

# Industrijski računar baziran na OMAP5 procesoru

Milan Radulović, Marko Pavlović, Nikola Nenadić, Goran Dimić

Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu

Beograd, Srbija

milan.radulovic@pupin.rs

*Sadržaj*-U ovom radu je detaljno opisana hardverska realizacija namenskog industrijskog računara. Uređaj je zasnovan na najnovijem OMAP5 procesoru kompanije Texas Instruments (TI) koji poseduje specijalizovane video i audio portove. Pored Digital Visual Interface (DVI) izlaza, preko konvertora Display Serial Interface (DSI) interfejsa u Low-voltage differential signaling (LVDS) interfejs, uređaj ima podršku za korišćenje LVDS video interfejsa sa dva kanala. Takođe, moguće je povezivanje kamere preko Camera Serial Interface (CSI)-2 interfejsa na posebnom portu.

**Ključne reči**-Processor; OMAP; Single Board Computer (SBC); video obrada.

## I. UVOD

Trend proizvodnje prenosnih pametnih uređaja, koji predstavljaju kompletne računare, malih dimenzija, sa mogućnošću bežičnog povezivanja, sve više uzima maha. Koriste se u aplikacijama kao što su video igre (uz slot mašine, video poker), interaktivni kiosci, kontrola mašina, udaljeni serveri, itd. Generalno se mogu podeliti na dve grupe: one koji podržavaju dodavanje nekih modula u predviđena ležišta i one koji imaju sve integrisano. Prvi tip ima prednost u dodavanju raznih funkcionalnosti preko systemske magistrale (*PCI Express* itd.) i ponekad ima prednost u ceni. Drugi tip omogućava korišćenje svih neophodnih interfejsa, ali bez fleksibilnosti u dodavanju različitih funkcionalnosti preko dodatnih modula. Ovaj tip je obično manjih dimenzija i potrošnje.

Postoje nekoliko veličina i formi u kojima se ovi računari proizvode: *CompactPCI*, *Embedded Compact Extended (ECX)*, *PC/104*, *PXI*, *VPX*, *Mini-ITX*, *Nano-ITX* [4]. Uređaj koji se ovde opisuje spada u formu *Pico-ITX* uređaja. Što se tiče samih platformi koje se koriste u računarima, obično su to Intel arhitekture, mogu biti i varijante sa više procesora, a u poslednje vreme se proizvode varijante sa manjom potrošnjom znanovane na *RISC* ili *SPARC* arhitekturama. Među *RISC* arhitekturama najpoznatija su *ARM* jezgra, čije se najnovije jezgro *A15* nalazi u opisanom uređaju (dvojezgarina varijanta). Od podržanih interfejsa, obično su to standardni interfejsi neophodni za ciljane aplikacije: *USB*, *SPI*, *I<sup>2</sup>C*, *UART (RS232)*, zatim multimedijalni interfejsi *DVI*, *HDMI*, *LVDS*, *DisplayPort*, *Sony/Philips Digital Interconnect Format (S/PDIF)*, audio izlazi i ulazi, zatim podrška za *SD/MMC* memorijske kartice, *SATA* interfejs, i razni komunikacioni protokoli (*Ethernet*, *WiFi*, *Bluetooth*, *Near Field Communication - NFC*). Pomoću univerzalnih interfejsa (npr. *USB*), moguće je drugim uređajima dodavati razne

funkcionalnosti: *GSM* modeme, razne multimedijalne uređaje, itd. čime se spektar mogućih aplikacija proširuje.

Softverske platforme na ovakvim uređajima su obično *Android*, *Linux* ili *Windows CE*. Ovime je dodata velika fleksibilnost u razvijanju softvera, a već postoji veliki broj aplikacija koje pokrivaju razne funkcionalnosti.

