.

Ca rezultat al gândirii vizionare a unor specialiști în sisteme și rețele locale de calcul, care au prevăzut potențialul imens ce ar putea rezulta din partajarea și utilizarea în comun a informației de cercetare și dezvoltare în domeniile științifice și militare, în anii 1960 a luat naștere fenomenul denumit Internet. J. C. R. Licklider de la MIT (Massachusetts Institute of Technology) a propus în 1962 o rețea globală de calculatoare și s-a mutat la agenția DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) pentru a conduce dezvoltarea unei astfel de rețele. Leonard Kleinrock, tot de la MIT și apoi UCLA (University of California at Los Angeles), a dezvoltat teoria comutației pe pachete, care va sta la baza conexiunilor Internet. Lawrence Roberts, tot de la MIT, a reușit în 1965 să conecteze un calculator din campusul MIT cu unul din California, utilizând linii telefonice convenționale ("dial-up line"). Prin aceasta, a demonstrat pe de o parte, fezabilitatea rețelelor de arie largă, și pe de altă parte, faptul că tehnicile de comutație de circuit (aplicate de serviciile telefonice) sunt inadecvate pentru o rețea de calculatoare de anvergura Internet-ului, confirmând astfel teoria comutației pe pachete. În 1966 Roberts s-a mutat, la rândul său, la agenția DARPA unde a început dezvoltarea proiectului ARPANET, precursorul Internet-ului. ARPANET, lansat în 1969, a conectat inițial calculatoarele a patru universități din sud-vestul Statelor Unite: UCLA, Stanford Research Institute, UCSB (University of California at Santa Barbara) și University of Utah. Internet-ul a fost proiectat și pentru a furniza o soluție de comunicații care să poată fi utilizată chiar și în cazul în care unele noduri din rețea ar fi distruse de un atac nuclear: în condițiile în care conexiunea directă dintre două sisteme ar fi distrusă, echipamentele de rutare ar direcționa traficul prin rețea pe rute alternative. Conform unor statistici recente (Internet World Stats [<http://www.internetworldstats.com>] și E-consultancy [<http://www.e-consultancy.com/publications/internet-stats-compendium>]), în 2007 existau peste 1.173.109.925 utilizatori Internet pe glob (peste 210.575.287 utilizatori în SUA, 162.000.000 utilizatori în China – cu o treime mai mulți față de anul precedent, 87.540.000 în Japonia, 50.426.117 în Germania, 42.000.000 în India, 38.512.837 în Marea Britanie). Internetul este al doilea mediu de informații ca utilizare în prezent, după televiziune, utilizatorii petrecându-și pe Internet un sfert din timpul lor săptămânal alocat urmării diverselor medii de informații.

Când acronimul GSM a fost utilizat pentru prima dată în 1982, însemna "Groupe Speciale Mobile", adică un comitet sub umbrela CEPT (Conference Europeenne des Postes et Telecommunications) – o organizație europeană pentru standardizare. Sarcina GSM era să definească un nou standard pentru comunicații mobile în banda radio de 900 MHz, utilizând tehnici digitale pentru întreg sistemul. Între timp CEPT a evoluat într-o organizație nouă, ETSI (European Telecommunications Standard Institute). În 1991, primele sisteme GSM se găseau deja în proceduri avansate de testare, iar acronimul GSM a primit o nouă semnificație: "Global System for Mobile communications". Statisticile recente (GSM World [<http://www.gsmworld.com/news/statistics/index.shtml>] și Wireless Intelligence [<http://www.wirelessintelligence.com>]) indică pentru ultimul trimestru al lui 2007, un total de 2.685.060.046 utilizatori GSM din peste 207 țări de pe glob. Printre factorii hotărâtori ce au contribuit la imensul succes al sistemului GSM se află liberalizarea monopolului telecomunicațiilor în Europa anilor '90, lipsa unei competiții cu alte sisteme similare (în Statele Unite și Japonia standarde similare erau abia în curs de specificare-dezvoltare, pe când GSM era deja operațional). Cel mai important factor de succes a fost însă abordarea de un înalt nivel științific și profesional a membrilor din Groupe Special Mobile și a colaborării strânse cu industria din domeniu. Ca urmare, standardul GSM a adus sau a implementat la lansarea sa un mare număr de inovații tehnologice de primă mărime în domeniu, printre care enumerăm:

