

IT <sup>ŽABLJAK</sup>'09

XIV

*naučno - stručni skup*

# INFORMACIONE TEHNOLOGIJE

*SADAŠNJOST I BUDUĆNOST*

Urednici.

Božo Krstajić  
Aleksandra Radulović

**IT'09**

**INFORMACIONE  
TEHNOLOGIJE**

**- SADAŠNJOST I BUDUĆNOST -**

**Urednici**

*Božo Krstajić*

*Aleksandra Radulović*

*Zbornik radova sa XIV naučno - stručnog skupa  
INFORMACIONE TEHNOLOGIJE - sadašnjost i budućnost  
održanog na Žabljaku od 25. do 28. februara 2009. godine*

## **Organizatori skupa**

Ministarstvo za informaciono društvo CG

Ministarstvo prosvjete i nauke CG

Univerzitet Crne Gore - CIS

Privredna komora Crne Gore – Udruženje za ICT

### *Održavanje skupa finansijski pomogli*

- \* Crnogorski Telekom, Podgorica
- \* DIGIT Montenegro, d.o.o., Podgorica
- \* CT Computers ME, Podgorica
- \* ČIKOM – informatički inženjering, Podgorica

### *Štampanje zbornika finansijski pomogli*

- \* Fond za zdravstveno osiguranje Crne Gore

## **Programski odbor**

Dr Novak Jauković, Elektrotehnički fakultet, Podgorica  
Akademik Dr Ljubiša Stanković, CANU  
Dr Zdravko Uskoković, Elektrotehnički fakultet, Podgorica  
Dr Vujica Lazović, Ekonomski fakultet, Podgorica  
Dr Branko Kovačević, Elektrotehnički fakultet, Beograd  
Dr Srđan Stanković, Elektrotehnički fakultet, Beograd  
Dr Milorad Božić, Elektrotehnički fakultet, Banja Luka  
Dr Miroslav Bojović, Elektrotehnički fakultet, Beograd  
Dr Zoran Jovanović, Elektrotehnički fakultet, Beograd  
Dr Božidar Krstajić, Elektrotehnički fakultet I. Sarajevo  
Dr Milica Pejanović-Đurišić, Elektroteh. fakultet, Podgorica  
Dr Dejan Popović, Elektrotehnički fakultet, Beograd  
Dr Milo Tomašević, Elektrotehnički fakultet, Beograd  
Dr Srbijanka Turajlić, Elektrotehnički fakultet, Beograd  
Dr Božo Krstajić, Elektrotehnički fakultet, Podgorica  
Dr Milovan Radulović, Elektrotehnički fakultet, Podgorica  
Dr Budimir Lutovac, Elektrotehnički fakultet, Podgorica  
Dr Igor Radusinović, Elektrotehnički fakultet, Podgorica  
Dr Ramo Šendelj, FIT, Podgorica  
Dr Stevan Šćepanović, PMF, Podgorica

## **Organizacioni odbor**

Dr Vujica Lazović, Podpredsjednik Vlada CG

Dr Božo Krstajić, CIS Univerzitet CG

Dr Milovan Radulović, Elektrotehnički fakultet, Podgorica

Tamara Đuričković, Ministarstvo za informaciono društvo

Radovan Rutešić, Ministarstvo prosvete i nauke

Duško Petrović, Privredna komora CG – Udruženje za ICT

Vladan Taboš, Privredna komora CG – Udruženje za ICT

## **Sekretarijat**

Aleksandra Radulović, CIS Univerzitet CG

Tomislav Milić, Privredna komora CG – Udruženje za ICT

# P R E D G O V O R

Prvi naučno-stručni skup INFORMACIONE TEHNOLOGIJE – sadašnjost i budućnost održan je u prošlom vijeku (1996.) i po vremenskom i po ICT određenju. Od tada su se mnoge stvari promijenile: države, tehnologije, saznanja, uređaji, Žabljak, mi, ... Jedino je Durmitor ostao isti – lijep i neodoljiv. I kako reče doajen i inicijator Skupa, prof. dr Novak Jauković, na otvaranju tradicija IT-a i njegov duh se nastavlja sa svim promjenama koje vrijeme nameće.

IT nije održan 2008. i svi mi, dugogodišnji učesnici, smo osjetili nedostatak i strah da ne prekinemo jednu korisnu i lijepu manifestaciju. Nije nam trebalo puno da se dogovorimo i bilo je lako naći pokrovitelje i istomišljenike. Uveli smo novinu u organizaciji skupa jer su renomirane crnogorske ICT kompanije („Crnogorski Telekom“, „ČIKOM“, „Digit-Montenegro“ i „CT Computers“ ) sponzorisale kotizacije i druženja učesnika. Ipak, prisustvo ovih i drugih ICT kompanija i njihovo aktivno učešće u organizaciji i radu je najznačajnija novina na IT-u

Ovogodišnji, XIII po redu ali XIV po imenu, IT je bio obilježen, sa jedne strane, tradicionalnim i nezaboravnim druženjima i „sniježnim“ aktivnostima, ali i veoma interesantnim naučno-stručnim i institucionalnim prezentacijama.

Teme skupa su bile ICT u Crnoj Gori i Evropski razvojni fondovi - šansa i realnost za razvoj ICT u Crnoj Gori. U okviru prve teme Ministar za informaciono društvo Prof. dr Vujica Lazović prezentovao je Strategiju razvoj Informacionog društva u Crnoj Gori od 2009. do 2013. godine, a veliki broj učesnika je postavljao pitanja i davao komentare na istu. Saša Ivanović i Tatjana Knežević (Sektor za nauku ministarstva prosvjete i nauke CG) su prezentovali mogućnosti apliciranja za oblast ICT-a u okviru novog FP7 poziva i SEE-ERA.NET+ projekta, a predstavnici CIS-a Univerziteta CG (Prof. dr Božo Krstajić i Luka Filipović) i Hidrometeorološkog zavoda CG (Aleksandar Berber i Mirjana Ivanov) prezentovali projekta SEE-GRID-SCI ([www.see-grid-sci.eu](http://www.see-grid-sci.eu)). Ovim su prezentovani evropski razvojni fondovi i primjeri projekata koji se realizuju u okviru njih.

U toku skupa su prezentovani autorski radovi koji se nalaze u zborniku pred vama. Radovi su recenzirani, a u zborniku su samo oni koji su prezentovani na skupu. Svi detalji o Skupu i informacije o narednom mogu se naći na sajtu [www.it.ac.me](http://www.it.ac.me).

Jednodušna konstatacija svih učesnika, iskazana na završnoj diskusiji, jeste da je Skup u potpunosti nadmašio očekivanja i uspio u svojoj namjeri objedinjavanja kretivnog duha kroz stimulisanje atmosfere saznavanja i konstruktivnog dijaloga. Skup je zaključen najavom otvaranja sledećeg uz nove aktuelne teme, veći broj učesnika i nezaboravna durmitorska druženja.

**Božo Krstajić**

# SADRŽAJ

Dražen Žujović, Milan Čabak, Luka Filipović, Božo Krstajić PRIMJER UPGRADE-a AKADEMSKOG KLASTERA.....	1
Marina Matijević, Božo Krstajić PORTAL ZA NASTAVNIKE KAO VID ELEKTRONSKOG UČENJA.....	4
Milutin Radonjić, Igor Radusinović PRIMJER HARDVERSKE REALIZACIJE SCHEDULER-A CROSSBAR KOMUTATORA ..	7
Vladan Mijović, Božo Krstajić SCTP - NOVI IGRAČ NA TRANSPORTNOM SLOJU .....	11
Milovan Obradović STRATEGIJA E-HEALTH U ZDRAVSTVENOM SISTEMU .....	15
Miloš Mrdović, Luka Filipović, Božo Krstajić KEŠIRANJE BAZE PODATAKA NA APLIKATIVNOM SLOJU .....	19
Dajana Tomić, Božo Krstajić ANALIZA KOMUTATORA U ODNOSU NA LOKACIJU BAFERA.....	23
Zoran Veličković, Zoran Milivojević PERFORMANSE MEL FITARSKIH BANAKA KOD REKONSTRUKCIJE GOVORA .....	27
Ramo Šendelj, Danijela Milošević, Maja Božović SAVREMENI ALATI I TEHNIKE ELEKTRONSKOG UČENJE.....	31
Zoran Stevanović, Zoran Milivojević PERFORMANSE SODA ALGORITMA KOD PRIMENE SLIKE SA VODENIM ŽIGOM....	35
Nikola Labović, Budimir Lutovac USSD Servis (U sistemu naplate u realnom vremenu).....	39
Miloš Perunović, Milovan Radulović PRIMJER PROGRAMIRANJA INDUSTRIJSKOG PLC KONTROLERA ZA REGULACIJU SAOBRAĆAJA.....	43
Mimo Mirković, Milovan Radulović ANALIZA PERFORMANSI ALGORITAMA UPRAVLJANJA SERVO SISTEMOM SA ELASTIČNO SPREGNUTIM MASAMA.....	47
Aleksandar Dedić REGULATOR NAPONA TERMIČKIH POTROŠAČA.....	51
Semir Tuzović, Igor Đurović POBOLJŠANJE MODIFIKOVANOG ICI ALGORITMA ZA IF ESTIMACIJU .....	54

Igor Đurović, Marko Simeunović, Vesna Popović PRIMJENA MODIFIKOVANE KUBIČNE FAZNE FUNKCIJE U ESTIMACIJI PARAMETARA SAR SIGNALA .....	58
Alen Turusković, Milovan Radulović PRIMJER TELEMONITORING UPOTREBOM LABVIEW SOFTVERA .....	62
Predrag Popović, Radovan Stojanović DETEKCIJA ST-ELEVACIJE KOD EKG SIGNALA U PROCESU DALJINSKOG MONITORINGA .....	66
Radovan Stojanović, Nikola Nikolić, Marija Mirković, Predrag Popović, Emilija Pejović MJERENJE FREKVENCIJE SRČANOG PULSA UPOTREBOM MIKROKONTROLERA...	69
Nevena Vukčević, Radovan Stojanović, Nedjeljko Lekić PRIMJER DIZAJNA ANALOGNOG KOLA ZA DETEKCIJU EKG SIGNALA .....	73
Zoran Milivojević, Slađana Milivojević PROCENA FUNDAMENTALNE FREKVENCIJE GOVORNOG SIGNALA KOMPRIMOVANOG MP3 ALGORITMOM.....	77
Zoran N. Milivojević, Zoran Veličković ADAPTIVNI FRAKCIONI FIR DIFERENCIJATOR.....	81



## PRIMJER UPGRADE-a AKADEMSKOG KLASTERA AN EXAMPLE OF ACADEMIC CLUSTER UPGRADE

*Dražen Žujović, Milan Čabak, Luka Filipović, Centar Informacionog Sistema Univerziteta Crne Gore  
Božo Krstajić, Elektrotehnički fakultet Podgorica*

**Sadržaj** – Distribuirani računarski sistemi se zadnjih godina najčešće koriste u obliku klastera i Grid-ova i predstavljaju osnov zahtjevnih računarskih sistema. U radu su, nakon uvodnih definicija, objašnjeni elementi Grid-a i način izvršavanja poslova na Grid-u. Predstavljani su i elementi klastera na Univerzitetu Crne Gore koji je dio SEE Grid-a. Dâti su detalji instalacije *Worker Node* mašine, karakteristike univerzitetskog klastera i planovi za buduća nadograđivanja.

**Abstract** – In the past few years, distributed computing systems are mostly used in a form of clusters and Grid-s, and they represent base of complex computing systems. In this paper, after the preamble definitions, elements of Grid are presented and job submitting process. There are also presented elements of University of Montenegro's cluster, which is a part of SEE Grid. Details of *Worker Node* installation are given, and features and future upgrade plans for university's cluster.

### 1. UVOD

Distribuirano računarstvo podrazumijeva dijeljenje svih raspoloživih računarskih resursa kao i računarskih periferija. Mogu se dijeliti smještajni kapaciteti, procesorske jedinice, mnogi drugi uređaji za razna mjerenja, analize, podaci, aplikacije, mrežni resursi...

Osnovu distribuiranih sistema čine klasteri. Računarski klaster predstavlja skup računara koji zajedno predstavljaju jednu cjelinu i prema ostatku svijeta se prikazuju kao jedinstven sistem.

Grid klasteri su tehnologija usko vezana sa računarskim klasterima. Ključna razlika između Grid-ova i tradicionalnih klastera je ta da Grid-ovi spajaju kolekcije računara koji ne vjeruju u potpunosti jedan drugom. Grid-ovi tipično podržavaju više heterogene kolekcije nego uobičajene podržene u klasterima.

Na klasterima se izvršavaju distribuirani algoritmi. Distribuirani algoritmi se sastoje od više djelova algoritma koji se izvršavaju istovremeno, na jednom ili više računara, i saraduju u obavljanju istog zadatka i pri tome stupaju u međusobnu interakciju razmjenjujući podatke. Za razliku od paralelnih algoritama namjenjenih specijalizovanim višeprocorskim računarima, distribuirani algoritmi mogu da se izvode i na skupovima umreženih, ali inače samostalnih konvencionalnih računara.

**Parallel processing** predstavlja metod dijeljenja (segmentacije) velikih problema na manje sastavne djelove, zadatke ili proračune koji se mogu paralelno riješiti.[1]

### 2. GRID

Koncept Grid-a nalazi primjenu u rešavanju veoma širokog spektra problema, kao i od strane različitih institucija, organizacija i grupa ljudi. Koriste ga naučnici za razne proračune i analize, provajderi specijalnih servisa, banke, medicinske ustanove, državne institucije u meteorologiji, seizmologiji, zaštiti životne sredine, borbi protiv terorizma...

Grupu individualaca ili institucija, koji povezuje neki zajednički interes, definisane pravilima podjele resursa možemo zvati virtuelnom organizacijom (VO). To mogu biti članovi servis provajdera (internet, skladišnog prostora), timovi za izradu aplikacija, inženjeri koji rade na istim zadacima unutar velikih korporacija, krizni timovi, članovi velikih, internacionalnih, višegodišnjih kolaboracija iz naučnih oblasti.

Elementi Grid-a su:

**UI** – User Interface – korisnički pristup

**CE** – Computing Element – predstavlja procesorske resurse

**WN** – Worker Node – pojedinačni radni čvorovi u klasteru

**SE** – Storage Element – pohrana i dijeljenje podataka

**BDII** – Information System – prikupljanje i distribuiranje informacija o resursima

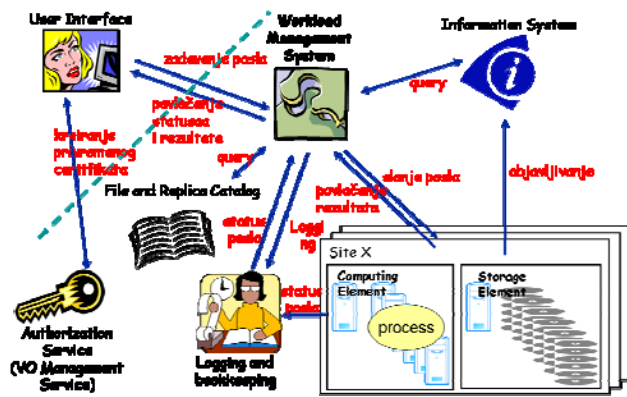
**RB** – Resource Broker – određuje raspodjelu resursa

**VOMS** – VO Management Server – upravlja virtuelnim organizacijama

**MyPROXY** – dugoživući proxy-ji

Koraci u izvršavanju JOB-a na Grid-u su:

- Korisnik se prijavljuje na UI
- Generiše se proxy preko VOMS-a
- Provjera pripadnosti VO
- Provjera identiteta korisnika (privatni ključ)
- Upućivanje job-a na RB
- RB na osnovu informacija dobijenih od BDII-ja određuje resurse (klaster)
- UI šalje job sa pripadajućim fajlovima (input, output sandbox) na RB
- RB ih prosljeđuje odgovarajućem CE
- CE raspoređuje poslove među WN-ovima
- WN po završetku vraća rezultat na CE
- CE obavještava RB da je završio
- Korisnik povlači na UI rezultate



Sl.1. Koraci u izvršavanju poslova.

### 3. AKADEMSKI KLASTER

Akademski klaster je bio dio projekta SEE-GRID-2 [2], a trenutno je uključen u projekat SEE-GRID-SCI (SEE-GRID eInfrastructure for regional eScience) [3], koji je počeo u maju 2008. i trajeće dvije godine. SEE-GRID-SCI pomoću SEE eInfrastructure omogućava saradnju između naučnika i krajnjih korisnika, pruža nove mogućnosti za istraživanje u regionu, sa naglaskom na istraživanja u oblasti meteorologije, seizmologije i zaštite životne sredine. Ukupan budžet je oko 2,5 miliona eura, od kojih se finansiraju klasteri svih država učesnica projekta. Zemlje učesnice projekta su: Albanija, Bosna i Hercegovina, Bugarska, Grčka, Makedonija, Mađarska, Moldavija, Jermenija, Srbija, Turska, Hrvatska, Rumunija i Crna Gora.

Elementi našeg klastera su:

**Computing Element (CE)** – njemu se dodjeljuju poslovi koje je korisnik zadao preko **User interface (UI)** i stavljaju na red čekanja.

**Worker Node (WN)** - čvor klastera na kome se vrši obrada podataka. Svaki klaster posjeduje više WN mašina, kontrolisanih Computing Element-om.

**Storage Element (SE)** - obezbjeđuje uniforman pristup resursima za skladištenje podataka.

**Monitoring Element (Mon)** – služi za praćenje parametara sistema, sakuplja podatke sa svih resursa sistema, analizira upotrebu, iskorištenost i performance Grid-a, detektuje i obavještava o greškama resursa.

### 4. WN INSTALACIJA

Prvi korak je instalacija operativnog sistema, na kojim radi **Worker Nod (WN)**. U tu svrhu se koristi **Scientific Linux 4.6 SL4.6** [4] je distribucija napravljena od strane Fermilab i CERN organizacija, kao i mnogih drugih laboratorija i univerziteta širom svijeta.

Drugi korak u konfigurisanju WN jeste instalacija **Middleware-a**. **Middleware** treba da omogući pokretanje aplikacija na odgovarajućim računarima, ma gdje se oni nalazili, na efikasan i pouzdan način. Takođe, obezbjeđuje korisniku jedinstven pristup resursima, putem korisničkog

interfejsa. Konceptijski, on se nalazi između dva tipa softvera, operativnog sistema, koji pokreće računar (npr. Linux) i aplikacijskog softvera, koji riješava konkretan korisnički problem, pa je za njegov naziv upotrebljen pojam **middleware**. Danas postoje različite distribucije **middleware-a**: **Globus**, **LCG**, **gLite**, **UNICORE** i drugi, od koji se najviše koristi **gLite**.

**gLite** skriva kompleksnost ovog okruženja od korisnika, predstavljajući korisniku koherentni virtualni računarski centar sa svim dostupnim resursima. **gLite** je distribuiran pod tzv. "open source" licencom što ga čini pogodnim za razvoj biznis aplikacija. **gLite** se svakodnevno koristi u naučnim i industrijskim aplikacijama na EGEE Gridu i njemu pridruženim infrastrukturama. **gLite** koristi komponente iz drugih **Grid middleware** projekata, a projektovan je kao modularni sistem koji omogućava korisnicima da prilagode sistem svojim specifičnim potrebama kroz uključivanje samo onih servisa koji su im potrebni. Servisi u **gLite-u** su: bezbednost, monitoring (nadzor), kao i upravljanje zadacima i podacima, a razvijeni su u skladu sa zahtevima servisno orijentisane arhitekture. [5]

Dalji koraci u instalaciji WN-a su:

1. Instalacija OS-a **Scientific Linux** distribucije; Prilikom instalacije potrebno je odabrati neophodne opcije, kao i instalaciju OS-a bez GUI-a (zbog rasterećivanja noda).

2. Update **Scientific Linux-a**, najnovijim zakrpkama; Neophodno je u folder `/etc/yum.repos.d/` dodati niz sledećih fajlova:

- `glite.repo`
- `lcg-ca.repo`
- `jpackage5.0.repo`

Za update samog noda potrebno je izvršiti sledeću komandu: `yum update`. Pri izvršavanju ovih radnji potrebno je imati konekciju na internet, kako bi se potrebni fajlovi mogli preuzeti sa interneta.

3. Java 1.5 instalacija

Posle koraka 2. neophodno je izvršiti instalaciju Java 1.5 verzije. Prije same instalacije potrebno je preuzeti i JDK 5.0 Update.

4. Podešavanje kernela

Posle urađenog update-a kernela, vrši se podešavanje `/boot/grub/grub.conf` kako bi se postigla hadverska kompatibilnost, nakon čega je potrebno uraditi restart sistema.

5. Podešavanje samo pokretačkih servisa/*daemons*

Zajedno sa instalacijom pokreće se veliki broj programa, od kojih je većina nepotrebna pa je potrebno izvršiti njihovo isključivanje. Preporučljivo je izgasiti *auto update* opciju, jer može izazvati nevolje kada se pojave novi update paketi i počnu sa automatskom instalacijom.

6. Podešavanje fajl sistema

Ukoliko se koristi *shared file system* WN se mora konfigurisati da vrši njegovo maunтовanje automatski i sa potrebnim dozvolama za pristup jednom takvom fajl sistemu.

## 7. NTP konfiguracija

Koristi se komanda *Yum install ntp*, kao i niz manjih podešavanja.

## 8. Autorizovani Certifikati

U ovu svrhu se koristi komanda *Yum install lcg-CA*

## 9. Instalacija Dodatnih RPM paketa

Da bi uspješno instalirali glite-WN potrebno je uraditi instalaciju dodatnih paketa kao i perl-SOAP-Lite sa određenih lokacija.

## 10. Instalacija glite-WN i perl-SOAP-Lite

Komanda koja se koristi je : *yum install glite-WN glite-TORQUE\_client*

## 11. Priprema *conf* fajlova za novi WN

Neophodni *conf* fajlovi su: *site-info.def*, *wn-list.conf*, *users.conf* i *groups.conf*

## 12. Konfigurisanje WN-a

Završni korak instalacije je konfigurisanje WN-a. Za konfiguraciju neophodno je otkucati sledeće:  
*/opt/glite/yaim/bin/yaim -c -s <path to site-info.def> -n WN -n TORQUE\_client*.

Detalji o čitavoj instalaciji su na [6] i [7].

Po završenom konfigurisanju, *Worker Nod (WN)* je pušten u rad sa starim Grid sistemom. Prilikom ispitivanja rada novopostavljenog *Worker Nod-a* moguće je koristiti razne monitoring programe za mjerenje performansi. Mogućnost praćenja parametara sistema predstavlja ključnu funkcionalnost bilo kog sistema. U heterogenim i kompleksnim sistemima, kao što je Grid, ovo predstavlja fundamentalnu osobinu cijelog sistema. Monitoring sistem treba da sakuplja podatke sa svih resursa sistema, analizira upotrebu, iskorištenost i performance Grid-a, detektuje i obavještava o greškama resursa.

Pošto je novokonfigurisani *Worker Nod* ispunio sve uslove u pogledu performansi, poslužio je kao dobar i stabilan sistem, za kopiranje na ostale *Worker Nod* mašine.

Sa ovim potezom dobija se ušteda u vremenu kao i sigurnost da će preostale *Worker Nod* mašine raditi u Grid sistemu kao i *Worker Nod* sa kojeg je vršeno kopiranje.

## 5. ZAKLJUČAK

Instaliranjem i puštanjem u rad 10 novih WN mašina, sa boljim konfiguracijama od starih, značajno su poboljšane performanse akademskog klastera. Privremeno su iz sistema isključeni stari WN-ovi, tako da trenutno na akademskom klasteru radi 20 procesorskih jedinica, a uskoro se planira proširenje do 60. Skladišteni prostor je trenutno 0.6TB a u planu je proširenje do 2TB.

Iz prethodnog se može zaključiti da je Grid najsvueobuhvatniji vid distribuiranog računarstva koji trenutno može da se zamisli. Prednosti koje donosi su rješenje na mnoge probleme naučnika, institucija, kompanija i ustanova vezanih za nedostatak kompjuterske moći i skladištenog prostora, geografsku udaljenost, cijene superračunara i aplikacija...

## LITERATURA:

- [1] Wikipedia : Parallel Computing ,  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Parallel\\_computing](http://en.wikipedia.org/wiki/Parallel_computing)
- [2] SEE-GRID-2 : <http://www.see-grid.eu>
- [3] SEE-GRID-SCI : <http://www.see-grid-sci.eu>
- [4] <https://www.scientificlinux.org/>
- [5] Glite project, <http://glite.web.cern.ch/glite/>
- [6] [http://wiki.egee-see.org/index.php/SL4\\_WN\\_glite-3.1](http://wiki.egee-see.org/index.php/SL4_WN_glite-3.1)
- [7] [https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/LCG/GenericInstallGuide310#Introduction\\_to\\_Manual\\_Installat](https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/LCG/GenericInstallGuide310#Introduction_to_Manual_Installat)
- [8] Andrew S. Tanenbaum, Maarten van Steen, Distributed Systems: Principles and Paradigms

## PORTAL ZA NASTAVNIKE KAO VID ELEKTRONSKOG UČENJA PORTAL FOR TEACHERS AS A FORM OF eLEARNING

Marina Matijević, *Ministarstvo prosvjete i nauke CG*  
Božo Krstajić, *Elektrotehnički fakultet Podgorica*

**Sadržaj** – U ovom radu je prezentovan portal za nastavnike realizovan u okviru Ministarstvo prosvjete i nauke Crne Gore. Uvođenjem portala povećano je korišćenje blended metode učenja u obrazovnom sistemu Crne Gore. Navedene su prednosti uvođenja ovog portala i način na koji nastavnici mogu učestvovati u kreiranju sadržaja koji će biti na portalu.

**Abstract** – This paper presents the Portal for Teachers covered by Montenegrin Ministry of Education and Science. Introduction of the portal increased the use of the blended method of learning in the educational system in Montenegro. Advantages of the introduction of this portal are listed, as well as the ways the teachers can participate in creation of content that will be presented on the portal.

### 1. UVOD

**E-Learning** je sistem koji je u Europi jedan od vodećih trendova u obrazovanju. E-Learning se sastoji od multimedijjskih, interaktivnih lekcija o bilo kojoj temi informatičkog, jezičkog, poslovnog ili nekog drugog sadržaja koje polaznik dobija putem internet tehnologije.

Takav način učenja idealan je za sve one koji tempo učenja žele prilagoditi svojem predznanju i koji žele sami birati kada će, gdje i koliko učiti. Sadržaj je polazniku dostupan duži vremenski period, a može mu se pristupati neograničen broj puta, čime se smanjuje količina vremena koju efektivno troši na učenje. Tako polaznik brže prolazi kroz lakši dio gradiva i koncentriše se na onaj dio koji mu predstavlja veći problem. Putem e-Learninga moguće je postići ujednačen kvalitet obuke za veći broj polaznika u isto vrijeme, uz smanjenje troškova i vremena potrebnog za edukaciju. Na online sadržaju mogu lakše i češće da se rade izmjene dok se kod npr. udžbenika to može uraditi tek u sljedećem izdanju.

S druge strane, za iskorištavanje prednosti koje pruža e-Learning potrebna je velika samodisciplina. Zato se očekuje da polaznik tačno zna što želi i da mu je lično stalo do razvoja novih znanja i vještine, kako zbog vlastitog napretka, tako i zbog usavršavanja u poslu i obrazovanju. Portal je jedan vid e-learning-a.

Portal je sistem koji omogućuje centralizirano održavanje i razmjenu informacija i dokumenata s posebnim težištem na timski rad. On omogućuje integraciju s praktički bilo kojim vanjskim izvorom informacija i drugim aplikacijama. Portal unapređuje saradnju, omogućavajući brži i učinkovitiji pristup, upravljanje i interaktivan rad s dokumentima, programima i ljudima. Portal neprekidno spaja korisnike, timove i znanje kako bi se koristile informacije u poslovnim ili edukativnim procesima. Portal je rješenje koje integrira informacije iz različitih sistema na temelju jedinstvene prijave korisnika.

Portal za nastavnike je kreiran da bi objedinio sve nastavnike u Crnoj Gori na jednom mjestu kako bi mogli da

razmjenjuju iskustva i nalaze razne sadržaje kojim bi dopunili i poboljšali svoja predavanja.

### 2. TRADICIONALNI NAČIN UČENJA

Tradicionalni način učenja (obuka u učionici) svoju najveću vrijednost iskazuje u socijalnom elementu okruženja u interakciji s predavačem. Znamo da je učenje socijalni proces, dakle, socijalni aspekt učionice je najveći plus tradicionalnog pristupa. Polaznici se nalaze među sebi ravnima, među osobama od kojih ne moraju zazirati ili ih se plašiti. Obračanje susjednoj klupi radi objašnjenja ili pomoći normalan je postupak u učionici. Slično je i sa postavljanjem pitanja predavaču – on je zato tu. Ipak, tradicionalan način učenja je u današnjim uslovima ubrzanja svih procesa, pa tako i procesa učenja, odavno došao do svojih granica.

Tradicionalni način učenja je objektivno najkvalitetniji oblik obrazovanja – ali i najskuplji. Naprosto zato što posjeduje fiksne troškove: prostor, oprema, predavače – a sve to često i za polupraznu učionicu. Kod seminara koji se održavaju na tradicionalni način polaznici moraju putovati, jer manje sredine ne mogu priuštiti održavanje takvih, nerentabilnijih programa. Ovi troškovi se dobrim dijelom mogu smanjiti uvođenjem video konferencijskog sistema. Na prvi pogled ovaj sistem djeluje skup, međutim on za veoma kratko vrijeme postane isplativ.

Budućnost učionice je izvjesna: ona ostaje s nama! Međutim, bit će je manje i polaznici će se u njoj zadržavati kraće. Ona će svoje mjesto naći u tzv. „blended“ modelu, koji spaja učenje u učionici i učenje putem internet tehnologije. Praksa je pokazala da taj model daje najbolje rezultate.

### 3. E-LEARNING (ELEKTRONSKO UČENJE)

Nagli porast e-Learninga na globalnom tržištu može se zahvaliti nekim ključnim prednostima koje e-Learning pruža u odnosu na klasičnu obuku u učionicama. E-Learning polazniku takvog oblike obuke omogućuje izbor mjesta, vremena i količine, tj. trajanja pojedinih seansi učenja, šta želi učiti (sloboda odabira šta želi učiti u konkretnom trenutku). Pored toga, ovaj način učenja pruža mogućnost

osvježavanja znanja kroz duži period i nakon kompletiranja neke obuke, seminara. Takođe, e-Learning omogućuje pristup udaljenim korisnicima, kojima je preskupo ili na neki drugi način neprihvatljivo putovanje do mjesta obuke. Pored toga što ovakav način obuke smanjuje troškove i vrijeme, on pruža polaznicima ujednačen kvalitet obuke, kao i mogućnost samoprovjere usvojenog znanja.

E-Learning polaznika pretvara iz pasivnog posmatrača u aktivnog učesnika, prikazuje simulirane, stvarne situacije, omogućuje polazniku smislenu procjenu znanja i testiranje, omogućuje polazniku da dobije pravovremenu pomoć mentora te dopušta polaznicima da saraduju međusobno i sa stručnjacima prati korisnikov napredak i njegova dostignuća. Valja naglasiti da e-Learning neće nadomjestiti klasične obrazovne modele koji se već godinama primjenjuju, nego će poslužiti kao dopuna ili drugi izbor.

Naravno da tradicionalni način učenja nikada neće nestati, jer pruža određen kvalitet i komfor koju neće biti lako ili moguće dostići tehnologijom, ali takav oblik obuke ostat će dominantan kod obrazovnih programa s većom dodatnom vrijednošću (npr. tamo gdje se zahtijeva izuzetno veliko znanje predavača, te intenzivna interaktivna komunikacija s polaznicima) ili u okolnostima u kojima polaznička populacija teže prihvaća koncept i tehnologiju e-Learninga.

Prednosti i osobine koje karakterišu e-Learning sisteme su:

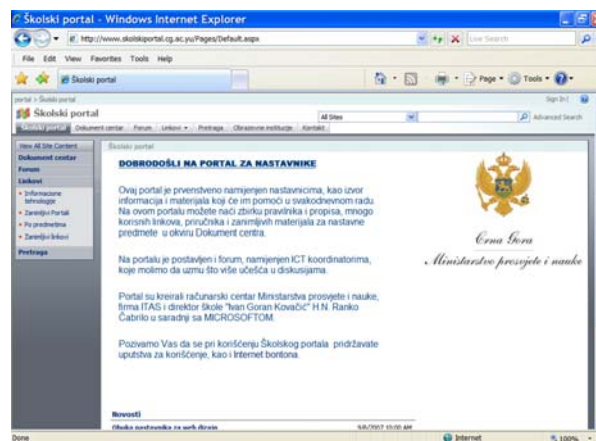
- korisnik se posmatra kao aktivni učesnik
- povećana interaktivnost obrazovanja prikazom simulacija realnih situacija
- omogućava korisniku procjenu znanja i testiranje
- omogućava korisniku da dobije pravovremenu pomoć mentora
- omogućava međusobnu saradnju korisnika sa stručnjacima
- obrazovanje je efikasno, dakle uz minimalno utrošeno vrijeme postiže se maksimalni učinak
- obrazovanje je efektivno, postiže učinak od kojeg će ustanove i preduzeće imati vidljivu korist
- troškovi se smanjuju u donosu na tradicionalnu nastavu (prostor, putni troškovi, oprema, smještaj, predavači)
- nivo znanja nakon obrazovanja je veći ili jednak alternativnom tradicionalnom načinu učenju u učionici
- omogućava istovremenu distribuciju znanja, na nivou organizacije i povećava korisnost informacije.

Pored prednosti, postoje i poteškoće, pa čak i nedostaci ovakvih sistema, ali se primjenom standarda i dobrim planiranjem i razvojem sadržaja mogu uspješno prevazići. Neke od mogućih poteškoća i problema u procesima kreiranja i implementacije su:

- loša analiza problema i potreba, neprikladne strateške i dizajnerske odluke vezano za strukturu sadržaja, izbor metoda i medija koji će se koristiti, te upravljanje sadržajem i evaluacija;
- nedostatak uputstva, greške u razvoju važnih elemenata sistema, manjak evaluacije i revizije sistema uputstava, a time i izostanak poboljšavanja sistema.

#### 4. PORTAL ZA NASTAVNIKE

Ministarstvo prosvjete i nauke Crne Gore pokriva veliki broj resursa kako ljudskih tako i materijalnih. U sistemu obrazovanja imamo oko 120 000 učenika u svin nivoima obrazovanja i oko 20 000 zaposlenih. Ukupno imamo 162 osnovne škole, 49 srednjih škola, 21 vrtić i 15 muzičkih škola; zbog čega Ministarstvo prosvjete i nauke ima veliki i raznoliki sklop poslova i službi. Iz navedenih podataka se zaključuje da je veoma kompleksan i obiman posao vođenja strategije i nadzora kompletnog obrazovnog procesa počevši od predškolskog obrazovanja, pa do univerziteta. Za bolje funkcionisanje, jednog dijela, jednog ovako velikog segmenta društva kao što je obrazovanje kreiran je portal za nastavnike. Adresa tog portala je [www.skolskiportal.edu.me](http://www.skolskiportal.edu.me), a izgled početne stranice je dat na slici 1.



Slika 1. Početna strana Portala za nastavnike

Portal bi trebao da unaprijedi korišćene ICT-a i približi informatički svijet i njegove mogućnosti nastavnom kadru i drugim subjektima u obrazovanju, što bi podiglo nivo informatičkog znanja.

Portal treba da omogući nastavnicima da kao korisnici portala mogu objavljivati radove i svoja predavanja. Takođe treba da omogući razmjene ideja, znanja i iskustava nastavnika, da podstakne nastavni kadar na rad s Internetom, upoznavanje s novim tehnologijama i sticanje novih znanja i iskustava, kao i da omogući i podstakne nove oblike stvaralaštva nastavnika u raznim područjima obrazovanja. Na školskom portalu će biti omogućen lak izbor i preuzimanje (download) didaktičkog softvera, kao i lista korisnih linkova. Korist uvođenja ovog portala bila bi višestruka, naročito sa planiranim razvojem e-learning sistema i ostalih korisničkih servisa koji bi bili dostupni nastavnom kadru.

Na ovom portalu se nalaze: dokument centar, forum i linkovi. U dokument centru moći će se naći didaktički softver za razne predmete, opšti dokumenti, priručnici i propisi (zakoni i pravilnici). Forum je namjenjen ICT koordinadorima kojih ima u 80% škola (u toku je obuka za ICT koordinatore za ostalih 20% škola). Pomoću foruma i uz pomoć mnogih priručnika poboljšat će se održavanje računarske opreme, mreže i Interneta u školama. Među linkovima mogu se naći linkovi iz informacionih tehnologija, linkovi podjeljeni po predmetima, linkovi sličnih portala zemalja iz okruženja kao i

ostali zanimljivi linkovi. Pored navedenog, na portalu se nalazi i spisak svih obrazovnih institucija u Crnoj Gori sa linkovima ka njihovim sajtovima, kao i kontakti Odjeljenja za informaciono-komunikacione tehnologije Ministarstva prosvjete i nauke koje će vršiti tehničko održavanje ovog portala.

U decembru 2008. godine usvojena je strategija uvođenja didaktičkog softvera u obrazovni sistem, gdje se didaktički softver posmatra kao didaktički softver u širem smislu i didaktički softver u užem smislu. Didaktički softver u širem smislu predstavlja softveri koji se mogu koristiti kao alati u procesu nastave (alati za izradu standardnih dokumenata, tabelarnih proračuna, prezentacija, grafičku obradu, statičke i dinamičke web prezentacije, dizajn i obradu slike, LMS, učenje na daljinu itd.). Didaktički softver u užem smislu predstavlja softver za nastavne predmete ili za neke interesantne oblasti značajne za proces obrazovanja i vaspitanja, kao i didaktički softver za usavršavanje nastavnika. Pored toga, didaktički softver u užem smislu obuhvata i sve vidove didaktičkog e-materijala, počevši od digitalizovanog udžbenika, e-testova za razne predmete itd. Na portalu za nastavnike pod didaktičkim softverom smatra se didaktički softver u užem smislu.

Portal je postavljen na Windows 2003 Server platformi na kojoj je instaliran SQL Server 2000 i IIS servis. Portal je rađen u Microsoft Office SharePoint Server-u. Da bi se mogao postaviti didaktički softver ili rad na portalu potrebno je da korisnik ima username i password.

U slučaju portala za nastavnike username i password imaju školski ICT koordinatori. Ukoliko nastavnici imaju neki rad koji žele da objave na portalu, potrebno je da ga dostave školskim ICT koordinatorima. Školski ICT koordinatori, zajedno sa predmetnim aktivima procjenjuju i prosljeđuju prihvatljive predloge glavnim koordinatorima iz Zavoda za školstvo ili Centra za stručno obrazovanje (u zavisnosti od nastavnog predmeta). Ovi koordinatori razmatraju predloge zajedno sa nadzornicima za nastavne predmete i u slučaju da je softver ili rad prihvatljiv, vrše postavljanje didaktičkog softvera ili rada na portal. Da bi se objavio neki rad na portalu potrebno je pronaći mjesto gdje taj rad treba da stoji. Npr. ukoliko je potrebno postaviti dokument u kome se nalaze zadaci iz excel-a a predviđeni su za srednju školu, potrebno se naći u Didaktički softver\Srednje škole\Informatika. Nakon toga odabrati opciju Upload pa Upload Docunemt. Pronaći dokument koji je potrebno objaviti sa računara i potvrditi na OK. Na portalu su definisana prava i ograničenja za korisničke naloge. Pa tako, brisanje sa portala nije omogućeno korisnicima već samo administratoru portala. Administrator portala je Odjeljenje za ICT Ministarstva prosvjete i nauke CG. Isto

tako postoje ograničenja korisnika u smislu da ne mogu da objave ništa u djelu predviđenom za propise.

Trenutno svi školski ICT koordinatori imaju kreirane naloge za korišćenje portala i upoznaju se sa njegovim funkcijama i cijelom ovom idejom. Ministarstvo prosvjete i nauke planira da animira nastavnike i učenike da istražuju i sami kreiraju didaktički softver i u tom smislu vrši izbor i nagradivanje najboljih e-materijala, odnosno didaktičkih softvera.

## 5. ZAKLJUČAK

Za jedan ovako veliki sistem kao što je obrazovanje, uvođenje portala za nastavnike je veoma značajno. On može da unaprijedi korišćene ICT-a i približi informatički svijet i njegove mogućnosti nastavnom kadru. Isto tako može da služi i za poboljšanje kvaliteta nastave ili kao dopuna tradicionalnom načinu održavanja nastave.

Uvođenje portala za nastavnike je naišlo na veoma pozitivne kritike od strane školskih ICT koordinatora. Uz pomoć ovog portala olakšano je održavanje računarske opreme, mreže i Interneta u školi. Pored školskih ICT koordinatora, sa portalom se u zadnje vrijeme upoznao i određeni broj nastavnika koji su takođe imali pozitivne kritike a poneki su već dali svoje ideje i komentarisali na koji način oni vide da mogu da iskoriste prednosti jednog ovakvog portala.

## LITERATURA

- [1] "Beyond E-Learning", Marc J. Rosenberg; John Wiley & Sons, 2006.
- [2] <http://edupoint.carnet.hr/casopis/broj-08/clanak-02/index.html> ;
- [3] <http://www.edukacija.net/Default.aspx?tabId=9&ItemID=16&mid=33>.
- [4] [http://hr.wikipedia.org/wiki/Web\\_portal](http://hr.wikipedia.org/wiki/Web_portal)
- [5] [http://searchciomarket.techtarget.com/sDefinition/0..sidd183\\_gci212810.00.html](http://searchciomarket.techtarget.com/sDefinition/0..sidd183_gci212810.00.html)
- [6] [www.skolskiportal.edu.me](http://www.skolskiportal.edu.me)
- [7] Strategija uvođenja didaktičkog softvera u obrazovni sistem Crne Gore, Ministarstvo prosvjete i nauke Crne Gore, Podgorica 2008.



## PRIMJER HARDVERSKJE REALIZACIJE SCHEDULER-A CROSSBAR KOMUTATORA AN EXAMPLE OF CROSSBAR SWITCH SCHEDULER HARDWARE IMPLEMENTATION

Milutin Radonjić, Igor Radosinović, *Elektrotehnički fakultet Podgorica*

**Sadržaj** – U ovom radu je prikazan jedan način hardverske realizacije scheduler-a crossbar komutatora. Izabran je scheduler za 4x4 Virtual Output Queueing (VOQ) crossbar komutator, zasnovan na Longest Port First (LPF) algoritmu. Prikazan je i objašnjen način funkcionisanja VOQ bafera i izabranog algoritma, kao i projektovana arhitektura schedulera. Konačno, dat je i primjer izgleda najvažnijih signala dobijenih na osnovu simulacije uniformnog saobraćaja.

**Abstract** – In this paper, an example of crossbar switch scheduler implementation is presented. A 4x4 scheduler with Virtual Output Queueing (VOQ), based on Longest Port First (LPF) algorithm is implemented. VOQ buffering, selected algorithm and scheduler architecture are shown and explained. Finally, an example of major signals diagrams, obtained by simulation on uniform traffic model, is presented.

### 1. UVOD

Sa naglim povećanjem količine saobraćaja na Internetu javlja se i potreba za boljim performansama komutatora paketa. U poslednje vrijeme vrše se intenzivna istraživanja u domenu projektovanja komutacionih polja kako bi se dobili uređaji koji mogu odgovoriti savremenim zahtjevima u pogledu količine saobraćaja.

Jedna od najčešće korišćenih arhitektura za realizaciju brzih komutatora je crossbar arhitektura. Crossbar komutator je interesantan za realizaciju zbog svoje jednostavnosti. Uobičajeno je da se komutacija vrši nad paketima fiksne veličine (uobičajen naziv "čelija"). Paketi promjenljive veličine se na ulazu segmentiraju na ćelije, prenesu kroz komutator i ponovo spajaju u početne pakete na izlazu.

U početku, baferi koji prihvataju pakete na ulazu bili su organizovani u vidu seta ulaznih redova. Svaki ulazni port imao je pridružen ulazni red u koji su se smještali paketi koji čekaju da budu prosljeđeni kroz komutacionu matricu. Međutim, sistemi koji koriste ulazne redove imaju problem zagušenja, u literaturi poznat kao Head-Of-Line (HOL) blokiranje [1, 2]. Ovaj problem se u suštini svodi na to da prvi paket u nizu, koji trenutno ne može biti prosljeđen zbog zauzetosti komutatora ili izlaznog porta, blokira pakete koji se nalaze iza njega iako bi neki od njih mogao biti prosljeđen. Dokazano je da maksimalna propusnost komutatora sa ulaznim redovima, zbog HOL efekta, ne prelazi 58%.

Ovaj problem se može otkloniti korišćenjem izlaznog baferovanja. Međutim, ovakav pristup je izrazito nepogodan za praktičnu realizaciju jer zahtijeva da komutator radi jako velikom brzinom. Naime, on mora biti u stanju da radi  $N$  puta većom brzinom nego što je brzina funkcionisanja ulaznih i izlaznih portova, gdje je  $N$  broj portova komutatora.

Zato se danas uglavnom primjenjuje koncept virtuelnog izlaznog baferovanja (VOQ- Virtual Output Queueing) koji otklanja problem HOL blokiranja, a ne zahtijeva mnogostruko veću brzinu: [2]-[5]. Kod VOQ baferovanja svaki ulazni port

upravlja sa onoliko redova čekanja koliko ima izlaznih portova. Pristigli paket se odmah smješta u red koji odgovara njegovoj destinaciji. Na taj način se u jednom redu nalaze paketi namijenjeni za isti izlaz, tako da ne može doći do HOL blokiranja.

Na osnovu sadržaja redova čekanja potrebno je upravljati komutacionim poljem kako bi se na optimalan način paketi prosljeđili na svoje odredište. Algoritmi upravljanja se generalno mogu podijeliti u dvije klase: težinski i netežinski. Među netežinskim algoritmima najpoznatiji su Parallel Iterative Matching (PIM) i Round Robin Matching (RRM) [2] klase algoritama. Najpoznatiji težinski algoritmi su: Longest Queue First (LQF), Oldest Cell First (OCF) i Longest Port First (LPF) [3]. Naravno, svi ovi algoritmi imaju više podvarijanti.

U ovom radu prikazana je realizacija scheduler-a namijenjenog za VOQ crossbar komutator i LPF algoritam arbitracije. Korišćene su dvije varijante LPF algoritma: iterativni LPF [4] i Longest Input Port First with Throughput Maximization (LIPFwTM) [5]. Hardverska implementacija scheduler-a je identična za oba algoritma, a razlika je u parametrima koje ulazni interfejs prosljeđuje scheduler-u.

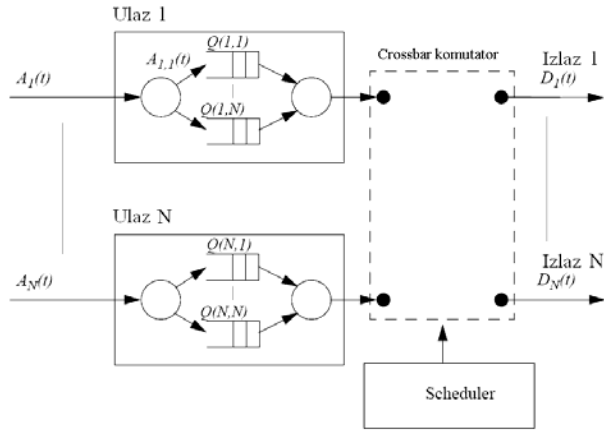
Na početku rada je, u poglavlju 2, objašnjen način funkcionisanja VOQ crossbar komutatora. Zatim su, u poglavlju 3, izloženi LPF i LIPFwTM algoritmi. U poglavlju 4 je prikazana arhitektura projektovanog scheduler-a, a u poglavlju 5 približena njegova implementacija. Analiza ponašanja schedulera u pogledu zahtjeva za memorijskim resursima izložena je u poglavlju 6. Na kraju su date zaključne napomene.

### 2. VOQ CROSSBAR SWITCH

Osnova realizacije VOQ komutatora je šema prikazana na slici 1. Mogu se identifikovati tri cjeline: komutaciono polje, centralizovani scheduler i ulazni odnosno izlazni portovi.

Za komutaciono polje je izabrana crossbar matrica, čija je principna šema prikazana na slici 2. U svakoj ukrasnoj tački

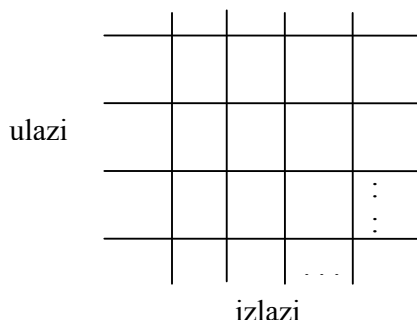
moguće je ostvariti vezu između pripadajućeg ulaza i izlaza. Ovo polje se može realizovati pomoću elektronskih prekidača u svakoj ukrasnoj tački. Međutim, kada se radi o digitalnim signalima lakše je implementirati crossbar matricu korišćenjem onoliko multipleksora koliko ima izlaznih portova sa onoliko ulaza po multipleksoru koliko ima ulaznih portova.



Slika 1 – Model VOQ komutatora

Svaki ulazni port upravlja sa  $N$  FIFO redova, pri čemu je  $N$  broj izlaznih (i ulaznih) portova. Dakle, za svaki izlaz predviđen je po jedan FIFO red na svakom ulazu. Na primjer, za ulaz  $i$  redovi su:  $Q_{i,1}, Q_{i,2}, \dots, Q_{i,N}$ . Obzirom da su redovi vezani za izlaze, a fizički se nalaze na ulazu, nazvani su virtuelnim izlaznim redovima.

$A_i(t)$  je dolazni saobraćaj na ulaznom portu  $i$  do trenutka  $t$ . Vremenski domen se dijeli u takozvane slotove u kojima se prihvata maksimalno jedna ćelija po ulaznom portu. Ta ćelija se smješta u odgovarajući red prema njenom odredištu. Dakle,  $Q_{i,j}$  je FIFO red na ulazu  $i$  u kome se čuvaju ćelije namijenjene za izlaz  $j$ .



Slika 2 – Crossbar komutaciono polje

Za vrijeme svakog vremenskog slotu scheduler provjerava stanje u virtuelnim izlaznim redovima. Na osnovu informacije o zauzetosti redova, scheduler bira kombinaciju puteva ulaz-izlaz koja će ostvariti prenos u tom vremenskom slotu. Pri tome, jedan ulaz može biti povezan samo na jedan izlaz i obrnuto. Ćelije koje su prve u redu čekanja na izabranim ulazima napuštaju redove i bivaju prenesene, preko konfigurisanog komutacionog polja na odgovarajuće izlaze.

### 3. SCHEDULING ALGORITMI

Izbor spojnih puteva ulaz-izlaz može se obaviti na razne načine. U prikazanoj implementaciji odabran je LPF [4] algoritam. Kod njega se izbor vrši na osnovu podataka o dužini ulaznog i izlaznog porta. Pod dužinom ulaznog porta podrazumijeva se ukupan broj ćelija koje se nalaze u FIFO redovima vezanim za taj ulazni port. Dužina (virtuelnog) izlaznog porta je ukupan broj ćelija koje se nalaze u svim FIFO redovima a namijenjene su za taj izlazni port. Prednost u komunikaciji imaju oni ulazni i izlazni portovi čija je dužina najveća.

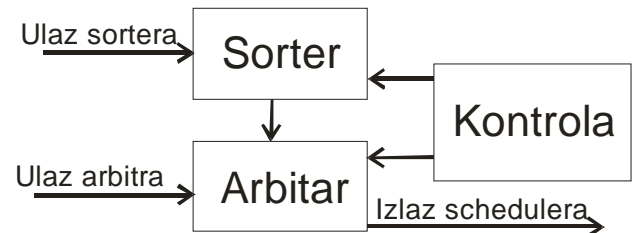
Postoje mnoge varijacije ovog algoritma, ali se pokazuje da najbolje performanse daje LIPFwTM [5, 6]. Kod ovog algoritma se scheduler-u takođe prosleđuje dužina ulaznog porta. Međutim, umjesto dužine izlaznog porta prosleđuje se broj virtuelnih izlaznih redova koji nisu zauzeti. Prioritet imaju oni ulazni portovi čija je dužina najveća i oni izlazni portovi koji imaju najviše praznih virtuelnih izlaznih redova.

Kako oba algoritma odlučuju na osnovu dva parametra po svakom portu i to po istom kriterijumu (kriterijum maksimuma) to znači da se može koristiti identičan scheduler, kome će ulazni interfejs prosljediti potrebne podatke o VOQ.

### 4. ARHITEKTURA SCHEDULER-A

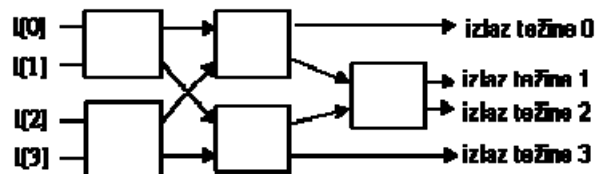
U ovom dijelu je prikazana implementacija crossbar schedulera  $4 \times 4$ , zasnovanog na VOQ i LPF baziranim algoritimima. Scheduler je projektovan koristeći Verilog u Xilinx-ovom integrisanom razvojnom okruženju [8].

Blok dijagram je prikazan na slici 3. Scheduler se sastoji od tri funkcionalne cjeline: kola za sortiranje, arbitra i kontrolne logike koja upravlja radom uređaja.



Slika 3 – Blok dijagram schedulera crossbar komutatora

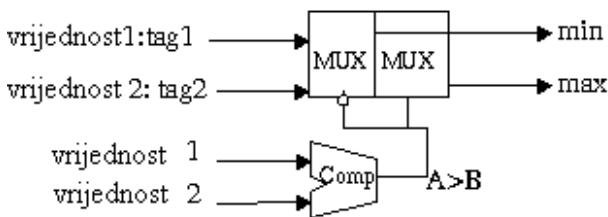
Ulazi kola za sortiranje su dužine portova o kojima je bilo riječi u prethodnim poglavljima. Izlaz sortera su sortirane ulazne vrijednosti. Realizacija ovog kola predstavlja varijantu Batcher sortera [9] i njegova šema prikazana je na slici 4.



Slika 4 – Mreža za sortiranje



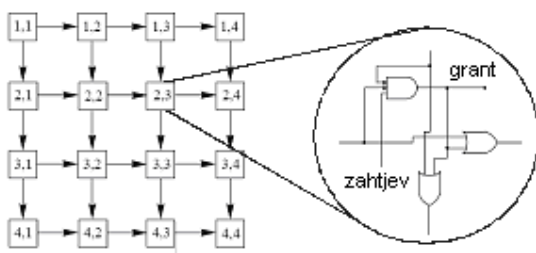
Izgled jednog čvora mreže za sortiranje prikazan je na slici 5. Sortiranje se vrši na osnovu dužine portova ali od interesa nisu vrijednosti tih dužina već indeksi portova. Znači, kolo za sortiranje će poredati indekse portova saglasno dužinama tih portova na njegovom ulazu.



Slika 5 – Jedan čvor mreže za sortiranje

Pošto treba sortirati dvije grupe nezavisnih podataka (ulazne i izlazne portove) treba implementirati dva ovakva sortera, da bi se posao obavio simultano. Međutim, kako bi se uštedjelo na broju logičkih kapija i dobilo jednostavnije rješenje, ovdje je implementiran samo jedan sorter. Dvije grupe podataka se zato sortiraju u vremenski pomjerenim trenucima u okviru istog slota. U tu svrhu postavljeni su memorijski elementi (latch-evi) na ulazu i izlazu sortera.

Izlaz sortera dovodi se na arbitar. Osim toga, na ulaz arbitera dovodi se i matrica zahtjeva za saobraćajem. Ova matrica sadrži informaciju o zauzetostima VOQ-ova. Element matrice  $R_{ij}$  predstavlja podatak o tome da li ima ćelija koje čekaju da sa ulaznog porta  $i$  budu prenesene na izlazni port  $j$ . Matrica zahtjeva se prvo preuredi po redovima tako da ulazni port sa najvećom dužinom dođe u red 0, a onaj sa najmanjom dužinom u red 3. Nakon toga, preuređenje se vrši po kolonama, na isti način. Preuređena matrica se dovodi na kolo za arbitražu, prikazano na slici 6.



Slika 6 – Kolo za arbitražu

Ovo kolo je u literaturi poznato kao Wave Front arbitar [3, 10]. Ćelija  $i,j$  odgovara elementu preuređene matrice zahtjeva  $R_{ij}$  (označimo je sa  $T_{ij}$ ). Ako je element matrice  $T$  nula onda se na ulaz označen sa "zahtjev" dovodi logička nula, a u suprotnom se dovodi logička jedinica. Kod Wave Front arbitera prioritet je definisan položajem ćelije. Ćelije iznad imaju veći prioritet u odnosu na one ispod, kao i ćelije lijevo u odnosu na one desno. To znači da ćelija 1,1 sa slike 6 ima najveći prioritet, a ćelija 4,4 najmanji.

Svaka ćelija, kao što je prikazano na slici, ima tri ulaza. Jedan je ulaz sa lijeve strane koji signalizira da li je već neka od ćelija ulijevo u istom redu prihvatila zahtjev za prenosom. Drugi je ulaz sa gornje strane koji signalizira da li je neka od

ćelija iznad u istoj koloni prihvatila zahtjev za prenos. Treći ulaz je rezervisan za odgovarajući element matrice zahtjeva. Ako prva dva ulaza nisu postavljeni na jedinicu (znači da u pripadajućoj vrsti i koloni nema prihvaćenih zahtjeva) i na toj ćeliji postoji zahtjev on će biti odobren, tj. prenijeće se paket sa ulaza na izlaz koji odgovaraju tom elementu.

Svaka ćelija ima i tri izlaza: jedan ka dolje, jedan desno i "grant" izlaz. Izlaz ka dolje će biti aktivan ako je prihvaćen neki zahtjev iznad ili na samoj posmatranoj ćeliji, kako bi signalizirao tu činjenicu ćelijama ispod nje. Slično važi za signal ka desnoj strani, koji signalizira ćelijama nadesno da je prihvaćen zahtjev u toj vrsti.

Grant izlaz signalizira da li je došlo do prihvatanja zahtjeva  $T_{ij}$ . Znači da je izlaz kola za arbitražu matrica grantova koja odgovara matrici  $T$ . Ovu matricu treba permutovati u obrnutom postupku u odnosu na prethodnu permutaciju, kako bi se dobila matrica koja odgovara matrici zahtjeva  $R$ . Dobijena permutovana matrica grantova predstavlja izlaz cjelokupnog scheduler-a.

## 5. HARDVERSKA IMPLEMENTACIJA

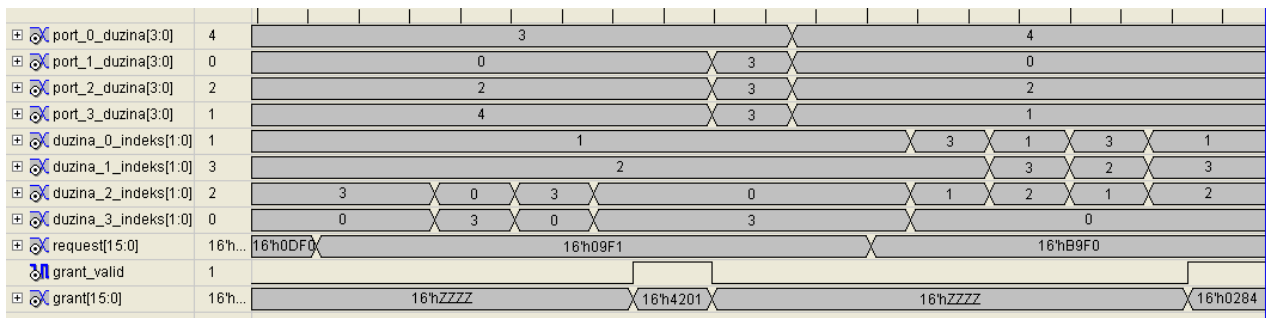
Kao što je već rečeno, u ovom radu je implementiran scheduler 4x4 crossbar komutatora. Iz razloga jednostavnosti izabrano je da maksimalna dužina porta može biti 15. To znači da je predviđeno da se informacija o dužini porta prenosi preko četiri linije po portu. Dakle, na ulazu se nalazi 16 linija za prenos informacije o dužinama ulaznih portova. Pošto se isti hardver koristi za sortiranje i ulaznih i izlaznih portova, ovih istih 16 linija se koristi i za informacije o dužinama izlaznih portova.

