

Dejan M. Savić,
potporučnik, dipl. inž.
VP 4514/2 Podgorica

Boban Pavlović,
potporučnik, dipl. inž.
VP 8297 Piroć

Dr Milan M. Šunjevarić,
pukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

ARHITEKTURA SOFTVERSKI DEFINISANOG RADIJA

UDC: 621.396.6:681.3.06

Rezime:

Radio-komunikacije nastale su pre više od 100 godina. U proteklom vremenu radio-uređaji su se zasnivali isključivo na hardverskim rešenjima. Današnja tehnologija dostigla je nivo na kojem je moguće napraviti takav radio-uređaj čije karakteristike, kao što su tip modulacije, propusni opseg, primenjeni zaštitni kodovi, ne zavise od hardvera već od softvera. Ovako zamišljen radio-uređaj naziva se softverski definisan radio. Karakteristike koje poseduje su takve da će, uz današnji razvoj tehnologije on postati radio budućnosti. U radu se razmatra arhitektura softverski definisanog radija i njegov značaj za razvoj radio-komunikacija u budućnosti.

Ključne reči: softverski definisan radio, arhitektura softverski definisanog radija, radio-komunikacije.

SOFTWARE-BASED RADIO ARCHITECTURE

Summary:

Radio-communications date from more than a century. Radio-devices of the past were solely based on hardware solutions. However, modern technology has reached the level where it is possible to design such a radio-device with characteristics (modulation type, frequency band, applied protective codes) depending not on hardware but on software. A radio-device designed in such a manner is named 'a software-based radio'. Its characteristics will make it a radio of future times. This paper deals with the software - based radio architecture and with its importance for the future development of radio-communications.

Key words: software-based radio, architecture of software-based radio, radio-communication.

Uvod

Prvi uređaj koji se danas može svrstati pod softverski definisan radio (Software Defined Radio – SDR) realizovan je krajem sedamdesetih godina [1]. Istraživač Walter Tuttlebee iz Roke Manor Research korporacije, Romsey, iz Velike Britanije, tada je povezao A/D konvertor sa mikroprocesorom MS 8085 i primio radio-poruku u opsegu vrlo ni-

skih frekvencija (Very Low Frequency). S obzirom na to da su tada digitalni sklopovi, a posebno A/D konvertori, bili vrlo skromnih mogućnosti, razvoj novog koncepta radija je stagnirao.

U narednom periodu mikroprocesori, A/D i D/A konvertori, baterije i antene postajali su manji i efikasniji. Kao revolucionarna beleži se pojava prvih mikroprocesora specijalizovanih za digitalnu obradu signala, takozvanih DSP

(Digital Signal Processor) procesora. Sa ovim tehnološkim napretkom pružaju se znatno šire mogućnosti za razvoj novih sistema, protokola i novih modulacionih tehnika koje nisu mogle biti ranije razvijane.

Ministarstvo odbrane SAD je 1992. godine preko svoje agencije U.S. Defense Advanced Research Project Agency pokrenulo nova istraživanja na ovom polju. Ovaj projekat vodio je Joseph Mitola III iz korporacije MITRE. Godine 1995. istraživanja se pretvaraju u projekat nazvan SPEAKeasy I [2], koji je doneo nekoliko uređaja i pokrenuo projekat SPEAKeasy II. To je bio katalizator za stvaranje Modular Multifunction Information Transfer Systems – MMITS Forumu [3] u martu 1996. godine. MMITS Forum je industrijsko udruženje koje razvija i promovise korišćenje otvorene, modularne arhitekture SDR-a. On okuplja preko trideset pet članica među kojima su: Alcatel (Francuska), Ericsson (Švedska), Keio University (Japan), Motorola, Orange Personal Communication (Velika Britanija), Nokia (Finska), Rhode & Schwarz, Siemens (Nemačka), Samsung Electronics (Južna Koreja). Forum je stvoren radi definisanja arhitekture softverski definisanog radija koja je zasnovana na internom hardverskom i softverskom interfejsu i funkcijskim specifikacijama. Principijelno, ovde se radi o uvođenju novog standarda. Tehnička rešenja se permanentno usavršavaju, a ispravke se objavljuju u publikaciji „Architecture and Elements of Software Defined Radio Systems“ koja izlazi šestomesečno. Forum, takođe, obavlja procenu potencijalne potražnje sa softverski definisanim radijom u komercijalnim, vladinim i vojnim tržišnim segmentima.