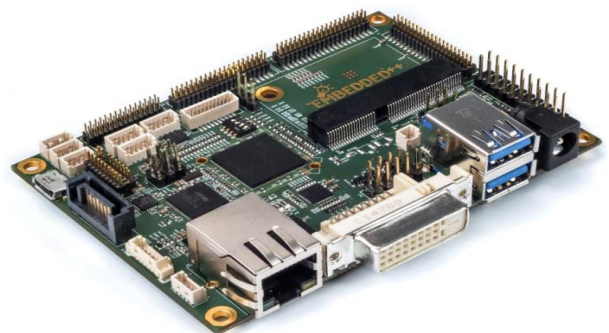
## II. ARHITEKTURA UREĐAJA

Arhitektura modula je u formi *Pico-ITX* standarda, koji propisuje određene zahteve. Ovu formu je predstavila firma *VIA Technologies*, 2007 [5]. Godine. Dimenzije uređaja su 100x72mm i postoji više rupa za motažu. Konektori su mahom postavljeni po obodu ploče, radi lakšeg pristupa i integrisanja u kućište. Sl. 1 prikazuje izrađen uređaj sa bežičnim modulom *COM7* kompanije *Murata*, koji se postavlja u posebno predviđeni konektor.

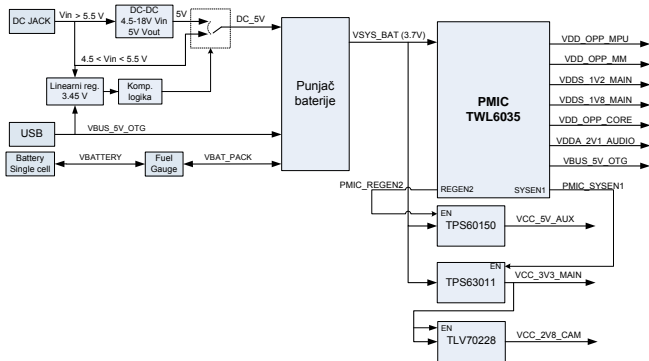
Uređaj se može podeliti u više celina: blok za napajanje, procesor, bežični modul i ostali interfejsi.

### A. Blok napajanja

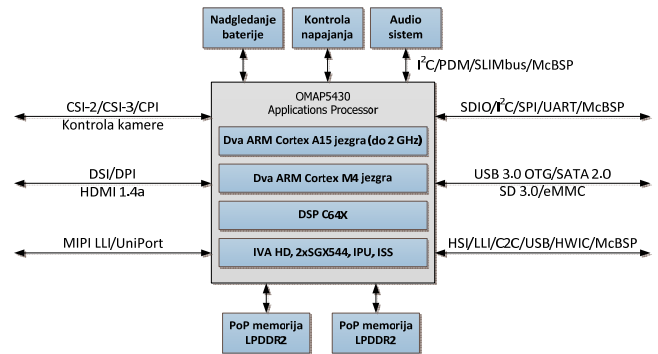
Blok za napajanje je kompleksna celina jer sam procesor zahteva veliki broj napona. Na Sl. 2 je prikazana arhitektura bloka za napajanje. Predviđeno više izvora sa kojih se može povezati glavni napon: sa spoljašnjeg nestabilisanog napajanja od 5-18 V, sa jednog od *USB* portova (*USB 3.0 On-The-Go-OTG* port) i sa baterije. Spoljašnje nestabilisano napajanje se ili propušta dalje u sistem (ako je napon manji od 5,5 V) ili se sprovodi do konvertora napona (*DC-DC* konvertora), koji spušta napon na 5 V. Potom se stabilisanih 5 V dalje vodi do bloka za punjenje baterije. Izvor napajanja sa *USB 3.0 OTG* porta se takođe vodi do baterijskog punjača, koji sam vrši



Slika 1. Izgled izrađenog uređaja.



Slika 2. Arhitektura bloka za napajanje.



Slika 3. Glavni blokovi procesora.

funkciju biranja i prebacivanja izvora napona u zavisnosti koji je od njih prisutan.