FPGA kolo koje je korišćeno u razvoju ovog scheduler-a je XC3S200 iz Xilinx-ove Spartan 3 serije. Na osnovu njegovih parametara izvršena je tzv. simulacija ponašanja (behavioural simulation) nad uzorkom saobraćaja. Dijagram nekih od signala pri završetku simulacije, podrazumijevajući uniformni saobraćaj sa deset hiljada vremenskih slotova, pri ulaznom opterećenju od 0,8, dat je na slici 7.

Signal sa oznakom *request* je matrica zahtjeva, o kojoj je ranije bilo riječi, a koja se formira na osnovu zauzetosti redova čekanja. Ovaj signal ima 16 linija (4x4) i predstavlja ulaz arbitera (slika 3). Signali *port\_i\_duzina* ( $i = 0, 1, 2, 3$ ) su dužine ulaznih odnosno izlaznih portova koje se prosleđuju scheduler-u. Dakle, ovi signali su ulaz sortera (slika 3). Signali *duzina\_i\_index* ( $i = 0, 1, 2, 3$ ) su rezultat rada sortera i dovode se na arbitar. To su indeksi portova poredani saglasno dužinama tih portova. Signal *grant\_valid* označava da je tekuća arbitracija završena i da je matrica grantova (signal *grant*) formirana.

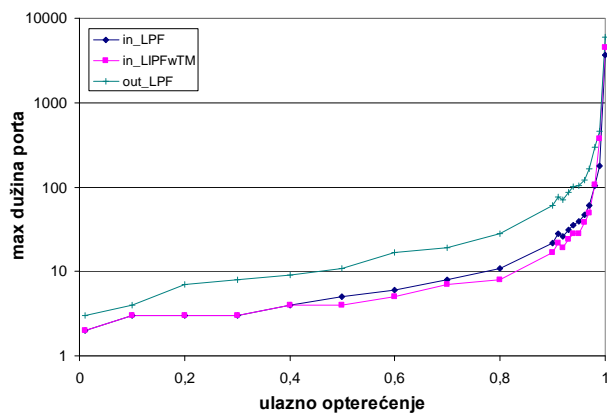
## 6. ANALIZA PERFORMANSI

Budući da je kod realizovanog scheduler-a dužina porta ograničena na 15 slotova, postavlja se pitanje da li će i koliko ćelija biti odbačeno uslijed prekoračenja maksimalne moguće dužine porta.



Slika 7 – Izgled najvažnijih signala nakon simulacije

Tokom simulacije ponašanja schedulera u slučaju uniformnog saobraćaja moguće je posmatrati koliki su zahtjevi za veličinom ulaznog bafera, tj. dužinom portova. Na slici 8 prikazani su dijagrami maksimalnih vrijednosti dužine portova, za oba posmatrana algoritma, dobijenih za vrijeme simulacije pri uniformnom saobraćaju na deset miliona vremenskih slotova.



Slika 8 – Maksimalne dužine portova

Na slici nema maksimalne dužine izlaznog porta kod LIPFwTM algoritma. Kao što je u poglavlju 3 rečeno, kod ovog algoritma se ne prosleđuje dužina izlaznih portova već broj praznih virtuelnih izlaznih redova. Taj broj mora biti manji ili jednak broju portova. Dakle, maksimalna vrijednost je 4 što znači da su dovoljne tri ulazne linije po portu.

Kao što se sa slike može vidjeti, hardverski zahtjevi su mnogo veći u slučaju LPF algoritma, što znači da je LIPFwTM algoritam pogodniji za realizaciju scheduler-a. Kod implementiranog LIPFwTM algoritma se može ostvariti komutacija bez izgubljenih paketa, uslijed prekoračenja dužine bafera, sve do ulaznog opterećenja od 0,9. Više detalja o sprovedenoj analizi performansi crossbar komutatora sa LPF algoritmima raspoređivanja se može naći u [6].

## 7. ZAKLJUČAK

Iz izloženog se može zaključiti da se pomoću savremene tehnologije može realizovati relativno komplikovana arhitektura u okviru samo jednog FPGA kola. Zahvaljujući moćnom razvojnom okruženju, moguće je provjeriti ponašanje projektovanog uređaja i prije nego se izvrši njegova fizička realizacija. Ovo se obavlja setom složenih

simulacija.

Kod projektovanog scheduler-a pokazano je da LIPFwTM algoritam predstavlja bolji izbor za implementaciju. On ispostavlja manje zahtjeve za dužinama portova, odnosno za brojem ulaznih linija u scheduler. Zato je i sorter jednostavniji za implementaciju.

Iz dostupne literature [3, 5] može se vidjeti da LIPFwTM algoritam ima prednost nad LPF algoritmom i prilikom analize drugih parametara (srednje kašnjenje paketa, vjerovatnoća gubitka, propusnost) za ocjenu rada scheduler-a.

## LITERATURA

- [1] M. Karol, M. Hluchyj, S. Morgan, "Input versus output queueing on a space division switch", IEEE Transactions on Communications, 1987, pp. 1347-1356.
- [2] N. McKeown, "Scheduling non-uniform traffic in high speed packet switches and routers", PhD. Thesis, Stanford University, 1998.
- [3] A. Mekkittikul, "Scheduling algorithms for Input-Queued Cell Switches", PhD. Thesis, University of California at Berkeley, 1995.
- [4] A. Mekkittikul, N. McKeown, "A Practical Scheduling Algorithm to Achieve 100% Throughput in Input-Queued Switches", IEEE Infocom 98, San Francisco, April 1998, Vol 2, pp. 792-799.
- [5] N. H. Liu, K. L. Yeung, D. C. W. Pao, "Scheduling Algorithms for Input-queued Switches with Virtual Output Queueing", Proc. Of ICC'2001, Helsinki, Finland, June 2001.
- [6] M. Radonjic, I. Radusinovic, Z. Veljovic, "Performance Analysis of LPF Based VOQ Crossbar Switches", EUROCON 2009, Saint-Petersburg, Russia, May 2009, Prihvaćeno za izlaganje.
- [7] I. Radusinović, Z. Veljović, M. Pejanović, Z. Petrović, "Impact of Scheduling Algorithms of Performances of Buffered Crossbar Switch Fabric", IEEE ICC 2002, New York, USA, April 2002.
- [8] www.xilinx.com
- [9] K. E. Batcher, "Sorting networks and their applications", Spring Joint Computer Conference, AFIPS Proc. vol. 32, pp 307-314, 1968.
- [10] H. C. Chi, Y. Tamir, "Starvation prevention for arbiters of crossbars with multi-queue input buffers", Proc. of COMPCON '94, San Francisco, February 1994, pp. 292-297

## SCTP - NOVI IGRAČ NA TRANSPORTNOM SLOJU SCTP - NEW PLAYER ON TRANSPORT LAYER

Vladan Mijović, *Crnogorski Telekom*  
Božo Krstajić, *Elektrotehnički fakultet u Podgorici*

**Sadržaj** – SCTP (*Stream Control Transport Protocol*) je novi protokol na transportnom sloju, koji pokušava da nađe svoje mesto u svetu Interneta. U ovom radu su predstavljene karakteristike ovog protokola kroz poređenje sa, do sada neprikosnovanim vladarom četvrtog sloja, TCP (*Transmission Control Protocol*) protokolom. Nakon kratkog pregleda osnovnih funkcija TCP i SCTP protokola, opisan je alat koji je korišćen za njihovo poređenje - NS-2 simulator. Analiziraju se dobijeni rezultati poređenja po pitanju protoka (*throughput*) i prezentuju se zaključci.

**Abstract** - SCTP (*Stream Control Transport Protocol*) is a new protocol on the transport layer, which is trying to find its own place in the world of Internet. The paper presents the features of this protocol through the comparison with, so far unprecedented ruler of the forth layer, TCP (*Transmission Control Protocol*) protocol. After a brief review of TCP and SCTP protocols basic functions, tool that was used for comparison – NS-2 simulator is described. Results of comparisons are analysed and conclusions are presented.

### 1. UVOD

Internet je zasnovan na paketskom prenosu podataka preko IP (*Internet Protocol*) protokola koji je uz svoja unapređenja uspeo da se održi kao dominantno rešenje preko dvadeset godina. Glavni razlog uspeha je prilagodljivost, otvorenost standarda koji ga definiše i spremnost IETF (*Internet Engineering Task Force*) [1] organizacije da dovoljno brzo kreira i usvaja neophodne promene. Iz perspektive nivoa mreže saobraćaj se prenosi IP protokolom koji pruža servis najboljeg pokušaja (*best effort*) bez uspostave konekcije (*connectionless*). Takav prenos informacija omogućava izuzetnu efikasnost. Paketi mogu da koriste sav raspoloživi kapacitet mreže na svom putu do odredišta. Komutacija paketa je veoma fleksibilna jer paketi različitih konekcija mogu da dele iste putanje i raspoloživi propusni opseg. Još jedna prednost je i mogućnost da se paketi lako preusmeravaju sa preopterećenih ili nedostupnih linkova i čvorova mreže. Ovakav način rada Interneta ima i svojih nedostataka. Mogućnost korišćenja različitih putanja za istu konekciju dovodi do promenljivog kašnjenja i promene redosleda paketa na putu do odredišta. U servisu najboljeg pokušaja ne postoji rezervacija resursa, pa je moguće odbacivanje paketa u slučaju nailaska na pune bafere u ruterima. Na nivou linka i nivou transporta postoji mogućnost slučajnog odbacivanja paketa usled lošeg stanja linkova. Danas se koriste dve klase kontrolnih arhitektura sa kraja na kraj (*end-to-end*) za stvaranje pouzdanog servisa na IP platformi. Jedno rešenje podrazumijeva kontrolu na nivou transporta, korišćenjem transportnog protokola.

Transportni nivo predstavlja četvrti sloj TCP/IP arhitekture, koji ostvaruje komunikaciju između aplikacionog i mrežnog nivoa. Transportni nivo takođe odgovara i četvrtom nivou OSI (*Open System Interconnection*) referentnog modela (nalazi se između mrežnog nivoa i nivoa sesije). Osnovna uloga transportnog sloja je da omogući sa kraja na kraj komunikaciju između dve ili više aplikacija koje se izvršavaju na različitim hostovima. U OSI referentnom

modelu transportni sloj je najniži koji to omogućava. On razdvaja aplikaciju od mrežnog sloja i tehnologija koje spajaju hostove i pruža jednostavan interfejs programerima koji razvijaju aplikacije. Dobar servis na transportnom sloju omogućava aplikacijama da koriste standardan skup osnovnih operacija (*primitives*) i da se izvršavaju na različitim mrežama, bez obzira na vrstu i pouzdanost mrežnih interfejsa koji se koriste za prenos. Na transportnom sloju se izvode napredne operacije poput kontrole protoka, ispravljanja grešaka, pouzdane isporuke podataka koje mogu biti neophodne da bi se komunikacija između aplikacija obavljala nesmetano i ispravno sa optimalnim performansama [2]. U zadnjih par decenija predložen je i razvijen veliki broj transportnih protokola. Da bi na najbolji način objasnili funkcionisanje protokola na transportnom sloju upoređićemo osobine SCTP protokola sa, do sada verovatno najpoznatijim transportnim protokolom, TCP protokolom. Danas najveći broj aplikacija koristi TCP protocol.

### 2. KARAKTERISTIKE TCP I SCTP PROTOKOLA

TCP je pouzdan protokol za povezivanje koji obezbeđuje proveru grešaka, višestruke portove, isporuku podataka prema redosledu i kontrolu toka podataka preko virtuelne veze, koja se uspostavlja i po završetku prenosa raskida [3]. On je odgovoran za oporavak od greške i kontrolu protoka, kao i da osigura kompletan prenos podataka sa kraja na kraj. TCP je konektivno orijentisani transportni protokol koji nudi pouzdan tok podataka sa kraja na kraj. Skup funkcionalnosti koje TCP dodaje IP servisima čine:

- Tok podataka: TCP podaci su organizovani kao tok bajtova.
- Pouzdan prenos podataka: Brojevi sekvenci se koriste za koordinaciju poslatih i primljenih podataka. TCP ostvaruje ponovno slanje podataka tj. retransmisiju, ako uoči da su neki podaci izgubljeni.

- Prilagođavanje uslovima u mreži: TCP će dinamički prepoznavati stanje umreži na osnovu kašnjenja a zatim prilagoditi svoj rad tako da se dobije što veći protok bez stvaranja preopterećenja u mreži.
- Kontrola toka: TCP vodi računa o popunjenosti bafera i koordinira saobraćaj tako da ne dođe do prekoračenja kapaciteta bafera na prijemnoj strani. Predajnici koji brzo šalju podatke će povremeno zaustaviti slanje kako bi ih mogli pratiti “spori” prijemnici.

Vremenom je razvijen veliki broj različitih verzija TCP protokola kao što su Tahoe, Reno, NewReno New Jersey Westwood + itd; Različite verzije su donele i poboljšanja TCP protokola.

Prvenstvena namena SCTP protokola, koji je razvila SIGTRAN grupa u okviru IETF, bila je da se omogući prenos SS7 signalizacije, koja se koristi u telefoniji a preko IP protokola odnosno mreža. Ubrzo se nametnulo pitanje iskoristivosti ovog protokola, mogućnost primene i njegovog potencijala u primjeni za druge aplikacije. SCTP koristi slične principe kao i TCP uz određene razlike. Ovo omogućava SCTP-u ne samo da koegzistira sa TCP protokolom ( TCP friendly), već i da se ponaša kao TCP u mnogim slučajevima poput pojave zagušenja. Ipak, SCTP pruža i niz prednosti u odnosu na TCP[2]. Osnovne karakteristike SCTP protokola kao i razlike u odnosu na TCP protokol su:

- Multi-streaming: SCTP asocijacija (ili pojednostavljeno govoreći veza) može imati više tokova (streams), gde je svaki definisan kao logički ili virtuelni kanal. Kontrole toka i zagušenja vrše se na nivou asocijacije.
- Fleksibilno raspoređivanje: Svaki SCTP tok može nezavisno definisati trenutnu (immediate) ili uređenu prema redosledu (ordered) isporuku podataka višem sloju. Trenutna, neuređena prema redosledu (unordered), isporuka smanjuje kašnjenje koje je često bitnije od striktno definisanog redosleda prosleđivanja poruka.
- Multihoming: SCTP asocijacija može definisati više krajnjih tačaka “endpoints” na svakom od krajeva veze što povećava pouzdanost i nivo tolerancije u slučaju prekida na nivou veze. Ovo je jedna od najznačajnijih prednosti SCTP protokola.
- Zaštita od DoS (denial of service) napada: Uspostava SCTP veze uključuje 4 poruke (za razliku od TCP gde ih je 3 ) i time ne dozvoljava stanje polu-otvorene veze. To SCTP čini otpornijim na DoS napade.
- Robusna uspostava asocijacije: Tokom kreiranja SCTP asocijacije dodeljuje se verifikacioni tiket (verification tag) koji mora postojati i koristi se za sve kasnije podatke koji se prenose. Ova osobina, zajedno sa 32-bitnim CRC i heartbeat mehanizmom čini SCTP robusnijim.

Svaka SCTP operacija (slanje podataka, inicijalizacija konekcija, potvrda, ...) šalje se u blokovima (chunk) sa svojim zaglavljem (header) koje identifikuje ostale parameter kao što su tip, veličina itd. U SCTP paket može se opciono upakovati onoliko chunk-ova koliko može da stane u specificiranu veličinu MTU (Maximum Transmission Unit). Chunk-ovi se nikada ne dele između SCTP paketa koji se

šalju jedan za drugim. Oni se šalju u redu u kome su i poslati u red za čekanje (queue) osim kada su u pitanju kontrolni chunk-ovi koji uvek imaju prioritet u donosu na chunk-ove koji nose podatke. SCTP ne pruža uređen način i pouzdan prenos kontrolnih chunk-ova kao što je to slučaj sa podacima. Postoji mogućnost uvođenja novih chunk tipova da bi se obezbedile nove funkcionalnosti što SCTP čini prilično prilagodljivim i proširivim [4].

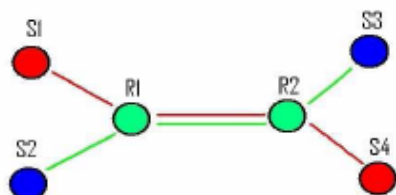
### 3. NS-2 SIMULATOR

Zahvaljujući svojoj *open-source* i *freeware* platformi Network Simulator ver.2 (Ns-2) je široko prihvaćen u istraživačkim projektima. Za ispitivanje performansi TCP protokola najčešće se koristi Ns-2 simulator, što se potvrđuje kroz veliki broj radova koji se bave ovom temom [5]. To je bio i glavni razlog koji je uticao na izbor ns-2 simulatora za ovo istraživanje. Ns-2 je mrežni simulator baziran na diskretnim događajima. Nastao je kao modifikacija REAL mrežnog simulatora čija je osnovna namena bila proučavanje dinamičkog ponašanja tokova i mehanizama za kontrolu zagušenja u mrežama sa komutacijom paketa. Ns-2 se trenutno razvija u okviru VINT (Virtual Inter-Network Testbed) projekta. Dostupan je na različitim operativnim sistemima. Simulator se može posmatrati kao objektno-orijentisani Tcl (OTcl) skript interpreter. Simulacija se izvršava kroz Otcl skriptu koja inicira simulacione biblioteke za kontrolu simulacionih događaja, definisanje mrežnih komponenti i postavljanje mreže. Ns-2 je objektno orijentisani softver otvorenog koda pisan u C++ i Otcl jezicima, čime se ostvaruje kompromis između dobrih performansi simulatora i jednostavnosti upotrebe. U cilju smanjenja vremena procesiranja paketa i događaja, objekti za kontrolu događaja i mrežne komponente su pisani u C++ jeziku. Ovi objekti su dostupni OTcl interpreter-u kroz povezivanje koje kreira odgovarajuće Otcl objekte za svaki C++ objekat. Zahvaljujući *open-source* platformi ns-2 omogućava razvoj novih alata koji nisu u okviru VINT projekta. Kao pomoćni alati za kreiranje simulacionog modela i analizu dobijenih rezultata korišćen je Tracegraph softver koji radi pod Windows, Linux, UNIX i MAC OS sistemima uz podršku Matlab 6.1 ili novijih verzija. Podržani su različiti formati izlaznih fajlova. Tracegraph ima mogućnost automatskog izdvajanja i prikaza različitih rezultata (kašnjenje, varijacija kašnjenja, vreme procesiranja, protok, itd.) preko 2D ili 3D grafika. Osim grafičkih rezultata mogu se dobiti i razni statistički podaci. Ns-2 arhitektura blisko prati OSI model. Model mreže čine čvorovi povezani linkovima. Ponašanje mrežnih i transportnih protokola se simulira pridruživanjem odgovarajućih agenata [6]. Jedan ili više generatora saobraćaja kao što su FTP (File Transfer Protocol) i Telnet mogu biti pridruženi čvoru. Ns-2 implementira mrežne protokole kao što su TCP i UDP; izvore saobraćaja, kao što su FTP, Telnet, Web, CBR i VBR; mehanizme za upravljane redovima čekanja, kao što su Droptail, RED, CBQ, itd.; algoritme rutiranja, kao što je Dijkstra, itd. Ns-2 može da funkcioniše i kao emulator što omogućava njegovo povezivanje sa operativnim mrežnim čvorovima. Pošto je zasnovan na *open-source* platformi Ns-2 ima mogućnost proširivanja tj. dodavanja novih protokola ili izmjene postojećih. Takav je paket za SCTP protocol koji je

kreiran na Univerzitetu Delaware. Trenutno se razvija i Ns-3 simulator kao potencijalni naslednik Ns-2 simulatora.

#### 4. REZULTATI UPOREDNE ANALIZE

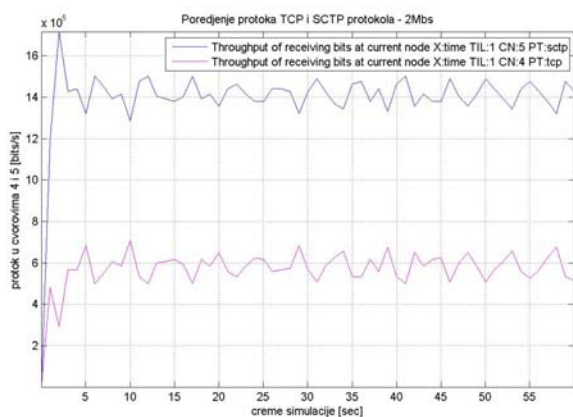
Komparativna analiza performansi TCP i SCTP protokola, sa stanovišta protoka, napravljena je korišćenjem simulatora mreže Ns-2 v2.29 instaliranog na Sun-sparc serveru sa Sun Solaris 9 operativnim sistemom. Dobijeni rezultati simulacije obrađeni su pomoću Tracegraph v2.05 i Matlab 7.0 programskih alata. Korišćen je jednostavan scenario koji je prikazan na slici 1. u kome čvor S1 šalje podatke ka čvoru S4 korišćenjem SCTP protokola; čvor S2 šalje podatke čvoru S3 korišćenjem TCP protokola.



Sl. 1. Model mreže koji se koristi u simulaciji

U oba slučaja podaci se šalju preko čvorova R1 i R2 koji predstavljaju „usko grlo“ simuliranog sistema. Brzine podataka i kašnjenje u prostiranju na vezama S1-R1, S2-R1, R2-S3, R2-S4 su redom 100Mbps i 2ms. Za vezu R1-R2 kašnjenje u prostiranju je 20ms dok je za brzinu podataka korišćena vrednost 2, 4, 8 i 10Mbps u četiri simulacije. U čvorovima R1 i R2 primenjen je Drop Tail mehanizam za redove čekanja. Za TCP se koristi “Tahoe” implementacija koja je u Ns-2 podrazumevana kao osnovna. Za generisanje sobračaja korišćen je FTP koji je pridružen čvorovima S1 i S2. Trajanje svake od simulacija je 60sec.

U slučaju kada je na “uskom grlu” propusni opseg veze postavljen na 2Mbps SCTP protokol je efikasniji više od 2 puta; slika 2.

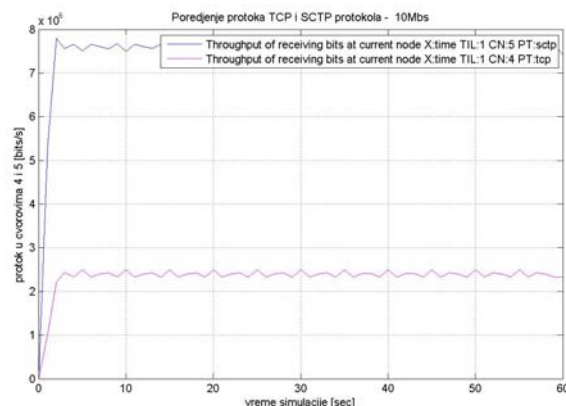


Sl. 2. Poređenje protoka TCP i SCTP na linku od 2Mbps

Sa povećanjem maksimalne brzine protoka na linku između R1 i R2 do 10Mbps protok SCTP protokola drastično raste u odnosu na TCP tako da je na kraju gotovo 4 puta veći; slika3.

Za postavljeni scenario, u sva četiri merenja, rezultati pokazuju da je protok (Throughput) koji ostvaruje SCTP protokol značajno veći od onog koji ostvaruje TCP. To se objašnjava mehanizmima kontrole zagušenja i retransmisije

koje koristi SCTP. Kod TCP protokola slanje podataka organizovano je kao tok bajtova za razliku od SCTP kod koga se podaci organizuju kao poruke poput UDP (User Datagram Protocol). Kao rezultat navedenog SCTP šalje dva puta više paketa nego TCP za prenos fajlova (FTP). U kratkom intervalu cwnd dostiže maksimalnu vrednost tako da je brzina slanja podataka veća pa i sam protok [6] [7] [8]. Kako je u simulaciji korišćena Tahoe verzija TCP protokola koji nema mogućnost procene raspoloživog opsega dobijeni rezultati ukazuju da SCTP bolje koristi resurse na “uskom grlu”.



Sl. 3. Poređenje protoka TCP i SCTP na linku od 10Mbps

Ovakvi rezultati, koji pokazuju da SCTP zauzima više propusnog mogu postaviti pitanje korektnosti SCTP protokola. Obzirom da koristi slične mehanizme kao TCP i da je dizajniran upravo tako da koezistira sa TCP protokolom možemo reći da je SCTP korektan protokol [2] [7] naročito što je u ovom slučaju korišćena najjednostavnija verzija TCP protokola - Tahoe.

#### 5. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen SCTP protokol kroz poređenje sa TCP protokolom. SCTP protokol poseduje niz osobina i servisa u odnosu na TCP što opravdava istraživačke napore da u budućnosti bude i njegova zamena. SCTP trenutno nije u širokoj upotrebi ali je sve više pokušaja da se iskoristi i u praksi. Pored kvalitetnog protoka koji može da pruži, što je pokazano u ovom radu, poseduje i niz drugih mogućnosti koje mu daju prednost u odnosu na postojeće protokole transportnog sloja. Od svih naprednih servisa i funkcija koje SCTP protokol poseduje posebno su značajne Multi-streaming i Multihoming funkcionalnosti koje mu sasvim sigurno obezbeđuju mesto glavnog favorita u borbi za preuzimanje vodećeg mesta na četvrtom sloju.

#### 6. LITERATURA

- [1] The Internet Engineering Task Force – home page [www.ietf.org](http://www.ietf.org)
- [2] Randall Stewart, Chris Metz: “SCTP: new transport protocol for TCP/IP”, IEEE Internet Computing, Volume: 5, No: 6, pp: S64-S69, Nov/Dec 2001
- [3] J. Postel, “Transmission Control Protocol”, RFC 793, University of Southern California, Information Sciences Institute, Sep. 1981; <http://www.rfceditor.org/rfc/rfc793.txt>

- [4] R. Stewart, "Stream Control Transmission Protocol" IETF RFC 2960, Okt. 2000; <http://ietf.org/rfc/rfc2960.txt>.
- [5] Lee Breslau, Deborah Estrin, Kevin Fall, Sally Floyd, John Heidemann, Ahmed Helmy, Polly Huang, Steven McCanne, Kannan Varadhan, Ya Xu, and Haobo Yu, "Advances in Network Simulation. *IEEE Computer*", 33 (5), pp. 59-67, May, 2000
- [6] R. Rajamani, S. Kumar, N. Gupta, "SCTP versus TCP: Comparing the Performance of Transport Protocols for Web Traffic", University of Wisconsin -Madison, May 2002
- [7] Ladha, S. Amer, P.D. Dept. of CIS, Delaware Univ., Newark, DE, USA; "Improving file transfers using SCTP multistreaming", 2004, Performance, Computing, and Communications, 2004 IEEE International Conference pp: S513-S522,
- [8] Rumana Alamgir, Mohammed Atiquzzaman, Effect of Congestion Control on the Performance of TCP and SCTP over Satellite Networks ; NASA Earth Science Technology Conference, Pasadena, Jun 2002

## STRATEGIJA E-HEALTH U ZDRAVSTVENOM SISTEMU E-HEALTH STRATEGY IN HEALTH CARE SYSTEM

Milovan Obradović, Vojnomedicinska akademija, Beograd

**Sadržaj** - Kvalitetno upravljanje nacionalnim zdravstvenom sistemom mora biti bazirano na blagovremenim, pouzdanim i ponovljivim informacijama. U radu su izložene osnovne karakteristike, ciljevi i prednosti razvoja E-Health strategije u zdravstvenom sistemu.

**Abstract** - The high-grade management of the national health care system must be based on prompt, reliable and repetitive information. The main characteristics, goals and benefits of the E-Health strategy development in the health care system are given in this paper.

### 1. UVOD

Ako se celovito analizira definicija Svetske zdravstvene organizacije (SZO), po kojoj je zdravlje „stanje kompletnog fizičkog, mentalnog i socijalnog blagostanja a ne samo odsustvo bolesti i nesposobnosti“ jasno je da zdravlje treba smatrati preduslovom i ciljem ekonomskog razvoja, investicijom a ne potrošnjom. Ostvarivanje zdravstvenog razvoja i organizacija zdravstvenog sistema svake zemlje stoga mora biti sistemski i kontinuiran proces koji treba znalački voditi [1,2]

Najčešća definicija zdravstvenog sistema prihvaćena od Svetske zdravstvene organizacije označava zdravstveni sistem “kao ukupnost elemenata koji sudeluju u obezbeđivanju zdravstvene zaštite stanovništvu”. Ovako definisani sistem treba da obezbedi zdravstvenu zaštitu stanovnika od osnovnog (primarna zdravstvena zaštita) do centralnog nivoa (bolničko lečenje) [3].

Kvalitetno upravljanje zdravstvenom sistemom treba biti bazirano na blagovremenim, pouzdanim i ponovljivim informacijama. Pokazatelji obima rada i bitna obeležja zdravstvenih indikatora lečene populacije moraju biti prikupljeni i iskazani u obliku koji je pogodan za korišćenje od operativnog do strateškog nivoa zdravstvenog sistema. Strateškom nivou su potrebne agregirane i kvalitetne informacije u vezi sa:

- zdravstvenim stanjem stanovništva
- prisutnim ograničenjima u funkcionisanju zdravstvenog sistema
- praćenja priliva i trošenja sredstava zdravstvenog osiguranja
- planiranjem i programiranjem zdravstvene zaštite
- kontrolom i nadzorom u zdravstvenom sistemu
- praćenja zagadjenosti i akcidenata u životnoj sredini, itd.

Klasični načini prikupljanja podataka, njihove obrade i izveštavanja prema unapred definisanim formama sigurno ne zadovoljavaju potrebe korisnika zdravstvene zaštite i potrebe od zdravstvene ustanove do ministarstva zdravlja.

Sadašnje zdravstvene informacije karakterišu izdvojena ostrva i informacije koje su značajna prepreka za efektivnu podelu informacija izmedju korisnika zdravstvene zaštite.

Jasno je da treba definisati nacionalnu E-Health strategiju kao sastavni deo nacionalne strategije za informaciono društvo koju će politika usvajati i obezbeđivati finansiranje a struka implementirati u skladu sa principima i priritetima u sve segmente društva. U delu ostvarivanja zdravstvene zaštite razvoj treba usmeriti tako da se ne ponove greške iz prošlosti, gde su pririteti često pogrešno postavljeni, ulaganja duplirana, energija i naponi struke rasipani, efekti nepotpuni i daleko od očekivanih, osnova za širenje i povezivanje dosta ograničena i sl. Već je dosta investirano u različite oblike informacionih sistema bez dovoljno nacionalne koordinacija i realnom opasnošću da bude mnogo toga višestruko, sa značajnim troškovima i izgradnjom novih rešenja koja neće biti integrisana.

Nacionalni zdravstveni sistem treba da, u okvirima materijalnih mogućnosti, pruža adekvatnu zdravstvenu zaštitu. Medjutim, održavanje i poboljšanje ovih rezultata uprkos rastućem pritisku na zdravstveni sistem zahteva fundamentalne promene na putu razvoja zdravstva za 21 vek. Promene moraju biti na toku informacija i pristupu zdravstvenom sistemu, koji treba biti transformisan u profesionalne servise i interaktivne korisnike na svim nivoima zdravstvenog sistema. Ministarstvo zdravlja u izradi nacionalne strategije E-Health treba da ostvari koordinaciju i kolaboraciju putem brojnih konsultacija od nivoa države do nivoa lekara specijalista, zdravstvenih menadžera, istraživača i korisnika.

E-Health predstavlja sintezu korišćenja informacionih i komunikacionih tehnologija da bi se udovoljilo potrebama korisnika zdravstvene zaštite, zdravstvenih radnika, zdravstvenih ustanova i potrebe zdravstvenog sistema radi kreiranja, planiranja i sprovođenja zdravstvene politike.

Za razvoj i uvođenje E-Health mora postojati strategija na nacionalnom nivou kojom će se definisati standardi, klasifikacije i jedinstveni minimumi podataka koji će biti predmet komunikacije. Ova strategija mora biti deo nacionalne strategije za razvoj informacionog društva. Korisnike zdravstvene zaštite treba dovesti u poziciju da se potpuno informišu kako da sačuvaju zdravlje i kako i gde da se leče [4].



## 2. AKTERI ZDRAVSTVENOG SISTEMA I NJIHOVE POTREBE

**PACIJENT** - korisnik zdravstvene zaštite. Zainteresovan za očuvanje i unapredjenje sopstevnog zdravstvenog stanja i zdravstvenog stanja svoje porodice. Svaki čovek se pre ili kasnije nađe u situaciji da mu je neophodna zdravstvena nega ili pomoć. Njegov je legitiman interes da na najbolji mogući način bude medicinski zbrinut i da ga to zbrinjavanje košta što manje. U okruženju Interneta, pacijent (ili zdrava osoba koja brine o očuvanju svog zdravlja) ima moć da lako i brzo prikuplja informacije koje se odnose na njegov zdravstveni status. Njegova obaveza je da čuva i unapređuje svoje zdravlje i zdravlje drugih građana ali i uslove životne i radne sredine.

**ZDRAVSTVENI RADNIK** – lekar, farmaceut, medicinski tehničar i dr. lice nosilac aktivnosti pružanja zdravstvene zaštite.

**ZDRAVSTVENA USTANOVA** – deo zdravstvenog sistema sa preciznim obavezama i odgovornostima na pružanju zdravstvene zaštite odgovarajućeg nivoa (primarna, sekundarna i tercijarna), obezbeđenju lekova i unapredjenju zdravlja.

**INSTITUCIJE ZDRAVSTVENOG OSIGURANJA** – predstavljaju državne i privatne fondove zdravstvenog osiguranja koji su nosioci finansiranja zdravstvene službe ili izvršenih zdravstvenih usluga. U okvirima svojih nadležnosti prate priliv i vrše kontrolu trošenja finansijskih sredstava putem prikupljanja i analize podataka o izvršenim uslugama i trošenju zdravstvenih resursa.

**NACIONALNA INSTITUCIJA ZA ZAŠTITU ZDRAVLJA** – državna institucija zadužena za analizu ostvarivanja zdravstvene politike, prikupljanje i analizu podataka o zdravstvenom stanju stanovništva i obima izvršenih usluga, planiranje i organizovanje zdravstvene službe i vršenje kontrole i nadzora.

**MINISTARSTVO ZDRAVLJA** – državni organ nadležan za normativnu regulativu u zdravstvenom sistemu i kreiranje politike za ostvarivanje zdravstvene zaštite stanovništva, unapređenje i očuvanje zdravlja.

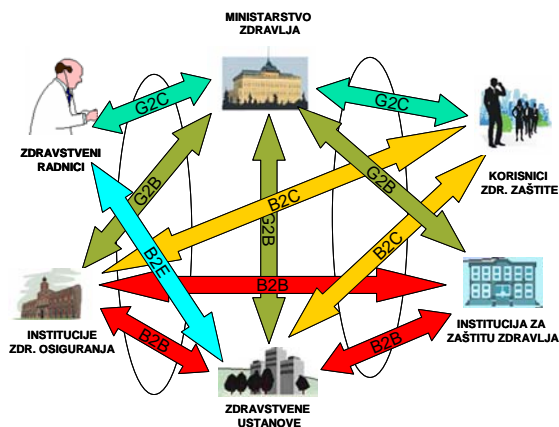
## 3. KOMUNIKACIJE U ZDRAVSTVENOM SISTEMU

Komunikacija je oduvek bila bitan uslov za život i obavljanje poslova unutar društvene zajednice. Medijumi koji su se u te svrhe koristili vremenom su evoluirali, doživljavajući razna tehničko-tehnološka unapređenja. Opšta karakteristika svakog novog komunikacionog sredstva je da je brže, efikasnije i dostupnije ljudima od onog starijeg. Put je vodio od papira, preko štamparije, telegrafa, telefona, radija, televizije do kompjutera i Interneta. Zdravstvo je jedina oblast društvenog života za koju su na najdirektniji i najneposredniji način zainteresovani svi ljudi jednog društva, uključujući i potpuno zdrave osobe.

Za E-Health komunikaciju se može reći da predstavlja primenu Interneta, komunikacionih i srodnih tehnologija u

sistemu zdravstvene zaštite, kojima se poboljšavaju pristup, efikasnost, efektivnost i kvalitet medicinskih i poslovnih procesa koje sprovode akteri u tom sistemu sa osnovnim ciljem poboljšanja zdravstvenog stanja pacijenta.

U zdravstvenom sistemu su prisutni gotovo svi osnovni modeli elektronskog poslovanja: G2B (Government-to-Business), G2C (Government-to-Consumer), B2B (Business-to-Business), B2C (Business-to-Consumer) i B2E (Business-to-Employees). Najzastupljeniji model je B2C jer se njime u najvećoj meri zadovoljavaju potrebe korisnika zdravstvene zaštite. Na Slici 1. dati su modeli komunikacije između aktera u zdravstvenom sistemu.



Slika 1. Komunikacije aktera u zdravstvenom sistemu

Osnovni ciljevi unapređenja E-Health komunikacije su:

- smanjenje troškova i povećanje brzine i tačnosti u odnosu na klasičan – papirni način rada
- eliminacija prostorne - geografske udaljenosti premošćavanjem obaveza vezanih za putovanje i saobraćaj putem komunikacije za veliki broj usluga
- povećanje transparentnosti, dostupnosti, selektivnosti, kombinovanja informacija koje su zbog elektronskog oblika dostupne u realnom vremenu
- povećanje raspoloživosti, raznovrsnosti i dostupnosti usluga za korisnike zdravstvene zaštite
- poboljšanje rada administracije kroz osavremenjavanje postupaka i procedura i integraciju poslova
- unapređenje upravljanja, kontrola zaliha i potrošnje, lake i brze analize i povećanje efikasnosti
- unapređenje planiranja, obezbeđenja i praćenje korišćenja raspoloživih resursa zdravstvu
- unapređenja kvaliteta rada
- podrška orijentaciji na unapređenje zdravstvene ekonomije
- unapređenje izveštavanje o radu zdravstvenih ustanova po obimu i vrstama pruženih zdravstvenih usluga, zbrinutih pacijenata, utrošenih lekova i dr.
- unapređenje procesa planiranja, promene strukture mreže i sadržaja zdravstvenih ustanova
- potpuno sagledavanje stanja zdravlja nacije i potreba za zdravstvenom zaštitom



- realnom sagladevanju ostvarivanja prava iz zdravstvenog osiguranja i argumentovanog uticaja na promene istih u skladu sa realnim mogućnostima društva.
- obezbediti bolju informisanost državnih organa kroz trenutni pristup, preciznost i razumljivost izveštaja iz nacionalnog zdravstvenog sistema.

Uvođenjem E-Health komunikacije u zdravstveni sistem zemlje dolazi do promena u: rukovođenju, komunikaciji, donošenju odluka, poslovnim transakcijama, planiranju, praćenju realizacije i izveštavanju i organizaciji. Uz to sa E-Health se podstiče razvoj i napredak društva i zdravi stilovi života.

#### 4. NACIONALNA VIZIJA I CILJEVI E-HEALTH

Svaka zemlja teži da ima vodeću ulogu u svetu kada je zdravlje stanovništva u pitanju. Ključno za postizanje ovog cilja u zdravstvenom sistemu je efikasniji odgovor na zdravstvene potrebe pojedinaca i društva. Zavisno od materijalnih mogućnosti i vizije E-Health će obezbediti uslove da država upravlja i utiče na zdravstveni sistem i preko geografskih i regionalnih ograničenja.

E-Health treba da obezbedi bezbedan, kvalitetan, ujednačen, pravičan i održiv zdravstveni sistem za sve stanovnike transformišući puteve stvaranja i korišćenja informacija planski, sa upravljanjem i distribucijom zdravstvenih usluga.

Neki od osnovnih ciljeva E-Health su:

- osigurati pravo korisnicima zdravstvenih informacija na raspoloživost elektronskih informacija na svakom mestu i u svakom vremenu omogućiti lečenje i tretman
- omogućiti zdravstvenom sistemu efikasniji rad kao interkonekcionog sistema za savladavanje fragmentacije i dupliranja raspoloživih kapaciteta i servisa
- obezbeđenje korisnicima elektronski pristup informacijama neophodnim za bolje upravljanje i kontrolu individualnog zdravstvenog stanja
- omogućiti multidisciplinarnu timove za elektronsku komunikaciju i razmenu informacija i obezbeđenje bolje koordinacije zdravlja kroz kontinualno lečenje
- obezbediti korisnicima poverenje u lične informacije i upravljanje zaštitom kao i poverenje i čvršću kontrolu ponašanja korisnika informacija
- dozvoliti elektronski pristup, na pogodan način, zdravstvenim servisima za korisnike sa udaljenih mesta, ruralnih i manje dostupnih lokacija
- povećati stepen zadovoljstva korisnika i smanjiti troškove zdravstvene zaštite
- obezbediti zdravstvenim menadžerima da u realnom vremenu imaju pristup kvalitetnim, razumljivim i agregiranim informacijama za poboljšanje analiza, istraživanja i donošenje odluka
- obezbediti neprekidan razvoj zdravstvenog sistema kroz efikasnije mere izveštavanja i pretraživanja izlaznih rezultata
- poboljšati kvalitet, bezbednost i efikasnost kliničkih ispitivanja obezbeđujući dostupnost pristupa korisnicima zdravstvenih informacija, kliničkih dokaza i kliničkih alata za odlučivanje

#### 5. STRATEŠKA OPREDELJENJA ZA E-HEALTH

Za zemlje u razvoju gotovo da je postalo pravilo, da se razvoju informacionih sistema u svim delatnostima pa i zdravstvu, ne pristupa organizovano i planski, već pojedinačne inicijative vode više ili manje uspešno tom cilju. Takav haotičan razvoj odgovara prodavcima - proizvođačima računarske opreme jer im je teže da se ozbiljno angažuju na planu razvoja nacionalnih informacionih sistema po delatnostima, već radije idu putem koji je već trasiran u drugim delatnostima, tj. daju podršku poslovima zajedničkih službi. Neminovnost je da E-Health bude uskladjen sa nacionalnom strategijom razvoja informatike jer se jedino tako mogu uskladiti materijalne mogućnosti i informaciona infrastruktura [4].

Sledeća strateška opredeljenja za razvoj E-Health obezbediće rezultate u najkraćem vremenu:

1. Strategiju razvoja E-Health sagledavati kao deo nacionalne strategije razvoja informacionog društva.
2. Jasno definisati ciljeve razvoja E-Health, počev od ministarstva zdravlja preko nacionalnih institucija zdravstvene zaštite i zdravstvenog osiguranja, do zdravstvenih ustanova.
3. Precizno definisati uloge i odgovornosti svih subjekata nosilaca izrade strategije.
4. Definirati minimalni skup jedinstvenih podataka za korisnika i skup podataka o njegovom zdravstvenom stanju koji su rezultat ostvarene zdravstvene zaštite.
5. Definirati jedinstvene identifikacije za korisnike zdravstvene zaštite, pravna lica (zdravstvene ustanove, radne organizacije i dr.) i jedinstvene klasifikacije podataka (bolesti, lekovi, sanitetski materijali, medicinske i nemedicinske usluge i dr.).
6. Definirati jedinstvene registre podataka kao baze od opšteg interesa sa dvosmernom komunikacijom.
7. Primereno mogućnostima, definirati prioritete razvoja E-Health, sa maksimalnim efektima i sa osnovom za dalju nadgradnju prema planovima razvoja i specifičnim potrebama zdravstvenog sistema.
8. Obezbediti adekvatnu infrastrukturu (brzina i kvalitet on line korišćenja) za elektronsku razmenu minimalnog skupa podataka između zdravstvenih ustanova i institucija zdravstvenog osiguranja.
9. Stvoriti kadrovsko jezgro za izradu strategije i implementaciju E-Health koje će razvijati ili se postepeno uključivati u razvoj i uvodjenje, koordinirati njegovo funkcionisanje i dalje razvijati i održavati E-Health.
10. Obezbediti jedinstveni razvoj i jedinstvene standarde u domenu prikupljanja, obrade i iskazivanja podataka, stvarati uslove za kasnije povezivanje zdravstvenih ustanova i transfer podataka kroz nacionalne računarske mreže.

Kako E-Health razvijati, kakav treba da bude i čemu treba da služi su ključne dileme koje treba razrešiti u strategiji razvoja. Odgovore na ova pitanja treba da strategija razvoja

E-Health. Poštovanje nekoliko sledećih principa su garancija uspešnosti:

1. Deo E-Health za zdravstvene ustanove istog nivoa zdravstvene zaštite treba da bude tipiziran. Samo takav sistem se isplati jer obezbeđuje funkcionalnost i efikasnost. Parcijalni pristupi razvoja informacionog sistema za ambulantu, odeljenje, kliniku, dijagnostiku i sl. neminovno vode kasnijoj potrebi inovacije. Sve ovo ne ograničava uvodjenje informacionih tehnologija za zadovoljenje specifičnih potreba specijalnosti, org. jedinica ili naučno istraživačkih zadataka.
2. Modularnost E-Health ostvariti tako da pojedine komponente (moduli) mogu biti višestruko korišćene u informacionim sistemima zdravstvenih ustanova svih nivoa zdravstvene zaštite.
3. Integralnost E-Health-a obezbediti na nivou podataka koje treba prikupljati u sklopu radnih procesa u zdravstvenoj ustanovi i institucijama zdravstvenog osiguranja.
4. Sa E-Health u zdravstvenim ustanovama i institucijama zdravstvenog osiguranja obezbediti efikasnu komunikaciju između poslova, naručilaca i izvršilaca usluga i dr. jer se time može sagledavati vrsta i obim izvršenog posla, traženih usluga od jednog naručioca ali i vrsta i obim zahtevanih usluga od izvršioca usluga. Na kraju, ovako evidentirane usluge zdravstvene zaštite direktno ulaze u specifikacije za njihovo fakturisanje.
5. Jedinstveno registrovati korisnika zdravstvene zaštite u zdravstvenoj ustanovi nezavisno od njegove posete (ambulantno lečenje, stacionarno lečenje, rehabilitacija, pružanje usluga, zdravstvena zaštita dece, zdravstvena zaštita žena i dr.) i te podatke koristiti u svim procesima ispitivanja i lečenja za tekuću i sve naredne posete.
6. Tokom i na završetku ispitivanja i lečenja kroz E-Health podržati procese registracije izdatih recepata i potrošnje lekova i sanitetskog materijala, što će dati specifikaciju za ukupni utrošak kod formiranja fakture ali biti i osnov za praćenje izdatih recepata i razduživanje istrebovanih količina lekova i dr. sanitetskih materijala.
7. Za istorijat lečenja svakog od pacijenata obezbediti najmanje podatke o periodu, org. jedinici i uzroku lečenja (posete) u zdravstvenoj ustanovi.
8. Tokom izgradnje E-Health-a poštovati visok stepen metodičnosti i sistematičnosti u cilju integracije u domenu komunikacije i podataka iz realnog sistema bez narušavanja njihovog integriteta.
9. Ahitektura E-Health-a mora odgovarati zahtevima zdravstvene zaštite i zdravstvenog osiguranja, uslovima i potrebama, uz maksimalno korišćenje tuđih kako pozitivnih tako i negativnih iskustava.

Navedena strateška opredeljenja i nekoliko principa razvoja imaju za cilj da se obezbedi celovit i koordiniran

razvoj i efikasno upravljanje razvojem i funkcionisanjem informacionih sistema u zdravstvenim ustanovama i institucijama zdravstvenog osiguranja i upravljanje zdravstvenim sistemom u celini [5].

## 6. ZAKLJUČAK

Dobro koncipiran E-Health sistem služi kao stabilna osnova za korisnike zdravstvene zaštite koji su u poziciji da se potpuno informišu kako da sačuvaju zdravlje i kako će se i gde da se leče. E-Health menja pristup lečenju, jer se potiskuje papir kao medijum a sve informacije o lečenju i radu su elektronskoj formi što olakšava njihovo korišćenje u realnom vremenu i na distanci. Podaci o zdravstvenom stanju postaju dostupni za korisnika i zdravstvene radnike bez obzira gde se oni nalaze i gde se podaci čuvaju. Zdravstveni radnici su u takodje u prilici da pristupe proveranim relevantnim izvorima informacija i ostvare međusobnu komunikaciju za potrebe dnevnog rada i konsultacije sa radnog mesta ili od kuće.

Nacionalna koordinacija rešavanja problema E-Health će doprineti da rezultati uvođenja doprinose unapredjenju kapaciteta zdravstvenog sistema i njihovog razvoja shodno potrebama. Time će se unaprediti sistem kvaliteta i bezbednost poboljšanjem pristupa i unapredjenjem sistema procesiranja podataka. Potrebno je da se u većem obimu ove vrste servisa prihvate i da se shvati da problem nije, u nedostatku opreme, znanja i veština za korišćenje opreme nego u još uvek nedovoljnoj zainteresovanosti i predrasudama o informacionim i komunikacionim tehnologijama. Najbolji pristup razrešenju tih barijera treba da potekne sa strateškog nivoa koji bi trebao biti odgovoran za vrste i saražaje E-Health komunikacije koje se nude zdravstvenim radnicima i korisnicima zdravstvene zaštite i za reforme zdravstvenog sistema.

## LITERATURA

- [1] P. Dovijanić, *Organizacija zdravstvene delatnosti i ustanova*, Beograd: Agora, 1995.
- [2] J.H. van Bommel, M.A. Musen, *Handbook of Medical Informatics*, Heidelberg: Springer, 1997.
- [3] WORLD HEALTH ORGANIZATION, *Monitoring the Strategies for Health for All by the Year 2000.*, Geneva: 1986.
- [4] European ICT Standardisation Policy at a Crossroads, <http://www.ehealthnews.eu>, Brussels, 2008.
- [5] M. Obradović, "Mogućći uticaj informacionih tehnologija na strateški menadžment u zdravstvu", Zbornik radova sa IV naučno stručnog skupa – IT '98, Žabljak: 1998.

## KEŠIRANJE BAZE PODATAKA NA APLIKATIVNOM SLOJU MIDDLE-TIER DATABASE CACHING

Miloš Mrdović, *Centar Informacionog Sistema Univerziteta Crne Gore*  
Luka Filipović, *Centar Informacionog Sistema Univerziteta Crne Gore*  
Božo Krstajić, *Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore*

**Sadržaj** - U ovom radu je prezentovana struktura i namjena modernih rješenja middle-tier keširanja podataka. Middle-tier keširanje se primjenjuje kod višeslojnih, distribuiranih aplikacija korišćenjem jeftinih, ne zahtjevnih baza podataka. Ovakav način keširanja, implementiran na aplikacionom sloju, enormno poboljšava skalabilnost i performanse back-end baza podataka i čitavog sistema u cjelini.

**Abstract** - This paper presents structure and purpose of modern middle-tier database caching solutions, with all its benefits and limitations. Middle-tier caching is applied on multi-tier, distributed applications using cheap, lightweight databases. This kind of caching, deployed on application level hosts, enormously increases scalability and performance of back-end database systems and applications as a whole.

### 1. UVOD

Mnoge savremene, komercijalne, client-server aplikacije su razvijene u više nivoa, odnosno uključuju browser klijente, servere web aplikacija i back-end baze podataka. Ovakve aplikacije dinamički, na zahtjev, generišu web stranice na osnovu podataka dobijenih iz pozadinskih baza. Ova struktura je poznata kao višeslojna (multi-tier) arhitektura u kojoj su prezentovanje, procesiranje i menadžment podataka logički odvojeni procesi.

Middle-tier keširanje u ovakvim slučajevima predstavlja efikasan način postizanja visoke skalabilnosti i performansi. U troslojnoj arhitekturi, aplikacioni sloj, i sloj baze podataka su najčešće fizički razdvojeni. Performanse ovakvog sistema u mnogome zavise od mreže koja ih povezuje. Kod ne distribuiranih sistema, mreža kao limitirajući faktor bi se mogla zaobići ako bi baza podataka bila implementirana u samom aplikacionom sloju. Međutim, savremeni informacioni sistemi često sadrže robustne i kompleksne baze podataka koje i same mogu biti distribuirane i koje nije praktično realizovati na pomenuti način. Sa druge strane, postoji veliki broj manje zahtjevnih baza podataka koje se mogu efikasno iskoristiti za potrebe keširanja podataka iz glavne baze [1].

### 2. IN-MEMORY KEŠIRANJE BAZE PODATAKA

Keširanje u osnovi znači memorisanje često korišćenih informacija na efikasniji način od postojećeg. Najčešći ciljevi keširanja su optimalno iskorišćenje raspoloživih resursa: skraćenje pristupa hard disku, skraćenje potrebnog procesorskog vremena i skraćenje vremena odgovora baze podataka. Većina savremenih baza podataka sadrži svoje interno, in-memory keširanje, kod koga se zahtijevani podaci pamte u radnoj memoriji na određeno vrijeme.

Postoje tri osnovne vrste in-memory keširanja i to:

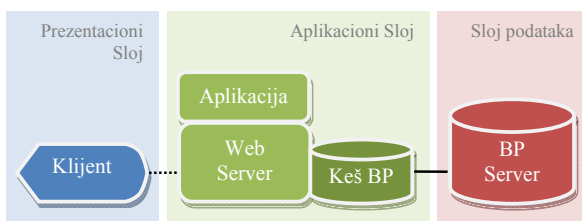
- keširanje rezultata upita (memorisanje rezultujuće tabele select upita),
- keširanje egzekucionog plana upita (memorisanje rezultata optimizatora upita) i
- keširanje relacija (memorisanje relacija, odnosno indeksa, ili kompletne postojeće tabele).

Uprkos sofisticiranim sistemima koje implementiraju baze podataka u svrhe efikasnijeg keširanja podataka, u mnogim slučajevima ovakavo rješenje nije dovoljno sa stanovišta performansi i skalabilnosti baze. U ovom radu će biti više riječi o keširanju rezultata upita korišćenjem dodatne middle-tier, disk-based baze podataka.

### 3. MIDDLE-TIER KEŠIRANJE

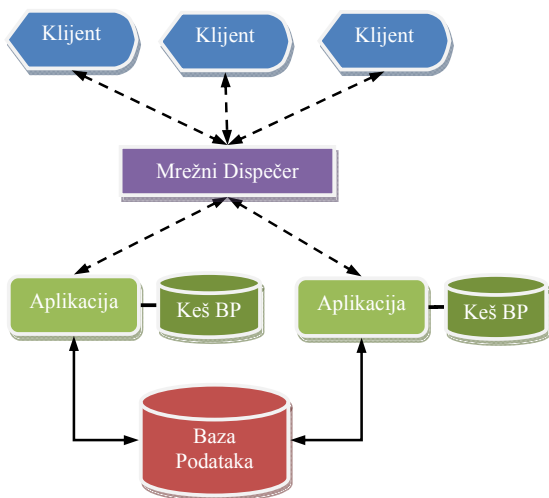
Različite tehnike keširanja podataka se koriste u cilju povećanja skalabilnosti multi-tier web aplikacija kao odgovor sve bržem širenju interneta. Jedan stepen skalabilnosti je moguće postići korišćenjem više aplikativnih servera koji rade na relativno jeftinim sistemima, a koji su povezani sa jednom centralnom bazom podataka. Ovakav pristup, međutim, ne rješava problem opterećenja back-end baze podataka [2].

U višeslojnim web aplikacijama i servisima, middle-tier keširanje podataka podrazumijeva implementiranje nove, manje zahtjevne, front-end baze podataka na nivou aplikacionog servera. Uloga ove baze je keširanje tabele, dijela tabele, međurezultata upita, ili pak finalnog rezultata upita iz glavne, back-end baze podataka. Ovu keš bazu je moguće implementirati tako da koristi trajnu (HDD) ili radnu memoriju (RAM) aplikacionih servera, u zavisnosti od obima keširanih podataka i konkretnih poslovnih zahtjeva.



Slika 1: Struktura troslojne aplikacije sa implementiranim middle-tier keširanjem.

Na slici 1. je prikazana šema standardne troslojne web aplikacije koja koristi middle-tier keširanje. U slučaju distribuiranog aplikativnog sloja, keširanje se implementira na svakom serveru pojedinačno (Slika 2.).



Slika 2: Implementirani middle-tier keš na distribuiranom aplikacionom sloju.

#### 4. ZAŠTO MIDDLE-TIER?

Kao što je poznato, podaci se iz baze podataka ekstahuju različitim upitima selekcije. U većini slučajeva se koriste jednostavniji upiti koji nisu pretjerano zahtjevni sa stanovišta resursa servera. Stoga u ovom slučaju ugrađeno keširanje same baze najčešće daje zadovoljavajuće rezultate.

Postavlja se pitanje zašto implementirati dodatno keširanje podataka u aplikacionom sloju, i u kojim uslovima in-memory keširanje nije dovoljno? Potreba za middle-tier keširanjem rezultata upita se javlja onda kada se koriste komplikovani upiti sa jednom, ili više agregatnih funkcija koji se izvršavaju nad relativno obimnim tabelama. Ovakvi upiti, uprkos svim optimizacijama, zahtijevaju značajno veliko vrijeme izvršavanja (par desetina sekundi, pa čak i minuta). Ako se uz ovo uzme u obzir i broj eventualnih zahtjeva, onda je jasno da je neophodno implementirati odgovarajuća proširenja. Dodatni problem predstavlja opterećenje mreže koja povezuje aplikacioni server sa bazom podataka.

Pod uslovom da se rezultati pomenutih upita relativno rijetko mijenjaju, ili ukoliko su ovakve promjene od malog

značaja, jedno od optimalnih rješenja u ovakvom okruženju jeste neki oblik middle-tier keširanja. U idealnim uslovima, aplikacija je ograničena na read-only pristup bazi podataka.

Middle-tier keširanje, sa stanovišta back-end servera baze podataka, enormno poboljšava efikasnost smanjujući opterećenje i ubrzavajući sam proces preuzimanja podataka. Sa druge strane, mana ovakvog pristupa je u tome što ovakav sistem nije efikasan u slučajevima kada se podaci često mijenjaju i kada se ove promjene ne mogu zanemariti.

Prednosti middle-tier keširanja podataka se mogu svrstati u četiri kategorije:

- *Skalabilnost* - Distribucija opterećenja sa glavne, back-end baze na više efikasnih front-end baza.
- *Fleksibilnost* - Keširanje samo određenih dijelova glavne baze koji su od interesa.
- *Dostupnost* - U slučajevima kada je glavna baza nedostupna, podaci su dostupni iz front-end keša.
- *Performanse* - Vrijeme odgovora je kraće usled zaobilaznja komunikacije između middle-tier i data-tier sloja, kao i uslijed jednostavnosti upita koji se izvršavaju nad front-end bazom.

Uslovi primjene i ograničenja middle-tier keširanja su sledeći:

- Mogućnost osvježavanja keširanih podataka.
- Šeme glavne baze podataka kao i njenog keša moraju biti nepromjenjive.
- Neophodna je relativno visoka tolerancija na ne sinhronizovanost podataka. Live aplikacije nisu pogodne za middle-tier keširanje.
- Bi-direkcionni update (za keširane podatke nad kojima je dozvoljen update, treba omogućiti propagaciju promjena do glavne baze).

Osobine koje su od značaja treba uzeti u obzir tokom dizajniranja middle-tier keša:

- Mogućnost sinhronne i asinhronne propagacije promjena nad kešom.
- Mehanizam zaštite izvršenih promjena nad keširanim podacima u slučaju kraha.
- Mogućnost implementacije alata za validaciju sadržaja keša.
- Horizontalna skalabilnost.

#### 5. IZBOR I IMPLEMENTACIJA KEŠ BAZE

Kao što je već rečeno, keširanje podataka u aplikacionom sloju može biti implementirano tako da koristi trajnu (disk-based), ili radnu memoriju servera (memory-based). Danas na tržištu postoji više in-memory baza podataka (IMDS) kao što su: Oracle TimesTen, CSQ, SolidDB, FastDB, MonetDB, i sl., koje se mogu efikasno iskoristiti u svrhe keširanja. Osnovni nedostatak ovakvih sistema jeste relativno velika konzumacija raspoložive RAM memorije.

Sa druge strane, za potrebe middle-tier keširanja se može iskoristiti i neka od postojećih, lightweight, disk-based baza podataka kao što su: SQL Server 2005 Express, MySQL,

SQLite, Firebird, VistaDB, HSQLDB, i dr. Ove baze ne pružaju tako visoke performanse u poređenju sa prethodnim, ali su za uzvrat pouzdanije i omogućavaju keširanje znatno veće količine podataka.

