

Tehničko rešenje softverske arhitekture digitalnog audio grebera i plejera RT-AG

Nenad Pekez, Jelena Kovačević, Mirsad Beljulji

Apstrakt— Za efikasno ispitivanje softvera za digitalne audio sisteme potreban je namenski uređaj, pouzdan i precizan instrument kao sastavni deo radnog okruženja audio inženjera. U cilju zamene skupih rešenja dostupnih na tržištu, u okviru RT-RK instituta je razvijen uređaj pod nazivom RT-AG (RT – Audio Grabber) sa skupom funkcionalnosti koji će zadovoljiti trenutne standarde u audio potrošačkoj elektronici. U ovom radu je predstavljena softverska podrška uređaja, sa naglaskom na snimanju i puštanju signala audio tehnologija nove generacije.

Ključne reči— Digital audio systems, Audio grabber, Testing, Verification, Audio analysis, Consumer electronics

I. UVOD

RAZVOJ softvera za digitalne audio sisteme na platformama sa ograničenim resursima je kompleksan proces koji direktno utiče na krajnji kvalitet, održavanje i troškove proizvodnje softvera. Pored formalizacije i uređenja ovog procesa koja se ostvaruju putem metodologija kao što je metodologija razvoja softvera zasnovana na C kompajlerima [1], ključnu ulogu u povećanju efikasnosti razvoja ima ispitivanje softvera. Ispitivanja imaju podjednako bitnu ulogu i nakon završenog razvoja, jer se njima vrše validacija i verifikacija sistema bez kojih uređaj ne može biti sertifikovan i samim tim se ne može naći na tržištu.

Ispitivanja digitalnih audio sistema podrazumevaju prosljeđivanje audio signala do uređaja koji se testira (Device Under Test - DUT), preuzimanje audio signala koji se pojavljuje na izlazima uređaja i poređenje prikupljenih podataka sa referentnim vrednostima. Referentne vrednosti kao i specifikacije ispitivanja najčešće obezbeđuje intelektualni vlasnik tehnologije, kao što su npr. DTS ili Dolby. Postoji više načina provere ispravnosti dobijenih rezultata. Jedan pristup je putem slušnih testova, što spada u subjektivnu vrstu audio metrike. Na ovaj način je moguće brzo uočiti greške prepoznatljive ljudskom uhu. Objektivna provera ispravnosti rezultata ostvaruje se putem testova identičnosti na nivou bita. Verifikacija sistema je uspešna ako između referentnog vektora i izlaznog vektora ne postoje razlike na nivou bita. U slučaju kada se ne očekuje da izlazni i referentni rezultati budu identični na nivou bita koriste se druge metode audio analize kao što su RMS (Root Mean

Square) i FFT (Fast Fourier Transform) merenja.

Prenos audio podataka do i od uređaja koji se testira najčešće se ostvaruje putem sprega kao što su S/PDIF (Sony/Philips Digital Interface), I2S (Inter-IC Sound), HDMI (High-Definition Multimedia Interface), ANALOGNI AUDIO, itd. Računari opšte namene su često ograničeni po pitanju ovih sprega, pa se javlja potreba za namenskom platformom koja će služiti kao zastupnik između računara i DUT uređaja. Zahtevi ovog uređaja su preuzimanje ulaznih podataka od računara, prosljeđivanje istih do DUT uređaja, snimanje izlaznih podataka i prosljeđivanje istih nazad do računara. Uređaj mora obezbediti minimalno vreme propagacije signala tj. mogućnost istovremenog snimanja i puštanja signala (rad u realnom vremenu). U kombinaciji sa aplikacijom na računaru, rad u realnom vremenu treba da omogućiti pomenuta RMS i FFT merenja u realnom vremenu, što dodatno pojednostavljuje proces ispitivanja softvera.

