

Univerzitet u Beogradu

Elektrotehnički fakultet

Katedra za elektroniku

Master akademske studije

Projekat iz predmeta 32-bitni mikrokontroleri i primena

Balansirajući robot na dva točka

Nadležni profesori:

Prof. dr Dragan Vasiljević

dr Nenad Jovičić

Student:

Dušan Krčum 2012/3039

krchum@gmail.com

Beograd, Septembar 2013.

1 Uvod

U ovom dokumentu dat je kratak opis projektovanog balansirajućeg robota na dva točka. Princip rada se zasniva na očitavanju ugla otklona robota od vertikalne ose, kao i brzine te promjene korišćenjem inercijalnih senzora, te vraćanjem povratne sprege na dva servo motora. Koncept je odranije poznat u teoriji automatskog upravljanja, a dobio je i svoj serijski proizvod u vidu Segway uređaja prikazanog na slici 1.



Slika 1. Segway.

U prvom dijelu rada biće dat opis korišćenog hardvera:

- Senzorska pločica
- Servo motori
- STM32ISCOVERY razvojni sistem na bazi ARM Cortex M3 mikrokontrolera

U drugom dijelu rada biće dat opis softvera koji upravlja sistemom, dok će na kraju biti sumirani rezultati i dat predlog za unapređenje sistema.

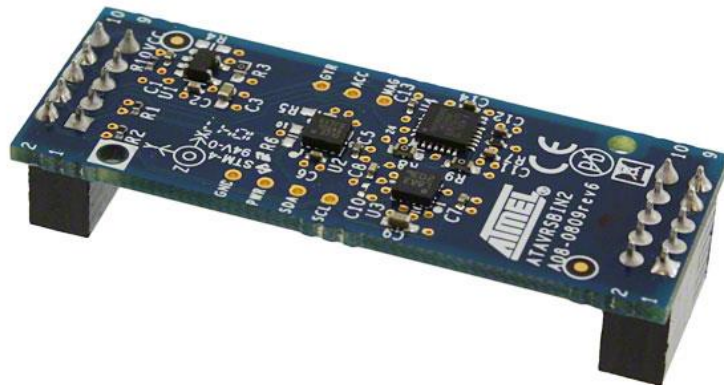
2 Hardverski resursi

U ovom poglavlju biće dat pregled hardverskih modula korišćenih za realizaciju ovog projekta.

Za očitavanje promjene ugla i brzine promjene ugla otklona robota od idealno vertikalnog položaja korišćena je Atmelova senzorska pločica ATAVRSBIN2. Pločica sadrži:

- Žiroskop IMU3000
- Akcelerometar KXTF9
- Magnetometar HMC5883
- Temperaturni senzor

Prva tri senzora su bazirana na MEMS tehnologiji i svi su troosni. Fabrički je urađeno kondicioniranje signala, pa je interfejs pločice prema korisniku digitalni. Podacima sa senzora se pristupa preko I2C magistrale. Na slici 2 je prikazana slika korišćene senzorske pločice.



Slika 2. Senzorska pločica ATAVRSBIN2.

Senzorski čipovi se napajaju sa 2.5V ali pločica ima sopstveni regulator koji dozvoljava napajanje od 3.3V, što odgovara napajanju mikrokontrolera.

Korišćeni žiroslop u sebi ima ugrađen Digital Motion Processor sa sopstvenim I2C interfejsom. Na ovu magistralu je povezan akcelerometar, tako da jednim čitanjem dobijamo podatke i sa žiroskopa i sa akcelerometra. Ova dva senzora su praktično dovoljna za projektovani sistem. Magnetometar i temperaturni senzor se mogu iskoristiti za proširenje sistema, ali u ovom trenutku nisu predmet razmatranja.

Servo motori su proizvođača Parallax i kopija su originalnih Futaba S148 Continious Servo motora. Na slici 3 je prikazan jedan od korišćenih motora.



Slika 3. Servo motor.

Motori imaju 3 provodnika, Vdd, Gnd i signalni. Napajaju se jednosmjernim naponom do 6V. Prosječna brzina rotacije iznosi 60 obrtaja u minutu (pri napajanju od 5V i bez opterećenja). Kalibrisani motori su u nultom položaju kada im se dovede PWM signal perioda 1.5ms.

