

Prijedlog rješenja Teach pendant-a za robot PUMA 560

Nikola Divljan, Dejan Jokić

Elektrotehnički fakultet, Istočno Sarajevo
nikoladivljan@yahoo.com, dejan.jokic@etf.unssa.rs.ba

Sadržaj— U ovom radu opisan je prijedlog rješenja realizacije Teach pendant-a za potrebe upravljanja robotom PUMA 560. Kao moguće rješenje predloženo je korištenje FriendlyArm embedded računara mini 2440. Navedeni embedded računar, za razliku od mnogih drugih programabilnih platformi, koristi operativni sistem Windows koji je opšte prihvaćen. Osim toga posjeduje 3,5" displej sa touch funkcijom što omogućava izuzetno jednostavno korištenje. Za potrebe upravljanja robotom PUMA 560 koristi se sprega FriendlyArm računara sa FPGA kolom Cyclon II na DE2 ploči proizvođača Altera. Zahtjevna *on line* računanja za upravljački algoritam izvode se na FPGA kolu a korisnički interfejs implementiran je na FriendlyArm računaru.

Ključne riječi- Teach pendant, Enkoder, FPGA kolo, Friendly Arm mini 2440

I. UVOD

Uređaji sa ugrađenim (embedded) računarom su danas izuzetno popularni kako za krajnje korisnike tako i za projektante. Korisnicima je omogućeno da na jednostavan način upravljaju nekim procesom, objektom, dok projektantima omogućavaju da na brz način realizuju sve postavljene projektne zahtjeve. Zavisno od namjene koriste se različiti programabilne platforme. Za veliki broj izračunavanja u jedinici vremena najčešće se koriste FPGA kola dok se za rješavanje jednostavnijih zadataka koriste mikrokontroleri. Zajednička osobina obje familije je loš korisnički interfejs. Taj problem je prepoznala kompanija FriendlyArm koja je na tržište izbacila vlastitu seriju embedded računara [1]. Osnovna karakteristika FriendlyArm računara je odličan korisnički interfejs. Naime, koriste opšte prihvaćeni operativni sistem Windows a ujedno posjeduju displej sa touch screen-om. Na ovaj način FriendlyArm je omogućio krajnjim korisnicima jednostavno korištenje a projektantima jednostavno programiranje na Windows okruženju. Navedeni računar posjeduju skromne resurse u odnosu na računar opšte namjene koji radi sa Windows operativnim sistemom. Njegova glavna prednost u odnosu na računar opšte namjene je veliki broj U/I pinova, prekidača, tastera i LED dioda. Koristeći U/I pinove programeru je omogućeno da na jednostavan i izuzetno jeftin način vrši nadzor i upravljanje nekim procesom ili objektom upravljanja. Prikupljanje podataka i generisanje naredbi korištenjem U/I pinova, kao i grafičko predstavljanje na displeju FriendlyArm-a je izuzetno jednostavno i pregledno. Za razliku od FriendlyArm-a povezivanje računara opšte namjene

sa objektom upravljanja je praktično nemoguće bez odgovarajuće akvizicione kartice npr. Humusoft [2], National Instruments [3]...

Navedene prednosti FriendlyArm-a u odnosu na ostale programabilne platforme podstakle su razmišljanja o realizaciji upravljačke konzole (Teach pendant-a) za robot PUMA 560. Ideja je da se realizuje grafički interfejs Teach pendant-a na FriendlyArm računaru, za krajnjeg korisnika robota, koji bi omogućio pomjeranje prve tri ose robota. Za ovu namjenu potrebno je realizovati aplikaciju koja omogućava pomjeranje sve tri ose u oba pravca i to sa izborom različite brzine. Složeni upravljački algoritmi koji bi to omogućili bili bi i dalje implementirani na FPGA kolu. Kako bi se realizovao navedeni Teach pendant potrebno je izvršiti opsežnu analizu takvih dostupnih uređaja od raznih proizvođača pa na osnovu toga predložiti odgovarajuće rješenje.

II. SPECIFIKACIJE FRIENDLYARM-A

ARM razvojne ploče su idealne platforme za brzo implementiranje različitih rješenja jednostavnim programiranjem u Windows okruženju. Proizvođač FriendlyARM nudi niz različitih embedded računara od kojih je moguće izabrati: Mini2440, Micro2440, Mini2451, Tiny2451, Tiny2416, Mini6410, Tiny6410, Mini210, Mini210s, Tiny210, Smart210, NanoPC-T1, Super4412 i Tiny4412. Korišteni FriendlyARM Mini2440 predstavlja kompromis cijene i funkcionalnosti. Osnovne karakteristike date su na sl. 1. [1].