Jedno od najčešće korišćenih rešenja za testiranje audio tehnologija je audio analizator pod nazivom APx [2]. Po pitanju funkcionalnosti i performansi ovaj uređaj zadovoljava sve uslove koje zahteva ispitivanje kompleksnih audio softvera. Međutim, izuzetno visoka cena koja prelazi 30.000\$, pa čak i velike fizičke karakteristike, veličina i težina uređaja, onemogućavaju da APx bude deo standardnog razvojnog okruženja audio inženjera. Drugo poznato rešenje je uređaj Echo Fireworks ASIO soundcard [3]. Ovaj uređaj je značajno jednostavniji po pitanju funkcionalnosti u odnosu na APx, ali je po ceni (~1.000\$) i fizičkim karakteristikama znatno pristupačniji. Međutim, ovaj uređaj nije više dostupan na tržištu, a podrška za dosadašnje uređaje praktično ne postoji. Ograničenja po pitanju maksimalnog broja kanala prisutnih u signalu koji mogu biti snimani ili maksimalne širine audio odbiraka, dodatno umanjuju vrednost ovog uređaja, koji više nije u mogućnosti da po pitanju funkcionalnosti isprati novousvojene standarde u audio tehnologijama. Nedostatak efikasnog i pouzdanog uređaja koji će biti deo standardne opreme audio inženjera za ispitivanje i verifikaciju, nameće potrebu za novim uređajem koji će umanjiti pomenute nedostatke, ali i proširiti spektar funkcionalnosti u odnosu na prethodna rešenja.

U ovom radu predstavljena je softverska arhitektura uređaja za puštanje i snimanje audio signala pod nazivom RT-AG, koji je razvijen u okviru RT-RK instituta. Prvo su navedene glavne osobine audio tehnologija koje direktno utiču na zahteve koje RT-AG ispunjava, a potom su dati kratki preseki ovih funkcionalnih zahteva i fizičke arhitekture uređaja. Zatim je naglasak dat na softverskoj arhitekturi uređaja i opisu glavnih softverskih komponenti na koje se aplikacija naslanja.

Jelena Kovačević – Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: jelena.kovacevic@rt-rk.com).

Mirsad Beljulji - Istraživačko-razvojni institut „RT-RK“ DOO, Narodnog fronta 23a, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: mirsad.beljulji@rt-rk.com).

Nenad Pekez - Istraživačko-razvojni institut „RT-RK“ DOO, Narodnog fronta 23a, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: nenad.pekez@rt-rk.com).

II. RAZVOJ AUDIO TEHNOLOGIJA

Tokom 80-ih godina prošlog veka kada su primarne bile dvokanalne (stereo) audio tehnologije, najčešće upotrebljavana sprega za digitalni prenos signala bio je S/PDIF. Prvobitni standard je bio predviđen za dve učestanosti odabiranja: 44.1 kHz za CD uređaje i 48 kHz za DAT uređaje. Standard je podržavao korišćenje 16, 20 i 24 bita po odbirku. Pojava DVD diskova označila je početak masovnog korišćenja višekanalne reprodukcije. Postojeći S/PDIF standard je proširen tako da podržava i prenos višekanalnog komprimovanog audio sadržaja, što je pre svega podrazumevalo podršku za učestanosti odabiranja od 88.2 kHz i 96 kHz. Bitske brzine prenosa su varirale od 384 i 448 Kb/s, do 1.5 i 3 Mb/s. Druga generacija audio tehnologija usledila je sa pojavom Blu-Ray diskova koji su omogućili korišćenje "lossless" audio sadržaja u uređajima potrošačke elektronike. Zvučni zapis u novoj generaciji diskova mogao je do nosi do 8 (7.1) audio kanala, sa frekvencijom do 192 kHz i 24 bita po odbirku. Bitske brzine su se znatno povećale i maksimalni protok je bio 24.5 Mb/s. Zbog visokih protoka podataka, S/PDIF sprega nije mogla više da se koristi za prenos digitalnog audio sadržaja, već je zamenjena naprednijim spregama kao što su HDMI i I2S. Početak treće i najnovije generacije označen je pojavom objektno orijentisanih audio tehnologija [4]. Nekomprimovani audio signali zasnovani na objektima najčešće nose do 14 (13.1) kanala, dok komprimovani nose tipično do 8 kanala. Učestanost odabiranja je do 192 kHz, dok širina odbirka može biti i 32 bita. Maksimalni bitski protok je 86 Mb/s (192000*32*14).

