

Dejan D. Drajić

**UVOD U M2M**  
*(Machine-to-Machine)*  
**KOMUNIKACIJE**

Akadska misao  
Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet  
Beograd 2016

Dejan D. Drajić

**UVOD U M2M (*Machine-to-Machine*) KOMUNIKACIJE**

*Recenzenti*

Dr Irini Reljin

Dr Aleksandar Nešković

---

Na sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta održanoj 19.01.2016.  
ova knjiga je odobrena kao udžbenik na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu.

---

*Izdaje i štampa*

AKADEMSKA MISAO, Beograd

*Dizajn naslovne strane*

Zorica Marković, akademski slikar

*Tiraž*

100 primeraka

ISBN 978-86-7466-591-6

---

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

---

# Sadržaj

|   |    |
|---|----|
| <b>Spisak skraćenica</b> .....  | 7  |
| <b>Predgovor</b> .....  | 11 |
| <b>1. Uvod</b> .....  | 13 |
| 1.1 Šta su M2M komunikacije? .....  | 13 |
| 1.2 Odnosi M2M, WSNs, CPS i IoT .....   | 14 |
| 1.3 Primeri primene M2M komunikacija .....  | 19 |
| 1.4 Uticaj pojedinih aplikacija na komunikacionu mrežu .....  | 21 |
| 1.5 Druge organizacije, udruženja i interesne grupe koje se bave M2M .....                                | 23 |
| 1.6 Dalji razvoj i izazovi u M2M komunikacijama .....   | 24 |
| <b>2. Arhitektura i standardi M2M komunikacija</b> .....  | 26 |
| 2.1 Uvod .....  | 26 |
| 2.2 3GPP MTC arhitektura .....  | 26 |
| 2.3 ETSI arhitektura za M2M .....   | 31 |
| 2.4 Arhitektura EXALTED sistema .....   | 36 |
| <b>3. M2M saobraćaj i modeli</b> .....  | 43 |
| 3.1 Uvod .....  | 43 |
| 3.2 Elementi za modelovanje M2M saobraćaja .....  | 44 |
| 3.3 Metodologija za modelovanje saobraćaja .....  | 50 |
| 3.3.1 Beleženje saobraćaja (trejsova) .....   | 51 |
| 3.3.2 Opšte o modelovanju saobraćaja .....  | 53 |
| 3.4 Modelovanje saobraćaja u M2M .....  | 54 |
| 3.4.1 Modelovanje izvora saobraćaja .....   | 55 |
| 3.4.2 Modelovanje izvora pomoću semi-Markovljevih modela .....  | 56 |
| 3.4.3 Modelovanje združenog saobraćaja .....  | 58 |
| 3.4.4 Modelovanje izvora za koordinirani saobraćajem putem Markovski modulisanih Poasonovih procesa ..... | 60 |
| 3.5 Fitovanje modela prema zabeleženom (zapisanom) saobraćaju .....                                       | 64 |
| 3.6 Modelovanje M2M aplikacija .....  | 68 |
| 3.6.1 Auto-pilot scenario .....   | 68 |
| 3.6.2 Senzorski alarmi i detekcija događaja .....   | 70 |
| 3.6.3 Virtuelna trka .....  | 71 |
| <b>4. Sigurnost u M2M komunikacijama</b> .....  | 75 |
| 4.1 Uvod .....  | 75 |
| 4.2. Pregled opštih pojmova .....   | 76 |
| 4.2.1 Uticaj arhitekture sistema .....  | 76 |
| 4.2.2 Tipovim napada .....  | 76 |
| 4.2.3 Tipovi napadača .....   | 77 |
| 4.2.4 Napadi na pojedine nivoe .....  | 77 |
| 4.2.5 Servisi sigurnosti .....  | 78 |
| 4.2.6 Sigurnosni protokoli i algoritmi .....  | 79 |