Karakteristike ova dva rješenja su sledeće:

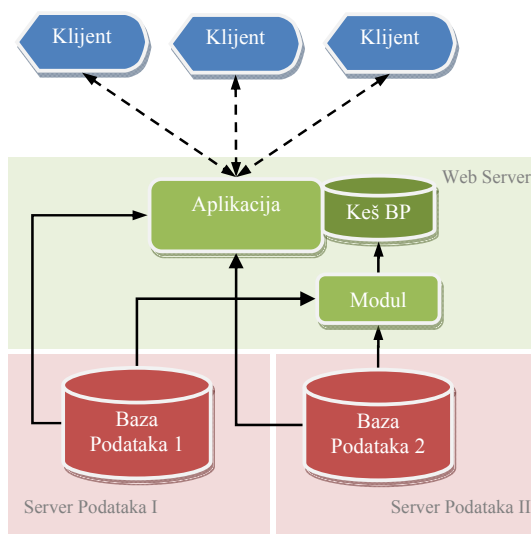
- Memory-based keš
  - Visoke performanse (smanjenje opterećenja procesora usled pojednostavljenih optimizacionih algoritama, izbjegavanje čitanja sa diska)
  - Memorijski prostor je ograničen količinom instalirane RAM memorije
  - U slučaju pada sistema, slika podataka u memoriji se trajno briše
- Disk-based keš
  - Lošije performanse (neophodan pristup disku, dodatno opterećenje procesora usled kompleksnijeg RDBMS sistema)
  - Efikasnije iskorišćenje radne memorije
  - Količina podataka koja se može keširati je neuporedivo veća
  - Slika podataka ostaje konzistentna i nakon pada sistema

## 6. PRIMJER REALIZACIJE MIDDLE-TIER KEŠIRANJA

Za potrebe Univerziteta Crne Gore izgrađena je web aplikacija na Microsoft-ovoj platformi ASP.NET 2.0 koja omogućava nastavnu i kadrovsku evidenciju (SNIKE). Centralna baza podataka informacionog sistema univerziteta (Oracle 9i) sadrži detaljne podatke o studentima i angažovanim kadrovima, akumulirane tokom dugog niza godina. Cilj aplikacije SNIKE je omogućavanje pristupa ovim podacima u adekvatnoj formi za studente, nastavnike i administraciji, na brz i efikasan način preko weba. Nastavno osoblje, na primjer, ima mogućnost pregleda predmeta na kojima je angažovano, pregleda studenata koji sjušaju date predmete, pregleda nastavnih planova na izabranim studijskim programima, uvida u različite informacije o kandidatima, studentima, ili osoblju univerziteta, i sl.

Tokom izgradnje SNIKE-a, jedan od ključnih zahtjeva je bila mogućnost prikaza detaljnih statističkih podataka o različitim aspektima studiranja. Ovakvu statistiku je moguće direktno izgraditi korišćenjem SQL upita selekcije uz pomoć selekcionih unija i agregatnih funkcija. Međutim, zbog obima i kompleksnosti modela podataka glavne baze, ovi upiti zahtijevaju izuzeno veliko vrijeme procesiranja i kao takvi nisu pogodni za često izvršavanje.

Da bi se izbjeglo preopterećivanje glavne baze podataka, smanjilo vrijeme odgovora, i rasteretila lokalna mreža, na aplikaciji SNIKE je implementirano middle-tier keširanje. U cilju obezbijedivanja maksimalne kompatibilnost sa platformom ASP.NET 2.0, za keš bazu podataka je izabran Microsoft Sql Server Express Edition.



Slika 3: Struktura SNIKE aplikacije.

Na slici 3. je prikazana logička struktura aplikacije SNIKE koja koristi read-only pristup back-end bazi. Na aplikativnom sloju je implementiran middle-tier keš zajedno sa modulom za generisanje statističkih podataka. Ovaj modul integriše skup algoritama za automatsko generisanje statistike u intervalima najmanjeg opterećenja glavne baze. Kada se ustanovi povoljan trenutak, regenerator izvršava odgovarajuće upite selekcije nad glavnom bazom podataka, nakon čega se osvježava postojeće stanje keša. Regenerator povremeno provjerava sadržaj keša i u zavisnosti od obima novonastalih promjena procjenjuje potrebu za sledećim osvježavanjem.

Zahvaljujući jednostavnoj šemi keširanih podataka u middle-tier bazi, SQL upiti koji se koriste za njihovu ekstakciju se neuporedivo brže izvršavaju. Web server direktno pristupa keširanim podacima koji su spremni za serviranje i čija je sinhronizovanost na zadovoljavajućem nivou.

## 7. ZAKLJUČAK

Moderna rješenja middle-tier keširanja podataka predstavljaju efikasan način povećanja skalabilnosti back-end baza podataka višeslojnih web aplikacija i servisa. Distribuiranjem aplikativnog sloja na više servera je moguće odgovoriti na povećanje opterećenja sistema, ali samo u mjeri koju diktiraju resursi pozadinske baze podataka. U slučajevima kada podaci ne zahtijevaju visok stepen sinhronizacije, middle-tier keširanje predstavlja optimalno rješenje ovog problema.

Middle-tier keširanje se implementira korišćenjem dodatne, lightweight baze podataka. Ove baze su najčešće besplatne, ili open-source, što middle-tier keširanje čini izuzetno atraktivnim, jeftinim rješenjem. Usljed korišćenja manje zahtjevnih baza podataka, opterećenje web servera koje unosi dodatna baza podataka je najčešće zanemarljivo.

Bilo da je riječ o memory-based, ili disk-based riješenjima, oba omogućavaju povećanje skalabilnosti, fleksibilnosti, dostupnosti i performansi sistema. Memory-based keširanje pruža vrlo visoke performanse, nasuprot disk-based keširanju koje se odlikuje većom pouzdanošću i većim raspoloživim kapacitetom.

## 8. LITERATURA

- [1] C. Mohan, “*Tutorial: Caching technologies for Web Applications*”, VLDB '01, Rim, Italija, 2001.  
[2] Q. Luo, S. Krishnamurthy, C.Mohan, H. Woo, H. Pirahesh, B. G. Lindsay, J. F. Naughton, “*Middle-tier*

*database caching for e-Business*”, ACM SIGMOD '02, Madison, WI, Jun 2002.

[3] Rebecca M. Riordan, “*Designing Effective Database Systems*”, Addison Wesley Professional, Januar, 2005.

[4] K. Selçuk Candan, Wen-Syan Li, Qiong Luo, Wang-Pin Hsiung, and Divyakant Agrawal. “*Enabling Dynamic Content Caching for Database-Driven Web Sites*”, Proc. ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Santa Barbara, Maj 2001.

[5] Anindaya Datta, Kaushik Dutta, Helen M. Thomas, Debra E. VanderMeer, Krithi Ramamritham, and Dan Fishman. “*A Comparative Study of Alternative Middle Tier Caching Solutions to Support Dynamic Web Content Acceleration*”, Proc. Very Large Data Bases Conference, Rim, Italija, 2001.

## ANALIZA KOMUTATORA U ODNOSU NA LOKACIJU BAFERA SWITCH ANALYSIS WITH REGARD TO LOCATION OF THE BUFFERS

Dajana Tomić, Božo Krstajić, *Elektrotehnički fakultet, Podgorica*

**Sadržaj** - Lokacija bafera i prioriteta redova čekanja u komutatoru ima direktan uticaj na opšte performanse komutatora. U ovom radu je prezentovan način modelovanja performansi tri glavna tipa komutatora uzimajući u obzir ograničenja komutacionog uređaja. Pretstavljene su relevantne izrazi za performanse komutatora (propusnost, efikasnost i vjerovatnoća gubitka paketa), kao i njihovo poređenje za tri tipa komutatora.

**Abstract** - The placement of the buffers and the priority queues in the switch has direct impact on the overall switch performance. In this paper, it is illustrated how to model the performance of the three main switch types taking into consideration the limitations of the switching fabric. Relevant expressions for the switch performance (throughput, efficiency and packet loss probability) and comparison of the performance for the three types of switches are presented here.

**Ključne riječi** – Lokacija bafera, modelovanje komutatora, uporedna analiza performansi

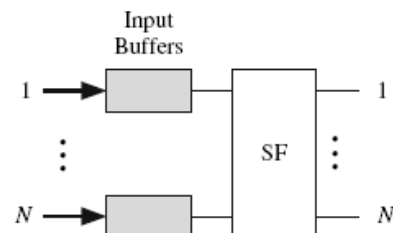
### UVOD

Tri glavna dijela mreža visoke performanse su: linkovi, komutaciona oprema koja povezuje linkove i softver implementiran u komutatorskoj opremi i krajnjim čvorištima [1]. Komutator je hardverska komponenta koja prihvata pakete na svojim ulazima i usmjerava ih do izlaza u skladu sa informacijama o rutiranju koje obezbjeđuje zaglavlje paketa i tabela rutiranja. Uloga komutatora je, prema tome, da usmjerava tokove podataka od ulaznog do izlaznog linka. Komutator paketa sadrži ulazne portove, izlazne portove, komutacioni uređaj i kontrolni dio. Kada paket dodje do komutatora, mora se obraditi na ulazu prije rutiranja do odgovarajućeg izlaznog porta. Lokacija bafera i prioriteta redova čekanja u komutatoru ima direktan uticaj na opšte performanse komutatora. Na osnovu lokacije bafera u komutatoru se vrši podjela na više različitih tipova komutatora [2]: komutator sa ulaznim baferovanjem, komutator sa izlaznim baferovanjem, komutator sa dijeljenim baferom, komutator sa višestrukim ulaznim baferovanjem, komutator sa višestrukim izlaznim baferovanjem, komutator sa višestrukim ulaznim i izlaznim baferovanjem, komutator sa virtuelnim baferovanjem.

U ovom radu će biti prezentovan način modelovanja performansi tri glavna tipa komutatora uzimajući u obzir ograničenja komutacionog uređaja (KU). Različite strategije dizajna koje uključuju ulazno, izlazno i dijeljeno baferovanje će biti analizirane. Takođe će biti prezentirana uporedna analiza komutatora, uključujući izraze za performanse komutatora kao što su propusnost, efikasnost, vjerovatnoća gubitka podataka i kašnjenje.

### 1. KOMUTATOR SA ULAZNIM BAFEROVANJEM

Slika 1.1 prikazuje komutator sa ulaznim baferovanjem gdje svaki ulazni port ima red čekanja koji prihvata sve dolazne pakete sa ulazne linije.



Slika 1.1: Komutator sa ulaznim baferovanjem

Na početku svakog vremenskog slotu, paketi dolaze na ulaze i smještaju se u ulaznim FIFO (*First In First Out*) redovima čekanja. Ulazni kontroler servisira pakete na vrhu reda čekanja (ovi paketi se obično nazivaju HOL (*Head Of Line*) paketi). Osnovne prednosti ovog tipa komutatora su potrebna mala brzina memorije i distribuirano upravljanje saobraćajem, a nedostaci HOL blokiranje i otežana implementacija QoS (*Quality of service*).

Radi pojednostavljenja analize, napravljene su sledeće pretpostavke: svaki ulazni red čekanja ima jedan ulaz i jedan izlaz, veličina ulaznog reda čekanja je  $B$ ,  $a$  je vjerovatnoća dolaska paketa za bilo koji ulaz komutatora,  $p_a$  je vjerovatnoća odlaska paketa iz bilo kog ulaznog reda čekanja, svaki paket ima jednaku vjerovatnoću  $1/N$  zahtijevanja jednog izlaznog porta, nije implementiran *broadcast* ni *multicast* podataka, paketi su izgubljeni ukoliko stignu na pun red čekanja čiji HOL paket ne može biti rutiran u tom vremenskom slotu.

Pod ovim pretpostavkama, svaki ulazni red čekanja se može modelovati kao jedan  $M/M/1/B$  Markovljevi red čekanja [4 -7]. Na osnovu analize ovog reda čekanja mogu se dobiti izrazi za performanse komutatora sa ulaznim baferovanjem:

$$\text{Propusnost: } Th = N_a(out) = p_a(1 - bs_0) \text{ paketa/vremenskom slotu} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Efikasnost: } \eta = \frac{N_a(\text{out})}{N_a(\text{in})} = \frac{p_a(1-bs_0)}{a} \dots\dots\dots (2)$$

Vjerovatnoća gubitka paketa:

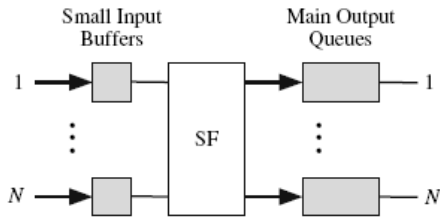
$$L = \frac{N_a(\text{lost})}{N_a(\text{in})} = 1 - \frac{p_a(1-bs_0)}{a} \dots\dots\dots (3)$$

Srednja veličina reda čekanja je:  $Q_a = \sum_{i=0}^B is_i$  paketa .. (4)

Kašnjenje:  $W = \frac{Q_a}{Th}$  vremenskih paketa .. (5)

## 2.KOMUTATOR SA IZLAZNIM BAFEROVANJEM

Slika 2.1 prikazuje komutator sa izlaznim baferovanjem. Kod komutatora sa izlaznim baferovanjem postoje ulazni baferi i izlazni redovi čekanja.



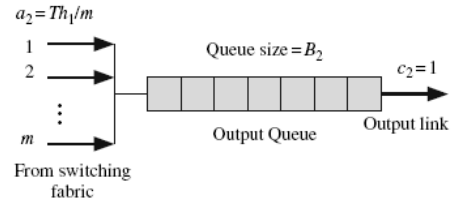
Slika 2.1: Komutator sa izlaznim baferovanjem

Na početku svakog vremenskog slotu, paketi dolaze na ulaze i smiještaju se u ulaznim baferima. Ulazni kontroler servisira pakete podešavajući putanju do željenog izlaza za svaki dolazni paket. Osnovne prednosti ovog tipa komutatora su distribuirano upravljanje saobraćajem i implementacija QoS, a nedostak zahtijevana velika brzina memorije. Radi pojednostavljenja analize, napravljene su sledeće pretpostavke: svaki izlazni red čekanja ima  $m$  ulaza ( $m$  zavisi od dizajna komutacionog uređaja) i jedan izlaz, veličina izlaznog reda čekanja je  $B_2$ , paketi su izgubljeni ukoliko dolaze na pun bafer ili pun izlazni red čekanja. Poslednja pretpostavka ukazuje na to da HOL paketi putuju kroz KU do izlaznog reda čekanja čak i ako je pun. Ova pretpostavka razdvaja analizu ulaznih bafera i izlaznih redova čekanja. Analiza ulaznih bafera analogna je analizi iz prethodnog poglavlja.

Na osnovu pretpostavki u vezi komutatora može se zaključiti da se izlazni red čekanja može tretirati kao  $M^m/M/1/B$  red [1]. Na Slici 2.2 je predstavljen jedan izlazni red čekanja povezan sa izlaznim portom.

Vjerovatnoća dolaska paketa za svaki od  $m$  linkova za izlazni red čekanja je označena kao  $a_2$  i njena vrijednost se dobija upotrebom principa očuvanja saobraćaja:  $N \times Th_1 \approx Nma_2$ .

Tako da je:  $a_2 = \frac{Th}{m} = \frac{p_a(1-be_1)}{m} \dots\dots\dots (6)$



Slika 2.2: Izlazni red čekanja povezan sa izlaznim portom.

Performanse komutatora sa izlaznim baferovanjem:

Propusnost (jednaka propusnosti izlaznog reda čekanja ([1]):  $Th = Th_2 = 1 - r_0e_2$  paketa/vremenskom slotu .. (7)

Efikasnost:  $\eta = \frac{N_{a,2}(\text{out})}{N_{a,1}(\text{in})} = \frac{Th_2}{a} = \frac{1-r_0e_2}{a} \dots\dots\dots (8)$

Srednji izgubljeni saobraćaj:

$$N_a(\text{lost}) = N_{a,1}(\text{in}) - N_{a,2}(\text{in}) = a - Th_2 = a - 1 + r_0e_2 \dots\dots\dots (9)$$

Vjerovatnoća gubitka paketa [1]:

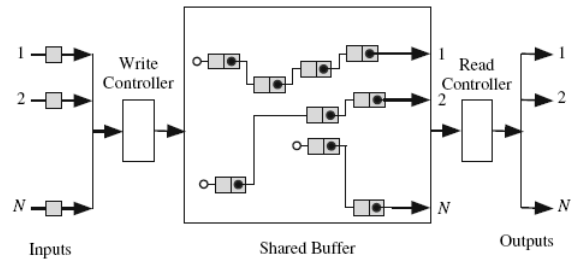
$$L = L_1 + L_2 - L_1L_2 = \frac{N_a(\text{lost})}{N_a(\text{in})} = 1 - \frac{1-r_0e_2}{a} \dots\dots\dots (10)$$

Ukupno kašnjenje:  $W = W_1 + W_2$  vremenskih slotova (11)

## 3. KOMUTATOR SA DIJELJENIM BAFEROM

Slika 3.1 prikazuje komutator sa dijeljenim baferom. Kod ovog komutatora, postoji jedna zajednička memorija kojoj pristupaju svi ulazni i izlazni portovi. Memorija je organizovana, koristeći povezane liste, u više FIFO redova čekanja tako da je svaki izlazni port povezan sa bar jednim redom čekanja. Na početku svakog vremenskog slotu paketi dolaze na ulaze i privremeno se smiještaju u male baferne na svakom ulaznom portu dok ih kontroler dijeljene memorije ne servisira. Osnovne prednosti ovog tipa komutatora su nedostatak HOL problema i činjenica da KU nije potreban, a nedostatak je potreba za memorijom velike brzine.

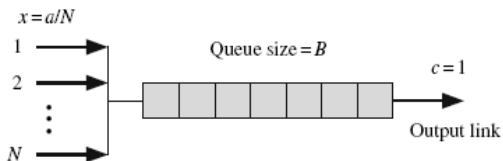
Radi pojednostavljenja analize, napravljene su sledeće pretpostavke: dijeljeni bafer je podijeljen na  $N$  povezanih listi (ili redova čekanja) tako da je svaka lista povezana sa izlaznim portom., maksimalna veličina svake povezane liste je  $B$  i ukupna veličina dijeljene memorije je  $NB$ , svaki red čekanja ima  $N$  ulaza i jedan izlaz.,  $a$  je vjerovatnoća dolaska



Slika 3.1: Komutator sa dijeljenim baferom



paketa za bilo koji ulaz komutatora, vjerovatnoća odlaska paketa iz bilo kog reda čekanja je 1, svaki paket ima jednaku vjerovatnoću  $1/N$  dodavanja na kraj bilo koje povezane liste povezano sa jednim izlaznim portom.. Slika 3.2 prikazuje jednu povezanu listu povezanu sa izlaznim portom.



**Slika 3.2:** Vjerovatnoće dolaska i odlaska paketa za jednu povezanu listu povezanu sa izlaznim portom.

Pod ovim pretpostavkama, dijeljeni bafer se može baferovati kao kolekcija nezavisnih  $M^N/M/1/B$  redova čekanja. Analizira se jedna povezana lista koja pripada označenom izlaznim portu. Vjerovatnoća da je ulazni port određen za označeni izlazni port je:  $x = \frac{a}{N}$  ..... (12)

Performanse komutatora sa dijeljenim baferovanjem:

Propusnost za označeni red čekanja:  $Th = 1 - s_0 r_0$  paketa/vremenskom slotu ..... (13)

Efikasnost komutatora:  $\eta = \frac{N_a(out)}{N_a(in)} = \frac{1 - r_0 s_0}{a}$  ..... (14)

Vjerovatnoća gubitka paketa:  $L = 1 - \eta = 1 - \frac{1 - s_0 r_0}{a}$  (15)

Kašnjenje:  $W = \frac{Q_a}{Th}$  vremenskih slotova ..... (16)

#### 4. UPOREDNA ANALIZA KOMUTATORA

U narednom tekstu će biti opisano poređenje performansi tri opisana tipa komutatora.

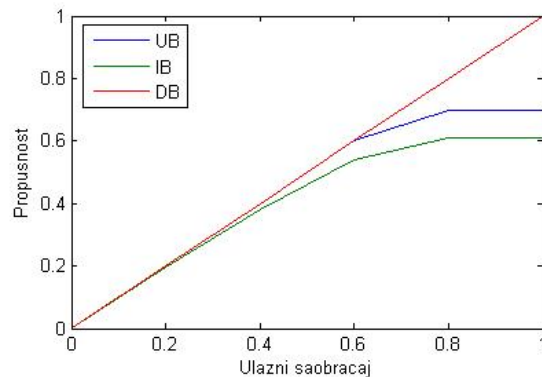
Pretpostavka je da komutator sa ulaznim baferovanjem ima ulazni bafer veličine  $B = 18$  i vjerovatnoća prihvatanja paketa od strane komutacionog uređaja je  $p_a = 0.7$ . Pretpostavka je da komutator sa izlaznim baferovanjem ima ulazni bafer veličine  $B_1 = 4$  i izlazni red čekanja je  $B_2 = 18$  i  $p_a = 0.7$ . Komutacioni uređaj je takav da samo tri paketa mogu biti prihvaćena od strane izlaznog bafera u bilo kom vremenskom slotu (t.j.  $m = 3$ ). Pod ovim uslovima, pojednostavljeni modeli za tri komutatora daju krive performansi prikazane na Slici 4.1.

Propusnost sva tri komutatora je skoro indentična dok se ulazni saobraćaj ne približi  $a \approx p_a$ . Nakon toga, komutator sa dijeljenim baferom pokazuje veću propusnost.

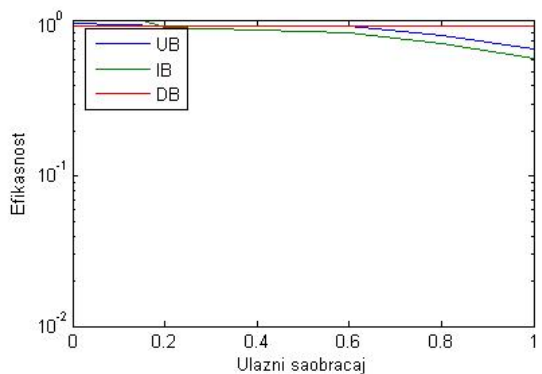
Efikasnost svih tipova komutatora je indentična i jednaka jedinici dok se ulazni saobraćaj ne približi  $a \approx p_a$ . Nakon toga, komutator sa dijeljenim baferom i dalje ima jediničnu

efikasnost dok komutator sa ulaznim baferovanjem i komutator sa izlaznim baferovanjem pokazuju znake opadanja efikasnosti.

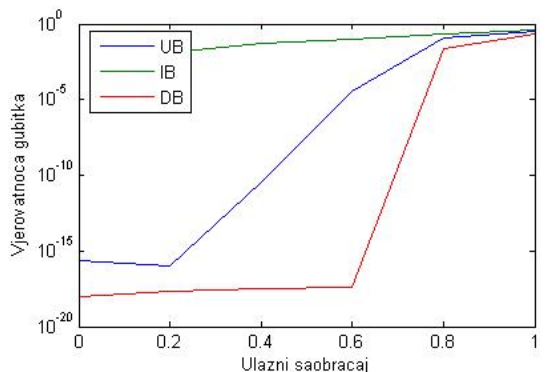
Vjerovatnoća gubitka paketa je najmanja za komutator sa dijeljenim baferom za date parametre. Komutator sa ulaznim baferovanjem i komutator sa izlaznim baferovanjem pokazuju višoj vjerovatnoću gubitka paketa.



a) Propusnost



b) Efikasnost



c) Vjerovatnoća gubitka paketa

**Slika 4.1:** Performanse komutatora sa ulaznim baferovanjem (plava linija), komutatora sa izlaznim baferovanjem (zeleno linija) i komutator sa dijeljenim beferom (crvena linija) u zavisnosti od ulaznog saobraćaja.

## ZAKLJUČAK

Rutiranje poruke kroz mrežu je fundamentalna aktivnost koju obavljaju različite komponente mreže. Parametri performanse mreže kao što su kapacitet, propusni opseg i kašnjenje u osnovi zavise od rutera i komutatora.

Različite arhitekture komutatora predstavljene u ovom radu omogućavaju simultane putanje između bilo kog ulaza i izlaza. Performanse komutatora variraju u zavisnosti od lokacije bafera/redova čekanja i u zavisnosti od tipa komutacionog uređaja. Presentovan je način modelovanja performansi tri glavna tipa komutatora uzimajući u obzir ograničenja komutacionog uređaja. Korišćeni su izrazi za performanse komutatora kao što su propusnost, srednja veličina bafera, vjerovatnoća gubitka podataka i kašnjenje paketa [1].

Na osnovu rezultata uporedne analize komutatora predstavljanih u radu, kao i na osnovu literature ([1]), može se zaključiti da za zadate parametre komutator sa dijeljem baferom pokazuje najbolje performanse.

## LITERATURA

[1] Fayed Gebali *Analysis of Computer and Communication Networks*, 2008

[2] J. Warland and R. Varaiya *High-Performance Communication Networks*, Morgan Kaufmann, San Francisco, 2000.

[3] W. Stallings, *Data and Computer Communications*, Fourth edition, Prentice Hall, New Jersey, 1994.

[4] H.J. Siegel, R.J. McMillen and P.T. Mueller, "A survey of Interconnection methods for reconfigurable parallel processing systems", *Proc. AFIPS 1979*, vol. 48, pp. 529–542, 1979.

[5] F.A. Tobagi, "Fast packet switch architectures for broadband integrated services digital networks", *Proc. IEEE*, vol. 78, pp. 133–166, 1990.

[6] S.E. Butner and R. Chivukula, "On the limits of electronic ATM switching", *IEEE Networks*, vol. 10, no. 6, pp. 26–31, Nov./Dec. 1996.

[7] A. Sabaa, F. Elguibaly and D. Shpak, "Design and modeling of a nonblocking input-buffer

## PERFORMANSE MEL FITARSKIH BANAKA KOD REKONSTRUKCIJE GOVORA PERFORMANCES MEL FILTERBANKS FOR SPEECH RECONSTRUCTION

Zoran Veličković, Zoran Milivojević, *Visoka tehnička škola, Niš*

**Sadržaj** - U ovom radu su određene performanse algoritma za rekonstrukciju govora iz MFCC koeficijenata primenom različitih MEL filtarskih banaka. U uslovima promenljivog SNR-a testirane su performanse rekonstrukcije govora za različite dužine MFCC vektora. Eksperimentom je pokazano da filtarska banka sa linearnim rasporedom trougaonih filtara ima manju MSE pri rekonstrukciji govora iz MFCC-a.

**Abstract** - In this paper, we determined the performances of a MFCC algorithm for speech reconstruction using different MEL filterbank. The performances of speech reconstruction are evaluated in variable SNR and variable length of MFCC vector. Experiment show that filterbank with linearly spaced triangle filters have smaller MSE in speech reconstruction from MFCC.

### 1. UVOD

Savremene mobilne komunikacije podrazumevaju pristup automatizovanim sistemima za prepoznavanje govora (engl. *Automatized Speech Recognition* - ASR). Neke od mobilnih aplikacija zahtevaju pored prepoznavanja govora i prepoznavanje govornika. Tradicionalni način da se ove aplikacije realizuju zasnovan je na analizi rekonstruisanog govornog signala na prijemnoj strani. Ova analiza se najčešće obavlja nad govornim signalom u vremenskom domenu. Uticaj šumova iz govornog okruženja kao i karakteristike prenosnog puta su značajni faktori koji utiču na kvalitet rekonstruisanog signala. Da bi se uticaj ovih faktora na rekonstrukciju govornog signala smanjio, razvijeni su sistemi prepoznavanja kod kojih se parametri izračunavaju na terminalnoj strani (engl. *Distributed Speech Recognition* - DSR). Izračunati parametri prepoznavanja se pakuju u vektor prepoznavanja (engl. *Recognition Feature Vector* - RFV) i šalju prijemnoj strani [1]. Za razliku od ASR sistema, DSR sistemi direktno koriste RFV za prepoznavanje govora. Savremeni mobilni servisi pored prepoznavanja govora, često zahtevaju i rekonstrukciju govornog signala iz RFV-a. Osnovni algoritam za izračunavanje RFV-a se bazira na estimaciji MFCC (engl. *Mel Frequency Cepstral Coefficients*) koeficijenata za svaki frejm govornog signala. Prilikom izračunavanja MFCC koeficijenata primenjuje se banka filtara sa trougaonom amplitudskom karakteristikom. Banka filtara je komponovana od  $p$  linearno i  $q$  logaritamski razmaknutih filtara duž frekventne ose sa definisanom centralnom frekvencijom. Za svaki filter iz filtarske banke određuje se kepstralni koeficijent. Nad ovako dobijenim kepstralnim koeficijentima primenjuje se diskretna Furijeova transformacija (engl. *Discrete Fourier Transform* - DCT) kojom se optimizuje dužina MFCC vektora, a samim tim i RFV-a. Dakle, broj trougaonih filtara i parametri DCT-a određuju rezoluciju izračunavanja kepstralnih koeficijenata, odnosno dužinu MFCC koeficijenata. Kod DSR sistema, tipično se koristi 23 trougaona filtra [2]. Komprimovanjem dobijenih kepstralnih koeficijenata primenom DCT-a, dobija se MFCC vektor dužine 13. MFCC koeficijenti nisu razvijeni za potrebe kvalitetne rekonstrukcije govora, već za potrebe prepoznavanja govora, te zbog toga opisuju specifične

karakteristike vokalnog trakta govornika. Obzirom da se rekonstrukcija govornog signala kod DSR sistema realizuje iz aproksimirane spektralne karakteristike frejma govornog signala, nužno dolazi do pada kvaliteta rekonstruisanog govora. Aproksimirana spektralna karakteristika se dobija iz MFCC vektora i na osnovu nje se formira sinusni model govornog signala [3]. Za realizaciju sinusnog modela neophodno je poznavanje vrednosti fundamentalne frekvencije [4] govornog frejma  $F_0$ . Da bi na prijemnoj strani raspolagali vrednošću fundamentalne frekvencije, ona se izračunava na terminalnoj strani i sastavni je deo RFV-a. Pored podataka o numeričkoj vrednosti fundamentalne frekvencije u sastavu RFV-a šalje se i podatak o karakterizaciji frejma (engl. *voicing*). Dakle, na terminalnoj strani se formira podatak o tome da li frejm sadrži ili ne govori. Algoritmi za karakterizaciju frejma opisani su u radu [5]. ETSI Aurora standardom [6] je definisano da se fundamentalna frekvencija  $F_0$  i informacija o karakteru frejma pridružuju RFV-u na predajnoj strani.

U ovom radu su komparirane performanse algoritma rekonstrukcije govora iz MFCC-a realizovanog standardnom bankom filtara [7], koju ćemo u ovom radu označiti kao FB\_SLANEY, i bankom filtara koja je primenjena u [8], sa oznakom FB\_MEL. U osnovi ove dve filtarske banke se razlikuju po broju i tipu trougaonih filtara. Tako, filtarska banka FB\_SLANEY sadrži 40 filtra dok filtarska banka FB\_MEL sadrži 23 filtra. Kod FB\_SLANEY centralne frekvencije prvih deset trougaonih filtara su linearno razmaknute, dok je ostalih trideset logaritamski razmaknuto na frekvencijskoj osi. Prvih deset filtara se nalaze u nisko-frekvencijskom delu spektara, dok je ostatak raspoređen na visokofrekventni deo spektara. Kod FB\_MEL ne postoji klasa linearno razmaknutih filtara, već su sve centralne frekvencije trougaonih filtara logaritamski razmaknute na frekvencijskoj osi. Iz same strukture filtarskih banaka se može zaključiti da su centralne frekvencije trougaonih filtara, kao i širine propusnih opsega različite. Ovo će imati značajan uticaj na rezoluciju izračunavanja i dužinu MFCC koeficijenata. Kvalitet rekonstrukcije govornog signala je testiran u uslovima prisustva belog Gausovog šuma i različite dužine MFCC vektora.

Performanse algoritma za rekonstrukciju govora iz MFCC-a su određene izračunavanjem srednje kvadratne greške (engl. *Mean Square Error - MSE*). MSE je objektivni način procene kvaliteta govora i zasniva se na matematičkom izračunavanju srednje kvadratne greške originalnog i rekonstruisanog signala govora [9]. Dakle, za izračunavanje MSE-a neophodno je raspolagati originalnim i degradiranom govornom sekvencom. U [9] je pokazano da se kvalitet rekonstruisanog govora može poboljšati povećanjem dužine MFCC-a. Takođe, pokazano je da kvalitet rekonstrukcije govora degradira u prisustvu šuma i da je direktno zavisian od SNR-a.

U poglavlju 2 je dat prikaz osnovnih karakteristika trougaonih filtarski banaka, dok su u poglavlju 3 prikazani algoritmi za izračunavanje MFCC koeficijenata i rekonstrukciju govora iz istih. U poglavljima 4 i 5 su prikazani eksperimentalni rezultati i data je komparativna analiza.

## 2. TROUGAONE BANKE FILTARA

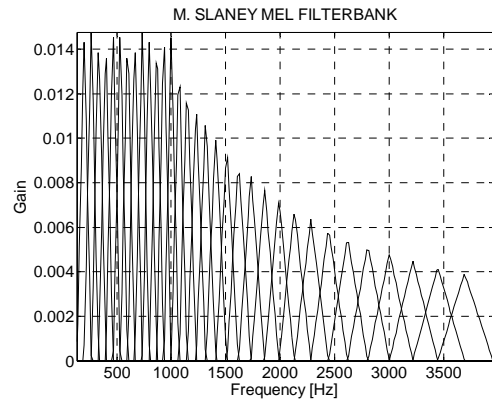
Primena filtarskih banaka u procesiranju signala je prisutna dugi niz godina. Posebno je značajna njihova primena u procesiranju govornih signala. Za procesiranje govornih signala najčešće su korišćene filtarske banke sa trougaonim spektralnim karakteristikama. Maksimum spektralne karakteristike je definisan centralnom frekvencijom svakog filtra iz banke, dok se propusni opseg proteže od centralne frekvencije prethodnog do centralne frekvencije narednog trougaonog filtra. Broj filtara i centralne frekvencije trougaonih filtara su osnovne karakteristike filtarske banke. Da bi se opisale karakteristike vokalnog trakta prema audio percepciji čoveka, centralne frekvencije trougaonih filtara nisu linearno raspoređene duž frekvencijske ose. Čovečija percepcije zvuka podrazumeva linearnu karakteristiku u nižem, a logaritamsku u višem frekvencijskom delu čujnog spektra. Granica koja deli linearno i logaritamski razmaknute filtre nalazi se na 1kHz. Filtarsku banku prema opisanom modelu je predložio Slaney u radu [7]. Spektralne karakteristike filtara iz ove filtarske banke dat je na slici 1. Sa slike 1 se može uočiti da ovaj model filtarske banke ima deset linearno razmaknutih filtara sa jednakom širinom propusnog opsega. Takođe, može se uočiti niz trougaonih filtara sa logaritamski razmaknutim centralnim frekvencijama. Kod filtarske banke FB\_SLANEY, centralne frekvencije trougaonih filtara  $f_c$  u linearnom rasporedu, se izračunavaju prema:

$$f_c(k) = f_c(k-1) + 133, \quad (1)$$

dok se centralne frekvencije logaritamski raspoređenih filtara određuju prema:

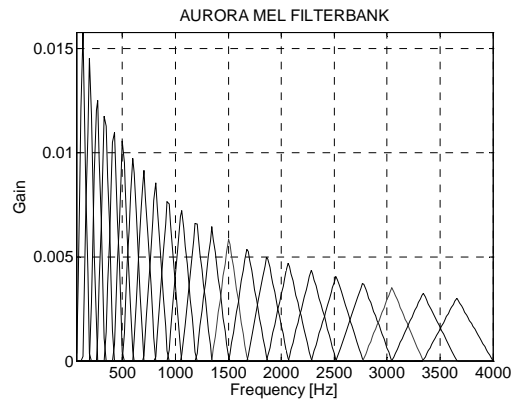
$$f_c(k) = f_c(k-1) \cdot 1.07117, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (2)$$

gde je K ukupni broj filtara, a k redni broj filtra u filtarskoj banci. Kod filtara u logaritamskom rasporedu, filtri sa većom centralnom frekvencijom imaju veći propusni opseg, odnosno filtar sa najmanjom centralnom frekvencijom ima najmanji propusni opseg. Ovako definisana frekvencijska banka dobro opisuje čovekovu percepciju zvuka.



Sl. 1. Trougaona banka filtara sa linearnim i logaritamskim rasporedom centralnih frekvencija - FB\_SLANEY.

Da bi se kroz nisko propusne komunikacione kanale preneo govorni signal, izvršeno je smanjenje broja filtara u filtarskoj banci i ukinuti su linearno razmaknuti filtri. Istovremeno su propusni opsezi trougaonih filtara povećani. Ove izmene u trougaonoj filtarskoj banci nisu imale za posledicu drastično snižavanje performansi algoritama za prepoznavanje govora. U ovom radu je razmatran uticaj ovih promena na kvalitet rekonstruisanog govora kod DSR sistema. Takođe, razmatran je uticaj dužine MFCC vektora na kvalitet rekonstrukcije u uslovima Gausovog belog šuma. Na slici 2 je prikazana banka filtara FB\_MEL koja je realizovana trougaonim filtrima sa logaritamskim rasporedom centralnih frekvencija. I kod ove banke filtara širina propusnog opsega raste sa porastom centralne frekvencije. Frekvencijski opseg od 0 do 1kHz je kod ove filtarske banke prebrisan filtrima sa logaritamski razmaknutim centralnim frekvencijama. Ukupan broj trougaonih filtara je smanjen u odnosu na FB\_SLANEY i iznosi K=23.



Sl. 2. Trougaona banka filtara sa logaritamskim rasporedom centralnih frekvencija - FB\_MEL.

Centralne frekvencije trougaonih filtara  $f_c$  prema ETSI Aurora [2] standardu se izračunavaju prema:

$$f_c(k) = -228.83 + 4228.8 \cdot \exp\left(-2.67 \cdot \frac{k}{23}\right). \quad (3)$$

U tabeli 1 je dat prikaz centralnih frekvencija za obe filtarske banke FB\_MEL i FB\_SLANEY.

Tabela 1

Centralne frekvencije trouganih fitera iz filtarske banke FB\_MEL i FB\_SLANEY

Filtar br.	FB MEL	FB SLANEY
	$f_c$ [Hz]	$f_c$ [Hz]
1.	124,1	199,99
2.	188,9	266,65
3.	258,8	333,31
4.	334,2	399,97
5.	415,5	466,63
6.	503,2	533,29
7.	597,8	599,95
8.	699,9	666,61
9.	809,9	733,27
10.	928,7	799,93
11.	1056,8	866,59
12.	1194,9	933,25
13.	1344	999,67
14.	1504,7	1070,8
15.	1678,1	1147
16.	1865,1	1228,7
17.	2066,8	1316,1
18.	2284,3	1409,8
19.	2519	1510,1
20.	2772,1	1617,6
21.	3045,2	1732,7
22.	3339,7	1856
23.	3657,4	1988,1

Iz tabele 1 se može uočiti da se centralne frekvencije i širine propusnih opsega filtara u filtarskim bankama razlikuju. Izbor centralnih frekvencija i broj fitara karakterišu filtarsku banku. U ovom radu ćemo odrediti performanse obeju fitarskih banaka sa stanovišta kvaliteta rekonstruisanog govora. Takođe, varijacijom dužine MFCC vektora u DCT-u biće određena je njegova optimalna vrednost.

#### REKONSTRUKCIJA GOVORA IZ MFCC-a

Algoritam izračunavanja MFCC koeficienata  $c_y$  govornog signala  $s(n)$  sastoji se od šest koraka koji su prikazani u tabel 2 [2]. Na prijemnoj strani iz MFCC-a se određuje aproksimirana spektralna anvelope govornog frejma. Dve osnovne tehnike za rekonstrukciju govora iz aproksimirane anvelope spektra su poznate pod imenima SF (engl. *source-filter*) i SM (engl. *sinusoidal model*) modeli rekonstrukcije govora. SF model se bazira na filtriranju pobudnih impulsa frekvencije  $F_0$  filtrom koji predstavlja model vokalnog trakta čoveka. Rekonstrukcija govornog signala sinusnim modelom realizuje se prema sledećem izrazu:

$$\hat{s}(n) = \sum_{j=0}^{J-1} A_j \cos(2\pi f_j n + \theta_j), \quad n = 0, 1, \dots, N-1, \quad (4)$$

gde je  $A_j$  amplituda,  $f_j$  frekvencija i  $\theta_j$  faza  $j$ -te spektralne komponente rekonstruisanog signala  $\hat{s}$ .  $J$  je red sinusnog modela a  $N$  dužina frejma. Frekvencija  $j$ -te sinusoidalne komponente,  $f_j$ , određena je u zavisnosti od fundamentalne frekvencije  $F_0$ :

Tabela 2.

Koraci pri izračunavanju MFCC koeficienata

Korak	OPIS	REALIZACIJA
1	Predfiltriranje	$x(n) = s(n) - 0.97s(n-1)$
2	Formiranje frejmova Hammingovim prozorom	$y(n) = x(n)h(n)$ $h(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)$ $0 \leq n \leq N-1$
3	Određivanje anvelope spektra, FFT	$ Y(f)  = \left  \sum_{n=0}^{N-1} y(n) e^{-j2\pi f n} \right $
4	Filtriranje anvelope filtarskom bankom $w$	$Y_k = \sum_{f=0}^{\frac{N}{2}-1}  Y(f)  w_k(f)$ $1 \leq k \leq K, K = \{23, 40\}$
5	Određivanje Cepstral koeficienata	$\ln Y_k$
6	Kompresija Cepstral koeficienata DCT-om	$c_y(i) = u_i \sum_{k=1}^{K-1} (\ln Y_k) \cos\left(\frac{(2k-1)i\pi}{2K}\right)$ $0 \leq i \leq I, I = \{23, 40\}$ $u_i = \frac{1}{\sqrt{K}}, i = 0, u_i = \sqrt{\frac{2}{K}}, i > 1$

$$f_j = j \cdot F_0, \quad j = 0, \dots, J-1. \quad (5)$$

Pojedinačne amplitude svake sinusoidalne komponente  $A_j$  određuju se prema:

$$A_j = \left| \hat{S}(j F_0) \right|, \quad j = 1, \dots, J-1, \quad (6)$$

gde je  $\hat{S}$  aproksimirana amplitudska karakteristika dobijena iz MFCC vektora. Amplituda svake harmonijske komponente  $A_j$  se određuje na prijemnoj strani iz rekonstruisanog spektra svakog frejma posebno, dok se faza harmonijske komponente  $\theta_j$  aproksimira sa:

$$\theta_j = j\theta_0(mT) + \Theta_j, \quad j = 0, 1, \dots, J-1 \quad (7)$$

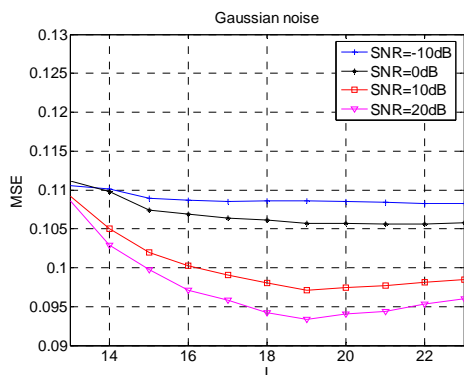
gde je  $\theta_0$  faza fundamentalne frekvencije,  $m$  redni broj frejma,  $T$  trajanje frejma i  $\Theta_j$  fazni pomeraj karakterističan za vokalni trakt. Sinusni model se primenjuje samo kod frejmova koji su karakterizirani kao govorni. Predložen je veliki broj algoritama za određivanje fundamentalne frekvencije  $F_0$  u vremenskom, frekventnom i kepral domenu. Primena PCC interpolacionog algoritma na određivanje fundamentalne frekvencije data je u [4]. Obzirom na činjenicu da se rekonstrukcija anvelope spektra govornog signala određuje na osnovu MFCC vektora, dužina MFCC vektora ima značajan uticaj na kvalitet rekonstrukcije. Kada se radi sa relativno malom dužinom MFCC vektora, nužno dolazi do spektralnih razlika prvenstveno u višim delovima. Ova spektralna razlika će prouzrokovati degradaciju rekonstruisanog govornog signala. U literaturi je pokazano da sa snižavanjem SNR odnosa dolazi do degradiranja funkcije

prepoznavanja govora i kvaliteta rekonstruisanog signala [8, 9].

### 3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

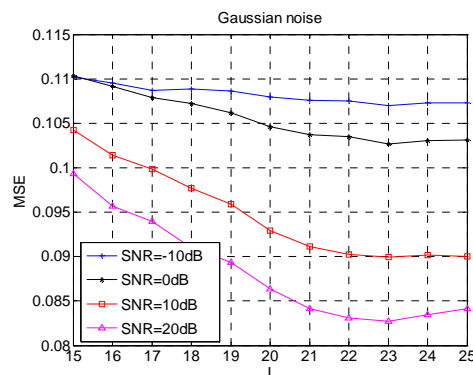
Performanse algoritma su određene na skupu od  $G=5+5=10$  govornika (pet muških i pet ženskih). Govorni signal je odmeravan frekvencijom  $F_s=8kHz$  i zapamćen u formi \*.wav datoteka. Korišćeni su sledeći parametri MFCC algoritma: trajanje frejma  $T=25ms$  a preklapanje frejmova  $10ms$ , čime je određena brzina obrade od 100 frejmova u sekundi. Primenjena je DFT u  $N_{FFT}=512$  tačaka. Za izračunavanje MFCC koeficijenata na terminalnoj strani korišćene su filtarske banke FB\_MEL i FB\_SLANEY koje su opisane u poglavlju 2. Dužina DCT-a menjana je u opsegu  $I=13-23$  za FB\_MEL i  $I=15-25$  za FB\_SLANEY. Ocenjivan je kvalitet rekonstruisanog govora u prisustvu varjabilnog aditivnog belog Gausovog šuma. Performanse primenjenih filtarskih banaka određene su srednje kvadratnom greškom MSE između originalnog i rekonstruisanog signala [9].

Na slikama 3 i 4 prikazane su srednje kvadratne greške u funkciji dužine MFCC koeficijenta i SNR-a primenom FB\_MEL i FB\_SLANEY filtarskih banka respektivno. Kako je opisano u poglavlju 2, FB\_MEL filtarska banka ima 23, a FB\_SLANEY 40 filtara sa centralnim frekvencijama datim u tabeli 1. Sa slika se može jasno uočiti da se MSE snižava sa porastom SNR-a, odnosno, sa povećanjem dužine MFCC vektora. Sa slike 3 se može uočiti da povećanje dužine MFCC-a daje značajnije efekte pri većem SNR-u ( $SNR \geq 10dB$ ). Međutim, pri  $SNR=-10dB$ , povećanje dužine MFCC-a,  $I > 15$  ne daje značajna poboljšanja. Međutim za  $SNR=20dB$  povećanje dužine MFCC-a ima smisla sve do  $I=19$ .



Sl. 3. Srednja kvadratna greška (MSE) u funkciji dužine MFCC vektora i SNR-a dobijena primenom FB\_MEL filtarske banke.

I kod primene FB\_MEL filarske banke, najveći MSE se ima za  $SNR=-10dB$ , dok se za  $SNR=20dB$  dobija najniža vrednost. Na slici 4 je primetan veći razmak između krivih u odnosu na sliku 3, što znači da pri porastu dužine MFCC vektora ili povećanja SNR-a, dolazi do značajnijeg poboljšanje karakteristika primenom FB\_SLANEY filtarske banke. Sa stanovišta realizacije treba imati u vidu da je kod FB\_SLANEY znatno veći broj fitara te se samim tim zahteva značajnije vreme za određivanje MFCC koeficijenata.



Sl. 4. Srednja kvadratna greška (MSE) u funkciji dužine MFCC vektora i SNR-a dobijena primenom FB\_SLANEY filtarske banke.

### ZAKLJUČAK

Kompariranjem dobijenih rezultata može se zaključiti da se obe filtarske banke slično ponašaju pri promeni dužine MFCC vektora kao i SNR-a u uslovima belog Gausovog šuma. Niža MSE je dobijena primenom FB\_SLANEY filtarske banke. Sa slika 3 i 4 se može uočiti da pri velikom SNR-u postoji optimalna dužina MFCC vektora koja za FB\_SLANEY iznosi 23, dok za FB\_MEL iznosi 19. Pri malom SNR-u ova karakteristika je slabo izražena.

### LITERATURA

- [1] T. Ramabadran, A. Sorin, M. McLauhlin, D. Pearce, R. Hoory, "The ETSI extended distributed speech recognition (DSR) standards: server – Side speech reconstruction", *Proceedings of ICASSP*, pp. 53-56, 2004.
- [2] *ESTI document* - "ES 201 108 - STQ: DSR - Front-end feature extraction algorithm; compression algorithm", 2000.
- [3] R.J. McAuley and T.F. Quatieri, "Speech analysis/synthesis based on a sinusoidal representation", *IEEE Transaction Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 34, pp. 744-754, 1986.
- [4] Milivojević ZN, Mirković MDj. "Estimation of the fundamental frequency of the speech signal modeled by the SYMPES method", *Int J Electron Commun (AEU)*, doi: 10.1016/j.aeue.2007.12.006, 2008.
- [5] T. Nakatani, S. Amano, T. Irino, K. Ishzuka, T. Kondo, "A method for fundamental frequency estimation and voicing decision: Application to infant utterances recorded in real acoustical environments", *Speech Communication* 50, pp. 203–214, 2008.
- [6] *ETSI document* - "ES 202 212—STQ: DSR, Extended advanced front-end feature extraction algorithm; compression algorithms; back-end speech reconstruction algorithm", 2003.
- [7] M.Slaney, "Auditory toolbox version 2", Tech. Rep.1998-010, Interval Research Corporation, 1998.
- [8] B. Milner and X. Shao, "Clean speech reconstruction from MFCC vectors and fundamental frequency using an integrated front-end", *Speech Communication* 48, pp. 697–715, 2006.
- [9] Z. Veličković, Z. Milivojević, "Rekonstrukcija govora iz MFCC-a u prisustvu Babble šuma", *Proceedings of TELFOR*, pp. 695-698, 2008.

## SAVREMENI ALATI I TEHNIKE ELEKTRONSKOG UČENJE MODERN TOOLS AND TECHNIQUES OF E-LEARNING

Ramo Šendelj, *Fakultet za informacione tehnologije, Univerzitet Mediteran, Podgorica*  
Danijela Milošević, Maja Božović, *Tehnički Fakultet Čačak*

**Sadržaj:** *Prvi oblici elektronskog učenja koji su se primjenjivali prije nekih desetak godina koristili su virtuelno okruženje za učenje (Virtual Learning Environment). Osnovna karakteristika ovog softvera bila je viša orjentsanost na strukturu kursa, definisanje plana rada i testiranje, nego prema samom subjektu obrazovanja, studentu-učeniku. Početak primjene elektronskog učenja u procesu obrazovanja podudara se sa promjenama koje su nastale na Web-u. Web 1.0 omogućavao je samo čitanje sadržaja, pa se shodno tim karakteristika i pripremao nastavni materijal, a komunikacija sa studentima se odvijala putem elektronske pošte. Razvoj novih alata i servisa, kao što su blog, wiki, podcast i drugi socijalni softveri, proširili su mogućnosti Web-a, tako da je sada omogućeno interaktivno i čitanje i pisanje (Web 2.0) i na taj način pružena velika podrška elektronskom učenju. Savremene teorije učenja naglašavaju da različiti socijalni i kulturni faktori moraju biti uzeti u obzir pri objašnjavanju učenja. U tom konceptu studenti-učenici su aktivni učesnici koji razmjenjuju ideje, rješavaju otvorene probleme, koriste različite izvore informacije i zajedno kreiraju novo znanje. Taj pristup nazvan je e-learning 2.0. U ovom radu prikazane su alati i tehnike elektronskog učenja, od početka primjene do njene aktuelne verzije elearning 2.0.*

**Abstract:** *Original forms of electronic learning that were applied about ten years ago used Virtual Learning Environment. Basic characteristic of this software was committed to the course structure, defining curriculum and testing. Therefore, it was more committed to educational institutions than to the subject in education, student-learner. The beginning of applying electronic learning in the educational process corresponds the changes on the Web. Web 1.0 enabled only reading the contents, so the teaching material was prepared in accordance with these characteristics, and communication with students was held only via emailing. Development of new tools and services, such as blog, wiki, podcast, and other social softwares, broadened capacity of the Web, so both interactive reading and writing are possible now (web 2.0), which gives full support to electronic learning. Modern theories about learning emphasise that different social and cultural factors have to be considered for explaining learning. In that concept, students-learners are active participants who exchange information and create new knowledge together. That approach is called e-learning 2.0. This work is explaining the tools and techniques of e-learning from its original application to its actual version of e-learning 2.0.*

*Ključne riječi (Key words):* *weblog, wiki, e-learning, Web 2.0, e-learning 2.0*

### I UVOD

Elektronsko učenje ili e-learning - već po svom nazivu u originalu na engleskom jeziku, postalo je svuda prisutni «brend», zaštitni znak za inovativni pristup učenju nove generacije studenata-učenika. Njegov podskup, online učenje, danas je u fokusu pažnje, kako zbog rastuće primjene na svim nivoima obrazovanja, tako i zbog brojnih analiza pozitivnih i negativnih aspekata ovog učenja.

E-learning danas obično ima formu online kurseva. Element kursa je - objekt učenja (learning object). Sastavljanjem ili organiziranjem objekata učenje dobija se sadržaj kursa. Standardima je utvrđen koncept objekata u rigorozne forme i utvrđena procedura kako se ovi sadržaji sastavljaju i organizuju u kurseve i pakete za isporuku na Internet.

Dominantna tehnologija koja se danas primjenjuje za organizaciju i isporuku online kurseva je sistem za menadžment učenja (learning management system, LMS). Ovaj softver postao je neizbježni dio okruženja učenja (learning environment, LE). Kompanije kao što su WebCT i Blackboard instalirale su proizvode na hiljadama univerziteta i koledža. Veliki broj instruktora i studenata koristi ove LMS

sisteme. Sistem LMS preuzima sadržaj učenja i organizuje ga na standardan način, kao kurs izdijeljen na module ili lekcije, podržan nekim kvizom i testovima. Na mnogim univerzitetima i koledžima sistem LMS integrisan je sa postojećim informacionim sistemom studenata.

Postojeći sadržaji učenja organizovani su po tradicionalnom modelu učenja na daljinu i isporučuju se ili kompletno online (preko Interneta), ili u kombinaciji sa tradicionalnim seminarima, grupama studenata vođenih instruktorom. Kursevi su usklađeni sa propisanim nastavnim planom i programom i vremenom planiranim za njihovu realizaciju.

E-learning, kao svaka inovacija, prošao je svoju prvu fazu razvoja i prihvaćen je s oduševljenjem od edukatora mlađe generacije, ali i suočena sa oponentima konzervativnog tipa. Njegov razvoj posebno je trasiran u Sjedinjenim Američkim Državama i Evropi, a u posljednje vrijeme i u Australiji, Novom Zelandu i Kanadi.

### II PRIMJENA ELEKTROSNKOG UČENJA U SAVREMENOM OBRAZOVANJU

Univerziteti u SAD, prvi su započeli razvoj i primjenu elektronskog učenja. Chris Curran u svom studiji «Strategies



for ELearning in Universities» (<http://repositories.cdlib.org>), opisuje postupke uvođenja elektronskog učenja na univerzitetima. Akademici su među prvima upotrijebili elektronsku poštu i World Wide Web prvenstveno za podršku njihovim istraživanjima, pristup informacijama i komuniciranje sa kolegama, a kasnije i kao dopunu u podučavanju studenata.

### **Širenje pristupa mogućnostima obrazovanja**

Širenje pristupa obrazovanju, posebno vanrednom studiju i stranim studentima je cilj mnogih univerziteta. Pojedinci koji nisu imali mogućnost da na vrijeme pohađaju univerzitet, koji su zaposleni, koji stanuju daleko od odgovarajuće obrazovne organizacije, a žele steći opštepriznati stepen stručne spreme, koji se doškolovavaju u slobodno vrijeme, ili žele upisati postdiplomski studij – zainteresovani su za ovaj oblik online učenja.

Inicijativa, razvoj programa i nastava za e-learning postaju integralni dio redovnog rada univerziteta. Kurseve razrađuje postojeći nastavni kadar, a obično se baziraju na postojećim kursovima. Programi jednom izrađeni, postaju standardni dio nastavnog plana i programa studija na univerzitetu i na raspolaganju studentima 24 časa dnevno, 7 dana u nedelji. Kurseve obično vode postojeći nastavnici.

### **Obim ponuđenih programa**

Do 2001/2002. godine oko stotinu institucija pružalo je usluge elektronskog učenja, nudeći preko 300 studijskih programa za oko 400 000 upisanih studenata.

U novijem istraživanju na 1000 koledža i univerziteta u Sjedinjenim Američkim Državama [8] objavljeni su slijedeći podaci o stanju online obrazovanja

- Broj studenata upisanih na online kurseve povećan je sa 1,98 miliona u 2003. godini, na 2,35 miliona u 2004. godini
- 65% univerziteta koji nude postdiplomski studij, takođe nude i online kurseve
- 63% koledža i univerziteta koji nude studij u učionici, takođe nude i online kurseve
- 44% institucija koje nude postdiplomski studij - Master's, takođe nude i online programe

U ovom istraživačkom projektu prihvaćeno je da su online programi oni koji isporučuju online 80% ili više svojih sadržaja.

### **Poboljšanje kvaliteta nastave**

Poboljšanje kvaliteta nastave i učenja kroz upotrebu nove tehnologije je primarni cilj univerziteta. Uobičajen je pristup da se e-learning upotrijebi kao dopuna tradicionalnoj nastavi, kao dodatna komponenta (opcija) procesu nastave i učenja. U programima ove vrste fokus je na nastavi redovnih kurseva za redovne studente koji vode opštepriznatom stepenu stručne spreme i diplomi univerziteta. Programi ove vrste tipično su integrisani dio standardnog nastavnog plana i programa, u kojem je učenje e-learning upotrijebljeno kao dopunska pedagogija za studente (tj. učionici). Na ovaj način realizovan je e-learning na Fakultetu za informacione tehnologije Univerziteta Mediteran, u Podgorici.

Postupak uvođenja e-learninga na Univerzitetu Mediteran, započeo je analizom uvođenja e learninga na sličnim

univerzitetima u okruženju i analizo tržišta. Kao ogledni univerzitet izabali smo jedan privatni univerzitet, sa dugogodišnjom tradicijom, koji je danas jedan od uglednijih evropskih univerziteta, sa više od 25 000 studenata i međunarodnom reputacijom za istraživanje prirodnih i društvenih nauka.

Početak e-learning-a na ovom univerzitetu je počeo formiranjem radnog tima za istraživanje novih oblika nastave – sa posebnim osvrtom na potencijal nove tehnologije i naglaskom na učenje. Program za podršku istraživanju i inovaciji nastave bazirane na računaru ponuđen je svim profesorima toga univerziteta. Data je inicijativa za podršku inovativnoj nastavi i dogovorena platforma o izradi kurseva i drugog nastavnog materijala. Ocijenjeno je potrebnim da se primijeni bogatija pedagogija, čvrsto zasnovana na principima efektivnog nastavnog plana, razvijenog na konceptu da “studenti najbolje uče kad rade kao nezavisni kritički istraživači u okviru svoje discipline”.

### **Reduciranje cijene visokog obrazovanja**

Većina prvih programa bili su eksperimentalni, ili pilot studije, često finansirane sa strane, pa je razmatranje troškova bilo sekundarno u odnosu na izazov razvoja i isporuku inovativnih programa.

Očekivanje da će nastava bazirana na tehnologiji reducirati troškove obrazovanja nije nova. U proteklih desetak godina mnogi otvoreni univerziteti provodili su empirijske studije za procjenu cijene obrazovanja po studentu u odnosu na konvencionalne univerzitete. Ima razloga da se očekuju potencijalne uštede na fizičkoj infrastrukturi u odnosu na tradicionalnu nastavu, ali upoređivanje troškova održavanja dalo je pomiješane rezultate.

