

Računarsko inženjerstvo – ključ za budućnost

Vladimir Zlokolica, Mihajlo Katona, Ištvan Papp, Dragan Samardžija, Nemanja Lukić, Jelena Kovačević, Vladimir Kovačević, Miroslav Popović, Nikola Teslić, Branislav Atlagić, Dragan Kukolj, Miodrag Temerinac

Odsek za računarsku tehniku i računarske komunikacije, Univerzitet u Novom Sadu

Rezime – *Dinamičan razvoj računarskog inženjerstva u poslednje dve decenije uzrokovao je stalnim povećanjem potreba korisnika i kvaliteta usluga baziranim na sve efikasnijim tehnološkim rešenjima. Ovo je dovelo do povećane složenosti računarskih sistema za obradu signala i kontrolu sistema u realnom vremenu zahtevajući i nove pristupe u programiranju. Na RT-RK odseku u poslednjih 20 godina razvoj se koncentrisao na tri glavna pravca: (i) programska podrška velikih sistema u realnom vremenu; (ii) računarske komunikacione mreže i protokole i (iii) softverska i hardverska obrada video i audio signala u realnom vremenu za korisničke uređaje. Sledеći današnji trend migracije računara u praktično sve oblasti čovekove delatnosti (embedded systems), fokus u istraživanjima i obrazovanju u oblasti računarskog inženjerstva se pomera na sistemsku integraciju i rešenja podržana računarom u raznim oblastima, od proizvodnje do informisanja. Na RT-RK odseku razvijena su inovativna rešenja za TV aplikacije, za komunikaciju između raznih korisničkih uređaja, za automatsko testiranje multimedijalnih uređaja, za pametne kuće, za sigurnosne sisteme u drumskom saobraćaju i za evaluaciju kvaliteta audio i video signala u heterogenim multimedijalnim mrežama. Naučni i tehnološki razvoj u okviru RT-RK radjeni su u kooperaciji sa velikim brojem svetskih naučnih institucija i kompanija, sa kojima su ta rešenja zajedno verifikovana i evaluirana. Međunarodna saradnja je dovela do velikog broja značajnih naučno-razvojnih projekata koja predstavljaju osnov za dalji razvoj naučnog potencijala RT-RK odseka.*

Ključne reči: *sistemska programska podrška u realnom vremenu, programibilne sekvencijalne mreže, komunikacione mreže, obrada signala u realnom vremenu, arhitektura i testiranje automatizovanih sistema*

1. UVOD

Osnovne karakteristike razvoja računarstva su brzina tehnološkog razvoja i infiltracija u praktično sve druge naučne oblasti. U samo 70 godina razvoja ove mlade naučne grane, mogu se uočiti tri razdoblja: u prvih 40 godina su razvijani veliki centralni računari; u sledećih 20 godina razvoj se koncentrisao na decentralizovane, personalne računare i njihovo umrežavanje; a od pre desetak godina je počela era migracije računara u praktično sve uređaje svakodnevnog života i proizvodnje, od genetike do naftnih bušotina, od veš mašina do aviona. Dinamičan razvoj i ovako široko korišćenje računara je omogućen velikim naučnim napretkom u sub-mikronskoj tehnologiji, obezbeđujući sve jeftinija rešenja za sve moćnije računarske strukture, i razvojem programske podrške koji omogućuje abstraktno modelovanje i proračun sve kompleksnijih sistema.

Masovna migracija računara u mnogim oblastima, poznata pod nazivom "sistemi zasnovani na računaru" (*embedded systems*), zahteva i značajne promene u obrazovanju i istraživanju. Do sada je razvoj računarskog inženjerstva uglavnom bio koncentrisan na računarsku strukturu (memorija, aritmetička

jedinica i sprežna kola), na njihovo efikasno programiranje i na njihovo umrežavanje. Trenutno, od računarskog inženjerstva se očekuje da razume funkcije kompleksnih sistema, tipičnih za biologiju, ekonomiju ili energetiku, i da ih efikasno realizuje, najčešće u realnom vremenu, sa raspoloživim računarskim sistemom. Tako se računarsko inženjerstvo od čisto tehničke nauke pretvara u ključni element sistemske integracije u rešavanju naučnih i razvojnih problema. Aktuelni izazovi računarskog inženjerstva su: (i) sistemska integracija računarskih jezgara i njihovo povezivanje u uslovima komunikacije sa različitim senzorima (*embedded system computing and sensor networks*); (ii) sistemska programska podrška u realnom vremenu (*real-time system programming*); (iii) programska podrška za paralelne algoritme i njihova realizacija kroz paralelno programiranje računarskih sistema sa više jezgara (*parallel programming on multicore platforms and supercomputing*); (iv) programska podrška u računarskim sistemima sa distribuiranim resursima (*cloud computing*); (v) programibilne računarske strukture za brzu realizaciju prototipa (*FPGA rapid prototyping*).

Odsek za računarsku tehniku i računarske komunikacije (RT-RK) sledi ove trendove poslednjih dvadesetak godina sa svojim naučnim

istraživanjima i studijskim programima. Kroz transfer naučnih rezultata i znanja nastalo je više firmi oslonjenih na RT-RK odsek koje danas zapošljavaju preko 200 inženjera radeći na servisima i proizvodima za vodeće svetske kompanije u oblastima televizije, mobilne telefonije, primene računara u industriji i energetici kao i u najširoj potrošačkoj elektronici. Zahvaljujući tim rezultatima RT-RK odsek je bio i domaćin IEEE ECBS RCEE 2009 konferencije i, zajedno sa IBM, organizuje letnju školu paralelnog programiranja (2008 i 2009).

U ovom radu je, kroz pregled dosadašnjih rezultata i budućih pravaca istraživanja na RT-RK odseku, ilustrovan dinamičan razvoj u oblasti računarskog inženjerstva. Rad je podeljen u četiri celine koje su osnove razvoja u ovoj oblasti.

U prvom delu dati su rezultati i diskusija daljeg razvoja u oblasti sistemске programske podrške u realnom vremenu. Posebno su istaknute oblasti distribuiranih sistema (elektroenergetika), generalizovanih akviziciono-upravljačkih sistema i paralelnog programiranja sistema sa više jezgara.

Drugi deo adresira probleme umreženja računara i komunikacije u računarskim mrežama. Akcenat je na dve aktuelne teme: mešovite bežične mreže i komunikacioni protokoli u računarskim mrežama. Treći deo se osvrće na probleme i rešenja vezane za programsku podršku u obradi signala i testiranju. Posebno interesantni rezultati su postignuti u oblastima obrade video i audio signala u realnom vremenu, algoritama za obradu u sistemima podržanim računarom i metodologiji za testiranje sistema za obradu signala.

