

Echipamente radio programabile, definite prin program sau virtuale

În acest capitol se va întreprinde o scurtă incursiune în lumea unor definiții specifice și se va încerca o preluare în limba română a conceptelor care vor face obiectul cursului. Stabilirea ordinii de introducere a noțiunilor se va baza pe evoluția în timp a soluțiilor tehnologice, așa cum au fost acestea înregistrate de piața produselor radio.

Punctul de plecare îl constituie echipamentele radio (emițătoare și receptoare) realizate integral cu componente analogice. În toate zonele unui asemenea echipament semnalele sînt analogice (curenți, tensiuni), avînd o reprezentare continuă în timp, iar orice nevoie de modificare sau completare a lanțului de prelucrări la care sînt supuse aceste semnale (de exemplu pentru introducerea unui nou tip de modulație) presupune modificarea/completarea structurii fizice a echipamentului, cu impact imediat asupra costului, dimensiunilor și consumului. Controlul echipamentelor din această clasă, care ocupă zona albă din figura 1, limitează în general solicitarea utilizatorului la comenzi manuale directe (prin potențiometri, condensatoarea variabile, comutatoare), cum ar fi pornirea sau oprirea, modificarea volumului auditei și a nivelului pragului de blocare a auditei în condiții de raport semnal/zgomot mic (*sqelch*), acordul pe frecvența dorită, alegerea tipului de emisie dintre cele predefinite pentru care fabricantul a inclus blocuri funcționale în structura echipamentului, stabilirea puterii la emisie și adaptarea cu antena e.t.c.

Primele forme de programabilitate la echipamentele radio s-au manifestat în momentul înlocuirii controlului nemijlocit al operatorului prin acțiunea elementelor de control cu comandă electrică (chiar și prin micromotoare) și ulterior a circuitelor de tip (*micro*)controler. Chiar dacă tratamentul semnalelor radio era în continuare integral analogic, implicarea circuitelor numerice și apoi a calculatoarelor de uz general a conturat noua clasă largă a **echipamentelor radio programabile**, reprezentată generic în figura 1. Clasa a fost repede îmbogățită cu structuri în care semnalul radio era parțial prelucrat în domeniul numeric (prelucrări în banda de bază și sinteza de frecvență pentru oscilatoarele locale), dar a căror funcționalitate era fixă.