- **Dimension:** 100 x 100 mm
- **CPU:** 400 MHz Samsung S3C2440 ARM926T (max freq. 533 MHz)
- **RAM:** 64 MB, 32 bit Bus
- **Flash:** up to 1GB NAND Flash
- **EEPROM:** 256 Byte (I2C)
- **Ext. Memory:** SD-Card socket
- **Serial Ports:** 1x DB9 connector (RS232), total: 3x serial port connectors
- **USB:** 1x USB-A Host 1.1, 1x USB-B Device 1.1
- **Audio Output:** 3.5 mm stereo jack
- **Audio Input:** Connector + Condenser microphone
- **Ethernet:** RJ-45 10/100M (DM9000)
- **RTC:** Real Time Clock with battery (CR1220)
- **Beeper:** PWM buzzer
- **Camera:** 20 pin (2.0 mm) Camera interface
- **LCD Interface:** 41 pin connector for FriendlyARM Displays and VGA Board
- **User Inputs:** 6x push buttons and 1x A/D pot
- **User Outputs:** 4x LEDs
- **Expansion:** 40 pin System Bus, 34 pin GPIO, 10 pin Buttons (2.0 mm)
- **Debug:** 10 pin JTAG (2.0 mm)
- **Power:** regulated 5V (DC-Plug: 1.35mm inner x 3.5mm outer diameter)
- **Power Consumption:** Mini2440: 0.3 A, Mini2440 + 3.5" LCD: 0.6 A, Mini2440 + 7" LCD: 1 A
- **OS Support**
 - Windows CE 5 and 6
 - Linux

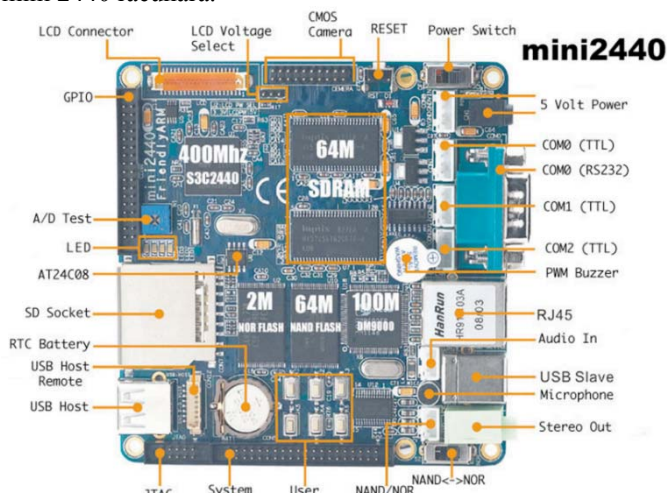
Slika 1. Specifikacije uređaja [1]

Baziran je na korišćenju Samsung S3C2440 ARM9 mikroprocesora. Dimenzije matične ploče su 10 cm x 10 cm, što omogućava laku ugradnju u neki uređaj ili objekat upravljanja. Na sl. 2 prikazan je uređaj FriendlyArm mini 2440 [1].



Slika 2. FriendlyARM Mini2440 [1]

Uređaj podržava operativne sisteme Windows CE 5.0 i 6.0, te Linux 2.6. Podržani displeji su veličine 3.5" i 7" koji rade na 5V uz rezoluciju 240x320 i 1024x768, respektivno. Omogućeno je korišćenje RS232, USB protokola i SD kartice sa ciljem povećanja memorijskog prostora na uređaju. Prošireni interfejs čine GPIO (General purpose input/output) sa 34 pina, te System Bus sa 40 pinova sa korištenim rasterom od 2 mm. Na sl. 3. prikazana je matična ploča FriendlyArm mini 2440 računara.



Slika 3. Izgled periferije ploče [1]

Na periferiji ploče se nalazi 6 korisničkih tastera u svrhu ulaznih signala i 4 izlazna implementirana u vidu LED dioda.

JTAG (Joint Test Action Group) je podržan sa 20 pinova i pojednostavljuje razvoj programa i otklanjanja grešaka uz mogućnost izvršavanja programa korak po korak ili postavljanja tačke do koje će se program izvršiti (breakpoint). Posjeduje i interfejs za kameru koji je podržan sa 20 pinova.