Punjač baterije ima dve uloge: primarna funkcija je punjenje spoljašnje baterije, a druga funkcija je transformacija ulaznih napona od 5 V na napon baterije od oko 3,7 V. Taj napon se potom vodi do drugih blokova koji od njega prave sve ostale napone koji su potrebni u sistemu. Treba napomenuti da konvertovanje napona funkcioniše bez obzira da li je baterija prisutna ili nije, što omogućava rad uređaja kada baterija nije priključena.

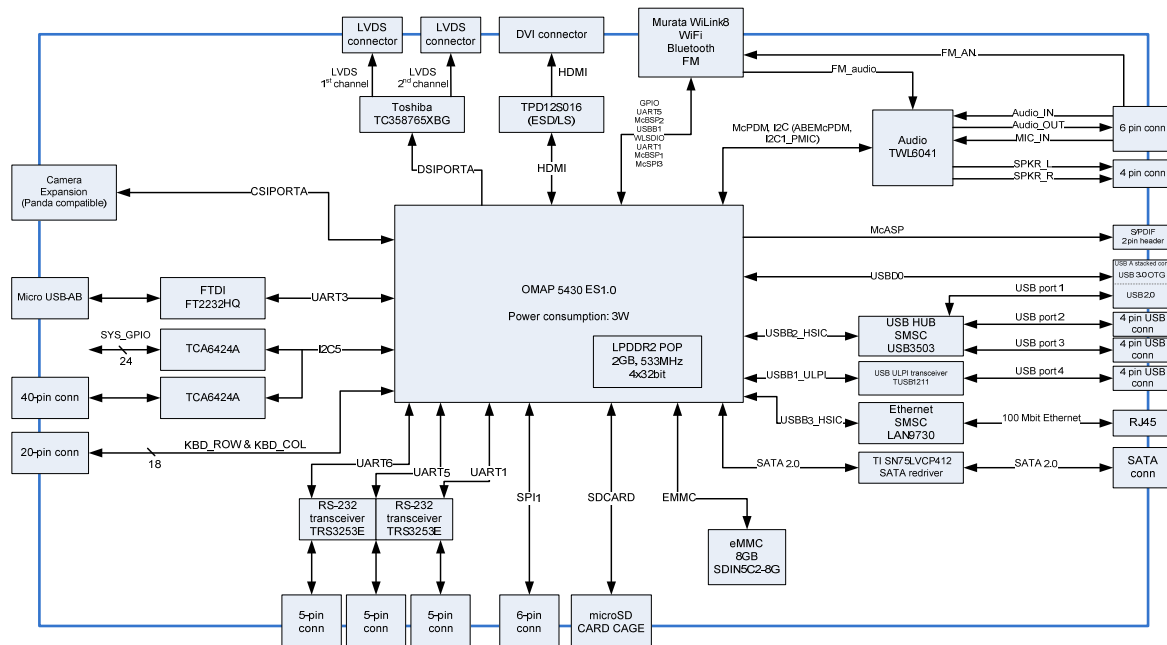
Dalje se ovaj napon konvertuje u sve ostale napone koji su potrebni za funkcionisanje sistema: 3 napona sa dinamičkim skaliranjem ~1 V za jezgro procesora, 1,8 V i 1,2 V za sistemsku memoriju i ostatak sistema, 2,1 V za audio i još nekoliko napona od 1,8 V i 1,5 V za razne delove procesora. Ove napone pravi posebno kolo TWL6035 kompanije TI, koje je specijalno projektovano za ovaj i njemu slične procesore, da bi se ispoštovao broj potrebnih napajanja, sekvenca uključivanja napona i druge funkcije. Ovo kolo je sa procesorom povezano preko I<sup>2</sup>C interfejsa, tako da procesor može pristupiti njegovim internim registrima i po potrebi vršiti skaliranje svojih napona u zavisnosti od potrošnje, tako da se maksimalno smanji potrošnja u sličaju nezahtevnih aplikacija. U njemu je integrisan oscilator, koji uz dodatni spoljašnji kvarcni kristal obezbeđuje funkcionisanje časovnika realnog vremena, koje koristi sistem. Da bi se kontekst časovnika očuvao, dodatna punjiva mini baterija (super kondenzator) se koristi pri odsustvu svih ostalih napajanja, tako da časovnik funkcioniše i po isključenju napajanja. Pored ovoga, posebno su dodata još dva konvertora, koji prave napone od 3,3 V i 5 V (da bi se prisustvo ovog napona obezbedilo za nekoliko kola u sistemu i pri korišćenju samo baterijskog napajanja).