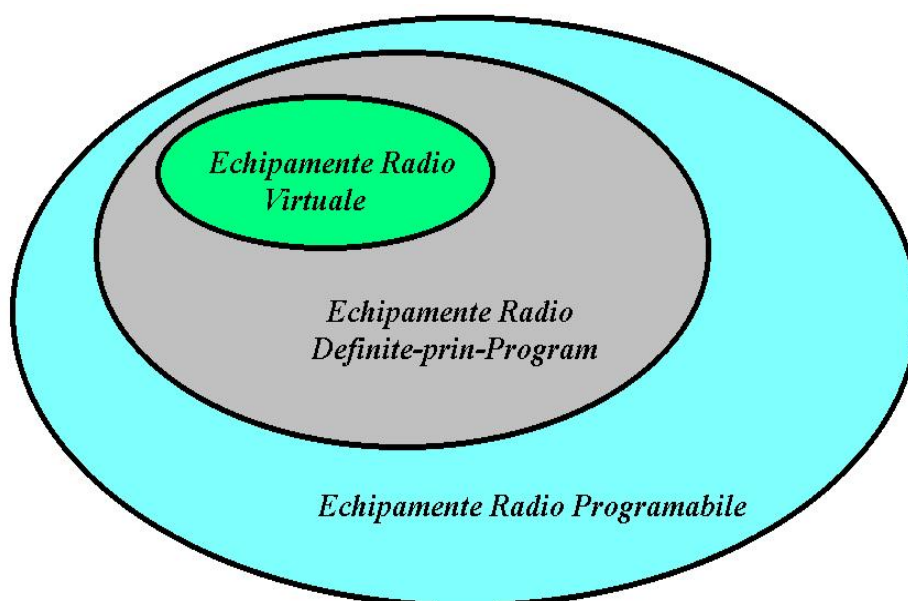


Figura 1

Experiența pozitivă înregistrată în domeniul echipamentelor de calcul numeric (complexitatea operațiilor și viteza de lucru) a stimulat interesul pentru mutarea avantajelor derivate din stabilitatea (timp, temperatură, surse de alimentare), repetabilitatea și scalabilitatea lor spre domeniul prelucrării semnalelor. Evenimentul era așteptat întrucât nici producătorii de echipamente radio și nici utilizatorii lor nu mai puteau face față eficient la multitudinea standardelor de transmisiune în uz folosind numai aparatură specializată pentru fiecare standard în parte. Întocmai cum un sistem modern de calcul, un calculator personal de exemplu, poate executa succesiv sau simultan programe pe care utilizatorul le are instalate sau le poate instala la nevoie, fără să schimbe nimic din configurația hard a sistemului său de calcul, tot așa s-a imaginat și materializat un model de echipament radio cu structură fizică fixă dar funcționalitate modificabilă prin programul care se "descarcă" ("se instalează") și apoi se execută în ea.

Grupul de lucru reunit în *Software Defined Radio Forum* [1] a convenit în anul 2002 asupra următoarei definiții ([2]):

"Software defined radios (SDR) are elements of a wireless network whose operational modes and parameters can be changed or augmented, post-manufacturing, via software."

Deci:

Echipamentele radio definite-prin-program sînt elemente ale unei rețele de comunicații fără fir ale căror moduri de lucru și parametrii pot suferii modificări sau adăugiri, după fabricație, prin programare (reprogramare).

Deși inițial, așa cum reflectă definiția, destinația noii arhitecturi aplicabilă echipamentelor era în exclusivitate piața rețelelor de comunicații fără fir (atît stații de baza cît și terminale), treptat aceasta a influențat toată aparatura utilizată în domeniul apărării, al agențiilor guvernamentale și serviciilor utilitare, iar apoi a atras atenția mediului universitar precum și cea a ... constructorilor amatori. Ulterior, în anul 2008 ([3]), gradul de generalitate al definiției a fost accentuat prin reformularea:

"Radio in which some or all of the physical layer functions are software defined"

Deci:

Echipamentele în care unele sau toate funcțiile nivelului fizic sînt implementate prin programe de prelucrare.

Echipamentele radio definite-prin-program, identificate în figura 1 ca o subclasă a echipamentelor radio programabile, utilizează platforme flexibile ([4]) adaptabile pentru a se adresa evoluției constante și noilor apariții din industria comunicațiilor radio, particularizate prin forme de undă, tehnici de modulație, protocoale, servicii și schimbări de standarde. Structurile dezvoltate pe baza acestui concept pot ușura satisfacerea nevoii crescînde a utilizatorilor ca terminalele lor de comunicații să poată rămîne funcționale în timpul deplasări la limitele ariile de acoperire a rețelelor operînd în standarde diferite.

Definițiile anterioare deschid o largă perspectivă tehnologică. Calificativul de "definit-prin-program" a fost folosit pentru a descrie o tot mai mare gamă de dispozitive avînd ca numitor comun ușurința de modificare prin programare, într-un anumit grad, a parametrilor de lucru și comportamentului. Cît de mult se apropie un dispozitiv concret anume de această categorie depinde de gradul în care, și mijlocul prin care, se modifică parametrii săi. După unele interpretări extreme, flexibilitatea mărită trebuie însoțită cu o doză suficient de mare de inteligență proprie, pentru cercetarea și monitorizarea spectrului în vederea maximizării performanțelor prin reconfigurarea automată. Astfel de echipamente inteligente și adaptive sînt denumite "echipamente radio cognitive" ([5]).

Din punctul de vedere al modelului prin care informația încapsulată în mesaj parcurge drumul de la sursă la destinație prin sisteme radio definite-prin-program acesta se poate reprezenta simplificat ca în figura 2. Progresele tehnologice au condus la diversificarea funcțiilor esențiale de comunicații îndeplinite de blocurile acestui model.