Najveća prednost ploče se ogleda u praktično veoma niskoj cijeni koja zauzvrat nudi mnoge mogućnosti uz odličan odnos cijene i performansi.

III. NAČIN PROGRAMIRANJA FRIENDLY ARM-A

FriendlyARM Mini2440 se može programirati uz pomoć Qt Creator alata ukoliko je na uređaju pokrenuta Linux platforma ili uz pomoć alata Visual Studio 2005/2008 na Windows platformi. Qt embedded verija je dostupna na oficijelnom sajtu i omogućava kombinaciju C++, JavaScript i QML(Qt Modeling Language) okruženja. Bitno je istaći i mogućnost kreiranja naprednijeg dizajna za aplikacije. S obzirom da je većina korisnika navikla na Microsoft integrisano korisničko okruženje na Windows platformi instalacijom Visual Studio-a 2005 ili 2008 omogućava se njegovo korišćenje. Neophodno je instalirati SDK WinCE za Mini 2440. Kreirana aplikacija se pokreće na uređaju povezanom preko USB-a odabirom opcije Mini2440-CE6-SDK ARMV4I Device. Testiranje programa bez priključivanja uređaja na računar omogućava se instaliranjem emulatora R2 i R3 koji će integrisati u Visual Studio i vizuelno improvizovati funkcionisanje aplikacije. Upotrebom odgovarajućih biblioteka pristupa se iz Visual Studio-a pinovima na ploči. U zavisnosti da li se koristi C, C# ili neki drugi programski jezik koriste se definisane klase. U biblioteci za C# svaki pin na ploči je definisan sa oznakom port-a kojem pripada, konfiguracijom, brojnomo oznakom, te vrijednosti (logička jedinica ili logička nula). Slanje i primanje signala se omogućava podešavanjem vrijednosti za dati pin.

Pinovi na ploči su grupisani po portovima. Konkretno, pinovi na GPIO označeni sa EINT0, EINT1, EINT2, EINT3, EINT4, EINT5 i EINT6 pripadaju port-u F, dok je EINT9 port G. Svi pinovi su grupisani u 10 portova (A-J). Klasa Port sadrži definisane sve portove. Prilikom definisanja naznačava se svrha korišćenja (ulaz/izlaz). Potrebno slanje signala na izlaz omogućava "output", a ulaz "input". Prilikom definisanja ulaznog signala bira se opcija "pullup" gdje se otpornik koristi za podešavanje ulaza sistema na određen logički nivo ili "pulldown" koji je povezan na masu i drži signal blizu nule. Sve klase i funkcije su definisane u namespace-u koji je nazvan "Mini2440.GPIO".

IV. TEACH PENDANT

Programiranje robota korištenjem simulatora je odavno razvijena, popularna, metoda koja daje odlične rezultate. Međutim, vrijednosti pozicija koje se dobiju u sumulatoru u manjoj ili većoj mjeri odstupaju od stvarnih vrijednosti. Ovaj problem se uspješno rješava dovođenjem robota u tačnu poziciju manuelnim putem upotrebom upravljačke konzole. Ta nova pozicija robota, u koju je robot doveden ručno sa upravljačkom konzolom se pamti kao tačna, stvarna, pozicija.

Ova radnja je u literaturi poznata kao učenje robota a upravljačka konzola kao Teach box i Teach pendant. Poslije korekcije pozicija naredno kretanje robota vrši se između novih, tačnih, pozicija. Na sl. 4. prikazane su upravljačke konzole najpoznatijih proizvođača ABB, Fanuc i Mitsubishi.



a)



b)



c)

Slika 4. Upravljačke konzole: a) TRALLFA ROBOTIC proizvođača ABB (Cijena: 4,235.00 \$), [4], b) Series Spot Welding proizvođača Fanuc (Cijena: 7,741.20 \$), [5], v) R32TB proizvođača Mitsubishi (Cijena: 2520.00 \$), [6].

Navedene sofisticirane upravljačke konzole omogućavaju pisanje programa te editovanje postojećih, pokretanje vrha

robota u oba načina kretanja, pamćenje novih i editovanje postojećih pozicija, promjenu brzine kretanja robota i trenutno zaustavljanje robota upotrebom E STOP tastera. Osim funkcionalnosti zajednička osobina im je i izuzetno visoka cijena koja varira od 2.500 do 7.400 \$.