Krajem 1998. godine Forum MMITS je prerastao u SDR (Software Defined

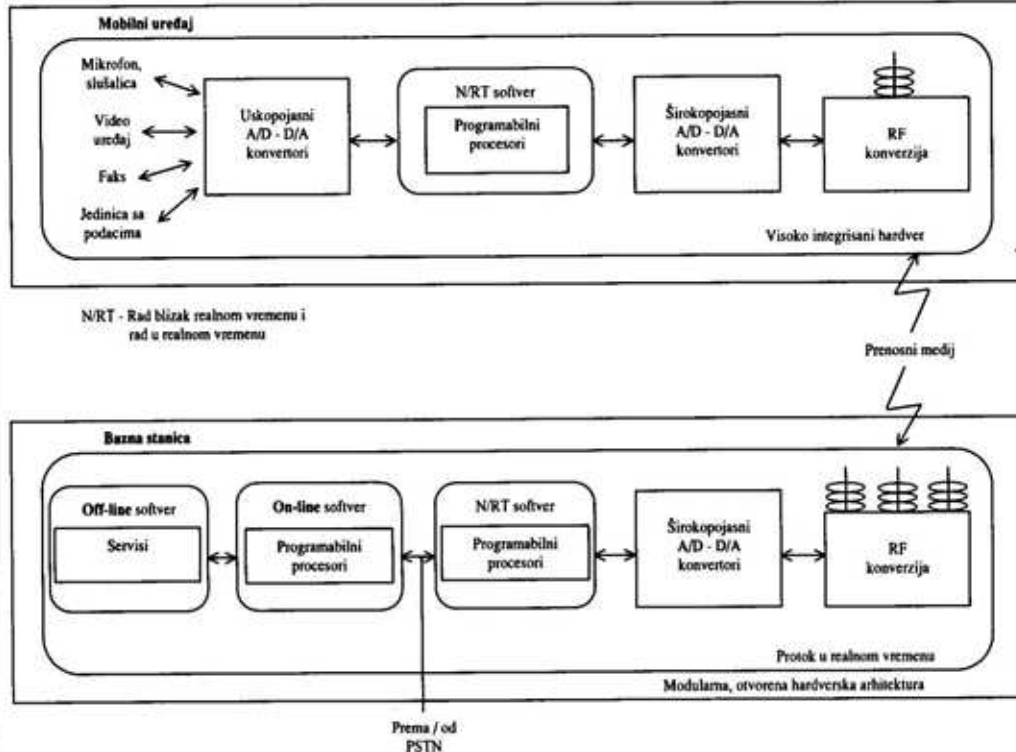
Radio) Forum [4], što govori o pomernju fokusa istraživanja sa vojnog na istraživanje i razvoj komercijalno orijentisanog softverski definisanog radija [5]. Forum je organizacija koja je ustanovila i definisala arhitekturu softverski definisanog radija, a uključuje interni hardver i softverski interfejs, tako da svaki proizvođač može zasebno da izgradi module. Forum je predložio prvu kanoničku strukturu softverski definisanog radija i postavio smernice za njegov dalji razvoj [3, 5].

Koncept softverski definisanog radija

Najkraća definicija SDR jeste da je to radio koji menja svoje osobine u zavisnosti od softvera koji je učitao u njega. To znači da su sve karakteristike jednog radio-sistema: RF (radio-frekvencija) obrada, modulacija, demodulacija, MF (međufrekvencija) obrada, izbor radnog i propusnog opsega, kanalsko i informaciono kodovanje i dekodovanje, podešavanje snage, upravljanje antenskim snopom i, drugo, kao i „alati“ za promenu upravljačkog softvera, apsolutno programabilni i zavise samo od softvera učitano u SDR radio [6].

U principu, to se fizički može ostvariti sistemom čija je struktura prikazana na slici 1. Fizička struktura radio-sistema, prikazanog na slici 1, sastavljena je od bazne stanice i mobilnog uređaja.

