

Realizacija interakcije troosnog akcelerometra i RGB LED diode na PSoC razvojnom okruženju

Aleksandra Stojković, *Student Member, IEEE* i Aneta Prijić, *Member, IEEE*

Apstrakt – Ovaj rad opisuje realizaciju interakcije između troosnog akcelerometra i RGB LED diode na PSoC (Programable System on Chip) razvojnom okruženju. Opisana je konfiguracija i princip rada realizovanog sistema. Predstavljene su karakteristike korišćenog akcelerometra i razvojnog okruženja neophodne za izradu projekta. Detaljno je opisana konfiguracija korišćenih komponenta PSoC okruženja, kao i algoritam na osnovu koga je napisan odgovarajući programski kod za realizaciju projekta. Ispravnost funkcionisanja sistema je proverena očitavanjem izmerenih vrednosti ubrzanja pri poznatim radnim uslovima. Za slikovit prikaz rezultata iskorišćena je tehnika „pisanje svetlom“.

Ključne reči – Akcelerometar; programabilni sistem na čipu; RGB LED; serijska komunikacija;

I. UVOD

U modernom svetu u kome živimo, mikroelektromehanički sistemi (MEMS) su postali sastavni deo naše svakodnevice. U svakom pametnom telefonu, tabletu, automobilu i drugim uređajima može se naći mnoštvo ovakvih sistema. Osnovne elemente MEMS-a čine senzor, pokretač i odgovarajuća pretvaračka elektronika. Jedan od često korišćenih senzora je akcelerometar. Ovaj senzor je elektromehanička komponenta koja detektuje vrednost statičkog ili dinamičkog ubrzanja. Zahvaljujući njemu se može meriti ugao nagiba nekog statičkog sistema, ili pratiti putanja tela u pokretu.

Za detekciju ubrzanja u ovom radu, korišćen je troosni, analogni akcelerometar ADXL325, proizvođača Analog Devices [1]. Ovaj akcelerometar je malih dimenzija (4 mm × 4 mm × 1.45 mm), jeftin i male potrošnje. Koristi se za merenje statičkog gravitacionog ubrzanja i dinamičkog ubrzanja usled pokreta, potresa ili vibracija.

PSoC (Programmable System-on-Chip) je programabilni ugrađeni (embedded) sistem na jedinstvenom čipu koji obuhvata podesive analogne i digitalne periferije, memoriju i mikrokontroler. Omogućava izradu analognog-digitalnog sistema sa velikom fleksibilnošću rutiranja signala i rekonfiguracije. PSoC čipovi funkcionišu kao i ostali mikrokontroleri, ali izvršavaju i zadatke koji se ne mogu realizovati nekim drugim mikrokontrolerima [2].

Rad je realizovan na razvojnom okruženju CY8CKIT-042, proizvođača *Cypress Semiconductor Corporation* [3]. Za razvoj projekta i programiranje čipa, korišćen je softver PSoC

Aleksandra Stojković – Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: aleksandra.stojkovic@elfak.ni.ac.rs).

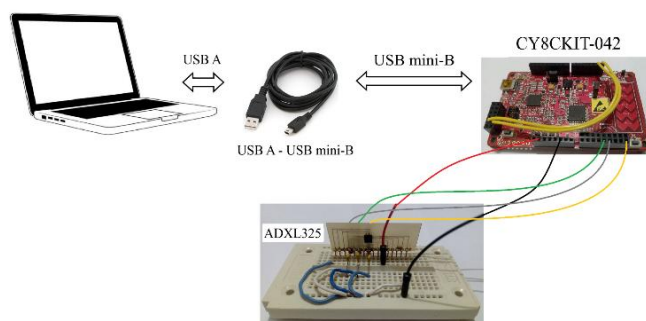
Aneta Prijić – Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: aneta.prijić@elfak.ni.ac.rs).

Creator 3.3 [4]. U zavisnosti od kreativnosti pri pisanju softvera, interakcija akcelerometra i LED diode može biti izuzetno zanimljiva, a vizuelni rezultati upečatljivi.

II. KONFIGURACIJA SISTEMA

A. Princip rada

Blok šema sistema za interakciju troosnog akcelerometra i RGB LED diode na PSoC razvojnom okruženju data je na Sl. 1.



