

SISTEM ZA VIŠEKANALNU OBRADU, SLANJE I PRIJEM VIDEO SIGNALA PREKO IP MREŽE

Milan Oklobdžija, Marko Nikolić, Ivan Todorović, Slavica Boštjančič Rakas

¹Univerzitet u Beogradu – Institut Mihajlo Pupin,
milan.oklobdzija@pupin.rs, marko.nikolic@pupin.rs,
ivan.todorovic@pupin.rs, slavica.bostjancic@pupin.rs

Sadržaj: *U radu je predstavljen sistem za višekanalnu obradu video signala baziran na računarskom modulu po modifikovanom Qseven standardu sa Texas Instruments procesorom DM8168. Računarski modul se nalazi na namenski razvijenoj matičnoj ploči koja omogućava prijem i generisanje raznovrsnih analognih i digitalnih video signala. Moguć je prijem kompozitnog i komponentnog analognog video signala kao i digitalnog HDMI i paralelnog YCbCr signala dok je omogućeno i generisanje S-video, HDMI i paralelnog YCbCr video signala. Kombinacija ARM i video koprocesorskih jezgara procesora Texas Instruments DM8168 sistemu omogućava visoke performanse. Opisani sistem omogućava prijem i obradu 2 video signala u punoj HD (Full High Definition, Full HD) rezoluciji ili do 16 signala u SDTV rezoluciji. Softverska podrška je zasnovana na Linux operativnom sistemu sa DVR-RDK bibliotekama za obradu video signala. Implementacija dva Ethernet interfejsa brzine 1Gbit/s omogućava slanje i prijem video signala preko IP mreže. Primena sistema je raznovrsna, omogućava prenos video signala u realnom vremenu preko digitalne televizije, video nadzor odn. praćenje u realnom vremenu do 16 video signala preko IP kamera kao i obradu (detekcija pokreta i lica, prečišćavanje slike, i sl).*

Ključne reči: *obrada video signala, IP, Qseven, ARM, DSP*

1. Uvod

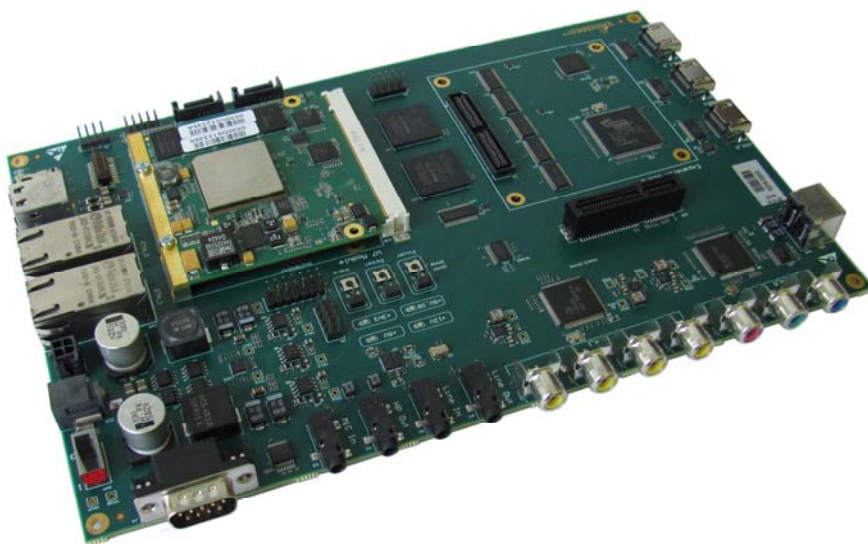
Poslednjih godina svedoci smo velike rasprostranjenosti sistema za akviziciju i obradu video signala u realnom vremenu. Nove platforme su dizajnirane tako da imaju relativno male dimenzije kao i potrošnju. Uočavajući ovaj trend u Inistitutu Mihajlo Pupin razvijen je sistem za višekanalnu obradu, slanje i prijem video signala preko IP mreže kao i skladištenje ili prikaz videa sa različitih memorijskih jedinica. Sistem je razvijen po modularnom principu sa odvojenim računarskim modulom za obradu signala i matičnom pločom koja obavlja akviziciju i konverziju signala iz analognog u digitalni domen i obrnuto. Pored toga, matična ploča omogućava i dodavanje akvizicionih kartica koje su razvili korisnici sistema i koje se povezuju direktno sa video portovima računarskog modula. Sistem omogućava visoke performanse u obradi video signala sa

mogućnošću istovremene obrade dva Full HD signala ili do 16 signala u standardnoj rezoluciji (SDTV). Detaljnije tehničke karakteristike sistema i performanse će biti izložene u narednim poglavljima.