## B. Procesor

Glavna komponenta uređaja je procesor OMAP 5430, najnoviji procesor iz OMAP familije. Ciljane aplikacije za koje se procesor može koristiti jesu industrija mobilnih telefona, industrijske aplikacije kao i zahtevne multimedijalne aplikacije. Jedna od prednosti korišćenja ovog procesora je Package On Package (POP) kućište koje omogućava postavljanje (spajanje) memorije na sam procesor. Samim tim memorije ne zauzimaju dodatno mesto na štampanoj ploči i veza između procesora i memorije je vrlo pouzdana. Pošto je procesor delimično namenjen tržištu mobilnih telefona, visok

stepen integracije i malo kućište (14x14 mm) uzrokovale su korišćenje MIPI standarda za različite periferije: DSI (prikaz slike), CSI (kamera), Low Latency Interface (LLI) i High Speed Inter-Chip (HSIC), potreban za USB [6][7]. Ove protokole odlikuju mali naponi napajanja (1,2 V, 1,5 V, 1,8 V) i korišćenje malo linija na ploči (mahom serijski interfejsi, single-ended ili diferencijalni vodovi). Zbog toga je potrebno dodati druga kola za same fizičke slojeve interfejsa ili transformaciju MIPI interfejsa u neki drugi komercijalni standard. Što se tiče memorija koje procesor podržava, u pitanju su Low Power DDR2 (LPDDR2) memorije. U ovom dizajnu je iskorišćena memorija od 2 GB, učestanosti takta od 533 MHz.

Pojedini blokovi procesora se mogu videti na Sl. 3. Procesor poseduje dva ARM Cortex-A15 jezgra, koje mogu imati učestanosti i do 2 GHz. To su 32-bitna RISC jezgra sa 32 KB instrukcijske L1 keš memorije, 32 KB L1 keš memorije za podatke i 2 MB L2 keš memorije. Pored toga, procesor poseduje moćno TMS320DM64 Digital Signal Processing (DSP) jezgro koje je specijalizovano za obradu signala pa se može koristiti za obradu slike i videa. Takođe ima nekoliko delova procesora koji su specijalizovani za pojedine obrade multimedijalnih sadržaja. Tu je IVA-HD podsistem, koji pruža hardversku akceleraciju kodiranja i dekodiranja slika i video sadržaja (u visokoj definiciji): JPEG, MPEG2, MPEG4/H.264 [8]. Prisutan je i Image Processing Unit (IPU) koji sadrži dva ARM Cortex-M4 jezgra za obradu slike. Takođe postoji Imaging Subsystem (ISS) koji je zadužen za obradu slike sa senzora (kamere). On vrši linearizaciju podataka sa senzora, korekciju sočiva, korekciju game, balans bele boje, razne konverzije kolor sistema i drugo. Video se može snimati preko video ulaza kojih procesor ima 3 različita tipa: tri CSI-2 porta, jedan CSI-3 port i jedan paralelni port. Procesor takođe poseduje deo za obradu 3D sadržaja. Njega čine dva jezgra POVERVR SGX544, koja podržavaju DirectX 9, OpenGL-ES 1.0 i 2.0 [9]. Za prikazivanje video sadržaja je zadužen Display Subsystem. On kontroliše kako se materijal iz memorije prikazuje na monitorima. Procesor poseduje tri različita tipa video izlaza: paralelni izlaz, High-Definition Multimedia Interface (HDMI) izlaz i dva DSI porta. Procesor pored skaliranja napajanja ima napredne tehnike sprovođenja takta, tako da se delovi procesora koji se ne koriste uopšte ne taktuju, što još dodatno smanjuje potrošnju. Dodatni interfejsi koji su izvedeni na uređaju se mogu videti na Sl. 4.