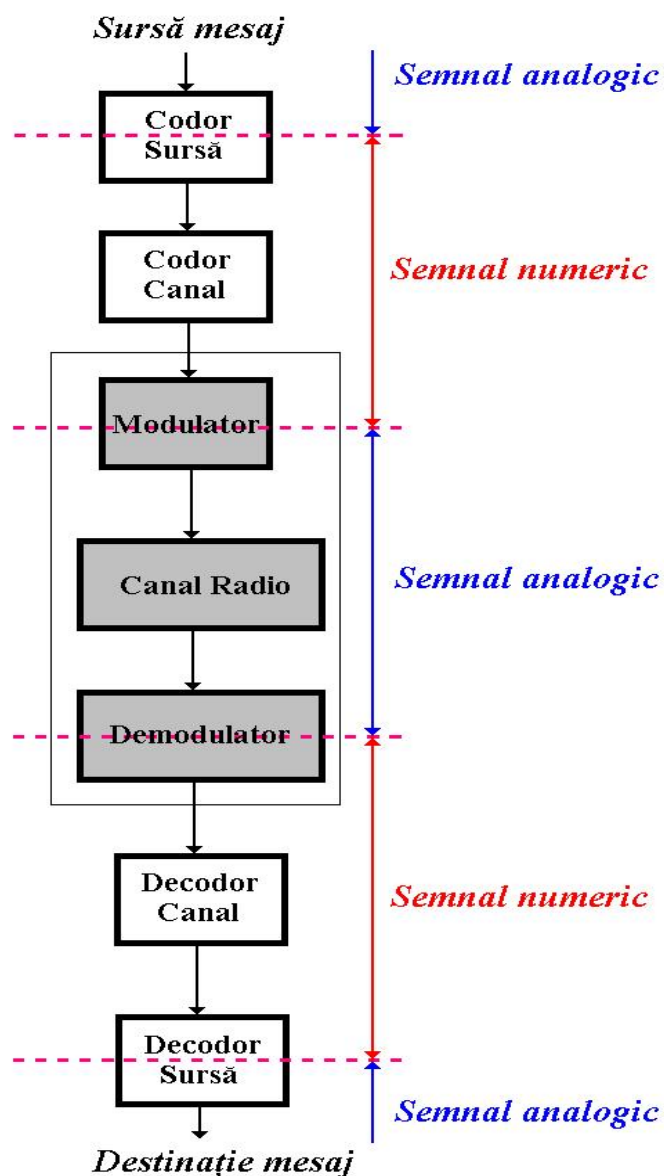


Figura 2

Astfel ([5], [6], [7]), actuala tehnologie **Multibandă** permite accesarea simultană a mai multor benzi de canale de comunicații. Ca urmare, canalul de transmisie radio din figura 2 poate fi generalizat la un **Set de Canale**, ca în figura 3. Acest set include atât canalele radio de propagare în spațiul liber cât și pe acelea de propagare ghidată, pe linii de transmisiune coaxiale sau filare, ori fibre optice. La rândul său, aria codării și decodării de canal din figura 2 se extinde pentru a îngloba atât accesul la canalul de comunicație, **Acces canal RF** (conversiile necesare acoperirii multiplelor game de frecvență și antena sau sistemul de antene), împreună cu prelucrarea frecvenței intermediare, **Prelucrare FI** (filtrări, translații spectrale, tratarea diversității spațiu-timp, sinteza caracteristicilor de directivitate), cât și funcția de **Modem**, modulatorul-demodulator pentru canalul radio. Modemul este responsabil cu forma de undă care transportă informația, și această formă poate fi diferită pentru fiecare gamă de frecvență sau serviciul în parte la așa numitele **Echipamente Radio Multimod**. În plus, perechea codor/decodor de sursă din figura 2 trebuie extinsă pentru a include pe lângă voce sursele de date, facsimil, video și multimedia. Anumite surse de semnal, și asemănător destinațiile semnalelor recepționate, pot fi uneori fizic depărtate de echipamentul radio, însă interconectate printr-un modul pentru suport de **Rețea & Servicii**.