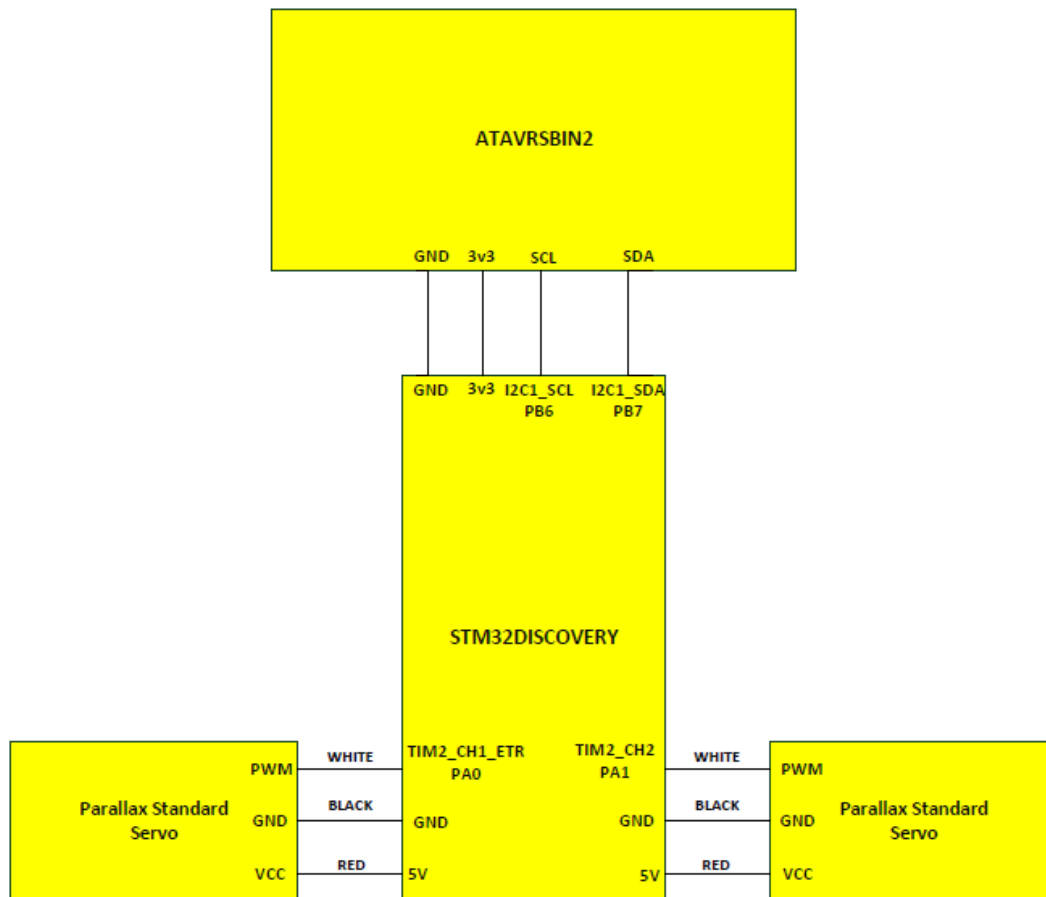
Najvažniji i najkompleksniji dio sistema predstavlja razvojni sistem STM32ISCOVERY. Na slici 4. Je prikazan korišćeni razvojni sistem.



Slika 4. STM32DISCOVERY

Srce ovog razvojnog sistema čini mikrokontroler STM32F100RB, koji je zapravo 32bitni ARM Cortex M3. Učestanost rada je 24MHz, posjeduje 128kB Flash memorije, 8kB SRAM. Od periferija ima USART, jedan 16-kanalni, 12-bitni AD konvertor, dva 12-bitna DA konvertora, 6 16 bitnih tajmera opšte namjene. Tu su i standardne Cortex M3 periferije: NVIC, SysTickTimer... Procesor je Harvard arhitekture, što znači da ima odvojene interfejse za instrukcije i za podatke. Procesor je RISC tipa.

Na slici 5. je data blok šema projektovang sistema.