Poslednji deo je posvećen problemima sistemskе integracije i primene sistema zasnovanih na računaru. Interesantan je koncept unificirane platforme za ugradene sisteme (*embedded systems*) koji predstavlja neophodnu infrastrukturu u istraživanjima i obrazovanju uključujući sve aktuelne tehnologije (mikro-kontrolere, digitalne signal-procesore i programibilne arhitekture). Postignuti rezultati se odnose na programsku podršku u televiziji (kombinovana audio-vizuelna komunikacija u radio i TV difuziji), audio aplikacijama visokog kvaliteta i njihovoj implementaciji, inteligentnoj saobraćajnoj signalizaciji, rešenjima u intelligentnim kućama i složenim rešenjima u robotici.

2. SISTEMSKA PROGRAMSKA PODRŠKA U REALNOM VREMENU

Sistemska programska podrška sistema za rad u realnom vremenu je hijerarhijski organizovana po lingvističkim nivoima. Na najnižem nivou hijerarhije, nalazi se programski sloj koji generalizuje stvarne elemente zanemarujući njihove nebitne detalje (HAL – *Hardware Abstraction Layer*), ili ih virtualizuje primenom koncepta virtuelnih mašina (VM). Jedan originalan sistem VM je razvijen na RT-RK odseku krajem 80-tih godina [1,2]. Drugi hijerarhijski sloj je operativni sistem za rad u realnom vremenu (RTOS – *Real-Time Operating System*), koji je zadužen za rukovanje fizičkim resursima. Jedan minimalni RTOS, pod nazivom multitasking, je razvijen još 80-tih godina [3,4]. Iz njega su nastale nove verzije koje se i danas koriste, npr. sistem SCADA.

Sledeći lingvistički nivo sadrži niz uslužnih programa, tzv. pomoćna programska podrška, iznad koga se nalazi sloj namenskih programa prevodioca, koji služe za razvoj nove programske podrške, kao što su asembler, makroasembler i kompjajler. Na RT-RK odseku je razvijen i kompjajlirani simulator [5] procesora Coyote, u saradnji sa američkom kompanijom Cirrus Logic, i globalni rasporedivač unutar C kompjajlera koji je razvijen za APX procesor kompanije Micronas [6].

Na kraju, u sistemima realnog vremena, programska podrška treba da obezbedi takodje i fizičko-programske mehanizme za otpornost na pojavu otkaza [7] i da obezbedi procenu kvaliteta razvijene programske podrške [8].

2.1 Programska podrška u distribuiranim elektro-energetskim sistemima

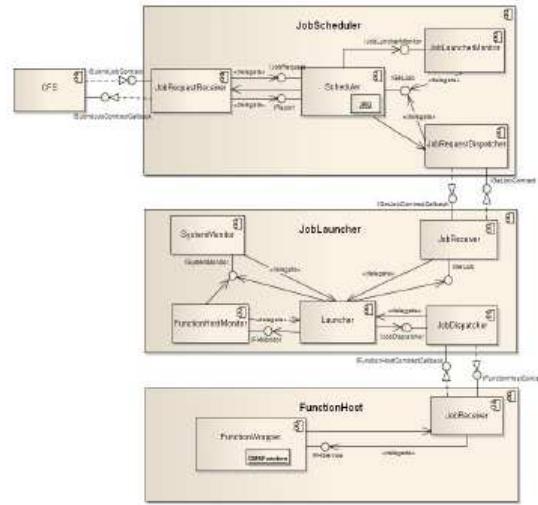
Jedan od osnovih zadataka u sintezi programske podrške za rad u realnom vremenu je paralelizacija nezavisnih operacija nad ulaznim podacima u cilju optimalnog korišćenja raspoloživih procesorskih resursa i efektnog ubrzanja celokupne obrade podataka. Istraživanja u ovoj oblasti su na RT-RK odseku započeta 80-tih godina na problemima pronalaženja i realizacije paralelnih algoritama za traženje ravnotežnog stanja sistema na ALINET modelu, u saradnji sa MIT [9-10].

2008. god. grupa istraživača na RT-RK je u saradnji sa DMS Grupom započela razvoj programske podrške i pratećih alata ove klase. Konkretno, radi se o programskoj podršci za distribuiranu obradu algoritama pomoću kojih se

upravlja sistemom za distribuciju električne energije (DMS – *Distribution Management System*). Prva verzija je obeležena skraćenicom TTE (*Task Tree Executor*), i omogućava paralelno/distribuirano izvršenje stabla (tj. grafa) zadataka putem višestrukih programskih niti, pri čemu te niti mogu da se izvršavaju na fizičkim arhitekturama sa više jezgara, procesora, ili računara [11]. Glavna prednost TTE pristupa je odlična performansa koja potiče od mogućnosti fine paralelizacije zadataka. Tako, već na SMP (*Symmetric Multi Processors*) arhitekturi sa svega 2 procesora, TTE daje sasvim dobra ubrzanja od 1.2 do 1.6 puta (teorijski maksimum je 2), a na realnim modelima elektrodistributivnih mreža grada Bolonja, Italija i grada Beograd, Srbija [12]. Glavni nedostatak TTE pristupa je osetljivost rešenja na postojeće programske greške kao što su curenje memorije, nekontrolisan prekid izvršavanja aplikativne funkcije zbog neotklonjive programske greške, kao što je operacija deljenja sa nulom, itd.

Ovi nedostaci se otklanjaju u drugoj verziji, koja se još obeležava skraćenicom CE (*Calculation Engine*), prikazana na Slici 1. CE se sastoji od tri tipa modula: (i) Planer posla (*Job Scheduler*); (ii) Izvršilac posla (*Job Launcher*) zaduženog za praćenje stanja resursa (memorijsko zauzeće, indeks opterećenja procesora) i pokretanje okvira aplikativnih funkcija; (iii) Okvir aplikativne funkcije (*Function Host*) zaduženog za punjenje i pokretanje aplikativne funkcije.

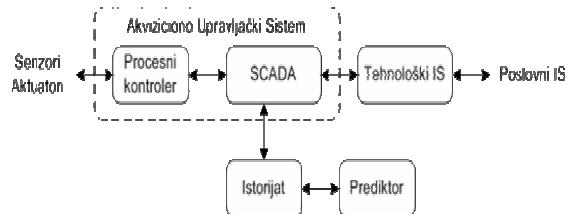
Nedostatak CE u odnosu na TTE je grublji nivo paralelizacije, konkretno paralelizacija na nivou grupe aplikativnih funkcija, dok se kod TTE silazi na nivo paralelizacije samih aplikativnih funkcija. U budućnosti će se istražiti kombinacija ova dva pristupa. No i pored ovog nedostatka, CE pristup daje odličnu performansu, onda kada ima dovoljno poslova koje treba obraditi [13]. S obzirom da je programska podrška za upravljanje distribucijom električne energije kritična sa stanovišta bezbednosti ljudskih života i ispunjenja misija određenih preduzeća i organizacija, posebna pažnja je posvećena statističkom testiranju i proceni pouzanosti razvijenih programa [14,15].