Slika 4. Blok šema sistema.

### C. Ostali interfejsi

Pored kamere i raznih video izlaza, uređaj ima i audio izlaze/ulaze. Za ove potrebe se koristi audio kolo TWL6041 kompanije TI [10]. Kao i glavna komponenta bloka napajanja, ovo audio kolo je specifično projektovano za upotrebu sa ovim procesorom, ili njemu sličnim. Kolo ima visoke performanse: 4 audio *Digital to Analog Converter (DAC)* kanala, stereo izlaz/ulaz, ulaze za više mikrofona, stereo izlaz za priključenje zvučnika od 8  $\Omega$  ili 4  $\Omega$  i ulaz sa FM prijemnika.

Ima vrlo malo kućište od samo 3,8x3,8 mm. Takođe malo troši tako da se može koristiti u aplikacijama koje koriste baterijsko napajanje. Modul je povezan sa procesorom preko *Multichannel Pulse Density Modulation (MCPDM)* magistrale. Ona omogućava pet audio izlaznih kanala sa brzinom do 3,84 Mbps za svaki kanal posebno; tri ulazna audio kanala sa brzinom do 3,84 Mbps za svaki od njih. Takođe obezbeđuje jedan statusni i jedan komandni kanal sa protokom od 3,84 Mbps. Pomoću sistemske I<sup>2</sup>C magistrale pristupa se podešavanju i registrima modula. Pored analognih izlaza, izveden je i jedan digitalni audio izlaz, S/PDIF, koji je dostupan preko posebnog konektora.

USB interfejs je pogodan jer se sve više periferija projektuju da koriste ovaj interfejs, od jednostavnih uređaja (tastatura, skener, miš, štampač) do kompleksnijih (razni modemi, 3G, WiFi, Bluetooth, TV kartica, medijuma za skladištenje podataka). Pored USB 2.0 protokola, procesor pruža mogućnost korišćenja novijeg, super-brzog USB 3.0 protokola. Fizički sloj ovog protokola je implementiran u sam procesor, tako da je interfejs izveden direktno na konektor. Ova varijanta protokola može da menja konfiguraciju između *Host-a* i *Device-a* u toku rada, tzv. *On-The-Go (OTG)* verzija protokola, u zavisnosti šta se na njega poveže u toku rada. USB 3.0 za sada pruža najveći protok podataka, čak do 5 Gb/s.

Pored njega, na sličan konektor je izveden i jedan USB 2.0 interfejs, koji je takođe implemetiran u procesoru zajedno sa fizičkim slojem. Ostali USB 2.0 interfejsi su realizovani po *HSIC* ili *UTMI+(USB 2.0 Transceiver Macrocell Interace) Low Pin Interface (ULPI)* standardu u samom procesoru. HSIC USBB2 (drugi USB 2.0 interfejs) je povezan sa USB HUB-om, USB3503 firme SMSC. Ovo je HSIC u 3xUSB 2.0 most, tako da su potom tri USB 2.0 porta izvedena na konektore. Pored ovih, izveden je još jedan USB 2.0 port, preko ULPI interfejsa. ULPI je paralelni interfejs za konekciju USB 2.0 PHY kola sa procesorom [11]. On je proistekao iz zahteva da interfejs ne bude mnogo brz (60 MHz ili 120 MHz), a da takođe sadrži što manje pinova, tako da sadrži 8 ili 4 signala za podatke, 3 kontrolna signala i 1 signal za takt. Ove linije se vode do TUSB1211 primopredajnika, koji dalje prosleđuje USB 2.0 interfejs preko diferencijalnih linija do samog konektora.