Sl. 1. Blok šema sistema za interakciju troosnog akcelerometra i RGB LED diode na PSoC razvojnom okruženju.

U zavisnosti od primenjenog ubrzanja, na x, y i z izlazu akcelerometra se generišu odgovarajući naponi, koji se prosleđuju razvojnom okruženju na dalju obradu. Razvojno okruženje, u zavisnosti od vrednosti ubrzanja, diktira intenzitet i boju RGB LED diode. Intenzitet kojim dioda svetli zavisi od apsolutne vrednosti ubrzanja, a boja zavisi od vrednosti ubrzanja po odgovarajućoj osi. Delovanje ubrzanja po x-osi uključuje crvenu diodu, po y-osi zelenu diodu, a po z-osi plavu diodu. Ubrzanjem po dve ili tri ose, boja koju emituje RGB LED dioda je kombinacija odgovarajućih boja. Naizmenično uključivanje i isključivanje RGB LED diode vrši se tasterom integrisanim na razvojnom okruženju. Između razvojnog okruženja i računara uspostavljena je USB-UART komunikacija. Zahvaljujući njoj, u slučaju prijema karaktera „v“ na strani razvojnog okruženja, kao odgovor se računaru prosleđuju vrednosti napona registrovane akcelerometrom. Ovi podaci se na računaru prikazuju preko emulatora terminala „Putty“ [5].

B. Akcelerometar

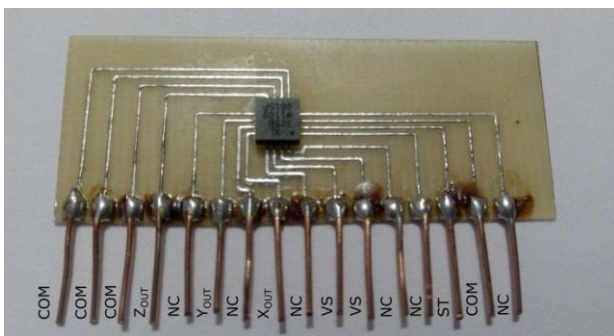
Izlazni signali ADXL325 akcelerometra su analogne vrednosti napona proporcionalne izmerenom ubrzanju duž pojedinih osa sa tipičnom osetljivošću od 174mV/g. U odsustvu ubrzanja (0g), izlazni napon senzora jednak je

polovini njegovog napona napajanja. U ovom radu akcelerometar je napajan sa 3.3V preko razvojnog okruženja, tako da je ofset signala 1.65V. Treba imati u vidu uticaj gravitacione sile na akcelerometar, jer se i prilikom njegovog mirovanja, registruje ubrzanje.

Akcelerometar može registrovati ubrzanja u opsegu od $\pm 5g$. To znači da se na izlazu akcelerometra napon kreće od 0.78V (za ubrzanje od $-5g$) do 2.52V (za ubrzanje od $+5g$). Pri statičkom gravitacionom ubrzanju napon na izlazu je 1.47V (za ubrzanje od $-1g$) i 1.82V (za ubrzanje od $+1g$).

Propusni opseg akcelerometra je podešen na 50Hz pomoću kondenzatora od 100nF, pa je očitavanje signala moguće na svakih 20ms.

Zbog izuzetno malih dimenzija akcelerometra, na raster pločici su izvedeni kontakti sa čipa, radi mogućnosti njegovog povezivanja na protoploču. Izgled akcelerometra sa kontaktima i raspored pinova na raster pločici je dat na Sl. 2.

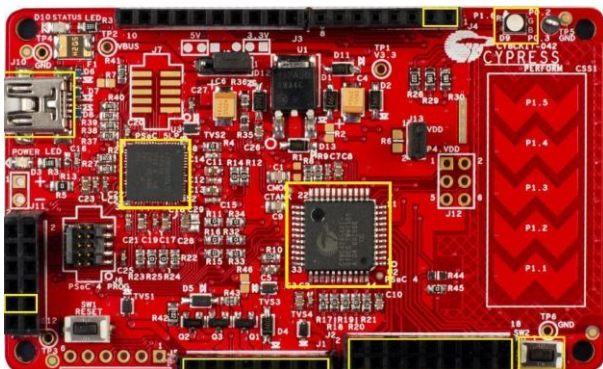


Sl. 2. Izgled akcelerometra sa kontaktima i raspored pinova na raster pločici.