2. Tehnička specifikacija

Sistem za višekanalnu obradu video signala baziran je na principu modularnosti gde su kao odvojene komponente dizajnirani računarski modul i sama matična ploča (slika 1). Pred računarski modul postavljen je zahtev za malim dimenzijama i potrošnjom kao i lakom integracijom u sisteme potencijalnih korisnika ovog modula a posebno u oblastima video nadzora, kontrole saobraćaja, kontrole kvaliteta proizvoda, televizije, medicine, vojne opreme i svim drugim aplikacijama koje zahtevaju naprednu obradu video signala u realnom vremenu. Iskorišćen je postojeći standard računarskih modula Qseven [1] koji je donekle modifikovan tako da podrži mogućnosti obrade video signala zamenom određenih interfejsa (USB, PCIe, LVDS, LPC i drugih) sa paralelnim digitalnim video ulazima.

Matična ploča sistema je prilagođena primeni ovog računarskog modula sa ciljem da korisnicima omogući ubrzan razvoj sopstvenog sistema u smislu podrške razvoja softvera ili čak celokupnog sistema koristeći postojeće resurse na ploči i dodatne kartice koje razvija korisnik. Predviđeno je da se na matičnoj ploči obezbedi podrška za sve standardne tipove video signala kao što su kompozitni i komponentni analogni video signal kao i digitalni HDMI i paralelni YCbCr signal. Takođe, omogućeno je generisanje S-video, HDMI i paralelnog YCbCr video signala. Pored video interfejsa bilo je potrebno obezbediti i standardne komunikacione interfejse kao što je Ethernet, USB, PCI Express, SATA i interfejs za SD kartice.



Slika 1. Sistem za višekanalnu obradu, slanje i prijem video signala preko IP mreže

3. Hardver računarskog modula

Hardversko rešenje računarskog modula bazirano je na čipu Texas Instruments DaVinci DM8168 [2]. Čip DM8168 omogućava hardversku obradu do tri video kanala u visokoj definiciji (1080p60) a pored toga nudi i nisku potrošnju i visoku integraciju periferija u samom čipu. Softver implementiran na računarskom modulu obuhvata standardni Linux port sa kompletnim skupom drajvera za sve periferije, ali i skup dodatnih funkcija sa odgovarajućim okruženjem koji je u potpunosti prilagođen osnovnoj nameni – obradi višekanalnog video signala.

Pored procesorskog elementa, na računarskom modulu je implementirana i radna DDR3-1600 RAM memorija ukupnog kapaciteta do 2 GB (u četiri čipa), te 4 GB Flash memorije za skladištenje podataka. Podizanje operativnog sistema se vrši iz posebne SPI Flash memorije kapaciteta 4 MB u koju je smešten osnovni kod (*U-boot bootloader*). Računarski modul sadrži još i dva nezavisna Ethernet primopredajnika brzine do 1 Gbit/s, CPLD komponentu za baferisanje video izlaza, časovnik realnog vremena, temperaturni senzor, precizne izvore potrebnih signala takta u sistemu, te izvore napajanja sa logikom za njihovo upravljanje (slika 2).

Na ovom mestu posebno treba naglasiti visok nivo integracije ovog rešenja, što je bio poseban izazov za projektovanje štampane ploče. Mreža za napajanje na modulu je jako složena, sa trinaest različitih napona koje je potrebno distribuirati. U izradi modula je iskorišćena tehnologija višeslojnih štampanih ploča (8 slojeva), sa vijama prečnika 0.1 mm i vodovima širine 0.075 mm.