Slika 1: Arhitektura CE.

2.2 Upravljačko-akvizicioni sistem SCADA

U oblasti upravljanja industrijskim procesima, od 1989. godine do danas, razvijen je sopstveni koncept integrisanog SCADA sistema opšte namene, nazvanog GAUS - *Generalizovani Akviziciono Upravljački Sistem*. GAUS pruža potpunu podršku na svim nivoima upravljačkog sistema – od povezivanja sa senzorima i izvršnim uređajima, do sprege sa poslovnim informacionim sistemom. Takođe, obezbeđena je podrška operativnom odlučivanju u upravljanju tehnološkim procesom, moćnim alatima za analizu istorijata i predviđanje/estimaciju stanja i događaja u procesnom sistemu. Osnovne komponente sistema GAUS prikazane su na Slici 2.



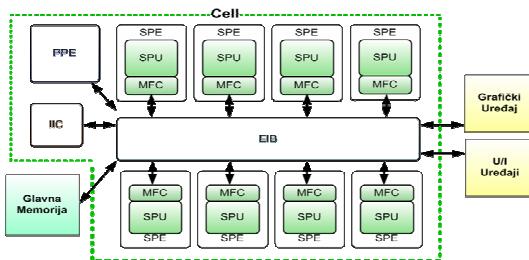
Slika 2: Osnovne komponente sistema GAUS.

U odnosu na uobičajena rešenja u ovoj oblasti, GAUS se izdvaja bogatim i precizno definisanim programskim modelom tehnološkog procesa, koji je na identičan način implementiran na nivou procesnog kontrolera i centralne SCADA stанице. Za razvoj GAUS-a, nesumnjivo je najznačajnija uspešna saradnja sa preduzećem Srbijagas. Sistem GAUS je instaliran u Dispečerskom Centru NIS-GAS još 1991. godine, i od tada je u neprekidnoj 24-časovnoj upotrebi. Razvoj sistema GAUS je bio podržan i od strane Ministarstva nauke [16-18].

Najveći trenutni izazov GAUS tima je razvoj infrastrukture SCADA sistema nove generacije specijalizovanog za primenu u sistemima za prenos i distribuciju električne energije u saradnji sa kompanijom TelventDMS. Pored brojnih aplikativnih funkcija, novi sistem treba da u realnom vremenu omogući prihvati i efikasno rukovanje sa više od deset miliona procesnih veličina.

2.3 Paralelno programiranje

Tehnološkim razvojem (pre svega sub-mikronskom tehnologijom izrada integrisanih kola u 60nm tehnologiji) i podizanjem radne frekvencije integrisanih kola omogućeno je da se ona koriste za potrebe digitalne obrade video signala. Međutim, dalje povećanje radne frekvencije uslovljeno trendom Murovog zakona, ne garantuje dalje povećanje procesne moći jednoprocesorskih sistema u budućnosti. Stoga, paralelno programiranje i paralelni sistemi su neophodni da bi se iskoristio pun potencijal tehnološkog napretka. Imajaći u vidu sisteme sa više jezgara paralelizam u programskoj podršci je neophodan da bi se u potpunosti iskoristila raspoloživa procesna moć.



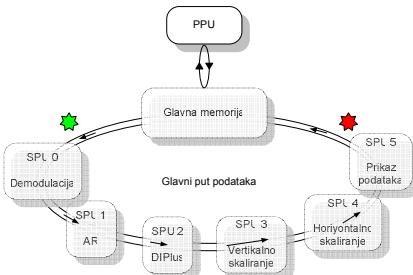
Slika 3: Arhitektura procesora zasnovanog na Cell Broadband Engine (BE) arhitekturi.

Za više-jezgarnih sistema nameću se dve suštinski različite arhitekture; Arhitekture bazirane na procesorima-jezgrima opšte namene (Intel I7), pri čemu je svako jezgro ravnopravno i ima mogućnost izvršavanja operativnog sistema; i Arhitekture bazirane na specijalizovanim jezgrima (IBM Cell), gde je jedan tip procesora okrenut ka izvršavanju operativnog sistema i kontroli obrade, a drugi tip procesora je okrenut samoj obradi (Slika 3). Prvi tip arhitekture je više okrenut aplikacijama za akviziciju i upravljanje, dok je drugi tip arhitekture praktičniji u obradi digitalnih signalata.

Treba primetiti da postoje 2 različita modela za raspodelu obrade na više procesora. Prvi model deli istu obradu na svaki procesor, pri čemu svaki procesor dobija samo deo podataka koji treba da se

obrade. Ovakav model se pokazao vrlo pogodan za razvoj PQM sistema [19], razvijenog na RT-RK odseku za evaluaciju i nadgledanje digitalnog video signala u realnom vremenu, gde je svaki od pod-algoritama raspoređen na različite procesore.

Drugi model deli obradu u lanac pri čemu svaki procesor radi samo deo obrade ali nad celim setom podataka. Takav sistem korišćen je za razvoj softverkog TV prijemnika [20], razvijenog na RT-RK odseku. TV softver prihvata kao ulaz u sistem različite formate ulaznih video tokova ili modulisani tok od ulaznog stepena. Tok podataka i alokacija obrade u sistemu se može videti na Slici 4. Karakteristika obrade je takva da deo lanca algoritama TV obrade utiče na naredni deo u lancu, te se stoga paralelizacija zasniva na alokaciji datih algoritama (za obradu signala) na pojedinačne procesore i ulančavanje datih procesora.



Slika 4: Tok podataka u sistemu.

3. KOMUNIKACIONE MREŽE

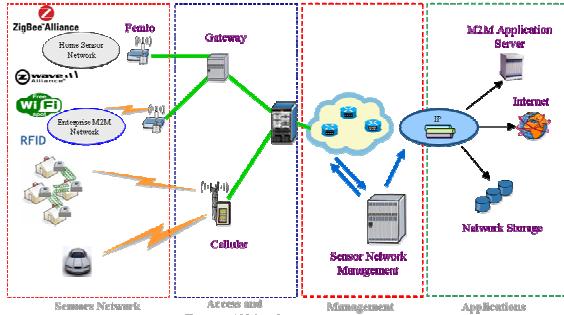
Standardna računarska mreža se sastoji od medusobno povezanih komutatora, na koje se, preko pristupnih uređaja/koncentratora, priključuju korisnički terminali (PC/laptop računari, mobilni telefoni, PDA, bežični/ISDN telefoni, itd.). Migracija računara u druge uređaje zahteva povezivanje inteligentnih senzora i mobilnih uređaja u računarsku mrežu.