C. Razvojno okruženje CY8CKIT-042

Komponente integrisane na razvojnoj ploči, a bitne za projekat su: RGB LED dioda, taster opšte namene, konektor za napajanje i programiranje, izvodi opšte namene i dva PSoC čipa (Sl. 3). PSoC 4 čip [6], CY8C4245AXI-483, vrši obradu podataka, a PSoC 5LP čip se koristi kao programator i USB-UART kontroler.

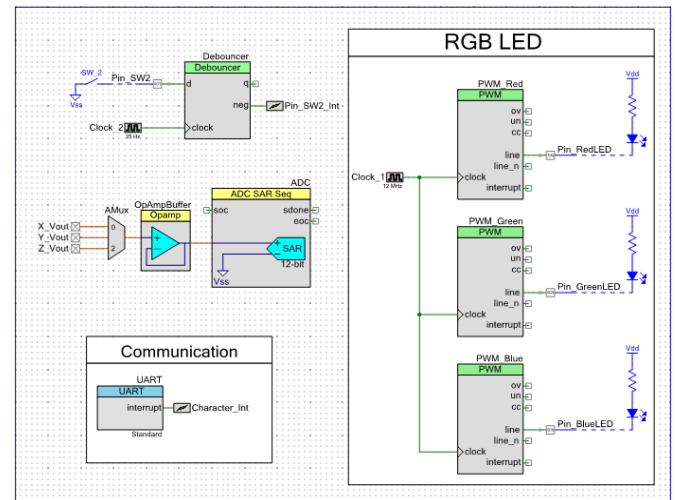
Unutar kućišta RGB LED diode se nalaze tri zasebne diode: crvena (Red), zelena (Green) i plava (Blue). Svaka dioda je kontrolisana pomoću komponente sa impulsno širinskom modulacijom (PWM – Pulse Width Modulation).



Sl. 3. Razvojna ploča CY8CKIT-042.

Zahvaljujući UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) bloku za komunikaciju moguće je ostvariti vezu između ovog razvojnog okruženja i drugog razvojnog okruženja ili računara.

Šema ugrađenih komponentata PSoC 4 čipa i njihovih veza koje omogućavaju realizaciju projekta su prikazane na Sl. 4.



Sl. 4. Šema ugrađenih komponentata PSoC 4 čipa korišćenih za realizaciju projekta.

Analogni multiplexer (AMux [7]) služi za selektivno propuštanje signala sa izlaza akcelerometra na ulaz A/D konvertora. Selekcija kanala multiplexera sa kog se očitava signal se vrši softverski.

Zbog velike izlazne impedanse akcelerometra ($32k\Omega$), neophodno je koristiti bafer impedanse za ispravno funkcionisanje A/D konvertora PSoC-a. Ovaj bafer je realizovan pomoću operacionog pojačavača (Opamp [8]) u konfiguraciji sa jediničnim pojačanjem.

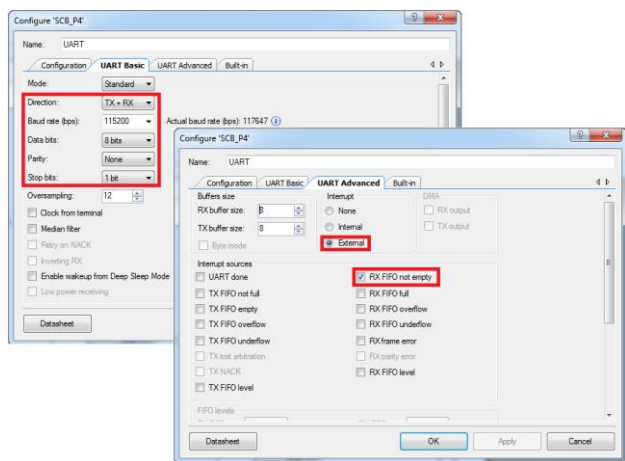
Za konverziju analognih napona sa izlaza akcelerometra, korišćen je 12-bitni ADC SAR konvertor [9]. S obzirom na opseg vrednosti izlaznih napona sa akcelerometra, za minimalni ulazni napon konvertora postavljeno je 0V, a za maksimalni 3.3V. Pri ovom minimalnom naponu, A/D konvertor radi u „jednostranom“ režimu. Rezultat A/D konverzije je 12-to bitni označeni broj, tako da se rezultat zapisuje sa efektivnih $n=11$ bitova. To znači da je moguće registrovati promene signala od $(3.3V-0V) / 2^{11} = 1.6mV$.

