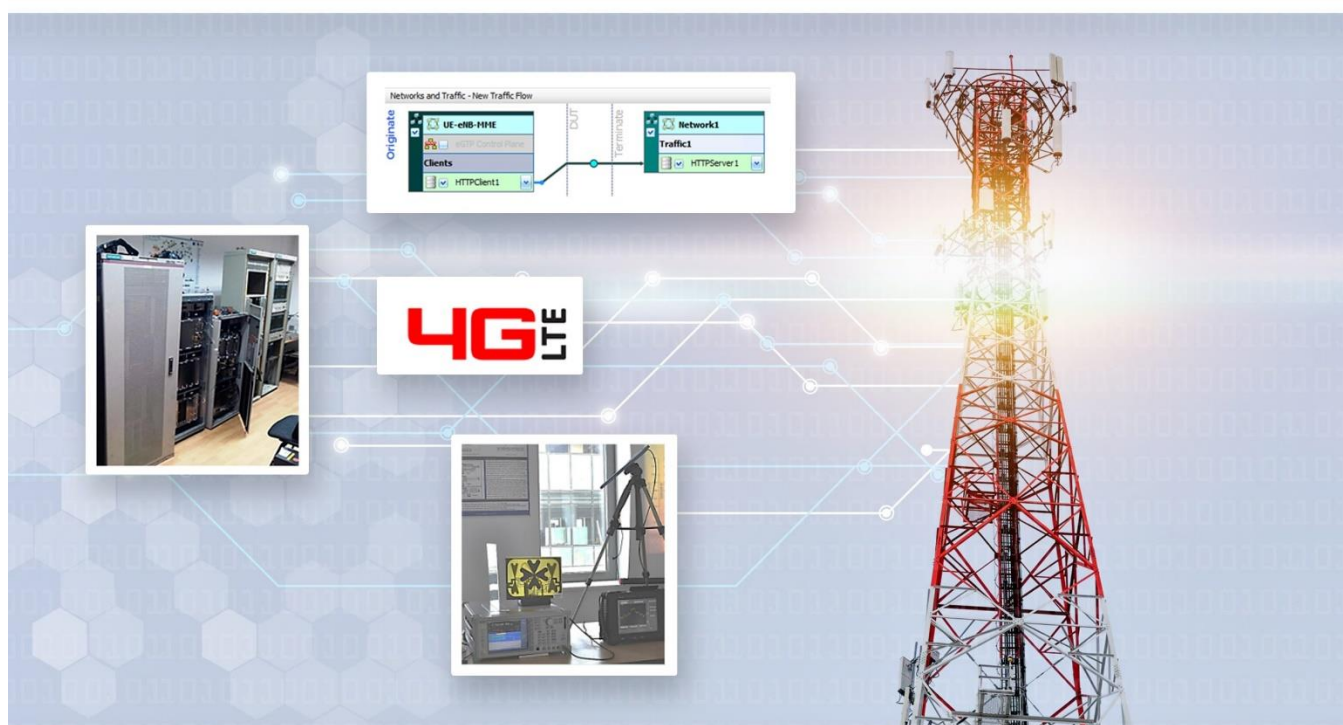


Editori: Radu CURPEN & Dan ROBU

# COMUNICAȚII MOBILE - APLICAȚII -

## Rețeaua de Acces



BRAȘOV, 2023



Universitatea  
Transilvania  
din Brașov

ISBN 978-606-19-1672-6

**Radu CURPEN**

**Dan ROBU**

**(editori)**

8DB J C>86 >>B D7A: ~ 6EA>86 >>  
GZ ZVj VYZ~Acces

**2023**

# PREFAȚA

Este unanim acceptat faptul ca "generațiile" comunicațiilor mobile (CM) au însemnat schimbări majore mai ales în sub-sistemele radio, în *rețelele de acces*. Performanța a crescut nu numai prin noi scheme de modulație dar, și mai ales, prin masuri de *exploatare optimizată*, de îmbunătățire a *managementului resurselor radio*.

CM reprezintă un domeniu tehnologic de avangardă în Electronică și Telecomunicații. Cercetările susținute din ultimii ani au adus progrese spectaculoase în domeniul Terminalelor Mobile – (adevărate platforme multi-media, centre de comunicații personale și e-Banking, integrate domotic și cu vehiculele inteligente), dar și al Rețelelor de Acces și al Rețelelor de Bază.