### **Politika Evropske unije za IKT u obrazovanju i osposobljavanju**

Krajem 2003. godine Evropski parlament i Savjet donijeli su odluku o prihvatanju višegodišnjeg programa (2004-2006) za efektivnu integraciju informacionih i komunikacionih tehnologija (IKT) u sistemima obrazovanja i osposobljavanja u Evropi - eLearning programi. (U dokumentima Evropske unije, umjesto e-learning, elektronsko učenje označava se: eLearning!)

Puni razvoj potencijala Interneta za poboljšanje pristupa obrazovanju i osposobljavanju, za poboljšanje kvaliteta učenja, je ključ za izgrađivanje evropskog društva znanja. Sposobnost za upotrebu informacionih i komunikacionih tehnologija postaje nova forma pismenosti – «digitalna pismenost».

Moderniziranje sistema obrazovanja i osposobljavanja poseban je izazov za institucije visokog obrazovanja, škole i učenje uz rad.

*Visoko obrazovanje.* Univerziteti i institucije visokog obrazovanja su ključni akteri u proizvodnji i diseminaciji znanja, u unapređivanju društvenog, pedagoškog i tehnološkog istraživanja, u osposobljavanju nastavnika i instruktora, i u stalnom stručnom usavršavanju, što je deviza društva znanja. Oni upotrebljavaju e-learning kao izvor dodatne vrijednosti za svoje studente i za omogućavanje učenje na resursima baziranim na Webu.



Pilot eksperimenti na polju elektronskog učenja daju dobre mogućnosti da se osmisli organizacija univerziteta, nastavni planovi i programi ili evropska strategija, da se ocijeni uticaj IKT na interakciju između nastavnika i studenata, da se otvore univerziteti novom auditoriju i zahtjevima stalnog stručnog usavršavanja i doživotnog učenja.

Evropska zajednica univerziteta koja okuplja više od 500 univerziteta raspolaže svojom mrežom za učenje na daljinu (<http://www.odl-liaison.org>).

*Škole.* U školama je veća pažnja posvećena proizvodima i servisima elektronskog učenja i pedagoškom kontekstu njihove upotrebe. Nakon pitanja konektivnosti i infrastrukture, sada je na redu sadržaj, osposobljavanje nastavnika i organizacione implikacije, uključujući nove interakcije škole sa društvenom zajednicom.

U pogledu osposobljavanja nastavnika i školskog menadžmenta, postoji tendencija da se manje fokusira komponenta elektronske isporuke kursa, a više komponenta učenja. Uspješna upotreba novog sadržaja i servisa u velikoj mjeri zavisi od kvaliteta nastave i doprinosa nastavnika. Gdje je obezbijedena naprednija nastava, tu nastavnici nalaze podršku za neposredniju saradnju, za pripremu obrazovnih sadržaja, za vrednovanje svog podučavanja i za upotrebu tehnologije kao alatke za poboljšanje pristupa učenju i nastavi.

*Učenje uz rad.* Na radnom mjestu poklonjena je pažnja obrazovanju i osposobljavanju u datom trenutku, tj. u radnom okruženju. U kontekstu u kojem treba usavršiti radne vještine i kompetencije zbog brzih promjena na tržištu rada i biznisa, elektronsko učenje se dokazalo da je veoma popularno kao efikasno rješenje. Glavni korisnici u IKT sektoru sada zadovoljavaju 60% svojih potreba u osposobljavanju za rad učenjem e-learning.

Ovaj oblik osposobljavanja ima prednost u radnim organizacijama koje ne mogu podnijeti troškove i gubitak vremena za osposobljavanje u učionici. Potrebni su dalji napori da male organizacije shvate, planiraju i upotrebljavaju e-learning u skladu sa svojim zahtjevima i potrebama.

### III POPULARNI ALATI I TEHNOLOGIJE ZA ELEKTRONSKO UČENJE

World Wide Web kao platforma i resurs za elektronsko učenje, u posljednjih 4-5 godina doživio je velike promjene koje su uslovile da se Web na sadašnjem nivou razvijenosti označava kao Web 2.0. Njegove su osnovne karakteristike:

- Web je postao platforma koja dozvoljava korisnicima upotrebu aplikacija i servisa u potpunosti preko pretraživačkih mašina. Ovi servisi nisu bili ranije bazirani na Webu (Web 1.0)
- Podaci na Webu sada su pod kontrolom korisnika. Oni njima manipulišu, oni ih modifiraju, razmjenjuju – slobodno i lako
- Razne šeme online participacije
- Bogata interaktivna, korisniku prilagođena sučelja
- Neki aspekti socijalnog i mrežnog povezivanja

Primjeri novih online servisa su brojni:

- Wikipedija, online enciklopedija, bazirana na dosad nepoznatim principima, da sadržaj može dodavati,

brisati i uređivati bilo koji korisnik Weba. Wikipedija je već među prvih 100 veb-sajtova, a mnogi prognoziraju da će uskoro biti i među top10. Ovo je duboka promjena u dinamici kreiranja sadržaja.

- Sajtovi kao Del.icio.us, MySpace, Flickr, iTunes i YouTube prvi su primjeri koncepta kolaborativne kategorizacije sajtova, slika, muzike i videa upotrebom slobodno izabраних ključnih riječi, često nazvaniх tagovi.

Kao mnogi značajni koncepti, Web 2.0 nema čvrstu granicu, nije jasno ni definisan. Po nekim autorima to je socijalizacija Weba. U širem smislu, sve navedene tehnologije mogle bi se klasificirati kao socijalni softver. One se mogu posmatrati kao podržavajući sloj za rastuću količinu servisa koji se pojavljuju baš sada na Webu, trasirajući put za Web 2.0.

Ali, nije sve u tehnologijama. Svjesni smo da je tu i korisnik, koji pripada Netgeneraciji (rastao sa Internetom), ili - digital native (rođen u doba digitalne informacije). On je sposoban da krči put ka novim tehnološkim granicama. Korisnici mogu kreirati, uređivati, publicirati, razmjenjivati svaku vrstu sadržaja saradnjom preko Interneta na društveni način, tj. dajući svojim akcijama društveni karakter.

Navedimo samo dobro poznate servise čije prihvatanje raste po dvocifrenoj stopi. Tu su razni servisi za bloging kao Blogger ([www.blogger.com](http://www.blogger.com)), ili WordPress ([www.wordpress.com](http://www.wordpress.com)); korisnici mogu razmjenjivati svoje slike u programu Flickr ([www.flickr.com](http://www.flickr.com)); oni se mogu uključiti u socijalne mreže kao što su Orkut ([www.orkut.com](http://www.orkut.com)), Linked-In ([www.linkedin.net](http://www.linkedin.net)) i dr., mogu publicirati svoje video sekvence preko OurMedia ([www.ourmedia.org](http://www.ourmedia.org)) ili emitovati svoj podcast, muziku preko stanice Odeo ([odeo.com](http://odeo.com)).

Elektronsko učenje u okruženju koje pruža Web 2.0 poprima izražene promjene, a trend tih promjena kroz koje prolazi e-learning neki autori već su označili novim imenom: e-learning 2.0. Sami termin označava novu fazu učenja. Sadržaj – publikovan od izdavača, organizovan i strukturiran u kurseve i konzumiran od studenata – okreće se na glavu. Sada sadržaj kursa služi više za upotrebu (a manje za čitanje) – da se od njega dobije sadržaj za učenje proizveden od samih studenata. A ako ima strukture, to više nije knjiga ili priručnik, nego podsjeća na konverzaciju. Elearning počinje da liči na alatku bloginga. Ona predstavlja jednu tačku, ili čvorište na Webu, konektovanu sa drugim čvorištima i servisima za kreiranje sadržaja koje koriste drugi studenti.

Proces konektovanja između ova dva čvorišta istog značaja je e-learning 2.0, metafora koju je opisao Stephen Downes (<http://www.downes.ca>). Paradigma pomaka koji označava e-learning 2.0:

- Učenici kreiraju sadržaj, saraduju sa vršnjacima kroz mehanizme kao što su blog, wiki, usmjerene diskusije i druga sredstva
- Učenje je centrirano na učenika, koji ima prednost korišćenja mnogih resursa za sadržaje okupljene u naučeno iskustvo
- Nastavnici i studenti su kolege u društveno umreženom okruženju

- Naučeno iskustvo je proizvod saradnje, istraživanja i menadžmenta znanja «Mi se transformišemo od radne zajednice ka društvenom umrežavanju»
- Najzad, pojavljuje se pomak od tradicionalnih aplikacija i sistema koji plasiraju objekte učenja sa prethodno utvrđenom arhitekturom učenja (tradicionalni kursevi), - ka jednom otvorenom okruženju učenja koje se sastoji od interoperabilnih labavo spojenih platformi i alati za podršku socijalnim interakcijama među vršnjacima.

Postoje i kritičari termina e-learning 2.0, prije svega zbog nejasne definicije tog učenja. Drugi se zalažu za ispuštanje slova «e» jer se njime ističe način isporuke programa, a trebalo bi da težište naziva ostane na učenju.

### **Potencijali učenja e-learning 2.0**

Eksplozivni potencijal učenja e-learning 2.0 naglašen je od mnogih autora. Projekt Evropske komisije HELIOS u segmentu «E-learning za inovacije» navodi kao potencijale ovog učenja slijedeće:

- Neograničene mogućnosti kreiranja, uređivanja, publiciranja, razmjene, komentiranja sadržaja društvenom kolaboracijom na Internetu
- Dramatično manji napor za sastavljanje rješenja za e-learning baziranih na tehnologijama i alatima Web 2.0
- Trend ka nastavnom planu i programu centriranom na studenta i otklon od «hijerarhijskog načina učenja»
- Uvrštavanje paradigme konektivizma, u kojem učenje postaje «kreiranje mreže».

Prisustvo i potencijal kojim raspolaže e-learning 2.0 nametnuo je brigu obrazovnoj zajednici, i izazove, od kojih su neki:

- Dometi nisu jasni, a svi se ne slažu da je u pitanju radikalna promjena. Neki posmatrači smatraju da e-learning 2.0 ne treba vidjeti kao supstituciju za elearning 1.0 nego kao njegovu dopunu
- Uprkos proklamaciji za pedagošku revoluciju, još uvijek je malo istraživanja o evaluaciji elektronskog učenja, pa tako i iskustva sa e-learning 2.0.
- Kao i u slučaju bilo kojeg neformalnog učenja, certifikacija i priznavanje kompetencija stečenih kroz e-learning 2.0 još uvijek je otvoreno pitanje
- Motivacioni aspekti i stilovi učenja novih učenika identificiranih u literaturi kao «digital natives» (Prensky, 2001), ili Net-generacija (Oblinger, 2003) nisu još adekvatno uzeti u razmatranje
- Nisu svi učenici «digital natives», a ni svi rođeni u doba digitalne informacije nisu samostalni učenici.
- Ključni stavovi koje treba razmotriti su kredibilitet socijalno generiranog znanja i rizik od manipulacije i ubjeđivanja lidera mlade generacije: e-learning 2.0 ima ozbiljne probleme u sferi naučne validacije samostalno kreiranog i upravljanog učenja.
- Ako je tačno da su online socijalno povezivanje i socijalni alati veoma upotrebljivi za sticanje kritičkih i mrežnih vještina, i ako je tačno da se učenje sve više dešava umrežavanjem, mi ne možemo negirati potrebu za tradicionalnim

modelima učenja da se postignu određeni ciljevi ili specifične potrebe.

## **IV ZAKLJUČAK**

Zaključujući prikaz evolucije elektronskog učenja, njegovog stanja i upotrebe danas, poslužimo se konstatacijama iznesenim u studijskom projektu HELIOS. One nisu ni optimističke, ni pesimističke. Imaju kritički pristup, sa dozom skepticizma:

- Web 2.0 i e-Learning 2.0 imaju zaslugu što su korisnika/učenika približili centru kreiranja sadržaja i procesima učenja. Da li to znači slom tradicionalnih modela učenja? HELIOS u to ne vjeruje.
- Ne vjerujemo da će u budućnosti – bližoj ili daljoj – obrazovanje ležati samo u rukama učenika, iako mogućnosti koje pruža raspoloživa tehnologija i socijalni alati uvećavaju – pozitivno – ulogu i participaciju učenika u njihovom procesu učenja.
- Uloga pouzdanosti kreiranog, razmijenjenog i sadržaja iz mreže, kao i pitanje njegovog naučnog kvaliteta, ostaju ključnim u određivanju budućnosti elektronskog učenja [4].

Sadašnju, mjestimično nejasnu i sumornu sliku elektronskog učenja, za 4-5 godina zamijenit će nova, jasnija i svjetlija, u kojoj će fokus biti na drugom podskupu ovog učenja – mobilnom učenju (m-learning).

## **LITERATURA**

- [1] Balanskat, A. & Blamire, R. (2007). ICT in Schools: Trend, Innovations and Issues in 2006-2007. European Schoolnet, June 2007. Preuzeto 10. jula 2007, sa adrese [http://insight.eun.org/shared/data/pdf/ict\\_in\\_schools\\_2006-7.pdf](http://insight.eun.org/shared/data/pdf/ict_in_schools_2006-7.pdf)
- [2] Curran, C. (2004). Strategies for E-Learning in Universities. Preuzeto 11.juna 2007 sa adrese: <http://repositories.cdlib.org/sche/SCHE-7-04>
- [3] European Commission (2003). eLearning Programme. Preuzeto 2. juna 2007, sa adrese [http://ec.europa.eu/education/programmes/elearning/programme\\_en.html](http://ec.europa.eu/education/programmes/elearning/programme_en.html)
- [4] HELIOS (2007). E-learning for Innovation. Yearly Report 2007. Preuzeto 22.juna 2007, sa adrese: <http://education-observatories.net/helios>
- [5] MacManus, R. (2007). E-learning 2.0: All You Need To Know. Preuzeto 10. jula 2007, sa adrese: [http://www.readwriteweb.com/archives/elearning\\_20\\_all\\_you\\_need\\_to\\_know.php](http://www.readwriteweb.com/archives/elearning_20_all_you_need_to_know.php)
- [6] Oblinger, D. (2003). Understanding The New Students. Preuzeto 1. jula 2007, sa adrese <http://www.educause.edu/ir/library/pdf/erm0342.pdf>
- [7] Prensky, M. (2001). Digital Natives, Digital Immigrants. Preuzeto 1. jula 2007, sa adrese <http://www.marcprensky.com>
- [8] Sloan-C (The Sloan Consortium) (2005). Growing by Degrees: Online Education in the United States. Preuzeto 7. jula 2007, sa adrese: <http://www.sloan-c.org>

## PERFORMANSE SODA ALGORITMA KOD PRIMENE SLIKE SA VODENIM ŽIGOM THE PERFORMANCES OF SODA ALGORITHM AT WATERMARKING PICTURE APPLICATIONS

Zoran Stevanović, ETŠ Mija Stanimirović, Niš Srbija,  
Zoran Milivojević, Visoka tehnička škola, Niš Srbija

**Sadržaj** – U ovom radu testirane su performanse SODA algoritma kod filtriranja slika sa žigom kojima su superponirane impulsne smetnje. U prvom delu rada prikazani su algoritam za utiskivanje i izdvajanje žiga zasnovan na SVD transformaciji i SODA algoritam. U drugom delu rada opisan je algoritam i rezultati testiranja SODA algoritma. Na osnovu dobijenih rezultata izvršena je procena efikasnosti algoritma i mogućnost izdvajanja vidljivog žiga iz filtrirane slike.

**Ključne reči:** Impulsne smetnje; Detekcija šuma; Vodeni žig

**Abstract** – In this paper, the performances of SODA algorithm at watermarking picture filtration where impulse noises are added, have been tested. In the first part of the paper, the algorithm of embedding and separating watermark based on SVD transformation and SODA algorithm are presented as well. In the second part of the paper, the algorithm responsible for testing and marking of the parameters of SODA, is described. On the basis of the parameter results we got, evaluation of algorithm efficiency and possibility of separating visible watermark from filtrating picture, has been done.

**Keywords:** Impulse noise; Noise detection; Watermarking

### 1. UVOD

Obrada digitalne slike, skoro po pravilu, zahteva i eliminaciju šuma. Uzroci nastanka šuma u slici su mnogobrojni i česti, pa ga je pre dalje obrade potrebno delimično ili u potpunosti eliminisati. Predloženi su mnogobrojni postupci eliminacije, najčešće impulsnog šuma [1-2,4].

Linearno filtriranje, iako pogodno za smanjenje Gausovog i uniformnog šuma, pokazalo se nedovoljno uspešno u eliminaciji impulsnog šuma [5]. Zato su se predloženi postupci uglavnom bazirali na nelinearnom filtriranju. Proces obrade šuma u slici sastoji se od dva bitna dela. Prvi je proces detekcije inficiranih tačaka. Ispravna detekcija predstavlja osnovni preduslov za eliminaciju šuma. Veliki broj predloženih algoritama govori o važnosti i složenosti ovog postupka. Drugi deo predstavlja obradu inficiranih tačaka, tj. zamenu vrednosti novom vrednošću koja treba da bude što približnija pravoj-pre delovanja šuma. Pri tome veoma je važno sačuvati kvalitet slike ne gubeći fine detalje u slici. Neki predloženi postupci iako u delu detekcije efikasni, u delu eliminacije šuma doprinosili su gubljenju detalja u slici ili su proizvodili drugačiju vrstu smetnji u slici u vidu linija, mrlja itd [6]. Zato je pronalaženje algoritma koji je efikasan i u delu eliminacije šuma i čuvanju finih detalja slike predmet mnogih istraživanja.

Široka upotreba računara i Interneta, jednostavan pristup i razmena podataka, omogućili su nelegalni pristup i reprodukciju digitalnih informacija (slike, audio fajlovi, video fajlovi,...). Posledice su masovno kršenje autorskih prava. Zato je danas aktuelni problem iznalaženje tehničkog rešenja radi zaštite autorskih prava. Jedno od najzastupljenijih rešenja sastoji se u uvođenju digitalnog vodenog žiga. Da bi žig bio otporniji na moguće atake na informaciju na koju je utisnut, za utiskivanje se koriste složene transformacije poput diskretne kosinusne

transformacije DCT [7,8] diskretne wavelet transformacije DWT [9,10] i SVD transformacije [3,11-17].

U ovom radu izvršena je analiza slike sa žigom koja je opterećena impulsnim šumom, a zatim je primenjen SODA (**engl. Second-Order-Difference-Analysis**) algoritam za eliminaciju impulsnog šuma predložen u radu [2]. Za utiskivanje žiga korišćen je SVD (**engl. Singular Value Decomposition**) metod predložen u radu [11]. Zatim je na sliku sa žigom, opterećenu impulsnim šumom primenjen algoritam za eliminaciju šuma predložen u radu [2]. Osim efikasnosti algoritma u otklanjanju šuma posebna pažnja je posvećena mogućnošću izdvajanja žiga iz slike posle primene navedenog algoritma. Mera kvaliteta algoritma je procenat uspešno detektovanih tačaka sa šumom, pogrešno detektovanih tačaka, nedetektovanih tačaka sa šumom i na kraju mogućnost izdvajanja žiga iz tako procesirane slike. Za vrednost faktora utiskivanja žiga uzete su vrednosti  $\alpha=0.05$  i  $\alpha=0.1$  dobijene posebnom analizom koja nije predmet ovog rada. Urađen je algoritam testiranja sa odgovarajućim programima za realizaciju i obradu dobijenih rezultata.

Rad je organizovan na sledeći način. Sekcija 2. opisuje SODA algoritam za eliminaciju impulsnih smetnji. Sekcija 3. opisuje SVD metod i algoritam za utiskivanje zasnovan na tom metodi. Sekcija 4. opisuje algoritam testiranja. U sekciji 5 se prezentuju dobijeni rezultati i vrši njihova analiza. Zaključak je dat u sekciji 6.

### 2. SODA ALGORITAM

SODA algoritam je predložen u radu [2] kao nelinearni filter za redukciju impulsnog ili slučajnog šuma. Tačke inficirane impulsnim šumom se identifikuju u dva koraka i filtriraju u jednom koraku. U cilju objašnjenja algoritma definisaćemo neke pojmove i veličine.

Neka  $I$  predstavlja sliku dimenzija  $l_1 \times l_2$  inficiranu šumom i  $I_{ij}$  vrednost pixela na poziciji  $(i,j)$ . Neka dalje  $W(i,j)$

predstavlja lokalni prozor veličine  $(2K+1) \times (2K+1)$  tako da je:

$$W(i,j) = \{I(i-s, j-t) \mid -K \leq s \leq K, -K \leq t \leq K\}, \quad (1)$$

Formira se niz  $X$ , koji se sastoji od pixela iz lokalnog prozora  $W(i,j)$ , poređanih u rastućem nizu tako da je:

$$X_{(1)} \leq X_{(2)} \leq X_{(3)} \dots \leq X_{(2K+1)^2} \text{ gde } X_{(k)} \in W(i,j), \quad (2)$$

U originalnoj slici, vrednost pixela u lokalnom prozoru se nalazi u opsegu  $[R_{min}, R_{max}]$ , gde je  $R_{min}$  minimalna a  $R_{max}$  maksimalna vrednost pixela lokalnog prozora. U slici inficiranoj slučajnim šumom vrednosti inficiranih pixela pripadaće trima oblastima:  $[0, R_{min}]$ ,  $[R_{min}, R_{max}]$ , i  $[R_{max}, 255]$ . Kako tačke sa šumom u srednjoj oblasti imaju minimalni uticaj na ukupan kvalitet slike, detekcija tačaka sa šumom podrazumeva pronalaženje tačaka iz prve i treće oblasti. Zato je u ovom postupku potrebno odrediti granice srednje oblasti  $[R_{min}, R_{max}]$ . U tom cilju se niz  $X$  deli na median poziciji u dva niza:

$$\begin{aligned} X_1 &= X_{(a)} \text{ gde je } 1 \leq a \leq [(2K+1)^2 + 1]/2, \\ X_2 &= X_{(b + [(2K+1)^2 - 1]/2)} \text{ gde je } 1 \leq b \leq [(2K+1)^2 + 1]/2, \end{aligned} \quad (3)$$

Poznato je da tačke sa šumom imaju vrednost sivog znatno veću ili znatno manju od svojih suseda [2-11]. Zato će razlika između tačke sa šumom i susedne tačke biti znatno veća od razlike dve susedne tačke neinficirane šumom. Ova činjenica će pomoći u određivanju tražene granice između tačaka sa šumom i ostalih tačaka. Zato je potrebno u svakom podskupu  $X_1$  i  $X_2$  odrediti razliku svakog para susednih tačaka i urediti dobijene vrednosti u rastućem nizu pamteći koja razlika pripada kom paru tačaka. Time se dobijaju dva niza  $L$  i  $U$  na sledeći način:

$$\begin{aligned} L &= \text{sort} \{X_1(a) - X_1(a-1), 2 \leq a \leq [(2K+1)^2 + 1]/2\}, \\ U &= \text{sort} \{X_2(b) - X_2(b-1), 2 \leq b \leq [(2K+1)^2 + 1]/2\}, \end{aligned} \quad (4)$$

Metod predložen u radu [2] a na bazi napred definisanih veličina predlaže sledeće korake za detekciju tačaka inficiranih šumom:

**Korak 1:** nizovi  $L$  i  $U$  dobijaju se iz lokalnog prozora veličine  $7 \times 7$ . U svakom nizu  $L$  ili  $U$ , za  $2 \leq a \leq 25$ , i  $L(a)$  i  $U(a)$  se testiraju korišćenjem sledećih pragova:

$$\begin{aligned} \alpha(a) &= L(a) < T_1, \\ \beta(a) &= L(a) - L(a-1) < T_2, \\ \gamma(a) &= L(a)/L(a-1) < T_3, \end{aligned} \quad (5)$$

Prvi kriterijum je vrednost razlike,  $L(a)$ , koja nesme da pređe  $R_{max} - R_{min}$ , tj. maksimalnu razliku između bilo koje dve tačke bez šuma. Drugi kriterijum uvodi razliku drugog reda, koja smanjuje razliku između tačaka bez šuma iz glatkih i ivičnih oblasti. Treći kriterijum razmatra odnos pri kome se razlike menjaju. Koristeći ove kriterijume svaki podskup može da izdvoji sve ekstremne razlike i da locira odgovarajuće vrednosti tačaka u  $X_1$  i  $X_2$ . Razlika mora da zadovolji bilo koja dva od tri kriterijuma. Predložene vrednosti pragova su:  $T_1=15$ ,  $T_2=5$  i  $T_3=10$ . Proces nastavlja na naredni korak ako  $L(a)$  ne prođe dva od tri kriterijuma ili se u suprotnom ponavlja za  $a+1$ . Za svaku vrednost razlike jednaku ili veću od  $L(a)$ , odgovarajuće vrednosti tačaka u  $X_1$  se obeležavaju kao potencijalne tačke sa šumom (ili u  $X_2$  za  $U(a)$ ). Ako  $B_l$  označava najveću vrednost šuma u  $X_1$  i  $B_u$  najmanju vrednost

šuma u  $X_2$  onda je tačka  $I(i,j)$  tačka bez šuma ako se nalazi u oblasti  $B_l < I(i,j) < B_u$  i tačka inficirana šumom van ove oblasti.

**Korak 2:** Ako tačka  $I(i,j)$  ne prođe prvi stepen detekcije, ona postaje kandidat za tačku sa šumom. Da bi se ona proglasila tačkom sa šumom ponavlja se postupak kao u prvom stepenu ali sa manjim prozorom  $3 \times 3$  i drugim pragovima. Potencijalna tačka sa šumom se u ovom koraku testira na sledeći način:

$$L(a) > H_1 \quad \text{ i } \quad L(a) - L(a-1) > H_2 \quad (6)$$

gde su  $H_1=25$  i  $H_2=13$ . U ovom slučaju algoritam završava ako  $L(a)$  ne prođe oba kriterijuma. Prva tačka koja ne prođe ma koji kriterijum će postaviti granicu šuma za svaki podskup. Algoritam će zatim odrediti donju granicu  $B_l$  (za  $L$ ) kao najveću od malih vrednosti tačaka i  $B_u$  (za  $U$ ) kao najmanju od velikih vrednosti tačaka. Nove granice će definisati status tačke kao u prethodnom stepenu.

Proces detekcije deli lokalni prozor na dve grupe tačaka: dobre tačke  $G$  i tačke sa šumom  $N$ . Ako  $M(i,j)$  predstavlja izlaz median filtra primenjenog samo na dobre tačke tj.

$$M(i,j) = \text{median} \{I(i-s, j-t) \mid I(i-s, j-t) \in G\}, \quad (7)$$

Onda se proces filtriranja slike može opisati na sledeći način:  $Y(i,j) = I(i,j)$  ako je  $I(i,j)$  dobra tačka i  $Y(i,j) = M(i,j)$  ako je  $I(i,j)$  tačka sa šumom. Median filter je primenjen na lokalni prozor veličine  $5 \times 5$  tačaka.

Predloženi algoritam je u radu [2] testiran sa različitim slikama i dao je dobre rezultate.

### 3. ALGORITAM ZA UTISKIVANJE ŽIGA

U ovom radu je za utiskivanje žiga iskorišćena SVD transformacija koja je opisana u radu [11]. Algoritam za utiskivanje žiga zasnovan na SVD transformaciji sastoji se u sledećem:

**Korak 1:** vrši se SVD transformacija nad originalnom slikom bez žiga  $A$  dimenzija  $m \times n$ :

$$A = U \Sigma V^T, \quad (8)$$

gde su  $U_{m \times n}$ ,  $\Sigma$  i  $V$  matrice od kojih je  $\Sigma$  dijagonalna matrica čiji su elementi singularne vrednosti od  $A$  i poređani su u opadajućem nizu, a  $V^T$  je transponovana matrica.

**Korak 2:** Matrici  $\Sigma$  doda se žig  $W_{m \times n}$  i dobija nova matrica  $\Sigma_n$ :

$$\Sigma_n = \Sigma + \alpha W, \quad (9)$$

gde  $\alpha$  predstavlja faktor utiskivanja žiga.

**Korak 3:** Nad matricom  $\Sigma_n$  se vrši SVD transformacija:

$$\Sigma_n = U_W \Sigma_W V_W^T, \quad (10)$$

**Korak 4:** Slika sa žigom se dobija kao:

$$A_W = U \Sigma_W V^T. \quad (11)$$

Algoritam izdvajanja žiga iz slike sa šumom  $A_W^*$  vrši se na sledeći način:

**Korak 1:** Izvrši se SVD transformacija slike sa šumom  $A_W^*$ :

$$A_W^* = U^* \Sigma_W^* V^{*T}, \quad (12)$$

**Korak 2:** Korišćenjem matrica  $U_W$  i  $V_W$  dobija se

$$D^* = U_W \Sigma_W^* V_W, \quad (13)$$

**Korak 3:** Izdvojeni žig dobija se kao

$$W^* = 1/\alpha(D^* - \Sigma), \quad (14)$$

Iz prezentovanog algoritma se vidi da je za izdvajanje žiga potrebno imati originalne matrice  $U_W, \Sigma$  i  $V_W$ .

#### 4. ALGORITAM TESTIRANJA

Algoritam testiranja sproveden je u sledećim koracima:

*Korak 1:* Primenom SVD algoritma u sliku  $A$  umetnut je žig  $W$ , sa faktorom utiskivanja  $\alpha$ ,

*Korak 2:* Slici sa žigom  $A_W$  se superponira impulsni šum sa slučajnom raspodelom sa procentom učešća od  $p$ [%].

*Korak 3:* Primenom SODA algoritma vrši se filtriranje impulsnih smetnji,

*Korak 4:* Iz filtrirane slike primenom SVD algoritma vrši se izdvajanje žiga  $W^*$ ,

*Korak 5:* Analizira se efikasnost algoritma za otklanjanje šuma i vidljivost vodenog žiga.

#### 5. REZULTATI TESTIRANJA

U eksperimentu je korišćena slika Lena dimenzija 512x512 (sl.1.) i žig  $W$  (512x512) sl.2. Za faktor utiskivanja korišćene su dve vrednosti  $\alpha=0.05$  i  $\alpha=0.1$ . Slici Lena sa utisnutim žigom superponiran je šum, čiji je procenat variran od 10% do 70%.



Sl.1. Lena (512x512).

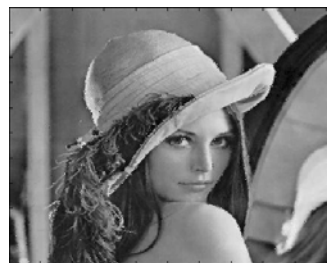


Sl.2. Generisani žig.

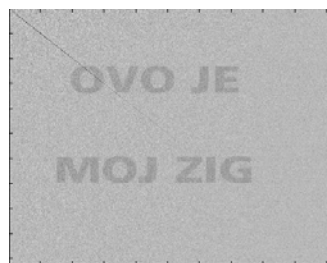
Na slikama 3 do 5 prikazani su rezultati analize slike Lena sa utisnutim žigom za  $\alpha=0.05$ , u slučajevima kada je opterećena slučajnim impulsnim šumom od 30% a zatim primenjen SODA algoritam. Posle eliminacije šuma primenjena je inverzna transformacija za izdvajanje žiga iz slike.



Sl.3. Lena izložena šumu od 30%



Sl.4. Lena posle primene algoritma za eliminaciju šuma



Sl.5. Žig ( $\alpha=0.05$ ) izdvojen iz filtrirane slike sa 30% šuma

Rezultati testiranja dati su u tabeli 1. za  $\alpha=0.05$ , a u tabeli 2. za  $\alpha=0.1$ .

Tabela 1. ( $\alpha=0.05$ )

Procenat šuma (%)	Ispravno detektovane tačke (%)	Pogrešno detektovane tačke (%)	Vidljivost žiga posle filtriranja
10	99.06	0.08	vidljiv
20	99.03	0.14	vidljiv
30	98.96	0.18	vidljiv
40	98.97	0.30	vidljiv
50	98.92	0.39	vidljiv
60	98.64	0.63	nevidljiv
70	96.64	1.21	nevidljiv

Tabela 2. ( $\alpha=0.1$ )

Procenat šuma (%)	Ispravno detektovane tačke (%)	Pogrešno detektovane tačke (%)	Vidljivost žiga posle filtriranja
10	98.23	0.09	vidljiv
20	98.18	0.14	vidljiv
30	98.18	0.20	vidljiv
40	98.22	0.31	vidljiv
50	98.25	0.42	vidljiv
60	98.04	0.66	vidljiv
70	96.14	1.21	nevidljiv

Na osnovu dobijenih rezultata mogu se zaključiti sledeće:

- Algoritam SODA pokazuje izuzetnu efikasnost u detekciji tačaka kojima je superponiran impulsni šum.

- b) Procenat pogrešno detektovanih tačaka do 60% šuma je ispod 1% što je praktično zanemarljivo.
- c) Ako se za vrednost faktora utiskivanja  $\alpha$  izabere vrednost 0.1 postiže se odlična robusnost utisnutog žiga i omogućuje njegovo izdvajanje posle primene SODA algoritma i uz delovanje veoma visokog procenta impulsnog šuma.
- d) Veća vrednost faktora utiskivanja žiga umanjuje efikasnost algoritma u neznatnoj meri (ispod 1%).

## 6. ZAKLJUČAK

U radu je izvršena analiza efikasnosti SODA algoritma za detekciju i otklanjanje impulsnog šuma u slici u koju je SVD transformacijom utisnut vodeni žig. Analiza je vršena sa dve vrednosti faktora utiskivanja žiga  $\alpha$  ( $\alpha=0.05$  i  $\alpha=0.1$ ) i uz prisustvo impulsnog šuma čiji je procenat variran od 10% do 70%. Mera uspešnosti algoritma je bila efikasnost u detekciji i zameni vrednosti tačaka inficiranih šumom novim vrednostima čime se eliminiše šum, i mogućnost izdvajanja digitalnog vodenog žiga iz tako filtrirane slike.

Rezultati su pokazali izuzetnu efikasnost SODA algoritma u otklanjanju impulsnog šuma i čuvanju finih detalja slike, jer je i uz visoki procenat prisutnosti šuma posle primene algoritma bilo moguće izdvojiti vidljiv žig. Efikasnost algoritma se ogleda u visokom procentu detekcije tačaka inficiranih šumom (98% - 99%), uz zanemarljiv procenat pogrešno detektovanih tačaka (oko 0.5%), i u mogućnosti da i u slučaju visokog procenta šuma i do 60% posle filtriranja izdvoji vidljiv žig. Na osnovu dobijenih rezultata donosi se preporuka za primenu ovog algoritma u sistemima za rad u realnom vremenu.

## LITERATURA

- [1] Naif Alajlan, Mohamed Kamel and Ed Jernigan, *Detail preserving impulsive noise removal*, Signal Processing: Image Communication 19 (2004) 993-1003.
- [2] Dung Dang and Wenbin Luo, *Impulse noise removal utilizing second-order difference analysis*, Signal Processing 87 (2007) 2017-2025.
- [3] Ahmad A. Mohammad, Ali Alhaj, Sameer Shaltaf, *An improved SVD-based watermarking scheme for protecting rightful ownership*, Signal Processing 88 (2008) 2158-2180.
- [4] Shi-Qiang Yuan and Yong-Hong Tan, *Impulse noise removal by a global-local noise detector and adaptive median filter*, Signal Processing 86 (2006) 2123-2128
- [5] H.G. Moreno, S.M. Bascon, M.U. Manso, P.M. Martin, *Elimination of impulsive noise in images by means of the use of support vector machines*, XVI National Symposium of URSI, 2001, pp.1-2.
- [6] Y. Xu, E. M. Lae, *Restoration of images contaminated by mixed gaussian and impulse noise using a recursive minimum-maximum method*, Vision Image Signal Proc. IEE Proc. 145(1998) 264-270.
- [7] J. Hernandez, M. Amado, F. Perez-Gonzalez, *DCT-domain watermarking techniques for still images: detector performance analysis and a new structure*, IEEE Trans. Image Process. 9 (1) (January 2000) 55-67.
- [8] W. Chu, *DCT-based image watermarking using subsampling*, IEEE Trans. Multimedia 5 (1) (March 2003) 34-38.
- [9] A. Reddy, B. Chatterji, *A new wavelet based logo-watermarking scheme*, Pattern Recognition Lett. 26 (May 2005) 1019-1027.
- [10] P. Kumsawat, K. Attakitmongcol, A. Srikaew, *Multiwavelet-based image watermarking using genetic algorithm*, in: Proceedings of the IEEE TENCON Conference, November 2004, pp. 275-278.
- [11] R. Liu, T. Tan, *A SVD-based watermarking scheme for protecting rightful ownership*, IEEE Trans. Multimedia 4 (1) (March 2002) 121-128.
- [12] C. Chang, P. Tsai, C. Lin, *SVD-based digital image watermarking scheme*, Pattern Recognition Lett. 26 (2005) 1577-1586.
- [13] Y. Wu, *On the security of SVD based ownership watermarking*, IEEE Trans. Multimedia 7 (4) (August 2005) 624-627.
- [14] F. Huang, Z. Guan, *A hybrid SVD-DCT watermarking method based on LPSNR*, Pattern Recognition Lett. 25 (15) (November 2004) 1769-1775.
- [15] E. Ganic, N. Zubair, A. Eskicioglu, *An optimal watermarking scheme based on singular value decomposition*, in: Proceedings of the IASTED International Conference on Communication, Network, and Information Security, 2003, pp. 85-90.
- [16] D. Chandra, *Digital image watermarking using singular value decomposition*, in: Proceedings of the IEEE 45th Midwest Symposium on Circuits and Systems, vol. 3, August 2002, pp. 264-267.
- [17] J. Liu, X. Niu, W. Kong, *Image watermarking based on singular value decomposition*, in: Proceedings of the 2006 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Pasadena, CA, USA, December 2006, pp. 457-460.
- [18] P.S. Windyga, *Fast impulsive noise removal*, IEEE Trans. Image Proc. 10 (2001) 173-179.



## USSD Servis (U sistemu naplate u realnom vremenu) USSD Service (In the Real Time Billing System)

Nikola Labović, *m.tel, Podgorica*  
Budimir Lutovac, *Elektrotehnički fakultet, Podgorica*

**Sadržaj:** U radu će biti opisan način funkcionisanja USSD servisa (Unstructured Supplementary Services Data) - prenošenje informacija i instrukcija preko GSM mreže - GSM signalizacioni put. Uspostavljanje sesije - radio veza ostaje otvorena sve dok je korisnik, aplikacija ili vremenska kontrola ne raskine. Rad prikazuje sistem provjere stanja računa PostPaid korisnika mobilne telefonije, realizovan pomoću USSD i SMS transakcija.

**Abstract:** This paper describes functionality of USSD service - a messaging function in GSM cellphones. It corresponds to a capability built into the GSM standard as a support for transmitting information over the signaling channels of the GSM network. USSD provides session-based communications. In this work, USSD is used with SMS service to check the invoice of PostPaid subscriber in the mobile telephony.

### 1. UVOD

Telekomunikacioni provajderi (operateri) veoma često pružaju nove usluge, pokušavajući da što više izađu u susret svojim, kako postojećim tako i novim korisnicima. Kreiranjem novih kao i nadograđivanjem starih usluga (servisa), provajderi dobijaju veću odanost i zadovoljstvo svojih korisnika. Tržište telekomunikacija Crne Gore je veoma bogato u pogledu ponude broja operatera, raznovrsnosti servisa kao i, naravno, cijene usluga koje pružaju. Za to polje, polje komunikacija u CG, može se slobodno reći da postoji "zdrava konkurencija".

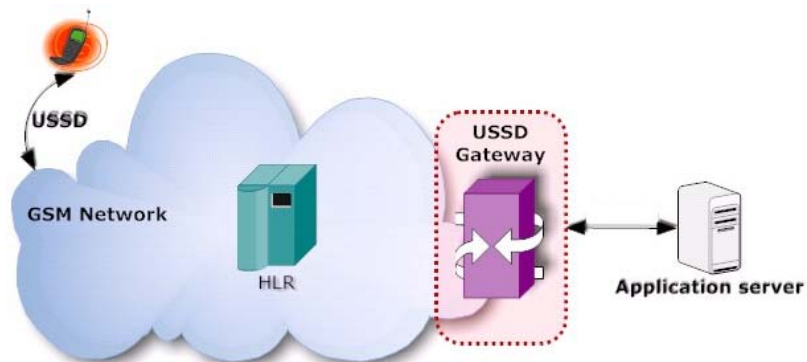
Servis, kojem ćemo posvetiti najveći dio rada, je USSD servis (Unstructured Supplementary Service Data). USSD se može definisati [1][3] kao globalni sistem mobilnih mreža (GSM), tj. tehnologija koja omogućava direktnu komunikaciju telefonskog aparata i aplikacija koje se nalaze na jednom (USSD) serveru telekomunikacionog provajdera. Ovaj servis je integrisan u GSM standard kao sistem prenosa informacija putem kanala GSM mreže.

USSD-om je omogućeno korišćenje velikog broja raznih vrsta aplikacija. U radu će biti opisan način funkcionisanja USSD provjere stanja računa kod PostPaid korisnika, sa tim

što će povratna informacija stići preko USSD-a i SMS-a. USSD se zasniva se na kreiranju/raskidanju sesije (session – based) između korisnika (aparata) i servera (aplikacije na serveru). On može biti pokrenut od obje strane (servera ili korisnika) u zavisnosti od aplikacije koja se pokreće i zahtjeva koje se šalju/primaju. Najčešće, korisnik zahtijeva od servera odgovor (šalje USSD zahtjev), koji je tekstualnog tipa. Zahtjev prima aplikacija na serveru, traži podatke na istom i vraća odgovor korisniku (takođe kao podatak tekstualnog tipa). USSD koristi GSM signalizacioni put (isto kao i SMS).

Kada korisnik uputi USSD zahtjev serveru, otvara se sesija (otvorena radio veza) i ne prekida se dok jedna strana (korisnik ili aplikacija) to ne zatraži, ili automatski vremenom, ukoliko je to tako podešeno. Za razliku od SMS-a, on ne skladišti i prosleđuje podatke. Maksimalna dužina USSD poruke je 182 karaktera. Veoma je brži od SMS-a. USSD sistem može biti i do sedam puta brži u slučaju dvosmjernih transakcija.

Na slici 1 je prikazana putanja USSD zahtjeva/odgovora na zahtjev u toku jedne sesije.



Slika 1. Putanja USSD zahtjeva/odgovora

## 2. PRINCIP RADA USSD-A

Konkretni primjer koji će biti detaljnije opisan u nastavku rada je najbolji primjer da se pokaže način na koji radi USSD servis. Scenario je sledeći: korisnik želi da provjeri stanje svog PostPaid računa preko USSD gateway-a, operater mu je dozvolio uslugu preko broja 100 (definisano na paketu – klasi servisa). Korisnik mora pozvati kôd 100 (\*100#, zatim “call” tj. “send”) kako bi poslao zahtjev ka serveru (aplikaciji). Kao prikaz o slanju zahtjeva (na većini aparata) pojavice se naziv akcija “Requesting...” (umjesto standardnog “Calling”) a to znači da mreža pokušava da preda USSD zahtjev. Ukoliko je zahtjev validan, u toku iste sesije, pošiljalac će dobiti odgovor. U konkretnom slučaju, odgovor će biti obavještenje da će stanje o računu stići ubrzo, putem SMS-a. Detaljno ilustrovan proces USSD slanja zahtjeva i proces odgovora na zahtjev je prikazan na slici 2.



Slika 2. Ilustracija procesa USSD zahtjeva/odgovora

## 3. PROCEDURA USSD PROVJERE STANJA RAČUNA

Ovu proceduru, na samom početku, možemo podijeliti u dvije grupe. Jednu, koja se odnosi na PrePaid i drugu, koja je tema ovog rada, USSD provjera stanja računa za PostPaid korisnike. PrePaid korisnici se mogu definisati kao korisnici koji unaprijed rezervišu vrijednost računa, tj. mogu da potroše onoliko koliko im se nalazi na računu i njihov račun ne može biti ispod 0 (nule), dok stanje računa kod PostPaid korisnika ide od nule u minusu (negativan je) i takvi korisnici plaćaju usluge nakon određenog vremena (obično na kraju mjeseca). U ovom radu se nećemo baviti procedurom USSD provjere stanja PrePaid korisnika, ona je jednostavnija i sadrži se u drugoj, proceduri USSD provjere stanja računa PostPaid korisnika i nju ćemo detaljno opisati.

USSD instrukcije se šalju putem signalnih kanala prema switchu, zatim kroz VLR i HLR, dalje prema USSD Gateway, i zatim se usmjerava put prema USSD aplikaciji. U navedenom primjeru, USSD aplikacija samo šalje obavještenje da će korisnik ubrzo dobiti SMS o stanju računa (string koji se nalazi u USSD paketu i koji se šalje prema terminalu korisnika).

USSD sistem značajno smanjuje vrijeme odgovora, brzo prikazujući povratne informacije. Da napomenemo, ovo nije jedina usluga koju pruža USSD, preko njega se veoma lagano može vršiti dopuna kredita, provjera besplatnih resursa, poslati zahtjev za pozivom – USSD CallBack (iz roaminga) itd.

Kada korisnik pošalje USSD zahtjev, gateway ga prihvati i zatraži podatke iz baze, ujedno i trigeruje (automatski upisuje) polje - podatak u bazi da je sa adrese korisnika poslat zahtjev za provjerom stanja računa. Podatak sadrži jedinstveni identifikator poruke, broj pošiljaoca i broj USSD zahtjeva, u ovom slučaju 100. Na slici 3 je prikazan zapis jednog USSD zahtjeva.

U pozadini, servis koji provjerava USSD zapise, naišao je na novi podatak. Njegova funkcija je da u bazi pretplatika, pronade stanje računa izvora, preuzme podatak i pošalje SMS ka adresi izvora. Na slikama 4, 5, 6 i 7 prikazane su neke od funkcija ovog servisa (pisani u .php-u).

ID	IZVOR	VRIJEME	TIP_ZAHTJEVA	BROJ_USSD
5063	38268100135	15/02/2009 3:13:30 PM	InfoServerUSSDAttempt	*100

Slika 3. Zapis jednog USSD zahtjeva (u bazi)

```
require_once 'smppclass.php'; //klasa konekcije na smpp gateway (SMS)
$smarty = new SMPPClass();
$smarty->SetSender("TelOperater");
```

Slika 4: Konekcija na SMPP (SMS) gateway i podešavanje naziva pošiljaoca – operatera



Da bi poslali SMS ka izvoru, tj. broju koji je poslao USSD zahtjev, neophodno je da se povežemo sa smpp gateway-om, što je omogućeno korišćenjem gotove klase za pristup, u radu to je klasa 'smppclass.php'. Za slanje poruke, klasi je potrebno predati tri parametra, broj prema kome se šalje poruka, tekst poruke (stanje račun) i naziv pošiljaoca, u ovom slučaju naziv telekomunikacionog operatera, ili npr. samo string "Stanje račun".

Kada na USSD gateway-u stigne zahtjev - provjera stanja računa, podatak se upisuje u bazu i na osnovu njega se u bazi stanja računa PostPaid korisnika traži informacija o visini računa broja.

Jedan od načina konekcije, kao i primjer SQL upita nad bazom, prikazan je na slici 5.

U radu je korišćena Oracle baza podataka, tj. php metode [2] oci\_connect(), oci\_parse(), oci\_execute() i oci\_fetch\_array(). Podatak (stanje račun, dobijeno kao rezultat SQL upita nad bazom) se, zajedno sa destinacionom i izvorišnom adresom prosleđuje smpp klasi koja se preko svojih metoda konektuje na smpp gateway (sms centar) i šalje

poruku na osnovu primljenih podataka (obično varijabli tipa string) [4].

Na slici 6 su prikazane metode konekcije na smpp kao i slanje parametara (podataka) ka smpp-u. Na slici vidimo da se kroz while petlju svakom broju koji je zatražio provjeru preko USSD-a, šalje sms o stanju račun. U ovom slučaju, ukoliko korisnik ima prethodni dug (dug za period prije poslednjeg mjeseca) šalje se i podatak o visini duga.

Na kraju, treba odraditi raskid konekcije sa smpp-a i baze, kako sesija ne bi bila otvorena, tj. oslobađamo memoriju za novu.

Na slici 7 su prikazane funkcije (metode) raskida konekcije sa smpp-om i bazom.

Treba napomenuti, shodno da se radi o php servisu, za testiranje je korišćen **crontab** (daemon – proces koji pokreće i izvršava zadatke u određeno vrijeme), kako bi servis bio konstantno aktivan, tj. aktiviran svakog minuta ili sata u zavisnosti kako nam odgovara i kako funkcioniše sam .php servis.

```

//////////////////////////////// PODESAVANJA //////////////////////////////////
//
    $user_db="user";
    $pass_db="pass";
    $baza="NAZIV_BAZE";
//
////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// konektuj se na BAZU
if ($conn=oci_connect($user_db, $pass_db, $baza))
{
    // poklupi sve brojeve-e koji su zatražili USSD zahtjev na *100
    $sql = "select broj from baza t where zahtjev = '*100'";
    $statement = oci_parse ($conn, $sql);
    oci_execute ($statement);

} while ($row = oci_fetch_array ($statement, OCI_BOTH)) {

    // pokupi iz BAZE stanje racuna broja
    $sql1 = "select STANJE from BAZA where broj = " . $row[0];
    $statement1 = oci_parse ($conn1, $sql1);
    oci_execute ($statement1);
}

```

Slika 5: Konekcija na bazu podataka (informacije o stanju račun) i zahtjev za podacima o stanju račun izvora

```

//konektuj se na SMPP
$smpp->Start();

// petlja u kojoj se svim nadjenim brojevima šalje sms stanje na racunu
while ($rows = oci_fetch_array ($statement1, OCI_BOTH)) {

if ($rows[1] == 0)
$smpp->Send($row[0], "Stanje na Vasem racunu je " . $rows[0] . " eura. Azurirano " . $rows[2] . " u " . $rows[3] .
else
$smpp->Send($row[0], "Stanje na Vasem racunu je " . $rows[0] . " eura. Prethodni dug je " . $rows[1] . " eura. Azur

//pauza između svakog sms-a
usleep(200000);
}
}

```

Slika 6: Povezivanje sa SMS centrom i slanje poruke o stanju račun

```

}
$smpp->End();
}
else {
    $err = OCIError();
    echo "Greska pri konekciji na BAZU!" . $err[text];
}

// diskonektuj se sa baze
OCILogout($conn);

```

Slika 7: Raskidanje konekcija sa baze i SMS gateway-a

#### 4. KLJUČNE RIJEČI

**USSD** - *Unstructured Supplementary Service Data*: postoji u svakom GSM telefonu kao real-time ili instant servis.

**USSD Gateway (USSD Center)**: sistem (server) koji omogućava interakciju između USSD aplikacije i HLR-a (*Home Location Register*). Sa HLR-om komunicira preko GSM MAP, dok sa USSD aplikacijom – putem TCP/IP. Rutira USSD poruke (zahtjeve/odgovore) od signalizacione mreže prema servisnoj aplikaciji i nazad.

**MSC(s) - Mobile Switching Center(s)**: je glavni čvor koji snabdijeva usluge za GSM, odgovoran za upravljanje govornih poziva i kratkih poruka (SMS), kao i druge usluge (konferencijske veze, faks i prenos podataka komutacijom voda). MSC uspostavlja, održava i raskida pozive, upravlja mobilnost i potrebe za prosleđivanjem (engl. handover) tokom poziva i vodi brigu o naplaćivanju i nadgleda PrePaid račune u realnom vremenu.

**VLR - Visiting Location Register**: je privremena baza podataka pretplatnika koji se trenutno nalaze u geografskoj oblasti koju kontroliše MSC. Svaka bazna primopredajna stanica u mreži je služena sa tačno jednim VLR-om, tako da

pretplatnik ne može biti u više od jednog VLR-a u jednom trenutku.

**HLR - Home Location Register**: centralna baza podataka koja sadrži podatke o svakom mobilnom pretplatniku koji je ovlašćen da koristi osnovnu GSM ili WCDMA mrežu.

**AUC - Authentication Centre**: je zaštićena baza podataka, koja se pridružuje svakom HLR-u, i koja sadrži kopije tajnih ključeva za autorizaciju svih postojećih SIM kartica, koje se koriste za provjeru autentičnosti i kodiranje radio kanala.

**SMS - Short Message Service**: kratka tekstualna poruka u mobilnoj telefoniji. Jedan paket sačinjava 160 znakova, a SMS poruka može biti sastavljena od više paketa koji se šalju istovremeno.

**USSD application** – aplikacija koja obrađuje zahtjeve prispjele (rutirane) od USSD gateway-a (korisnika), prikuplja neohodne podatke (rezultate) sa servera i vraća odgovor. Aplikacija može inicirati sesiju sa korisnikom bez njegovog zahtjeva.

**USSD packet** – podaci (poruke) preneseni između korisničkog terminala i USSD-servera u toku jedne sesije.

#### 5. ZAKLJUČAK

U radu je opisan princip rada i funkcionalnost USSD servisa na osnovu čega se jasno može zaključiti zašto je USSD veoma korišćen servis među korisnicima mobilne telefonije. Opisan je jedan od načina komunikacije USSD - SMS, tj. kako se preko USSD-a može poslati zahtjev, generisati SMS sa stanjem računa i kao odgovor proslijediti nazad. USSD je brži je od SMSa, čak i do 7 puta u slučaju dvosmjernih transakcija. U slučaju kada se PostPaid korisnik nalazi u roamingu, ovo je, za sada, jedini način preko koga je moguće provjeriti stanje računa PostPaid korisnika. Lak razvoj i nadogradnja aplikacija na application serveru USSD-a.

#### LITERATURA

- [1] **Unstructured Supplementary Service Data (USSD)**, European Telecommunications Standard Institute Special Mobile Group Technical Committee, 1995.
- [2] **Web: [www.php.net](http://www.php.net), <http://sourceforge.net>**
- [3] Regis J. Bates, Donald W. Gregory, **Voice and Data Communications Handbook**, McGraw-Hill, 2001.
- [4] A. Henry-Labordère, Vincent Jonack, **SMS and MMS Interworking in Mobile Networks**, Artech House, 2004.

## PRIMJER PROGRAMIRANJA INDUSTRIJSKOG PLC KONTROLERA ZA REGULACIJU SAOBRAĆAJA AN EXAMPLE OF PROGRAMMING INDUSTRIAL PLC CONTROLLER FOR THE REGULATION OF ROAD TRAFFIC

Miloš Perunović, Milovan Radulović, *Elektrotehnički fakultet Podgorica*

**Sadržaj** – U radu je dat primjer korišćenja PLC-a za regulaciju drumskog saobraćaja, u cilju smanjenja saobraćajnih gužvi i povećanja bezbjednosti u drumskom saobraćaju. Kontroler je modularnog tipa, Allen-Bradley, model SLC500. U cilju nadzora rada sistema upravljanja izvršeno je povezivanje PLC-a sa SCADA sistemom RSVIEW32.

**Abstract** – The paper gives an example of using a PLC for the regulation of road traffic, to reduce the crowds and increase safety in road traffic. Controller is a modular type, Allen-Bradley, SLC500 model. RSVIEW32 SCADA was implemented.

### 1. UVOD

Prema standardizaciji Udruženja proizvođača električne opreme (The National Electrical Manufacturers Association – NEMA) programabilni logički kontroler je definisan kao: „Digitalni elektronski uređaj koji koristi programabilnu memoriju za pamćenje naredbi kojima se zahtijeva izvođenje specifičnih funkcija, kao što su logičke funkcije, sekvenciranje, prebrojavanje, mjerenje vremena, izračunavanje, u cilju upravljanja različitim tipovima mašina i procesa preko digitalnih i analognih ulazno-izlaznih modula.“ [2]

PLC je primjer sistema koji radi u realnom vremenu, jer izlazni rezultat mora biti odgovor na stanje ulaza u ograničenom vremenu, u suprotnom, moglo bi doći do nepredviđenih situacija.

Za primjer je uzeta jedna vrsta pojednostavljenog detektorskog semafora. Princip rada detektorskih semafora je taj da elektronski registruju frekvenciju saobraćaja i da kontrolisanom regulacijom zelenog signala omoguće bolji protok vozila. Osnovna prednost ovog sistema upravljanja je prilagodljivost programiranih signalnih intervala.

U ovom primjeru trajanje svjetlosnih signala se reguliše u zavisnosti od frekvencije saobraćaja. PLC na osnovu signala koje dobija sa detektora mjeri frekvencije saobraćaja i brzine vozila u određenim kolovoznim trakama i na osnovu dobijenog rezultata upravlja trajanjem pojedinih signala. U ovom slučaju trajanje zelenog signala u odgovarajućoj kolovoznoj traci je proporcionalno frekvenciji saobraćaja. Ovim se postiže skraćeno vrijeme čekanja na zeleni signal, manja potrošnja goriva, kao i smanjena emisija štetnih gasova u atmosferu.

Korišćenjem SCADA sistema moguće je, u zavisnosti od potrebe, sa udaljene lokacije promijeniti režim rada, kao i isključiti signalizaciju. Za potrebu nadgledanja odvijanja normalnog režima rada uređaja izvedena je posebna hardverska - softverska kontrola. Na ovaj način se kontroliše da li se na izlazima dobija potrebno stanje koje je zahtijevano programom. Na taj način se uočava da li je došlo do istovremenog uključenja nekih konfliktnih grupa koje ne

smiju raditi istovremeno, pa u tome slučaju uređaj odlazi u alarmno stanje koje se prikazuje i na displeju.

Ovim načinom se ostvaruje i kontrola izlaznih modula uređaja odnosno uočava se je li neka sijalica pregorela, tako da je olakšana detekcija kvara i omogućeno brža zamjena neispravnih sijalica ili izmjena neispravnog izlaznog modula.

### 2. IZBOR PLC KONTROLERA

Osnovna podjela PLC kontrolera, po načinu konstrukcije, je na kompaktne i modularne PLC sisteme zasnovane na zajedničkoj magistrali. Kompaktni PLC kontroleri imaju ugrađen fiksni broj konekcija za ulaze i izlaze. U kućištu ovih kontrolera, obično malih dimenzija, nalaze se izvor napajanja, procesorska jedinica i ulazno/izlazni modul. Na sebi mogu imati displej i tastaturu za programiranje. Kod nekih modela postoji mogućnost povezivanja proširenja sa dodatnim ulazima i izlazima. Ova vrsta kontrolera najčešće ima samo digitalne ulaze i izlaze.

Modularni PLC kontroleri imaju šasiju (rek) u koju se smještaju moduli sa različitim funkcijama. Obično se u prvom slotu nalazi izvor napajanja koji mrežni napon 220 VAC transformiše u jednosmjerni napon potreban za napajanje ostalih modula. U drugom slotu nalazi se procesorski modul koji upravlja radom ostalih modula. Izbor procesora i modula zavisi od konkretne namjene uređaja. Jedan procesor može upravljati sa više rekova koji mogu imati stotine ulaza i izlaza. Za komunikaciju između rekova koristi se specijalni serijski link velike brzine. Zahvaljujući ovakvom načinu konstrukcije, na jednostavan način, može se izvršiti proširenje sistema – dodavanjem ili zamjenom pojedinih modula.

Primjer je realizovan korišćenjem modularnog PLC kontrolera kompanije Allen-Bradley, model SLC500, sa procesorom Motorola 68020. Ovaj kontroler može se sastojati od maksimalno tri šasije sa ukupno 30 slotova, što daje maksimalan broj digitalnih ulaza/izlaza 960. Postoje šasije sa 4, 7, 10 i 13 slotova.

Upotrebjeni kontroler ima šasiju sa 4 slota, u kojima se nalaze redom: procesorska jedinica, analogni ulazno-izlazni modul, digitalni izlazni modul sa 16 izlaza i digitalni ulazni

modul sa 16 sink ulaza za napon 24 VDC. Signali sa izlaznog modula (tranzistorski, source) preko releja upravljaju svjetlosnom signalizacijom.

Povezivanje procesorskog modula PLC-a sa PC računarom ostvareno je upotrebom serijskog porta DH-485 na PLC-u, i RS232 porta na strani PC računara uz upotrebu odgovarajućeg interfejsa.

### 3. SKEN CIKLUS

PLC kontroler periodično očitava stanje ulaznih linija, na osnovu programa vrši obradu ovih podataka, a rezultate prenosi na izlazne linije. Takođe, PLC može da održava komunikaciju sa drugim PLC-ima i/ili računarskim sistemom. Iz ovih razloga operativni sistem PLC-a je projektovan tako da automatski vrši ciklično ponavljanje ovih aktivnosti.