III. FUNKCIONALNI ZAHTEVI UREĐAJA

Zahtevi koje fizička arhitektura, funkcionalnosti, pa samim tim i softver uređaja RT-AG treba da ispune, postavljeni su tako da zadovolje sve dosadašnje usvojene standarde u audio tehnologijama. Pritom, potrebno je da uređaj obezbedi jednostavno i efikasno testiranje softvera za digitalne audio sisteme.

Po pitanju performansi, očekuje se da uređaj bude u mogućnosti da putem I2S sprega istovremeno snima 14 kanala na frekvencijama do 192 kHz i sa širinom odbirka do 32 bita, i pušta 8 audio kanala takođe na frekvencijama do 192 kHz i sa 32 bita po odbirku. Mora postojati podrška za učestanosti odabiranja: 32 kHz, 44.1 kHz, 48 kHz, 64kHz, 88.2 kHz, 96 kHz, 128 kHz, 176.4 kHz i 192 kHz. Mora postojati mogućnost da se istovremeno puštanje i snimanje obavljaju na nezavisnim frekvencijama i sa nezavisnim širinama odbiraka neodređeni vremenski period. Mora biti podržana i mogućnost merenja frekvencije signala koji se snima. Pored I2S formata, uređaj treba da podržava i LJ (Left Justified) i RJ (Right Justified) digitalne audio formate.

Pored I2S sprega, prenos signala treba da može da se ostvaruje i putem analognih ulaza/izlaza sa istim performansama kao i putem I2S sprega. Poželjno je da uređaj podržava snimanje i puštanje stereo audio signala putem S/PDIF sprega do 96 kHz i 24 bita po odbirku. Takođe,

poželjno je puštanje 8 kanala do 192 kHz i 24 bita po odbirku putem HDMI sprega.

Zahtev koji čini RT-AG uređaj korisnim za audio analizu je rad u realnom vremenu. Ovo podrazumeva istovremenu i pouzdanu razmenu podataka između računara i platforme. Kontrola uređaja (konfiguracija, selekcija ulaza/izlaza, kontrola puštanja/snimanja) mora biti omogućena putem aplikacije razvijene na računaru. Zahtev za rad u realnom vremenu i navedene osobine o frekvencijama i širinama audio odbiraka definišu zahteve o bitskim protocima između računara i RT-AG uređaja. U slučaju snimanja, maksimalni bitski protok je 86 Mb/s. U isto vreme potrebno je omogućiti i puštanje signala koje ima maksimalni protok od 49 Mb/s (192000*32*8). Ukupan bitski protok podataka koji mora biti obezbeđen je 135 Mb/s.

IV. FIZIČKA ARHITEKTURA

Fizička arhitektura je projektovana sa ciljem da se zadovolje funkcionalni zahtevi uređaja. Kako se dobar deo namene uređaja RT-AG poklapa sa namenom uređaja RT-AV4K [5], fizička arhitektura tog uređaja je poslužila kao referenca za izradu arhitekture RT-AG.