Ethernet interfejs na procesoru nije implementiran. Da bi uveli ovaj protokol, jedan od USB interfejsa je pretvoren u Ethernet interfejs preko posebnog mosta. S obzirom na protok USB interfejsa od 480 Mbps, realizovani Ethernet interfejs je 10/100 Mb/s (ne može biti gigabitni). Treći USB interfejs sa procesora je kao HSIC povezan sa LAN9730 transiverom firme SMSC [12]. Ovo je jedan od malobrojnih transivera koji služe transformisanju USB HSIC signala u Ethernet interfejs. Sa softverske strane ova transformacija je transparentna tako da se ovaj interfejs može koristiti kao da je implementiran u samom procesoru.

Od interfejsa koji se tiču medijuma za skladištenje podataka, podržana su 3 ukupno. Jedan je *Serial AT Attachment (SATA)* interfejs, koji je izveden direktno na konektor i omogućava povezivanje eksternih diskova za skladištenje. U pitanju je SATA 2.0 protokol koji omogućava protoke podataka do 3 Gb/s. Drugi dva su bazirana na SD/MMC interfejsu. Jedan je tzv. *Embedded Multi Media Card (eMMC)* interfejs, koji ima trend da zameni postojeće



Slika 5. Prikaz Murata COM7 modula.

Flash memorije [13]. Naime, u pitanju je interfejs sa 8 linija za podatke, jednom komandnom linijom i jednom linijom za takt. Podržava protok do 48 MB podataka. U samim modulima se nalazi integrisana Flash memorija kao i njen kontroler. Sadašnji moduli koji se mogu naći na tržištu idu do 128 GB. Poslednji interfejs je standardni SD/MMC interfejs, koji je povezan sa konektorom za microSD karticu. On takođe podržava protok do 48 MB, a podržava kartice raznih kapaciteta.

Za povezivanje sporijih periferija, predviđeno je postojanje interfejsa kao što su SPI, I<sup>2</sup>C, ili RS-232. Jedna od periferija koja se može povezati na ovaj interfejs je i ekran osetljiv na dodir. Svi ovi interfejsi su izvedeni na odgovarajuće konektore. Pored njih, omogućeno je i korišćenje integrisanog kontrolera za tastaturu u samom procesoru. 9 linija za redove i 9 linija za kolone je izvedeno, što omogućava povezivanje 81 tastera. Ukoliko se ne koristi kontroler tastature, ove linije se mogu koristiti kao opšti ulazi/izlazi. Pored ovih 18 linija, izvedeno je još 24 linije za digitalne ulaze/izlaze. Zbog nedostatka ovih linija na procesoru, iskorišćena je jedna veza preko I<sup>2</sup>C magistrale sa kolom I/O expander-a, TCA6424A, koje ažurira digitalne ulaze/izlaze i ima jednu prekidnu liniju za obaveštavanje procesora. Za potrebe razvoja, jedan serijski port UART-a se vodi preko FT2232HQ UART u USB mosta kompanije FTDI, preko micro-B USB konektora. Predviđeno je da kamera može da se poveže preko jednog od CSI-2 portova. Iskorišćen je CSI\_A port, koji ima 4 putanje, gde je protok podataka po jednoj putanji 1,5 Gb/s. Ovo omogućava snimanje video sadržaja u visokoj definiciji, kao i snimanje slika do 24 MP (procesor može obraditi ovako zahtevne slike). Kao video izlaz, u ovom dizajnu je sproveden HDMI izlaz kao DVI interfejs. Radi još većeg iskorišćenja procesorske snage, je i jedan DSI port, koji se potom posebnim kolom, Toshiba TC358765 DSI u LVDS konvertora, pretvara u dvokanalni LVDS interfejs [14]. On ima mogućnost prikazivanja sadržaja u WUXGA rezoluciji od 1920×1200 tačaka. Ovime je moguće prikazati ukupno tri ekrana, koji prikazuju različite slike. Ostavljena je mogućnost podešavanja parametara pozadinskog osvetljenja ekrana: uključivanja/isključivanja osvetljaja, kontrola intenziteta osvetljaja preko *Pulse Width Modulation (PWM)* modulacije i kontrola napajanja ekrana.

