

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

SEMINAR

Gumstix u ronilicama

Marin Bek

Voditelj: *Prof.dr.sc. Zoran Vukić*

Zagreb, svibanj 2010.

SADRŽAJ

| | |
|--|-----------|
| 1. Uvod | 1 |
| 2. Matični moduli | 2 |
| 2.1. <i>Overo</i> moduli | 3 |
| 2.2. <i>Verdex Pro</i> moduli | 4 |
| 3. Ekspanzijski moduli | 5 |
| 3.1. <i>Overo</i> ekspanzijski moduli | 5 |
| 3.2. <i>Verdex Pro</i> ekspanzijski moduli | 6 |
| 3.3. Robo(audio)stix moduli za <i>Verdex Pro</i> | 7 |
| 4. Moguća primjena u ronilicama | 8 |
| 4.1. Primjena <i>Overo</i> obitelji | 8 |
| 4.2. Primjena <i>Verdex Pro</i> / <i>Robostix</i> obitelji | 8 |
| 5. Zaključak | 10 |
| 6. Sažetak | 11 |

1. Uvod

Gumstix je minijaturni računalni sustav baziran na Linux operacijskom sustavu započet kao hobi Gordona Kruberga. Kasnije prerasao u tvrtku Gumstix, projekt je trenutno dostupan u dvije proizvodne linije:

- Verdex Pro serija, bazirana na Marvell XScale mikroprocesoru,
- Overo serija, bazirana na Texas Instruments OMAP¹ platformi.

Osnovna prednost Gumstixa jesu male dimenzije, koje su i osnovna ideja naziva tvrtke (eng. *Gumstix*: Pločica žvakaće gume). Najmanja izvedenica osnovnog modula mjeri 17x58x4,2 mm, bez spojenih dodatnih modula, čime se dimenzije povećavaju ovisno o korištenim modulima.

Gumstix je do sada našao primjenu svugdje, od osobnih (“hobi”) do komercijalnih i edukacijskih projekata, na najrazličitijim sferama primjene: medicinskim, sigurnosnim, alarmnim, bežičnim i prijenosnim uređajima, te području koje je razmatrano u ovom rad – robotici. Konkretno, razmatra se mogućnost korištenja Gumstix tehnologije u ronilicama, kako autonomnim, tako i upravljanim. Slijedi kraći opis matičnih i ekspanzijskih modula, a nakon toga se temeljem zahtjeva zbog područja primjene ronilica razmatra moguća primjena ove tehnologije.

¹Texas Instruments *Open Multimedia Application Platform*

2. Matični moduli

Matični modul, ekvivalent matičnoj ploči “klasičnih” računala, je osnovna gradivna jedinica svakog ugradbenog računalnog sustava koja objedinjuje sve potrebne sustave jednog računala – (ko)procesor(e), sabirnicu, memoriju (RAM, ROM te u većini slučajeva i FLASH) i osnovne ulazno/izlazne priključke. Uz osnovne sustave, ugradbeni računalni sustavi na matičnim modulima često imaju ovisno o izvedbi implementirane i različite druge periferije, poput dodatnog memorijskog prostora, USB-a, bežičnih modula, CAN¹, I2C² ...

Gumstix u trenutku pisanja ovog teksta (travanj 2010.) ima aktualne dvije različite obitelji osnovnih modula:

- *Overo Earth*, baziran na Texas Instruments OMAP³ platformi,
- *Verdex Pro*, baziran na Marvel XScale PXA270 procesoru⁴.

Svi moduli su pogonjeni Linux operacijskim sustavom⁵ i koriste Busy Box aplikacije⁶. Razvoj aplikacija i cijelog Gumstix sustava je omogućen pod *Open-Embedded* razvojnim okruženjem za ugradbene sustave.

¹ *Controller Area Network* – industrijska sabirnica, najčešće za vozila

² *Inter-Integrated Circuit*, naziva se još i TWI (*Two Wire Interface*) – sabirnica za manje periferije nižih brzina

³ Open Multimedia Application Platform iz Texas Instruments-a, mikroprocesor baziran na ARM procesoru i jednom ili više DSP procesora

⁴ ARMv5 baziran mikroprocesor

⁵ Trenutno se koristi Linux kernel 2.6

⁶ GNU aplikacija kao zamjena za standardne UNIX alate i naredbe prilagođena radu na ugradbenim sustavima

Na tržištu je aktivno više inačica obje obitelji modula, koje se razlikuju u ugrađenim periferijama i mogućnostima:

Overo:

- *Overo Earth*, OMAP3503
- *Overo Water*, OMAP3530 (OpenGL + DSP)
- *Overo Air*, OMAP3503 + WiFi, Bluetooth
- *Overo Fire*, OMAP3530 (OpenGL + DSP) + WiFi, Bluetooth

Verdex:

- *Verdex Pro XM4*, 400MHz
- *Verdex Pro XM4-BT*, 400MHz + Bluetooth
- *Verdex Pro XL6P*, 600MHz + 128MB DDR RAM, 32MB Flash

U nastavku su kraći opisi svih inačica modula.