Cadrele didactice care susțin cursurile și aplicațiile de CM la Universitatea Transilvania au publicat o serie de manuale – suport de curs și îndrumare de aplicații, dintre care se remarcă:

- M. Alexandru, Gh. Morariu, T. Bălan, *Comunicații mobile celulare și calcul mobil. Evoluția de la 3G la 4G*, Brașov, Editura Universității Transilvania, 2014, ISBN: 978-606-19-0567-6
- M. Alexandru, S. Cocoradă, *Utilizarea rețelelor și protocoalelor de comunicații*, ISBN 978-973-662-773-6, 234 pag., Editura U.T. Press, Cluj-Napoca, 2012;
- D. Robu (editor) – *Comunicații mobile-Aplicații-Rețeaua de bază*, Editura Universității Transilvania din Brașov, 2022, ISBN 978-606-19-1543-9
- Bălan, T., Robu. D, Sandu F. - *Integrarea Sistemelor de Calcul și Telecomunicații* – Editura Universității Transilvania din Brașov, 2015, ISBN: 978-606-19-0609-3
- Bălan, T., Fernoagă, V., Popescu, V. - *Integrarea Sistemelor de Calcul și Telecomunicații-Aplicații* – Editura Universității Transilvania din Brașov, 2022, ISBN: 978-606-19-1601-6
- D. Robu, C. Costache (editori) – *Rețele Inteligente de Telecomunicații*, Editura Universității Transilvania din Brașov, 2017, ISBN 978-606-19-0820-2.

Acumularea unei baze materiale de specialitate în laboratoarele de CM și, totodată, cerințele unei pregătiri serioase a studenților – laboratoare, proiecte de semestru și de absolvire (proiecte de diplomă și disertații) recomandă apariția acestei cărți – "Comunicații Mobile – Aplicații – Rețeaua de Acces" – care urmează cărții "Comunicații Mobile – Aplicații – Rețeaua de Acces" (sus-menționată).

Aplicațiile prezentate sunt ample. S-a încercat structurarea lor după modelele documentare tipice în Telecomunicații. O notă aparte o constituie posibilitatea de a implica înseși terminalele mobile ale studenților (pe care se pot instala utilitare de monitorizare) în lucrările practice.

Baza experimentală (descrisă mai jos) are o mare importanță – laboratorul universitar dotat de-a lungul anilor pentru Aplicațiile de CM nu are numai echipamentele care se pot găsi la un Operator (cu echipamente de exploatare și console OAM – Operation, Administration and Maintenance) ci, în plus, are o infrastructură specială de monitorizare – emulare (o sinergie monitorizare control) precum și sisteme de ingineria traficului (care pot asigura încărcarea cu fluxuri – “load & stress”).

Prezentarea bazei experimentale a aplicațiilor de Comunicații Mobile cuprinde o serie de detalii ce provin din Teza de doctorat “Contribuții la Optimizarea Rețelei de Acces în Comunicații Mobile” – Radu CURPEN, Universitatea Transilvania din Brașov, 2020 – coordonator, prof.univ.dr.ing. Florin SANDU.

- Echipamentele radio BSC+BTS (Siemens) și RNC (Siemens-NEC) – ce reprezintă [Rețeaua de Acces](#):

Linie BTS-BSC GSM/GPRS & NodeB-RNC 3G/UMTS– Siemens/NEC

- BTS - Stație de Bază SIEMENS (Transceiver, cablaj RF, conectivă RF, antena echivalentă).

- BSC (Base Station Controller) SIEMENS cu modul TRAU (Transcoder & Rate Adaptation Unit).

- Node B – NB 440 – SIEMENS:

Unitate de amplificare A-SHF (cu bloc SCPA/MCPA, card AMP Supervisory & Control, bloc Dual Amplifier Multi-Coupler și două amplificatoare suplimentare); Unitatea modemului de bază (E1 & STM1 Highway Interface și bloc Highway Monitor, bloc de control comun, bloc de prelucrare de semnal în banda de bază, bloc transceiver radio TRX, bloc High Speed Downlink Packet Access cu modul Channel Card 96 3.6Mbps (class 6).

- Radio Network Controller – SIEMENS / NEC, Model M:

module Line Switch, Central Processor, Control, Signaling, MAC Header Handling, Mobile Layer 2 Control, Diversity Handover Trunk, Composite/De-composite, GPRS Tunneling Protocol, Packet Radio Link Control.



- Emulatoarele de protocol K1297-G20 – ce “reprezintă” (emulează) [Rețeaua de Bază](#)
  - modul de monitorizare/simulare (PRIME) E1/DS1;
  - modul Slim Line Interface PCE I STM-1/SONET OC-3: 155 Mb/s, Optical, LC Duplex ;
  - modul Ethernet.
- Platformă de ingineria traficului centrată pe Sistemul “All IP” Ixia XM2 “Optixia – IP Performance Tester” care acoperă, practic, întreaga stivă OSI (Open System Interconnect) prin sub-sistemele IXNetwork (nivelele 2 și 3) și IXLoad (nivelele 4-7).