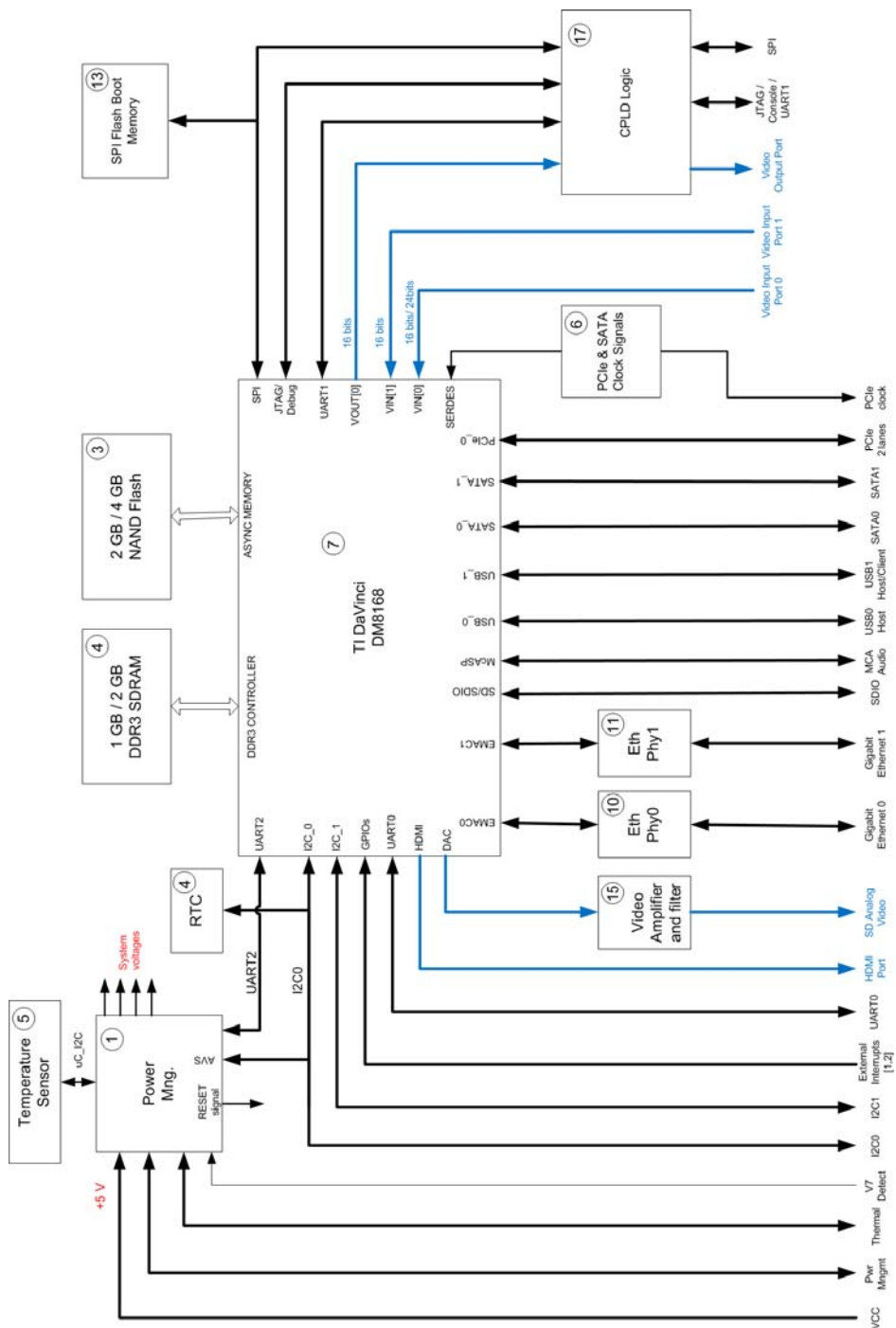
Zbog prisustva velikog broja brzih digitlanih signala, razvojni tim je obratio posebnu pažnju na probleme integriteta signala i elektromagnetne kompatibilnosti. Svi kritični signali su simulirani u toku razvoja štampane ploče, a rezultati simulacija su potvrđeni naknadnim merenjima. Ploča je uspešno testirana u laboratoriji za ispitivanje elektromagnetne kompatibilnosti.