3.1 Arhitektura bežičnih, mešovitih mreža

Značajan faktor u razvoju i efikasnom korišćenju bežičnih mreža je način eksplotacije postojećih mreža u kojima korisnici već imaju pristup, i integracije bežičnih mreža sa njima. Primer heterogenih mreža koje podržavaju senzorske i kompjuterske komunikacije (M2M) je dat na Slici 5.

U okviru RT-RK odseka, istraživanje u oblasti heterogenih mreža je rađeno u sledećim domenima: (1) Senzorski i M2M komunikacioni sistemi gde je rađen razvoj sistema za automatsko nadgledanje sigurnosti puteva, i kontrolu i merenje energije napajanja u domaćinstvima; (2)

Dinamički spektralni pristup i među koordinacija bazne stanice u heterogenim bežičnim mrežama; (3) Sistemi za kontrolu i praćenje kvaliteta video i audio signala u multimedijalnim mrežama.



Slika 5: Primer heterogenih mreža.

3.2 Komunikacione mreže i protokoli

Na RT-RK odseku je još u 80-tim razvijen jedan komutacioni centar za javnu ISDN mrežu pod nazivom Centrala Višeg Higerarhijskog Nivoa, skraćeno CVHN [21,22]. Nakon toga je razvijena nova verzija CVHN-RT [23], čiji upravljački blok je zasnovan na LAN-u industrijskih PC računara. Razvijen je niz raznovrsnih pristupnih uređaja, kao na primer ISDN koncentrator ACK 2000 [24] za javnu mrežu Ruske Federacije, koji je uspešno sertifikovan u ruskom Institutu LONIS, i koji je kasnije predstavljao osnovu daljih istraživanja i razvoja u saradnji sa firmom STROM telecom [25].

U poslednjoj dekadi dolazi do pune konvergencije Interneta i ostalih komunikacionih mreža, kao što su telefonska mreža, radio, televizija, itd. Na RT-RK odseku su praćeni ovi trendovi, i razvijen je moderan virtuelni centar za obradu poziva (VCC – *Virtual Call Center*), koji je zasnovan na TCP/IP tehnologiji [26]. Pored VCC, na RT-RK su, u saradnji sa IRITEL i Ei-Pupin, razvijeni elementi mreža nove generacije za domaću industriju, pre svega konvertori protokola za prenos govora preko Interneta (VoIP – *Voice over Internet Protocol*), sa H.323 i SIP protokolima. U razvoju programske podrške za sve ove sisteme i uređaje korišćen je rigorozan inženjerинг komunikacionih protokola [27]. U fazi testiranja i verifikacije pored standardnih metoda, korišćena je i formalna verifikacija komunikacionih protokola zasnovana na automatskom dokazivanju teorema [28], kao i ispitivanje robusnosti razvijenih rešenja na osnovu specijalizovanih operativnih profila [29].

4. PROGRAMSKA PODRŠKA U OBRADI SIGNALA I TESTIRANJU SISTEMA

Kako se kompleksnost korisničkih elektronskih sistema povećava tako postoji i sve veća potreba za naprednim pristupima u efikasnoj programskoj podršci koji ubrzavaju obradu podataka u realnom vremenu i olakšavaju kontrolu rada sistema. TV sistem, kao jedan od najvažnijih korisničkih elektronskih sistema današnjice, takođe postaje sve kompleksniji i kao takav zahteva kompleksniju funkcionalnu verifikaciju i testiranje.

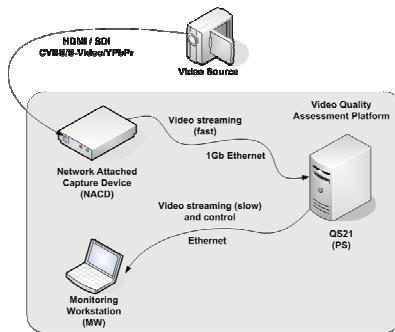
4.1 Obrada video signala – PQM

Digitalna obrada video signala u realnom vremenu na različitim platformama (kao što su INTEL i IBM Cell) predstavlja jedan od velikih izazova današnjice i novih pravaca istraživanja. Na RT-RK odseku, u saradnji sa Micronas kompanijom je implementirano softversko rešenje za TV, gde je celokupna obrada video signala bila implementirana na IBM Cell platformi [20].

Takođe je na Odseku razvijen celokupan sistem za evaluaciju i nadgledanje digitalnog video signala u realnom vremenu (*PQM - Picture Quality Meter*). Taj sistem automatski izračunava oštećenja video signala i rezultate prikazuje kontroloru. Na Slici 6, prikazana je osnovna šema razvijenog sistema [30,31] koja uključuje delove: (i) Uredaj za akviziciju video signala (*Network Capture Device* - NAVIC); (ii) Platforma za obradu signala i (iii) Radna stаница за nadgledanje rezultata obrade.

Platforma za obradu video signala u realnom vremenu je IBM Cell sistem, koja omogućuje brzu obradu i brzu razmenu podataka neophodnu za vrlo zahtevne algoritme za obradu video signala.

Ovo sistemsko rešenje, je evaluirano sa strane vodeće svetske kompanije za radio difuzni prenos (*broadcasting*) BSky. Dalji razvoj je usmeren na uvođenje subjektivne ocene kvaliteta, korišćenjem specijalnih modela neuralnih mreža, klasifikacije video sadržaja i selekcije najdominantnijih video obeležja sa strane ljudske percepcije [32,33,19]. Pored programskog rešenja, na Odseku je razvijena i fizička arhitektura zasnovana na programabilnim sekvencijskim mrežama (FPGA – *Field Programmeble Gate Arrays*) za izvršenje istih algoritama u realnom vremenu radi neprekidne evaluacije digitalnog televizijskog signala [53].



Slika 6: Osnovna šema sistema za analizu i praćenje kvaliteta video signala.

4.2 Alati za obradu i testiranje u audio sistemima

Rad sa namenskim platformama zahteva dugu i specijalizovanu obuku. Zbog toga je na RT-RK odseku uložen značajan trud u razvoj alata za DSP platforme kao što su: C prevodioč, uvezivač, assembler, programka podrška za ispitivanje grešaka (*debugger*). Veoma efikasan C prevodioč, sa proširenjima za aritmetiku sa fiksnim zarezom, je razvijen za nekoliko DSP platformi za audio sisteme [34,35]. Integrisano razvojno okruženje (IDE) nazvano CLIDE, zasnovano na Eclipse grafičkom okruženju je realizovano za CS4xxx Cirrus Logic platformu. Ovaj alat obezbeđuje jednostavniji rad sa ciljnom platformom, transparentnost pri radu na simulatoru i na razvojnoj ploči, lako prenosiva rešenja i skraćenu obuku. Sa druge strane na RT-RK odseku je razvijen alat za ispitivanje na bazi crne kutije (BBT) koji omogućava automatizovano ispitivanje audio aplikacija. Pored isključivanja ljudske greške u procesu testiranja i značajne uštede vremena, ovaj alat omogućava bolju iskorišćenost skupih namenskih uređaja za ispitivanje, kao i ponovljivost i prenosivost ispitnih slučajeva.