Kontrola RGB LED diode se vrši pomoću tri PWM komponente [10]. PWM_Red kontroliše crvenu, PWM_Green zelenu a PWM_Blue plavu diodu. Softverski je podešeno da PWM komponente imaju rezoluciju od $n=15$ bitova. To znači da je maksimalna vrednost koja im se može proslediti 2^n-1 , tj. $2^{15}-1=32767$. Skalirana digitalna vrednost napona sa izlaza akcelerometra se prosleđuje PWM komponenti. U njoj se generiše naponski signal sa faktorom ispune koji je proporcionalan vrednosti ubrzanja duž odgovarajuće ose. Različite vrednosti trajanja impulsa, ljudsko oko tumači kao različite intenzitete kojim dioda svetli. Perioda signala zavisi od izabranog takta komponente (Clock parametar). Da se ne bi uočilo treperenje dioda, bitno je da frekvencija bude veća od 45kHz (izabrano je 12MHz). Treba napomenuti da su katode dioda vezane za izlaze PWM komponente tako da su

aktivne kada je signal na nultoj vrednosti. Ovakva realizacija je pogodna jer se napajanje dioda obezbeđuje eksterno, a ne preko PSoC čipa.

Integrirani taster služi za korisničko uključivanje i isključivanje RGB LED diode kao celine. U otvorenom stanju, taster je preko pull-up otpornika vezan za napajanje, a prilikom zatvaranja se vezuje na masu. S obzirom da je taster mehanička komponenta, javlja se problem „poskakivanja“ (bouncing). Za izbegavanje lažnog detektovanja promene signala na tasteru, korišćena je komponenta Debouncer [11]. Nakon očitavanja prve promene stanja na tasteru, čeka se da se signal stabilise, a zatim ponovo proverava njegova vrednost. Podešavanjem takta komponente na 25Hz, definisano je vreme stabilizacije od 40ms. Debouncer je konfigurisan da nakon detekcije negativne ivice signala pokreće prekidnu proceduru Pin_SW2_Int [12].

Pomoću bloka za serijsku komunikaciju (SCB [13]) implementirana je dvosmerna UART komunikacija razvojnog okruženja i računara. Zadati parametri komunikacije su prikazani na Sl. 5.



Sl. 5. Parametri UART komunikacije.

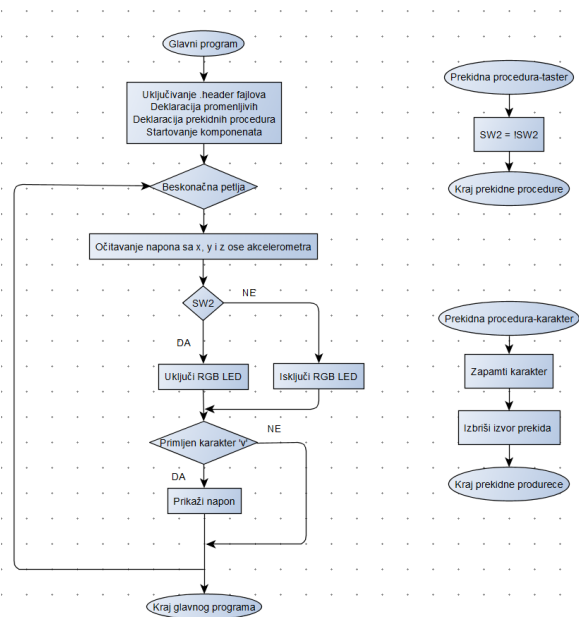
UART blok je konfigurisan da po prijemu bilo kog karaktera startuje eksternu prekidnu rutinu (Character_Int). Rutina obrađuje izvor prekida, i ukoliko je očitani karakter „v“ šalje računaru povratne informacije o naponima sa izlaza akcelerometra.