Sken ciklus sastoji se iz 5 koraka:

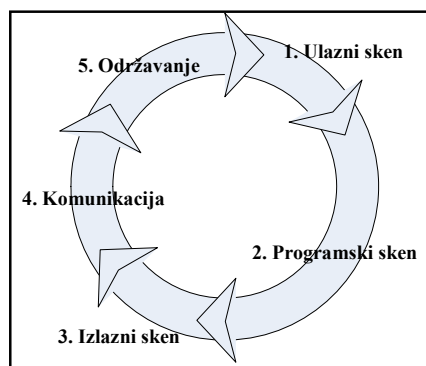
1. Ulazni sken. U toku ovog koraka vrijednosti registara ulaznih modula, koji zavise od stanja ulaznih linija, upisuju se u fajl sa slikom ulaza (procesorski fajl tip I).

2. Programski sken. Izvršavaju se naredbe iz programa. Procesor uzima podatke prikupljene u toku ulaznog skena ili iz područja memorije gdje se smještaju interne promjenljive. Rezultati obrade smještaju se u fajl sa slikom izlaza (procesorski fajl tip O) ili kao interne promjenljive.

3. Izlazni sken. U toku ovog skena, podaci iz fajla sa slikom izlaza upisuju se u registre izlaznih modula, koji upravljaju izlaznim linijama.

4. Komunikacija. Razmjena podataka sa uređajima koji su povezani na PLC obavlja se u ovom dijelu ciklusa.

5. Održavanje. U toku ovog dijela skena ažuriraju se tajmeri i registri, vrši se upravljanje memorijom, kao i drugi poslovi vezani za održavanje.



Sl. 1 – Sken ciklus PLC-a

U toku programskog skena procesor ne uzima podatke sa ulaznih modula, niti ih upisuje u izlazne module. Program razmjenjuje podatke isključivo sa memorijom u kojoj se nalaze slike ulaza i izlaza.

Trajanje ulaznog i izlaznog skena je reda ms (od 0,25 – 2,56 ms). Trajanje programskog skena zavisi od veličine

programa. Sken ciklus može biti promijenjen zahtjevima za prekid ili nekim specijalnim programskim naredbama.

### 4. PROGRAMSKI PREKIDI (INTERAPTI)

U nekim slučajevima potrebno je privremeno prekinuti izvršavanje glavnog programa da bi se izvršio neki potprogram većeg prioriteta koji se naziva servisni potprogram. Nakon završetka servisnog potprograma, glavni program nastavlja sa izvršavanjem od mjesta prekida.

Sistem prekida se aktivira pomoću signala prekida, koji dolaze iz spoljašnje sredine i imaju poseban direktan ulaz u centralnu jedinicu. Signal za ovaj prekid se dovodi sa odgovarajućih senzora. Primjer primjene interapta je alarm, odnosno neka nepredviđena situacija, gdje se traži veoma brza reakcija sistema.

### 5. PROCESORSKI FAJLOVI

U memoriji upotrebljenog PLC kontrolera nalaze se dva tipa procesorskih fajlova:

- Fajlovi za smještanje podataka (eng. Data Files)
- Programski fajlovi (eng. Program Files).

U ovom primjeru programske fajlove čine 2 sistemska fajla i 5 programskih fajlova (leder dijagrami).

Tajmeri i brojači su nezamjenljivi u programiranju PLC-a. Industrija ima potrebu da izbroji proizvode, vremenski odredi neku akciju, itd. Tempiranje funkcija je veoma važno, a ciklusni periodi kritični u mnogim procesima. Postoje dvije vrste tajmera: *delay-off* (kašnjenje na isključenju u odnosu na signal koji ga je aktivirao) i *delay-on* (kašnjenje na uključenju u odnosu na signal koji ga je aktivirao).

U prikazanom primjeru tajmeri se u kombinaciji sa brojačima koriste za mjerenje frekvencije saobraćaja, kao i za generisanje signala frekvencije 1Hz, koji služi za regulisanje trajanja pojedinih svjetlosnih signala.

### 6. LEDER DIJAGRAMI

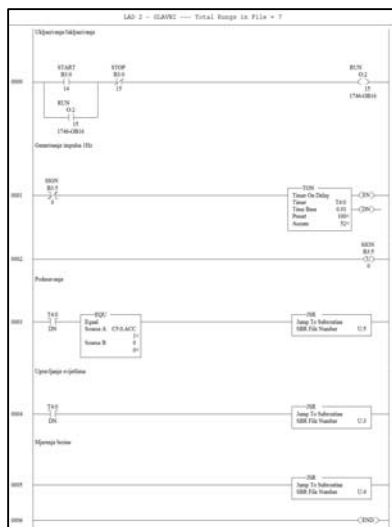
Za pisanje leder programa za Allen-Bradley-eve programabilne kontrolere serije SLC500 i MicroLogix koristi se softver Rockwell – RSLogix 500. [1, 3]

Program za upravljanje semaforom sastoji se od glavnog programa (leder dijagram *LAD2* – sl. 2) i četiri potprograma (leder dijagrami *LAD3*, *LAD4*, *LAD5* i *LAD6*).

U glavnom programu nalaze se naredbe za pozivanje ostalih potprograma i tajmer koji generiše signal frekvencije 1Hz.

Potprogram *LAD4* mjeri frekvenciju saobraćaja na osnovu podataka iz brojača vozila i trenutnog trajanja zelenog signala. Frekvencija se mjeri nezavisno za svaku saobraćajnicu. Ovaj potprogram takođe služi za mjerenje brzine kretanja vozila. Podatak o brzini dobija se na osnovu vremena proteklog između signala sa para detektora koji se nalaze na odgovarajućem međusobnom rastojanju.

Na osnovu podataka dobijenih iz potprograma *LAD4* računa se vrijeme trajanja pojedinih signala. To obavlja



Sl. 2 – Glavni leder program

potprogram *LAD5* tako što računa odnos frekvencija saobraćaja za glavni i sporedni put i, na osnovu toga, podešava trajanje svjetlosnih signala.

Potprogram *LAD3* koristi se za aktiviranje odgovarajućih izlaza, koji predstavljaju signale na semaforu. Izlazi se aktiviraju na osnovu vremenskih intervala izračunatih u potprogramu *LAD5*. Ovaj potprogram poziva se periodično, svake sekunde, iz glavnog programa.

Potprogram *LAD6* koristi se za provjeru ispravnosti pojedinih svjetlosnih signala, kao i za davanje alarma ukoliko dođe do greške.

## 7. I/O KONFIGURACIJA

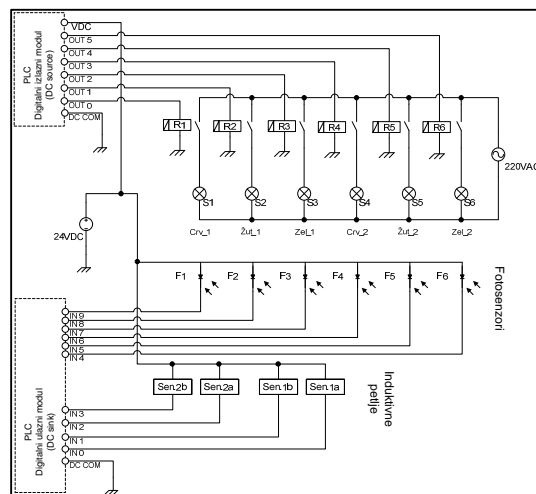
Modularni PLC kontroler iz primjera ima šasiju (rek) sa 4 slota u kojima se nalaze: procesorska jedinica 5/03 (OS302 Series C), dvokanalni analogni ulazno-izlazni modul sa naponskim ulazima / izlazima, digitalni izlazni modul, sa 16 tranzistorskih izlaza (TRANS-SRC, 10/50VDC) i digitalni ulazni modul za napon 24VDC (SINK)

Aktiviranje svjetlosnih signala vrši se relejima koji su povezani na odgovarajuće linije izlaznog modula. Senzori, u ovom slučaju induktivne petlje i fotosenzori, povezuju se na linije ulaznog modula. Napajanje ulaznog i izlaznog modula vrši se posebnim naponskim izvorom 24VDC. Slika 3. prikazuje način na koji su ulazni i izlazni moduli PLC-a povezani sa sensorima i izlaznim uređajima.

## 8. NADZORNO UPRAVLJAČKI SISTEM

SCADA (eng. *Supervisory Control And Data Acquisition*) sistemi su programska podrška za nadzor i upravljanje industrijskim procesima. MTU (eng. Master Terminal Unit) je centralni računar SCADA sistema i obično se nalazi u prostorijama distributerske kompanije. MTU prividno upravlja svim komunikacijama sa udaljenim računarima i interfejsima prema drugim distributerima. Podaci prikupljeni

sa svih tačaka sistema šalju se ovom računaru, koji ih obrađuje i prosleđuje drugim sistemima. On prati sve udaljene uređaje i obavlja unaprijed zadate radnje, ukoliko se za njih pojave svi predviđeni uslovi.



Sl. 3 – Električna šema povezivanja IO modula

Predušlov da bi se mogla ostvariti komunikacija sa PLC kontrolerom u konkretnom primjeru su odgovarajuća podešavanja u aplikaciji RSLinx. [5]. RSLinx se koristi za izbor i konfigurisanje drajvera za komunikaciju sa PLC kontrolerom. U primjeru je izvršena konfiguracije drajvera za komunikaciju preko serijskog porta COM1 na strani PC računara i DH485 porta na strani PLC-a. Konverzija nivoa električnih signala ostvarena je korišćenjem konvertora Allen-Bradley 1747-PIC. Za ovu komunikaciju se koristi industrijski mrežni protokol DH485.

## 9. SCADA APLIKACIJA

U prikazanom primjeru za praćenje rada semafora, kao i za kontrolu rada, koristi se PC računar sa aplikacijom RSVIEW32. [9] Za komunikacionu vezu između aplikacije RSVIEW32 i PLC-a koristi se kanal broj 1 koji je u ovom slučaju podešen da radi sa mrežnim protokolom DH-485 i drajverom PIC-1.

PC sa SCADA aplikacijom je čvor 0 DH-485 mreže, dok čvor 1 predstavlja PLC. Moguće je imati više čvorova na mreži čime se omogućava komunikacija sa više PLC kontrolera istovremeno.

U bazi tagova definišu se podaci koje RSVIEW32 nadgleda. Svaki zapis u bazi podataka naziva se tag. Tag je naziv za promjenljivu u uređaju (PLC) ili lokalnoj memoriji (RAM). Tabela 1. prikazuje nazive korišćenih tagova i njihov opis.

Tag „Brojac\_1“ preslikava vrijednost promjenljive koja se nalazi u PLC-u na adresi F8:0. Ova promjenljiva je analognog tipa i njena vrijednost predstavlja broj vozila u minuti, odnosno frekvenciju saobraćaja za jednu saobraćajnicu. Na sličan način očitavaju se i vrijednosti koje prikazuju brzinu kretanja vozila.

Za grafički prikaz podataka, kao i za promjenu vrijednosti tagova koriste se razne kontrole. Na slici 4. je prikazana

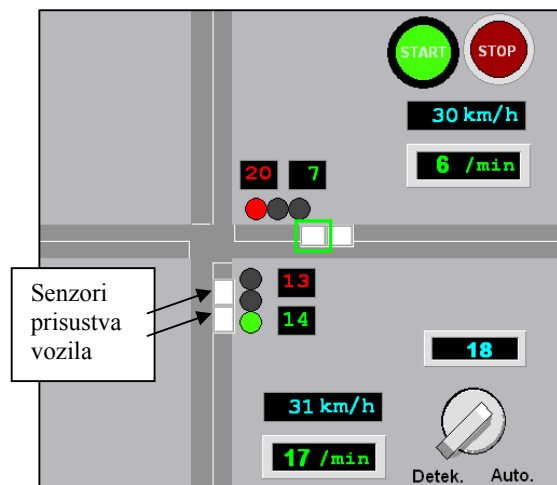
Signali				
	Tag	Tip	Adresa	Opis
Ulazni	Sen_1a	Digitalni	I:3/0	Signali sa induktivnih petlji
	Sen_1b	Digitalni	I:3/1	
	Sen_2a	Digitalni	I:3/2	
	Sen_2b	Digitalni	I:3/3	Signali sa fotosenzora
	Sen_f1	Digitalni	I:3/4	
	Sen_f2	Digitalni	I:3/5	
	Sen_f3	Digitalni	I:3/6	
	Sen_f4	Digitalni	I:3/7	
	Sen_f5	Digitalni	I:3/8	
Sen_f6	Digitalni	I:3/9		
Izlazni	Crv_1	Digitalni	O:2/0	Upravljanje svjetlosnom signalizacijom
	Zut_1	Digitalni	O:2/1	
	Zel_1	Digitalni	O:2/2	
	Crv_2	Digitalni	O:2/3	
	Zut_2	Digitalni	O:2/4	
	Zel_2	Digitalni	O:2/5	
Promjenljive				
	Tag	Tip	Adresa	Opis
Brojac_1	Brojac_1	Analogni	F8:0	Frekvencija saobraćaja
	Brojac_2	Analogni	F8:1	
Brzina_1	Brzina_1	Analogni	N7:101	Brzine vozila
	Brzina_2	Analogni	N7:104	
START	START	Digitalni	B3:0/1 4	Start/Stop
	STOP	Digitalni	B3:0/1 5	
	RUN	Digitalni	O:2/15	
Rezim_rada	Digitalni	B3:1/0	Režim rada 1 - detektorski, 0 – automatski	
Trajanje_Crv_1	Analogni	N7:0	Trajanje svjetlosnih signala	
Trajanje_Zel_1	Analogni	N7:1		

Tabela 1 – Signali i promjenljive u PLC-u

upotreba kontrole tipa numerički displej za prikazivanje vrijednosti frekvencije saobraćaja. Ukoliko je potrebno, ovdje se može umjesto direktnog očitavanja vrijednosti taga, upisati izraz koji bi vrijednost konvertovao u odgovarajuću fizičku veličinu. Očitavanje brzine se obavlja preko tagova „Brzina\_1“ i „Brzina\_2“ odnosno promjenljivih u PLC-u N7:101 i N7:104. U ovom slučaju dobija se vrijednost koja predstavlja vrijeme u ms koje je proteklo između signala sa odgovarajućih senzora. Pošto je poznato rastojanje između senzora, na jednostavan način se računa i prikazuje brzina vozila u km/h.

Kao što je u uvodu pomenuto, postoje dva režima rada semafora: detektorski i automatski sa fiksnim intervalima trajanja signala. Izbor između ova dva režima vrši se pomoću odgovarajuće kontrole u SCADA aplikaciji. Pored ovoga

moгуće je zaustaviti rad cjelokupnog uređaja čime sva svjetlosna signalizacija prelazi na stanje signalizacije „treptućeg žutog svijetla“ na raskrsnici.



Sl. 4 – Grafički prikaz iz SCADA aplikacije

## 10. ZAKLJUČAK

Prednost upotrebe ovog sistema regulacije saobraćaja u odnosu na klasični je u kraćem vremenu čekanja na zeleni signal za one saobraćajnice gdje je veća frekvencija saobraćaja, čime se ostvaruje bolji protok vozila. Navedenim sistemom regulacije saobraćaja moguće je iz komandnog centra vršiti prelazak sa detektorskog na automatski način rada. Automatski način rada je projektovan na osnovu statističkih podataka o saobraćaju, dok se detektorski zasniva na trenutnom stanju saobraćaja.

Prednost predloženog rješenja je i mogućnost detekcije kvara udaljenih elemenata. U tom slučaju automatski se uključuje alarm, a sistem prelazi na stanje „treptuće žuto“ na raskrsnici.

## LITERATURA

- [1] Allen-Bradley SLC 500™ and MicroLogix 1000™ Instruction Set – Reference Manual
- [2] Programabilni logički kontroleri Allen-Bradley SLC500, Srbijanka Turajlić, Beograd 2008.
- [3] RSLogix500 – Programing for the SLC500™ and MicroLogix™ Families, Rockwell Software, August 1999.
- [4] Getting Results with RSLinx, Rockwell Software, June 1998.
- [5] IEC 61131-3 INTERNATIONAL STANDARD, Edition 2.0 2003-01
- [6] Introduction to PLC controllers, Nebojsa Matic
- [7] RSVIEW32 – User’s Guide, Rockwell Automation, September 2003.
- [8] INTERNATIONAL STANDARD, ISO/IEC 7498-1, OSI – Basic Reference Model, 1994.
- [9] Allen-Bradley SCADA System – Application Guide, 1998
- [10] Web: Rockwell Automation, <http://www.rockwellautomation.com>
- [11] Web: Allen-Bradley, <http://www.ab.com>

## ANALIZA PERFORMANSI ALGORITAMA UPRAVLJANJA SERVO SISTEMOM SA ELASTIČNO SPREGNUTIM MASAMA ANALYSIS PROPERTIES OF CONTROL ALGORITHMS BY SERVO-SYSTEM OF FLEXIBLE STRUCTURES

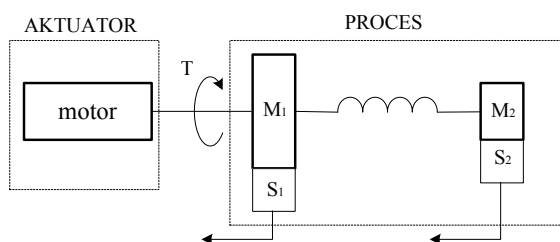
Mimo Mirković, Milovan Radulović, *Elektrotehnički fakultet, Podgorica*

**Sadržaj** – Rad prikazuje analizu različitih algoritama upravljanja elektromehaničkog sistema. U radu su dobijeni i analizirani rezultati korišćenja više upravljačkih algoritama, kao što su: PID, PID+Notch, metod postavljanja polova, LQR, na realnom elektromehaničkom sistemu. Specifičnost ovog sistema je u elastičnoj strukturi, koja otežava upravljanje elemenata sistema koji su sa aktuatorom spregnuti elastičnim vezama.

**Abstract** – This paper presents analysis different algorithms of control electromechanical system. An implementation and results of using more controlling algorithm in real electromechanical system will be compared in this paper, such as: PID, PID+Notch, Pole Placement and LQR. The peculiarity of this system is its flexible structure, which complicate control of system elements, which are coupled with actuator flexible connections.

### 1. UVOD

U ovom radu će biti analizirano više algoritama upravljanja na realnom elektromehaničkom sistemu. Specifičnost ovog sistema je u elastičnoj strukturi, između početne i krajnje tačke sistema, koja otežava upravljanje elemenata sistema koji su sa aktuatorom spregnuti različitim tipovima krutih ili elastičnih veza. U zavisnosti od lokacije senzora upravljanje može biti collocated<sup>1</sup> (aktuator i senzor na istoj lokaciji, kruto vezani) ili non-collocated (aktuator i senzor na udaljenim lokacijama, elastično vezani). Sa tog aspekta u radu je analizirano non-collocated upravljanje i testirano više algoritama upravljanja kako bi se došlo do zaključka koji algoritam donosi najbolje rezultate.



Slika 1. Elektromehanički sistemi;Aktuator spregnut sa procesom koji sadži elastične veze

Za što bolju preciznost upravljanja senzor bi trebao biti postavljen što bliže opterećenju. Međutim, iz više razloga senzor i aktuator ne mogu uvijek biti pozicionirani na istom mjestu, što je veoma česta pojava u industrijskim pogonima ili kod robotskih sistema (na pr. robotska ruka sa više zglobova).

Servomotori su u tipičnom industrijskom okruženju povezani sa njihovim aktuatorima prenosnim mehanizmom koji ima konačnu krutost [1]. Elastično spregnute mase: motor - opterećenje, uvode konačan broj nula i par konjugovano kompleksnih polova u funkciju prenosa objekta

i na taj način dovode do moguće pojave mehaničke rezonance. Ovaj problem je više izražen u servosistemima u kojima je senzor pozicije na opterećenju. Tada će sistem sa zatvorenim povratnom spregom uključiti nemodelovane modove torzione rezonance [1]. Isti problem se pojavljuje i u slučaju kada se senzor povratne sprege nalazi na osovini motora. Ovaj fenomen ograničava performanse sistema i predstavlja razlog pojave slabo prigušenih oscilacija u odzivu sistema. Često ignorisani u projektovanju konvencionalnih servosistema, rezonantni modovi mogu da se preklope sa propusnim opsegom i da prouzrokuju prinudne oscilacije mašine i sa njom spregnutih djelova. Ovakva pojava je praćena bukom, ali i mogućim oštećenjima djelova sistema. Dobar pregled dosadašnjih napora u rješavanju ovog problema je dat u [1].

Karakteristike rada sistema u vremenskom domenu su jako bitne, pošto se i ponašanje SAU prati u toku vremena. Iz tog razloga odziv sistema u vremenskom domenu je od primarnog značaja, a sa njim i određene karakteristike. Najčešće se na red sa procesom postavlja regulator i podešavanjem njegovih parametara se postiže željeni odziv, odnosno, željeno ponašanje cjelokupnog sistema. Detaljno će se analizirati step odzivi u vremenskom domenu uz upoređivanje odgovarajućih karakterističnih veličina, [6].

Pošto je u ovom radu poseban akcenat dat na postojanje elastičnih veza između aktuatora i udaljenih masa, biće analizirani algoritmi kojima je moguće u određenoj mjeri riješiti probleme upravljanja takvim sistemima. Korišćeni su sledeći algoritmi upravljanja: PID, PID+Notch, Metod postavljanja polova i Optimalno upravljanje-LQ regulator.

U narednom dijelu će biti izvršeno poređenje algoritama upravljanja, u zavisnosti od odziva sistema u vremenskom domenu, realizovanih na elektromehaničkom sistemu ECP Model 205, [4].

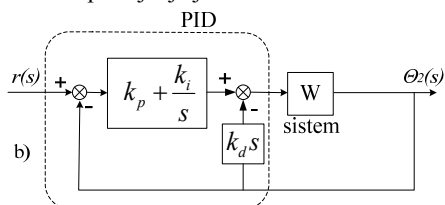
<sup>1</sup> Eng. **collocate**= rasporediti; sastaviti; smjestiti.



## 2. PID ALGORITAM

Linearni zakoni upravljanja predstavljaju jedan od najstarijih i najčešće korištenih upravljačkih strategija. Ova činjenica je proistekla iz više razloga, a najznačajniji su: tehnike podešavanja parametara linearnih regulatoru su detaljno razrađene, pomoću njih se može riješiti oko 90% svih upravljačkih zadataka i veoma su jednostavni za upotrebu, [2].

U slučaju zatvaranja povratne sprege preko drugog senzora upravljanje je non-located. Izlaz sistema je ugao zaokreta udaljenog diska, pri čemu regulator ostaje isti PID regulator. Šema upravljanja je data na slici 2.

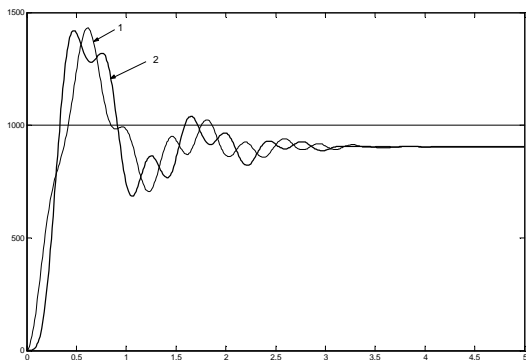


Slika 2. Šema non-located upravljanja pomoću PID algoritma sa D dejstvom u povratnoj grani

Funkcija spregnutog prenosa sistema za sistem sa slike 2 je data relacijom 1.:

$$G(s) = \frac{\theta_2(s)}{r(s)} = \frac{W(k_i + k_p s)}{s(1 + Wk_p k_i + Wk_d s)} \quad (1)$$

Iterativnim podešavanjem parametara kontrolera dobijen je step odziv sistema prikazan na slici 3. Uočava se veliki preskok kao i neželjene oscilacije oba diska. Stabilnost sistema je relativno lako narušiti sa povećanjem koeficijenta  $k_p$ , čime se povećavaju oscilacije drugog diska. Pomoću korištenog algoritma je nemoguće dobiti kvalitetniji odziv drugog diska. Zbog specifičnosti sistema izražene su velike oscilacije kako prvog tako i drugog diska.



Slika 3. Step odziv sistema, sa parametrima kontrolera:  $k_p=0.03$ ,  $k_d=0.0008$ , gdje je: „1“ -odziv prvog diska, „2“ -odziv drugog diska

U tabeli 1. su prikazane karakteristike u vremenskom domenu, za odziv drugog diska sa slike 3. Preskok, vrijeme smirenja i greška u stacionarnom stanju imaju izrazito velike vrijednosti. U slučaju pokušaja eliminacije greške u stacionarnom stanju, uvođenjem integralnog pojačanja, brzo dolazi do povećanja preskoka i oscilacija, a samim tim i do nestabilnosti sistema.

Tabela 1. Karakteristike step odziva sa slike 3.

	disk	$e_{ss}$ [counts]	$t_s$ [s]	$t_u$ [s]	$t_k$ [s]	$\sigma$ [%]
Slika 3.15	2	100	2.29	0.15	0.24	57.7

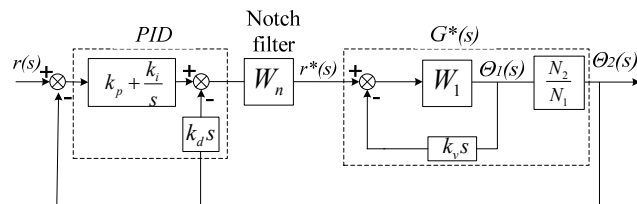
Za unapređenje ponašanja sistema pri non-located upravljanju potrebno je djelovati postepeno, prvo na donji disk, a zatim na gornji,

## 3. PID+RATE FEEDBACK +NOTCH FILTER

Pošto se pomoću jednostavnog PID algoritma ne mogu dobiti zadovoljavajuće karakteristike sistema, potrebno je uraditi određene korake na smanjenju oscilacija koje se javljaju u elektromehaničkom sistemu.

Sa povećanjem složenosti sistema javlja se potreba za korištenjem kompleksnijih upravljačkih algoritama. Na slici 4 je prikazana šema upravljanja elektromehaničkim sistemom, gdje je zadržan glavni PID kontroler, i dodata unutrašnja brzinska petlja (rate feedback). Unutrašnja petlja pomoću diferencijalnog pojačanja  $k_v$  ima funkciju da priguši oscilacije prvog diska. Pojačanje  $k_v$  se određuje metodom Geometrijskog mjesta korijena (GMK) uz uslov da sistem  $\theta_1(s) / r^*(s)$  ima najveće prigušenje.

Pomoću Notch filtera je moguće ukloniti neželjene oscilacije u elektromehaničkom sistemu, [3]. Prevođenjem u  $s$ -domen, potrebno je postaviti prenosnu funkciju filtera ( $W_n$ ) koja će pomoću svojih nula poništiti neželjene polove u sistemu  $G^*(s)$ , slika 4. Polovi Notch filtera mogu se odabrati proizvoljno, ali dovoljno daleko od imaginarne ose da se ne bi narušila stabilnost cjelokupnog sistema.



Slika 4. Šema upravljanja PID kontrolerom, sa dodatom unutrašnjom (brzinskom petljom) i Notch filterom

Funkcija spregnutog prenosa sistema sa Notch filterom data je relacijom 2:

$$\frac{\theta_2(s)}{r(s)} = \frac{k_p k_{hw} N_2 W_n(s) D^*(s)}{1 + (k_p + k_d s) k_{hw} N_2 W_n(s) D^*(s)} \quad (2)$$

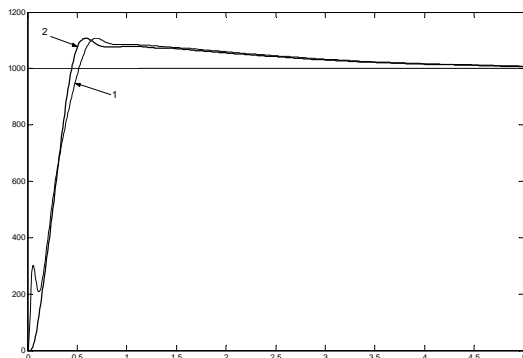
gdje je uzeto  $G^*(s) = \frac{W_1 N_2}{(1 + W_1 k_v s) N_1}$ , [4]

Analizom sistema  $G^*(s)$  dolazi se do zaključka koje osobine treba da ima željeni Notch filter, tj. koju frekvenciju treba ukloniti iz sistema. Analizom je utvrđeno da je karakterističnu frekvenciju od 2 Hz potrebno eliminisati pomoću Notch filtera.

Dobijena prenosna funkcija Notch filtera je:

$$W_n = \frac{N_n}{D_n} = \frac{1.291 \cdot 10^6 s^2 + 7.075 \cdot 10^6 s + 2.494 \cdot 10^8}{s^4 + 444.3s^3 + 9.87 \cdot 10^4 s^2 + 7.016 \cdot 10^6 s + 2.494 \cdot 10^8} \quad (3)$$

Poređenjem dobijenih odziva zaključuje se da su oscilacije koje postoje u sistemu koji ne sadrži Notch filter potpuno eliminisane u sistemu sa filterom, slika 5.



Slika 5. Step odziv sistema, sa parametrima kontrolera:  $k_p=0.06$ ,  $k_d=0.001$ ,  $k_i=0.04$ ,  $k_v=0.012$ , gdje je: „1“-odziv prvog diska, „2“-odziv drugog diska

Zanimljivo je uočiti kretanje donjeg diska, koji vrši „trzaj“ u suprotnom smjeru od zadatog smjera kretanja. Pošto je cilj upravljanje pozicijom gornjeg diska, kretanje donjeg diska je podređeno željenom odzivu gornjeg diska.

U tabeli 2. su prikazane karakteristike u vremenskom domenu za odziv drugog diska sa slike 5.

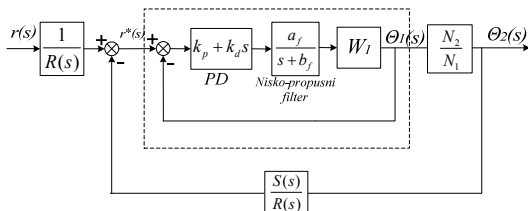
Tabela 2. Karakteristike odziva drugog diska sa slike 5.

disk	$e_{ss}$ [counts]	$t_s$ [s]	$t_u$ [s]	$t_k$ [s]	$\sigma$ [%]
2	7	1.95	0.294	0.257	9.93

#### 4. METOD POSTAVLJANJA POLOVA

Pri non-collocated upravljanju pomoću metode postavljanja polova korišćena je šema prikazana na slici 6. Parametri PD regulatora u direktnoj grani su:  $k_p=2.5$  i  $k_d=0.056$ , dok su koeficijenti korišćenog nisko-propusnog filtera  $a_f=b_f=240$ . Za postavljanje polova na željenim lokacijama postavljena je u povratnu granu prenosna funkcija

$$\frac{S(s)}{R(s)} = \frac{3.5s - 7.97}{s + 37.67}$$



Slika 6. Šema upravljanja sistemom  $W_1$ , korišćenjem metode postavljanja polova

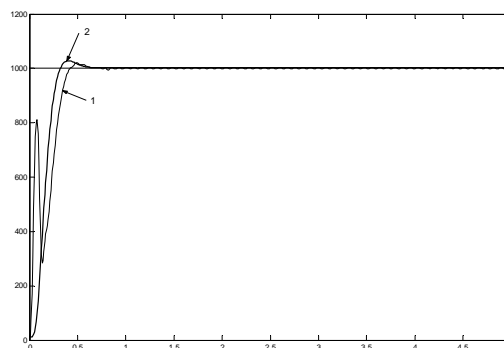
Funkcija prenosa uokvirenog isprekidanom linijom data je relacijom 4.:

$$\frac{\theta_2(s)}{r^*(s)} = \frac{(k_p + k_d s) a_f W_1(s)}{s + b_f + (k_p + k_d s) a_f W_1(s)} \quad (4)$$

dok je funkcija spregnutog prenosa ispitivanog sistema data relacijom 5, [4], [5]:

$$\frac{\theta_2(s)}{r(s)} = \frac{\theta_1(s) N_2 R(s)}{r^*(s) N_1 R(s) + N_2 \theta_1(s) S(s)} \quad (5)$$

Na slici 7. prikazan je odziv sistema sa slike 6. Karakteristično kretanje prvog diska sa trzajem u suprotnom smjeru od smjera kretanja drugog diska je veoma izraženo. Drugi disk se veoma brzo smirio i napravio veoma mali preskok.



Slika 7. Step odziv regulisanog sistema, gdje je: „1“-odziv prvog diska, „2“-odziv drugog diska

U tabeli 3. date su vrijednosti karakteristika odziva drugog diska, odakle se vidi da su greška u stacionarnom stanju i preskok praktično zanemarljivi. Odziv prvog diska nije analiziran pošto je cilj pozicioniranje drugog diska. Karakteristike odziva prvog diska su znatno degradirane jer je njegovo kretanje podređeno cilju upravljanja.

Tabela 3. Karakteristike odziva drugog diska sa slike 7.

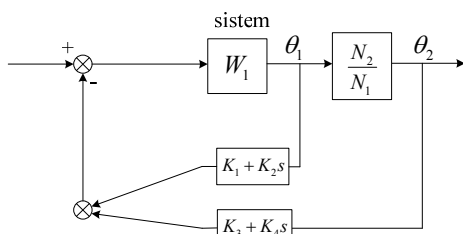
disk	$e_{ss}$ [counts]	$t_s$ [s]	$t_u$ [s]	$t_k$ [s]	$\sigma$ [%]
„2“	4	0.2813	0.1757	0.1535	1.99

#### 5. OPTIMALNO UPRAVLJANJE - LQ REGULATOR

Ideja optimalnog upravljanja je da se za sistem  $\dot{x} = Ax + Bu$ ;  $y = Cx$  i početno stanje  $x(0)$  izračuna matrica pojačanja  $K$ , takva da zakon upravljanja  $u = -Kx$  minimizuje kriterijum:

$$J = \int_0^{\infty} [x^T(t) \cdot Q \cdot x(t) + u^T(t) \cdot R \cdot u(t)] dt \quad (6)$$

Na slici 8. je prikazana principijelna šema upravljanja pomoću LQ regulatora u Laplasovom domenu. Analizirani sistem je četvrtog reda, pa će izračunati vektor pojačanja  $K$  imati četiri elementa:  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  i  $K_4$ . Elementi vektora pojačanja ponaosob utiču na sva četiri stanja sistema:  $\theta_1$ ,  $\dot{\theta}_1$ ,  $\theta_2$  i  $\dot{\theta}_2$ , respektivno. Promjenljive  $\theta_1$  i  $\theta_2$  su uglovi zaokreta odgovarajućih diskova, a  $\dot{\theta}_1$  i  $\dot{\theta}_2$  su njihove brzine, [4], [5].

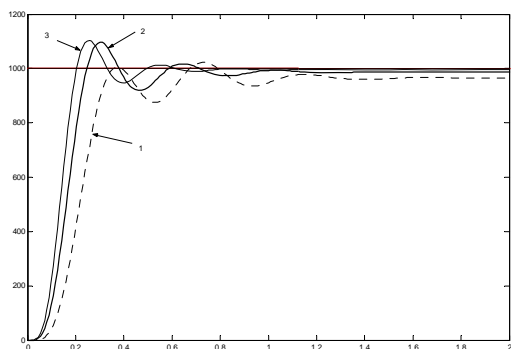


Slika 8. Šema upravljanja LQ regulatorom u Laplasovom domenu

U tabeli 4. su date vrijednosti koeficijenata vektora  $K$  u zavisnosti od vektora  $r$ . Za analizu su korišćene četiri različite vrijednosti vektora  $K$  u opsegu od 0.1 do 100. Na slici 9. prikazan je odziv drugog diska u zavisnosti od vrijednosti matrice  $r$ , i to: kriva „1“ za  $r=100$ , kriva „2“ za  $r=10$  i kriva „3“ za  $r=1$ . U slučaju sa  $r=0.1$  sistem postaje nestabilan. U zavisnosti od zahtjeva upravljanja, moguće je relativno lako podesiti odziv sistema tako da se dobiju željene karakteristike u vremenskom domenu.

Tabela 4. Vrijednosti koeficijenata matrice  $K$  u zavisnosti od vrijednosti matrice  $r$

$r$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$
100	0.0979	0.011	0.0021	0.0088
10	0.3026	0.0196	0.0137	0.028
1	0.717	0.0303	0.283	0.0865



Slika 9. Step odziv drugog diska sistema upravljanog LQ regulatorom, za: „1“– za  $r=100$ ; „2“– za  $r=10$  i „3“– za  $r=1$

U tabeli 5. date su vrijednosti karakteristika u vremenskom domenu za tri odziva drugog diska sa slike 9. Iz tabele se vidi da su preskoci relativno mali, da su greške u stacionarnom stanju veoma male.

Tabela 5. Karakteristike step odziva sa slike 9.

odziv	$e_{ss}$ [counts]	$t_s$ [s]	$t_u$ [s]	$t_k$ [s]	$\sigma$ [%]
„1“	34	0.765	0.1698	0.2138	5.79
„2“	12	0.5115	0.1304	0.16	10.93
„3“	4	0.3044	0.1075	0.1343	10.74

## 6. ZAKLJUČAK

U radu su dobijeni i analizirani rezultati korišćenja više upravljačkih algoritama, na realnom elektromehaničkom sistemu. Specifičnost ovog sistema je u elastičnoj strukturi,

koja otežava upravljanje elemenata sistema koji su sa aktuatorom spregnuti elastičnim vezama.

Pri izvedenoj analizi su korišćeni sljedeći algoritmi: PID, PID+Notch, Metod postavljanja polova i LQ regulator. Pošto sistem sadrži elastične veze između aktuatora i opterećenja (diska) PID algoritam ne može uspješno riješiti problem pozicioniranja udaljenog diska. Dodavanje unutrašnje brzinske petlje i Notch filtera u upravljačku konturu došlo je do smanjenja oscilacija donjeg diska, što je uslovalo i redukovanje oscilacija gornjeg, ali eventualna dalja podešavanja parametara kontrolera su znatno ograničena. Prelaskom na metod postavljanja polova i optimalno upravljanje dobijaju se najbolje karakteristike step odziva udaljenog diska elektromehaničkog sistema.

U tabeli 6. date su generalne ocjene analiziranih algoritama upravljanja u odnosu na mogućnost postizanja stacionarnog stanja i osobina u prelaznom režimu. Radi preglednosti tabele, za ocjenu kvaliteta pojedinih algoritama, korišćene su zvjezdice. Broj zvjezdica predstavlja kvalitet određenog algoritma u odnosu na određene parametre, i to na sledeći način: ★ = nezadovoljavajući, ★★ = zadovoljavajući, ★★★ = dobar i ★★★★ = odličan.

Tabela 6. Opšta klasifikacija i ocjena kvaliteta analiziranih algoritama upravljanja

PID	PID+rate +Notch	Postavljanje polova	LQ Regulator
★	★★★	★★★★	★★★★
★	★★★	★★★★	★★★

## LITERATURA

- [1] S.Vukosavić, M.Stojić, „*Suppression of torsional oscillations in a high-performance speed servo drive*“, IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 45, No1, pp. 108-117, 1998.
- [2] Karl J. Astrom, Tore Hagglund, „*Advanced PID control*“, Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund University, ISA- The instrumentation, Systems and Automation Society, 2006.
- [3] Benjamin C. Kuo, Farid Golnaraghi, „*Automatic Control Systems*“-8th Edition(2003), John Wiley & Sons, INC.
- [4] Thomas R. Parks, „*Torsional Control System (Instructor's Edition) – Manual for Model 205/205a*“, ECP, Bell Canyon, CA, www.ecpsystems.com.
- [5] Piere R. Belanger, „*Control Engineering-A Modern Approach*“, McGill University, USA, 1995.
- [6] Milić Stojić, „*Kontinualni sistemi automatskog upravljanja*“, Naučna knjiga, Beograd, 1988.

## REGULATOR NAPONA TERMIČKIH POTROŠAČA A THERMAL LOADS VOLTAGE REGULATOR

Aleksandar Dedić, *Elektrotehnički fakulte Podgorica*

**Sadržaj**-U radu je dat opis jednog originalnog rješenja regulatora napona termičkih potrošača u sistemima automatskog upravljanja standardizovanim strujnim signalom 4-20 mA

**Abstract** – In this paper is given a 4-20mA standard input voltage regulator originally designed for thermal loads

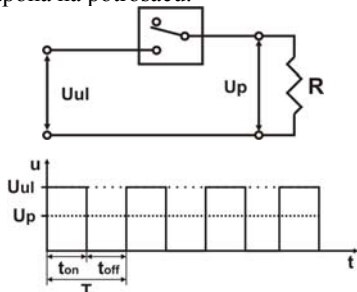
### 1. UVOD

Regulator napona, čiji je opis dat u ovom radu, urađen je, prvenstveno, za potrebe regulacije snage grijača sa ciljem održavanja zadate temperature, a predviđen je za rad u sistemima automatskog upravljanja sa standardnom strujom 4-20 mA, odnosno naponom 0,5-2,5V. Ovaj regulator nije predviđen za rad sa potrošačima koje sadrže induktivnosti, ali se može koristiti i za redne motore, odnosno motore jednosmjerne struje. Regulator radi u prekidačkom režimu, na frekvencijama koje su znatno veće od frekvencije električne mreže i., za razliku od regulatora sa tiristorima, izaziva znatno manje impulsne struje u mreži. Opsjeg regulacije je od 0V do punog napona mreže. U praktičnoj realizaciji, regulatoru je dodat filter mrežnog napona, koji ovdje nije prikazan. Uređaj se sastoji od dva nezavisna sklopa. Prvi sklop pretvara poziciju klizača potenciometra u signal 4-20mA (0,5-2,5V), a drugi vrši regulaciju mrežnog napona proporcionalno ulaznom signalu. Ovi sklopovi imaju galvanski razdvojena napajanja, pa se mogu nezavisno koristiti.

Originalnost rješenja, datog ovdje, sastoji se u načinu upravljanja prekidačkim tranzistorom.

### 2. NAČIN RADA

Regulator radi u prekidačkom režimu sa širinsko-impulsnom regulacijom. Na sl.1 prikazan je uprošćeni način rada regulatora. Na gornjem crtežu prikazan je prekidač kao element regulatora, a na donjem, dijagram napona na potrošaču. Napon  $U_{ul}$  je ulazni napon koji se pojavljuje na regulatoru kad je prekidač zatvoren, a  $U_p$  je srednja vrijednost napona na potrošaču.



Sl.1 Način rada regulatora

Napon  $U_p$ , na izlazu regulatora, proporcionalan je ulaznom naponu i vremenu u kojem je prekidač uključen. U slučaju kad je napon  $U_{ul}$  konstantan, srednja vrijednost napona  $U_p$  na potrošaču biće:

$$U_p = \frac{1}{T} \int_0^{t_{on}} U_{ul} dt = U_{ul} \frac{t_{on}}{T} \quad 0 \leq t_{on} \leq T$$

gdje je:  $T = t_{on} + t_{off}$  - zbir vremena u kojem je prekidač zatvoren i u kojem je prekidač otvoren,  $t_{on}$  - vrijeme u kojem je prekidač zatvoren. Uz uslov da su sve gornje veličine konstantne, srednja vrijednost napona  $U_p$  biće linearno srazmjerna vremenu, u kojem je prekidač zatvoren i može se mijenjati od vrijednosti 0 do napona  $U_{ul}$ .

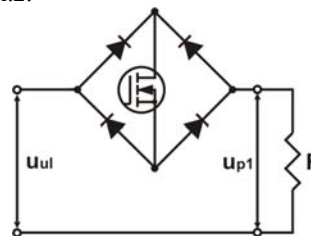
Ako je ulazni napon promjenljiv, kao što je slučaj sa naizmjeničnim naponom, ova jednačina važi samo u slučaju kad je  $T \ll T_{ul}$ , tj. frekvencija prekidanja mora biti znatno veća od frekvencije napona. U slučaju kada ulazni napon ima sinusoidalni oblik, tj.  $u_{ul} = U_{ul} \sin \omega_{ul} t$ , napon na potrošaču biće:

$$u_p = U_{ul} \frac{t_{on}}{T} \sin \omega_{ul} t$$

pa je  $i$  efektivna vrijednost napona na potrošaču:

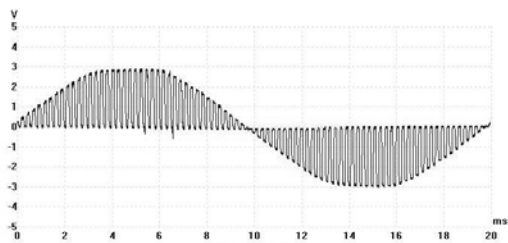
$$U_{pef} = \sqrt{\frac{1}{T_{ul}} \int_0^{T_{ul}} u_{ul}^2 dt} = \frac{U_{ul}}{\sqrt{2}} \frac{t_{on}}{T}$$

Kao prekidački element, u ovom regulatoru, koristi se MOSFET. Kako transistor ne može raditi u kolu naizmjenične struje, on se mora kombinovati sa ispravljačkim diodama u graetz-ovom spoju, kao što je to prikazano na sl.2.



Sl.2 Način vezivanja prekidačkog tranzistora

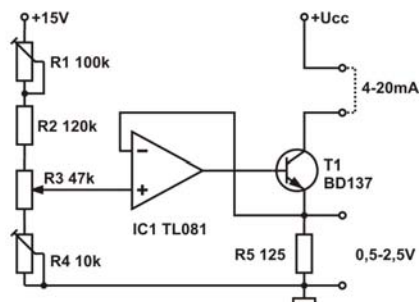
Na sl. 3 prikazan je oscilogram napona na potrošaču za vrijednost  $t_{on} = \frac{1}{2}T$ . Efektivna vrijednost napona na potrošaču je u ovom slučaju:  $U_p = \frac{1}{2}U_{ul}$ . Napon na potrošaču nije preporučljivo filtrirati jer bi reaktivna komponenta struje, koju stvara filter, mogla oštetiti tranzistor. Viši harmonici struje, koji se javljaju sa ulazne strane regulatora, efikasno se filtriraju jednostavnim  $\Pi$  filtrom, tako da je nivo smetnji, koje unosi regulator u mrežu, zanemarljiv.



Sl. 3 Oblik napona na potrošaču

### 3. ULAZ REGULATORA

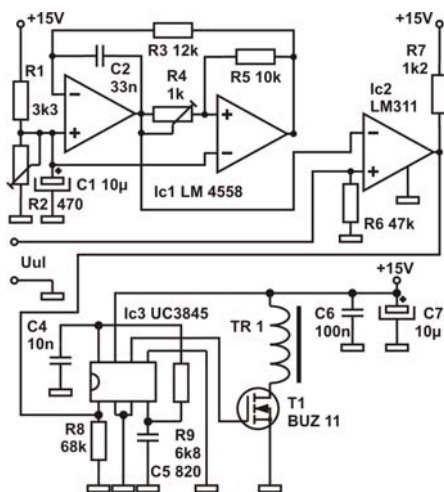
Kao ulazni element regulatora, koristi se potenciometar. Sklop, prikazan na slici 3, služi za pretvaranje pozicije klizača potenciometra u strujni signal 4-20 mA. S obzirom da se ovdje radi o tipskom rješenju, rad ovog sklopa nije objašnjen. Treba samo napomenuti da se trimer potenciometrom R4 podešava struja 4 mA u donjem položaju, a trimer potenciometrom R1, struja 20 mA u gornjem položaju klizača potenciometra.



Sl.4 Sklop za pretvaranje pozicije klizača potenciometra u strujni signal 4-20 mA

### 4. REGULATOR

Regulator napona sastoji se iz tri sklopa: širinsko-impulsnog modulatora, oscilatora i sklopa za upravljanje prekidačkim tranzistorom.



Sl.5 Širinsko-impulsni modulator i oscilator

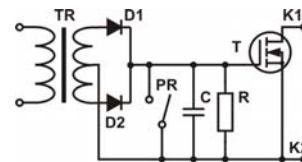
Širinsko-impulsni modulator sastavljen je od generatora trouglastog napona (dvostruki operacioni pojačavač LM4558) i komparatora (LM311). Za vrijednosti komponenti

date na šemi, generator daje napon trouglastog oblika frekvencije 5kHz. Podešavanje generatora vrši se tako što se prvo, potenciometrom R4, podesi da vrijednost izlaznog napona bude 2V od vrha do vrha, a zatim se, potenciometrom R2, podesi da donja vrijednost napona bude 0,5V. Kod ovakvo podešenog generatora, na izlazu komparatora dobijaju se pravougaoni impulsi, čija je frekvencija jednaka frekvenciji generatora a širina se mijenja u opsegu 0-100%, pri promjeni vrijednosti ulaznog napona 0,5-2,5V. Ako je potrebno da, kao ulazni signal, bude strujni signal 4-20mA, treba promijeniti vrijednost otpornika R6, da bude 125 oma.

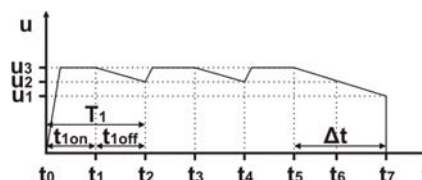
Kao oscillator, koristi se integralno kolo UC3845, koje je i namijenjeno u tu svrhu. Za vrijednosti C5 i R9, date na sl.4, oscilator ima frekvenciju oscilovanja 200kHz. Oscilatorom upravlja širinsko-impulsni modulator i to tako, što oscilator osciluje u toku trajanja impulsa modulatora, a ne osciluje u toku trajanja pauze. Na taj način se vrijeme oscilovanja oscilatora može linearno mijenjati od potpunog prestanka, do neprekidnog oscilovanja. Transformator, u kolu tranzistora T1 služi za upravljanje prekidačkim tranzistorom.

### 5. SKLOP ZA UPRAVLJANJE TRANZISTOROM

Uslov, koji mora da zadovolji MOSFET, je da radi u prekidačkom režimu, uz mogućnost da bude provodan neograničeno dugo u slučaju da je potrebno da na potrošač bude priključen puni napon. Ovaj se uslov ne može ispuniti ako se sekundar transformatora priključi direktno na gejtt tranzistora iz razloga što transformator ne može neograničeno dugo da prenosi jednosmjernu komponentu napona. Zbog toga transformator treba da radi u prekidačkom režimu, a napon sekundara treba ispraviti i filtrirati. Ispravljeni i filtrirani napon može držati tranzistor neograničeno dugo otvorenim, ali se zatvaranje tranzistora pojavljuje kao problem jer po prestanku rada oscilatora napon na gejtu se smanjuje relativno sporo, što dovodi do toga da tranzistor jedno vrijeme radi u linearnom režimu uz gubitke koji mogu biti značajni. Rješenje ovog problema bilo bi da se doda sklop koji kratko spaja gejtt i sors tranzistora u vremenu kada oscilator ne radi. Način rada ovakvog sklopa objašnjen je uprošćenom šemom na sl.6 i naponskim dijagramom na sl.7.



Sl.6 Način rada sklopa za upravljanje tranzistorom

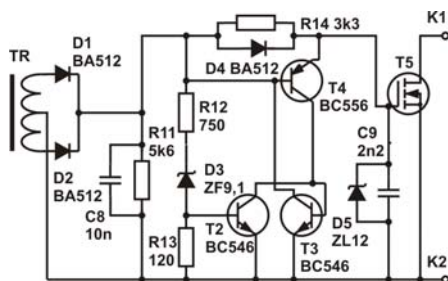


Sl.7 Dijagram napona sklopa za upravljanje tranzistorom

Kad oscilator, prikazan na sl.5, radi, na krajevima transformatora TR pojavljuje se periodični impulsni napon periode T1. Pod dejstvom tog napona, u toku vremena t1on, kondenzator C se puni do napona U3, a tranzistor se, usled

dejstva tog napona, otvara.. U toku vremena  $t_{\text{off}}$ , kondenzator se prazni preko otpornika R. Napon kondenzatora opada do vrijednosti  $U_2$  koja je definisana RC konstantom i vremenom  $t_{\text{off}}$ , poslije čega se kondenzator opet puni. Ovaj se ciklus ponavlja dok oscilator radi. Kad oscilator prestane da radi, (trenutak  $t_5$ ) napon na kondenzatoru će opadati do vrijednosti  $U_1$  (trenutak  $t_7$ ). U tom trenutku zatvara se prekidač PR koji kratko spaja kondenzator usled čega se tranzistor zatvara. Napon  $U_3$  mora se odabrati tako da ne ošteti tranzistor, a napon  $U_1$ , da tranzistor ne uđe u linearni režim. Za uključivanje prekidača koristi se triger, koji na šemi nije prikazan, a koji se podešava da reaguje kad napon padne na vrijednost  $U_1$ .

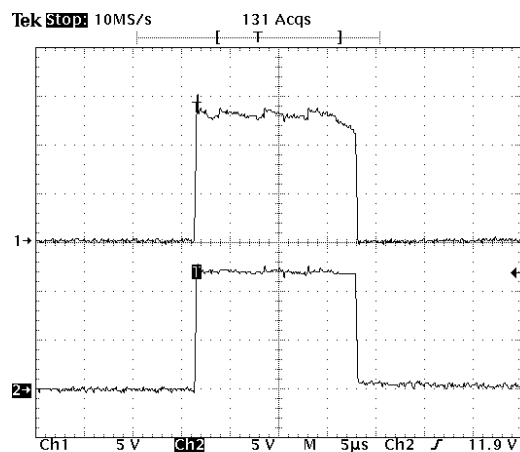
Puna šema sklopa data je na sl.8.



Sl.8 Sklop za upravljanje prekidačkim tranzistorom

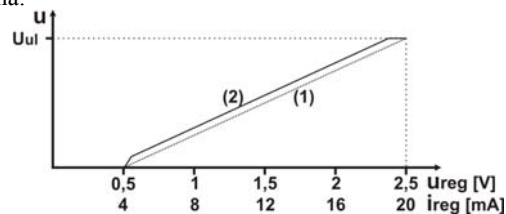
Primar transformatora TR vezan je u kolo oscilatora prema sl.5, a napon sekundara se dovodi, preko dioda D1 i D2 na kondenzator C8. RC konstantu kola čine kondenzator C8 i otpornik R11, ali se mora uzeti u obzir i uticaj kondenzatora R9, kao i ostalih otpornika. Kondenzator C9 filtrira napon na gejtu tranzistora, ali njegova glavna uloga je ipak, da održi konstantnim napon na emiteru tranzistora T4. Dioda D5 služi da napon na gejtu ne premaši 12V. Kao prekidač služe tranzistori T4 i T5 u trigerskom spoju. Ovaj triger reaguje u trenutku kad razlika napona na C8 i C9 premaši prag provođenja trigera (oko 0,6V) i time kratko spoji gejtu i sors tranzistora. S obzirom da je ovakav sklop prilično osjetljiv na smetnje koje se javljaju, kako usled rada oscilatora, tako i u spoljašnjem kolu tranzistora T5 i koje mogu izazvati lažno reagovanje trigera, u kolo se dodaju transistor T2, dioda D3 i otpornici R12 i R13. Ove komponente omogućavaju da triger ne može reagovati dok napon na C8 ne padne ispod 11V. Na sl.9 dati su oscilogrami napona na kondenzatoru C8 (gornji) i C9 (donji).

Ovakav način upravljanja prekidačkim tranzistorom izaziva i određenu grešku u sistemu regulacije. Geška se sastoji u tome da je transistor otvoren još neko vrijeme poslije prestanka rada oscilatora. Ako se sa  $\Delta t$  označi vrijeme koje proteče od trenutka prestanka rada oscilatora do zatvaranja tranzistora, (sl 7), trajanje svih impulsa sa sl.1 biće produženo za  $\Delta t$ , usled čega će napon na potrošaču biti uvećan. Vrijednost naponske greške će biti  $\Delta U = U_{ul} \Delta t / T$ , gdje je T – trajanje periode impulsa na izlazu modulatora a ne oscilatora. Za vrijednosti komponenti date na gornjim slikama, vrijednosti vremena su  $\Delta t = 0,2\mu s$  i  $T = 0,2ms$ , pa je naponska greška  $\Delta U = 0,001U_{ul}$ . Za praktičnu primjenu, ova je greška zanemarljivo mala.



Sl.9 Oscilogram napona na kondenzatorima C8 (gornji) i C9 (donji)

Zavisnost efektivne vrijednosti napona na potrošaču data je na sl.10, pri čemu je sa (1) data idealna zavisnost, a sa (2) stvarna.



Sl.10 Zavisnost napona na potrošaču od ulaznog signala, (1) –idealna karakteristika, (2) –stvarna karakteristika

## 6. ZAKLJUČAK

Kod postojećih rješenja sličnih regulatora, transformator služi za napajanje upravljačkog sklopa, a upravljanje tranzistorom vrši se posebnim elementom, na primjer, optokaplerom. Ovdje se i napajanje i upravljanje vrši uz pomoć samo jednog transformatora.

Regulator je stabilno radio u dužem vremenskom periodu, čak i u slučajevima kad je bio zadat veoma mali izlazni napon.

## 7. LITERATURA

- [1] Douglas M. Considine, *Process Instruments and Controls Handbook*, McGraw-Hill, 1974
- [2] Curtis D. Johnson, *Process Control Instrumentation Technology*, Prentice Hall, 2003
- [3] Ljubiša S. Draganović, *Elementi i sistemi automatskog upravljanja*, Lola Institut, Beograd, 1997
- [4] Prof. dr. Đorđe Jovanović, *Energetska elektronika*, Podgorica, 1994
- [5] Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, *Power Electronics Converters and Design*, John Wiley & Sons Inc. 2003



## POBOLJŠANJE MODIFIKOVANOG ICI ALGORITMA ZA IF ESTIMACIJU IMPROVEMENT OF THE MODIFIED ICI ALGORITHM FOR IF ESTIMATION

Semir Tuzović, *Mtel, Podgoric,*  
Igor Đurović, *Elektrotehnički fakultet, Podgorica*

**Sadržaj** - U ovom radu prikazan je metod estimacije trenutne frekvencije signala koji brzo mijenjaju spektralni sadržaj na osnovu modifikovanog ICI algoritma. Za male vrijednosti SNR odnosa, primjenom ICI algoritma sa median filtrom postiže se dobra estimacija trenutne frekvencije signala. U radu je prikazan način poboljšanja metoda estimacije trenutne frekvencije primjenom median filtra sa ICI algoritmom za različite vrijednosti SNR odnosa. Prikazani su dobijeni rezultati u Matlabu za 50 iteracija na primjeru IF-a oblika  $\text{sign}|t|$ .

**Abstract** - This paper presents a method for instantaneous frequency estimation of signal with fast variations of spectral content. Accurate IF estimation can be achieved with the algorithm which is based on intersection of confidence (ICI) intervals rule by applying median filter, when the SNR value is small. An overview of results achieved in Matlab is presented for the IF function  $\text{sign}|t|$  for 50 iterations and with different noise variances.

### 1. UVOD

Za estimaciju trenutne frekvencije signala koji brzo mijenjaju spektralni sadržaj tokom vremena često se koriste vremensko-frekvencijske distribucije, a IF (trenutna frekvencija – eng. *instantaneous frequency*) se na osnovu vremensko-frekvencijskih distribucija najčešće procjenjuje kao pozicija maksimuma vremensko-frekvencijske transformacije u posmatranom trenutku [1]-[3].

Dobar metod za estimaciju IF-a kada je SNR odnos mali jeste kombinacija ICI (*Intersection of Confidence Intervals*) algoritma i TF (vremensko-frekvencijske – eng. *time-frequency*) distribucije. Primjena osnovnog ICI algoritma i TF distribucija za estimaciju IF-a daje dobre rezultate kada je SNR oko 10 dB. Srednja kvadratna greška estimacije IF-a može se minimizovati upotrebom optimalne širine prozora kod TF distribucije.

Pokazuje se da adaptivna širina prozora kod TF distribucije u odnosu na fiksnu daje značajno bolje rezultate estimacije kada je IF nelinearna funkcija vremena. Za male vrijednosti SNR odnosa, oko -2dB, osnovni ICI algoritam u kombinaciji sa određenom TF distribucijom ne može se primijeniti za IF estimaciju, jer su zbog uticaja šuma maksimumi TF distribucije dislocirani van auto-člana. Pored toga moguće su i sledeće greške estimacije:

- 1) greška usled biasa
- 2) greška usljed diskretizacije po frekvenciji
- 3) greška usljed postojanja kros članova.