Uskopojasni A/D konvertor u mobilnom uređaju pretvara informaciju u digitalni oblik ako je ona analogna i prosleđuje je u programabilni procesor (DSP) gde se obavlja obrada signala od nivoa informacije do MF nivoa (kodovanje, modulisanje, transliranje u MF opseg). Posle toga se, pomoću širokopojasnog D/A konvertora, signal pretvara u ana-



Sl. 1 – Fizička struktura SDR radio-sistema sastavljenog od bazne stanice i mobilnog uređaja

logni i vrši njegovo transliranje u RF opseg, a dalje se prenosi kroz slobodan prostor. U obrnutom pravcu, kada mobilni uređaj radi kao prijemnik, signal sa prijemne antene se, posle širokopojasne A/D konverzije i translacije u osnovni opseg, vodi u programabilni procesor gde se obavlja obrada signala do nivoa informacije u digitalnom obliku. Posle pretvaranja u analogni oblik, pomoću uskopojasnog D/A konvertora (ako je informacija analogna), signal se vodi na prijemnik informacije (npr. slušalicu).

U baznoj stanici signal se prima u RF opsegu, pomoću širokopojasnog A/D konvertora se translira u osnovni opseg i kao takav se u programabilnom procesoru obrađuje do nivoa informacije (fil-

triranje, demodulisanje, dekodovanje i ostalo). Iz programabilnog procesora signal se u obliku informacije šalje korisniku ili preko javne telefonske službe (Public Switched Telephone Network – PSTN), ili se dalje obrađuje u komutacionom centru mobilne telefonije. Kada bazna stanica radi kao predajnik ona obavlja obrnut proces, kao i mobilni uređaj.

Ovakva struktura, pri promenama koje će se desiti u daljem razvoju radio-sistema (nove modulacione tehnike, novi kodovi za detektovanje i korigovanje grešaka i novi kodovi – ključevi za šifrovanje i drugo) ne zavisi toliko od hardvera koliko od softvera koji se lako i relativno jeftino menja. Osim toga, ovakva struktura omogućava povezivanje radio-si-

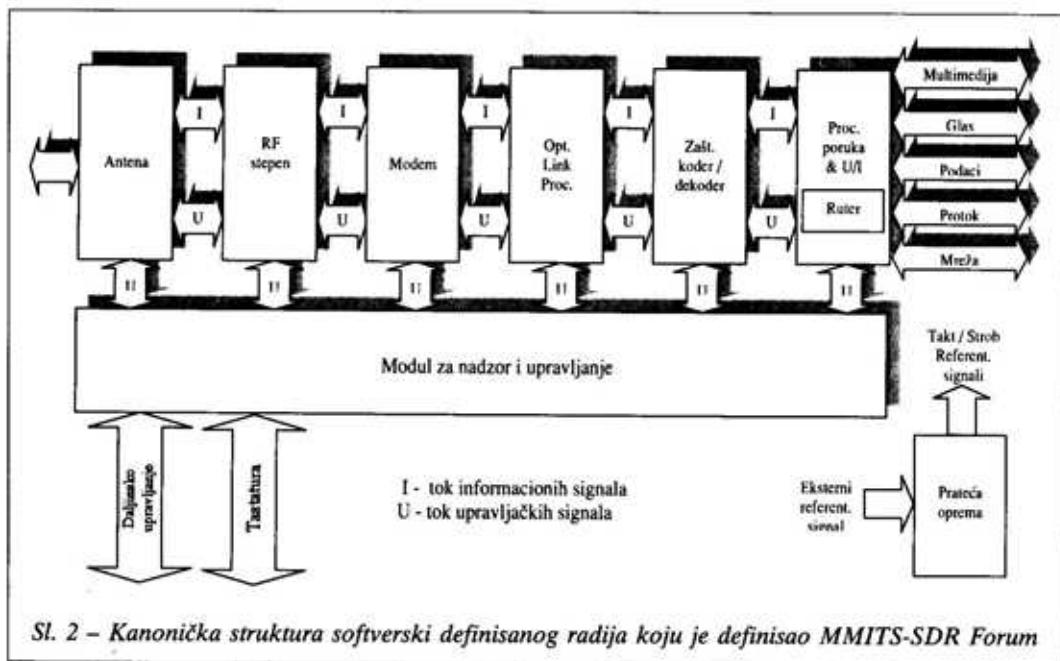
stema sa različitim standardima. Na primer, time se omogućava globalni rouming.