- Tehnologie digitală: sistemul GSM este conceput în întregime ca un sistem digital (pornind de la echipamentul mobil al utilizatorului și terminând cu centrul de comutație de interfață cu rețelele din exterior);
- Conceptul de "mobilitate a identității abonatului" ("SIM roaming"): identitatea, rețeaua și serviciile la care are acces un anumit abonat GSM sunt gestionate de o cartelă ("SIM card") ce se poate insera în orice echipament mobil GSM;
- Protecție la erori: comunicațiile pe interfața radio sunt protejate prin tehnicile de codare de canal, ce utilizează coduri convoluționale (CRC) pentru detecția și corecția erorilor;
- Securitate: tranzacțiile peste interfața radio în GSM beneficiază de mecanisme multiple de securitate (autentificarea accesului la rețea, cifrarea traficului, asignarea de identități temporare abonaților, disocierea abonaților față de echipamente, etc.);
- Procesarea vorbirii ("Speech Processing/Coding"): GSM utilizează o serie de algoritmi foarte avansați de prelucrare digitală a vorbirii, ajungând la debite foarte reduse necesare transmiției vocii, mai ales pe interfața radio (4.75 Kbps pentru codificare cu tehnici AMR – Adaptive Multi-Rate);

- Procedura de trecere într-o celulă nouă ("Handover"): utilizatorul este transferat într-o nouă celulă (mobilul va comunica direct cu o altă antenă radio din rețea), în timpul unui apel, atunci când se constată insuficiența calității conexiunii curente. Întreaga procedură se desfășoară în timp real și, în marea majoritate a cazurilor, fără ca utilizatorul să observe această modificare;
- Tehnicile de salt în frecvență ("Frequency Hopping"): comunicația unui utilizator se poate desfășura în mod consecutiv pe mai multe frecvențe a unei celule (există definiți un număr de 64 algoritmi de salt), având ca rezultat o îmbunătățire a calității medii a comunicațiilor în celulă;
- Transmisia discontinuă ("DTx"): algoritmi specializați de prelucrare numerică a vocii sunt utilizați pentru detectarea intervalelor de liniște din timpul unei convorbiri telefonice. Pe durata acestor intervale se transmit pe interfața radio o serie de cadre speciale mult mai scurte, reducându-se astfel interferențele radio și consumul de energie electrică la nivelul telefonului;
- Controlul/adaptarea dinamică a puterii de transmisie radio ("Power Control"): atât echipamentul mobil cât și antena radio a rețelei monitorizează permanent nivelul semnalului radio recepționat, putând să-și ajusteze dinamic puterea de transmisie radio în funcție de distanța relativă curentă.

În cadrul general prezentat, lucrarea de față își propune a servi ca suport tipărit pentru cursul de telecomunicații digitale ("Telecomunicații Digitale Moderne"), adresându-se astfel în special studenților anului IV Calculatoare și Tehnologia Informației din cadrul Facultății de Automatică și Calculatoare, Universitatea "POLITEHNICA" din Timișoara.

Lucrarea este structurată în trei secțiuni. Secțiunea introductivă cuprinde un capitol de considerații generale privind telecomunicațiile analogice și digitale, descrierea modelului canalului de telecomunicații, o prezentare a canalelor analogice și a canalelor digitale de telecomunicații din perspectivele transmisiei vocii umane, a tehnicilor de modulare, multiplexare și comutare a căilor de comunicație. În continuare sunt prezentate principiile de operare a echipamentelor MODEM și FAX. Modelul OSI de interconectare a sistemelor digitale deschise este descris la finalul secțiunii introductive, împreună cu primul nivel OSI – nivelul fizic de comunicații.