Estimacija IF-a u uslovima visokog šuma prikazana je u [4]. Zbog primjene median filtra i estimacije vjerovatnoće greške koja nastaje zbog uticaja šuma ovaj algoritam kompleksniji je od osnovnog algoritma na osnovu ICI pravila [3]. Njegovom primjenom postiže se dobra preciznost estimacije IF-a u uslovima visokog šuma za različite vrste signala. Još jedan metod estimacije IF-a, kada je SNR odnos mali, a modifikacija je metode za procjenu IF-a na osnovu

primjene ICI algoritma i TF distribucije primjenom običnog median filtra prikazan je u [5].

U ovom radu prikazan je modifikovani ICI metod za estimaciju IF-a, kada se koristi median filter, a predložena tehnika dalje je unaprijeđenje algoritma prikazanog u [5]. Pokazuje se da se modifikacijom algoritma prikazanog u [5] dobija poboljšanje u smislu srednje asolutne greške. Rad je organizovan na sledeći način.

U drugom poglavlju dat je kratak opis estimacije IF-a na osnovu Wigner-ove distribucije (WD) i ICI algoritma. U trećem poglavlju prikazan je modifikovani metod estimacije iz drugog poglavlja. U četvrtom poglavlju prikazani su primjeri i dobijeni rezultati. Peto poglavlje sadrži zaključna razmatranja.

### 2. ESTIMACIJA IF-A NA OSNOVU WIGNEROVE DISTRIBUCIJE I ICI ALGORITMA

Posmatrajmo signal u prisustvu šuma:

$$\begin{aligned} x(n\Delta t) &= s(n\Delta t) + \varepsilon(n\Delta t), \\ s(t) &= a \exp(j\phi(t)), \end{aligned} \quad (1)$$

gdje je  $s(n\Delta t)$  signal i  $\varepsilon(n\Delta t)$  je bijeli kompleksni Gausov šum, sa međusobno nezavisnim realnim i imaginarnim djelovima varijansi  $\sigma_e^2/2$ . Period odabiranja označen je sa  $\Delta t$ , a  $n$  je cio broj. Razmatrajući problem IF-a koje se definiše kao  $f_i(t) = \phi'(t)/2\pi$ , estimacija IF-a bazira se na poziciji maksimuma TF distribucije  $\rho_x(t, f)$ , gdje je  $\rho_x(t, f) = WD(t, f)$ ,

$$\hat{f}(t) = \arg \left\{ \max_f \rho_x(t, f) \right\}. \quad (2)$$

Diskretna WD definiše se kao [2]:



$$W_h(f, t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} w_h(nT) x(t+nT) x^*(t-nT) e^{-j4\pi f n T} \quad (3)$$

gdje je  $w_h(nT) = T/h \cdot w(nT/h)$  i važi da je  $w(t) = w(-t)$ ,  $w(t) = 0$ , za  $|t| > 1/2$ . Neka je  $\Delta \hat{f}(t) = f_i(t) - \hat{f}(t)$  greška estimacije. Srednja kvadratna greška (MSE),  $E\{(\Delta \hat{f}(t))^2\}$ , koristi se za ocjenu preciznosti u trenutku  $t$ . Srednja kvadratna greška se za najčešće upotrebljivane TF distribucije (WD) može izraziti u sledećem obliku [6]:

$$E\{(\Delta \hat{f}(t))^2\} = \frac{V}{h^m} + B(t)h^n \quad (4)$$

gdje je sa  $h$  označena širina prozora  $w_h(t)$ , tako da je  $w_h(t) = 0$  za  $|t| > h/2$ . Veza između  $h$  i broja odbiraka  $N$  je  $h = N\Delta t$ . Varijansa i bias za dato  $h$  su:

$$\sigma_\varepsilon^2 = V/h^m, \quad bias(t, h) = \sqrt{B(t)h^n} \quad (5)$$

$B(t)$  je funkcija izvoda IF-a, a  $m=3$  i  $n=4$  za WD. Srednja kvadratna greška ima minimum u zavisnosti od  $h$ . Ovaj minimum dobija se za:

$$h_{opt}(t) = [mV/(nB(t))]^{1/(m+n)} \quad (6)$$

Može se uočiti da relacija (6) nije korisna u praksi, jer sadrži  $B(t)$  koje zavisi od izvoda IF-a koja nije poznata.

Estimacija IF-a na osnovu WD-a i originalnog ICI algoritma može se primijeniti samo pod pretpostavkom da varijansa šuma nije toliko velika, tj. da maksimumi WD-a nisu dislocirani van auto člana. Estimacija se vrši po sledećim koracima:

1) Računa se WD za svako  $h_s \in H$ , gdje je  $H = \{h_s \mid h_s = 2h_{s-1} \ s=1, 2, \dots, J\}$  niz diadičnih prozora [3] te dobijamo skup distribucija za fiksni vremenski trenutak  $t$ , a IF se estimira prema (2).

2) Odrede se gornja i donja granica intervala povjerenja, pri čemu je

$$\sigma(h_s) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sigma_\varepsilon^2}{2|a^2|} \left(1 + \frac{\sigma_\varepsilon^2}{2|a^2|}\right) \frac{ET}{h^3 F^2}} \quad (7)$$

gdje je  $\sigma(h_s)$  standardna devijacija estimacije IF-a,  $E$  i  $F$  su koeficijenti za varijansu i bias estimacije za različite tipove prozora [4].

3) Optimalna širina prozora  $h_{s^+}$  određuje se kao najveće  $s$  ( $s=1, 2, 3, \dots, J$ ), za koje važi odnosno za koje je još uvijek ispunjen uslov da je:

$$|\hat{f}_{h_{s-1}}(t) - \hat{f}_{h_s}(t)| \leq (k + \Delta k) [\sigma(h_{s-1}) + \sigma(h_s)] \quad (8)$$

gdje su  $k$  i  $\Delta k$  koeficijenti koji utiču na to da nejednakost (8) važi sa određenim stepenom vjerovatnoće [2], [4].

4) Računa se WD za optimalnu širinu prozora. Koraci od 1 do 4 se ponavljaju za svaki vremenski trenutak  $t$ .

Ovaj način estimacije daje dobre rezultate kada je  $20 \log(A/\sigma_\varepsilon) \geq 10$  dB. Za veće varijanse šuma potrebno je dodatno modifikovati originalni algoritam u cilju dobijanja što bolje estimacije trenutne frekvencije.

### 3. MODIFIKOVANI ALGORITAM

Za mali SNR odnos maksimumi WD-a mogu biti dislocirani van auto-člana [6]. Pretpostavke pod kojima je izveden originalni ICI algoritma tada ne važe, pa otuda i motivacija za uvođenje modifikovanog ICI algoritma. Modifikovani ICI algoritam prikazan u radu polazi od toga da signal prije svega treba filtrirati Wiener-ovim filtrom čime se značajno smanjuje uticaj šuma. Značajna odstupanja IF-a od njene stvarne vrijednosti eliminišu se upotrebom median filtra i dodatnog podešavanja pomoću maksimalne razlike dvije susjedne vrijednosti IF-a, što je objašnjeno u koracima 4 i 5 modifikovanog algoritma. Da bi se mogao koristiti Wiener-ov filter potrebno je estimirati varijansu šuma. Jedan od načina za dobru estimaciju varijanse šuma kao i amplitude diskretnog signala sa brojem odbiraka  $N$  kada faza signala nije poznata unaprijed je [8]:

$$\hat{A}^2 = \sqrt{\left| 2 \left( \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |x(n)|^2 \right) - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |x(n)|^4 \right|} \quad (9)$$

$$\sigma_\varepsilon^2 = \left| \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |x(n)|^2 - \sqrt{2 \left( \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |x(n)|^2 \right) - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |x(n)|^4} \right| \quad (10)$$

Nakon estimacije varijanse šuma signal se filtrira Wiener-ovim filtrom. Filtriranje signala Wiener-ovim filtrom obavlja se na sledeći način:

$$x_{filt}(t) = IFFT(H_{wien}(f) \cdot X(f)) \quad (11)$$

gdje je  $X(f)$  Fourier-ova transformacija signala  $x(t)$ , a  $H_{wien}(f)$  Fourier-ova transformacija prenosne funkcije Wiener-ovog filtra i  $IFFT$  inverzna Fourier-ova transformacija, pri čemu je

$$H_{wien}(f) = 1 - \frac{Na_1}{|X(f)|^2} \quad (12)$$

gdje je  $N$  broj odbiraka signala  $x(t)$ , a  $a_1$  estimirana varijansa šuma iz (10). Na takav signal primjenjuje se osnovni ICI algoritam sa određenim modifikacijama:

1) Kod osnovnog ICI algoritma vrši se estimacija IF-a sa diadičnim širinama prozora. Kod modifikovanog ICI algoritma svaka estimirana IF sa diadičnim širinama prozora, filtrira se median filtrom širine prozora 3 ili 5.

2) Nakon toga se primjeni pravilo o preklapanju intervala povjerenja, pa se estimirana IF filtrira median filtrom širine prozora 5.

polazi od pretpostavke da se dvije susjedne vrijednosti IF-a ne razlikuju mnogo i uvodi se određena maksimalna razlika dvije susjedne vrijednosti IF-a.

4) Posmatra se apsolutna razlika dvije uzastopne vrijednosti IF-a. Ako je:

$$|\hat{f}(t) - \hat{f}(t-1)| > \chi \quad (13)$$

gdje je  $\chi$  maksimalna razlika dvije uzastopne vrijednosti IF-a. Ako je razlika iz (13) veća od praga, onda se to koristi kao indikator da postoji značajno odstupanje dvije susjedne vrijednosti IF-a, ili da funkcija trenutne frekvencije ima u datom trenutku skok kao što je slučaj sa funkcijom  $\text{sign}(t)$  ili step funkcijom. Zato se kod algoritma prikazanog u ovom radu, u odnosu na posmatranu vrijednost IF-a u trenucima  $t$ ,  $t-1$ , za određenu vrijednost širine susjedstva posmatra vrijednost IF-a dobijena na osnovu mode osobine myriada iz [5] za  $t-L \leq t < t-1$  i  $t+1 \leq t \leq t+L$ , gdje je  $L$  širina susjedstva. U trenutku  $t$ ,  $t-1$  odredi se vrijednost IF-a koja se najčešće ponavlja ( $F_1, F_2$ ), na osnovu estimiranih IF-ova sa diadičnim širinama prozora. To se radi pomoću myriad filtra i parametra linearnosti  $K$ , jer myriad filter teži modu za  $K \rightarrow 0$ . Takođe se na osnovu mode osobine određuje i vrijednost IF-a na osnovu vrijednosti IF-ova iz susjedstva, koje se koristi u narednom koraku algoritma. Unaprijeđenje algoritma u ovo radu bazira se na uočavanju razlike oblika funkcije IF-a. Ako funkcija IF-a ima skok, kao npr.  $\text{sign}(t)$ , posmatraju se blokovi širine  $L$  duž estimirane IF dobijene ICI algoritmom samo sa median filtrom. Posmatra se apsolutna vrijednost međusobne razlike vrijednosti IF-a u okviru bloka širine  $L$ . Ako tako nastali niz međusobnih razlika vrijednosti IF-a ima sve nulte vrijednosti, tj. ako su u okviru bloka vrijednosti IF-a konstantne, to je indikator da se izvrši modifikacija koraka 5 u algoritmu prikazanom u [5]. Modifikacija je objašnjena u narednom koraku.

5) Vršiti se dodatno podešavanje IF-a na osnovu sledećeg pravila:

$$\begin{aligned} & \text{if } |\hat{f}(k) - \hat{f}(k-1)| > \chi, \text{ ind} = 1 \\ & \quad f1 = \text{mod}[\hat{f}(k+1 : k+L)]; \\ & \quad f2 = \text{mod}[\hat{f}(k-2 : -1 : k-L-1)]; \\ & \quad \text{else ind} = 0 \\ & \text{if ind} = 1 \text{ i } |\hat{f}(k) - F_1| > \chi \text{ i } |F_1 - f_1| \leq \chi \text{ i} \\ & \quad |\hat{f}(k-1) - F_1| \leq \chi \text{ i } |\hat{f}(k-1) - F_2| \leq \chi \\ & \quad \quad \hat{f}(k) = F_1 \\ & \quad \quad \text{end} \\ & \text{if ind} = 1 \text{ i } |\hat{f}(k-1) - F_2| > \chi \text{ i } |F_2 - f_2| \leq \chi \text{ i} \\ & \quad |\hat{f}(k) - F_2| \leq \chi \text{ i } |\hat{f}(k) - F_1| \leq \chi \\ & \quad \quad \hat{f}(k-1) = F_2 \\ & \quad \quad \text{end} \end{aligned}$$

3) Zbog velike varijanse šuma dešava se da pojedine vrijednosti IF-a imaju značajna odstupanja. Tu se a sa  $k$  je označen redni broj odbirka IF-a.

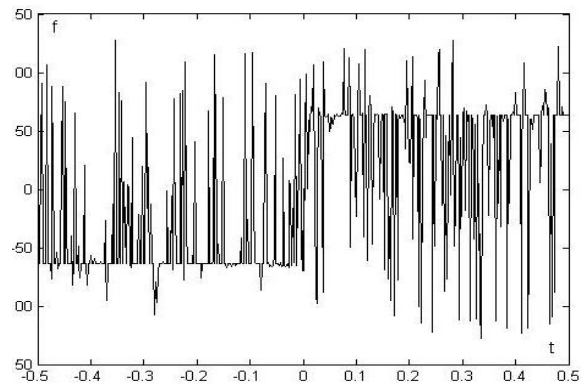
6) Na kraju se IF filtrira težinskim median filtrom širine prozora  $L$ .

#### 4. REZULTATI

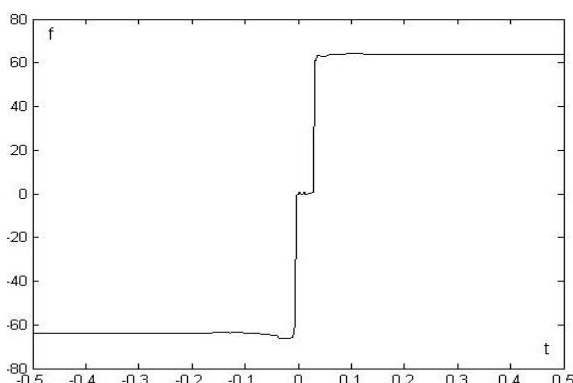
Rezultati dobijeni primjenom modifikovanog ICI algoritma dobijeni su za vrijednost  $\chi = 2$ ,  $L = 7$  gdje je  $\chi$  maksimalna razlika dvije susjedne vrijednosti IF-a,  $L$  širina susjedstva koja se može koristiti i kod median filtra. U ovom primjeru pretpostavljeno je da je signal oblika  $y = \exp(b|t|)$ ,  $A = 1$ , a period odabiranja signala  $T = 1/512$ . IF je oblika  $\omega_1(t) = b \text{sign}(t)$ , a  $b = 128\pi$ . Vršeno je 50 iteracija za vrijednosti varijanse šuma  $\sigma_\epsilon^2 = [0.1, 2]$  sa korakom 0.2. Vrijednosti fiksnih širina prozora su  $N_s = 2^k$  pri čemu je  $k = 2, 3, \dots, 9$ . Estimirane IF sa modifikovanim i običnim ICI algoritmom za  $\sigma_\epsilon^2 = 1$  prikazane su na slikama 1, 2 i 3. Dobijeni rezultati sa srednjim apsolutnim greškama za vrijednosti varijanse šuma  $\sigma_\epsilon^2 = [0.1, 2]$  sa korakom 0.2 prikazani su u tabeli 1.

#### 5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan primjena modifikovanog ICI algoritma za IF estimaciju upotrebom median filtra. Modifikovani algoritam daje dobre rezultate za varijanse šuma čija je vrijednost manja od 2. Značajan doprinos poboljšanju estimacije IF-a daje primjena Wiener-ovog filtra. Modifikovanim algoritmom sa median filtrima postiže se poboljšanje u smislu srednje apsolutne greške, jer se primjenom median filtra eliminišu se značajna odstupanja IF-a od njene stvarne vrijednosti.

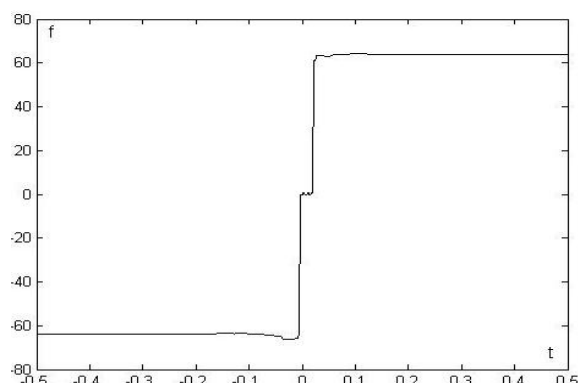


Sl.1. Estimirana IF sa običnim ICI algoritmom i  $\sigma_\epsilon^2 = 1.5$



Sl.2. Estimirana IF sa mod. ICI1 algoritmom

$$i \sigma_{\varepsilon}^2 = 1.5$$



Sl.3. Estimirana IF sa mod. ICI2 algoritmom

$$i \sigma_{\varepsilon}^2 = 1.5$$

Tabela1. Srednja apsolutna greška IF-a za fiksne širine prozora, ICI algoritmom, modifikovanim ICI algoritmom iz [5] (Mod.ICI1) i unaprijeđenim modifikovanim ici algoritmom (Mod.ICI2)

$\sigma_{\varepsilon}^2$	$N_s=4$	$N_s=8$	$N_s=16$	$N_s=32$	$N_s=64$	$N_s=128$	$N_s=256$	$N_s=512$	ICI	Mod. ICI1	Mod. ICI2
0.1	5.73	1.63	1.04	1.63	3.46	7.23	14.57	22.47	0.47	1.49	0.58
0.3	9.65	2.69	1.42	1.64	3.38	7.02	14.47	23.03	1.81	1.52	0.67
0.5	12.51	3.47	1.68	1.82	3.31	7.08	14.29	23.19	6.00	1.63	0.72
0.7	15.53	4.81	1.97	1.81	3.24	6.94	14.57	24.06	9.08	2.21	1.34
0.9	17.94	6.10	2.42	1.90	3.20	6.90	14.20	24.30	15.26	2.25	1.38
1.1	20.40	8.31	2.82	2.13	3.31	6.66	13.86	23.63	21.80	2.19	1.56
1.3	22.72	10.59	3.71	2.32	3.25	6.69	13.97	23.55	27.48	2.37	1.62
1.5	25.38	13.06	4.72	2.58	3.31	6.62	13.77	24.24	34.43	2.32	1.61
1.7	25.53	13.39	4.74	2.50	3.27	6.75	13.99	24.72	35.58	2.42	1.59
1.9	27.86	17.39	6.43	3.07	3.71	6.59	13.95	24.17	41.50	2.80	1.84
2	31.43	19.54	8.25	3.43	3.68	6.75	13.84	24.08	41.45	2.80	1.92

## LITERATURA

- [1] B. Boashash, "Estimating and interpreting the instantaneous frequency of a signal Part 1: Fundamentals", *Proc. of the IEEE*, vol. 80, no. 4, pp.519-538, April 1992.
- [2] Lj. Stanković, V. Katkovnik, "Instantaneous frequency estimation using the Wigner distribution with varying and data-driven window length", *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol.46, no.9, Sept. 1998.
- [3] Lj. Stanković, V. Katkovnik, "Algorithm for the instantaneous frequency estimation using time-frequency distribution with adaptive window width", *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol.5, no.9, Sept. 1998.
- [4] I. Đurović, Lj. Stanković, "Modification of the ICI rule based IF estimator for high noise environments", *Time-frequency signal analysis, research monograph 1993-2003*, pp. 756-764.
- [5] S. Tuzović, I. Đurović, "Modifikacija ICI algoritma za IF estimaciju za signale sa malim SNR odnosom", 52. Konferencija ETRAN, Palić, 2008.
- [6] I. Djurović, Lj. Stanković, "An algorithm for the Wigner distributions based instantaneous frequency estimation in a high noise environments", *Time-frequency signal analysis, research monograph 1993-2003.*, pp.532-544.
- [7] G. Arce, "Nonlinear Signal Processing: A Statistical Approach", Electrical and Computer Engineering Department of the University of Delaware, Canada, pp 303-346, Apr. 2005.
- [8] S. Chandra Sekhar, T.V. Creenivas, "Signal to noise ratio estimation using higher order moments", *Signal Processing* 86, 2006., pp 716-732.
- [9] Lj. Stanković, "Adaptive instantaneous frequency estimation using TFDs", *Time-frequency signal analysis, research monograph 1993-2003.*, pp.793-798.
- [10] S. Tuzović, I. Đurović, "Modifikacija ICI algoritma za IF estimaciju pomoću težinskog median filtra", 16. telekomunikacioni forum TELFOR, Beograd, 2008.

## PRIMJENA MODIFIKOVANE KUBIČNE FAZNE FUNKCIJE U ESTIMACIJI PARAMETARA SAR SIGNALA MODIFIED CUBIC-PHASE FUNCTION APPLICATION TO PARAMETER ESTIMATION OF SAR SIGNALS

Igor Đurović, Marko Simeunović, Vesna Popović, *Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet Podgorica Cetinjski put bb, 81000 Podgorica, Crna Gora, E-mail: {igordj, markos, pvesna}@ac.me*

**Sadržaj** - U ovom radu je korišćena modifikovana kubična fazna funkcija (MCPF) za estimaciju parametara radarskog signala. Bazirana na kratkotrajnoj Furier-ovoj transformaciji, pomenuta MCPF je dobar alat za estimaciju koeficijenata faze multikomponentnog signala kod koga se komponente ne preklapaju u vremensko-frekvencijskoj ravni. U cilju verifikacije tačnosti estimiranih koeficijenata predložena je procedura za fokusiranje slika dobijenih pomoću SAR-a.

**Abstract** – In this paper we used modified cubic-phase function (MCPF) for parameter estimation of radar signal. Based on short time Furier transform, MCPF showed is a good tool for parameter estimation of multicomponent signals non-overlapping in time-frequency plane. A procedure for focusing SAR images by using estimated parameters is proposed in order to verify obtained results.

### 1. UVOD

Syntetic Aperture Radar (SAR) predstavlja sistem koji služi za dobijanje radarskih slika visoke rezolucije zasnovanih na relativnoj promjeni ugla radara u odnosu na metu. Riječ je o sistemu koji je prvashodno dizajniran za detekciju meta na zemlji. Radar, postavljen na avionu (ili svemirskoj platformi) koji se kreće uniformnom brzinom  $V$  na konstantnoj visini  $H$ , emituje elektromagnetni snop sa strane, normalno u odnosu na pravac kretanja i usmjeren ka zemlji. Promjena položaja aviona sa radarom omogućava skeniranje u pravcu kretanja koje se ujedno naziva cross-range. Radarski snop siječe površinu zemlje u obliku elipse sa dužom osom u pravcu normalnom na pravac kretanja radara. Ovaj se pravac naziva range. Radar emituje određeni broj signala prema meti. Svaki signal primljen nakon reflektovanja od mete je izdijeljen u odbirke kako bi se omogućila bolja rezolucija u range pravcu. U poređenju sa emitovanim, primljeni radarski signal kasni, drugačije je amplitude i frekvencijski je modulisan. Na osnovu ovih parametara može se dobiti dosta informacija o meti. Na primjer, vremensko kašnjenje posjeduje informaciju o udaljenosti objekta od radara.

Za formiranje radarske slike koristi se dvodimenzionalna Furijeova (2D FT) transformacija prikazana u range/cross-range domenu. Problem koji se javlja kod ovog načina prikazivanja radarskih slika je činjenica da je u slučaju pokretnih objekata primljeni radarski signal frekvencijski modulisan, što se manifestuje razmazivanjem meta [1]. Osim toga, kao posljedica kretanja, mete mogu biti dealocirane u dobijenoj slici u odnosu na njihovu tačnu poziciju [1], [2]. Iz toga razloga je ovaj način prikazivanja nepodesan u slučaju pokretnih meta i potrebno je primijeniti neku od sofisticiranijih tehnika. Ovdje ćemo prezentovati primjenu modifikovane kubične fazne funkcije (Modified Cubic-Phase Function - MCPF) u estimaciji parametara faze radarskog signala. Dobijeni koeficijenti će se iskoristiti za fokusiranje meta. Dobijena koncentracija će biti

proporcionalna tačnosti estimacije i može poslužiti kao dobar indikator performansi ove funkcije.

### 2. MODEL SIGNALA

Najčešće se za modelovanje radarskog signala koristi model tačkastih reflektora [2]. U tom slučaju se primljeni radarski signal, nakon preprocesiranja, može predstaviti kao [2]:

$$q(m, n) = \sum_i \sigma_i \exp(j\phi_i(m, n)) \quad (1)$$

gdje je  $\sigma_i$  koeficijent refleksije  $i$ -tog reflektora,  $m$  odgovara broju signala emitovanog prema meti (tzv. brzo vrijeme), a  $n$  broju odbirke unutar jednog signala (tzv. sporo vrijeme). Najčešće se emituju linearno frekvencijski modulisani signali. Oblik faze primljenog signala  $\phi_i(m, n)$  će zavistiti od načina kretanja odgovarajućeg reflektora i može se predstaviti u obliku polinoma određenog reda. Usljed ovakvog oblika radarskog signala tehnike za estimaciju parametara faze se nameću kao logičan izbor za njihovu analizu.

Najčešće korišćena alatka za dobijanje SAR slika je 2D FT. U slučaju stacionarnih meta radarski signal je sastavljen od sume kompleksnih sinusoida i njegova 2D FT je fokusirana. Ako se mete kreću, odgovarajući signal po "sporom vremenu" je sastavljen od sume linearno frekvencijski modulisanih članova. Ako je to kretanje neuniformno faza signala će biti trećega stepena. Sva ova kretanja utiču na defokusiranje SAR slike, tako da je neophodno primijeniti naprednije tehnike kako bi se dobila dobra koncentracija.

Kako se defokusiranje najčešće dešava u cross-range domenu [2], autofokusiranje ćemo izvršiti samo u tom domenu. Zbog toga nam je potrebno da izvršimo estimaciju parametara faze diskretnog signala  $q(m, n)$  koji predstavlja

radarski signal za fiksno  $n$ ,  $x(m)=q(m,n)$ . Nakon detekcije jedne ili više meta u određenom range-u može se izvršiti estimaciju parametara radarskog signala. Nakon toga se svaka komponenta signala demoduliše uklanjanjem članova višega reda iz faze korišćenjem estimiranih parametara. SAR slika se može dobiti korišćenjem 2D FT rezultujućeg signala. Njena koncentracija će biti proporcionalna tačnosti estimacije.

### 3. MODIFIKOVANA KUBIČNA FAZNA FUNKCIJA

Kubučna fazna funkcija (CPF) se definiše kao [3]:

$$C(t, \Omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t+\tau)x(t-\tau)\exp(-j\Omega\tau^2)d\tau. \quad (2)$$

Ako je  $x(t) = A\exp(j\phi(t))$  frekvencijsko modulirani (FM) signal, obzirom da je chirp-rate definisan kao drugi izvod faze  $\Omega(t) = \phi''(t)$ , ova funkcija se može iskoristiti kao chirp-rate estimator:

$$\hat{\Omega}(t) = \arg \max_{\Omega} |C(t, \Omega)|. \quad (3)$$

Za multikomponentni signal  $x(t) = \sum_i x_i(t) = \sum_i A_i \exp(j\phi_i(t))$  CPF se može zapisati na sljedeći način:

$$C(t, \Omega) = \sum_i C_i(t, \Omega) + \sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} C_{ij}(t, \Omega), \quad (4)$$

gdje su  $C_{ij}(t, \Omega)$  kros članovi nastali interferencijom različitih komponenti signala  $x(t)$ . CPF je kompleksna, oscilatorna i njena apsolutna vrijednost je idealno koncentrisana na chirp-rate-u kubičnih faznih signala. Može se aproksimativno zapisati  $C_i(t, \Omega) \approx A_i^2 \exp(j2\phi_i(t))\delta(\Omega - \phi_i''(t))$ . Umanjivanje uticaja kros-članova će biti samo dio rješenja jer će CPF i dalje zadržati oscilatornu reprezentaciju.

U cilju određivanja koeficijenata  $C_i(t, \Omega)$  Đurović i koautori su predložili modifikaciju funkcije (MCPF) (2) [4]. Ova modifikacija je bazirana na kratkotrajnoj Furier-ovoj transformaciji (STFT):

$$STFT(t, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t+\tau)w^*(\tau)\exp(-j\omega\tau)d\tau. \quad (5)$$

Riječ je o linearnoj transformaciji kod koje se kros članovi mogu pojaviti samo ukoliko su komponente signala suviše blizu jedna drugoj. Inverzna STFT se računa na osnovu izraza:

$$x(t+\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} w(\tau)STFT(t, \omega)\exp(j\omega\tau)d\omega. \quad (6)$$

Pretpostavljajući da je funkcija prozora u posmatranom intervalu jednaka jedinici i zanemarivanjem nebitnih multiplikativnih konstanti, zamjenom (6) u (2) dobijamo:

$$\begin{aligned} C(t, \Omega) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} STFT(t, \omega_1)STFT(t, \omega_2) \times \\ &\quad \exp(j\omega_1\tau - j\omega_2\tau)\exp(-j\Omega\tau^2)d\tau d\omega_1 d\omega_2 = \\ &= \int_{\omega, \theta} STFT(t, \omega + \theta)STFT(t, \omega - \theta)\Pi_{\Omega}(2\theta)d\omega d\theta, \end{aligned} \quad (7)$$

gdje je sa  $\Pi_{\Omega}()$  označena FT linearnog FM signala  $\exp(-j\Omega\tau^2)$ :

$$\Pi_{\Omega}(\theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-j\Omega\tau^2)\exp(-j\theta\tau)d\tau. \quad (8)$$

Pretpostavljajući da značajan dio energije signala za  $i$ -tu komponentu postoji samo u frekvencijskim regionima  $[k_i^-, k_i^+]$  i da se komponente signala ne preklapaju u vremensko-frekvencijskoj ravni, MCPF za tu komponentu u diskretnom obliku se može zapisati na sljedeći način:

$$\begin{aligned} C_i(t, \Omega) &= \sum_{k=k_i^-}^{k_i^+} \left[ STFT_i^2(t, \omega)\Pi_{\Omega}(0) + \right. \\ &\quad \left. 2 \sum_{l=1}^{\min[k_i^+ - k, k - k_i^-]} STFT_i(t, k+l)STFT_i(t, k-l) \operatorname{Re}\{\Pi_{\Omega}(l)\} \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

Na ovaj način se problem estimacije svodi na detekciju regiona komponenti u STFT-u i par sabiranja i množenja kao što je prikazano u formuli (9). Određivanje regiona nije jednostavno i u velikoj mjeri zavisi od oblika posmatranog signala. Za detekciju komponenti kod radarskog signala korišćemo Otsu algoritam [5].

#### 3.1. Otsu Algoritam

U obradi slike, Otsu algoritam predstavlja jedan od najčešće korišćenih algoritama za određivanje praga [5]. On se veoma uspješno može iskoristiti i u vremensko-frekvencijskoj analizi za razdvajanje komponenti multikomponentnog signala. Funkcioniše na sljedeći način: Prvo se odabere početni prag, koji u našem slučaju postavljamo na  $T = \max_{(t, \omega)} |STFT(t, \omega)|/2$ . U drugom koraku izračunamo srednju vrijednost svih odbiraka STFT koji se nalaze iznad toga praga ( $T_1$ ) i srednju vrijednost odbiraka ispod praga ( $T_2$ ). Prag za sljedeću iteraciju računamo kao  $T=(T_1+T_2)/2$ . Postupak ponavljamo sve dok razlika između pragova računatih u dvije susjedne iteracije ne bude ispod određene vrijednosti ili do određenog broja iteracija. Dobijeni prag će nam poslužiti za određivanje da li dati odbirak STFT pripada komponenti signala. Pozicije  $k_i^+$  i  $k_i^-$  predstavljaju početak i kraj kontinualnog regiona iznad praga. U slučaju signala bez šuma dati algoritam daje dosta dobre rezultate i broj detektovanih regiona se poklapa sa brojem komponenti signala, dok kod signala zahvaćenih šumom imamo pojavu lažnih komponenti. Njih možemo izbjeći ako poznamo broj komponenti na taj način što ćemo izabrati željeni broj komponenti sa najvećom energijom. Takođe, u slučaju šuma, može se desiti da predloženi algoritam suzi regione. Zbog toga smo, u tom slučaju, u cilju tačnije estimacije, postavili minimalnu veličinu regiona na neku unaprijed utvrđenu vrijednost.

#### 4. PRIMJERI

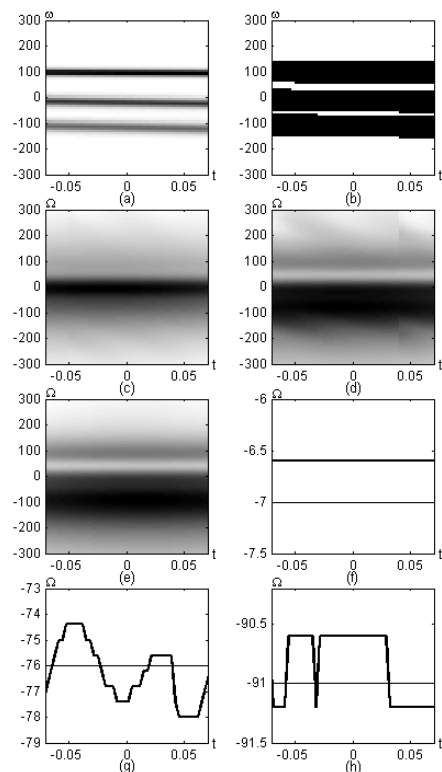
*Primjer 1.* U ovom primjeru izvršili smo estimaciju faznih parametara radarskog signala pomoću MCPF. Koristili smo parametre radarskog sistema CV 580 SAR: radna frekvencija radara je  $f_0=5.3GHz$ , opseg linearnih FM signala je  $B=25MHz$ , koherentno vrijeme integracije je  $T=1/300s$  sa  $M=256$  signala. Broj odbiraka u jednom signalu iznosi  $N=256$ . Radar je smješten na avionu koji se kreće na visini  $h=6km$  duž  $x$ -ose brzinom  $V=130m/s$ . Rastojanje od radara do mete je  $10km$ .

U obzir smo uzeli tri mete sa istim pozicijama duž range-a, dok su početne pozicije duž cross-range-a:  $x_{01}=-45m$ ,  $x_{02}=0m$  i  $x_{03}=45m$ , respektivno. Mete se kreću duž cross-range-a sa konstantnim brzinama:  $v_{x1}=5m/s$ ,  $v_{x2}=15m/s$  i  $v_{x3}=20m/s$ . Radarski signal za fiksni range, koji odgovara poziciji posmatranih meta duž range-a, predstavlja sumu tri linearne FM komponente [6]. Kako cilj ovoga primjera nije formiranje radarske slike, već demonstriranje tačnosti estimacije faznih parametara primjenom MCPF-a, signal je analiziran samo za fiksni range. Za razdvajanje signala u vremensko-frekvencijskoj ravni koristili smo prethodno opisani Otsu algoritam. U cilju bolje estimacije postavili smo da minimalna širina detektovanih regiona bude osam odbiraka, međutim, čak i bez toga, rezultati koje dobijamo su dovoljno dobri. Slika 1. prikazuje rezultate primjene MCPF-a. Na Slici 1a prikazana je STFT radarskog signala, dok Slika 1b prikazuje regione detektovanih komponenti. Svaki region odgovara jednoj meti. Dobijeni regioni pokazuju da se detektovane komponente ne preklapaju u vremensko-frekvencijskoj ravni. MCPF, računata za svaku komponentu pojedinačno, prikazana je na Slikama 1c-e, dok Slike 1f-h prikazuju vrijednosti estimiranih koeficijenata (debela linija) i njihove tačne vrijednosti (tanka linija). Tačne vrijednosti smo dobili primjenom MCPF-a na signal koji se sastoji od samo jedne mete od interesa. Sa pomenutih slika možemo zaključiti da su estimirani koeficijenti dosta blizu njihovim stvarnim vrijednostima. Odstupanja druge i treće komponente postoje zbog blizine detektovanih regiona. Odavde se može zaključiti da je MCPF dobar alat za estimaciju koeficijenata faze radarskog signala, čak i u slučaju postojanja više meta u fiksnom range-u.

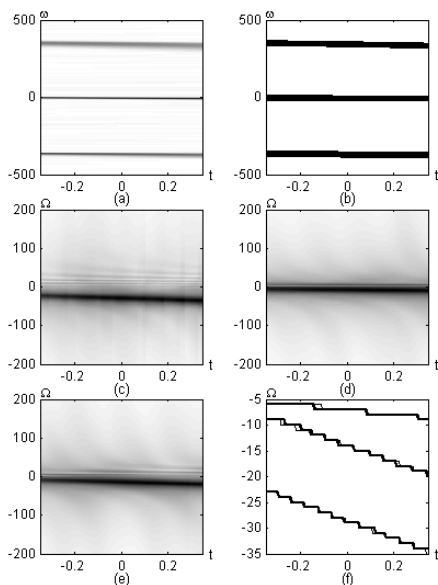
*Primjer 2.* U obzir smo uzeli iste parametre radara kao u prethodnom primjeru, s tom razlikom što nam je broj odbiraka u jednom signalu  $N=1024$  i koherentno vrijeme integracije  $T=3.4133$ . Radarska scena se sastoji od tri mete sa istom pozicijom u range-u. Njihove početne pozicije po cross-range-u su:  $x_{01}=-150m$ ,  $x_{02}=0m$  i  $x_{03}=150m$ , respektivno. Mete se kreću duž cross-range-a sa ubrzanjima:  $a_{x1}=2.6m/s^2$ ,  $a_{x2}=0.6m/s^2$  i  $a_{x3}=2.2m/s^2$ . Radarskom signalu smo superponirali bijeli aditivni Gausov šum srednje vrijednosti nula i standardne devijacije 10. Usljed ovih ubrzanja, radarski signal ima značajnu vrijednost koeficijenata uz treći stepen polinoma faze. Priljeni signal za ovaj fiksni range se sastoji od sume tri komponente sa kubnom fazom.

Kako je rastojanje između meta u vremensko-frekvencijskoj ravni dosta veliko, koristili smo minimalnu veličinu regiona od 16 odbiraka. Rezultati primjene MCPF-a

prikazani su na Slici 2. STFT radarskog signala i detektovani regioni prikazani su na slikama 2a i 2b, respektivno, dok Slike 2c-e ilustruju MCPF računatu za svaku komponentu pojedinačno. Estimirane i tačne vrijednosti za pojedinu komponentu prikazane su na Slici 2f. Tačne vrijednosti dobijene su na isti nači kao i u Primjeru 1., s tom razlikom što smo ih računali u odsustvu šuma. Pokazalo se da za posmatrani radarski signal i nivo šuma, Otsu algoritam ne proizvodi lažne komponente, tj. da je broj detektovanih regiona jednak njihovom stvarnom broju. Sa Slike 2f se može zaključiti da su estimirane vrijednosti chirp-rate-a veoma blizu njihovim stvarnim vrijednostima. Razlog tako male greške je činjenica da su signali dovoljno udaljeni jedan od drugog u frekvencijskom domenu. Standardne devijacije za prvu, drugu i treću komponentu su 0.3651, 0.2488 i 0.2845, respektivno.



**Slika 1** Radarski signal sa tri linearne FM komponente: (a) STFT; (b) Detektovani regioni; (c) MCPF prve komponente; (d) MCPF druge komponente; (e) MCPF treće komponente; (f) Estimirana vrijednost (debela linija) i stvarna vrijednost (tanka linija) za prvu komponentu; (g) Estimirana vrijednost (debela linija) i stvarna vrijednost (tanka linija) za drugu komponentu; (h) Estimirana (debela linija) i stvarna (tanka linija) vrijednost chirp-rate-a za treću komponentu.

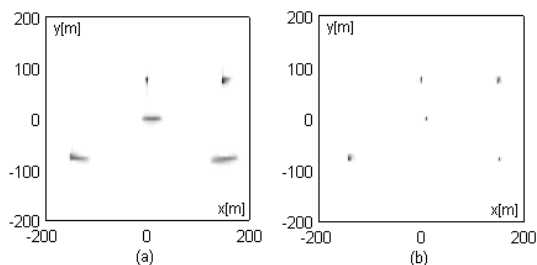


**Slika 2** Radarski signal koji se sastoji od tri komponente sa faznim polinomom 3. reda: (a) STFT; (b) Detektovani regioni; (c) MCPF prve komponente; (d) MCPF druge komponente; (e) MCPF treće komponente; (f) Estimirane (debla linija) i stvarne (tanka linija) vrijednosti chirp-rate-a za svaku komponentu

*Primjer 3.* U ovom primjeru smo iskoristili MCPF za fokusiranje radarske slike. Svi parametri radara su isti kao u Primjeru 1. U obzir smo uzeli pet meta sa inicijalnim pozicijama i brzinama prikazanim u Tabeli 1. Koristili smo sljedeću proceduru za fokusiranje: Izračunali smo FT signala po “brzom vremenu”. Za svaki range računali smo FT po “sporom vremenu” i poredili je sa globalnim pragom dobijenim pomoću Otsu algoritma. Ako je apsolutna vrijednost FT računata za određeni range iznad praga, u tom range-u postoji jedna ili više meta. U tom slučaju smo primjenjivali estimaciju faznih parametara pomoću MCPF-a. Pokazalo se da broj detektovanih regiona u vremensko-frekvencijskoj ravni odgovara broju meta u posmatranom range-u, pa je ista tehnika za određivanje regiona korištena u frekvencijskom domenu. U tu svrhu, FT računata za određeni range korištena je za određivanje praga u Otsu algoritmu. Dalje smo vršili izdvajanje detektovanih komponenti i računali njihove inverzne FT. Potom smo izvršili dečirpovanje dobijenih komponenti pomoću srednje vrijednosti odgovarajućih estimiranih koeficijenata. Rezultujuće signale smo sumirali i računali FT dobijene sume. Tako dobijena slika prikazana je na Slici 3b. Može se vidjeti jako izoštravanje pokretnih meta bez defokusiranja stacionarne, koja je već dobro fokusirana. Ova slika predstavlja dobru validaciju tačnosti MCPF-a u estimaciji parametara radarskog signala.

R. br. mete	1	2	3	4	5
$x_0[m]$	0	30	0	-45	45
$y_0[m]$	90	90	0	-90	-90
$v_x[m/s]$	0	12	15	5	20
$a_x[m/s^2]$	0	1	0	0	0

**Tabela 1** Parametri meta



**Slika 3** Radarska slika prije (a) i poslije (b) fokusiranja

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana procedura za estimaciju faznih parametara radarskog signala pomoću MCPF-a. Pokazali smo da pomenuta funkcija daje dosta dobre rezultate, kako za radarske signale čija se faza može predstaviti polinomom drugoga reda, tako i za one sa fazom trećega reda. Takođe smo pokazali da je MCPF dobar alat za estimaciju faznih parametara u slučaju signala u prisustvu šuma. Tačnost estimiranih koeficijenata demonstrirali smo pomoću fokusiranja radarske slike. Jedan od nedostataka MCPF-a je njena neupotrebljivost u slučaju kada se komponente signala preklapaju u frekvencijskom domenu i biće predmet budućih istraživanja.

## LITERATURA

- [1] R. Keith Raney, "Synthetic aperture imaging radar and moving targets", IEEE Transaction on Aerospace Electronic Systems, vol. AES-7, pp. 499-505, 1971.
- [2] V. C. Chen, H. Ling, "Time-frequency transforms for radar imaging and signal analysis", Artech House, Boston, USA, 2002.
- [3] P. O'Shea, "A fast algorithm for estimating the parameters of a quadratic FM signal", IEEE Tran. Sig. Proc., Vol. 52, No. 2, Feb. 2004, pp. 385-393.
- [4] I. Đurović, C. Ioana, T. Thayaparan, Lj. Stanković, P. Wang, V. Popović, M. Simeunović, "Cubic-phase function evaluation for multicomponent signals with application to SAR imaging", u procesu objavljivanja
- [5] R. C. Gonzalez, and R. E. Woods, "Digital image processing", Prentice Hall, 2002.
- [6] J. J. Sharma, C. H. Gierull, and M. J. Collins, "Compensating the effects of target acceleration in dual-channel SAR-GMTI", IEE Proc. or Radar, Sonar and Navigation, vol. 153, no. 1, pp. 53-62, Feb. 2006.
- [7] I. Đurović, Lj. Stanković, T. Thayaparan, V. Popović, M. Daković, "Time-frequency Analysis for SAR and ISAR imaging", NATO Science for Peace Security Series, Springer Science and Business Media, 2009.
- [8] V. Popović, M. Daković, T. Thayaparan, Lj. Stanković: "SAR images improvements by using the S-method", Proc. on Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP 2006, Toulouse, France.



## PRIMJER TELEMONITORING UPOTREBOM LABVIEW SOFTVERA EXAMPLE OF TELEMONITORING USING LABVIEW SOFTWARE

Alen Turusković, *Podgorička Banka Societe generale group*  
Milovan Radulović, Budimir Lutovac, *Elektrotehnički fakultet Podgorica*

**Sadržaj** – Cilj ovog rada je da se prezentuju načini udaljenog eksperimentisanja sa uređajima u laboratorijama koji se kreiraju uz pomoć LabVIEW – softvera. Virtualna instrumentacija komunicira sa spoljnim uređajima uz pomoc kartice National Instruments Multifunction DAQ PCI-MIO-16E-4. Zbog neposjedovanja nekih skupih uređaja. Lab View pruža mogućnost kreiranja virtuelnih uređaja kojima se omogućava korisnicima da koriste opremu sa kojom nijesu u fizičkom kontaktu.

**Abstract** – The aim of this paper is to present ways of experimenting with remote devices in the laboratories that are created with the help of LabVIEW - software. Virtual instrumentation, which communicates with external devices with the help of card National Instruments multifunction DAQ PCI-MIO-16E-4. Due to known problems of the impossibility of possession of some expensive equipment, Lab View gives the possibility of creating a virtual device on your own in order to avoid these problems.

### 1. UVOD

Obrazovanje inženjera se suočava sa manjkom novih studenata širom svijeta. Inženjerske studije se sastoje od predavanja, laboratorijskih vježbi i razvijanja vještina. Sve ovo čini obrazovanje inženjera veoma kompleksnim. Potreba za novim inženjerima će vjerovatno rasti u budućnosti, a najviše zbog disproporcije između interesovanja studenata i potreba brzog tehnološkog razvoja. Učenje na daljinu bi moglo biti rješenje problema kvalitetnije edukacije inženjera.

Virtualna instrumentacija (VI) je jedan pristup rješavanju navedenog problema zato što značajno smanjuje troškove za laboratorijsku opremu i omogućava pristup skupim laboratorijama preko mreže ili interneta. Sa aspekta učenja na daljinu, prednost VI-ije je činjenica da može biti korišćena da simulira fizički fenomen, kao i da generiše signal koji bi se pojavio na izlazima realnog sistema. Isti softver se koristi za stvarne i virtuelne pojave.

Riječ virtualni instrument predstavlja računarski interfejs za komunikaciju kao i softver koji upravlja sa mjerenjima to jest sa DAQ pločom koji predstavlja osnovni hardver za rad sa VI. VI ima ulazne terminale za povezivanje ulaznih signala, takode obično daju bolje performanse mjerenja ili karakteristike korišćenja od njihovih konvencionalnih digitalnih dvojnika. Zbog svog specifičnog interfejsa LabVIEW dozvoljava programeru da razmišlja unaprijed ne zaustavljajući se na probleme sintakse kao u ostalim programskim jezicima.

### 2. LABVIEW SOFTVER

LabVIEW je grafički program koji ima izgled crteža električne šeme s jedne strane i izgled klasičnih električnih mjernih uređaja. Zasnovan je na konceptu **blok dijagrama (blok diagram)** i **prednje ploče (front panel)**. LabVIEW je hijerarhijski program u tom smislu da se bilo koji **virtualni instrument** (bilo koja potpuna funkcionalna cjelina naziva se

**virtualni instrument** i posjeduje ekstenziju .VI) koji se programira može brzo pretvoriti u modul koji može biti podprogram drugog VI. LabVIEW je dizajniran da se može proširivati. Mogu se dodavati moduli pomoću različitih sredstava. Korisnik može sam napisati LabVIEW modul i koristiti ga kao VI u drugim programima ili može napisati modul koji se spajaju sa LabVIEW-om u drugim jezicima kao što su C i C++ . Oni su poznati kao **podVI (subVI)** .

### 3. OSNOVNI KONCEPTI TELEMONITORINGA

Osnovna ideja Telemonitoringa je mogućnost udaljenog mjerenja i eksperimentisanja putem Interneta. Eksperimenti mogu biti urađeni, u bilo kom trenutku, u bilo kojoj laboratoriji u čitavom svijetu (ako je implementirana elektronska Laboratorija), sa opremom koju nemate na raspolaganju. Čak i ako imate laboratorijsku opremu, nekada se pojavi potreba da se određeni eksperiment izvede na različitoj opremi kako bi se uporedili rezultati.

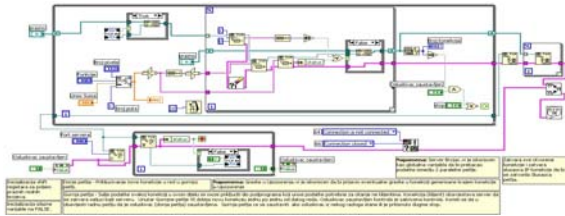
Slika 1 prikazuje primjer jednog servera i više klijenata koji se uz pomoć datog servera konektuju na laboratorijsku opremu. Na serveru se nalazi LabView programski paket, akviziciona hardverska kartica PCI-MIO-16E-4, čija je uloga prenos podataka ili mjerenja ka serveru i obratno, ostalo je laboratorijska oprema koja može da se sastoji od raznih tipova senzora ili davača.



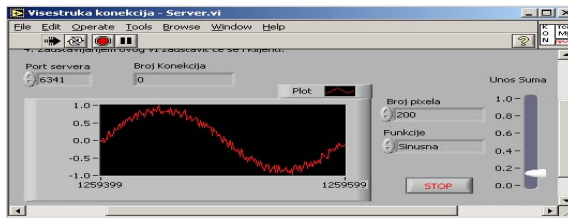
Slika 1. Povezivanja računara na laboratorijski server

### 3.1 FUNKCIONISANJE VI “SERVER” PROGRAMA (VisestrukaKonekcijaServer.vi)

Na Slici 2. je prikazana osnovna šema vi. programa koji predstavlja server to jest virtuelni instrument koji se nalazi na nekom racunaru u laboratoriji, nije bitno gdje. Na Slici 3. je prikazan front panel istog virtuelnog programa. Ovaj primjer će predstaviti osnovne koncepte telemonitoringa, ali uz male prepravke može se doći do inzvardnih rezultata.



Slika 2. Blok Šema - Server programa



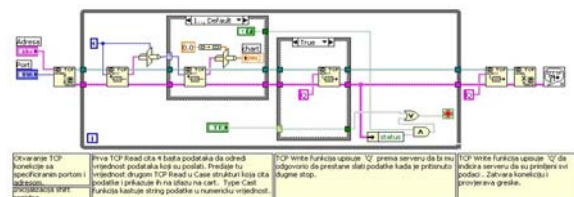
Slika 3. Front panel Server programa )

Program ima dvije While petlje koje obavljaju najvažniji dio posla, naime manja while petlja koja je prikazana na slici 2 je osluškivač konekcija i služi da prihvata konekcije a zatim ih predaje glavnoj većoj petlji koja dalje radi sa konekcijama. U maloj petlji se nalazi Case struktura u kojoj je Server brojac.vi sakuplja konekcije i prosleđuje ih glavnoj petlji koja datu konekciju dalje obrađuje. U istoj petlji se nalazi TCP Wait on Listener namijenjena prihvatanju konekcija od klijenata, Unbundle by name vraća klaster elementa čija se imena specificiraju. Ovoj funkciji nije potreban broj elemenata da bi obelježavao brojeve u klusteru. Takođe je unsena jedna bulova konstanta da bi se u slučaju da je prekinut rad petlje ili ako je došlo do nekog zastoja prijavio prekid glavnoj petlji. Izvan petlje je TCP Create Listener funkcija koja je zadužena za prihvatanje konekcija, funkciji se prosleđuje jedna promjenjiva “Port” u koji korisnik unosi Port na koji se osluškujaju konekcije ka serveru. “Osluškivač zaustavljen” je takodje predvidjen kao i predhodno da u slučaju prekida zaustavi dalje izvršavanje programa. Greške u Upozorenja.vi je nastavak male petlje to jest u slučaju zatvaranja ili nekonektovanja treba da primi grešku ili greške (najviše 4) i konvertuje ih u Upozorenje i na taj način proslijedi u Merge Errors.vi koja spaja sve nastale greške i prosleđuje Simple Error Handler.vi koji je zadužen za njihovo prikazivanje. Kroz glavnu petlju prolaze Listener ID to jest ID trenutne konekcije, Inicijalizacija shift registara sa poljem praznih rednih brojeva. Unutar While petlje na početku se nalazi jedna case struktura , koja na true ima Build Array funkciju zaduženu za spajanje više dimenzionih brojeva, a na False samo prosleđuje praznu TCP konekciju. True ili False određuje ServerBrojac.vi da šalje konekcije a ovdje ih prihvata ukoliko ih ima. Ukoliko je uspostavljena

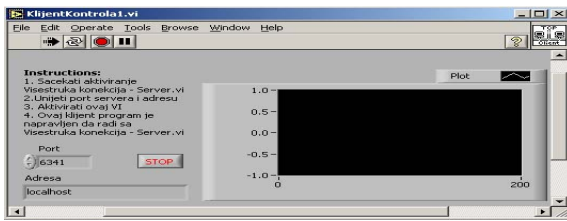
veza makar jednog klijenta VI će varijablu validno postaviti na True i odradit će se spajanje date konekcije što će dalje uzrokovati rad For petlje, ovo će se odraditi za svaku novu konekciju koja bude uspostavljena. Treba napomenuti da je prije ulaska u for petlju postavljena funkcijepodprog.vi koja simulira tri funkcije: slučajne brojeve, sinusnu funkciju i kosinusnu funkciju. Podprogram Funkcijepodprog.vi, nastavak to jest prosleđivanje podataka je odradeno prema Cast funkciji koja preuzima podatke i dužinu podataka da bi ih kasnije slanjem u TCP konekciju proslijedila klijentu koji na osnovu dužine to jest tipa podatka preuzima i prikazuje podatke na chart indentično i u realnom vremenu kao i na samom serveru. Treba napomenuti da je mjesto gdje je postavljen ovaj podprogram baš mjesto gdje bi se i ostali podprogrami ili DAQ board mogli postaviti, i na taj način vršilo transportovanje podataka putem TCP protokola ka klijentu. U For petlji imamo dvije TCP Write funkcije koje služe za slanje podataka prema klijentu, bitno je napomenuti da sve funkcije koje se koriste u ovoj petlji su vezane na jedan conection ID jer kao što se i vidi od početka konekcija zavisi baš od ovog ID-a. Sledeće šta je bitno je TCP Read funkcija koja je namijenjena čitanju podataka od klijenta a funkcija joj je da prilikom prijema bajta proslijedi funkciji String Length koja na izlazu daje dužinu primljenog podatka i prostim ispitivanjem ako dužina nije jednaka nuli postavlja Case strukturu na true i time aktivira TCP Close Connection funkciju koja šalje zatvaranje konekcije prema odabranom klijentu ali nastavlja da radi dok god ima klijenata na vezi. U suprotnom Case struktura se postavlja na false i uz pomoć funkcije Build Array spaja niz brojeva – konekcija i prosleđuje ih prema shift registru odakle će biti predati funkciji Array Size koja određuje dužinu niza i prikazuje koliko ima trenutnih konekcija na vezi. Petlja While će se izvršavati dok je god zadovoljen uslov a to znači dok god ima neko na vezi i dok god nije pritisnut stop taster. Na izlazu iz petlji se nalazi TCP Close Connection funkcija, koristi se da zatvori sve otvorene konekcije prilikom pritiska tastera stop to jest ako je While petlja prekinula sa radom. Kraj rada programa je kao i u maloj While petlji sveden na Merge Errors.vi koji sastavlja sve nastale greške i prikazuje ih uz pomoć Simple Error Handler.vi .

### 3.2 FUNKCIONISANJE VI “KLIJENT” PROGRAMA

Na slici 4 je prikazana šema Klijent a na slici 5 Front panel istog programa koji je namijenjen za rad sa Server programom i prima podatke na Chart a zatim ih prikazuje u realnom vremenu. Sam klijent može biti realizovan i u .exe verziji tako da ne zavisi od konkretnog programskog paketa, čak je moguće kreirati instalacionu verziju tako da korisnik ne mora da razmišlja o tome kako da instalira dati klijent program. U Lab View programu je takodje data mogućnost da VI koji kreiramo možemo i da prezentujemo na internet .



Slika 4. Šema ili programski kod Klijent programa



Slika 5. Front panel Klijent programa

Klijent program je namijenjen za rad sa Server programom i podacima koje šalje Server. Kod Klijent programa počinje sa dvije promjenjive to jest dva text boxa koji služe za unos broja porta i IP adrese ili domensko ime, TCP Open Connection je funkcija koja tretira konekciju, otvara konekciju prema serveru i ako nema greške što se može desiti nastavlja prema While petlji koja se izvršava svaki put dok god je uslov nije zadovoljen. U petlji su dvije Case strukture od kojih prva igra ulogu prihvatanja podataka i prikazivanja na Chart a druga služi da u slučaju prekida konekcije to jest prekida rada klijenta pošalje "Q" prema serveru kako bi ga obavijestio da prestane slanje podataka i da zatvori konekciju. Treba pomenuti da je prije ove dvije Case strukture jedna TCP Read funkcija koja prihvata poslate podatke od servera i preko jedne Type Cast funkcije pretvara nečitljive podatke korisniku u čitljive to jest pogodne za prikaz na Chart objektu. Vršenje prevođenja podataka je riješeno sa određivanjem tipa podatka u ovom slučaju četvorobajtnog jer je takav i poslat sa servera. Ako nema podataka u Case strukturu se ulazi kroz određivanje uslova to znači da je nula i u tom slučaju samo se jedna konstanta tipa Boolean postavlja na TRUE i prosleđuje do logičkog I. U slučaju da ima podataka Case se postavlja na Default i u case strukturi se nalaze jedna TCP Read funkcija koja preuzima podatke sa Type Cast predhodno definisanog i predaje ih novoj Type Cast funkciji koja ima definisan tip Build Array sa konstantom 0,0 , a zatim ih Type Cast predaje Chart objektu koji ih prikazuje. Treba reći da je takođe ovdje unesena jedna Boolean konstanta ali setovana na FALSE i takođe se završava na logičko I koje će kasnije biti objašnjeno. Sledeća je Case struktura dva i na njen logički dio je prikazana jedna Boolean kontrola koja će kasnije biti upotrijebljena za gašenje datog klijent programa. Struktura ima dva stanja TRUE i FALSE, pod TRUE se nalazi TCP Write na koju je dovedena jedna konstanta "Q" koja će javiti serveru da je potrebno zatvoriti konekciju. Kontrola koja gasi program takođe je kroz strukturu povezana sa jednim ILI logičkom funkcijom, a ERROR OUT je povezan sa Unbundle By Name funkcijom koja preko statusa vraća TRUE ako je konekcija bez greske a FALSE ako je konekcija napravila neku grešku, obično ako je server prekinuo rad. Unbundle By Name funkcija je spojena na logičko I koje smo predhodno pomenuli a I kolo je spojeno na logičko ILI kolo naravno čitava ova procedura bi bila beskorisna kada se ovo nebi spojilo na While uslov koji je setovan da pokreće While petlju sve dok uslov nije TRUE. Od početka pa do kraja je postavljena veza na TCP konekcijama connection ID koji je od početka definisan preko TCP read funkcije jer bi u suprotnom bio problem otkriti o kojoj se konekciji radi. Takođe je od početka spojen i Error out ili in jer se prate eventualne greške pri konekciji, važno je napomenuti da se baš preko Error promjenjive vide greške koje nam služe za

ustanovljenje do kakve greške došlo kako bi se prijavilo korisniku kako da reaguje. Na samom kraju to jest pri izlasku iz While petlje se nalazi TCP Write koji takođe šalje "Q" da bi specificiralo serveru da su podaci primljeni i posle toga slijedi TCP Close Connection koji gasi datu TCP vezu, kao i kod Server primjera i ovdje se program završava sa prijavljivanjem greške uz pomoć VI podprograma, to je u ovom slučaju General Error Handler.vi koji na osnovu broja greške koji se desio u TCP konekciji prijavljuje grešku ukoliko je bilo.