#### D. Bežični modul

Radi modularnosti u odabiru funkcija i protokola, bežični moduli različitih konfiguracija se mogu povezati na ovaj port. Za povezivanje bežičnih modula predviđen je poseban *Wireless Connectivity Port*, koji predstavlja 100-pinski konektor. Od podržanih funkcija moguće su WiFi, Bluetooth, NFC, GPS, FM i druge. S obzirom na veliki broj funkcija, više interfejsa je povezano, koji kontrolišu pomenute funkcije. WiFi je moguće kontrolisati preko WLSPIO interfejsa, jednog od neiskorišćenih SDIO interfejsa sa procesora. Bluetooth je podržan preko *Multichannel Buffered Serial Port (McBSP)* porta procesora, preko jednog od UART-a, kao i preko jednog SPI porta. GPS funkcije mogu da se koriste preko I<sup>2</sup>C magistrale ili UART-a. FM funkcija može biti i predajnik i prijemnik. Pored procesora, sa kojim je povezana preko porta McBSP2 (digitalni deo), analogni signal je povezan i sa audio modulom.

Postoji više proizvođača ovih tipova bežičnih modula *LS Research, Murata, Jorjin technologies*. Za sada je predviđeno korišćenje COM7 modula i COM8 modula, koji koriste najnovije platforme iz *WiLink* serije modula. *WiLink* je brend kompanije TI, koji u sebi integriše više bežičnih funkcija u jednom čipu. Najnovija verzija je *WiLink 8* [15]. COM7 modul, prikazan na Sl. 5, zasnovan je na *WiLink 7* čipu [16]. Omogućava WLAN 802.11 a/b/g/n, Bluetooth 3.0, GPS, *ANT+* protokol, kao i FM slanje i prijem. Sam modul može imati na sebi konektore, koji se posebnim kablom povezuju sa eksternim antenama, ili može imati na sebi male antene. Ove opcije zavise od toga koji se od varijanti modula izabere. Moduli su malih dimenzija, svega 36.36×25.43 mm, tako da ne zauzimaju mnogo mesta na samoj ploči.

### III. ZAKLJUČAK

Po ugledu na svetske trendove, realizovan je uređaj koji predstavlja kompletan industrijski računar sa moćnim video procesorom. Procesor OMAP5 je najnoviji procesor iz OMAP serije procesora i zavidnih je performansi u odnosu na sve ranije modele procesora ove kompanije. Posедуje veliki broj hardverskih jedinica za obradu, kodovanje, dekodovanje i prikaz slike i videa, što mu omogućava da ispuni sve zahtevne zadatke. Pored toga sadrži DSP jezgro koje može da se koristi za dodatnu obradu videa. Bežična komunikacija je modularnog tipa i jednostavnom promenom modula mogu se menjati funkcije sistema. Takođe, upotreba Android ili Linux platforme omogućava veliku fleksibilnost u projektovanju aplikacija i korišćenja već gotovih funkcija i biblioteka. Treba napomenuti da je ovaj uređaj jedan od 6 uređaja koji su proizvedeni i koji koriste OMAP 5 procesor [17]. Pri tom, ovaj uređaj je jedini u formi *Single Board Computer-a (SBC)*, dok su ostali uređaju uglavnom u formi slot kartica i zahtevaju dodatni hardver da bi funkcionisale. Dalji razvoj uređaja bi mogao da obuhvati dodavanje još nekih standardnih magistrala kao što je PCI Express, pretvaranjem nekog interfejsa dovoljnog protoka. Ovime bi konfiguracija uređaja bila još više modularna i omogućila bi korišćenje većeg broja različitih modula.

## ZAHVALNICA

Finansiranje rada je delimično obezbeđeno iz budžeta projekata Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, oznaka III44003.