Pomjeranje robota je omogućeno na dva različita načina. Prvi je kretanje vrha robota u XYZ prostoru (u vanjskim koordinatama) a drugi pojedinačno pomjeranje zglobova robota (u unutrašnjim koordinatama). Prvi način je znatno komplikovaniji jer zahtjeva *on line* izračunavanje inverzne kinematike. Dovođenjem robota u zahtjevanu poziciju pristupa se memorisanju nove vrijednosti pozicije. Kao rezultat ovog postupka dobija se kretanje robota između, novih, tačnih pozicija.

V. PRIJEDLOG RJEŠENJA REALIZACIJE TEACH PENDANTA SA FRIENDLYARM RAČUNAROM

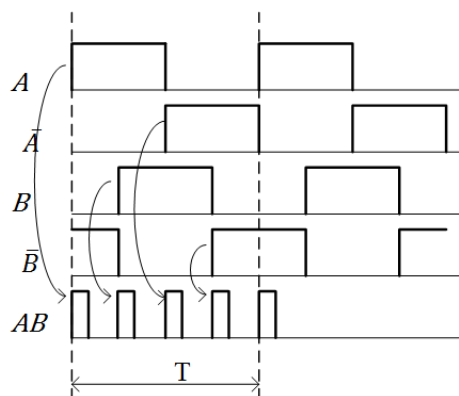
S obzirom da je upravljačka struktura za upravljanje osama robota realizovana na FPGA kolu, za namjenu prihvatanja i obrade signala sa enkodera, realizovan je blok pod imenom Encoder Interface [7]. Navedni blok sadrži sve neophodne komponente za filtriranje signala sa enkodera, zatim učeterostručenje broja impulsa i adekvatno brojanje. Navedeni blok je realizovan u Matlab-u sa instaliranim DSP builder-om koji omogućava jednostavno programiranje i projektovanje upravljačkih struktura na FPGA kolu. Kako je problem prihvatanja i obrade signala u potpunosti riješen ideja koja se nametnula je realizacija Teach pendant-a kao emulatora enkodera. U ovom slučaju zadatak Teach pendant-a bi bio pretvaranje zadatog pokreta robota u niz impulsa kao sa enkodera (šalje povorke impulsa fazno pomjerene za 90^0 na način na koji to radi enkoder). Smjer okretanja zavisi od toga koja povorka prednjači A ili B. Prijedlog je da se uključanjem tastera na upravljačkoj konzoli, za promjenu uglova zglobova (q_1 , q_2 i q_3), generišu dvije povorke impulsa koje su dostupne na dva izlazna pina, odnosno šest izlaznih pinova za sve tri ose. Frekvencija povorki bi bila u funkciji odabrane brzine i kretala bi se u intervalu od 10 Hz do 1 KHz. Zavisno od toga koji je smjer okretanja zgloba odabran (lijevo ili desno) jedna povorka (A ili B) impulsa bi prednjačila u odnosu na drugu.

Ideja upotrebe Teach pendanta bi bila manuelno pomjeranjem i dovođenje vrha robota u određenu poziciju a zatim isčitavanje vrijednosti uglova zglobova q_1 , q_2 i q_3 . Iščitavanje vrijednosti uglova robota vrši se sa FPGA kola na računar opšte namjene upotrebom RS-232 protokola. Očitane vrijednosti uglova zglobova bi se koristile za generisanje trajektorija gdje bi svako kretanje robota bilo između zadanih pozicija vrha robota u XYZ prostoru u koje je predhodno robot bio manuelno doveden.

VI. PRIHVATANJE SIGNALA SA ENKODERA

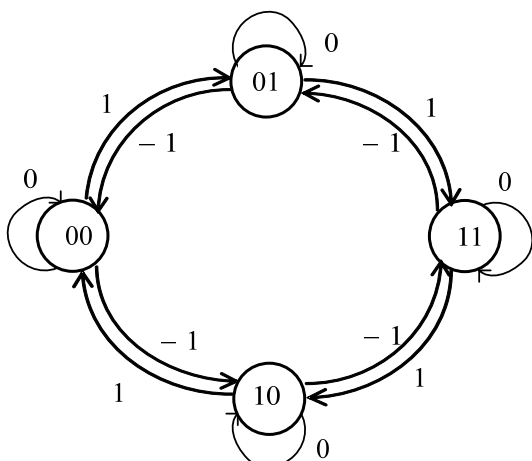
Enkoderi su davači koji generišu dvije povorke impulsa, međusobno pomjerene za 90^0 , gdje prednjačenje

jedne povorke u odnosu na drugu nosi informaciju o smjeru okretanja zgloba a broj impulsa, poslije obrade, informaciju o poziciji. Adekvatnom obradom signala A i B sa izlaza enkodera može se dobiti četiri puta veća rezolucija. Na sl. 5. prikazani su signali sa izlaza enkodera kao i princip povećanja rezolucije enkodera za četiri puta.