A Procesor računarskog modula

Integrisano kolo DM8168 je sistem visokog stepena integracije koji sadrži nekoliko komponenti: ARM procesor arhitekture Cortex-A8 [3], DSP procesor, kolo za 3D grafiku, tri video akceleratora, DMA logiku, DDR memorijski kontroler, i niz interfejsa za komunikaciju sa ostatkom sistema. Integrisano kolo je u malom BGA pakovanju, sa razmakom između kuglica 0.8 mm, što je uslovalo veliku složenost realizacije komponenti za podršku njegovom radu. Izazov je bila i realizacija sistema za napajanje, jer kolo zahteva dovodenje sedam različitih napona. Integrisano kolo DM8168 konzumira 80 % ukupne energije koju troši modul, tako da je razvojni tim obratio posebnu pažnju na termalne karakteristike dizajna i način odvođenja toplote.

B RAM memorija

Računarski modul sadrži četiri DDR3-1600 memorijska čipa, podeljena u dve 32-bitne memorijske banke. Radna frekvencija memorije je 800 MHz, sa signalizacijom na obe ivice takta, tako da je dizajn veoma osetljiv na bilo kakve razlike u kašnjenju



Slika 2. Blok dijagram hardverskog rešenja modula EPP-V7-DM8168

sigala ili probleme sa integritetom signala [4]. Tokom realizacije modula, implementacija memorijskog interfejsa je veoma detaljno simulirana. Fino podešavanje vremenskih referenci je ostvareno softverskim putem, izvršavanjem posebno izrađenog programa za kalibraciju memorije. Ukupan raspoloživ protok na memorijskom intefejsu je 12.8 GB/s.

C Video ulazi

Računarski modul EPP-V7-DM8168 ima dva nezavisna ulazna video porta: VIN0 i VIN1. Oba porta su paralelna, a u zavisnosti od konfiguracije mogu biti 24-bitni ili 16-bitni. Podržavaju režim rada koji koristi posebne signale za sinhronizaciju (VSYNC, HSYNC, FLD, DE), kao i režim rada sa tzv. „ugrađenom“ sinhronizacijom. Maksimalna frekvencija takta na ovim portovima je 165 MHz, što je dovoljno za prenos signala u punoj HD rezoluciji (1080p60). Oba porta podržavaju i prenos više signala niže rezolucije, u formi vremenskog multipleksa. Podržani formati video zapisa su komponentni RGB, YPbPr 4:4:4, YPbPr 4:2:2, i kompozitni signal.

D Video izlazi

Modul podržava dva nezavisna video izlaza: paralelni izlazni video port i HDMI. Paralelni port podržava 8-bitni i 16-bitni režim, sa posebnih linijama za sinhronizaciju ili „ugrađenom“ sinhronizacijom. Maksimalna frekvencija takta na ovom portu je 165 MHz, čime je omogućeno emitovanje video signala pune HD rezolucije (1080p60) u formatu YPbPr 4:2:2. Standardni HDMI port omogućava prenos video i audio signala na kompatibilne periferije. Maksimalna podržana rezolucija je 1080p60. Sadržaj koji se prikazuje može biti nezavistan od sadržaja koji se prikazuje na paralelnom portu.

E CPLD kolo i kompatibilnost sa Qseven standardom

Veoma korisna osobina računarskog modula EPP-V7-DM8168 je mogućnost rada u režimu kompatibilnosti sa Qseven standardom. Ova osobina je značajna jer omogućava korišćenje modula i u sistemima koji su projektovani prema Qseven standardu. Modul poštuje mehaničke zahteve Qseven standarda, ali je njegov raspored pinova izmenjen kako bi bio omogućen rad sa video portovima koji nije podržan u okviru Qseven standarda. Režim rada kompatibilnosti sa Qseven standardom se bira aktiviranjem signala V7_MODE. Kako bi osigurali ovu kompatibilnost, na modulu je implementirano CPLD kolo koje blokira kritične signale nekompatibilne sa standardom. Istovremeno, CPLD kolo implementira i neke od logičkih funkcija potrebnih za rad modula u celini (kontrola SPI CS signala, multipleksiranje JTAG i UART funkcija).