#### 4. PRIKAZ STATIČKE SLIKE VI-a u WEB ČITAČU

U okviru LabVIEW postoji alat koji omogućava da se formira HTML dokument u kome će se predstaviti front panel željenog virtuelnog instrumenta kao slika u Web čitaču. Slike virtuelnog instrumenta (front panela) se predstavljaju u jednom od dva formata JPEG i PNG. Da bi se ugnjezdila slika virtuelnog instrumenta koji radi na računaru, potrebno je formirati HTML dokument sa sledećim kodom:

```
<img src=http:// localhost/.snap? VirtuelniInstrument.vi
&type=png&depth=24>
```

Ovaj kod govori da VI radi na lokalnom računaru (localhost). Umjesto ovog može biti IP adresa računara, na primjer: 192.168.0.1, ako koristimo LAN ali isto tako možemo iskoristiti neku javnu adresu 147.91.174.167 domensko ime računara na primjer: etf.lab.cg.ac.yu. Bitno je da se u kodu referencira tačno na kom računaru je aktivan VI. Naredba ".snap" omogućava formiranje i ugnježdene slike front panela virtuelnog instrumenta u HTML dokumentu. Atributi type=png i depth=24 odnose se na tip kompresije slike (PNG) i bit-mapiranje slike (1, 4, 8 i 24). Ovako formirana HTML stranica mora da se nalazi u LabVIEW Web Server direktorijumu (obično www direktorijum u Lab View instalacionom direktorijumu) na računaru na kome se nalazi virtuelni instrument. Sa udaljenog računara ovoj stranici se pristupa preko IP adrese računara ili imena HTML stranice, npr:

<http://147.91.174.167/virtuelniinstrument.htm>

gdje je 147.91.174.167. adresa računara na kome se nalazi virtuelni Instrument, a virtuelniinstrument.htm ime HTML stranice u kojoj se nalazi predhodno prikazani kod.

#### 5. PRIKAZ ANIMIRANE SLIKE VI-a u WEB ČITAČU

U slučaju da predhodno opisan metod ne zadovoljava potrebe telemonitoringa, moguće je primeniti drugi metod koji nudi Web Server u okviru LabVIEW-a. Naime, virtuelni instrument može da se prikaže i kao animirana slika ugnježdjena u HTML dokument. Princip je sličan kao i u pethodnom primjeru. U okviru Web čitača to izgleda tako što se slika front panela virtuelnog instrumenta osvježava podešenom brzinom. HTML kod koji treba napisati prikazan je sledećim izrazom:

```
<IMGsrc=http://localhost/.monitor?virtuelniinstrument.vi&typ
e=png&depth=24& refresh=5>
```



Kod je sličan kao i HTML kod prikaza statičke slike. Naredba ".monitor" se odnosi na ugnježđenje animirane slike virtuelnog instrumenta . Atribut "refresh" predstavlja brzinu auto-osvježavanja slike virtuelnog instrumenta u sekundama. U ovom radu podešeno je osvježavanje 5 sekundi. Treba napomenuti da verzija Internet Explorer-a 5.5 i ranije verzije ne podržavaju tehnologiju animirane slike, tako da je potrebno HTML dokumentu na početku (u <HEAD> tagu ) dodati i sledeći dio koda:

```
<META HTTP-EQUIV="REFRESH" CONTENT="5">
```

Sa udaljenog računara se može posmatrati virtuelni Instrument iz Web čitača tako što se pristupa HTML stranici u kojoj se nalazi ugnježđena animacija slike front panela virtuelnog Instrumenta. URL adresa preko koje se pristupa izgleda ovako:

<http://147.91.174.167/VirtuelniInstrument.htm>

Gde je 147.91.174.167. adresa računara na kome se nalazi virtuelni Instrument, a VirtuelniInstrument.htm ime HTML stranice u kojoj se nalazi HTML kod predhodno objašnjen. Pristupanjem virtuelnom Instrumentu na ovaj način omogućen je telemonitoring u realnom vremenu. Naime, ako se uzme u obzir da je osvježavanje slike 5 sekundi, i da je prikaz isčitavanja na viruelnom strumentu ne manji od 6 sekundi, tada će korisnik na udaljenom računaru imati uvijek uvid u kompletan zapis.

## 6 TELEMONITORING SIGNALA KORIŠĆENJEM WEB ČITAČA U REALNOM VREMENU

Koristeći TCP/IP protokol, LabVIEW Web Server omogućava prikaz/prezentaciju virtuelnog instrumenta na Internetu i upravljanje njegovim radom. Računar na kome se nalazi server može vršiti akviziciju i obradu signala dok se sa nekog drugog računara koji je fizički udaljen, a nalazi se na mreži, mogu pratiti signali i rezultati obrade. Server računar šalje računaru klijentu izgled uređaja - front panel, dok se programski kod - blok diagram i dalje izvršava na serveru. Web Server omogućava i da se vrši upravljanje radom i kontrola virtuelnog instrumenta sa klijent računara iz Web čitača, potpuno identično kao da se program izvršava na njemu. Više klijenata mogu da pristupaju serveru i prate rad virtuelnog instrumenta, ali je daljinska kontrola dozvoljena samo jednom klijentu u jednom trenutku.

Da bi se omogućio pristup virtuelnom instrumentu preko Web čitača potrebno je formirati HTML stranicu. Virtuelni instrument će biti "ugnježđen" (embedded) u HTML fajl. LabVIEW koristi Microsoft-ovu tehnologiju ActiveX, i predstavlja virtuelne instrumente kao ActiveX kontrole. Ovako formirane kontrole se mogu uvući u HTML dokument i objavljivati/prezentovati na Internetu. Prikazan je listing HTML koda koji formira Internet stranicu sa ugnježđenim virtuelnim Instrumentom:

```
<OBJECT ID="LabVIEWControl"
CLASSID="CLSID:A40B0AD4-B50E-4E58-8A1D-8544233807AA"
WIDTH=950 HEIGHT=700
<PARAM name="LVFPPVNAME" value="VirtuelniInstrument.vi">
<EMBED SRC="LV_FrontPanelProtocol.rpvi"
LVFPPVNAME=" VirtuelniInstrument.vi" TYPE="application/x-labviewrpvi"
WIDTH=950 HEIGHT=700 </EMBED>
</OBJECT>
```

Ovako formirana Internet stranica mora se nalaziti na računaru serveru na kome se vrši akvizicija. Prikaz virtuelnog uređaja preko računarske mreže je omogućen preko standardnog Web pretraživača kao što je **Internet Explorer** ili **Netscape Navigator**. U Web čitaču se upiše URL internet adresa:

<http://147.91.174.167/VirtuelniInstrument.htm>

gdje je adresa računara servera **147.91.174.167**, na kome se nalazi **HTML** fajl, **Virtuelni Instrument.htm**, a u kome je ugnježđen virtuelni Instrument.

Svaka promjena izgleda virtuelnog Instrumenta na serveru će se vidjeti u Web čitaču na klijent računaru. Kvalitet prikaza monitoringa u Web čitaču zavisi od propusne moći računarske mreže, ali i od vrste i načina obrade podataka koju radi virtuelni instrument. Treba napomenuti da za ovakvu metodu telemonitoringa nije potrebni imati specijalno programiran softver niti je potrebno posjedovati virtuelni Instrument instaliran na drugim računarima. Računar na kojem se prati rad virtuelnog Instrumenta u Internet pretraživaču mora da ima instaliran **LabVIEW Run Time Engine** softverski dodatak.

Pored gore navedene telemetrijske primjene virtuelnog Instrumenta, moguće je i daljinski upravljati njegovim radom iz Web čitača. Korisnik na računaru klijentu može da zatraži kontrolu nad virtuelnim Instrumentom koji radi na računaru serveru. Tada sve kontrole za obradu signala i prikaz sa virtuelnog Instrumenta postaju dostupne računaru klijentu dok korisnik na računaru serveru tada nema pristup njima.

## ZAKLJUČAK

Navedenom metodologijom će se otvoriti put velikom broju inženjera da svoja dostignuća ili pronalazke testiraju u nekoj laboratoriji koja im je fizički nedostupna. Raznovrsne metode Telemonitoringa su danas u upotrebi ali prednjače one realizovani na softverskom rešenju Lab View-a. Praktično nema institucije u svijetu ne koristi pomenuti softver. Zahvaljujući Lab View softveru i njegovim prednostima u odnosu na druge slične programske pakete mi smo danas u mogućnosti da sa vrlo malim trudom dođemo do funkcionalno primjenjivih rešenja za prevalizaženje problema telemonitoringa.

## LITERATURA

- [1] National Instruments Corporation, "NI-DAQ 7" Quick Start Guide, 2003-2004 NIC
- [2] National Instruments Corporation, "BNC – 2090 User Manual", Mart 1996 Edition
- [3] "Specijalna mjerenja", Elektro tehnički fakultet Sarajevo, Sarajevo, 2003 god, Adnan Salhbegović
- [4] Help LabVIEW softvera
- [5] WWW.NI.COM

## DETEKCIJA ST-ELEVACIJE KOD EKG SIGNALA U PROCESU DALJINSKOG MONITORINGA DETECTION OF ST-ELEVATION IN ECG SIGNAL WITHIN TELE MONITORING

Predrag Popović, *Elektrotehnički fakultet u Podgorici*  
Radovan Stojanović, *Elektrotehnički fakultet u Podgorici*

**Sadržaj** – Predloženo je rješenje automatske detekcije patološke elevacije ST-segmenta EKG signala. Klinički značaj je očigledan, jer to blagovremeno upozorava na mogućnost srčanog udara. Rješavanje problema se nadovezuje na prethodne, mnogo standardizovanije metode prepoznavanja R-talasa. Na osnovu Pan-Tompkinsovog QRS detekcionog algoritma, predložena je nadogradnja u smislu detekcije ST elevacije. Primjećujemo da su tehnička rješenja takvog monitoringa, iz kliničkog ugla, često predimenzionirana. Biološki procesi imaju fiziološka ograničenja, što omogućava pragmatičnija rješenja od čisto programerskog pristupa. Takva, mogućnost uproštene detekcije je ovdje elaborirana.

**Abstract** – In this paper the solution for automated detection of ST segment elevation within ECG signal has been proposed. It is obviously that it has the greatest importance as a Personal Heart Attack Detector. The solution starts from Pan-Tompkins's QRS Detection Algorithm, but upgraded as the ST-elevation watcher. Notice that many technical designs are too complex (*lege artis*) for physiological pragmatism, and we suggest some simplifications, consequently.

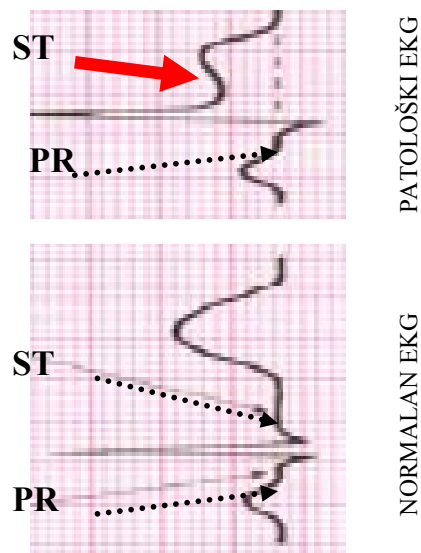
### 1. UVOD

Mobilno 24 satno praćenje sa automatskom analizom EKG signala i pružanjem pomoći pacijentu u slučaju detekcije urgentnog stanja, u savremenim telemedicinskim uređajima, sastoji se od bežičnog EKG uređaja, koji snima pacijentov rad srca, programa na personalnom računaru za obradu snimljenog signala, web servisa i web aplikacije za prikaz detektovanog EKG signala. Podaci o snimljenom radu srca šalju se bluetooth ili nekom drugom bežičnom vezom do lokalnog ili globalnog personalnog računara, gdje se signal prihvata, prikazuje i analizira. Ukoliko se registruju nepravilnosti u radu srca podaci se GPRS-om šalju u centralnu bazu podataka i obavještava se liječnik SMS porukom. Ugrađena je podrška i za GPS, te je moguće locirati pacijenta na mapi i blagovremeno pružiti pomoć. U slučaju srčanog incidenta, snimanje EKG-a i slanje podataka u ambulantu može se obaviti u kolima hitne pomoći prije dolaska pacijenta. Snimanje EKG-a je kod starijih, nemoćnih ili invalidnih osoba u njihovom domu.

U ovom prikazu predloženo je rješenje automatske detekcije u slučaju patološke elevacije ST-segmenta EKG signala, jer je to indikacija mogućeg srčanog udara. Ujedno je svojevrsna alternativa dijagnostici ergotestiranja, teže dostupne metode za ocjenu kardiovaskularnog rizika. Otuda je značaj ovakvih radova od prvorazrednog značaja, jer predstavlja mogućnost spašavanja mnogobrojnih života od bolesti sa vodećom stopom mortaliteta.

Slika 1. ilustruje problem. Prikazani su klinički interesantni ST i PR segmenti EKG signala, u poređenju

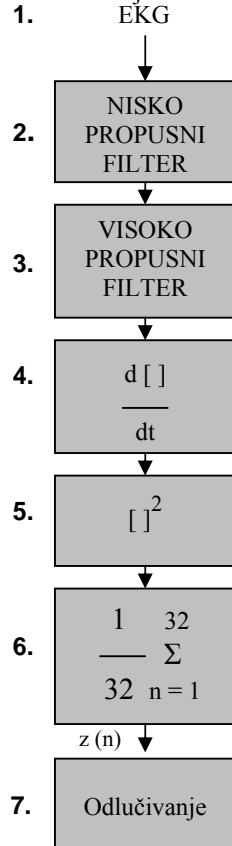
normalnog i patološkog ST segmenta. Puna strelica pokazuje ST elevaciju koja potencijalno prijeti infarktom. Rješavanje naslovljenog problema u našem radu se nadovezuje na prethodno, neophodne, uveliko standardizovane metode detekcije QRS kompleksa, odnosno automatskog prepoznavanja R-talasa u EKG signalu. Konkretno, na osnovu Pan-Tompkinsovog QRS detekcionog algoritma u realnom vremenu [1], predložićemo nadogradnju za detekciju ST-segmenta, klinički prevashodnog, mada još problematičnog zadatka.



Slika 1: ST-elevacija, upozorenje, puna strelica.

## 2. PRETHODNA DETEKCIJA QRS KOMPLEKSA

Pan-Tompkinsov algoritam je sukcesija procedure, prikazane slikom 2. Na Slici 3. je prikazan signal u takvoj sukcesivnoj transformaciji [2], sa sledećim koracima: 1. diskretizovani EKG signal se ponajprije 2. rekurzivno filtrira niskim propustom, a potom se tako dobijeni signal 3. filtrira visokim propustom. Slijedi njegovo daljnje podvrgavanje 4. diferenciranju, pa 5. kvadriranju te 6. integrisanju, što sve zaključuje 7. proces odlučivanja.



Slika 2: Pan-Tompkinsov algoritam.

Matematičke relacije u  $z$  i diferentnom domenu za niskofrekventno i visokofrekventno filtriranje, diferenciranje, kvadriranje i usrednjavanje date su respektivno sa (1)..(8).

$$H(z) = (1 - z^{-6})^2 / (1 - z^{-1})^2 \quad (1)$$

$$y_1(n) = 2y_1(n-1) - y_1(n-2) + x(n) - 2x(n-6) + x(n-12) \quad (2)$$

$$H(z) = (-1 + 32z^{-16} - 32z^{-17} + z^{-32}) / (32 - z^{-1}) \quad (3)$$

$$32y_2(n) = y_2(n-1) - y_2(n) + 32y_1(n-16) - 32y_1(n-17) - y_1(n-32) \quad (4)$$

$$H(z) = (1/8) / (2 + 1z^{-1} - 1z^{-3} - 2z^{-4}) \quad (5)$$

$$y_3(n) = (1/8) (2y_2(n) + 1y_2(n-1) - 1y_2(n-3) - 2y_2(n-4)) \quad (6)$$

$$Y_4(n) = [2y_3(n)]^2 \quad (7)$$

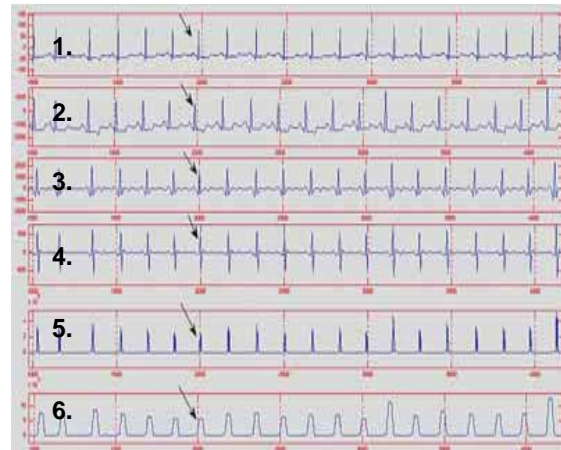
$$z(n) = (1/N) [y_4(n-N-1) + y_4(n-N-2) + \dots + y_4(n)] \quad (8)$$

Prozor usrednjavanja u (8) obično ima vrijednost  $N=32$ .

QRS kompleks odgovara uzlaznom bridu integrisanog signala, tako da maksimum porasta odgovara R vrhu.

Algoritam uključuje i „event vector“ koji sadržava potencijalne vrhove, a ovaj vektor se dalje obrađuje u stepenu za odlučivanje.

Stepen za odlučivanje donosi konačnu odluku o R vrhu, a uz to podešava i adaptivne pragove u zavisnosti od signala.



Slika 3: ECG signal u Pan-Tompkinsovoj sukcesivnoj transformaciji:

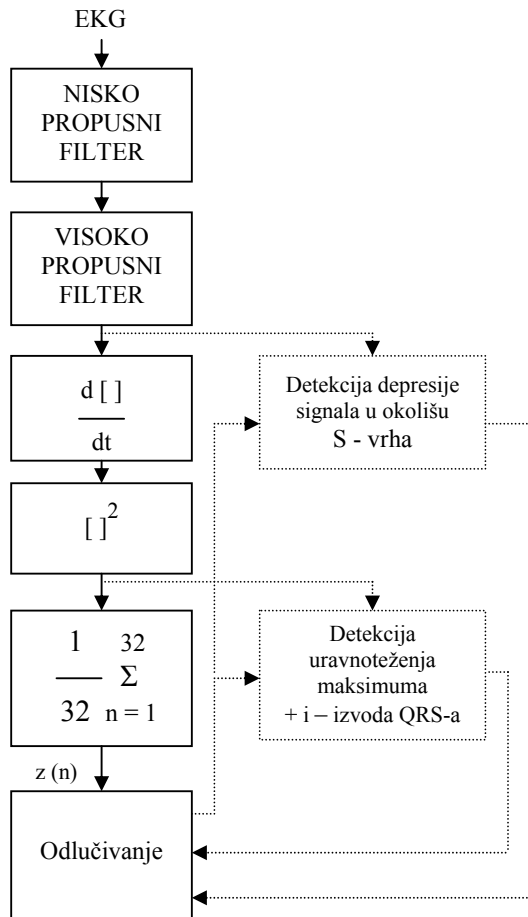
## 3. DETEKCIJA ELEVACIJE ST-SEGMENTA

U nadogradnji prethodno opisanog određenja QRS kompleksa (odnosno lokalizacije vrha R-talasa EKG-a kao vremenskog signala), u daljnjoj detekciji eventualne elevacije ST-segmenta, polazimo od kliničkog obrasca da je proces depolarizacije komora i repolarizacije predkomora fiziološki intenzivan proces. Ovo kod pacijenata sa epikrizom bez ishemije (anoksije) miokrada kao primarnog oboljenja srca, pošto je njena etiologija (patogeneza) zapravo u primarnom oboljenju koronarnih arterija, a ne samog srca.

Kako depolarizacija komora ima reprezent upravo u QRS, to znači da će kod zadovoljavajuće funkcije koronarnih arterija njegov tok u ST-segment biti fiziološki brz i doseći referentnu osu EKG-a prije prijelaza ka ST-segmentu. Međutim, u patološkom slučaju disfunkcije koronarnih arterija (arteriomatoza, vazokonstrikcija, trombo-embolija i sl...), srce neće moći nadoknađivati potrebu za kiseonikom, što će se odmah odraziti na elevaciji ST-segmenta, kao angioznost čije zanemarivanje prijete srčanim infarktom.

Konzekventno navedenom, primjetimo da su tehnička rješenja automatske detekcije fizioloških signala, u konkretnom slučaju srca, klinički često predimenzionirana. Naime, fiziološke granice i procesi u medicini su jasno određeni, i stoga omogućuju pragmatičnija rješenja od inženjerstva u smislu njegovih lege artis kriterija. Ovo je posebno interesantno sa stanovišta cijene biomedicinskih uređaja, što se uostalom odražava i na cijelu profilaksu oboljenja u ukupnoj populaciji.

Ovom prilikom zagovaramo takvu mogućnost. U konkretnom primjeru, uprošćene detekcije urgentnih elevacija ST-segmenata. Slika 4. je blok prikaz ove detekcije.



Slika 4: Dodatak za urgentnu detekciju ST-elevacije.

#### 4. OCJENA DETEKTORA

Testiranje i vrednovanje odlika detektora [5],[6] vrši se nad podacima iz nekih standardnih baza podataka EKG signala. Neke od njih su:

- AHA Database
- Ann Arbor Electrogram Libraries, <http://electrogram.com>
- CSE Database

Vrednovanje detektora vrši usporedbom anotacijske datoteke koju generira detektor i referentne anotacijske datoteke.

Kriteriji evaluacije mogu biti:

- osjetljivost detektora (S)
- pozitivna predvidivost (PP).

Dodatno se definiraju dva pokazatelja: lažno pozitivan (engl. False Positive - FP) – detektovao je QRS, odnosno ST-elevaciju, iako to ne postoji u originalnom signalu, te lažno negativan (engl. False Negative - FN) – nije detektovao QRS ili ST-elevaciju, a trebalo je.

Osjetljivost izražavamo kao:

$$S = (NB - FN) / NB \quad [\%] \quad (9)$$

gdje NB označava ukupan broj otkucaja srca, te pozitivnu predvidljivost kao:

$$PP = (NB - FN) / (NB - FN + FP) \quad [\%] \quad (10)$$

#### ZAKLJUČAK

Predloženo je rješenje automatske detekcije patološke elevacije ST-segmenata EKG signala. Klinički značaj je očigledan. Rješavanje datog problema se nadovezuje na Pan-Tompkinsovog QRS detekcioni algoritam uz dodatak odgovarajućih fizioloških pristupa.

#### LITERATURA

- [1] J. Pan, W. Tompkins, "A Real QRS Detection Algorithm", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. BME-32, pp 230-235, March 1985
- [2] A. Shukla, L. Macchiarulo, "Exploring and Prototyping Designs for Biomedical Applications", University of Hawaii at Manoa, 2008
- [3] R. Stojanović et al, PhysiLAB: A Flexible System for Monitoring Physiological Signals, The 5<sup>th</sup> European Symposium on Biomedical Engineering, Patras, Greece, 2006.
- [4] Z. Tafa, R. Stojanović, Monitoring of physiological signals using Bluetooth, International conference TELE-INFO 2006, Istanbul, Turkey, 2006
- [5] A. Smrdel and F. Jager, Automated detection of transient ST-segment episodes in 24h electrocardiograms, Medical and Biological Engineering and Computing, Springer Berlin / Heidelberg, Volume 42, Number 3 / May, 2004, pp. 303-311.
- [6] S.R. Hameroff, M.J. Navabi, Watt, R.C., Mylrea, K.C., Smart Alarms In Anesthesia Heart Rate And ECG Monitoring And Event Recognition Using Neural Network And Algorithmic Methods, Proceedings of the Twelfth Annual International Conference of the IEEE, Volume, Issue, pp. 2000 – 2001.



## MJERENJE FREKVENCIJE SRČANOG PULSA UPOTREBOM MIKROKONTROLERA THE MEASUREMENT OF HEART RATE BY MICROCONTROLLER

Radovan Stojanović\*, Nikola Nikolić\*, Marija Mirković\*, Predrag Popović\*, Emilija Pejović\*\*  
\*Elektrotehnički fakultet, Podgorica, \*\*Fakultet za primijenjenu fizioterapiju Igalo

**Sadržaj** – U radu se prikazuje način upotrebe mikrikontrolera opšte namjene u funkciji mjerenja frekvencije srčanog pulsa. Pomoću analognog pojačavača signal se preuzima sa standardnog PPG senzora, pojačava i filtrira. Zatim se dovodi u mikrokontroler, gdje se digitalizuje, post-processira i transformiše u spektralni domen (FFT spektar). U tu svrhu postojeći FFT algoritmi kao što je radix-2 DIT su prilagodjeni integer aritmetici, koja je neuporedivo povoljnija za date procesorske jedinice. Vrijednost pulsa odgovara poziciji dominantnog harmonika. Dobijeni rezultati pokazuju prednosti predloženog pristupa, naročito u slučajevima prirodnog mjerenja, gdje je pojava različitih smetnji nezaobilazna.

**Abstract** – This paper describes a usage of the general purpose microcontroller for measurement of heart rate. The PPG signal obtained from standard probes is acquired, amplified, filtered and then fed to microcontroller to be digitized, post-processed and transformed to frequency spectrum (FFT). For these purposes the existing algorithms as radix-2 DIT are adapted to integer arithmetic, which is more suitable for such processor units. The value of heart rate corresponds to the position of the dominant harmonic. The obtained results show the advantages of the proposed approach, especially in the cases of pervasive measurement, where the presence of the noise is very usually.

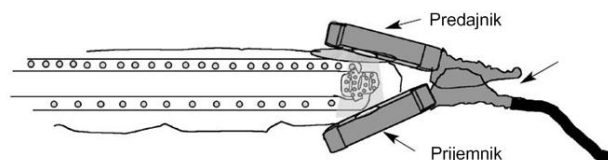
### 1.UVOD

Puls (HR- Heart rate) predstavlja niz talasa krvi kroz arterije nastalih potiskom usled kontrakcije srca. Broj otkucaja srca u minuti i jačina ovih talasa, mogu dati indikacije za razna alarmantna stanja pacijenta. Veoma je važan parametar u savremenoj preventivnoj i urgentnoj medicini kao i u telemedicinskim sistemima. Normalne vrijednosti zavise od starosnog doba, pola, bolesti, sportskih predispozicija itd. Postoji više metoda za njegovo praćenje (mjerenje): palpacijom na periferiji, iz ECGa, optički, mehanički, akustički, ultrazvučno itd.

Monitoring pulsa uključuje analizu frekvencije, ritama, varijacije i punoće. Frekvencija se prikazuje brojem otkucaja u minuti (beats/min). Stanje u kojem je frekvencija pulsa veća od gornje granice normalnog opsega, naziva se tahikardija a ispod – bradikardija. Varijacija pulsa (HRV – Heart Rate Variety) je veoma značajan parametar i obično se mjeri kao varijacija rastojanja između R-R pika ECG signala. Obično se prikazuje u frekventnom domenu, a neki od sub-pokazatelja su sadržaj koeficijenata u nisko i visoko frekvencijskom dijelu spektra. Ritam pulsa kod zdravih osoba treba da bude periodičan. Svako odstupanje od jednako-trajnih pauza između dva para pauza, naziva se aritmija. Ona, često, indicira alarmantno stanje ili pak trajno oštećenje. Punoća pulsa određuje snagu srčanih kontrakcija te elastičnost krvne žile.

Danas su neinvazivne metode dominantne u mjerenju pulsa. Jedan od načina je tzv. fotopletizmografija ili PPG (engl. Photoplethysmography) [1]. PPG predstavlja tehniku mjerenja promjena refleksije ili absorpcije svjetlosti određenih talasnih dužina usled odbijanja ili njenog prodora kroz tkivo. Pored pulsa iz PPG signala se mogu dobiti saturacija kiseonika (SpO<sub>2</sub>), krvni pritisak (preko PTT –

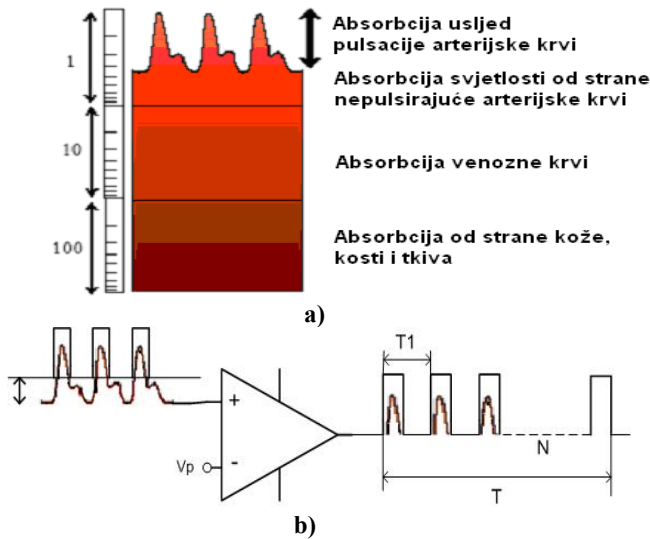
Pulse Transmit Time) itd. Sam senzor može biti reflektivnog ili transmisionog tipa. Kod reflektivne metode, emiter i fotodetektor se nalaze jedan pored drugog na istoj strani, dok se kod transmisione nalaze na suprotnim stranama tkiva koje se ispituje (najčešće prsta, uva, itd). Na slici 1 je prikazana principiska šema realizacije PPG mjerenja transmisionom metodom, na prstu, koja se koristi i u ovom radu.



Slika 1: Transmisiona PPG metoda.

U procesu mjerenja PPGa koristimo dvije talasne dužine svjetlosti: crvenu (~ 660 nm) i infracrvenu (~ 910 nm). U praćenju pulsa koristi se uglavnom infracrvena, dok se kombinacija ove dvije svjetlosti upotrebljava u mjerenju SpO<sub>2</sub>. Princip mjerenja se bazira na činjenici da pulsirajuća komponenta struje koja se dobija u kolu fotodetektora zavisi od količine propuštene ili reflektovane svjetlosti. Količina propuštene ili reflektovane svjetlosti kroz tkivo zavisi od gustine krvi u datom trenutku, čime se dobija korelacija rada srca sa električnim ekvivalentom, tj. može se dobiti kriva signala pulsa. Kada se svjetlost propušta kroz tkivo, absorbanti koji su uvijek prisutni u ovakvim mjerenjima su: koža, kost, tkivo, venska i (nepulsirajuća) arterijska krv. Većina svjetlosti se absorbuje od strane ovih absorbata ali je ta količina konstanta u toku mjerenja. Mala količina promjenljive komponente svjetlosti (prouzrokovane fiziološkim promjenama usled protoka krvi) stiže na fotodetektor. Prilikom rada srca, periodično se pumpa krv ka krvnim sudovima tako da se povećava količina krvi u ispitanoj zapremini. Ovo rezultira većoj absorpciji svjetlosti u

tim trenucima i dobijanje pikova kao na slici 2. Kada se od rezultirajućeg napona oduzme permanentna (DC) komponenta, dobija se kriva koja opisuje otkucaje srca.



Slika 2: a) Komponente PPG signala. b) Princip mjerenja u vremenskom domenu.

Obično se kod automatizovanog mjerenja pulsirajući signal propušta kroz komparator i zatim mjeri rastojanje između dobijenih impulsa ( $T1$ ), ili broj impulsa u jedinici vremena  $N(T)$ , slika 2 b). Medjutim ova metoda je nepouzdana iz nekoliko razloga koji se mogu sažeti u: a) PPG signal ima veoma karakterističnu dinamiku zbog uticaja različitih izvora šuma; b) vrijednost praga za komparaciju ( $Vp$ ) se ne može pouzdano odrediti, a da ne dodje do pojave „lažnih“ impulsa.

U cilju prevazilaženja navedenih problema ovaj rad je imao tri cilja:

- 1) Izvršiti mjerenje pulsa u prirodnim uslovima na način da se dobiju što vjerodostojniji rezultati.
- 2) Uraditi to pomoću mikrokontrolera opšte namjene, cijene koštanja ispod 5EUR, a koji ima znatna ograničenja u pogledu RAM memorije, do 2048 bajta.
- 3) Projektovati poseban modul za ovu namjenu, koji se može lako integrisati u embeded sisteme ili biti autonoman.

## 2. CJELOBROJNA FURIEROVA TRANSFORMACIJA

Diskretna Furijeova Transformacija (DFT-Discrete Fourier Transform) je jedna od naznačajnijih operacija u digitalnoj obradi signala. Medjutim, algoritam njenog izračunavanja je dosta zahtjevan po kriterijumima vremena, memorije, dužine registra, potrošnje, itd, što je čini neefikasnom za implementaciju u realnim sistemima. Tako npr., za ulazni signal od  $N$  semplova izračunavanje DFT zahtijeva  $N^2$  kompleksnih množenja uz dodatak određenog broja sabiranja. 1965. godine Cooley i Tukey uvode Brzu Furijevu Transformaciju (FFT-Fast Fourier Transform) kojom se složenost izračunavanja DFT značajno redukuje sa  $O(N^2)$  na  $O(N \log_2 N)$ . Osim toga, njihov pristup donosi i mnoge radikalne doprinose naročito u strukturama (algoritmima) izračunavanja, imajući u vidu simetričnost i periodičnost kompleksnog člana  $e^{j2\pi k/n}$ . Najpoznatiji i

najčešće primjenjivani algoritmi su radix-2 FFT, radix-4 FFT i split-radix FFT [2], [3].

Red složenosti operacija množenja se uobičajeno koristi za upoređivanje algoritama izračunavanja. Ova operacija je dosta složena kako sa hardverske tako i sa softverske strane. Poznato je u VLSI projektovanju da je arhitektura množača u odnosu na ostale aritmetičke operacije (sabiranje, oduzimanje, šiftovanje, adresiranje, itd) vremenski, organizaciono kao i potrošački najzahtevnija, što značajno doprinosi usložnjavanju i poskupljenju hardvera koji sadrži integrisane jedinice za množenje. Ako se uzmu u obzir realni brojevi tada se stvar višestruko usložnjava. Problem se, donekle, rešava upotrebom snažnijih procesora kao što su Pentium, DSP ili paralelne multi-procesorske arhitekture. No, u uslovima tržišne utakmice, gdje je cilj naparviti što jeftiniji i moćniji mikroprocesor opšte namjene, te ekspanziji automatizovanog dizajna (Programable Logic Devices -PLD, FPGA, ASIC) upotreba kompleksnih procesora postaju ne-ekonomične. Stoga se pristupilo daljnem pojednostavljenju izračunavanja FFT u smislu cjelobrojnog (integer) pristupa, uz dodatna pojednostavljenja. Cilj je efikasna implementacija u 8bitnim mikroprocesorima (ATMEL, PIC, C51) koji postaju skoro nezamisljiva komponenta u proizvodnji sve šireg spektra uređaja tipa embeded sistema (embedded systems). Ove kontroleri su visoko integrisani i multifunkcionalni (integrisani tajmeri, portovi, A-D, UART, PWM, FLASH, EEPROM, ISP programing, itd). Takvu FFT obično nazivamo IntFFT ili FPFPT (Integer ili Fixed Point)

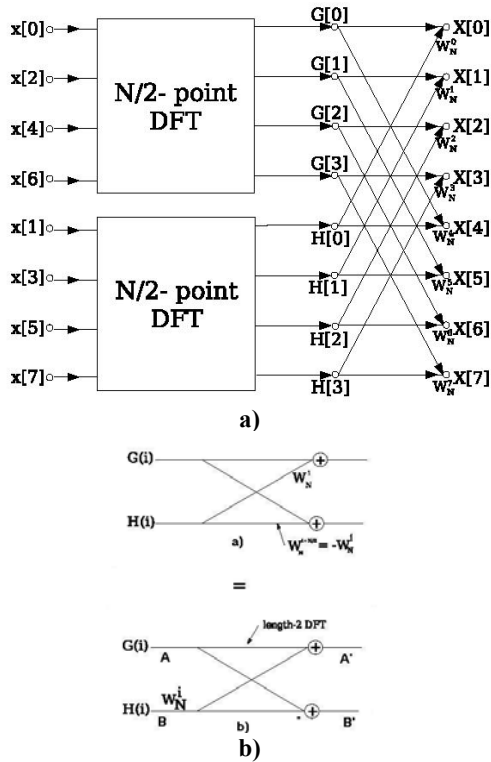
U procesu izračunavanja FPFPT polazimo od decimation-in-time (DIT) radix-2 algoritama, zbog jednostavnosti izvođenja i prednosti koje pruža u odnosu na ostale. Ista se logika može primijeniti i na decimation-in-frequency (DIF), ali je poznato da DIF kernel za izračunavanje sadrži jednu naredbu više u odnosu na DIT. U tu svrhu posmatrajmo realan diskretni signal  $x(n)$ ,  $0 \leq n \leq N-1$ , i njegovu DFT definisanu kao:

$$\begin{aligned}
 X(k) &= \sum_{n=0}^{N-1} \left( x(n) e^{-j \frac{2\pi nk}{N}} \right) \\
 &= \sum_{n=0}^{N/2-1} \left( x(2n) e^{-j \frac{2\pi (2n)k}{N}} \right) + \sum_{n=0}^{N/2-1} \left( x(2n+1) e^{-j \frac{2\pi (2n+1)k}{N}} \right) \\
 &= \sum_{n=0}^{N/2-1} \left( x(2n) e^{-j \frac{2\pi (2n)k}{N}} \right) + e^{-j \frac{2\pi k}{N}} \sum_{n=0}^{N/2-1} \left( x(2n+1) e^{-j \frac{2\pi (2n)k}{N}} \right) \\
 &= DFT_{\frac{N}{2}} \left[ [x(0), x(2), \dots, x(N-2)] \right] \\
 &\quad + W_N^k DFT_{\frac{N}{2}} \left[ [x(1), x(3), \dots, x(N-1)] \right]
 \end{aligned} \tag{1}$$

gdje je:

$$W_N^k = e^{-j \frac{2\pi k}{N}} = \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right) - i \sin\left(\frac{2\pi k}{N}\right) = W_N^k r - i W_N^k i$$

Grafički predstavljena jednačina (1) rezultira u strukturi prikazanoj na Slici 3 a) koja se sastoji od 2  $N/2$  DFT bloka i izlaznih »butterfly« operacija koje se mogu pojednostavljeno predstaviti kao na Slici 3 b). Data »butterfly« logika se može rekurzivno primijeniti na oba  $N/2$  DFT bloka u cilju uštede u računanju što rezultira u razbijenijoj šemi izračunavanja.



Slika 3: Izračunavanje FFT preko DFT.

Treba primijetiti da je raspored ulaznih semplova različit od prirodnog, tj. u smislu »bit-reversed« (decimation-in-time) logike. U procesu prilagodjavanja izračunavanja FFT u skladu sa integer aritmetikom polazimo od bazičnog »butterfly« sa Slike 4. U opštem slučaju, kompleksni izlazi A' i B' se mogu predstaviti kao:

$$A' = A + W_N^k, B' = A - W_N^k \quad (2)$$

gdje su:

$$A = Ar + iAi, B = Br + iBi, W_N^k = W_N^k r + iW_N^k i,$$

$$W_N^k r = \cos \frac{2\pi k}{N}; W_N^k i = \sin \frac{2\pi k}{N} \quad (3)$$

Zamjenom (3) u (2) i grupisanjem na imaginarne i realne djelove dobija se:

$$A' r = Ar + Br \cos \frac{2\pi k}{N} + Bi \sin \frac{2\pi k}{N} \quad (4)$$

$$A' i = Ai + Bi \cos \frac{2\pi k}{N} - Br \sin \frac{2\pi k}{N} \quad (5)$$

$$B' r = Ar - Br \cos \frac{2\pi k}{N} - Bi \sin \frac{2\pi k}{N} \quad (6)$$

$$B' i = Ai - Bi \cos \frac{2\pi k}{N} - Br \sin \frac{2\pi k}{N} \quad (7)$$

Pod pretpostavkom da su Ar, Ai, Br i Bi promenljive integer tipa gornji izrazi će biti integer tipa ako se sinusni i kosinusni članovi takodje izraze u integer aritmetici. U tom smislu oni se normalizuju prema jednačini (8) i radi bržeg izračunavanja smeštaju u LUT (look-up-table), tj. statičke memorijske lokacije.

$$\text{SinTable}[k] = (\text{int})(\sin \frac{2\pi k}{N} * 32768) \quad (8)$$

Imajući u vidu:

$$\cos \frac{2\pi k}{N} = -\sin \frac{2\pi(k + \frac{N}{4})}{N} \quad (9)$$

odgovarajuća kosinusna tabela može se zamijeniti sa sinusnom, što dodatno optimizuje memorijske resurse. Pseudo-kod koji predstavlja kernel izračunavanja i kojim se ilustruju jednačine (4), (5), (6) i (7) izgleda kao:

```

j = i + 1; // fr[j]->B'r, fi[j]->B'i, fr[i]->A'r, fi[i]->A'i,
wr = SinTable[j+N_WAVE/4];
wi = -SineTable[j];
tr = fix_mpy(wr,fr[j]) - fix_mpy(wi,fi[j]);
ti = fix_mpy(wr,fi[j]) + fix_mpy(wi,fr[j]);
qr = fr[i];
qi = fi[i];
fr[j] = qr - tr; //saglasno jednacini (7)
fi[j] = qi - ti;
fr[i] = qr + tr; //sagalsno jednacini (6)
fi[i] = qi + ti;

```

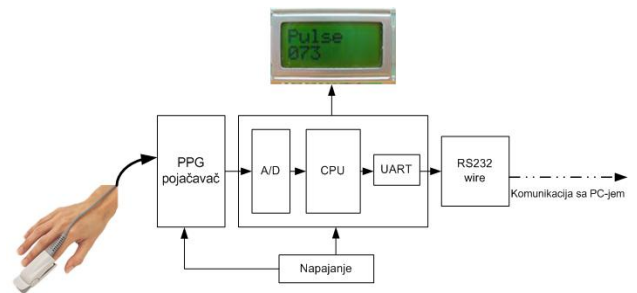
```

FIX_MPY(DDEST,A,B)
DEST = ((long)(A) * (long)(B))>>15
fixed fix_mpy(fixed a, fixed b)
{
    FIX_MPY(a,a,b);
    return a;
}

```

### 3. MJERENJE PULSA UPOTREBOM MIKROKONTROLERA

Blok dijagram hardverskog dijela sistema za praćenje pulsa je dat na slici 4. Sastoji se od analognog »front-enda«, mikrokontrolera i komunikacionog modula. Analogni »front end« sadrži kola za detekciju i pojačanje PPG signala. Analogni dio kao i digitalni se napaja unipolarno (+5V-0V). Akviziciju signala i njihovu pred-obradu obavlja mikrokontroler, koji ujedno komunicira sa udaljenim hostom posredstvom svog UART-a. Kao mikrokontroler upotrijebljen je ATMEL-ov RISC ATmega16 ili ATmega32 koji predstavlja savremeni 8-bitni mikroprocesor sa maksimalnim stepenom integracije i minimalnom strujnom potrošnjom (ispod 2mA u aktivnom stanju, 0.5mA u stand-by) [4]. Ovaj kontroler faktički predstavlja »sistem u u jednom čipu« čime je maksimalno pojednostavljena digitalizacija analognih signala i njihova pred-obrada (filtriranje, ekstrakcija karakteristika i implementacija FFTa).



Slika 4: Arhitektura hardverskog dijela mjernog uređaja.

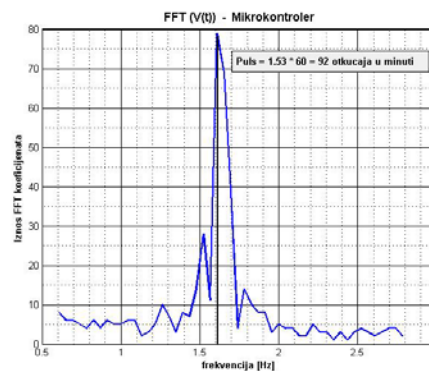
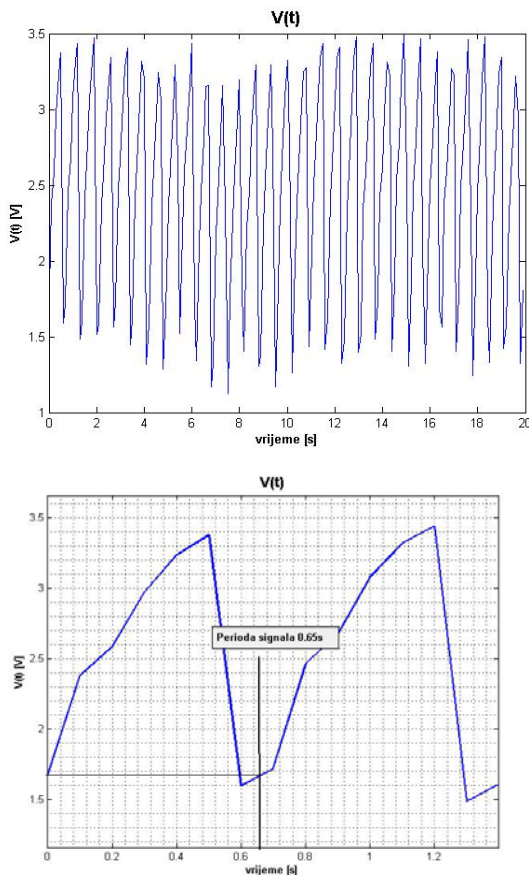
PPG pojačavač je, takođe, dizajniran na bazi standardnih jeftinih operacionih pojačavača, a kao sensor iskoristena je Finger kombinacija Nelkor DS-100A, slika 4. Cjelobrojne vrijednosti vremenskog signala, FFT odbiraka, ili samo izračunatog pulsa se prosledjuju prema PC-ju posredstvom serijskog porta gdje ih prihvata Matlab softverski interfejs i obradjuje u realnom vremenu. Kod autonomnog uređaja vrijednost pulsa se ispisuje na alfanumeričkom displeju.

## 5. REZULTATI TESTIRANJA

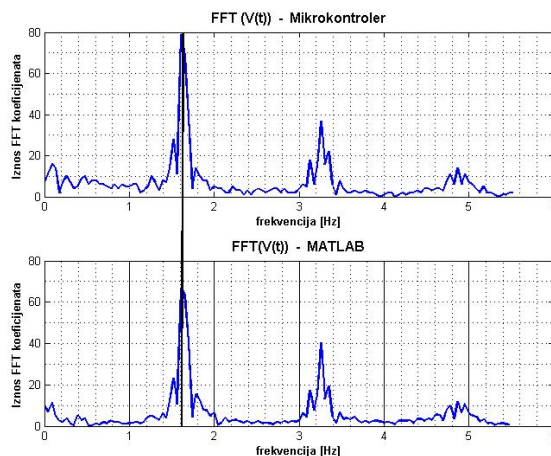
Realizacija uređaja i procedure testiranja obavljene su u Laboratoriji za primijenjenu elektroniku, ETFa u Podgorici. Koristili smo mikrokontrolere opšte namjene iz ATMElove AVR familije i to bez dodatne (spoljašnje) memorije. Algoritmi iz sekcije 2 su implementirani u »C-u« koristeći *CodeVision AVR Compiler* uz optimizaciju po brzini. Kontroler sa najvećom RAM memorijom bio je ATmega32, 8-16MHz, 2048Byta RAMa. Dobijeni signal je digitalizovan pomoću ugrađenog 10bitnog A-D konvertora. Frekvencija odabiranja je podešena na 10Hz. Slika 5 a) daje vremenski oblik 256 odbirka PPG signala odabranog sa 10Hz. Na slici 5 b) je dat isti signal zumiran u cilju ocjene periode ponavljanja PPG impulsa, dok slika 5 c) daje dio frekventnog spektra istog signala iz kojeg se utvrđuje vrijednost pulsa u Hz, a potom i u otkucajima/min ( $60 \cdot \text{frek}(\text{Hz})$ ).

Da bismo uporedili tačnost predloženog PFFT algoritma, isti vremenski signal je obradjen u Matlabu pomoću funkcije *fft*. Poslije skaliranja frekventnih osa rezultati su upoređeni gdje se vidi veoma dobro poklapanje spektralnih krivih i pikova, slika 6.

Mikrokontroler ATmega32 na 8MHz za izračunavanje frekventnog spektra od 256 tačaka potroši 210ms, dok se za 128 tačaka to vrijeme smanjuje na 94ms. U prvom slučaju okupira „Data stack“ od 1106 Byta, a u drugom od 594. Treba napomenuti da je funkcija traženja pika u frekventnom spektru takodje napravljena u mikrokontroleru, tako tako da isti može samo ispisati vrijednost pulsa na displeju, što čini sistem potpuno autonomnim.



Slika 5: a) Vremenski oblik ulaznog PPG signala., b) perioda ulaznog PPG signala, c) dio frekventnog spektra



Slika 6: Poređenje sa Matlab-om.

## 6. ZAKLJUČAK

U radu se prikazuje način mjerenja srčanog pulsa iz PPG signala pomoću mikrokontrolera opšte namjene. Za tu svrhu je projektovan potreban hardver i softver. FFT je prilagodjena cjelobrojnoj integer aritmetici adaptacijom radix-2 DIT algoritma. Pristup je testiran na realnim signalima i pored tačnosti pokazao je izvanrednu otpornost na šum.

## LITERATURA

- [1] R. Stojanovic, D. Karadagic, A LED-LED-based photoplethysmography sensor, *Physiological Measurement*, Volume 28, Number 6, June 2007, pp. N19-N27(1).
- [2] J.W. Cooley and J.W. Tukey, "An algorithm for the machine calculation of complex fourier series," *Math. Comp.*, vol. 19, pp. 297–301, April 1965.
- [3] J.G. Proakis and D.G. Manolakis, *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, second edition, 1992.

[4] [www.atmel.com](http://www.atmel.com)

**ZAHVALNOST:** Rad je pomognut projektom „Novi koncept u razvoju WHC sistema“, finansiranim od strane Ministarstva za prosvjetu i nauku Crne Gore



## PRIMJER DIZAJNA ANALOGNOG KOLA ZA DETEKCIJU EKG SIGNALA AN EXAMPLE OF THE DESIGN OF ANALOG CIRCUIT FOR DETECTION OF ECG SIGNAL

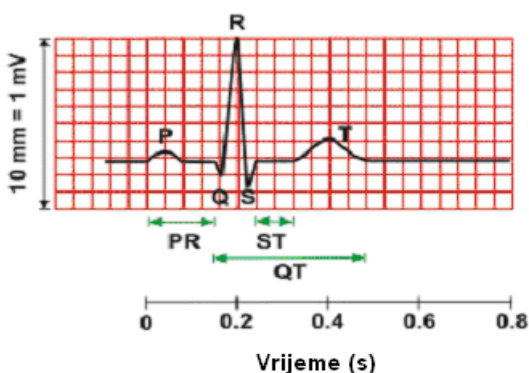
Nevena Vukčević, Radovan Stojanović, Nedjeljko Lekić  
Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica

**Sadržaj** – Rad sadrži teorijski i praktični dio. U teorijskom dijelu se objašnjavaju pojmovi vezani za elektrokardiografski (EKG) signal. U praktičnom dijelu rada se elaborira realizacija EKG pojačavača baziranog na savremenim instrumentacionim pojačavačima iz INA serije. Demonstrira se uticaj kola na eliminaciju šuma proisteklog od pojačanja srednje vrijednosti signala. Predloženi pojačavač je idealan kao analogni “front-end” za mikrokontrolerske i digitalne sisteme u sistemima daljinskog monitoringa pacijenta. Unipolarno je napajan ima malu potrošnju i odličan odnos signal/šum. Prikazuje se i primjer povezivanja datog pojačavača na mikrokontroler opšte namjene. Priloženi su dijagrami dobijenih signala u procesu eksperimentalnog testiranja.

**Abstract** – This work is consisted of theoretical and practical part. In theoretical part it is briefly resolved how the ECG signal is developed and some characteristics of the signal. In practical part of work we presented the realization of ECG amplifier based on modern instrumentation amplifier from INA series. It is also demonstrated the affect of circuit due to the elimination of the noise, which cause the amplification of mean value of signal. The suggested amplifier is ideal like analog “front-end” amplifier for microcontroller and digital systems for remote monitoring of the patients. It is single supplied and has very low dissipation and excellent signal to noise (S/N) ratio. Also are attached the diagrams which are obtained in the process of experimental testing..

### 1.UVOD

EKG (Elektrokardiogram) predstavlja elektro-fiziološki signal kojim se reprezentuju električni impulsi srca. Njime se opisuje električna aktivnost srca, veličina i pozicija komora, prisutnost problema u njegovom radu itd. Tipičan oblik EKG signala prikazan je na slici 1.



Slika 1: Tipičan izgled EKG signala.

Signal se obično prikazuje na horizontalnoj skali od 25 mm/sec, a u vertikalnom pravcu je 1 mV = 10 mm. Danas gotovo da ne postoji „papirna podjela“ imajući u vidu primjenu moćne grafičke interpretatore (kod računara). EKG se dobija kao zbir signala dobijenih sa raznih pozicija na ljudskom tijelu i rezultat je procesa depolarizacije i repolarizacije ćelija srca. Stanje ćelija se početno smatra polarizovanim, gdje je unutrašnjost ćelije negativno polarizovana u odnosu na spoljašnjost. U procesu polarizacije učestvuju joni potasijuma i sodijuma. Prilikom pumpanja

srca, povećava se permeabilnost zidova ćelija tako da pozitivno polarisani joni sodijuma ulaze unutar ćelije i ona brzo dostiže elektro-neutralno stanje i na kraju se i pozitivno polarise u odnosu na spoljašnjost. Poslije eksitacije, ćelija se repolarizuje i vraća unutrašnji potencijal na negativnu vrijednost. Na račun fluksa jona u ćelijama, stvara se potencijalna razlika što ima za posledicu protok jonske struje u tijelu. Ova električna aktivnost se širi kroz čitavo tijelo i može se mjeriti sensorima koji pretvaraju jonske struje tijela u elektronski ekvivalent, čime se omogućava njihovo pretvaranje na napon a samim tim i mjerenje.

Klasična EKG aparatura podrazumjeva korištenje 12 – 15 EKG elektroda raspoređenih na grudnom košu pacijenta, na rukama i desnoj nozi, pomoću specijalnih adhezivnih pumpica ili različitih elektroda. Međutim, za otkrivanje većine srčanih problema, dovoljno je koristiti samo 3 ili pak dvije elektrode („ground free“).

Najčešće se mjeri razlika potencijala desne i lijeve ruke (Lead II Sistem). Ova razlika je tipično u opsegu 1-3 mV (maksimalno 10 mV), a najznačajniji dio spektra EKG signala se kreće od 0.02 Hz do 150 Hz. Po specifikacijama za EKG aparaturu, trebalo bi omogućiti mjerenje za frekvencije i do 1 KHz, međutim veći frekvencijski opseg zahtjeva i složenija kola filtriranja zbog većeg opsega djelovanja šuma.

Na osnovu pozicija, amplituda i rastojanja karakterističnih P-Q-R-S-T tačaka, određuje se diagnostika rada srca. U telemedicinskim uslovima monitoringa, uzevši u obzir tehnička ograničenja, najčešće se postavljaju pragovi alarma za rastojanja RR, QRS i QT.

Na ETFu u Podgorici, Laboratoriji za primijenjenu elektroniku, u posljednjih nekoliko godina su aktuelna istraživanja čiji je glavni cilj razvoj jeftinih sistema za daljinski monitoring medicinskih signala. Trenutno je aktuelan projekat kojeg finansira Ministarstvo prosvete i

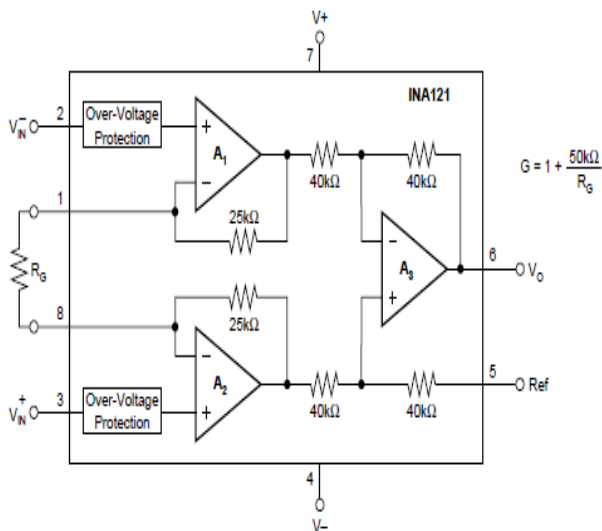
nauke, a koji nosi naslov „Novi koncept u razvoju WHC sistema“ (Wearable Health Care). Cilj je razvoj minijaturnog, niskopotrošačkog i prenosnog sistema za detekciju vitalnih znaka pacijenta kao što s EKG, SpO<sub>2</sub> izražen kroz PPG signal (Photoplethysmograph), krvni pritisak, srčani ritam i ritam disanja, itd. Dobijeni podaci se prenose do udaljenog doktora bežičnim putem (GSM, GPRS..).

Jedan od sastavnih sklopova ovog uređaja jeste i EKG pojačavač, i to takav da se može jednostavno priključiti na mikroprocessorske ili računarske sisteme (Laptopove i PDA uređaje). To prije svega znači njegovo unipolarno napajanje (0-5V) i izuzetno malu potrošnju. Sa druge strane mora biti maksimalno osjetljiv, uz ekstremno diferencijalno pojačanje i visok CMRR (Common Mode Rejection Ratio). Takav pristup je testiran u sklopu datog diplomskog rada.

Nastavak rada je organizovan na sledeći način: u sekciji 2 se izlaže arhitektura predloženog rešenja. Sekcija 3 daje rezultate preliminarnog testiranja. Na kraju slijede zaključak i spisak korištene literature.

## 2. PREDLOŽENO REŠENJE EKG POJAČAVAČA

Razvijeni pojačavač se bazira instrumentacioni pojačavač veoma visoke tačnosti INA 121 (BURR-BROWN), slika 2. INA 121 posjeduje FET ulaze, a potrošnja mu je veoma mala (<0.5mA). Sadrži tri operaciona pojačavača i veoma je malih dimenzija. Ulazna struja polarizacije mu je +/- 4pA sa ekstremno visokom ulaznom impedansom. Pojačanje mu može biti podešeno od 1V do 10,000V/V upotrebom samo jednog spoljašnjeg otpornika. Posjeduje i kolo ulazne zaštite opsega +/- 40V. INA 121 je laserski trimovan instrumentacioni pojačavač sa veoma malim naponskim ofsetom +/- 200uV i malim driftom +/- 2uV/°C i visokim faktorom potiskivanja srednje vrijednosti CMRR od oko 106dB pri pojačanju G=100. Ima širok opseg napajanja počevši od +/- 2.25V (+4.5V), što omogućava rad u sistemima napajanim sa 0-5V.



Slika 2: Principijelna šema instrumentacionog pojačavača INA121.