Slika 5. Povorka impulsa A i B sa izlaza enkodera i povećanje rezolucije

Pod adekvatnom obradom misli se na korištenje konačnog automata sa prelazom stanja zavisno od prednjačenja ivica povorke impulsa A i B. Konačni automat je prikazan na sl. 6.



Slika 6. Definirana stanja i prelazi konačnog automata

Naredni korak kod prihvatanja i obrade signala sa enkodera je brojanje novih impulsa povorke AB. Za inkrementiranje i dekrementiranje vrijednosti brojača potrebno je na kontrolni ulaz brojača dovesti informaciju o smjeru okretanja diska enkodera. Tu informaciju, takođe, generiše konačni automat opisan u VHDL jeziku (Quad_decoder [8]) i predstavlja glavni dio digitalnog sklopa zaduženog za obradu signala enkodera. U FPGA Real Time tulboksu postoji blok Encoder Interface koji može da obradi ovakav signal. S obzirom da se uspješno koristi ovaj blok za prihvatanje signala sa enkodera intuitivno rješenje za realizaciju upravljačke konzole bilo je izgradnja emulatora enkodera.

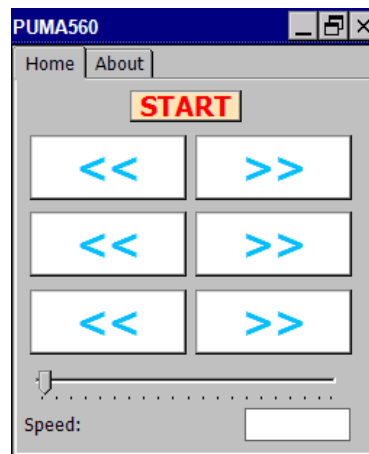
VII. PRIJEDLOG RJEŠENJA TEACH PENDANTA SA FRIENDLYARM RAČUNAROM

Realizacija upravljačke konzole kao neophodne komponente upravljačkog okruženja za robot PUMA 560 izvedena je na embedded računaru FriendlyArm mini 2440 po uzoru na svjetske proizvođače robota. Na sl. 7. Prikazano je kompletno upravljačko okruženje robota PUMA 560 sa FPGA baziranim kontrolerom i Teach pendant-om.



Slika 7. Upravljačko okruženje za robot PUMA 560

Navedeni računar je odabran na osnovu kompromisa cijene i funkcionalnosti. Na sl. 8. prikazan je korisnički interfejs koji se sastoji od šest tastera za pomjeranje tri osnovne ose i klizača koji omogućava promjenu brzine kretanja robota prilikom dovođenja vrha robota u željenu poziciju.



Slika 8. Izgled korisničkog interfejsa

Korišteni FriendlyArm omogućava pokretanje jedne ose istovremeno odnosno promjene uglova zglobova (q1, q2 i q3) u unutrašnjim koordinatama. Zbog njegove ograničene sposobnost računanja koja nije dovoljna za zahtjevno

računanje trajektorija nije moguće pomjerati vrh robota u XYZ ravni.