3. Hardver matične ploče

Hardver matične ploče može se podeliti na nekoliko funkcionalnih blokova: napajanje, HDMI ulaz sa konverzijom u paralelni digitalni video signal, ulaz za komponentni video signal, ulaz za kompozitni video signal, multiplekser ulaznih video signala, konektor za ekspanzionu karticu, konvertor iz paralelnog digitalnog video signala u HDMI signal, multiplekser izlaznih video signala, audio blok, multiplekser audio signala i konačno konektor za računarski modul. Pored ovih blokova prisutni su i

konektori za HDMI, S-Video, SATA, Gigabit Ethernet, USB, PCI Express, Micro-SD i ostale komunikacione interfejse. Arhitektura sistema je prikazana na slici 3. dok su najbitniji blokovi matične ploče opisani u narednim poglavljima.

A HDMI ulaz sa HDMI prijemnikom

HDMI ulaz mora izvršiti konverziju serijskog TDMS signala u paralelni digitalni video signal po TU–R BT.656 standardu. U tu svrhu iskorišćen je Silicon Image SiI9135ACTU čip. SiI9135ACTU predstavlja HDMI prijemnik sa visokom rezolucijom boja (10 ili 12 bita) i podržava Full HD rezoluciju prijemnog signala sa frekvencijom osvežavanja do 60 slika u sekundi.

U implementaciji matične ploče čip je povezan u konfiguraciji 16-bit YCbCr 4:2:2 na odgovarajući video port računarskog modula. Ekstrahovani signali za sinhronizaciju (FIELD, VSYNC, HSYNC) se vode na odgovarajuće linije video porta.

B Ulaz za komponentni video signal

Ulaz za komponentni video signal je predviđen radi akvizicije analognog video signala u RGB i YPbPr formatu. Za ulaznu konverziju iz analognog u digitalni signal predviđen je čip TI TVP7002. U implementaciji matične ploče paralelni digitalni video signal je povezan na video port računarskog modula u obliku odvojenih signala za svaku boju ili luminanse i hromatskih komponenti sa osam bita po boji tj. ukupno 24 bita. Ekstrahovani signali za sinhronizaciju (FIELD, VSYNC, HSYNC) se vode na odgovarajuće linije video porta računarskog modula.