2.1. *Overo* moduli

Sve inačice Overo modula (*Earth*, *Air*, *Water*, *Fire*) su bazirane na OMAP tehnologiji, namjenskim procesorima za mobilnu multimedijalnu uporabu, zbog čega se kao popularnija primjena može navesti korištenje u mobilnim uređajima (Nokia N-serije, Samsung mobiteli), te ručnim računalima, zbog ugrađenog DSP⁷ procesora i hardverske OpenGL⁸ podrške. DSP i GPP⁹ su implementirane kao dvije fizički razdvojene jezgre spojene međusobnom sabirnicom, što može uzrokovati probleme prilikom obrade veće količine podataka zbog uskog grla uzrokovano međuprocorskom sabirnicom. Procesor opće namjene je ARM¹⁰ procesor Cortex generacije (ARMv7) takta 600MHz što stavlja na raspolaganje 1200 MIPSa¹¹ za opću namjenu, ali obzirom da se radi o dvije različite procesorske jezgre to se ne odnosi i na korištenje DSP procesora, već se ARM jezgra koristi isključivo za operativni sustav i popratne funkcije poput upravljanja periferijama, dok se DSP koristi za digitalnu obradu signala. Zbog arhitekture nije moguće DSP koristiti za pokretanje npr. operativnog sustava (zbog nedostatka potrebnih mikroprocesorskih instrukcija), niti je moguće koristiti ARM procesor

⁷Digital Signal Processor

⁸OpenGL – *Open Graphics Library*

⁹GPP – General Purpose Processor

¹⁰ARM – Advanced RISC Machine

¹¹MIPS – Million Instructions Per Second

za direktan izračun npr. vektorskih umnožaka, na što je potrebno obratiti pažnju prilikom dizajniranja računalnog sustava ronilice.

Memorijski podsustav Overo modula je baziran na 256MB RAM i 256MB Flash memorije, što je dostatno za većinu mobilnih primjena, a za dodatnu pohranu (npr. pohranu videa) se mogu koristiti microSD memorijske kartice.

Od periferija svi Overo moduli sadrže:

- Sabirnice: I2C, 1-wire, USB, dodatne MMC linije
- I/O ulaze: UART, SPI
- Ostalo: 6 PWM linija i 6 A/D članova, 1 video ulaz, ulaz za slušalice i mikrofon

Dodatno, ovisno o inačici, neke inačice imaju ugrađen i Bluetooth/Wireless modul.

2.2. *Verdex Pro* moduli

Verdex Pro moduli su nešto slabiji moduli od Overo modula – ne nude DSP i OpenGL mogućnosti koje su često neizbježne u robotici, te 2 inačice (XM4) rade na 400MHz taktu, dok XL6P modul radi na taktu 600MHz. Nadalje, matični moduli ne sadrže nikakvu dodatnu periferiju osim USB konektora za programiranje i komunikaciju.

Dvije sporije inačice dolaze s 64MB RAM i 16MB Flash memorije, dok treća, brža inačica dolazi sa 128MB RAM i 32MB Flash memorije.

3. Ekspanzijski moduli

Kako bi se omogućila modularnost u radu i pružile različite moguće konfiguracije razvijanih sustava na raspolaganju su različiti ekspanzijski moduli za različite primjene. Pošto su sâmi matični moduli zamišljeni za različite primjene, i ekspanzijski su moduli shodno različiti, te je potrebno detaljno proučiti mogućnosti svih modula i moguće kombinacije modula prije početka razvoja, zbog čega se u nastavku pobliže opisuju svi ekspanzijski moduli s naglaskom na moguću primjenu u podvodnoj robotici.

Važno je napomenuti da moduli jedne obitelji matičnih modula nisu kompatibilni s modulima druge obitelji!

3.1. *Overo* ekspanzijski moduli

Overo moduli su namjenjeni prvenstveno multimedijalnim aplikacijama i zbog toga većina modula sadrži sučelje za touch-screen LCD i/ili HD signal. Pošto matični moduli nemaju konektore za ugrađene periferije, detaljniji pregled raspoloživih periferija je vidljiv u tablici 3.1.