U aplikaciji su implementirane potrebne promjenljive tipa Pin i Timer (potrebne zbog podešavanja intervala i tačnosti signala). Na portu F su rezervisana dva izlaza. Signali su izlazni i imaju početnu vrijednost LOW ili HIGH, u zavisnosti da li signal kreće od logičke nule ili jedinice. Na samom početku, elementima je onemogućen pristup sve dok se ne pritisne taster "START". Takođe, "textbox" uzima početnu vrijednost brzine koja je postavljena na minimum=1; Klikom na taster koji omogućava slanje signala na izlaz pokreće se metoda button_Click. Prvo se provjerava da li je aktivan timer. Ukoliko nije, kreira se objekat tipa Timer, podešava mu se interval signala, omogući pokretanje timer-a i kreira EventHandler. Kada se odbroji vremenski period, pokreće se timer_Tick metoda kojoj se izvršava ključni dio. For petlja ide do vrijednosti koja je jednaka 2*vrijednost brzine koja je podešena, tako da će se na izlazu dobiti određeni broj signala. Uzastopnim pritiskanjem tastera, signali se iznova šalju na izlaz. Ako taster nije pritisnut, na izlazu se prikazuje stanje logičke nule. Da bi se postiglo kašnjenje koje se traži, može se implementirati Sleep metoda kojoj se prosljeđuje integer i program se "uspava" na određeni broj ms, tako da se dobijaju signali koji su indentični traženim signalima. Odabirom opcije "START" omogućen je pristup tasterima za upravljanje. Nakon završetka kontrole robota, ponovnim klikom na isti taster, onemogućava se pristup elementima. Dio source koda prikazan je u nastavku.

```
private void timer1_Tick_0(object sender, EventArgs e)
{
    for (int i = 0; i < 2*trackBar1.Value; i++)
    {
        System.Threading.Thread.Sleep(timer_0.Interval / 2);
        led_eint_0.ToggleValue();
        System.Threading.Thread.Sleep(timer_0.Interval / 2);
        led_eint_1.ToggleValue();
    }
    timer_0.Enabled = false;
}

private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (timer_0 == null || timer_0.Enabled == false)
    {
        timer_0 = new Timer();
        timer_0.Interval = 5;
        timer_0.Enabled = true;
        timer_0.Tick += new EventHandler(timer1_Tick_0);
    }
    else
    {
        timer_0.Enabled = false;
        timer_0 = null;
        button1.Enabled = true;
    }
}
```

Zavisno od odabrane brzine pristiskom na neki od šest tastera generiše se najmanje 2 impulsa a najviše 100.

VIII. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisan je prijedlog realizacije Teach pendant-a za robot PUMA 560. Eksperimentalnim putem utvrđeno je da FriendlyArm zadovoljava funkciju osnovnog Teach pendant-a za potrebe daljinskog upravljanja robota u zglobovskom Joint prostoru (unutrašnjim koordinatama). Na osnovu polaznih zahtjeva Teach pendant-a različitih proizvođača realizovana je aplikacija na FriendlyArm računaru koja omogućava pomjeranje osnovne konfiguracije robota (prve tri ose). Očitavanje uglova zglobova robota iz upravljačke strukture sa FPGA kola vrši se sa PC računarem gdje se i generiše trajektorija, koju robot treba da ostvari, upotrebom Matlab-a. Naredni cilj istraživanja predstavlja isčitavanje vrijednosti uglova zglobova putem RS 232 protokola na Teach pendant-u kao i zadovoljavanje ISO standarda iz oblasti robotike a koji se direktno tiču bezbjednosti korisnika. Nabavkom snažnijeg arm-a pristupilo bi se izgradnji opcije pomjeranja vrha robota u XYZ prostoru.

LITERATURA

- [1] <http://www.friendlyarm.net/products/mini2440>, 1. 2015.
- [2] <http://www.humusoft.cz/produkty/datacq/mf624/>, 1. 2015.
- [3] <http://www.ni.com/data-acquisition/>, 1. 2015.
- [4] <http://www.trendrobotics.com/products.php?item=1381>, 1. 2014.
- [5] <http://store.industrialcontrolrepair.com/product/abb-3e031712-trallfa-teach-pendant-29988.cfm>, 1. 2014.
- [6] <http://www.cgco.com/items/RV-3SDB-S312>, 1.2014.
- [7] Jokic, D.; Lubura, S.; Lale, S.; Lukač, D., „Encoder signal processing on FPGA platform realized in Matlab/DSP Builder“ Telecommunications Forum (TELFOR), Beograd, 2012 20th
- [8] Internet sites [http://www. Atmel.com/3037](http://www.Atmel.com/3037), 2012.

ABSTRACT

In this paper is suggested the solution to realization of Teach Pendant used for the purpose of robot PUMA 560 control. As a possible solution we proposed the use of FriendlyArm embedded computer Mini 2440. The forthmentioned embedded computer uses widely accepted operative system Windows unlike other pšrogrammable platforms. Besides that it is equipped with 3.5" display with touch function which provides extremely simple use. For the purpose of robot PUMA 560 control we use a bond between FriendlyArm computer with FPGA chip Cyclon II on DE2 board by the Altera manufacturer. Complex online calculations for control algorithm are performed on FPGA chip and user interface is implemented on FriendlyArm computer.

Teach Pendant solution suggestion for robot PUMA 560