4.3 BBT - univerzalni testni sistem

Tokom procesa razvoja jednog novog uređaja se na njegovo testiranje utroši skoro 40% ukupnog vremena razvoja. Zbog izuzetno jake konkurencije i učestalog zahteva za brzo plasiranje proizvoda na tržište evidentan je trend prelaska sa ručnog postupka testiranja na automatski. U tom svetu, stručni kadar sa RT-RK odseka je razvio prilagodljivo okruženje za automatsko testiranje i funkcionalnu verifikaciju programskih rešenja primenjenih u kompleksnim sistemima zasnovanim na računarima (*Black Box Testing – BBT*) [36-38].

Upotrebljivost univerzalnog BBT sistema za testiranje je dokazana na primerima testiranja

televizijskih prijemnika i multimedijalnih uređaja u pogonima poznatih svetskih proizvođača: Micronas, Cirrus Logic, Grundig, Samsung, Vestel itd. Ovakva široka rasprostranjenost je moguća uz pomoć inovativnog prilagođavanja BBT okruženja koji pruža mogućnost smanjenja troškova instalacije i značajno smanjenje vremena za testiranje uređaja nakon instalacije.

Univerzalnost ove platforme je zagarantovana jedinstvenim rešenjima podrške na fizičkom nivou sa nekoliko medusobno kompatibilnih uređaja zasnovanih na programabilnim sekvensijskim mrežama za povezivanje različitih sprežnih sistema koji se koriste u postupku testiranja. Prikaz BBT sistema je dat na Slici 7.



Slika 7: Ilustracija BBT okruženja za testiranje TV.

5. SISTEMI SA UGRAĐENIM ELEKTRONSKIM KOMPONENTAMA

Primena računara je u poslednjim decenijama 20. i na početku 21. veka doživela eksploziju. Pored značajnog unapređenja arhitektura računara opšte namene i namenskih servera za smeštanje velikih količina podatka i vršenje kompleksnih računskih operacija, još impresivnije je povećanje broja ugrađenih računarskih sistema u razne elektronske uređaje. Paralelno sa ovim procesom rastu i potrebe za obrazovanjem kadrova za projektovanje sistema koji u svojoj osnovi imaju ugrađen računarski sistem. Ugrađeni sistemi za rad u realnom vremenu (*embedded systems*) su postali nezaobilazni deo procesa obrazovanja kako na fakultetima tako sve više i u srednjim školama.

RT-RK odsek kontinuirano doprinosi razvoju sistema sa ugrađenim elektronskim komponentama kroz domaće i međunarodne projekte gde se razvijaju praktična rešenja za različite namene. Pored toga, nastavni proces na Odseku je tako napravljen da obrazovani kadar odmah po završetku studija može da krene spremno i samostalno sa realizacijom aktuelnih projekata iz oblasti ugrađenih sistema zasnovanih na računaru.

5.1 Jedinstvena edukativna platforma za sisteme podržane računarom

Obrazovanje inženjera za projektovanje ugrađenih računarskih sistema prevashodno zahteva veliku količinu praktičnog rada. Pokazano je da se znanja dobijena iz praktičnih iskustava lakše usvajaju. Takođe, rezultat praktičnog rada uvek donosi novo saznanje bez obzira na krajnji rezultat. Samim tim, takva saznanja su dugotrajnija od teoretskog izučavanja veština projektovanja i omogućuje jednostavniji pristup obrazovanju iz više različitih disciplina.

Iz tog razloga, RT-TK odsek je u saradnji sa Texas Learning Labs isprojektovao jedinstvenu platformu za akademsko obrazovanje budućih inženjera za projektovanje ugrađenih sistema. Platforma se sastoji od fizičke arhitekture, programske podrške i skupa vežbi grupisanih u kurseve koji su akreditovani na Fakultetu tehničkih nauka iz sledećih oblasti:

- programiranje mikroprocesora i mikrokontrolera za rad u realnom vremenu
- digitalnu obradu audio i video signala, uključujući i signale iz drugih izvora
- projektovanje digitalnih sistema i arhitektura računara
- računarske komunikacije, mreže i različiti sprežni sistemi za prenos podataka
- integracija različitih modula u jedinstveni ugradjeni računarski sistem
-

Ova platforma se koristi u obrazovnom procesu na RT-RK odseku već tri godine. Iskustva u radu su prikazana na nekoliko međunarodnih konferencija [39,40]. U saradnji sa univerzitetima iz Nemačke i Hrvatske planira se unapređenje platforme i njeno proširenje prema zahtevima koji se postavljaju pred savremene ugrađene sisteme zasnovane na računarima.

5.2 Integracija telefona i televizije - PhoneTV

Primetan je trend centralizacije multimedijalnih sadržaja u domaćinstvu u smeru televizijskog prijemnika. Na RT-RK odseku je realizovan sistem za telefoniranje preko interneta (*Skype*) a preko televizijskog prijemnika.



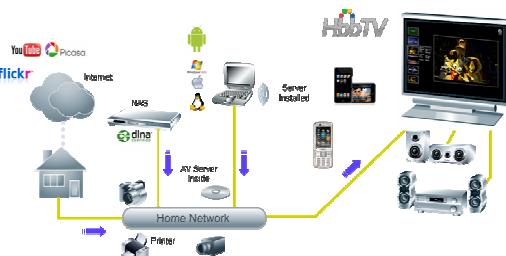
Slika 8: Phone TV okruženje.

Rešenje pruža mogućnost slobodne audio i video komunikacije sa udaljenim sagovornikom bez korišćenja dodatnih mikrofona ili slušalica, uz paralelno praćenje omiljenog televizijskog programa (Slika 8). Istraživački izazovi su upravljanje integrisanim mikrofonskim nizom i kamerom u okviru postojećeg TV sistema. Tehnologija korišćenja mikrofonskog niza je patentirana [41,42] i istraživački rezultati publikovani [43,44].

5.3 TV prijemnik kao multimedijalni centar

Korišćenje televizijskog prijemnika kao multimedijalnog centra u kući je moguće uz pomoć namenskog programske okruženja sa nazivom *Network Media Player* (skraćeno NMP) razvijenog na RT-RK odseku. NMP pruža mogućnost povezivanja na Internet i pregled web stranica uz podržanu mogućnost prikaza multimedijalnih sadržaja krajnjem korisniku.