Radio-sistem zasnovan na SDR-u vrlo je otvoren sistem, kako prema novim naučno-tehničkim dostignućima, tako i prema svim postojećih tehničkim rešenjima. On ima sposobnost prevazilaženja problema globalnog rouminga i povezivanja već postojećih sistema, koji rade sa različitim modulacionim tehnikama i u različitim frekvencijskim opsezima, u operativnu strukturu bez velikih finansijskih izdataka. To ukazuje da je SDR radio za XXI vek po svim svojim karakteristikama, a za njega se s pravom kaže da je kamen temeljac sistema mobilnih telekomunikacija (sistemi treće generacije) 3G [5]. Poslednjih godina mnogo se radi i ulaže u razvoj SDR-a u celom svetu, o čemu svedoči veliki broj objavljenih radova koji se bave ovom problematikom.

Arhitektura softverski definisanog radija

U literaturi se pojavilo više različitih ideja o arhitekturi softverski definisanog radija. O tome se pisalo i raspravljalo od samog početka. Najrasprostranjenija i najprihvatljivija arhitektura je ona koju je definisao MMITS-SDR Forum [3, 6] (prikazana na slici 2).

Ova arhitektura može se prihvatiti kao principijelno rešenje, jer tako zahteva i sam MMITS-SDR Forum. Problem hardverskog rešenja ostavljen je samim proizvođačima, s tim da moraju da poštuju modularni princip i ustanovljene principe veza među modulima. Arhitektura softverski definisanog radija, koju je predložio MMITS-SDR Forum, generalizuje primarne funkcije jednog radio-sistema u skup funkcionalnih modula povezanih informacionim i upravljačkim signalima.



Sl. 2 – Kanonička struktura softverski definisanog radija koju je definisao MMITS-SDR Forum

Iz strukture SDR-a prvo se vidi da je on predviđen za prenos ne samo govornih poruka već i drugih oblika informacija. To znači da je ceo koncept softverski definisanog radija zasnovan na principima digitalnih telekomunikacija. Kanonička arhitektura sastavljena je od šest funkcionalno povezanih plug-and-play modula, koji su međusobno povezani tačno definisanim linijama toka informacionih i upravljačkih signala. Takođe, svaki od modula je direktno povezan sa upravljačkim modulom koji upravlja i nadgleda svaki modul ponaosob.

Prvi modul je antena, a sadrži primopredajnu antenu, ili antenski sistem, upravljačke sklopove za upravljanje antenom – antenskim sistemom, kao i opremu za njihovo nadgledanje. Tu se, takođe, nalazi softver koji podešava koeficijente adaptivnih antenskih sistema, odnosno njihov dijagram usmerenosti, dobitak, potiskivanje bočnih lobova i ostale karakteristike.

Drugi modul jeste RF stepen. U njemu se nalazi hardver i softver koji obavlja, u unapred definisanom frekventijskom opsegu, RF selekciju i obradu signala primljenih sa antene, odnosno obradu signala koji preko predajne antene odlazi u slobodan prostor. Tu se obavlja i međufrekvencijska obrada prijemnih signala, a nalazi se i skup potpuno programabilnih selektivnih pojačavača malih (ulaznih) i velikih (izlaznih) signala, softverskih mešača, up-down konvertora, zaštitnih kola i kola za upravljanje i nadgledanje hardverskih elemenata. Pri realizaciji softverski definisanog radija, prethodna dva modula ograničavaju ceo sistem na neki frekventijski opseg. Takođe, oni definišu moguću snagu na izlazu i osetljivost na ulazu sistema, i određuju

karakteristike jednog softverski definisanog radija.

Treći modul je modem. U njemu se realizuju funkcije modulacije predajnih signala i demodulacije prijemnih signala i može se potpuno softverski realizovati [7].