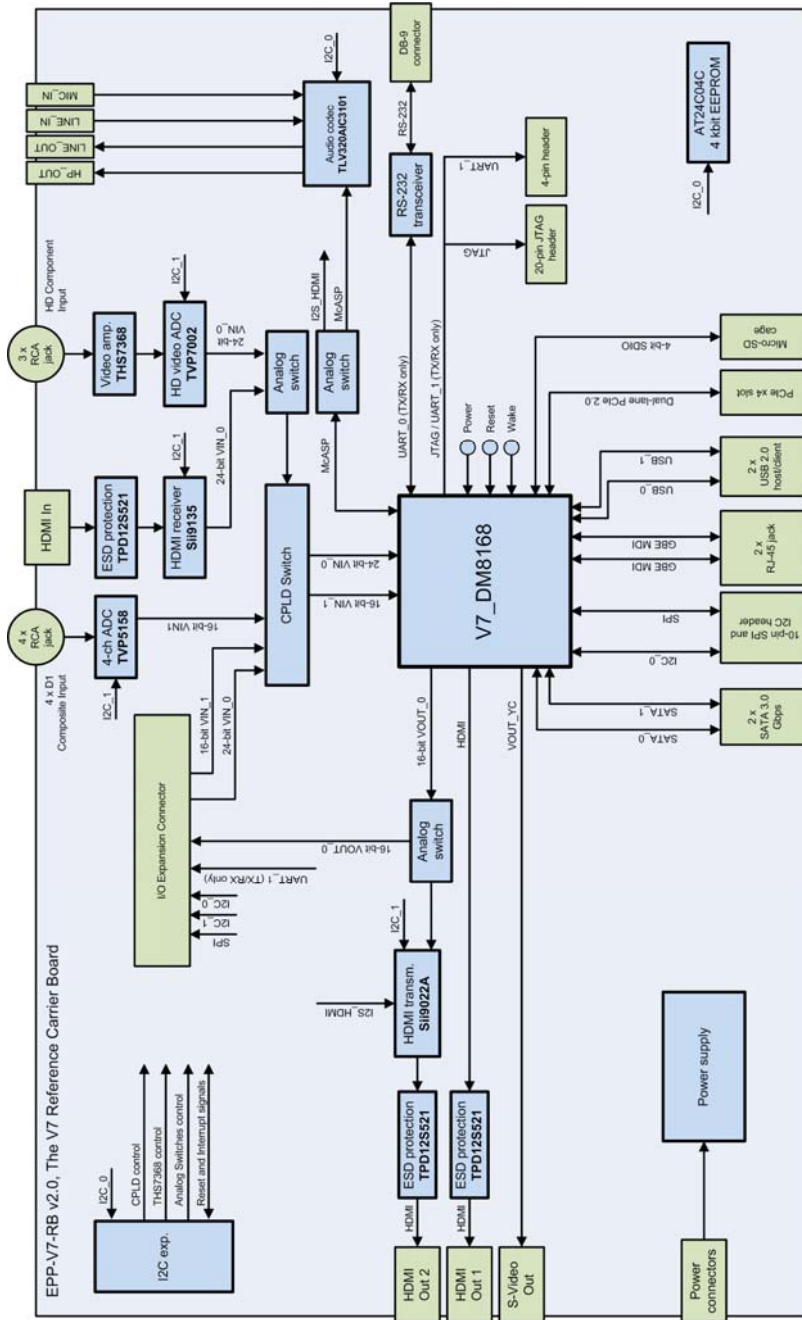
C Ulaz za kompozitni video signal

U cilju podrške za višekanalnu obradu video signala dizajniran je ulazni blok za kompozitne video signale. Ovaj blok je baziran na čipu TI TVP5158 koji omogućava prijem do četiri nezavisna kanala sa video signalima po PAL/NTSC standardu. Pored standardnog digitalnog video signala po standardu TU–R BT.656 čip nudi i opciju učešljanja video kanala piksel po piksel ili liniju po liniju. Takva mogućnost postoji i na čipu Texas Instruments DaVinci DM8168 koji se koristi na računarskom modulu tako da je ona primenjena i u realizaciji matične ploče.

Hardverski TI TVP5158 je povezan na video port računarskog modula preko interfejsa od 16 bita. Ekstrahovani signali za sinhronizaciju (FIELD, VSYNC, HSYNC) se vode na odgovarajuće linije video porta.

D Multiplekser ulaznih video signala

Kako na računarskom modulu postoje dva ulazna video porta bilo je neophodno uvesti multipleksiranje video signala sa različitih izvora. U tu svrhu korišćena su analogna multipleksterska kola kao i programabilna logika (CPLD) u cilju očuvanja sinhronizacije signala. Paralelni digitalni video signali sa HDMI ulaznog bloka kao i sa ulaznog bloka za komponentni video signal se dovode prvo na analogna multipleksterska kola



Slika 3. Blok dijagram hardverskog rešenja matične ploče modula EPP-V7-DM8168

TI SN74CBTLV16212 čime se vrši odabir HDMI ili komponentnog video signala. Signal sa multipleksera se zatim dovodi na CPLD čip Altera EPM570F256C5N gde se vrši odabir između HDMI/komponentnog video signala ili video signala sa ekspanzione kartice. Drugi CPLD čip Altera EPM570F256C5N se koristi za odabir između video signala sa kompozitnih video ulaza ili video signala sa ekspanzione kartice.

E Ekspanziona kartica

Ekspanziona kartica je uvedena sa ciljem da se korisnicima omogućiti jednostavno dodavanje svojih modula za obradu video signala sa proizvoljnim ulazima/izlazima. Na ekspanzionu karticu se dovode dva ulazna i jedan izlazni video port sa računarskog modula. Širina ovih portova je po 16 bita.

F HDMI izlaz sa HDMI predajnikom

Usled velike rasprostranjenosti HDMI intrerfejsa u komercijalnoj video opremi implementiran je dodatni HDMI izlaz pored jednog postojećeg sa računarskog modula. Izlaz je implementiran konverzijom video signala po TU-R BT.656 standardu na serijski TDMS signal. U tu svrhu iskorišćen je Silicon Image SiI9022ACNU čip. Čip je povezan sa video portom računarskog modula preko 16 bitnog paralelnog interfejsa sa luma i hromatskom komponentom (16-bit YCbCr 4:2:2).