Pored pristupa globalnoj mreži, NMP je moguće povezati i na lokalnu računarsku mrežu u domaćinstvu pomoću podržanog DLNA protokola. Zahvaljujući ovoj mogućnosti, moguće je pristupiti kućnom računaru i na televizijskom prijemniku prikazati razne audio ili video sadržaje. Pored podržanih DLNA uređaja multimedijalne informacije je moguće prikazivati i sa široko rasprostranjenih USB memorijskih uređaja.



Slika 9: Konfiguracija NMP Platforme.

Konfiguracija NMP platforme je prikazana na Slici 9. Sve razvijene komponente potpuno podržavaju standarde na kojima navedene tehnologije počivaju. Time se podrazumeva potpuna podrška za rad u mrežnom (Ethernet)

okruženju kao i rad sa UPnP/DLNA sertifikovanim uređajima.

5.4 Audio aplikacije i DSP tehnologija

Poslednjih petnaest godina na RT-RK odseku se vrše istraživanja iz oblasti obrade zvuka u realnom vremenu na namenskim fizičkim arhitekturama. Veliko iskustvo u realizaciji i prilagođavanju postojećih rešenja za DSP procesore i rad u realnom vremenu dovelo je do mnogih komercijalnih rešenja u oblasti obrade govora [45,46], kao što je na primer realizacija govornih kodera G.723.1, G.726, G.729, G.728 NSC, SC4 na MASxx platformi (Micronas), razvoj sistema za otklanjanje odjeka, razvoj sistema za potiskivanje šuma na mobilnim telefonima (Cirrus Logic) i razvoj sistema za dinamičko potiskivanje šuma (Cirrus Logic).

Istraživanja u oblasti obrade široko-pojasnog audio signala na RT-RK odseku se ogleda u saradnji na razvojnim projektima sa vodećim proizvođačima procesora namenjenim potrošačkoj elektronici: Micronas, Cirrus Logic, Texas Instruments, i drugi. Neke od tehnologija koje su implementirane, ispitane u realnom vremenu i sertifikovane na odgovarajući način su: WMA Decoder, Dolby Digital Plus Decoder, Dolby TrueHD decoder, DTS Decoder, DTS Master Audio, Dolby Digital Consumer Encoder, 5.1 DTS encoder, MP3 Encoder/Decoder, MP3 Surround Decoder, SRS Technologies, Dolby Volume, Neural Surround Tx, DTS Surround Sensation.

5.5 Inteligentna saobraćajna signalizacija



Slika 10: Simulacija rada signalizacionog sistema.

Jedno od aktuelnih istraživanja na RT-RK odseku je vezano za razvoj signalizacionog sistema u saobraćaju za obeležavanje ruba kolovoza u uslovima smanjene vidljivosti nizom svetlosnih izvora koji se aktivira prilikom detekcije vozila i prostire se u pravcu njegovog kretanja. Na Slici 10 je prikazana simulacija rada signalizacionog sistema.

5.6 Aplikacije u pametnoj kući

Aplikacije pripremljene za pametne kuće u današnje vreme kao i u budućnosti, omogućuju poboljšanje životnog kvaliteta. Na RT-RK odseku, razvijen je sistem za automatizaciju domaćinstva (*Oblo*) koji je prenosiv i prilagodljiv za različite namenske kontrolere [47]. Takođe, realizovano je proširenje za STB uređaj u vidu programske podrške [48], uz demonstraciju uštede energije u domaćinstvu koja se može postići njegovom upotreborom. U smislu grafičkih korisničkih sprega za primene u pametnim kućama, evaluirano je nekoliko rešenja i odabran rešenje zasnovano na GTK, što je predstavljeno u okviru istraživanja u [49]. Dodatna istraživanja u oblasti ambijentalne inteligencije i povećanja ugodnosti korišćenja aplikacija u domaćinstvu su u toku, sa prvim rezultatima predstavljenim u [50].



Slika 11: Pametna kuća.

Instalacija *Oblo* sistema u domaćinstvo podrazumeva korišćenje namenskih sistema zasnovanih na računaru kao i specifične programske podrške. Srce sistema je kućni server koji integriše sve kućanske aparate i omogućuje povezivanje sa mobilnim uređajima (telefoni, iPhone/Android uređaji) ili raznim televizijskim ili multi-medijalnim uređajima (Slika 11).

5.7 NITRO - platforma za virtuelnu prisutnost

NITRO je poluautonomni multimedijalni robot razvijen na odseku RT-RK, koji je daljinski kontrolisan od strane udaljenog operatera [51,52]. Robot šalje audiovizuelne informacije i senzorska očitavanja iz njegove okoline ka operaterovoj, PC baziranoj radnoj stanici posredstvom bežične komunikacione veze i obrnuto, tj. prima audiovizuelne informacije i upravljačke signale od operatera. Prikaz robota je dat na Slici 12.



Slika 12: NITRO Robot.

Glavne mogućnosti robota su: (i) Udaljena kontrola u realnom vremenu sa lokalnom inteligencijom, (ii) Dvosmerna video-konferencijska veza između operatera i osoba ispred robota upotrebom bežične komunikacione veze, (iii) Obrada zvuka (potiskivanje eha i šuma, audio lokalizacija) za potrebe slobodne komunikacije; (iv) Obrada slike (práćenje lica osoba) za potrebe video-konferencijske veze.

NITRO je polazna tačka ili razvojna platforma za široku lepezu proizvoda.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu dat je pregled razvoja računarskog inženjerstva sa doprinosima RT-RK odseka. Kao što je pokazano u radu, tokom predhodne dve decenije učinjen je značajan naučno-tehnološki razvoj koji je ostvaren kroz mnogobrojne međunarodne projekte u kooperaciji sa domaćim i stranim naučnim institucijama i kompanijama. Postignuta naučna dostignuća su bazirana na inovativnim rešenjima koja u isto vreme predstavljaju izazov i sa komercijalne i sa naučne strane.

Dalji naučno-tehnološki razvoj na RT-RK odseku, prateći aktuelne trendove, biće fokusiran na sistemskoj integraciji računara sa različitim primenama (embedded systems) i razvoju metodologije programiranja i testiranja kompleksnih računarskih sistema.