RT-AG po pitanju izlaznih sprega ima po 4 I2S, HDMI i analogne linije za podatke (2 audio kanala po liniji). Ovo omogućava puštanje do 8 audio kanala, što je već navedeno u poglavlju II kao tipičan broj kanala koji komprimovani objektni audio signali nose. Najčešći je slučaj da se komprimovani signali dovode do DSP platforme koja se testira, da potom DSP dekoduje signal i da se onda na izlazima pojavljuje nekomprimovani signal. Ovo znači da je prilikom snimanja signala moguće snimati veći broj kanala u odnosu na broj kanala koji se puštaju, pa samim tim RT-AG ima po 7 I2S i analognih linija za podatke koji omogućavaju snimanje do 14 kanala. Podržana je i jedna S/PDIF linija za puštanje i jedna za snimanje. Različite sprega povećavaju stepen prilagodljivosti većem broju DSP platformi.

Radi komunikacije sa računarom i upravljanjem uređajem, RT-AG ima LAN (Local Area Network) i USB (Universal Serial Bus) sprega, pri čemu je USB sprega ostavljena kao opcioni način komunikacije. S obzirom da je potrebno obezbediti ukupan protok podataka od 135 Mb/s, LAN sprega je ostvarena putem 1 Gb/s LAN konektora.

Centralna komponenta sistema je hibridni SoC (System-On-Chip) ZYNQ-7000, koji pored FPGA dela sadrži i dvojezgarski ARM Cortex-A9 procesor [6]. U FPGA delu su implementirani digitalni audio prijemnici i predajnici koji vrše serijalizaciju i paralelizaciju audio podataka u zavisnosti od smera toka podataka i povezuju ulazne i izlazne audio periferije sa glavnom procesorskom jedinicom. Implementirani predajnici generišu signale na različitim frekvencijama kako bi se podržale sve navedene izlazne frekvencije, dok prijemnici podrazumevaju merenje tj. prepoznavanje ulazne frekvencije koja je nezavisna od izlazne frekvencije. ARM deo u sebi ima implementirane Ethernet, USB, SD, DDR, JTAG, UART i FLASH kontrolere. Veličina DDR memorije je 1 GB, kako bi se omogućilo što je veće

moгуće baferovanje podataka i na taj način se smanjio uticaj mogućih usporavanja prenosa preko LAN sprege. JTAG i UART komponente su namenjene za korišćenje tokom procesa razvoja softvera za RT-AG.

V. ZADACI I ULOGA SOFTVERA

Jedan od glavnih zadataka softvera jeste izvršavanje komunikacije sa računarom putem Ethernet veze. Ovo podrazumeva: uspostavljanje veze sa računarom, prijem konfiguracionih parametara (frekvencija puštanja/snimanja, veličina odbiraka, selekcija ulaza/izlaza) od korisnika, periodično slanje izveštaja o trenutnom stanju RT-AG platforme, slanje dodatnih informacija kao što je vrednost izmerene ulazne frekvencije i slanje i prijem samih audio podataka. S obzirom da RT-AG obezbeđuje bit-egzaktno puštanje i snimanje, ovo podrazumeva da prilikom razmene audio podataka između RT-AG platforme i računara procenat izgubljenih ili deformisanih podataka mora biti 0.

Softver mora da obezbedi istovremenu komunikaciju i sa izlaznim i sa ulaznim audio blokovima, kao i istovremeno slanje i prijem podataka do i od računara. U slučaju snimanja potrebno je vršiti prepakivanje podataka primljenih od ulaznih audio blokova u Ethernet pakete, dok puštanje podrazumeva prepakivanje podataka iz Ethernet paketa u bafere koji se prosleđuju izlaznim audio blokovima. Takođe, mora biti obezbeđeno da puštanje i snimanje budu dve potpuno nezavisne funkcionalnosti koje nikako ne utiču jedna na drugu. Puštanje i snimanje treba da mogu da se vrše neodređeni vremenski period.

Još jedan zadatak softvera je konfiguracija i inicijalizacija svih perifera, počevši od pomenutih ulaznih i izlaznih audio blokova (HDMI, I2S, Analog I/O, S/PDIF), potom pomoćnih perifera kao što su UART i GPIO, pa do sprege za komunikaciju sa računarom (LAN, USB). Takođe, ovo podrazumeva i konfiguraciju dodatnih hardverskih blokova kao što je DMA, koji se takođe koristi u sistemu.