Slika 5. Blok šema balansirajućeg robota na 2 točka.

Korišćenjem pinova PB6 i PB7 (I2C1_SCL i I2C1_SDA) razvojnog sistema STM32Discovery povezana je senzorska pločica preko njenih pinova SCL i SDA. Osim ovih linija, potrebno je dovesti napajanje sensorima i povezati mase. Kao što je ranije naglašeno ATAVRSBIN2 se napaja sa 3.3V dovedenih sa razvojne pločice. Preko pinova PA0 i PA1 razvojnog sistema dovodi se PWM signal na motore. Motorima su napajanje od 5V i masa dovedeni sa STM32Discovery pločice.

Od periferija mikrokontrolera, za potrebe ovog projekta korišćeni su tajmer TIM7 za očitavanje senzora korišćenjem prekida, I2C1 magstrala za komunikaciju senzorske i razvojne pločice, tajmer TIM2 za generisanje PWM signala kojim se upravlja motorima. USART je korišćen u toku razvoja sistema za debugovanje, dok u finalnom projektu nije od primarnog interesa.

3 Softver

U ovom poglavlju biće dat opis algoritma koji se koristi za upravljanje sistemom.

Na samom početku potrebno je inicijalizovati sve periferije koje se koriste u sistemu. Najprije se dovodi sistemski takt, potom se uključuju i konfiguriraju periferije: GPIOA, GPIOB, I2C1, konfiguriraju se NVIC, dozvoljava se prekid TIM7 tajmera.

Nakon periferija potrebno je konfigurirati senzore. Tajmer TIM7 ulazi u prekidnu rutinu sa učestanošću od 200Hz u cilju očitavanja podataka sa senzorske pločice. Prilikom prvog ulaska u ovu prekidnu rutinu inicijalizuju se (kalibrišu) senzori. Potom se čitaju sirovi podaci sa senzora i proslijedjuju gotovom open source algoritmu MadgwickAHRS, koji kao svoje izlaze vraća orijentaciju senzorske pločice u vidu kvaterniona. Kvaternioni se relativno lako transformišu u uglove. Za posmatranu aplikaciju izvršena je konverzija kvaterniona u ugao koji robot zaklapa sa vertikalnom osom. Ovaj ugao se koristi kao ulazna veličina za algoritam proporcionalno-diferencijalne regulacije (PD).

U literaturi se sreću razni načini za kontrolu inverznog klatna, od kojih su najčešće korišćeni PD, PID i regulacija bazirana na fuzzy logici. Korišćena PD regulacija se bazira na povratnoj sprezi, u čijoj povratnoj grani se nalazi informacija o trenutnom položaju robota. Cilj upravljanja je da u zavisnosti od razlike željenog ugla prema vertikalnom položaju (nula stepeni), i trenutnog položaja dobijenog na osnovu podataka sa senzora, izvrši dejstvo motorima, većom ili manjom brzinom u odgovarajućem smjeru. Motori su kalibrisani tako da u idealno vertikalnom položaju budu u nultom stanju (bez kretanja). Ovo je postignuto dovodjenjem PWM signala perioda 1.5ms na signalne žice motora. U cilju minimizacije greške ugla otklona motorima se dovode PWM signali perioda od 1ms do 2ms, u zavisnosti od smjera kretanja.

Pošto bi modelovanje cijelog sistema bilo jako komplikovano zbog nesavršenosti mehaničkog dijela sistema, konstante PD regulatora su podešene eksperimentalno.

4 Zaključak

Nakon spuštanja programa na razvojni sistem i puštanja robota u rad, ustanovljeno je da principski algoritmi očitavanja senzora i upravljanja rade. Prilikom naginjanja robota na jednu stranu, motori djeluju kontinualnom rotacijom na tu stranu. Problem nastaje pri većim uglovima otklona kada motori nemaju dovoljno snage da isprate promjenu stanja sistema. Razlog ovome je mala brzina motora (60 obrtaja u minuti bez opterećenja), kao i snaga od samo 1.25W po motoru. Unapređenje sistema bi se ogledalo u dodavanju boljih motora koji bi značajno unaprijedili performanse sistema.