LITERATURA

- [1] Kovacevic V., Popovic M., Secerov E., "Requirements for Operating Systems included in Virtual Machine System", System Science Journal, Vol. 17, No. 1, 1991.
- [2] Popovic M., Kovacevic V., Manojlovic Z., "Dynamically Reconfigurable Virtual System", IASTED, Internationa Symposium Mini and Microcomputers and their applications, Lugano, Switzerland, Jun 1992.
- [3] Popović M., Atlagić B., Jurca Ž., Kovačević V., "Razvoj operativnog sistema za multiprocesorski sistem", SAUM, Vrnjačka Banja, oktobar 1989.
- [4] Popović M., Šeškar I., Atlagić B., Jurca Ž., Kovačević V., "Model višeprocesorskog računskog sistema za upravljanje gasovodnom mrežom", V Međunarodni susret plinarskih stručnjaka, Opatija, 1989.
- [5] Đukic M., Cetic N., Obradovic R., Popovic M., „An Approach to Instruction Set Compiled Simulator Development Based on a Target C Compiler Back-End Design“, The 1st Eastern European Regional Conference on Engineering of Computer Based Systems, Novi Sad, Serbia, September 7-8, 2009, pp. 32-41.
- [6] Simeonov A., Medic S., Popovic M., "A Dominator Path Scheduler for Deep Pipeline Architectures", 6th IEEE International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, Subotica, Serbia, September 26-27, 2008.
- [7] Popovic M., Kovacevic V., and Skrbic M., "Tandem Computer System Software Concept for the Applications in Digital Telephone Networks", Proceedings of IEEE 9th International Symposium on Software Reliability Engineering, Paderborn, Germany, November 4-7, 1998.
- [8] Popovic M., Atlagic B., Kovacevic V., "Case study: a maintenance practice used with real-time telecommunication software", Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice, John Wiley & Sons, Ltd., 2001, No. 13, pp 97-126.
- [9] Petkovski D., Kovacevic V., Popovic M., "Numerical Parallel algorithms for economic network equilibrium", International Conference on Systems Science, Wroclaw, Poland, 1986.
- [10] Petkovski D., Kovacevic V., Popovic M., Kukolj D., „Software Package for Simulation of Parallel Processing of Economic Network Equilibrium“, European Congres on Simulation, Prague, Czechoslovakia 1987.
- [11] Popovic M., Basicevic I., Vrtunski V., „A Task Tree Executor: New Runtime for Parallelized Legacy Software“, The 16th Annual IEEE International Conference and Workshop on Engineering of Computer Based Systems, San Francisco, California, USA, April 14-16, 2009, pp 41-47.
- [12] Ilija Basicevic, Sabina Jovanovic, Branislav Drapsin, Miroslav Popovic, Vladislav Vrtunski, „An Approach to Parallelization of Legacy Software“, The 1st Eastern European Regional Conference on Engineering of Computer Based Systems, Novi Sad, Serbia, September 7-8, 2009, pp. 42-48.

- [13] Trivunovic B., Popovic M., Vrtunski V., „*An Application Level Parallelization of Complex Real-Time Software*“, The 17th Annual IEEE International Conference and Workshop on Engineering of Computer Based Systems, Oxford, England, UK, March 22-24, 2010. ISBN 978-0-7695-4005-4, pp 253-257.
- [14] Popovic M., Velikic I., “*A Generic Model-Based Test Case Generator*”, The 12th Annual IEEE International Conference and Workshop on Engineering of Computer Based Systems, Greenbelt, Maryland, Washington DC, USA, April 4-7, 2005.
- [15] Popovic M., Basicevic I., Velikic I., Tatic J., “*A Model-Based Statistical Usage Testing of Communication Protocols*”, The 13th Annual IEEE International Conference and Workshop on Engineering of Computer Based Systems, Potsdam, Germany, March 27-30, 2006.
- [16] Integralni sistem distribuiranog upravljanja proizvodnim procesima u industriji i komunalnim sistemima - Generalizovani Akviziciono Upravljački sistem GAUS, Nacionalni program energetske efikasnosti 2002-2003.
- [17] Razvoj estimatora stanja procesa u realnom vremenu, tehnološki razvoj 2002-2004.
- [18] Integralni sistem distribuiranog upravljanja gasovodnim sistemom - Sistem GAUS, Nacionalni program energetske efikasnosti, Centralizovano snabdevanje prirodnim gasom, 2005-2006.
- [19] N. Lukić, D. Kukolj, M. Pokrić, Z. Marčeta, M. Temerinac, V. Zlokolica, "Content Based Video Quality Assessment Platform", 1st Eastern European Regional Conference on the Engineering of Computer Based Systems (ECBS-EERC 2009), Septembar 7-8, 2009, Novi Sad, Srbija.
- [20] N. Lukić, I. Papp, Z. Marčeta, M. Temerinac, "Software Based Video Improvement Implementation", 1st Eastern European Regional Conference on the Engineering of Computer Based Systems (ECBS-EERC 2009), Septembar 7-8, 2009, Novi Sad, Srbija
- [21] Svirčević S., Kovačević V., Popović M., “*Development and Production of Switching System in Developing Countries*”, Telekomunikacije, Mart 1999, Beograd, str. 49-56.
- [22] Kovacevic V., Svircevic S., Popovic M., “*The Design Method for Digital Telephone Exchange*”, System Science XII, International Conference on Systems Science, Wroclaw, Poland, 1995.
- [23] Popovic M., Kovacevic V., Svircevic S., Skrbic M., “*Concept of Developed Medium Size Switching System CVHN-RT*”, Proceedings of IEE 15th International Teletraffic Congress, St. Petersburg, Russia, June 1-7, 1998, pp. 429-435.
- [24] Kovacevic V., Popovic M., Secerov E., Manojlovic Z., and Skrbic M., “*Software Concept Applied in Subscriber Digital Concentrator ACK 2000 for Russian Telecommunication Network*”, Proceedings of IEEE International Conference on Telecommunications ICT '98, Porto Carras, Greece, June 21-25, 1998, Vol. IV, pp. 212-215.
- [25] Popovic M., Kovacevic V., Skrbic M., “*Software Reliability & Maintenance Concept used for Automatic Call Distributor MEDIO ACD*”, Proceedings of IEEE 11th International Symposium on Software Reliability Engineering, San Jose, California, USA, October 8-11, 2000.
- [26] Popovic M., Kovacevic V., “*An Approach to Internet-Based Virtual Call Center Implementation, Networking*” - ICN 2001, Part I, Lecture Notes in Computer Science, Volume 2093/2001 Editor: P. Lorenz, Springer-Verlag, 2001, pp 75-84.
- [27] Popovic M., Communication Protocol Engineering, CRC Press, Boca Raton, Florida, 2006.
- [28] Popovic M., Kovacevic V., Velikic I., “*A Formal Software Verification Concept Based on Automated Theorem Proving and Reverse Engineering*”, Proceedings of 9th Annual IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer Based Systems ECBS'02, Lund, Sweden, April 8-11, 2002, pp. 59-66.
- [29] Popovic M., Kovacevic J., “*A Statistical Approach to Model-Based Robustness Testing*”, The 14th Annual IEEE International Conference and Workshop on Engineering of Computer Based Systems, Tucson, Arizona, USA, March 26-29, 2007.
- [30] M. Pokrić, D. Kukolj, I. Pap, N. Lukić, N. Teslić, M. Temerinac, Z. Marčeta, V. Zlokolica, “*Video quality assessment on CELL*”, Fourth International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics, Scottsdale, Arizona, January, 2009.
- [31] I. Papp, N. Lukic, Z. Marceta, N. Teslic, M. Schu, “*Real-time video quality assessment platform*”, International Conference on Consumer Electronics, Las Vegas, USA, January, 2009.
- [32] V. Zlokolica, D. Kukolj, M. Pokric, N. Lukic, M. Temerinac, “*Content-Oriented based No-Reference Video Quality Assessment for Broadcast*”, NEM Summit, Saint-Malo, France, September, 2009.
- [33] D. Culibrk, D. Kukolj, P. Vasiljevic ,M. Pokric ,V. Zlokolica, “*Feature Selection for Neural-Network Based No-Reference Video Quality Assessment*”, 19th International Conference on Artificial Neural Networks, Limassol, Cyprus, September, 2009.
- [34] B. Culafic, B. Rankov, M. Đukic, J. Kovacevic, “*Jedno resenje dinamickog prilagođavanja*