Tablica 3.1: *Overo* ekspanzijski moduli

| Modul | LCD | HD | Eth. | USB | Audio | GPIO | PWM | A/D | I ² C | SPI | 1-wire |
|------------|-----|----|------|-----|-------|------|-----|-----|------------------|-----|--------|
| Chestnut43 | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ×6 | ×6 | ✓ | ✓ | ✓ |
| Tobi-Duo | | | ×2 | | | | | | | | |
| Tobi | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ×6 | ×6 | ✓ | ✓ | ✓ |
| Palo35 | ✓ | | | ✓ | ✓ | | ×6 | ×6 | ✓ | ✓ | ✓ |
| Palo43 | ✓ | | | ✓ | ✓ | | ×6 | ×6 | ✓ | ✓ | ✓ |
| Summit | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ×6 | ×6 | ✓ | ✓ | ✓ |
| Pinto-TH | | | | ✓ | | ✓ | ×6 | ×6 | ✓ | ✓ | ✓ |
| Thumbo | | | | ✓ | | ✓ | ×6 | ×6 | ✓ | ✓ | ✓ |

3.2. *Verdex Pro* ekspanzijski moduli

Kod *Verdex Pro* modula je situacija različita – pošto nema DSP, nema mogućnosti niti modula za spajanje HD uređaja, ali postoji mogućnost spajanja običnih LCD zaslona. Kako je *Verdex Pro* Gumstix obitelj zamišljena za uporabu u robotici, među ekspanzijskim modulima se mogu naći GPS modul, Wireless modul, *Robostix* i *Roboaudiostix* moduli. U tablici 3.2 je dan pregled raspoloživih ekspanzijskih modula za *Verdex Pro* i opis njihovih mogućnosti.

Tablica 3.2: Pregled *Verdex Pro* ekspanzijskih modula

| Modul | Opis |
|-----------------|--|
| GPSstix | GPS senzor |
| netpro-vx | 10/100 Ethernet modul s opcijom za wireless modul |
| roboaudio-th | Audio, <i>touchscreen</i> , GPIO i A/D, plus 8bit AVR |
| consoleLCD-vx | 18bpp LCD sučelje |
| consoleLCD16-vx | 16bpp LCD sučelje |
| robostix | 8bit AVR mikrokontroler |
| audiostix 2 | Audio sučelje |
| JTAGpro | JTAG sučelje za <i>debugiranje</i> i uhodavanje |
| wifi module EU | Wireless modul konforman s EU odredbama |
| wifi module FCC | Wireless modul konforman s FCC odredbama |
| robostix-TH | 8bit AVR mikrokontroler |
| breakout-vx | <i>Breakout board</i> za <i>Verdex</i> matični modul. Pruža USB, GPIO, LCD, I ² C. |
| console-vx | ×3 RS-232 ¹ sučelje, USB, LCD i I ² C. |
| console-st | ×2 RS-232 ² sučelje. |
| tweener | ×1 RS-232 ³ sučelje. |

3.3. Robo(audio)stix moduli za Verdex Pro

Robo(audio)stix moduli su u stvari *breakout board*⁴ moduli, te se tako mogu koristiti kao zasebna računala ili u sprezi s Verdex računalima. Sve inačice Robostix modula su bazirane na Atmel AVR128⁵ mikrokontroleru i sva periferija ima izvode na tiskanoj pločici.

Dva su različita načina rada moguća – moguće je spojiti Robostix module na Verdex Pro module i tako dio radnih zadataka raspodijeliti među računalima, ili što je često praksa, Robostix koristiti kao zasebno računalo u jednostavnijim robotičkim sustavima poput vozila i jednostavnijih letjelica.

⁴*Breakout board*: Tiskana pločica s izvodima jednog ili više čipova, u ovom slučaju mikrokontrolera

⁵8-bitni mikrokontroler maksimalnog radnog takta 16MHz (16 MIPS)

4. Moguća primjena u ronilicama

Mogućnosti korištenja Gumstix modula u podvodnoj robotici su oprečne. Zbog različite arhitekture i hardverskih mogućnosti dvije osnovne obitelji Gumstix modula (Overo i Verdex Pro), teško je odabrati jednu obitelj za opću uporabu u podvodnoj robotici, već je potrebno dezinirati koja obitelj i koji moduli su pogodni za određenu uporabu.

4.1. Primjena Overo obitelji

Osnovna prednost korištenja Overo obitelji u ronilicama jest DSP te veća procesorska snaga procesora opće namjene od one Verdex Pro procesora, što osobito dolazi do izražaja kod autonomnih ronilica gdje je potrebno svu obradu mjernih podataka nužnih za navigaciju obraditi u ronilici. Zahvaljujući ugrađenom DSP procesoru, moguće je kvalitetno obraditi podatke s najčešće 3 akcelerometra, 3 žiroskopa, senzora dubine i kompasa. Osim DSP procesora, na raspolaganju je i 6 PWM kontrolera i 6 AD kontrolera, što je dovoljno za svaku uporabu u ronilicama manjih dimenzija, i uz malo pažnje pri projektiranju ne bi smjelo doći do zagušenja rada ronilice.