Podrazumevani zadatak je reakcija i oporavak od što je mogućeg šireg spektra softverskih i hardverskih grešaka i otkaza.

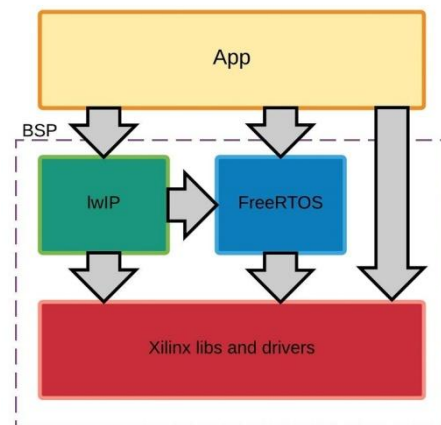
VI. SOFTVERSKA ARHITEKTURA

Da bi komunikacija putem Eterneta bila moguća, potrebno je imati mrežnu arhitekturu koja se najčešće ostvaruje na osnovu ISO OSI referentnog modela. U slučaju softvera RT-AG uređaja, iskorištene su već postojeće besplatne implementacije nivoa veze, nivoa mreže (IP) i transportnog nivoa (TCP/UDP) ISO modela. Što se tiče TCP/IP protokol steka, koristi se lwIP (Lightweight TCP/IP) biblioteka otvorenog koda koja je namenjena isključivo za namenske sisteme i omogućava korišćenje svih TCP funkcionalnosti uz minimalnu iskorišćenost resursa [7]. Implementacija nivoa veze je obezbeđena od proizvođača čipa (ZYNQ-7000), što je u ovom slučaju Xilinx. lwIP može da funkcioniše bez operativnog sistema, u tzv. RAW režimu radu, međutim, zahtevi za simultanim radom sa više različitih perifera navodi na konkurentno izvršavanje programa, tj. na višenitnu

obradu (multithreading). Ovo sa sobom povlači korišćenje operativnog sistema koji će omogućiti tu konkurentnost. Sa druge strane, korišćenje lwIP biblioteke u kombinaciji sa nekim operativnim sistemom omogućava da se lwIP koristi u sekvencijalnom režimu rada, koji je znatno lakši za korišćenje u odnosu na pomenuti RAW režim rada, iz razloga što se naslanja na Berkeley sokete.

Kao operativni sistem iskorišten je besplatan RTOS (Real-Time Operating System) pod nazivom FreeRTOS. Ovaj RTOS omogućava laku i jednostavnu upotrebu svih najosnovnijih funkcija operativnog sistema koje su potrebne kako bi se ostvarila konkurentnost aplikacije. Preraspodela procesorskog vremena u odnosu na prioritete niti koje se izvršavaju implementirana je u kernelu FreeRTOS-a čije se jezgro sastoji od samo tri C datoteke. FreeRTOS je prilagođen za korišćenje na više od 30 različitih platformi i čipova [8], a implementacija porta za čip ZYNQ-7000 takođe je obezbeđena od proizvođača čipa.

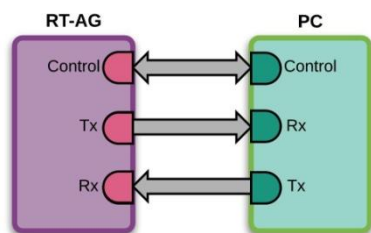
Sama aplikacija pored toga što se oslanja na lwIP i FreeRTOS, takođe se sama oslanja na određene Xilinx drajvere, koji omogućavaju jednostavnu interakciju sa svim hardverskim blokovima koje ARM ima u sebi, kao i sa Xilinx FPGA komponentama. Ovo podrazumeva rad sa GPIO, UART, DMA blokovima, kao i rad sa tajmerima i kontrolerima prekida. FreeRTOS, lwIP i Xilinx drajveri čine tzv. Board Support Package (BSP) koji predstavlja najniži nivo softverskog steka. Na slici 1 predstavljena je opisana arhitektura celokupnog softvera i odnosi između komponenti.