Četvrti modul je optimalni link procesor.

Peti modul je zaštitni koder-dekoder i služi za zaštitno kodovanje signala pre modulisanja i dekodovanje signala nakon demodulacije. Ima funkcije kako kanalskog kodovanja tako i kriptozastite. Može se potpuno softverski realizovati.

Šesti modul je procesor poruka i ulazno-izlaznih informacija. Pojavljuje se u baznim stanicama i komutacionim čvorištima, odnosno tamo gde ima više izvora i korisnika poruka. Ovaj procesor vodi računa o komutaciji signala koji sadrže poruke, pa se zove procesor poruka. Može se shvatiti i kao jedno komutaciono polje. Takođe, u ovom modulu može se implementirati i ruter koji utiskuje podatke o daljoj putanji poruke kroz neku spoljnu mrežu (na primer World Wide Web), koja može biti priključena na softverski definisan radio. Ovaj modul se, takođe, može potpuno softverski realizovati uz dodatke hardvera vezanog za komutaciju.

Sedmi modul je modul za nadzor i upravljanje. On upravlja ostalim modulima i nadgleda ih. Predviđeno je da može i sam biti upravljan iz spoljnog okruženja, što pruža dve značajne mogućnosti. Prva mogućnost je daljinsko unošenje softvera i njegovo pokretanje, što znači da se spolja može uneti i pokrenuti program koji daje potpuno nove osobine i funkcije uređaju. Uređaj će postati funkcionalno potpuno drugačiji sa drugom namenom, bez promene hardvera.

MMITS Forum je predvideo i definisao koncept unošenja novog softvera preko radio-veze sa pridruženim, aplikacionim programskim interfejsom (Application Programming Interfaces – API), kojim se uspostavlja protokol za unošenje novih algoritama i procedura za svakog korisnika zasebno i procesa za posredovanje između uslužnih nivoa. Druga mogućnost je hijerarhijsko strukturiranje većih sistema koji bi bili sastavljeni od pojedinačnih softverski definisanih radija. Moguće je praktično stvarati neograničeno velike komunikacione mreže zasnovane na softverski definisanom radiju. Ovaj modul, takođe, ima implementiran korisnički interfejs kojim korisnik može da pristupa softverski definisanom radiju, na primer preko tastature.

Vrlo bitna karakteristika jeste da svaki od ovih modula može biti izostavljen, odnosno ne mora postojati za svaku aplikaciju.

Pored ovih modula postoji još i prateća oprema vezana za rad hardvera i njegovo funkcionisanje, kao što je sistem za napajanje, generatori takta, generatori referentnih signala i ostala oprema.

Značaj softverski definisanog radija

Mogućnosti koje pruža softverski definisan radio vrlo su velike. One nisu u potpunosti istražene i teško je reći u kom pravcu će se razvijati. Sigurno je da će softverski radio zameniti mobilne telefone druge generacije i da je već sada našao mesto u vojnim sistemima razvijenih zemalja.

Ovo je vreme novih tehnoloških i naučnih dostignuća, koja diktiraju promene standarda radi ostvarivanja boljih performansi. Nova dostignuća snižavaju cenu i tako potiskuju postojeće proizvo-

de. Često se nove tehnologije ne mogu odmah primenjivati zbog ogromnog kapitala uloženog u prethodnu tehnologiju. Radi stvaranja pogodnosti za široko korišćenje novih tehnologija, uvođenje novih mogućnosti u postojeće sisteme mora da sačeka dok se ne pojave prihvatljivi standardi i za korisnike i za postojeću infrastrukturu. To znači da se prvo usklađuju politički, nacionalni i komercijalni interesi, pa tek onda tehnologija počinje da se koristi ili izlazi na tržište [6]. Navedena pojava naziva se „tehnološki rascep“, a uslovljena je intenzivnim tehnološkim napretkom poslednjih godina. Na to se nadovezalo i vrlo brzo tehnološko zastarevanje tehničkih sredstava, koja su u širokoj primeni, zbog uvođenja novih tehnologija, izazivajući velike ekonomske i socijalne probleme globalnih razmera. Prevazilaženje „tehnološkog rascepa“ zahteva postojanje sredstava koja će biti sposobna da na najbezbolniji način prevaziđu ove probleme. Tu leži odgovor na pitanje koji je značaj softverski definisanog radija. On je sredstvo kojim se prevazilaze ekonomske i socijalne komplikacije koje nastaju zbog uvođenja novih tehnologija, tehnika i doktrina u oblasti radio-komunikacija. Softverski definisan radio obezbeđuje najekonomičniji prelaz sa tehničkih sredstava stare generacije na tehnička sredstva nove generacije. Obezbeđuje ga obostrano, i sa stanovišta proizvođača i sa stanovišta potrošača, izbegavajući, ili bar minimizirajući, ekonomske posledice koje mogu da nastanu pri tom prelazu.

