

UNIVERZITET U BEOGRADU
SAOBRAĆAJNI FAKULTET

Nenad JEVTIĆ
Marija MALNAR

TELEKOMUNIKACIONA ELEKTRONIKA

BEOGRAD
2025.

Recenzenti: dr Goran Marković,
dr Mirjana Stojanović
Za izdavača: dr Milorad Kilibarda, dekan
Glavni i odgovorni urednik: dr Mirjana Bugarinović
Tehnički urednik: Predrag Knežević
Korice: Predrag S. Zdravković
Izdavač: Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet,
Vojvode Stepe 305; telefon: 011 3976 017;
faks: 011 3096 704; <http://www.sf.bg.ac.rs>
Priprema: Izdavačka delatnost Saobraćajnog fakulteta;
telefon: 011 3091 344; idsf@sf.bg.ac.rs;
(skriptarnica) sfknjige@sf.bg.ac.rs
Štampa: Pekograf DOO, Vojni put 258/d, 11080 Zemun;
telefon: 011 31 49 166; www.pekograf.com
Tiraž: 50 primeraka
ISBN 978-86-7395-501-8
DOI: <https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673955018.PT>

Na osnovu odluke Uređivačkog odbora Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu, broj 701/2 od 4. jula 2025. godine, odobrava se za upotrebu u nastavi na osnovnim studijama kao osnovni udžbenik za izborni predmet „Telekomunikaciona elektronika”.

CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд

004.78:004.35]:621.37/.38(075.8)(0.034.2)

ЈЕВТИЋ, Ненад, 1975-

Telekomunikaciona elektronika [Elektronski izvor] / Nenad Jevtić, Marija Malnar.
- 1. izd. - Beograd : Univerzitet, Saobraćajni fakultet, 2025 (Zemun : Pekograf). – 1
elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm
Sistemske zahteve: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. - Slike autora.

- Tiraž 50. - Beleška o autorima. - Sadrži bibliografiju.

ISBN 978-86-7395-501-8

1. Малнар, Марија З., 1983- [autor]

а) Интернет ствари -- Електроника

COBISS.SR-ID 174614793

Izdavač zadržava sva prava. Reprodukција pojedinih delova ili celine ove publikacije nije dozvoljena.

Sadržaj

Predgovor	5
1. UVOD	7
2. OSNOVNI POJMOVI O SENZORIMA I AKTUATORIMA.....	15
2.1. Klasifikacija senzora	16
2.1.1. Klasifikacija senzora prema tipu izlaznog signala	18
2.1.2. Klasifikacija senzora prema principu rada	19
2.1.3. Klasifikacija senzora prema tipu merne veličine i principu rada...	24
2.2. Osnovne karakteristike senzora.....	26
2.2.1. Statičke karakteristike	26
2.2.2. Dinamičke karakteristike.....	30
2.2.3. Korekcije nesavršenosti senzora	32
2.3. Greške merenja, merna nesigurnost i kalibracija senzora	34
2.3.1. Statistička obrada mernih rezultata	37
2.3.2. Izražavanje merne nesigurnosti	38
2.4. Primeri senzora	41
2.4.1. Senzori temperature.....	41
2.4.2. Senzori pritiska.....	43
2.4.3. Primena jeftinih senzora u IoT	43
2.5. Fuzija senzora	52
2.6. Aktuatori	53
2.6.1. Klasifikacija aktuatora.....	53
2.6.2. Aktuatori za prototipske IoT uređaje.....	54
2.7. Pametni pretvarači za IoT	64
2.7.1. Struktura pametnih pretvarača.....	66
2.7.2. Zahtevi za projektovanje pametnih senzora za IoT	68

3. UGRAĐENI SISTEMI ZA IoT	77
3.1. Implementacija digitalnih sistema.....	78
3.1.1. ASIC	78
3.1.2. FPGA.....	79
3.1.3. Procesori	81
3.1.4. Poređenje različitih mogućnosti za implementaciju	88
3.2. Žične magistrale	90
3.2.1. UART magistrala	91
3.2.2. Jednožična magistrala.....	92
3.2.3. Dvožična magistrala	94
3.2.4. SPI i QSPI magistrale	96
3.2.5. Konfigurabilni I/O pinovi i PWM modulacija	98
3.3. Implementacija IoT uređaja na bazi procesora.....	100
3.3.1. Klasifikacija procesora za ugrađene sisteme	101
3.3.2. ARM procesori	106
3.3.3. Kriterijumi za izbor procesora za IoT.....	108
3.3.4. Primeri mikrokontrolera i sistema na čipu za IoT aplikacije.....	110
3.4. Pristupačne razvojne ploče za izradu prototipova IoT uređaja	118
3.4.1. Razvojna ploča <i>Arduino</i>	119
3.4.2. Razvojne ploče na bazi ESP8266	127
3.4.3. Razvojne ploče na bazi ESP32	131
3.4.4. Razvojne ploče na bazi STM32.....	133
3.4.5. Računar na ploči <i>Raspberry Pi</i>	135
3.4.6. Simulacija rada razvojnih ploča	142
4. POVEZIVANJE IoT UREĐAJA U OBLAK.....	147
4.1. Izbor tehnologije za bežično umrežavanje	151
4.2. Izbor tehnike pristupa servisima u oblaku.....	161
4.3. Izbor razvojne platforme u oblaku i implementacija aplikacija	164
4.3.1. Edukativne razvojne platforme u oblaku.....	165
4.3.2. Komercijalne platforme u oblaku razvoj IoT aplikacija.....	178
Literatura	183
Spisak skraćenica.....	191
Beleška o autorima	197