Șasiul XM2 dispune de 2 slot-uri în care se pot instala diferite plăci (Gigabit Ethernet, Packet over SONET, ATM, r10 Wideband Radio ș.a.m.d.) care pot funcționa până la 100 Gbps. Aceste module oferă interfețe și resurse pentru aplicații de date, voce și video. Funcționalitatea Optixia se bazează pe două aplicații: IxNetwork (pentru Layer 2-3) și IxLoad (pentru Layer 4-7) care permit o analiză în profunzime atât “low level” cât și aplicații de nivel 7 OSI, servicii *rich-media*, QoS, debit informațional, scenarii de mobilitate și voce prin LTE (VoLTE). IxLoad poate simula componentele

eNodeB și EPC, inclusiv protocoalele și interfețele folosite pentru comunicația între blocurile acestora.

- IPSL (IP+TDM) – placă de PC desktop pentru Semnalizarea "SS7 over IP" – IP Signalling
- Componentele de rețea implementate în software:
  - OsmoBTS (IP) – împreună cu OsmoTRX și un USRP (Universal Software Radio Peripheral)
  - OsmoBSC (IP)
  - OsmoMSC (IP)
  - OsmoHLR (IP)
  - OsmoSTP (IP)

Așadar legăturile de semnalizare pe liniile E1 se pot crea între:

- BSC și K1297-G20
- BSC și IPSL
- K1297-G20 și IPSL

iar legăturile de semnalizare SS7 over IP se pot crea între componentele implementate SW și IPS.

Mediul hardware – firmware – software – netware este configurat și pentru generarea de servicii de telecomunicații având și capacități de cercetare-dezvoltare.

Așadar, aplicațiile folosesc echipament real dar și – mai ales la nivelul Rețelei de Bază ("Core NW") – echipament emulat (monitoarele avansate de protocol sunt extinse cu puternice capacități de emulare completă SS7 – Signalling System nr 7).

Dotarea specială cu care s-a completat baza experimentală și care joacă un rol important în aplicațiile prezentate în această lucrare o reprezintă echipamentele **SDR (Software Defined Radio)** care reprezintă implementări moderne în domeniul cercetării comunicațiilor radio, fiind tot mai răspândite chiar și în platformele de comunicații industriale, la furnizorii de servicii interesați de "soluții durabile" care să le permită reducerea cheltuielilor investiționale / de operare (CapEx/OpEx – Capital/Operational -Expenditure).

Combinarea dintre sub-sistemele *front-end* de bandă largă și procesoarele tot mai puternice face ca platformele SDR să îmbine un hardware puternic cu posibilitatea foarte mare de configurare și programabilitate – mergând până la capacități avansate de "radio cognitiv" (analiza informațională a spectrelor generate de activitatea din electronică și telecomunicații, detecția spectrală –

“spectrum sensing” și extragerea semnalelor înecate în zgomot, identificarea funcțională și clasificarea comportamentală.

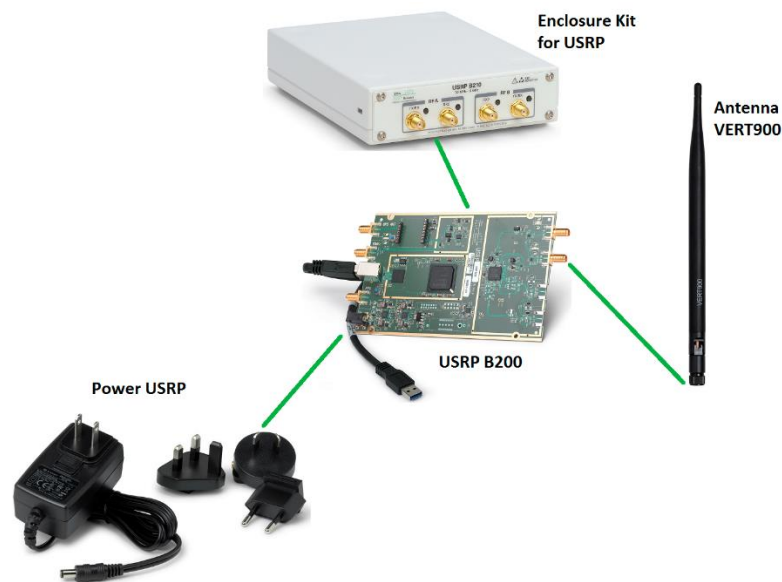
SDR coboară controlul/programabilitatea software până în profunzimea subsistemelor radio (circuite de antenă, convertoare, filtre, sintetizoare de frecvență, oscilatoare locale și mixere, scheme în *quadratură*, etc).

