

Nikola Mitrović

Miloš Marjanović

Danijel Danković

Primena ARM mikrokontrolera

Akadska misao
Beograd, 2023.

Nikola Mitrović
Miloš Marjanović
Danijel Danković

Primena ARM mikrokontrolera

Recenzenti

Prof. dr Tatjana Nikolić
Prof. dr Aneta Prijić
Prof. dr Vladimir Milovanović

Izdaje i štampa

Akadska misao, Beograd

Dizajn naslovne strane

Boris Popović

Tiraž

200 primeraka

ISBN 978-86-7466-951-8

Mesto i godina izdanja

Beograd, 2023.

NAPOMENA: Fotokopiranje ili umnožavanje na bilo koji način ili ponovno objavljivanje ove knjige u celini ili u delovima nije dozvoljeno bez prethodne izričite saglasnosti i pismenog odobrenja izdavača.

Predgovor

Knjiga *Primena ARM mikrokontrolera* namenjena je prevashodno studentima Elektronskog fakulteta u Nišu, kao i studentima drugih tehničkih fakulteta, ali i svim drugim inženjerima koji kreću sa izučavanjem primene mikrokontrolera koji postaju najzastupljeniji na tržištu. Nastala je sa ciljem da se studenti upoznaju sa principima rada i alatima koji su zastupljeni u industriji koristeći primere iz prakse. Knjiga je organizovana u deset poglavlja, gde je prvo poglavlje uvodno, a preostalih devet su skoncentrisani na konkretne celine: rad sa izlaznim pinovima, rad sa ulaznim pinovima, UART komunikacija, vremenski prekidi, analogno-digitalna konverzija, impulsno širinska modulacija, I2C komunikacija, SPI komunikacija i korišćenje gotovih biblioteka. Svako poglavlje u knjizi sadrži teorijski pregled i prikaz električnih šema. Najveći deo svakog poglavlja predstavlja opis primera primene teorijski prikazane materije kao i detaljna uputstva za realizaciju zadatka iz primera.

Primeri primene ARM mikrokontrolera u poglavljima pokazani su korišćenjem razvojnog okruženja Nucleo-F103RB koje je zasnovano na STM32F103RB mikrokontroleru. Ovaj mikrokontroler je odabran pre svega zbog svoje široke dostupnosti, ali i pristupačnosti velikom broju perifernih jedinica. Realizacija primera prikazanih u poglavljima ove knjige, pored razvojnog okruženja, zahteva i korišćenje određenih besplatno dostupnih softverskih alata, a za pojedine primere i povezivanje dodatnih komponenata. Softverski alati *STM32CubeMX* i *Keil Microvision* su odabrani zbog svoje široke rasprostranjenosti u industriji, besplatne dostupnosti i zbog širokih korisničkih mogućnosti koje nude. Pored toga, bitan kriterijum prilikom odabira softverskih alata je to što razvoj, onako kako je prikazan u poglavljima, nije ograničen na konkretan mikrokontroler, već se pristup može koristiti i za druge serije, sa drugim mogućnostima. Prilikom realizacije nekih vežbi poželjno je, ali ne i neophodno, i korišćenje laboratorijske opreme kao što je osciloskop ili logički analizator.

Radi provere zadataka iz poglavlja, na kraju svakog poglavlja nalazi se QR kod. Skeniranjem koda čitalac može pristupiti linku na *github* platformi, na kome se nalaze fajlovi za rešenje zadatka, sa dopunskim propratnim komentarima. Na ovaj način, ukoliko se naiđe na poteškoće prilikom rada ili prilikom savladavanja nekih zadataka, sopstvenu realizaciju zadatka moguće je uporediti sa onom koja provereno funkcioniše u skladu sa zahtevima primera. Pored toga, za dodatno

usavršavanje, na linkovima se nalaze i dodatni primeri za samostalan rad koji uključuju varijacije opisanih primera.

Bitno je napomenuti da cilj ove knjige nije objašnjavanje principa rada samih mikrokontrolera, niti objašnjavanje strukture i osobina ARM arhitekture, već je akcenat na samoj primeni ARM mikrokontrolera za rešavanje konkretnih problema. Sama primena naravno zahteva poznavanje osnovnih principa rada, koje jeste objašnjeno, ali je najveći deo knjige posvećen korišćenju, upotrebi i primeni ovih mikrokontrolera. Poglavlje literature sadrži veliki broj knjiga, dokumenata koje izdaju kompanije i tehničkih specifikacija koje mogu poslužiti za detaljnija istraživanja i približiti princip rada čitaocima.

Knjiga *Primena ARM mikrokontrolera* je nastala kao plod saradnje sa više kompanija, ali i kao plod višegodišnjeg rada sa studentima na Elektronskom fakultetu u Nišu. Autori zahvaljuju kompanijama EUROgenyx i Mutex Embedded na izdvojenom vremenu i na saradnji, kao i svim studentima koji su probali razne verzije ovih vežbi i koji su svojim pitanjima, komentarima i korisnim sugestijama doveli do njihovog značajnog unapređenja.