Predgovor

Ovaj udžbenik obuhvata gradivo predmeta Telekomunikaciona elektronika koji pripada užoj naučnoj oblasti Informaciono komunikacione tehnologije i drži se u petom semestru osnovnih akademskih studija Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na Modulu za telekomunikacioni saobraćaj i mreže. Iako je naziv predmeta, pa samim tim i naziv ovog udžbenika, zadržan iz starijih ciklusa akreditacije, materija obuhvaćena udžbenikom je zapravo posvećena oblasti Interneta stvari (IoT, engl. *Internet of Things*) sa osnovnim ciljem da se studentima kroz praktičan rad sa savremenim hardverskim i softverskim razvojnim platformama i alatima omogući uvid u projektovanje, realizaciju i testiranje prototipova pametnih uređaja za IoT. S obzirom na postavljeni cilj, veoma široku oblast Interneta stvari i nivo studija kome je namenjen, ovaj udžbenik je koncipiran tako da obuhvata materijale, pažljivo odabrane na osnovu višegodišnjeg iskustva autora u držanju nastave, pogodne za kreiranje solidnog predznanja iz ove oblasti, koje će studentima biti od koristi u nastavku osnovnih akademskih studija.

Uzimajući u obzir ograničen obim stručnih tehničkih znanja koja se stiču do kraja četvrtog semestra osnovnih akademskih studija na Modulu za telekomunikacioni saobraćaj i mreže, ovaj udžbenik je osmišljen da pruži sažet pregled ključnih predznanja neophodnih za razumevanje oblasti obrađene u okviru ovog predmeta. Sadržaj udžbenika strukturiran je u četiri poglavlja, pri čemu prvo poglavlje obuhvata uvodna razmatranja.

Drugo poglavlje daje osnovne informacije o senzorima, aktuatorima i mernim sistemima, pre svega u kontekstu primene u Internetu stvari. Data je najčešća klasifikacija, a zatim su analizirane i osnovne statičke i dinamičke karakteristike senzora. Cilj ove analize je bolje razumevanje nesavršenosti mernih uređaja, kao i načina na koje se te nesavršenosti mogu otkloniti, ublažiti ili nadoknaditi. Takođe,

posebna pažnja posvećena je pravilnom izboru senzora u skladu sa specifičnom primenom. Na kraju poglavlja razmatra se potreba za umrežavanjem senzora i aktuatora i za optimizacijom potrošnje energije.

U trećem poglavlju obrađuje se povezivanje senzora i aktuatora na odgovarajući digitalni sistem za lokalnu obradu podataka. Opisani su osnovni elementi ugrađenih sistema i procesora za implementaciju pametnih senzora i aktuatora. Posebna pažnja posvećena je ARM (engl. *Advanced RISC Machines*; RISC, engl. *Reduced Instruction Set Computers*) procesorima koji su optimizovani za energetska efikasnost. Takođe, opisane su ukratko i najčešće korišćene serijske magistralne procesora pogodne za povezivanje senzora i aktuatora. Na kraju poglavlja razmotrena je mogućnost primene nekih od često korišćenih razvojnih ploča za implementaciju prototipova pametnih senzora i aktuatora, kao što su *Arduino*, *Raspberry Pi* i druge.

Četvrto poglavlje posvećeno je bežičnom umrežavanju senzora i aktuatora i povezivanju u oblak (engl. *cloud*). Ukratko su prikazane uporedne karakteristike i objašnjene prednosti i nedostaci bežičnih tehnika za umrežavanje senzora i aktuatora i upoređeni različiti protokoli za povezivanje sa servisima u oblaku. Nakon toga, opisane su osnovne softverske platforme za razvoj aplikacija u oblaku, od edukativnih do komercijalnih IoT platformi. Posebna pažnja posvećena je jednostavnijim platformama i platformama otvorenog izvornog koda (engl. *open source*) koje su pogodne za akademsku primenu, odnosno za realizaciju prototipova i studentskih projekata.

Autori se posebno zahvaljuju recenzentima na podršci i sugestijama koje su doprinele da ovaj udžbenik bude značajno kvalitetniji i sa manjim brojem nejasnoća i grešaka. Ujedno se izvinjavamo čitaocima na eventualnim greškama koje, uz sve napore, nismo uspjeli da primetimo i otklonimo.

Maj 2025, Beograd

Nenad Jevtić, Marija Malnar