Sl. 1. Glavne komponente softverske arhitekture

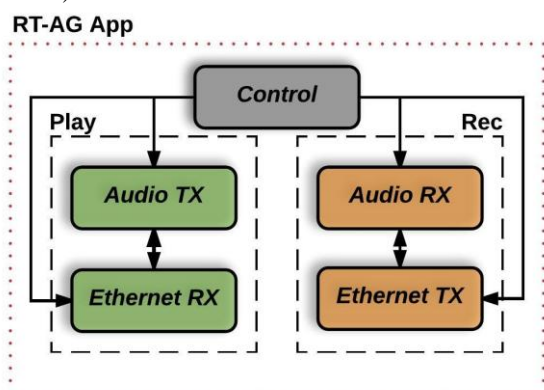
Prilikom pokretanja sistema, aplikacija prvo pokreće FreeRTOS nit za Ethernet inicijalizaciju. U toj nit se izvršava inicijalizacija lwIP biblioteke i konfiguracija mrežnog interfejsa, a zatim se pokreće nit koja je zadužena za pozivanje lwIP operacija pri prijemu paketa sa mreže. Nakon toga se pokreće glavna kontrolna nit aplikacije koja ima zadatak da pre svega inicijalizuje sve FreeRTOS sinhronizacione komponente kao što su semafori i redovi, a zatim i da podigne server koji će biti spreman za ostvarivanje konekcije. Kako bi se obezbedila pouzdana razmena podataka između računara i RT-AG uređaja, koristi se TCP protokol. Komunikacija sa računarom je ostvarena putem 3 TCP kanala tj. porta. Prvi port je kontrolni, služi za uspostavu veze sa

računarom, za prijem konfiguracionih parametara i za slanje izveštaja o statusu RT-AG platforme. Ovaj port se otvara sa pomenutim podizanjem servera u kontrolnoj niti. Druga dva porta služe za razmenu samih audio podataka. Jedan port služi isključivo za prijem podataka od računara, a drugi isključivo za slanje podataka do računara. Ova dva porta se otvaraju u zavisnosti od zahteva korisnika koji definiše da li želi da koristi samo funkciju puštanja ili samo funkciju snimanja, ili obe funkcije istovremeno.



Sl. 2. Kanali TCP komunikacije između RT-AG platforme i računara

Pored već pomenute kontrolne niti, u sistemu postoje još 4 dodatne FreeRTOS niti koje obavljaju simultanu razmenu audio podataka sa audio periferijama i razmenu podataka sa računarom. Kompletnu funkciju puštanja obavljaju zajedno dve niti: prijemna Ethernet nit (Ethernet Rx) i predajna audio nit (Audio Tx), dok kompletu funkciju snimanja zajedno obavljaju prijemna audio nit (Audio Rx) i predajna Ethernet nit (Ethernet Tx).



Sl. 3. Glavne FreeRTOS niti RT-AG aplikacije

Pored već pomenutog podizanja TCP servera, u glavne zadatke kontrolne niti spadaju: prijem konfiguracionih parametara, periodično izveštavanje računara o statusu uređaja, pokretanje i zaustavljanje drugih niti u zavisnosti od parametara, nadzor stanja i rada drugih niti, oporavak od grešaka koje se javljaju u drugim nitima. Zadaci Audio Tx niti su: izvršavanje konfiguracije izlaznog audio bloka u zavisnosti od primljenih parametara od kontrolne niti, prosleđivanje audio podataka do izlaznog audio bloka, pokretanje i zaustavljanje kontrolera izlaznog audio bloka. Ethernet Rx nit uspostavlja vezu sa Tx portom računara, obavlja prijem podataka sa ethernet-a i njihovo prepakivanje iz ethernet paketa u audio baferne koje Audio Tx nit prosleđuje do izlaznih blokova. Druge dve niti koje obavljaju funkciju snimanja rade obrnute zadatke. Audio Rx izvršava