Na primer, poznato je da je način prenošenja televizijske slike u principu zastareo kod PAL sistema. Međutim, zbog rasprostranjenosti takvih prijemnika neizvodljivo je primeniti nove, savremenije tehnike prenosa već se mora ostati

na starim standardima. Ukoliko bi se, ipak, dogodilo da se uvede novi sistem nastali bi veliki problemi na tržištu i kod kupaca koji bi morali da menjaju svoje TV prijemnike, i kod proizvođača koji bi morali da ukidaju čitave proizvodne programe. To bi se moglo izbeći u radio-komunikacijama uvođenjem softverski definisanog radija koji bi bio sposoban da prelazak sa starog na novi sistem prenosa obavi na najbezbolniji mogući način, običnom promenom softverskog programa. Ta promena mogla bi se desiti, a da je potrošač i ne bude svestan.

Poznato je da su komunikacije od vitalne važnosti za izvođenje borbenih dejstava, i savremeni rat se ne može zamisliti bez dobro organizovane komunikacione mreže. Druga bitna karakteristika jeste postojanje vojne komunikacione opreme različitih standarda, kvaliteta i tehnologija. Takođe, karakteristično je da je to, uglavnom, retko korišćena oprema kojoj nije istekao eksploatacioni vek već je, uglavnom, tehnološki zastarela. SDR ovde nalazi idealan prostor za iskazivanje svojih prednosti. On može da prevaziđe sve ove probleme, od sposobnosti premošćavanja tehnološkog jaza između novih i starih tehnologija, do toga da gotovo ne može zastareti, jer mu karakteristike ne zavise primarno od hardvera već od softvera. Sledeća prednost SDR-a jeste velika otpornost, kako na

ometanje, tako i na radio-lociranje i prislušivanje. U slučaju ometanja veze SDR vrlo lako menja modulacionu tehniku i opseg koji koristi. Samo jednom prostom komandom cela jedinica taktičkog nivoa može da promeni frekvencijski plan, da koristi potpuno drugu vrstu modulacione tehnike, druge kanale, druge pseudoslučajne sekvence, druge zaštitne kodove i ostalo.

Umesto zaključka

Navedena razmatranja pokazuju da ima smisla istraživati i pratiti trendove razvoja softverski definisanog radija. Time će se spremno dočekati vreme uvođenja ovih sistema u operativnu upotrebu.

Literatura:

- [1] Simić, I., Zejak, A.: Softverski radio, Vojnotehnički glasnik 5/98, str. 574-582.
- [2] Lackey, R. J., Umpal, D. W.: Speakeasy: The Military Software Radio, IEEE Comm. Mag., May 1995., pp. 56-61.
- [3] Modular Multifunction Information Transfer System Forum, Prospectus <http://www.mmitsforum.org>
- [4] Software Defined Radio Forum, HomePage: <http://www.sdrforum.org>
- [5] Mitola, J.: Technical Challenges in the Globalization of Software Radio, IEEE Comm. Mag., February 1999., pp 84-89.
- [6] Margulies, A., Mitola, J.: Software Defined Radios: A Technical Challenge And A Migration Strategy, Proceedings of IEEE ISSSTA '98., Sun City, South Africa, 1998., pp 551-556.
- [7] Šunjevarić, M., Savić, D.: Jedna realizacija GMSK modulatora, XLIII konferencija ETRAN-a, Zlatibor, septembar 1999.