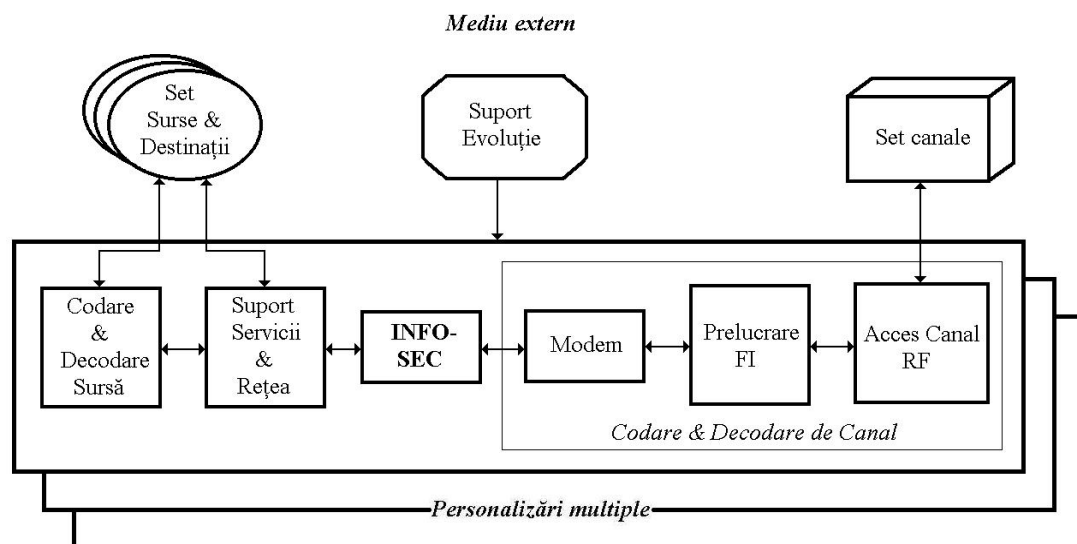


Figura 3

Deși multe aplicații nu solicită o preocupare deosebită pentru securitatea informației din mesajele vehiculate (**INFOSEC**), există stimulente pentru reducerea fraudelor de autentificare și garantarea intimității prin tehnici de criptare. La securitatea transmisiei (**TRANSEC**) se poate contribui și prin mascarea (ascunderea) emisie în sine, de exemplu folosind tehnica împărțirii spectrului (în fapt o codare de canal).

Fiecare ansamblu de variantă de codare a sursei (incluzând, atunci când este cazul, mecanismul de **INFOSEC**) și a canalului definește o anumită personalizare a echipamentului radio, caracteristica echipamentelor radio definite-prin-program fiind capacitatea de a adopta la voința utilizatorului, sau chiar autonom, **Personalizări multiple**.

Într-un echipament radio definit-prin-program, utilizatorul poate "încărca" aproape orice formă de personalizare, prin care poate modifica interfața cu canalul radio (forma de undă a semnalului emis sau recepționat), dar trebuie să țină seama de

resursele disponibile în echipament (de exemplu, lărgimea de bandă, memorie și putere de calcul) precum și de reglementările în vigoare valabile pe zona de serviciu (în *Mediul extern*). Pentru ca acest echipament să rămână o structură deschisă trebuie inclus prin urmare un mecanism de *suport pentru evoluție*, adică modalități prin care se va putea redefinii (reprograma) oricând personalizarea curentă (posibil chiar de la distanță, prin canalul de comunicație).

În esență, cinci sînt factorii care favorizează extinderea acceptării echipamentelor radio definite-prin-program, și anume ([9]):

- *Multifuncționalitate* – capacitatea de reconfigurare poate susține o varietate aproape nelimitată de servicii disponibile în rețele;
- *Mobilitate globală* – echipamentele radio devin operaționale în varietatea de sisteme și standarde regionale și mondiale într-o modalitate transparentă pentru utilizator;
- *Compactitate și eficiență energetică* – moduri de lucru, game de frecvențe și interfațări multiple prin reconfigurarea subansamblelor fizice, reduce numeric și optimizate;
- *Fabricație cu costuri reduse* – apropierea graniței de trecere din domeniul analogic în cel numeric de antenă (sistemul de antene), și invers, elimină componentele de radiofrecvență (analogice) costisitoare și punctele de reglaj calificat;
- *Modernizare ușoară* – adaptarea la schimbările promovate în servicii și includerea noilor metode de prelucrare numerică a semnalelor nu implică suspendarea funcționării (utilizării) pentru reconfigurarea infrastructurii existente.