Ukoliko se moduli koriste za ronilice upravljane s površine (ROV¹), zahtjevi po računalni sustav su još manji, i Overo može kvalitetno odraditi posao distribucije radnih zadataka među podsustavima ronilice prema naredbama s površine.

4.2. Primjena Verdex Pro / Robostix obitelji

Kod Verdex Pro modula imamo mnogo manje (radne) memorije na raspolaganju, te nemamo DSP, čime je eliminirana mogućnost efikasnog korištenja Gumstixa za autonomne ronilice pošto nije moguće u realnom vremenu obraditi podatke s

¹ROV – Remotely Operated Vehicle

minimalno potrebna 3 akcelerometra, žiroskopa i termometra, te ostalih senzora, sonara i eventualne kamere. Problemu nedostatka PWM i A/D kanala se može doskočiti spajanjem *Robostix* modula koji zahvaljujući AVR128 mikrokontroleru imaju na raspolaganju velik broj periferija – 6 PWM kanala, 8 A/D kanala, veći broj *timera*, itd. Iako je na taj način riješen problem nedostatka periferija, nije moguće vršiti ozbiljniju obradu podataka na Robostix modulu zbog malog maksimalnog radnog takta (16MHz), te je najbolje mjerne podatke proslijediti na obradu Verdexu, što također nije dovoljno dobro rješenje ako se radi o imalo kompliciranijoj ronilici. Naime, ukoliko je prisutan veći broj propulzora u ronilici (potreban je minimalno 1 PWM kanal za svaki propulzor!) i više nego minimalne sensorike, vrlo vjerojatno će doći do zagušenja, odnosno kašnjenja, rada Verdex procesora. Dva su razloga tog problema - prvi je nepostojanje namjenske sabirnice za komunikaciju među modulima, već je potrebno koristiti ili serijsko sučelje (koje je neefikasno već pri manjem broju spojenih periferija ronilice) ili paralelni prijenos koji je ograničen mogućnostima AVR128 mikrokontrolera i smetnjama ronilice, a drugi je činjenica da obradu podataka ne vrši DSP procesor, već procesor opće namjene a niskog radnog takta, koji nema mogućnost brzog izračuna vektorskih i matričnih podataka nego se sav izračun radi u petlji i tako dolazi do sporog rada koji nipošto nije u potrebnom realnom vremenu.

Najbolja uporaba Verdex Pro modula u ronilicama je za ronilice upravljane iz daljine (ROV), ili za jednostavne sondažne ronilice skromnih zahtjeva. U tim slučajevima Verdex moduli su dostatni za potrebnu obradu i propagaciju podataka, a male dimenzije i niska potrošnja pogoduju niskoj potrošnji i generiranju manjeg procesnog i mjernog šuma nego je to slučaj s većim računalnim sustavima.

5. Zaključak

Ovisno o zahtjevima koji se postavljaju pred ronilicu koja se projektira, potrebno je birati između Verdex Pro i Overo obitelji Gumstix računalnih sustava. Ukoliko se radi o ronilicama upravljanim iz daljine, oba su sustava pogodna – Overo nudi veću računalnu moć, pa dio obrade podataka može biti vršen na ronilici, dok Verdex Pro nudi mogućnost distribuiranog rada pomoću Robostix modula i kontrolu većeg broja perifernih dijelova. Zbog mogućnosti koje Overo nudi, a nepotrebne su za ovu aplikaciju, prikladnije je koristiti Verdex Pro module i tako minimizirati trošak i potrošnju.

Ako se radi o autonomnoj ronilici, Verdex Pro je daleko lošiji od Overo modula zbog nedostatka DSP procesora za digitalnu obradu podataka te ga nije moguće koristiti za bilo koju svrhu osim jednostavnijih sondažnih ronilica s minimalnim brojem propulzora i senzorike. Overo moduli nude mogućnost DSP obrade signala, i tako se mogu koristiti za autonomne ronilice, ali kako se radi o dva fizički razdvojena procesora, ne mogu se očekivati rezultati kao kod korištenja drugih industrijskih rješenja poput npr. Blackfin¹ procesora. Usprkos tome, za manje ronilice Overo računalni sustav bi trebao biti dostatan, osobito uzevši u obzir vrlo male dimenzije, relativno malu cijenu i malu potrošnju.

¹Blackfin – hibridni GPP i DSP procesor proizvođača Analog Devices

6. Sažetak

U radu su opisane dvije obitelji Gumstix ugradbenih računala, *Overo* i *Verdex Pro*, te njihovi ekspanzijski moduli. Nakon toga su razmatrane mogućnosti uporabe opisanih modula u ronilicama, kako autonomnim tako i upravljanim iz daljine.