Direktna veza sa računarnom je realizovana preko USB komunikacione veze tako da je na razvojnom okruženju PSoC 5LP čip iskorišćen kao USB-UART translator. Pri tome je za ispravno funkcionisanje UART komunikacije, neophodno fizički kratkospojiti UART linije za prijem i slanje podataka, između PSoC 4 i PSoC 5LP čipova na razvojnom okruženju. Za pravilnu komunikaciju razvojnog okruženja i računara preko COM (communication) porta, usaglašeni su njihovi parametri prenosa.

Nakon konfiguracije komponenti, pisanja koda (firmware) i generisanja njegove izvršne verzije (build projekta), vrši se programiranje čipa. Povezivanje razvojne ploče sa računarnom, njeno napajanje i programiranje vrši se pomoću USB A – USB mini-B kabla. Ploča se napaja sa 5V, dok se čipovi, preko internog naponskog regulatora, napajaju sa 3.3V.

D. Tok programa

Algoritam programa je prikazan na Sl. 6.



Sl. 6. Algoritam programa.

Na samom početku, vrši se: uključivanje svih potrebnih .header fajlova, deklarisanje promenljivih i prekidnih procedura i startovanje komponenti. Definisane su dve prekidne procedure. Prva prekidna procedura se pokreće ukoliko je detektovan pritisak tastera, i u njoj se menja vrednost promenljive SW2. Drugu prekidnu proceduru pokreće prijem karaktera sa računara. U proceduri se primljeni karakter upisuje u promenljivu i briše izvor prekida glavnog programa.

U glavnoj petlji se očitava napon sa x, y i z ose akcelerometra. U zavisnosti od vrednosti promenljive SW2, vrši se uključivanje/isključivanje RGB LED diode. Ukoliko je u promenljivu SW2 upisana jedinica, RGB LED dioda će se uključiti, a ukoliko je vrednost nula, dioda će se isključiti.

Zatim se ispituje primljeni karakter: za karakter „v“ razvojno okruženje šalje računaru vrednosti napona; u slučaju prijema bilo kog drugog karaktera, razvojno okruženje ne prosleđuje informacije računaru.

III. REZULTATI

Za proveru funkcionalnosti projekta, iskorišćena je detekcija statičkog gravitacionog ubrzanja. Pozicioniranjem akcelerometra, tako da statičko ubrzanje deluje samo po jednoj osi, očitavanjem vrednosti napona i praćenjem promene boje diode uveravamo se u tačnost funkcionisanja.

Očitavanje napona sa akcelerometra, vršeno je preko emulatora terminala „Putty“. Nakon pokretanja programa podešeni su parametri prenosa u skladu sa Sl. 5.

Podaci primljeni sa razvojnog okruženja, prikazani su na Sl. 7.

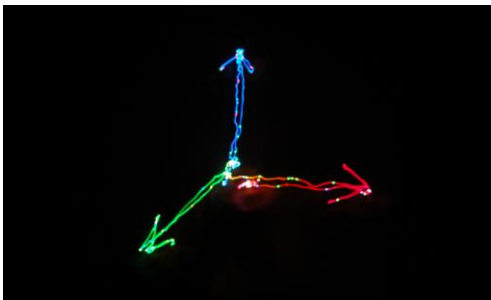
X oša:	Y oša:	Z oša:
1845 mV	1645 mV	1660 mV
1465 mV	1677 mV	1671 mV
1644 mV	1834 mV	1648 mV
1650 mV	1455 mV	1668 mV
1668 mV	1652 mV	1050 mV
1650 mV	1650 mV	1473 mV

Sl. 7. Vrednosti napona po osama pri statičkom ubrzanju.

Zbog pojave šuma na ulaznim signalima akcelerometra, kao i velike rezolucije A/D konvertora, očitavanja napona za iste vrednosti ubrzanja variraju u okviru par desetina mV.

Ubrzanje od +1g deluje na x osu u prvom, na y osu u trećem i na z osu u petom očitavanju, dok na ostale ose deluje ubrzanje od 0g. Analogno tome, drugo, četvrto i šesto očitavanje odgovara delovanju ubrzanja od -1g na x, y i z osu, pri dejstvu od 0g na ostalim osama.