Pentru aplicațiile care necesită o dimensiune redusă a hardware-ului, o greutate redusă și un consum eficient de energie, hardware-ul SDR utilizează FPGA (Field Programmable Gate Arrays) eficient și cu o latență redusă, de obicei cuplat cu un controller programabil / un procesor oferă o performanță foarte bună.

Chiar dacă FPGA-urile pot fi mai complicat de configurat, ele reprezintă sunt cheia pentru a obține o performanță bună, un consum mic și prelucrare locală de timp real. Pentru a rezolva această problemă specifică FPGA, firma ETTUS Research împreună cu National Instruments au conceput platformele Universal Software Radio Peripherals (USRPs) care au o formă compactă și care pot fi programate cu LabVIEW sau cu software open-source precum RF Network-on-Chip (RFNoc) sau GNU Radio, avantajul fiind că *nu mai e neapărat necesară cunoașterea unor limbaje de descriere hardware*.

Cele mai utilizate sisteme SDR din laborator sunt ETTUS/NI USRP B200/B210 (complet integrate, cu acoperire RF continuă 70 MHz – 6 GHz, funcționare Full duplex, MIMO 2 Tx & 2 Rx cu modulații digitale IQ de 61.44MS/s cu banda de până la 56 MHz), cu antene VERT900:

În loc de a încerca optimizarea clasică a sistemelor radio prin schimbarea unor componente mai slabe cu unele mai bune – componente precum heterodine RF, modem, codec, convertoarele analog digital (ADC / DAC) etc – abordarea SDR tratează sistemul ca o funcție “end-to-end”, cu posibilitatea de optimizare a întregului lanț de prelucrare, fără a extrage vreun sub-sistem din context.



Elementele centrale al unui SDR sunt interfața RF și unitatea de procesare. Programabilitatea acestora face ca SDR să fie ideal pentru cercetările din laborator (configurare, scheme de modulație / demodulație digitală, filtre numerice, mixere, detectoare, egalizatoare, compandoare / expandoare, etc). USRP obișnuite (pentru semnale sub 6 GHz) au un consum redus de energie și sunt foarte potrivite pentru dezvoltarea de servicii de comunicații. Detecția spectrală necesită o lățime de bandă mare pentru receptor. Sistemele USRP conțin ADC și DAC de ultimă generație care sunt capabile să ofere toate capabilitățile necesare recepției.

Motivul pentru care aplicațiile cu rețeaua de acces în comunicații mobile au fost puternic orientate către SDR este reprezentat de marea dinamică a tehnologiilor la toate nivelele stivei OSI. Utilizarea – (re-)configurare, (re-)programare (re-softare), integrare, operare – a celor mai noi SDR & SDN (Software Defined Networks), formarea deprinderilor de a lucra cu *“Platforme de comunicații definite software”* (rețeaua de bază la nivel SDN și rețeaua de acces la nivel SDR) reprezintă obiective ale pregătirii *durabile* a studenților în telecomunicații.

Autorii



# CUPRINS

	pag.
• Introducere – Celulele Radio ..... <i>Radu CURPEN, Dan Nicolae ROBU</i>	10
• Calculul Celulelor Radio ..... <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Gheorghe MORARIU</span>	26
• Platforma pentru teste integrate de radio-frecvență ..... <i>Marian ALEXANDRU</i>	32
• Demonstrator de rețea 2G OpenBTS și USRP <i>Cătălina Maria NICOLESCU, Radu CURPEN, Andrada Elena NICOLESCU, Dan Nicolae ROBU</i>	57
• Studiul unui rețele private de acces 4G implementată SDR ..... <i>Radu CURPEN</i>	155
• Testarea rețelei de acces în telefonia mobilă în sistemul Osmocom ..... <i>Andreea-Rut BARBU, Dan Nicolae ROBU</i>	188
• Integrarea unei rețele de acces implementată Osmocom cu un PBX implementat Asterisk ..... <i>Răzvan SECĂREA, Dan Nicolae ROBU</i>	222
• Referințe	270
• Anexa	275

# Introducere - Celulele Radio

Radu CURPEN, Dan Nicolae ROBU

o  
tuturor serviciilor, oricând, oriunde - i un singur terminal  
@  
de realizat, dar comoditatea pentru utilizator, având un singur terminal, de a se deplasa oriunde, indiferent de  
-dezvoltare în domeniu.

Pentru o convorbire i în  
V  
h  
simultane  
h i o

simultane posibile. Disponibilitatea spectrelor alocate radiotelefoniei mobile a constituit de la început un obstacol în dezvoltarea acestui mijloc de comunicare.

u  
acoperire radio i

C  
h  
C  
emisie-  
(existente în acela în alte celule.

deoarece  
#  
)