## LITERATURA

- [1] OMAP 5 official page,  
<http://www.ti.com/general/docs/wtbu/wtbuproductcontent.tsp?templated=6123&navigationId=12862&contentId=101230>
- [2] Murata COM7 official page: <http://www.murata-ws.com/com7.htm>
- [3] EPP-PICO-OMAP5430 TI page:  
<http://www.ti.com/devnet/docs/catalog/endequipmentproductfolder.tsp?actionPerformed=productFolder&productId=13360>
- [4] Single Board Computer, Wikipedia page:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Single-board\\_computer](http://en.wikipedia.org/wiki/Single-board_computer)
- [5] Pico-ITX Form Factor white paper, April 2007  
[http://www.via.com.tw/en/downloads/whitepapers/initiatives/spearhead/pico-itx\\_form\\_factor.pdf](http://www.via.com.tw/en/downloads/whitepapers/initiatives/spearhead/pico-itx_form_factor.pdf)
- [6] MIPI alliance, <http://www.mipi.org/>
- [7] HSCI protocol explained:  
[http://www.synopsys.com/dw/dwtb.php?a=hsic\\_usb2\\_device](http://www.synopsys.com/dw/dwtb.php?a=hsic_usb2_device)
- [8] Ducati for Dummies OMAppedia page,  
[http://omappedia.org/wiki/Ducati\\_For\\_Dummies#IVA-HD\\_Overview](http://omappedia.org/wiki/Ducati_For_Dummies#IVA-HD_Overview)
- [9] PowerVR Series feature,  
[http://www.imgtec.com/powervr/sgx\\_series5.asp](http://www.imgtec.com/powervr/sgx_series5.asp)
- [10] TI TWL6041 datasheet, June 2012,  
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/twl6041.pdf>
- [11] ULPI - The Standard for High-Speed USB PHYs:  
[http://www.mentor.com/products/ip/usb/usb20otg/phy\\_interfaces](http://www.mentor.com/products/ip/usb/usb20otg/phy_interfaces)
- [12] SMSC LAN9730 HSIC to Ethernet transceiver datasheet, October 2011,  
[http://www.smsc.com/media/Downloads\\_Public/Data\\_Sheets/9730.pdf](http://www.smsc.com/media/Downloads_Public/Data_Sheets/9730.pdf)
- [13] eMMC article:  
<http://www.datalight.com/solutions/technologies/emmc/what-is-emmc>
- [14] Toshiba TC358765 DSI to LVDS bridge product brief,  
[http://www.toshiba.com/taec/components/ProdBrief/10E03\\_TC358764\\_5\\_ProdBrief.pdf](http://www.toshiba.com/taec/components/ProdBrief/10E03_TC358764_5_ProdBrief.pdf)
- [15] WiLink8 TI page:  
<http://www.ti.com/ww/en/wtbu/wilink8/?INTC=SensorTag&HQS=sensortag-pr-lp8>
- [16] Murata COM7 module brief,  
[http://www.murata-ws.com/datastore/media/dc\\_com7\\_brief.pdf](http://www.murata-ws.com/datastore/media/dc_com7_brief.pdf)
- [17] TI news, new OMAP5 devices:  
<http://newscenter.ti.com/2012-11-12-New-OMAP-5-processor-based-modules-spur-easier-faster-industrial-designs>

## ABSTRACT

This paper presents detailed hardware architecture of an industrial embedded computer based on the newest OMAP5 processor from Texas Instruments (TI) company. This processor has specialized video and audio ports. In addition to Digital Visual Interface (DVI) output, it has Display Serial Interface (DSI) to Low-voltage differential signaling (LVDS) bridge, with dual channel LVDS support. Also, it's possible to connect a camera over Camera Serial Interface (CSI)-2 on a special port.

## **INDUSTRIAL SINGLE BOARD COMPUTER BASED ON OMAP5 PROCESSOR**

Milan Radulović, Marko Pavlović, Nikola Nenadić,  
Goran Dimić