Eksterni otpornik  $R_G$  definiše diferencijalno pojačanje pojačavača koje iznosi:

$$G_1 = 1 + \frac{50 K}{R_G} \quad (1)$$

Šema EKG kola baziranog na bazi datog instrumentacionog pojačavača je data na slici 3. Kolo se unipolarno napaja naponom 0-5V, zbog čega je virtuelna masa podešena na +2.5V pomoću otporničkog djelitelja i buffera LM324A. Ulazi instrumentacionog pojačavača su jednosmjerno pomjereni na +2.5V pomoću otpornika 10M. Otpornik  $R_G$  je izabran na 4K (2K+2K) tako da je pojačanje ulaznog stepena  $G_1=13.5$ . Propusnik visokih učestanosti po oba ulaza je realizovan pomoću RC para (10M i 0.1uF) i graničnom učestanošću:

$$f_H = \frac{1}{2 \pi 10 M 0.1 \mu F} = 0.15 \text{ Hz} \quad (2)$$

Drugi stepen pojačavača čini invertujući pojačavač realizovan pomoću LM324B. Isti pojačavač služi i kao filter propusnik opsega učestanosti sa sledećim karakteristikama:

$$G_2 = - \frac{1.5 M}{33 K} = 45.5 \quad (3)$$

Pojačanje na ravnom dijelu karakteristike i donjom i gornjom graničnom učestanošću:

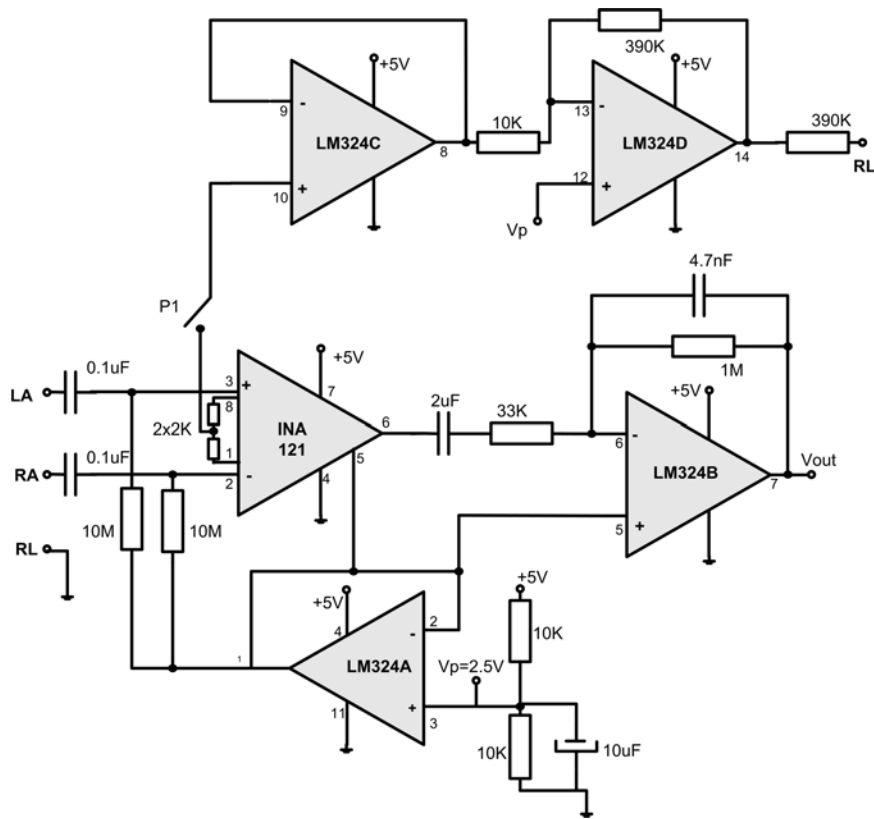
$$f_{III} = \frac{1}{2 \pi 33 K 2 \mu F} = 2.4 \text{ Hz} \quad (4)$$

$$f_{III} = \frac{1}{2 \pi 1.5 M 4.7 nF} = 22 \text{ Hz} \quad (5)$$

Strmina ovog filtra iznosi 20dB/dec, a ukupno pojačanje EKG pojačavača uzimajući u obzir prvi i drugi stepen iznosi:

$$G = -G_1 G_2 = -614.25 \quad (6)$$

Dio kola koji se sastoji od operacionih pojačavača LM324C i LM324D služi za dodatno potiskivanje srednjeg pojačanja. Poznato je da instrumentacioni pojačavač osim diferencijalnog signala pojačava i signal srednje vrijednosti. Da bi se taj signal dodatno neutralisao vraće se invertovan i pojačan na desnu nogu pacijenta. Prekidačem P1 bira se mod rada EKG pojačavača, bez kola za potiskivanje srednje vrijednosti i sa kolom za potiskivanje srednje vrijednosti. Signali sa desne i lijeve ruke se respektivno dovode na RA i LA.

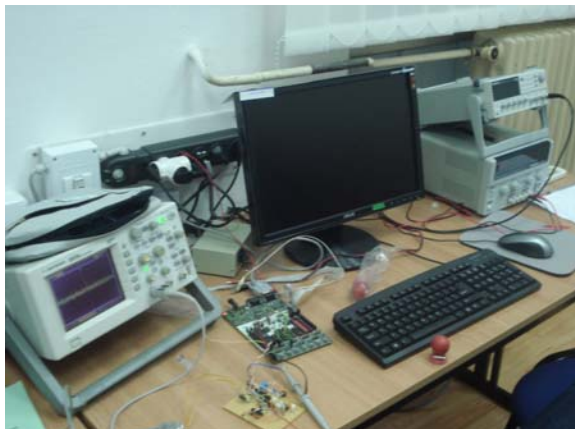


Slika 3 : Šema projektovanog EKG pojačavača.

### 3. PRELIMINARNI REZULTATI TESTIRANJA

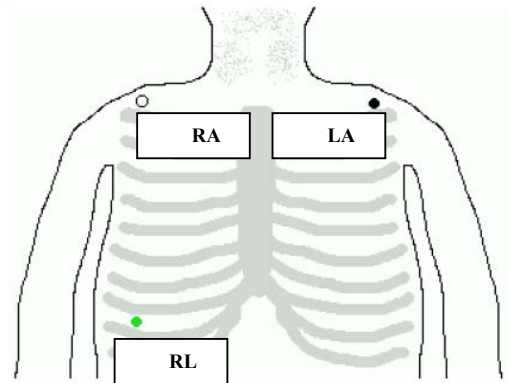
Realizovano kolo EKG pojačavača je testirano u Laboratoriji za elektroniku Elektrotehničkog Fakulteta u Podgorici. Montirano je na istoj pločici na kojoj se nalazi i PPG pojačavač. Ispitni set, slika 4, se sastojao iz:

- EKG pojačavača.
- Digitalnog Osciloskopa AGILENT DSO3102A.
- Izvora za napajanje pojačavača INSTEK GPS-3303.
- ECG skinkat elektroda.
- Mikrokontrolerskog kola za digitalizaciju signala sa pojačavača i njegovog prosledjivanja prema PC računaru.



Slika 4: Ispitni set.

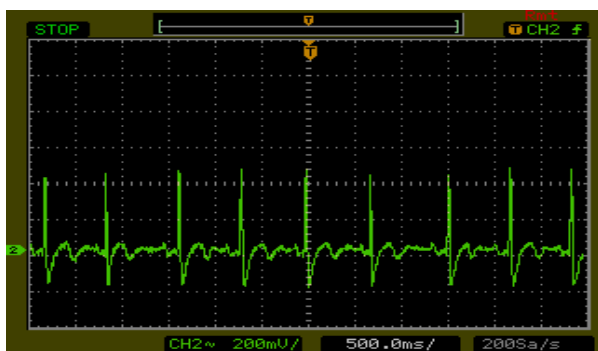
Elektrode su locirane u “Chest version of LEAD 2” konfiguraciji, slika 5. EKG je sniman od 23 godišnjeg studenta muškog pola.



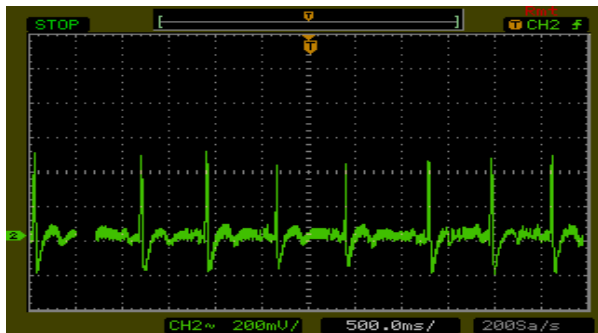
Slika 5: “Chest version of LEAD 2” konfiguracija.

Dijagrami na slici 6 (a,b) prikazuju vremenske dijagrame signala dobijene za stanje zatvorenog i otvorenog prekidača. Kao što se vidi, kolo za eliminaciju smetnji znatno poboljšava kvalitet signala. Takođe, tokom testiranja pojačavač je pokazao odličnu funkcionalnost.





a) Prekidač P1 zatvoren.

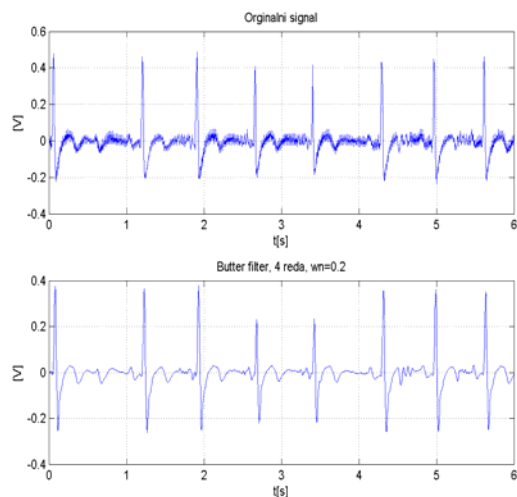


b) Prekidač P1 otvoren.

**Slika 6:** Vremenski dijagrami signala dobijeni za stanje zatvorenog i otvorenog prekidača.

Originalni signal je filtriran i softverskim putem upotrebom MATLAB-a i to u realnom vremenu primjenom funkcija za upravljanje serijskim portom iz Instrumentacionog Toolboxa. Signal je odabran sa 100Hz i prosljedjen brzinom 19200bps. Potrebno je napomenuti da se "callback" funkcija mora završiti prije dolaska narednog framea.

Uzimajući u obzir visoku optimizovanost Matlab funkcija u odnosu na brzinu njihovog izračunavanja, dosta složeno post-procesiranje signala se može izvršiti na ovaj način. Primjer je prikazan na slici 7, gdje je signal sa slike 6 b) filtriran primjenom NF Butterworth-ovog filtra četvrtog ( $N=4$ ) reda granične učestanosti  $w_n = 0.2$  (što odgovara 40 Hz). Kao što se vidi na slici 25 signal je filtriran na način što je značajno uklonjen šum od 50 Hz.



**Slika 6:** Originalni signal filtriran upotrebom MATLAB-a.

### 3. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan EKG pojačavač podesan za telemedicinske uređaje. Veoma je jeftin i posjeduje zadovoljavajući odnos signal/šum i malu potrošnju. Pored detaljne šeme i analize, priloženi su dijagrami dobijenih signala u procesu eksperimentalnog testiranja. Budući rad biće orijentisan na integraciji datog pojačavačkog kola u prenosni telemedicinski uređaj.

### 4. LITERATURA

- [1] N. Townsend, Medical Electronics, University of Oxford, [http://www.robots.ox.ac.uk/~neil/teaching/lectures/med\\_elec/lecture6.pdf](http://www.robots.ox.ac.uk/~neil/teaching/lectures/med_elec/lecture6.pdf).
- [2] John G. Webster, Medical Instrumentation: Application and Design, 3rd edition, John Wiley & Sons, New York, 1998.
- [3] Joseph D. Bronzino, Biomedical Engineering Handbook, CRC; 2 edition, Vol I, II, 2000.
- [4] Goran Stojanovic, Medicinska Elektronika, Univerzitet u Novom Sadu, 2005.
- [5] [www.chipcatalog.com/TI/INA121.htm](http://www.chipcatalog.com/TI/INA121.htm)

**ZAHVALNOST:** Rad je pomognut projektom „Novi koncept u razvoju WHC sistema“, finansiranim od strane Ministarstva za prosvjetu i nauku Crne Gore

## PROCENA FUNDAMENTALNE FREKVENCIJE GOVORNOG SIGNALA KOMPRIMOVANOG MP3 ALGORITMOM ESTIMATION FUNDAMENTAL FREQUENCY OF THE SPEECH SIGNAL COMPRESSED BY MP3 ALGORITHM

Zoran Milivojević, *Visoka tehnička škola, Niš, Srbija.*  
Slađana Milivojević, *Aerodrom Car Konstantin, Niš, Srbija.*

**Sadržaj** - U ovom radu analizirana je preciznost procene fundamentalne frekvencije kod signala komprimovanih MP3 algoritmom. U prvom delu rada prikazan je algoritam procene fundamentalne frekvencije sa PCC interpolacijom. U drugom delu rada prikazani su rezultati testiranja i izvršena komparativna analiza sa rezultatima dobijenih kod nekomprimovanih signala.

**Ključne reči:** Procesiranje govora; Kompresija govora; Fundamentalna frekvencija.

**Abstract** - In this paper the precision of a fundamental frequency estimation on signals compressed by MP3 algorithm is analyzed. In first part of this paper the algorithm of the fundamental frequency evaluation by PPC interpolation is showed. In second part, the results of a test and comparative analyze with results attained with non-compressed signals are shown.

**Keywords:** Speech processing; Signal representation; Fundamental frequency.

### 1. UVOD

Trend rasta multimedijalnih komunikacija nametnuo je potrebu za arhiviranjem i prenosom audio vizuelnih informacija. Količina podataka koju je potrebno arhivirati ili preneti je vrlo velika [1,2]. Na primer, audio zapis u stereo tehnici pri frekvenciji smplovanja  $f_s=44.1$  kHz je kapaciteta 10.584 MB/s. Prenos ovolikog broja bitova je vrlo spor proces čak i kod vrlo brzih prenosnih medijuma. Zbog toga se javila potreba za razvojem kompresionih tehnika. Pojavio se veći algoritama za kompresiju audio signala. Najviše primenjivan je MP3 algoritam kod koga je stepen kompresije 1:12. Sa ovakvim odnosom kompresije bilo je moguće vršiti prenos i emitovanje digitalizovanog audio signala kao i njegov prenos multimedijalnim sistemima. Posebnu popularnost MP3 je stekao kod internet aplikacija [3].

MP3 je skraćeni naziv za algoritam za kodovanje koji je izveden iz standarda MPEG-1, Layer III, koji je razvijen od strane German technology group. Standardizovan je od strane ISO (**engl. International Standards Organization**) [3]. MP3 obavlja kompresione zadatke eliminišući redundansu, slično kao zip algoritam, uz dodatnu analizu uzoraka u audio signalu i njihovim upoređivanjem sa modelom koji opisuje mehanizme percepcije zvuka kod čoveka. Na taj način MP3 odbacuje veliku količinu informacija koja nije neophodna za reprodukciju razumljivog zvučnog signala. Veličina sačuvanih podataka predstavlja optimalan balans između veličine fajla i kvaliteta. Kao rezultat kompresije 3 minutni audio zapis se transformiše u 3 MB fajl. Kompakt disk od 640 MB može arhivirati 10-11 sata muzičkog materijala. Tehnički posmatrano MPEG-1 Layer III i MPEG-2 Layer III se deklariraju kao MP3 standard. MPEG-1 Layer III se koristi za 32, 44.1, i 48 kHz brzine smplovanja, dok je MPEG-2 Layer III za 16, 22.05, i 24 kHz brzine smplovanja. Proširenje standarda sa oznakom MPEG 2.5 koristi se za 8 i 11 kHz [3].

MP3 kompresioni algoritam zasniva se na kombinaciji nekoliko tehnika čija je funkcija maksimiziranje odnosa iz-

među doživljenog kvaliteta i potrebnog kapaciteta. Audio signal se deli na 32 frekventna podopsega. Nakon toga se primenjuje modifikovana diskretna kosinusna transformacija MDCT (**engl. Modified Discrete Cosine Transformation**). Procesom kvantizacije smanjuje se preciznost MDCT koeficijenta. Na dalje se signal procesira u skladu sa psihoakustičkim modelom. Ovaj model emulira percepciju čoveka, odnosno efekte maskiranja. Postoje dva različita maskirajuća efekta: a) frekventijsko, odnosno auditorno maskiranje (**engl. auditory masking**) i b) vremensko, odnosno privremeno maskiranje (**engl. temporal masking**) [3]. Frekventijsko maskiranje bazira se sledećoj osobini percepcije zvuka kod čoveka. Dva zvučna signala različitih frekvencija čovek čuje pojedinačno. Međutim, u slučaju kada je intenzitet jednog signala mnogo veći od intenziteta drugog, i kada su im frekvencije bliske, čovek čuje samo signal većeg intenziteta, odnosno dominantni signal. Ovaj efekat se bazira na činjenici da dolazi do promene psihoakustičke krive usled dominantnog signala. Zbog toga MP3 algoritam odbacuje podopseg koji je susedan opsegu gde je dominantan signal, i u kome se nalazi informacije koje čovek ne bi mogao da čuje. Vremenski privremeno maskiranje bazira se na činjenici da neposredno pre i posle dejstva snažnog signala čovek ne registruje slabe signale. Ovde se radi o vremenskim opsezima od nekoliko ms. Nakon obrade signala saglasno psihoakustičkom modelu, odnosno perceptualnog kodiranja, vrši se Huffmanovo kodiranje. Ovim kodiranjem vrši se dodatno smanjenje za 20 %.

Veliki broj starih muzičkih i govornih snimaka je digitalizovan i komprimovan MP3 algoritmom, čime se stvaraju ogromne kolekcije dragocenog muzičkog materijala. U mnogim multimedijalnim aplikacijama javlja se potreba za dodatnim procesiranjem audio zapisa radi popravke kvaliteta, razumljivosti govora, verifikacije govornika i dr. Karakterističan primer je popravka kvaliteta govornog signala smanjenjem disonantnih frekvencija [4,5]. Kod procesiranjem muzičkog, a naročito govornog signala, javlja se potreba za određivanjem fundamentalne frekvencije. Razvijen je veliki

broj algoritama za određivanje fundamentalne frekvencije kod kojih se analiza vrši u vremenskom i frekvencijskom domenu [6-11].

Često primenjivana metoda određivanja fundamentalne frekvencije zasniva se na lociranju pikova (peaking peaks) amplitudske karakteristike u specificiranom frekvencijskom opsegu. Ovom metodom se analiziraju vrednosti signala u spektru na frekvencijama na kojima je izračunata diskretna Fourier-ova transformacija (**engl. Discrete Fourier Transform - DFT**). Najčešće se stvarna vrednost fundamentalne frekvencije ne nalazi na frekvencijama gde je izračunata DFT, već leži između dva odbirka. Time se prouzrokuje greška procene frekvencije koja se nalazi u intervalu  $[-(F_s/(2N)) \text{ Hz}, (F_s/(2N)) \text{ Hz}]$ , gde je  $F_s$  frekvencija odabiranja a  $N$  broj tačaka u kojima se izračunava DFT. Jedan način smanjenja greške je određivanje interpolacione funkcije i procena karakteristika spektra u intervalu između dva odbirka. Ovim postupkom se vrši rekonstrukcija spektra na osnovu DFT-a. Na dalje se parametri spektra određuju analitičkim postupcima (diferenciranje, integraljenje, ekstremne vrednosti,...). Izračunavanje interpolacione funkcije primenom parametarske kubne konvolucije (**engl. Parametric Cubic Convolution - PCC**) prikazano je u [12,13]. Specijalni slučaj PCC interpolacije koji se primenjuje u kompjuterskoj grafici nazvan je Catmull-Rom interpolacija [14]. Detaljna analiza procene fundamentalne frekvencije, kao i prednost PCC interpolacije, koja se prvenstveno ogleda u brzini određivanja parametara interpolacione funkcije, opisana je u radu [15]. U [16] prikazani su rezultati primene PCC interpolacije za određivanje fundamentalne frekvencije u uslovima primene nekih prozorskih funkcija kod obrade diskretnog govornog signala. Simulacionim postupcima vršene su analize efikasnosti algoritama pri čemu je, kao mera kvaliteta algoritma, korišćena srednja kvadratna greška (**engl. Mean Square Error - MSE**). Najbolje rezultate pokazao je algoritam sa implementiranom Blackman-ovom prozorskom funkcijom. Analiza efikasnosti algoritma u uslovima promenljivog odnosa signal/šum u prisustvu većeg broja značajnih harmonika fundamentalne frekvencije, prikazana u [17], potvrdila je efikasnost algoritma sa Blackman-ovom prozorskom funkcijom. U [18] vršena je analiza efikasnosti PCC interpolacionog algoritma za slučaj implementiranja Greville-ovog (G2D) dvoparametarskog kubnog konvolucionog jezgra. Određena je prozorska funkcija i izračunati parametri jezgra  $(\alpha, \beta)$  pri kojima je generisana minimalna srednjekvadratna greška (u odnosu na Catmull-Rom-ovo jezgro greška manja za 58.1%). U [19] prikazan je algoritam procene fundamentalne frekvencije kod govornog signala modeliranog SYMPES metodom. Algoritam je baziran na primeni PCC interpolacije sa Catmull-Rom-ovim jezgrom. Određena je optimalna vrednost parametara jezgra u zavisnosti od implementirane prozorske funkcije. Kao mera kvaliteta korišćena je srednja kvadratna greška. Detaljna analiza pokazala je da je greška procene najmanja kod primene Kaiser-ovog prozora. U [20] prikazana je procena fundamentalne frekvencije kod govornih signala modeliranih SYMPES algoritmom pomoću 3D jezgra.

U nastavku rada prikazani su rezultati procene fundamentalne frekvencije govornih signala arhiviranih MP3 algoritmom. Za procenu fundamentalne frekvencije primenjena je PCC interpolacija sa Catmull-Rom-ovim jezgrom. Na osnovu

minimalnih vrednosti MSE-a biće određeni optimalni parametri jezgra za slučaj implementiranja nekih karakterističnih prozorskih funkcija i izvršena komparativna analiza sa rezultatima iz [18] gde je vršena analiza procene fundamentalne frekvencije kod nekomprimovanih govornih signala.

Dalja organizacija rada je sledeća. U sekciji 2 opisan je PCC algoritam. U sekciji 2.1 definisano je Catmull-Rom-ovo interpolaciono jezgro. U sekciji 2.2 prikazan je algoritam određivanja optimalnih parametara jezgra. U sekciji 3 prikazani su numerički rezultati MSE-a kod procene fundamentalne frekvencije govornog signala komprimovanog MP3 algoritmom. Komparativna analiza rezultata zavisno od implementirane prozorske funkcije opisana je u sekciji 4. Sekcija 5 predstavlja zaključak.

## 2. PROCENA FUNDAMENTALNE FREKVENCIJE

Algoritam procene fundamentalne frekvencije prikazan je na sl.1. Algoritam se realizuje u nekoliko koraka:

*Korak 1:* Nad diskretnim signalom  $x(n)$ , primenom DFT-a izračunava se spektar:

$$X(k) = \text{DFT}(x(n)). \quad (1)$$

Spektar je izračunat u diskretnim vrednostima indeksiranim sa  $k=0, \dots, N-1$ , gde  $N$  predstavlja dužinu DFT-a. Realni spektar signala  $x(n)$  je kontinualan dok DFT određuje vrednosti spektra u pojedinim diskretnim tačkama.

*Korak 2:* primenom peak-picking algoritma određuje se pozicija maksimuma realnog spektra koji se nalazi između  $k$ -tog i  $(k+1)$ -og uzorka, pri čemu su vrednosti  $X(k)$  i  $X(k+1)$  najveće u specificiranom opsegu.

*Korak 3:* izračunava se pozicija maksimuma u spektru primenom parametarske kubne konvolucione (PCC) interpolacije. Rekonstruisana funkcija je:

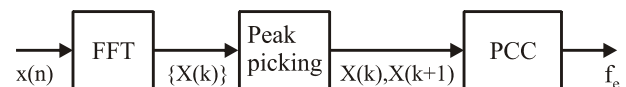
$$X_r(f) = \sum_{i=k-L}^{k+L+1} p_i r(f-i), \quad k \leq f \leq k+1, \quad (2)$$

gde je  $p_i = X(i)$ ,  $r(f)$  jezgro interpolacije, dok  $L$  određuje broj uzoraka koji učestvuju u intrpolaciji.

Kvalitet algoritma za procenu fundamentalne frekvencije određuje se prema MSE:

$$\text{MSE} = \overline{(f - f_e)^2}, \quad (3)$$

gde je  $f$  stvarna a  $f_e$  procenjena fundamentalna frekvencija.



Sl.1. Algoritam procene fundamentalne frekvencije.

### 2.1 Interpolaciono jezgro

U daljoj analizi primenjeno je Catmull-Rom-ovo interpolaciono jezgro:

$$r(f) = \begin{cases} (\alpha + 2)|f|^3 - (\alpha + 3)|f|^2 + 1, & |f| \leq 1, \\ \alpha|f|^3 - 5\alpha|f|^2 + 8\alpha|f| - 4\alpha, & 1 < |f| \leq 2, \\ 0, & \text{ostalo} \end{cases} \quad (4)$$

Maksimum rekonstruisane funkcije  $X_c(f)$  određuje diferenciranjem i izjednačavanjem sa nulom. Pozicija maksimuma je:

$$f_{\max} = \begin{cases} k - \frac{c}{2b}, & a = 0 \\ k + \frac{-b - \sqrt{b^2 - ac}}{a}, & a \neq 0 \end{cases}, \quad (5)$$

gde je:

$$\begin{aligned} a &= 2(\alpha p_{k-1} + (\alpha + 2)p_k - (\alpha + 2)p_{k+1} - \alpha p_{k+2}) \\ b &= -2\alpha p_{k-1} - (\alpha + 3)p_k + (2\alpha + 3)p_{k+1} + \alpha p_{k+2} \\ c &= -\alpha p_{k-1} - \alpha p_{k+1} \end{aligned} \quad (6)$$

Optimalna vrednost parametra  $\alpha$  određuje se tako da se dobije minimalna vrednost MSE:

$$\alpha_{\text{opt}} = \arg \min_{\alpha} (MSE), \quad (7)$$

Detaljna analiza u [15,16] pokazuje da je minimalna vrednost MSE zavisna od implementirane prozorske funkcije kojom se vrši obrada signala  $x(n)$  u vremenskom domenu. MSE je računato za: a) Hamming-ov, b) Hann-ov, c) Blackman-ov, d) pravougaoni, e) Kaiser-ov i f) trougaoni prozor.

## 2.2 Parametri interpolacionog jezgra

Algoritam određivanja parametra interpolacionog jezgara  $\alpha$  realizuje se sledećim koracima:

*Korak 1:* kontinualni vremenski signal  $s(t)$  uzorkuje se sa  $f_s$  i modifikuje prozorskom funkcijom dužine  $N$ ,

*Korak 2:* primenom DFT-a određuje se spektar  $X(k)$ ,

*Korak 3:* primenom PCC interpolacije vrši se rekonstrukcija kontinualne funkcije koja predstavlja spektar  $X(f)$ ,

*Korak 4:* računa se MSE za razne vrednosti parametra  $\alpha$  u zavisnosti od implementirane prozorske funkcije.

*Korak 5:* određuje se  $\alpha_{\text{opt}}$  za koje se dobija minimalna vrednost MSE.

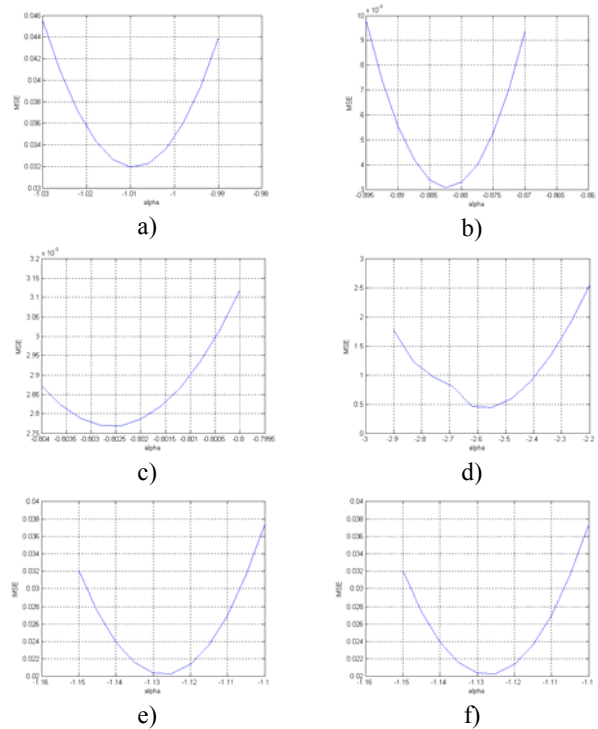
## 3. NUMERIČKI REZULTATI

Algoritam procene fundamentalne frekvencije biće primenjen nad simulacionim signalom nad kojim je izvršeno komprimovanje MP3 algoritmom. Nakon toga će dobijeni rezultati biti upoređeni sa simulacionim signalom nad kojim nije vršeno nikakvo procesiranje (originalni signal, OS) [18]. Simulacioni signal za testiranje PCC algoritma definisan je u [15]:

$$s(t) = \sum_{i=1}^K \sum_{g=1}^N a_i \sin \left( 2\pi i \left( f_0 + g \frac{f_s}{NK} \right) t + \theta_i \right), \quad (8)$$

gde je  $f_0$  fundamentalna frekvencija,  $\theta_i$  i  $a_i$  faza i amplituda  $i$ -tog harmonika,  $K$  broj harmonika,  $N$  broj tačaka između dva uzoraka u spektru u kojima se vrši PCC interpolacija. U procesu simulacije  $f_0$  i  $\theta_i$  su slučajne promenljive sa uniformnom raspodelom u opsegu [G2 (97.99 Hz), G5 (783.99

Hz)] i  $[0, 2\pi]$  respektivno. Frekvencija signala uzorkovanja je  $f_s = 16$  kHz a dužina prozorske funkcije  $N = 512$  čime je obezbeđena analiza podsekvenci koje traju 32 ms. Rezultati koji su prezentirani u daljem delu rada odnose se na  $f_0 = 187.5$  Hz,  $K = 1$  i  $N = 100$ . Primenjujući algoritam za određivanje parametara Greville-ovog interpolacionog jezgra nacrtani su dijagrami  $MSE(\alpha)$  i određene vrednosti  $\alpha_{\text{opt}}$  za: a) Hamming-ovu (sl.2.a,  $\alpha_{\text{opt}} = -1.01$ ), b) Hann-ovu (sl.2.b,  $\alpha_{\text{opt}} = -0.8825$ ), c) Blackman-ovu (sl.2.c,  $\alpha_{\text{opt}} = -0.8024$ ), d) pravougaonu (sl.2.d,  $\alpha_{\text{opt}} = -2.55$ ), e) Kaiser-ovu (sl.2.e,  $\alpha_{\text{opt}} = -1.125$ ) i f) trougaonu (sl.2.f,  $\alpha_{\text{opt}} = -1.028$ ) prozorsku funkciju.



**Sl.2.**  $MSE(\alpha)$  za slučaj primene: a) Hamming-ovog, b) Hann-ovog, c) Blackman-ovog, d) pravougaonog, e) Kaiser-ovog i f) trougaonog prozora kod PCC interpolacije sa Catmull-Rom -ovim jezgrom.

## 4. KOMPARATIVNA ANALIZA

Komparativna analiza preciznosti procenjene fundamentalne frekvencije između OS signala bez procesiranja (rezultati prikazani u radu [18]), i signala komprimovanog MP3 algoritma biće izvršena na osnovu minimalne vrednosti MSE. Minimalne vrednosti MSE određene su na osnovu dijagrama sa sl.2, i prikazane u tbl.1 ( $\alpha_{\text{CRMP3min}}$ ,  $MSE_{\text{CRMP3min}}$ ).

**Tbl.1** Minimalna vrednost MSE i  $\alpha_{\text{opt}}$  sa primenjenim Catmull-Rom -ovim jezgrom za osnovni signal i MP3 kompresiju.

Window	OS		MP3	
	$\alpha_{\text{CRopt}}$	$MSE_{\text{CRmin}}$	$\alpha_{\text{CRMP3opt}}$	$MSE_{\text{CRMP3min}}$
Hamming	-1.005	0.023	-1.0100	0.0320
Hanning	-0.885	0.004	-0.8825	0.0031
Blackman	-1.801	0.001	-0.8024	0.0028
Rectangular	-2.61	0.515	-2.5500	0.4388
Kaiser	-1.125	0.02	-1.1250	0.0203
Triangular	-1.028	0.0028	-1.0280	0.0068

Upoređujući vrednosti MSE iz tbl.1 zaključuje se da:

a) optimalni izbor kod signala komprimovanog MP3 algoritmom je Blackman-ova prozorska funkcija ( $\alpha_{opt} = -0.8024$ ,  $MSE_{CRMP3min} = 0.0028$ ),

b) optimalni izbor nekomprimovanog signala je Blackman-ova prozorska funkcija ( $\alpha_{opt} = -1.801$ ,  $MSE_{CRmin} = 0.001$ ),

c) PCC algoritam generiše 2.8 puta veće MSE kod kod procene fundamentalne frekvencije.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu analizirani su rezultati procene fundamentalne frekvencije govornog signala komprimovanog MP3 algoritmom. Procena fundamentalne frekvencije vršena je Peaking-Peaks algoritmom sa implementiranjem PCC interpolacijom. Eksperimenti su vršeni sa Catmull-Rom-ovim jezgrom. U cilju minimiziranja MSE-a implementirane su neke prozorske funkcije. Detaljna analiza pokazala je da je optimalan izbor Blackman-ova prozorska funkcija. Poređenjem dobijenih rezultata sa rezultatima procene fundamentalne frekvencije kod govornog signala koji nije komprimovan dobijen je odnos minimalnih MSE-a 2.8. Ovaj rezultat navodi na zaključak da naknadna procesiranja govornih signala algoritmima koji su bitno zavisi od preciznosti procene fundamentalne frekvencije, kao što je pravka kvaliteta govornog signala filtriranjem disonantnih harmonika, neće dati zadovoljavajuće rezultate.

## LITERATURA

- [1] K. Brandenburg, G. Stoll, Y.F. Dehery, J.D. Johnston, L.V.D. Kerkhof, and E.F. Schroeder, *The ISO/MPEG Audio Codec: A Generic Standard for Coding of High Quality Digital Audio*, 92nd. AES-convention, Vienna 1992, preprint 3336.
- [2] ISO/IEC 13818-3, Information Technology. *Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio: Audio*. International Standard (1994).
- [3] Scot Hacker, *MP3: The Definitive Guide*, Published by O'Reilly & Associates, Inc., 101 Morris Street, Sebastopol, CA 95472, 2000.
- [4] B. Joen, S. Kang, S.J. Baek, K.M. Sung, "Filtering of a Dissonant Frequency Based on Improved Fundamental Frequency Estimation for Speech Enhancement", *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol. E86-A, No. 8, pp. 2063-2064, August 2003.
- [5] S. Kang, "Dissonant frequency filtering technique for improving perceptual quality of noisy speech and husky voice", *IEEE Signal Processing*, 84, pp. 431-433, 2004.
- [6] B.C. Lovell, R.C. Williamson, "The statistical performance of some instantaneous frequency estimator", *IEEE Trans. Signal Processing*, Vol. 40, No. 7, July 1992, pp. 1708-1723.
- [7] L. Qiu, H. Yang, S.N. Koh, "Fundamental frequency determination on instantaneous frequency estimation", *IEEE Signal Processing*, Vol. 44, pp. 233-241, 1995.
- [8] S.C. Sekhar, T.V. Sreenivas, "Effect of interpolation on PWVD computation and instantaneous frequency estimation", *IEEE Signal Processing*, Vol. 84, pp. 107-116, 2004.
- [9] P. Rao, A. Barman, "Speech formant frequency estimation: evaluating a nonstationary analysis method", *IEEE Signal Processing*, Vol. 80, pp. 1655-1667, 2000.
- [10] Z.M. Hussain, B. Boashash, "Adaptive instantaneous frequency estimation of multicomponent signals using quadratic time-frequency distributions", *IEEE Trans. Signal Process.* 50 (8), 1866-1876, 2002.
- [11] A. Kacha, F. Grenez, K. Benmahammed, "Time-frequency analysis and instantaneous frequency estimation using two-sided linear prediction", *IEEE Signal Processing*, Vol. 85, pp. 491-503, 2005.
- [12] R.G. Keys, "Cubic convolution interpolation for digital image processing", *IEEE Trans. Acoust., Speech & Signal Process.*, Vol. 29, No. 6, pp. 1153-1160, Dec. 1981.
- [13] K.S. Park, R.A. Schowengerdt, "Image reconstruction by parametric cubic convolution", *Computer Vision, Graphics & Image Processing*, Vol. 23, pp. 258-272, 1983.
- [14] E. Meijering, M. Unser, "A Note on Cubic Convolution Interpolation", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 12, No. 4, pp. 447-479, April 2003.
- [15] H.S. Pang, S.J. Baek, K.M. Sung, "Improved Fundamental Frequency Estimation Using Parametric Cubic Convolution", *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol. E83-A, No. 12, pp. 2747-2750, Dec. 2000.
- [16] Z. Milivojević, M. Mirković, P. Rajković, "Estimating of the fundamental frequency by the using of the parametric cubic convolution interpolaton", *International Scientific Conference UNITECH '04*, Session: Electronics and Communication Engineering, pp. 138-141, Gabrovo, Bulgaria, 2004.
- [17] M. Mirković, Z. Milivojević, P. Rajković, "Performances of the system with the implemented PCC algorithm for the fundamental frequency estimation", *XII Telecommunications Forum TELFOR '04*, Sec. 7. Signal processing, Beograd, 2004.
- [18] Z. Milivojević, M. Mirković, S. Milivojević, "An Estimate of Fundamental Frequency Using PCC Interpolation - Comparative Analysis", *Information technology and Control*, Vol. 35, No. 2, pp.131-136, 2006.
- [19] Z. Milivojević, M. Mirković, S. Milivojević, *Procena fundamentalne frekvencije govornog signala modeliranog potpisnim sekvencama*, ETRAN 07, Sekcija: Električna kola, Rad EK3.8, Herceg Novi, 2007.
- [20] Milivojević ZN, Mirković MDj., Estimation of the fundamental frequency of the speech signal modeled by the SYMPES method, *AEUE - International Journal of Electronics and Communications* 63 (2009), pp. 200-2008.



## ADAPTIVNI FRAKCIONI FIR DIFERENCIJATOR ADAPTIVE FRACTIONAL FIR DIFFERENTIATOR

Zoran N. Milivojević, Zoran Veličković, *Visoka tehnička škola, Niš, Srbija.*

**Sadržaj** – U ovom radu opisan je digitalni FIR diferencijator sa ne celim redom diferenciranja. U prvom delu rada određena je amplitudske karakteristike digitalnog diferencijatora i prikazana konstrukcija frakcionog FIR digitalnog diferencijatora frakcionim diferencnim metodom. U drugom delu rada opisana je primena frakcionog diferencijatora u sistemu za procenu reda diferenciranja nepoznatog diferencijatora.

**Ključne reči:** Frakciono izračunavanje; Frakciono diferenciranje; Adaptivni filter;

**Abstract** – This paper deals with a digital FIR differentiator with non integer derivation. The amplitude's characteristic of the digital differentiator is estimated and the construction of fraction FIR digital differentiator by fractional differential method is showed in first part of this paper. The application of the fractional differentiator in system for evaluation order differentiation of unknown differentiator is described in second part of this paper.

**Keywords:** Fractional calculus; Fractional derivative; Adaptive filter;

### 1. UVOD

Ideju diferenciranja funkcija sa ne celim redom diferenciranja prvi je izneo Leibniz 1695. god. u svojim polemičkim prepiskama sa L'Hospital-om [1]. U narednim dekadama teorija frakcionog diferenciranja i integraljenja (**engl.** *Fractional Calculus*, FC) razvijala je se prvenstveno kao teorijska oblast matematike [2]. Matematičari (Cauchy, Riemann, Liouville, Letnikov,...) su se u toku XIX veka bavili frakcionim diferencijalnim jednačinama, posebno frakcionim linearnim diferencijalnim jednačinama (**engl.** *Fractional order differential equations*, FODE) [3]. U drugoj polovini XX veka frakciono diferenciranje i integraljenje počinje da se primenjuje u drugim, inženjerskim oblastima nauke. Posebno je primenjeno kod automatske kontrole [4], teorije električnih mreža, elektromagnetne teorije [5], elektrohemije, bioinženjeringa [6], biologije (modeliranja neurona) [7], mehatronici i robotici, procesiranja slike i govora [8], geofizičkog procesiranja podataka i dr. Primena FODE omogućila je dublje razumevanje osobina materijala, fizičkih procesa i fenomena. Frakciona teorija je veliku primenu našla kod procesiranja slike. Za potrebe kompresije slike razvijen je veliki broj algoritama [9]. Kod algoritama za detekciju i izdvajanje ivica intenzivno se primenjuje celobrojni operator diferenciranja [10-12]. Osnovni principi diferenciranja sa ne celim redom diferencijalnog operatora kod detektovanja ivica prikazani su u [13]. U [12] prikazana je primena frakcionog diferenciranja kod detektovanja ivica kod slika kod kojih se luminansa menja prema paraboličnom zakonu i u prisustvu šuma.

Frakciono izračunavanje podrazumeva generalizaciju celog broja  $n$  u  $D^n f(x) = d^n f(x)/dx^n$  u realan broj  $\nu$  čime se dobija frakcioni operator  $D^\nu f(x)$ . Važna oblast kod frakcionog izračunavanja je implementacija frakcionog operatora  $D^\nu$  u kontinualnim i diskretnim vremenskim domenima. Implementiranje operatora  $D^\nu$  kod vremenski kontinualnih sistema podrazumeva primene metode interpolacije i fitovanja krivih.

Kod diskretnog domena razvijeno je nekoliko metoda za dizajniranje FIR i IIR filtera za implementiranje operatora  $D^\nu$ . Implementiranje operatora  $D^\nu$  znači projektovanje i realizaciju digitalnih integratora i diferencijatora [14] [15] sa realnim brojem  $\nu$ . U [16] prikazana je konstrukcija frakcionog Simpsonovog digitalnog integratora. Digitalni integrator je vrlo važan uređaj u oblasti kontrole, biomedicinskog inženjeringa i radara [17]. Korišćenje frakcionog kašnjenja je važno kod aplikacija kod digitalnih prijemnika, procesiranja signala iz mreže antena, kodiranja i sinteze zvuka, modeliranja muzičkih instrumenata i A/D konverzije [18].

U [19] opisan je dizajn FIR frakcionog diferencijatora sa promenljivim redom diferenciranja  $\nu$ . Određena je amplitudska karakteristika  $H(e^{j\omega}, \nu)$  koja aproksimira idealnu karakteristiku  $D(e^{j\omega}, \nu)$ . Opisana su dva metoda za određivanje koeficijenata  $H(e^{j\omega}, \nu)$  funkcije: a) frakcioni diferencijalni FD i b) WLS (**engl.** *weighted least squares*) metod. U drugom delu rada opisan je adaptivni frakcioni digitalni WLS diferencijator i opisana njegova primena kod procene parametara  $1/f$  šuma.

U nastavku rada opisana je matematička definicija amplitudske karakteristike digitalnog diferencijatora i prikazana konstrukcija frakcionog FIR digitalnog diferencijatora frakcionim diferencnim metodom. U drugom delu rada opisana je primena frakcionog diferencijatora u sistemu za procenu reda diferenciranja nepoznatog diferencijatora. Dobijeni rezultati upoređeni su sa rezultatima iz [19] gde je primenjen WLS diferencijator.

Organizacija rada je sledeća. U sekciji 2.1 prikazana je definicija digitalnog diferencijatora, a u sekciji 2.2 realizacija frakcionog FIR diferencijatora koji se bazira na frakcionom diferencnom metodu. U sekciji 3 opisan je adaptivni frakcioni diferencijator. U sekciji 3.1 prikazan je algoritam adaptacije a u sekciji 3.2 izvršena procena reda diferenciranja nepoznatog sistema. Sekcija 5 je zaključak.

## 2. DIGITALNI FIR DIFERENCIJATOR

### 2.1 Definicija digitalnog diferencijatora

Izvod kontinualnog vremenskog signala,  $x(t)$ , je određen prema:

$$y(t) = \frac{dx(t)}{dt}, \quad (1)$$

Signal  $x(t)$  može biti određen samo u diskretnim vremenima  $t=nT$ ,  $n=0,1,2,\dots$ , gde je  $T$  period semplovanja. Tada se može pisati:

$$y(t) = \left. \frac{dx(t)}{dt} \right|_{t=nT}. \quad (2)$$

Prema definiciji izvod funkcije  $y(t)$  u  $t=nT$  je:

$$y(t) = \lim_{T \rightarrow 0} \frac{x(nT) - x(nT - T)}{T}. \quad (3)$$

Zbog konačne vrednosti perioda semplovanja  $T$  nije moguće izračunati stvarnu, već se određuje aproksimativna vrednost prvog izvoda:

$$y(nT) = \frac{x(nT) - x(nT - T)}{T}. \quad (4)$$

Primenom Z-transformacije dobija se:

$$Y(z) = \frac{X(z) - X(z)z^{-1}}{T}. \quad (5)$$

Prenosna funkcija diferencijatora je:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{1 - z^{-1}}{T}. \quad (6)$$

Uz normalizaciju  $T=1$  dobija se:

$$H(z) = 1 - z^{-1}. \quad (7)$$

### 2.2 Frakcioni FD diferencijator

Prenosna funkcija frakcionog diferencijatora FD je [19]:

$$B(z) = (1 - z^{-1})^v = \sum_{k=0}^{\infty} \binom{v}{k} (-z^{-1})^k, \quad (8)$$

gde je  $v$  realan broj. Dalje se može pisati:

$$B(z) = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} w_k(v) z^{-k}, \quad (9)$$

gde  $w_k$  predstavlja koeficijente koji se računaju prema:

$$w_k(v) = (-1)^k \binom{v}{k} = \sum_{m=1}^k p(k, m) v^m. \quad (10)$$

Zamenom  $z=e^{j\omega}$  određuje se amplitudska karakteristika digitalnog diferencijatora reda  $v$ :

$$B(e^{j\omega}) = \left( 2j \sin \frac{\omega}{2} \right)^v e^{-j(v/2)\omega}. \quad (11)$$

Za male vrednosti frekvencije  $\omega$  može se izvršiti aproksimacija  $\sin(\omega/2) \rightarrow \omega/2$ , tako da (11) postaje:

$$B(e^{j\omega}) \approx (j\omega)^v e^{-j(v/2)\omega}. \quad (12)$$

Izraz (12) predestalja idealnu karakteristiku digitalnog frakcionog diferencijatora sa kašnjenjem  $I=v/2$ . Dizajn digitalnog frakcionog diferencijatora može biti u obliku IIR [18] i FIR sistema [14-15,19]. U nastavku rada analizira se digitalni FIR sistem čiji je dizajn opisan u [19] i koji se bazira na frakcionom diferencnom metodu.

Realizacija FIR filtra vrši se na osnovu (9) zaokruživanjem na dužinu  $M$ :

$$H(z, v) = 1 + \sum_{k=1}^M w_k(v) z^{-k}. \quad (13)$$

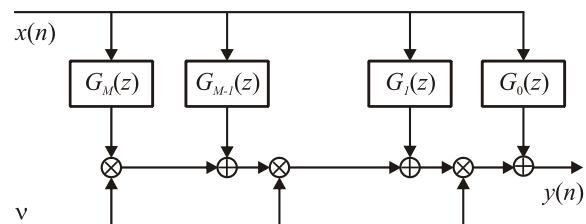
Zamenom (10) u (13) dobija se:

$$H(z, v) = 1 + \sum_{k=1}^M \left( \sum_{m=1}^k p(k, m) v^m \right) z^{-k}. \quad (14)$$

Promenom redosleda sumiranja dobija se:

$$\begin{aligned} H(z, v) &= 1 + \sum_{m=1}^M \left( \sum_{k=m}^M p(k, m) z^{-k} \right) v^m \\ &= G_0(z) + \sum_{m=1}^M G_m(z) v^m = \sum_{m=0}^M G_m(z) v^m \end{aligned} \quad (15)$$

Implementacija jedn. (15) prikazana je na sl.1.

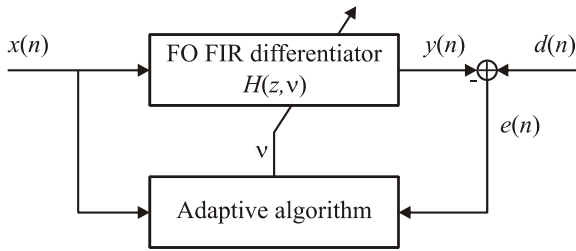


Sl.1. Digitalni FIR FD diferencijator reda  $v$ .

## 3. ADAPTIVNI FRAKCIONI DIFERENCIJATOR

Blok dijagram adaptivnog filtra prikazan je na sl.2. Signal  $d(n)$  predstavlja željeni signal. Kontrolom signala greške  $e(n)$  adaptivni algoritam određuje frakcioni red diferenciranja  $v$  za naredni iterativni korak.





Sl.2. Blok dijagram adaptivnog frakcionog diferencijatora.

### 3.1 Algoritam adaptacije

U [19] opisan je LMS algoritam za određivanje  $v$ . Algoritam se sastoji od sledećih koraka:

*Korak 1:* Postavljanje inicijalnih vrednosti  $v(0)$ , koraka iteracije  $\mu$  i  $n=1$ .

*Korak 2:* Određivanje signala  $y(n)$ :

$$y(n) = \sum_{m=0}^M v^m y_m(n). \quad (16)$$

*Korak 3:* Određivanje greške:

$$e(n) = d(n) - y(n). \quad (17)$$

*Korak 4:* Određivanje reda diferenciranja  $v(n)$ :

$$v(n) = v(n-1) - 2\mu e(n)g(n), \quad (18)$$

gde je:

$$g(n) = -\sum_{m=1}^M m v^{m-1} y_m(n). \quad (19)$$

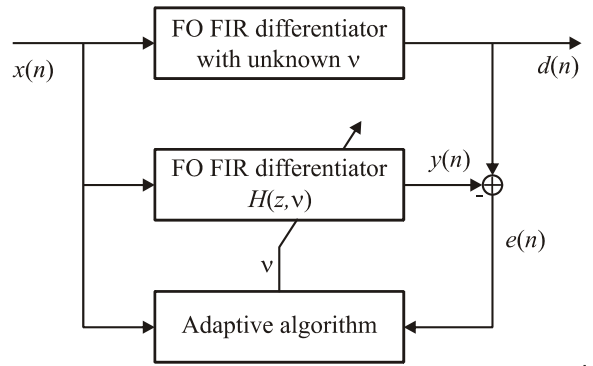
*Korak 5:* Ako je  $n=L$  završetak iteracije. U suprotnom  $n=n+1$  i skok na korak 2.

### 3.2 Procena parametra nepoznatog FIR diferencijatora

Na osnovu adaptivnog sistema sa sl.2 formiran je sistem za određivanje reda diferenciranja nepoznatog digitalnog diferencijatora (sl.3). Signal  $d(n)$  je izlazni signal iz nepoznatog sistema. Adaptivni diferencijator se prilagođava tako da se izjednačava  $y(n)$  sa  $d(n)$ .

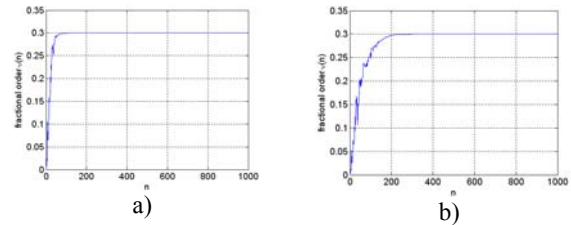
U [19] su prikazani rezultati testiranja nepoznatog sistema adaptivnim diferencijatorim dizajniranim WLS metodom ( $N=40$ ,  $I=20$ ,  $M=5$ ). Kao ulazni signal korišćen je beli Gausov šum sa jediničnom varijansom. Korak iteracije je  $\mu=0.001$  i ukupan broj iteracija  $L=5000$ .

U nastavku rada prikazani su rezultati testiranja sa FIR diferencijatorom određenog frakcionim diferencnim metodom. Kao mera kvaliteta adaptivnog algoritma koristi se brzina konvergencije krive  $v$  ka stvarnoj vrednosti reda diferenciranja. Proces identifikacije obavljen je za: a)  $v=0.3$ :  $\mu=0.1$  (sl.4.a),  $\mu=0.05$  (sl.4.b), b)  $v=0.8$ :  $\mu=0.1$  (sl.5.a),  $\mu=0.05$  (sl.5.b),  $\mu=0.01$  (Sl.5.c),  $\mu=0.001$  (Sl.5.d), c)  $v=1.3$ ,  $\mu=0.1$  (sl.6.a),  $\mu=0.05$  (sl.6.b).

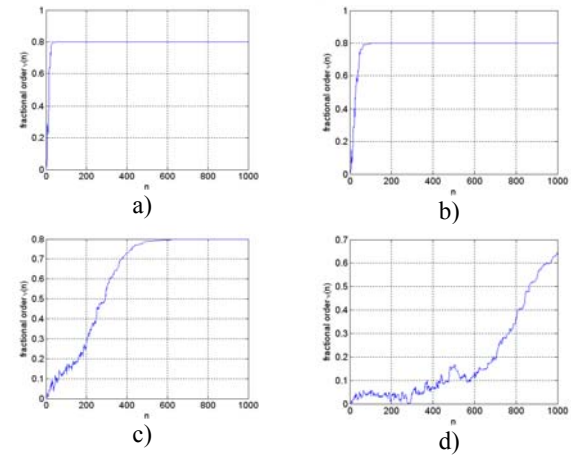


Sl.3. Identifikacija frakcionog diferencijatora sa nepoznatim redom  $v$  korišćenjem adaptivnog algoritma.

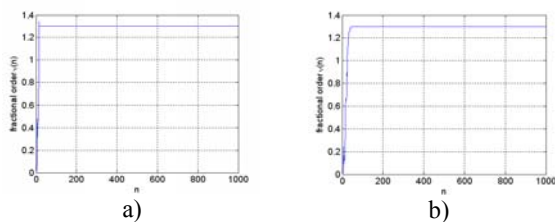
Primenom WLS diferencijatora za određivanje  $v$  čija je prava vrednost 0.3 [19] i prikazanom krivom dobijena je konvergencija nakon  $n=1000$  iterativna koraka. Primenom diferencijatora određenog frakcionim diferencnim metodom: a)  $v=0.3$   $n=100$  (sl.4.a), b)  $v=0.8$   $n=50$  (sl.5.a) i c)  $v=0.3$   $n=30$  (sl.6.a). Zaključuje se da primena FIR diferencijatora određenog frakcionim diferencnim metodom kod sistema za identifikaciju u odnosu na frakcioni diferencijator dobijen WLS metodom generiše  $v$  koje konvergira stvarnoj vrednosti 10-30 puta brže.



Sl.4. Dijagram iterativnog izračunavanja frakcionog reda  $v$  nepoznatog diferencijatora za: a)  $\mu=0.1$  i b)  $\mu=0.05$ .



Sl.5. Dijagram iterativnog izračunavanja frakcionog reda  $v$  nepoznatog diferencijatora za: a)  $\mu=0.1$ , b)  $\mu=0.05$ , c)  $\mu=0.01$ , d)  $\mu=0.005$ .



SI.6. Dijagram iterativnog izračunavanja frakcionog reda  $\nu$  nepoznatog diferencijatora za: a)  $\mu=0.1$ , b)  $\mu=0.05$ .

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je opisan princip diferenciranja vremenski kontinualnih i diskretnih signala. Zbog konačnog trajanja perioda semplovanja nije moguće realizovati precizno diferenciranje diskretnog signala već se vrši aproksimativno diferenciranje. U mnogim tehničkim oblastima, kao što je teorijska elektromagnetika, teorija kola, automatsko upravljanje i dr., javlja se potreba za diferenciranjem signala sa ne celim, odnosno frakcionim redom diferenciranja. Sa matematičke tačke gledišta frakciono diferenciranje i integraljenje je oblast koja je u velikoj meri izučena. Međutim, kod praktične realizacije frakcionih diferencijatora nije moguće realizovati idealne karakteristike već se vrše aproksimacije. U [19] je data teorijska postavka frakcionog diferencijatora. U ovom radu su prikazani rezultati primene FIR diferencijatora određenog frakcionim diferencnim metodom kod adaptivnog sistema koji je primenjen za identifikaciju reda diferenciranja nepoznatog sistema. U zavisnosti od od reda diferenciranja  $\nu=0.3, 0.8$  i  $1.3$  potreban broj iteracija je  $n=100, 50$  i  $30$ , respektivno. Dobijeni rezultati su upoređeni sa rezultatima iz [19] gde je primenjen WLS diferencijator sa  $n=1000$  iteracija, odnosno dobijena je brzina konvergencije veća 10-30 puta.

#### LITERATURA

- [1] G. Leibniz, *Mathematische Schiften*. Georg Olms Verlagsbuchhandlung, Hildesheim, 1962.
- [2] K. Oldham and J. Spanier, *The Fractional Calculus*. New York . London: Academic Press, 1974.
- [3] K.S. Miller, B. Ross, *An Introduction to the Fractional Calculus and Fractional Differential Equations*, Wiley-Interscience Publication, New York, 1993.
- [4] J. Machado, Discrete-time fractional-order controllers, *J. Fractional Calculus Appl. Anal.* 4 (2001) 47–66.
- [5] N. Engheta, On the role of fractional calculus in electromagnetic theory, *IEEE Antennas and Propagation Mag.* 39 (Aug. 1997) 35–46.
- [6] R. L. Magin, Fractional calculus in bioengineering, Part 3, *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, vol. 32, no.s 3-4, pp. 194-377, 2004.
- [7] T. Anastasio, The fractional order dynamics of brain stem vestibulo-oculomotor neurons, *Biological Cybernetics*, vol. 72, pp. 69.79, 1994.
- [8] B.Mathieu, P.Melchior, A.Ousaloup, C.Ceyral, Fractional differentiation for edge detection, *Signal Processing* 83 (2003) 2421–2432.
- [9] M.F. Barnsley, L.P. Hurd, *Fractal Image Compression*, AK Peters Ltd, Wellesley, MA, 1993.
- [10] J.F. Canny, A computational approach to edge detection, *IEEE Trans. PAMI* 8 (6) (1986) 679–698.
- [11] J.S. Lim, *Two-Dimensional Signal and Image Processing*, Prentice-Hall, Englewood Clifs, NJ, 1990.
- [12] B. Mathieu, P. Melchior, A. Oustaloup, Ch. Ceyral, Fractional dfferentiation for edge detection, *Signal Processing* 83 (2003) 2421 – 2432.
- [13] A. Oustaloup, B. Mathieu, P. Melchior, *Robust edge detector of non integer order: the CRONE detector*, 8th Congres de CytomWetrie en Flux et d’Analyse d’Image (ACF’91), Mons, Belgique, November 6–8, 1991.
- [14] C.C. Tseng, S.C. Pei, S.C. Hsia, Computation of fractional derivatives using Fourier transform and digital FIR differentiator, *Signal Process.* 80 (2000) 151–159.
- [15] C.C. Tseng, Design of fractional order digital FIR differentiators, *IEEE Signal Process. Lett.* 8 (Mar. 2001) 77–79.
- [16] Chien-Cheng Tseng, Design of FIR and IIR fractional order Simpson digital integrators, *Signal Processing* 87 (2007) 1045–1057.
- [17] B. Kumar, D. Roy Choudhury, A. Kumar, On the design of linear phase FIR integrators for midband frequencies, *IEEE Trans. Signal Process.* 44 (October 1996) 2391–2395.
- [18] Chien-Cheng Tseng, Su-Ling Lee, Digital IIR integrator design using recursive Romberg integration rule and fractional sample delay, *Signal Processing* 88 (2008) 2222– 2233.
- [19] C.C. Tseng, Design of variable and adaptive fractional order FIR differentiators, *Signal Process.* 86 (2006) 2554–2566.

## INDEKS AUTORA

### B

Božović Maja 31

### Č

Čabak Milan 1

### D

Dedić Aleksandar 51

### Đ

Đurović Igor 54, 58

### F

Filipović Luka 1, 19

### K

Krstajić Božo 1, 4, 11, 19, 23

### L

Labović Nikola 39

Lekić Nedjeljko 73

Lutovac Budimir 39

### M

Matijević Marina 4

Mijović Vladan 11

Milivojević Slađana 77

Milivojević Zoran 27, 35, 77, 81

Milošević Danijela 31

Mirković Marija 69

Mirković Mimo 47

Mrdović Miloš 19

### N

Nikolić Nikola 69

### O

Obradović Milovan 15

### P

Pejović Emilija 69

Perunović Miloš 43

Popović Predrag 66, 69

Popović Vesna 58

### R

Radonjić Milutin 7

Radulović Milovan 43, 47, 62

Radusinović Igor 7

### S

Simeunović Marko 58

Stevanović Zoran 35

Stojanović Radovan 66, 69, 73

### Š

Šendelj Ramo 31

### T

Tomić Dajana 23

Turusković Alen 62

Tuzović Semir 54

### V

Veličković Zoran 27, 81

Vukčević Nevena, 73

### Ž

Žujović Dražen 1