konfiguraciju ulaznog audio bloka, prima audio podatke, i pokreće i zaustavlja kontroler ulaznog bloka, dok Ethernet Tx uspostavlja vezu sa Rx portom računara, vrši prepakivanje podataka iz prijemnih audio bafera, u kojima je Audio Rx smešta podatke, u ethernet pakete i vrši samo slanje tih podataka.

Nakon što je izvršena jedna iteracija puštanja/snimanja, kontrolna nit zaustavlja druge niti, zatvaraju se Rx i Tx portovi, a sama kontrolna nit se vraća u inicijalno stanje u kojem očekuje TCP konekciju na kontrolnom portu. Za svaku novu iteraciju puštanja i/ili snimanja ponavlja se prethodno opisana procedura.

VII. PREGLED KARAKTERISTIKA POSTOJEĆIH REŠENJA

Najčešće upotrebljavani postojeći sistemi za puštanje i snimanje audio signala su APx i Echo Fireworks ASIO zvučna kartica. Kako bi se dobila jasnija slika o eventualnoj poziciji na tržištu predloženog rešenja RT-AG, u tabeli I dat je pregled najbitnijih karakteristika uređaja APx58x [9], Echo ASIO i RT-AG.

TABELA I
PREGLED KARAKTERISTIKA APx58x, ASIO I RT-AG UREĐAJA

Karakteristika	APx58x	ASIO	RT-AG
Audio sprege	S/PDIF, I2S, HDMI, Analog, PDM, Bluetooth	S/PDIF, I2S, Analog	S/PDIF, I2S, Analog, HDMI
Dodatne sprege	USB	FireWire	USB, Ethernet
Maksimalan broj kanala za snimanje	16	8	14
Maksimalan broj kanala za puštanje	8	8	8
Opseg frekvencija (kHz)	32, 44.1, 48, 64, 88.2, 96, 128, 176.4, 192	32, 44.1, 48, 64, 88.2, 96, 128, 176.4, 192	32, 44.1, 48, 64, 88.2, 96, 128, 176.4, 192
Širina odbiraka	16b, 24b, 32b	16b, 24b	16b, 24b, 32b
Maksimalni bitski protoci	147.456 Mb/s	73.728 Mb/s	135.168 Mb/s
Maksimalna veličina strima za puštanje	120 MB	Neograničeno	Neograničeno
Maksimalna veličina	Neograničeno	Neograničeno	Neograničeno

strima za snimanje			
PC softver	GUI softver sa širokim spektrom mogućnosti po pitanju audio merenja i analize	Osnovna komandna aplikacija za puštanje i snimanje	Osnovna komandna aplikacija za puštanje i snimanje
Dodatne mogućnosti	AMC (Advanced Master Clock), jitter generator, prepoznavanje frekvencije snimanog signala	-	Prepoznavanje frekvencije snimanog signala, početak snimanja signala na spoljašnji okidač, smeštanje podataka na SD karticu
Cena	>30.000\$	~1000\$	~1000\$

Iz date tabele primećuju se glavne prednosti RT-AG uređaja u odnosu na postojeća rešenja. U odnosu na Echo ASIO karticu, RT-AG omogućava veći broj kanala za snimanje sa većim širinama odbiraka, što podrazumeva duplo veće bitske protoke. Na ovaj način se omogućava rad sa mnogo širim spektrom audio signala koji uključuje i objektno orijentisane strimove nove generacije koji najčešće imaju do 14 kanala. HDMI sprega povećava prilagodljivost većem broju platformi koje se testiraju, dok Ethernet sprega omogućava i udaljeni rad ako je RT-AG povezan na mrežu i ako mreža omogućava pomenute bitske protoke. U odnosu na APx uređaj, glavna prednost RT-AG uređaja pored već pomenutog udaljenog rada, jeste neograničenost po pitanju veličine strima za puštanje, i znatno pristupačnija cena.