G Multiplekser izlaznih video signala

Kako na računarskom modulu postoji jedan izlazni video port bilo je neophodno uvesti demultiplekser koji sprovodi signale sa ovog porta na izlazni HDMI port ili ekspanzionu karticu. U tu svrhu iskorišćeni su analogni multiplekseri TI SN74CBTLV16212 jer nije bilo ograničenja u smislu sinhronizacije signala.

4. Softverska podrška

Kako je već naglašeno u opisu hardvera procesor DM8168 se sastoji iz više nezavisnih jezgara koje čine glavno Cortex A8 jezgro na kome se izvršava operativni sistem Linux i pomoćnih jezgara kao što su DSP i dodatna ARM jezgra u sklopu jedinice za obradu videa visoke definicije (HDVPSS) kao i jedinica za kompresiju/dekompresiju videa (HDVICP2).

Podizanje operativnog sistema se realizuje u tri nivoa. Prvi nivo je bootloader sa skupom osnovnih drajvera – Linux U-boot koji se pokreće sa SPI memorije ili SD kartice. Zatim se učitava jezgro operativnog sistema Linux sa jedne od sledećih periferija: SPI memorije, NAND memorije, SD kartice ili preko Ethernet mreže. Jezgro operativnog sistema zatim podiže fajl sistem koji se može nalaziti na NAND memoriji, SD kartici, Ethernet mreži ili SATA disku. Operativni sistem Linux poseduje skup drajvera za podršku odgovarajućih čipova prisutnih kako na računarskom modulu tako i na matičnoj ploči. Na kraju se učitava i aktivira nadogradnja operativnog sistema za obradu video sadržaja u realnom vremenu i odgovarajuće okruženje (DVR-RDK biblioteka). U sklopu ove biblioteke se nalazi i drajverska podrška i kodovi za pomoćna

jezgra procesora DM8168. Podizanje DVR-RDK biblioteke počinje upitom ka potrebnim resursima na modulu i matičnoj ploči, zatim njihovoj inicijalizaciji (čipovi za akviziciju analognog i digitalnog video signala) i spuštanju izvršnog koda na pomoćna jezgra (DSP i ARM jezgra na modulima HDVPSS i HDVICP2). Posle ovog koraka vrši se pokretanje same aplikacije za obradu video signala.

Za konkretnu implementaciju obrade video signala koristi se Link API čija je osnovna procesna jedinica – link koja predstavlja jednu nit koja se izvršava pod operativnim sistemom. Svaka od ovih niti poseduje message box mehanizam komunikacije kao i interfejs koji omogućava razmenu slika u okviru videa. Povezivanjem linkova u odgovarajući niz kreira se odgovarajući lanac obrade. DVR-RDK biblioteka omogućava rad isključivo sa video komponentama procesora dok se audio obrada i pristup drugim periferijama (USB, SATA, Ethernet itd.) ostvaruje preko Linuksa.

Softver omogućava podršku za slanje i prijem videa preko IP mreže korišćenjem linkova tipa IPC Bitstream In/Out koji omogućavaju razmenu video sadržaja sa operativnim sistemom Linuks. Na Linuksu se sada mogu iskoristiti standardne mrežne biblioteke za slanje i prijem video sadržaja putem UDP paketa ili posebne biblioteke u slučaju RTSP protokola. Kako sistem poseduje dva Ethernet interfejsa moguće je jedan iskoristiti za sistemske potrebe npr. Network File System Linuksa dok se drugi može koristiti za slanje odnosno prijem video sadržaja. U slučaju velikog opterećenja Ethernet interfejsa, koje opet izaziva visoko opterećenje glavnog ARM Cotrex 8 jezgra, moguće je koristiti pomoćni drajver koji koristi DSP jezgro za izvršavanje određenih operacija. U tom slučaju na sistemu Linuks se pokreće odgovarajući drajver dok se kod za DSP učitava preko syslink-a. U ovom slučaju DSP se ne može koristiti za obradu video sadržaja.