Secțiunea a doua tratează telecomunicațiile digitale mobile. Sunt introduse cele mai importante concepte generale de telefonie mobilă, tehnici de acoperire celulară, reutilizarea frecvențelor, precum și o serie de proceduri esențiale, utilizate pentru creșterea eficienței spectrale a sistemelor de telecomunicații mobile. În continuare, standardul GSM este prezentat în detaliu, evidențiindu-se aspectele

specifice, esențiale, ce includ: arhitectura generală a sistemului GSM, interfața radio, tranzațiile telefonice și serviciile oferite. O prezentare generală a sistemului GPRS este realizată la finalul secțiunii.

Secțiunea a treia este dedicată telecomunicațiilor digitale cu comutație fixă. Arhitectura generală și serviciile oferite de către sistemul public de telefonie fixă (PSTN) sunt discutate în primul capitol al secțiunii. În continuare este prezentată în detaliu centrala digitală de comutație Alcatel 1000 E 10, iar nucleul său, sistemul OCB283, este descris la nivelul fiecărui bloc funcțional (mașină logică). Principiul de operare al centralelor digitale de comutație este exemplificat din perspectiva procedurilor, a funcțiilor și tranzațiilor executate de centrala Alcatel 1000 E 10 în cazul tratării apelurilor. Capitolul următor descrie arhitectura generală și serviciile oferite de către sistemul ISDN. Secțiunea se încheie cu prezentarea structurii funcționale a rețelelor inteligente (IN), precum și cu exemplificarea câtorva aplicații și servicii IN.

Materialul conține slide-urile ce sunt prezentate în cadrul cursului prin video-proiecție. Pe fiecare pagină a suportului de curs, sub imaginea slide-ului, este prevăzut un spațiu pentru notițele care pot fi efectuate în timpul expunerii. Prin aceasta, se are în vedere îmbunătățirea procesului de predare a materialului de curs și ușurarea asimilării acestuia de către studenți. Astfel, studenții vor putea participa mai eficient și într-un mod interactiv la orele de curs, eliminându-se operațiile de simplă copiere a informației în caietele de notițe.

În final, doresc să mulțumesc doamnei ing. Delia GOLCEA, domnilor ing. Adrian MARINA și ing. Mihai MUȚIU, din cadrul companiei Alcatel-Lucent Romania, precum și colegilor mei din cadrul Departamentului de Calculatoare al Universității "POLITEHNICA" din Timișoara, pentru întregul sprijin acordat la realizarea materialului de față.

Timișoara,
Aprilie 2008

Mihai V. MICEA

Cuprins

SECȚIUNEA I. INTRODUCERE	1
1 Considerații generale	2
2 Modelul canalului de telecomunicații	3
3 Canale analogice de telecomunicații	4
4 Canale digitale de telecomunicații	7
5 Modelul OSI	18
6 Mediul fizic de comunicații	20
SECȚIUNEA II. TELECOMUNICAȚII DIGITALE MOBILE	23
7 Introducere	24
7.1 Concepte generale de telefonie mobilă	24
7.2 Acoperirea cu celule a teritoriului	25
7.3 Reutilizarea frecvențelor	26
7.4 Tehnici specifice de creștere a eficienței spectrale.....	27
7.5 Istoric al telefoniei mobile.....	28
7.6 Standarde de telefonie mobilă	29
8 Standardul GSM	30
8.1 Istoric.....	30
8.2 Arhitectura generală	31
8.3 Interfața radio	40
8.4 Tranzacțiile telefonice	58
8.5 Servicii	68
9 Standardul GPRS	70
9.1 Introducere	70
9.2 Arhitectura generală	77
SECȚIUNEA III. TELECOMUNICAȚII DIGITALE FIXE	81
10 Sistemul PSTN	82
10.1 Arhitectura generală.....	82
10.2 Servicii oferite.....	86

11 Centrala Alcatel 1000 E 10	88
11.1 Descriere sistem.....	88
11.2 Tratarea apelurilor.....	113
12 Sistemul ISDN	125
12.1 Arhitectura generală.....	125
12.2 Servicii oferite.....	128
13 Rețele inteligente (IN)	130
13.1 Introducere.....	130
13.2 Structura funcțională IN.....	131
13.3 Aplicații și servicii IN.....	132
Bibliografie selectivă	137



**Lucrare executată sub comanda nr.
la Centrul de Multiplicare al
Universității POLITEHNICA Timișoara
2008**