Za kreativno prezentovanje funkcionisanja sistema, iskorišćena je tehnika „pisanje svetlom“. U mračnom ambijentu, koristeći dugu ekspoziciju (30s), pomoću fotoaparata Nikon D70, zabeležene su fotografije prikazane na sledećim slikama. Na Sl. 8 su prikazane ose trodimenzionalnog koordinatnog sistema u odgovarajućim bojama, a na Sl. 9 je dat proizvoljan zapis.



Sl. 8. Fotografija koordinatnog sistema nastala metodom „pisanje svetlom“.



Sl. 9. Fotografija proizvoljnog zapisa nastala metodom „pisanje svetlom“.

IV. ZAKLJUČAK

Akcelerometar je komponenta sa kojom se nesvesno susrećemo svakog dana i koja nam može dati informacije o položaju nekog objekta, ili o njegovom kretanju. U slučaju interakcije sa okruženjem koje vrši vizuelnu signalizaciju, vrlo lako se mogu uočiti promene pri kretanju. Ugradnjom

ovakvog sistema na objekat koji menja pravac kretanja, dobija se slikovita povratna informacija.

Mogućnosti za unapređenje prikazanog sistema su raznovrsne. Integracijom dodatnih komponenti sistem se može koristiti za akviziciju podataka sa određenog objekta, zvučnu signalizaciju prilikom očitavanja kritičnih vrednosti ubrzanja, aktiviranje prikladnog sistema zaštite od nagle promene ubrzanja i drugo.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je realizovan u okviru projekta finansiranog od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije (evidencioni broj TR32026) i Ei PCB Factory, Niš.

LITERATURA

- [1] ADXL325, Datasheet, Analog Devices, 2009. Dostupno na: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL325.pdf>
- [2] Ranjith M, Nidhin M S, Application Note AN79953. Dostupno na: <http://www.cypress.com/file/46106/download>
- [3] CY8CKIT-042 PSoC 4 Pioneer Kit Guide, Cypress Semiconductor Corporation. Dostupno na: <http://www.cypress.com/file/46056/download>
- [4] PSoC Creator User Guide, Cypress Semiconductor Corporation. Dostupno na: <http://www.cypress.com/file/137441/download>
- [5] Dostupno na: <http://www.putty.org>.
- [6] PSoC 4 Architecture TRM (Technical Reference Manual), Cypress Semiconductor Corporation, 2016. Dostupno na: <http://www.cypress.com/file/126171/download>
- [7] AMux, Component Datasheet, Cypress Semiconductor Corporation, 2017. Dostupno na: <http://www.cypress.com/file/127201/download>
- [8] Opamp, Component Datasheet, Cypress Semiconductor Corporation, 2017. Dostupno na: <http://www.cypress.com/file/274686/download>
- [9] ADC_SAR_Seq, Component Datasheet, Cypress Semiconductor Corporation, 2016. Dostupno na: <http://www.cypress.com/file/274556/download>
- [10] TCPWM, Component Datasheet, Cypress Semiconductor Corporation, 2016. Dostupno na: <http://www.cypress.com/file/220361/download>
- [11] Debouncer, Component Datasheet, Cypress Semiconductor Corporation, 2012. Dostupno na: <http://www.cypress.com/file/128141/download>
- [12] Interrupt, Component Datasheet, Cypress Semiconductor Corporation, 2013. Dostupno na: <http://www.cypress.com/file/130976/download>
- [13] SCB, Component Datasheet, Cypress Semiconductor Corporation, 2017. Dostupno na: <http://www.cypress.com/file/274551/download>

ABSTRACT

This paper describes an interaction between 3-axis accelerometer and RGB LED diode on the PSoC development kit. Block scheme and working principle of the system are presented. Characteristics of the used accelerometer and development kit, necessary for the project development, are given. Configurations of the implemented PSoC components, as well as algorithm used for the code design are described in details. Functionality of the system is confirmed by registering measured acceleration under known working conditions. "Light painting" technique is used for graphical representation of the results.

An interaction between 3-axis accelerometer and RGB LED diode realized on the PSoC development kit

Aleksandra Stojković, Aneta Prijić