integriranog razvojnog okruzenja na razlicite ciljne DSP platforme", Telfor 2009, Srbija.

- [35] M. Đukic, N. Cetic, J. Kovacevic, M. Popovic, "A C compiler based methodology for implementing audio DSP applications on a class of embedded systems", IEEE International Symposium on Consumer Electronics 2008, Portugal.
- [36] D. Marijan, V. Zlokolica, N. Teslic, V. Pekovic, T. Teckan, "Automatic Functional TV Set Failure Detection System", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Volume 56, Issue 1, February 2010.
- [37] D. Marijan; V. Zlokolica; N. Teslic, V. Pekovic; M. Temerinac, "Automatic quality verification of the TV sets", IST/SPIE Symposium on Electronic Imaging, Image Quality and System Performance VII, San Jose, CA, USA, January 2010.
- [38] D. Marijan, V. Zlokolica, V. Pekovic, N. Teslic, M. Temerinac, "Functional and quality failure system detection in TV sets", IEEE International Conference on Consumer Electronics, Las Vegas, USA, 2010.
- [39] D. Majstorovic, E. Neborovski, M. Katona; "A Cross-Curriculum Embedded Engineering Learning Platform"; MIPRO 2010, 33rd International Convention, CE - Computers in Education, 24-28 May 2010, Opatija, Croatia.
- [40] M. Ravel, M. Chang, M. McDermott, M. Morrow, N. Teslic, M. Katona, J. Bapat, "A Cross-Curriculum Open Design Platform Approach to Electronic and Computing Systems Education"; 2009 International Conference on Microelectronic Systems Education, 25-27 July 2009, San Francisco, USA
- [41] D. Kukolj, V. Kovačević, N.Teslić, I. Pap, "Technique for direction of arrival estimation from sound source using dual microphone system", filled 3.november, 2006, No. P-2006/0612.
- [42] Z. Šarić, S. Jovičić, V. Kovačević, N.Teslić, I. Pap, "Technique and system for automatic gain control (AGC) using microphone array", filled 3.november, 2006, No. P-2006/0611.
- [43] I. Papp, Z. Saric, S. Jovicic, N. Teslic, "Adaptive microphone array for unknown desired speaker's transfer function", Journal of Acoustic Society of America, Express Letters, pp. 44-49, July 2007.
- [44] Istvan Papp, Zoran Šarić, Saša Vukosavljev, Nikola Teslić, Miodrag Temerinac, "Hands-Free Voice Communication Platform Integrated With TV", International Conference on Consumer Electronics, Las Vegas 2009, pp. 978-1-4244 4701-5/1-2.
- [45] R. Pečkai-Kovač, M. Ačanski, D. Sajić and J. Kovačević, "Jedna realizacija sistemske programske podrške za audio dekodere visoke definicije na platformi sa ograničenim resursima", Etran 2008, ISBN 978-86-80509-63-1, 08-12 Jun, 2008.
- [46] S. Perovic and J. Kovacevic, "Jedno rešenje radnog okruženja audio kodeka na platformi sa ograničenim resursima", Zbornik radova 51. Konferencije za ETRAN, ISBN 987-86-80509-62-4, 4-8. juna 2007.
- [47] Bjelica, M, Z, Teslic, N, "A concept and implementation of the Embeddable Home Controller", in proc.MIPRO2010.
- [48] Bjelica, M, Z, Papp, I, Teslic, N, Coulon, J. M, "Set-top box-based home controller", in proceedings of International Symposium on Consumer Electronics 2010.
- [49] Bjelica, M, Z, Teslic, N, Papp, I, Savic, M, "A characterization to evaluate graphical user interface frameworks for television receivers", in proceedings of conference TELSIKS 2009, pp. 285-288
- [50] Bjelica, M, Z, Teslic, N, "Multi-purpose User Awareness Kit for Consumer Electronic Devices", in proceedings of International Conf. on Consumer Electronics (ICCE), Las Vegas, USA, 2010, pp. 239-240.
- [51] I. Papp, D. Kukolj, Z. Marčeta, V. Đurković, M. Janev, M. Popović, N. Teslić, "Remotely Controlled Semi-Autonomous Robot with Multimedia Abilities", ICCA 2005, Budapest, 2005, Vol. 2, pp. 863-868.
- [52] D. Kukolj, M. B. Janev, I. Papp, N. Teslić and S. Vukobrat, "Speaker Localization under Echoic Conditions Applied to Service Robots", EUROCON 2005, Beograd, pp. 1658-1661.
- [53] E.Neborovski, V.Marinkovic, M.Katona, "Video quality assessment approach with field programmable gate arrays", 33th International Convention MIPRO, Opatija,Croatia,2010.

Computer Engineering – The key for future

Summary. *Dynamic development of Computer engineering in the last two decades has been caused by continually increasing needs of customers and quality of services based on advanced technological solutions. This has led to the development of computer systems, with an increased complexity, for signal processing and control of large-scale systems in real time, which require new approaches to system design and programming. In the RT-RK department, in the last 20 years, the development has been mainly focused on the following: (i) real-time software support for large-scale systems, (ii) computer networks and protocols and (iii) software and hardware based processing of video and audio signals in real-time for consumer electronics. In this regard, in the RT-RK department, a series of innovative solutions have been proposed for development of automatic functional testing of TV receivers, for development of TV communication applications, for development of the audio-visual quality assessment in multimedia networks, for development of automatic control of the entire household, for development of a security system for road traffic control, etc. Scientific and technological development in the RT-RK have been done in cooperation with many international scientific institutions and companies, with which the solutions have been verified and evaluated in terms of competence and appropriate functionality. Such international cooperation has led to a number of significant research and development projects which represent a basis for further scientific development in the RT-RK department.*

Key words: *real-time system software support, field programmable gate arrays, communication networks, signal processing in real-time, design and automated system testing*