U okviru celokupnog softverskog paketa, u Institutu Mihajlo Pupin, izvršeno je prilagođenje (*porting*) operativnog sistema linuks za računarski modul i matičnu ploču kao i razvoj demo aplikacija za potencijalne klijente sistema. Jedna od aplikacija predstavlja sistem koji vrši agregaciju video signala sa većeg broja IP kamera i integraciju ovih video signala u jednu mozaik sliku (slično sistemima za nadgledanje).

Na ovaj način omogućen je širok spektar primene modula od napredne obrade video signala visoke definicije do sistema za automatsko vršenje kontrole kvaliteta, nadgledanje procesa i sličnih primena.

5. Zaključak

Sistem za višekanalnu obradu video signala omogućava istovremeno prihvatanje do dva video signala u punoj HD rezoluciji ili više kanala u nižoj rezoluciji (16 kanala PAL video signala), njihovo enkodovanje i snimanje na disk u relanom vremenu, istovremenu obradu uz korišćenje ARM i DSP procesora visokih performansi, te kombinovanje tako obrađenog videa sa videom koji je dekodovan sa diska ili mreže, te prikazivanje sadržaja na dva odvojena video kanala. Korišćenjem Ethernet interfejsa moguće je vršiti slanje odnosno prijem video signala putem IP mreže.

Sistem je dizajniran tako da su razdvojeni računarski modul i matična ploča čime je klijentima omogućeno da koriste sopstvenu matičnu ploču spram konkretnog sistema koji razvijaju. Prema svojim osobinama, a posebno imajući u vidu malu veličinu

i malu potrošnju energije, računarski modul spada u jedno od najboljih rešenja u svetu za veliki broj primena koje zahtevaju obradu video signala u realnom vremenu.

Računarski modul [5] je već našao primenu u inteligentnim kamerama za kontrolu saobraćaja (korisnik Survision u Francuskoj), a očekujemo da će biti korišćen i u drugim aplikacijama kao na primer: kamerama za nadzor, digitalnim video rekorderima, televizijskoj infrastrukturi, transkoderima video signala, medicinskim i vojnim primenama. U trenutku pisanja ovog rada osam potencijalnih korisnika razmatra nabavku ovog proizvoda.

Zahvalnica. Rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Projekat tehnološkog razvoja TR 32025).

Literatura

- [1] Qseven standard: <http://www.qseven-standard.org/>
- [2] Texas Instruments DaVinci DM8168 <http://www.ti.com/product/tms320dm8168>
- [3] Cortex-A8 specification: <http://www.arm.com/products/processors/cortex-a/cort-ex-a8.php>
- [4] M. Pavlović, S. Radulović, Ž. Stojković, N. Nenadić, "Projektovanje DDR3 SDRAM memorijskog interfejsa na COM modulu", *TELFOR 2012*, pp. 1072-1075.
- [5] EPP-V7-DM8168 Datasheet: http://www.embedded.rs/sites/default/files/EPP-V7-DM8168_data_sheet.pdf

Abstract: *In this paper we present system for multi-channel video processing based on computer module designed according to Qseven standard. Computer module uses Texas Instruments SoC DM8168. Computer module uses custom designed motherboard which provides computer module with extensive interfaces for generation and receiving of various types of video signals. Motherboard provides inputs for composite and component analog video signals and also digital HDMI and parallel YCbCr signals. Output ports for S-Video, HDMI and parallel YCbCr signal are also provided on motherboard. Texas Instruments DM8168 SoC provides combined ARM and video processing cores which enables the system with high video processing performance. System can receive and process 2 video streams in Full HD resolution or 16 channels in SDTV resolution. Software support is based on Linux OS with DVR-RDK libraries for video signal processing. Two Gigabit Ethernet interfaces enable sending and receiving video streams over IP network. Applications for this system are multiple ranging from real-time transmission of video signal, digital TV, video surveillance or combining of up to 16 video streams from IP cameras as well as their processing (movement and face detection, image enhancements etc.).*

Keywords: *video signal processing, IP network, Qseven, ARM, DSP*

SYSTEM FOR MULTICHANNEL VIDEO SIGNAL PROCESSING AND REAL TIME VIDEO STREAMING OVER IP NETWORK

Milan Oklobdžija, Marko Nikolić, Ivan Todorović, Slavica Boštjančič Rakas