O imagine de ansamblu asupra stadiului implementării echipamentelor radio programabile este oferită de figura 4 (prelucrată după [5]). Axa orizontală indică gradul de flexibilitate oferit de tehnologiile de implementare contemporane, prin procentul de funcționalitate care poate fi modificată la fața locului ("in the field") utilizînd module de programare cu acțiune imediată ("plug-and-play"). Axa verticală reprezintă lărgimea de bandă în punctele de trecere între domeniile analogic și numeric, adică viteza convertoarelor analogic-numeric și a celor numeric-analogice, în ordinea crescătoare dictată de cele trei zone de semnal și anume: bandă de bază (**BB**), frecvență intermediară (**FI**) și radiofrecvență (**RF**). Pentru a plasa pe această figură un echipament radio concret, așa cum se va exemplifica în capitolul următor, se poate pleca de la examinarea performanțelor convertorului analogic-numeric, pentru receptor, sau a celui numeric-analogic, în cazul unui emițător, iar apoi examina gradul de programabilitate asigurat de dispozitivele fizice înglobate în echipament.

Concluzia generală indusă de graficul din figura 4 este aceea că prețul unei programabilități ridicate este reducerea benzii la punctele de acces între domeniile de semnal analogic și numeric. În valoare absolută însă, progresul tehnologic ridică în mod continuu lărgimea acestei benzi.

Cazul extrem de programabilitate al echipamentelor radio, așa cum poate fi el imaginat astăzi, corespunde colțului dreapta-sus al figurii 4 și este ocupat de ceea ce se poate denumi *echipament radio virtual*. Conform definiției din [8], un echipament virtual:

"Does all its digital signal processing in user space on an off-the-shelf workstation (a PC in some cases)"

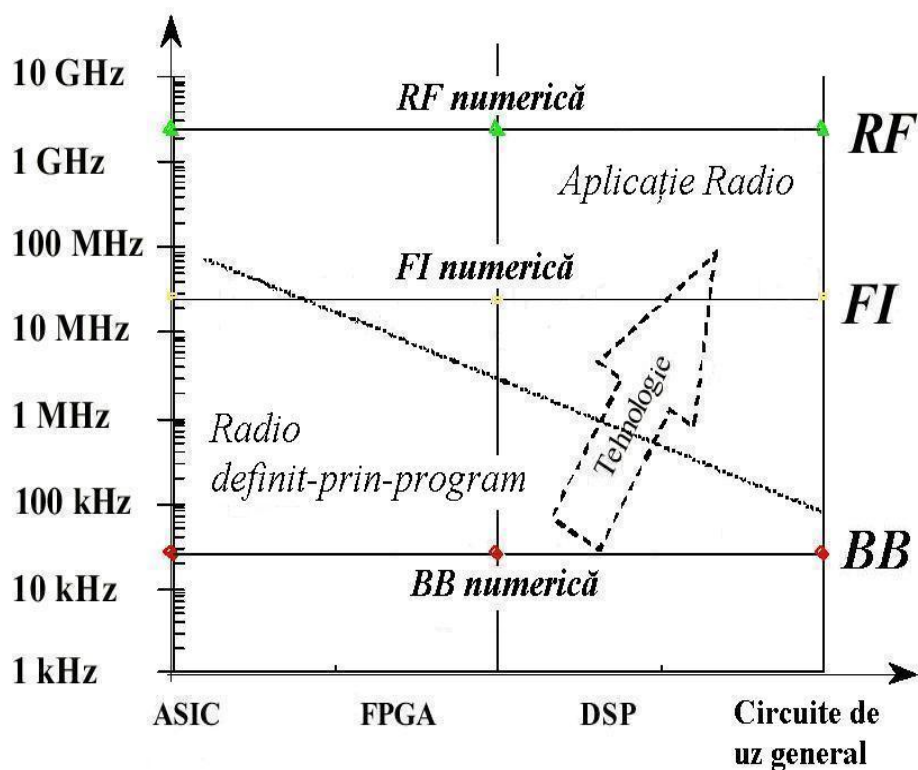


Figura 4

Deci:

Efectuează toate prelucrările numerice de semnal în spațiul pentru utilizator al unei stații de lucru disponibile comercial (în anumite cazuri un calculator personal).

Această categorie avansată de echipamente (la nivel conceptual în pragul anului 2000 dar aflate pe piață în prezent!) diferă în mare parte de restul echipamentelor radio programabile care utilizează fie circuite numerice specifice unei aplicații (ASIC) fie circuite de prelucrare numerică aflate sub controlul unui program (FPGA, DSP). Desigur că utilizarea unei stații de lucru de utilitate generală, ori a unui PC ca în figura 5, pentru efectuarea prelucrărilor numerice în timp real poate implica costuri semnificative. Oricare variantă care se bazează pe circuite fizice este astăzi considerabil mai ieftină, mai mică și consumă mai puțină energie.