VIII. ZAKLJUČAK

Digitalni audio greber i plejer RT-AG je platforma koja omogućava efikasno testiranje audio sistema i implementirana je sa ciljem da predstavlja deo standardne opreme za ispitivanje i verifikaciju digitalnih audio sistema. Skupom funkcionalnosti omogućava istovremeno puštanje i snimanje kako signala zasnovanih na kanalima, tako i signala zasnovanih na objektima. Podrškom za najčešće upotrebljavane sprege za prenos digitalnih signala omogućena je prilagodljivost različitim DSP platformama. Preko aplikacije razvijene na računaru moguće je ostvariti

komunikaciju sa ovim uređajem i kontrolu nad njim, a dodatnim alatima za audio analizu, moguće je vršiti FFT i RMS merenja u realnom vremenu. U odnosu na prethodna poznata rešenja, RT-AG proširuje skup funkcionalnosti i omogućava rad sa širokim skupom audio signala. Rad i funkcionalnosti RT-AG platforme su ispitani u okviru RT-RK instituta tokom razvoja softvera za virtualizaciju suraund (engl. surround) zvuka na saund (engl. sound) bar sistemima [10].

ZAHVALNICA

Ovaj rad je delimično finansiran od strane Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, na projektu tehnološkog razvoja broj TR32014.

LITERATURA

- [1] M. Đukić, N. Četić, J. Kovačević, M. Popović, "A C compiler based methodology for implementing audio DSP applications on a class of embedded systems", IEEE International Symposium on Consumer Electronics, Vilamoura, Portugal, April, 2008.
- [2] Audio Precision Inc, APx Overview page, retrieved April 21, 2017, from <https://www.ap.com/analyzers-accessories/apx-overview/>
- [3] Echo Digital Audio Corporation, Pro Audio products page, retrieved April 21, 2017, from <https://echoaudio.com/pages/pro-audio/>
- [4] B. Claypool, W. Van Baelen, B. Van Daele, "Auro 11.1 versus object-based sound in 3D", 2015
- [5] V. Škobić, M. Krbanjević, I. Rešetar, "The technical solution of the physical architecture of RT-AV4K audio/video grabber", Conference for Electronics, Telecommunications, Computers, Automatic Control and Nuclear Engineering (ETRAN), Zlatibor, Serbia, June, 2016
- [6] Xilinx Inc, "Zynq-7000 All Programmable SoC – Technical Reference Manual", September 27, 2016
- [7] Swedish Institute of Computer Science, Adam Dunkels, "Design and Implementation of the lwIP TCP/IP Stack", February 20, 2001
- [8] Richard Barry, "Using the FreeRTOS™ Real-Time Kernel – ARM Cortex M3 Edition", 2010
- [9] Audio Precision Inc, APx58x page, retrieved May 26, 2017, from <https://www.ap.com/analyzers-accessories/apx58x/>
- [10] N. Kaprocki, J. Kovačević, R. Pečkal Kovač, M. Malko, "DSP implementation of the surround speaker virtualizer for sound bar systems", Telecommunications forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, November, 2016

ABSTRACT

Efficient testing of digital audio systems requires an embedded device, reliable and precise tool as a standard piece of audio engineers workspace. In order to replace expensive solutions available on the market, RT-RK institute has developed a device by the name RT-AG (RT – Audio Grabber), with functionalities that satisfy current standards in audio consumer electronics. This paper describes a software of the device, with emphasis on recording and playing signals of new generation audio technologies.

The technical solution of the software architecture of RT-AG digital grabber/player device

Nenad Pekez, Jelena Kovačević, Mirsad Beljulji