Posebnu zahvalnost autori duguju organizaciji IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Pod okriljem ove organizacije je organizovan niz radionica sa studentima i učenicima srednjih škola i obezbeđena oprema za praktičan rad. Autori su u radu sa polaznicima radionica uvideli celine koje su im bile teže za razumevanje i, shodno tome, objašnjavanju tih celina posvetili dodatnu pažnju u odgovarajućim poglavljima. Tokom ovih radionica prepoznati su i modeli objašnjavanja i prikazivanja informacija koji su kod polaznika dali najbolje rezultate, i koji su primenjeni u ovoj knjizi.

Takođe, autori zahvaljuju i kolegicama i kolegama sa Elektronskog fakulteta u Nišu na korisnim sugestijama i komentarima. Primeri iz poglavlja ove knjige su u više navrata provereni, praktično realizovani korišćenjem opisanih komponenata, a i provereni korišćenjem najsavremenijih laboratorijskih instrumenata. Međutim, iako je prilikom realizacija vežbi iz primera i pisanja ove knjige uloženi veliki trud, moguće je da su se i potkrale greške. Autori će biti zahvalni svim čitaocima koji preko mejla (nikola.i.mitrovic@elfak.ni.ac.rs) ukažu na eventualne propuste ili daju svoje predloge i sugestije za poboljšanje sadržaja knjige.

Sadržaj

1	Uvod u ARM mikrokontrolere	1
1.1	Struktura mikrokontrolera	1
1.2	Razvoj ARM mikrokontrolera	2
1.3	Korteks-M jezgro	4
1.4	Okruženje Nucleo-F103	5
2	Prvi projekat - Uključivanje LED	9
2.1	Struktura generisanog HAL koda	11
2.2	Pokazivači, referenciranje i rukovaoci	13
2.3	Rad sa softverskim alatom CubeMX	15
2.4	Rad sa softverskim alatom Keil	21
3	Očitavanje ulaznog signala, rad sa tasterima	25
3.1	Teorijski uvod	25
3.2	Rad sa softverskim alatom CubeMX	27
3.3	Rad sa softverskim alatom Keil	33
4	UART komunikacija	39
4.1	Teorijski uvod	39
4.2	Prenos podataka korišćenjem UART komunikacije	41
4.3	Rad sa softverskim alatom CubeMX	42
4.4	Rad sa softverskim alatom Keil	48
4.5	Slanje podataka različitih tipova	54
5	Generisanje vremenskog prekida pomoću tajmera	57
5.1	Teorijski uvod	57
5.2	Treperenje LE diode zadatom učestanošću	58
5.3	Rad sa softverskim alatom CubeMX	59
5.4	Rad sa softverskim alatom Keil	68

6	Analogno-digitalna konverzija	75
6.1	Teorijski uvod	75
6.2	Očitavanje napona sa potenciometra	78
6.3	Rad sa softverskim alatom CubeMX	78
6.4	Rad sa softverskim alatom Keil	81
6.5	Paralelno očitavanje više napona na različitim pinovima	83
6.6	Rad sa softverskim alatom CubeMX	84
6.7	Rad sa softverskim alatom Keil	90
7	Impulsno širinska modulacija (PWM)	95
7.1	Teorijski uvod	95
7.2	Rad sa softverskim alatom CubeMX	96
7.3	Rad sa softverskim alatom Keil	99
7.4	Kontrola faktora ispunje u realnom vremenu	100
8	I²C komunikacija	103
8.1	Teorijski uvod	103
8.2	Određivanje adrese slejv uređaja	104
8.3	Rad sa softverskim alatom CubeMX	105
8.4	Rad sa softverskim alatom Keil	109
8.5	Komunikacija sa modulom za merenje temperature MCP9808	112
9	SPI komunikacija	117
9.1	Teorijski uvod	117
9.2	Komunikacija sa modulom BMP280	119
9.3	Rad sa softverskim alatom CubeMX	120
9.4	Rad sa softverskim alatom Keil	125
10	Korišćenje gotovih biblioteka	131
10.1	Teorijski uvod	131
10.2	Biblioteka za Hitachi displeje (Komunikacija sa 1602 displejem)	131
10.3	Rad sa softverskim alatom CubeMX	132
10.4	Rad sa softverskim alatom Keil	134
10.5	Biblioteka za SSD1306 displeje (Komunikacija sa OLED displejem)	137
10.6	Rad sa softverskim alatom CubeMX	138
10.7	Rad sa softverskim alatom Keil	140
A	Direktan pristup memoriji (DMA)	145
B	USB na TTL kolo	149
C	ST-link	151
D	Terminal	153
	Literatura	155