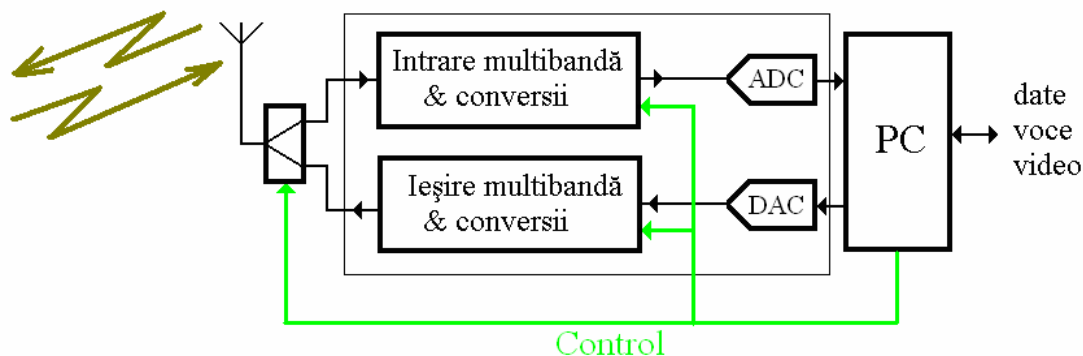


Figura 5

Totuși, exploatarea resurselor disponibile într-o stație de lucru sau PC oferă multe avantaje (potențiale), cum ar fi:

- *Experimentare.* Există o diferență crescândă între capacitățile și mediile de programare disponibile la stațiile de lucru și acelea oferite de modulele specializate cu circuite DSP. Implementarea algoritmilor prelucrărilor de semnal este mult mai ușoară astăzi pe stațiile de lucru.
- *Desfășurare rapidă.* Utilizatorii pot schimba foarte repede structura întregii aplicații pentru a reflecta schimbările din interfața fizică prin simpla instalare a unor noi driver-e și instalarea altor versiunii ale programului.
- *Integrarea cu alte aplicații.* Adesea funcționalitatea echipamentului radio este numai o parte a unei aplicații mai largi. Virtualizarea echipamentului radio permite ștergerea liniei de demarcație dintre aplicația radio și restul, rezultând de aici o creștere a eficienței globale a produsului.
- *Costuri reduse pentru aplicații speciale.* Deși calculatoarele de uz general sînt mult mai scumpe decît circuitele fizice specializate aflate în producție de masă, totuși, atunci cînd apare nevoia unui prototip și a unui produs complex în (foarte) mic număr de exemplare soluția virtuală cîștigă teren.
- *Performanțe îmbunătățite.* Deși puțin surprinzător în raport cu percepția actuală curentă, o stație de lucru actuală poate oferi performanțe superioare unui DSP specializat. Această realitate are la bază flexibilitatea tot mai mare a platformelor de calcul care permit implementarea unor algoritmi mai rapizi și modificarea dinamică a algoritmilor în funcție de rezultatele extrase prin funcțiile de estimare a caracteristicilor canalului de comunicație.

BIBLIOGRAFIE

- [1] - <http://www.sdrforum.org/>
- [2] - <http://www.sdrforum.org/> , “Overview and Definition of Software Download for RF Reconfiguration” SDRF-02-P-0002-V1.0.0, 2002
- [3] - <http://www.sdrforum.org/> , “SDRF Cognitive Radio Definitions” SDRF-06-R-0011-V1_0_0.pdf, 2008
- [4] Rupert Baines, "The DSP Bottleneck", IEEE Communications Magazine, Mai 1995
- [5] Joseph Mitola, "Cognitive Radio - An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio", Royal Institute of Technology (KTH), Suedia, 2002
- [6] Joe Mitola, "The Software Radio Architecture", IEEE Communications Magazine, Mai 1995
- [7] Heinrich Meyr, Ravi Subramanian, "Advanced Digital Receiver Principles and Technologies for PCS", IEEE Communications Magazine, Ianuarie 1995
- [8] Vanu Bose, Mike Ismert, Matt Welborn, John Guttag, "Virtual Radios", Massachusetts Institute of Technology, 1998
- [9] - Jeffrey H. Reed, “Software Radio: A Modern Approach to Radio Engineering”, Prentice Hall, 2002, ISBN 0-13-081158-0