|  |            |
|--|------------|
| 4.3 Sigurnost u M2M sistemu .....  | 80         |
| 4.3.1 Poverenje ( <i>trust</i> ) u ekosistemima .....                        | 80         |
| 4.3.2 Zaštita ovlašćenja u toku njihovog životnog veka u M2M sistemima ..... | 81         |
| 4.3.3 Uvođenje ( <i>bootstrap</i> ) sigurnosti u M2M sistem .....            | 82         |
| 4.3.4 M2M sigurnost u poslednjoj milji (od WAN do LAN) .....                 | 83         |
| 4.3.5 Neki postojeći standardi i dalji trendovi .....                        | 84         |
| <b>5. ZigBee standard .....</b>  | <b>87</b>  |
| 5.1 Uvod .....   | 87         |
| 5.2 Razvoj i pojam ZigBee-a .....  | 87         |
| 5.2.1 Veza između ZigBee-a i IEEE 802.15.4 standarda .....                   | 88         |
| 5.2.2 Frekvencijski opsezi rada i brzine prenosa podataka .....              | 89         |
| 5.2.3 Klase i tipovi ZigBee uređaja .....                                    | 90         |
| 5.2.4 Formiranje ZigBee mreže .....  | 90         |
| 5.2.5 Mehanizmi pristupa kanalu .....  | 92         |
| 5.2.6 Metode prenosa podataka .....  | 93         |
| 5.2.7 Sigurnost .....  | 94         |
| <b>6. Bluetooth .....</b>  | <b>95</b>  |
| 6.1 Uvod .....   | 95         |
| 6.2 Klasični Bluetooth .....   | 95         |
| 6.2.1 Osnovne karakteristike .....   | 95         |
| 6.2.2 Radio i spektar .....  | 96         |
| 6.2.3 Topologije .....   | 98         |
| 6.2.4 Konekcije .....  | 99         |
| 6.2.5 Prenos podataka .....  | 100        |
| 6.2.6 Prenos glasa .....   | 101        |
| 6.2.7 Kontroler ( <i>Lower layer stack</i> ) .....                           | 101        |
| 6.2.8 Host ( <i>Higher layer stack</i> ) .....                               | 102        |
| 6.2.9 Transportni protokoli i profili .....                                  | 103        |
| 6.2.10 Potrošnja energije .....  | 104        |
| 6.3 Primeri primene Bluetooth tehnologije .....                              | 104        |
| 6.4 Ostale verzije standarda .....   | 105        |
| 6.4.1 Bluetooth 3.0 .....  | 105        |
| 6.4.2 Bluetooth 4.0 .....  | 105        |
| 6.4.3 Bluetooth 4.1 .....  | 106        |
| 6.4.4 Bluetooth 4.2 .....  | 106        |
| 6.5 Bluetooth Low Energy .....   | 106        |
| 6.5.1 Primena Bluetooth Low Energy u brizi o zdravlju .....                  | 107        |
| <b>7. 6LoWPAN .....</b>  | <b>109</b> |
| 7.1 Uvod .....   | 109        |
| 7.2 IPv4 .....   | 109        |
| 7.3 IPv6 .....   | 110        |
| 7.3.1 Prefiksi .....   | 111        |
| 7.3.2 Zaglavlje paketa .....   | 112        |
| 7.4 Bežični ugnježdjeni Internet .....                                       | 112        |
| 7.5 Uloga 6LoWPAN .....  | 113        |

|  |            |
|--|------------|
| 7.6 Razvoj 6LoWPAN i standardizacija .....   | 113        |
| 7.7 Arhitektura 6LoWPAN .....  | 114        |
| 7.7.1 6LoWPAN protokol stek i druge karakteristike .....                             | 116        |
| 7.8 Neke 6LoWPAN aplikacije .....  | 117        |
| 7.8.1 Upravljanje zgradama .....   | 118        |
| <b>8. Bežične tehnologije kratkog dometa .....</b>                                   | <b>120</b> |
| 8.1 Uvod .....   | 120        |
| 8.1.1 Pametne ( <i>smart</i> ) kartice .....   | 121        |
| 8.1.2 RFID .....   | 122        |
| 8.1.3 Počeci NFC .....   | 124        |
| 8.2 NFC .....  | 125        |
| 8.2.1 Standardi i razvoj NFC mobilnih telefona .....                                 | 126        |
| 8.3 Mobilni uređaji sa NFC tehnologijom .....  | 128        |
| 8.3.1 Sigurnosni element .....   | 129        |
| 8.3.2 NFC interfejs .....  | 130        |
| 8.3.3 Host kontroleri HCI .....  | 130        |
| 8.4 Primena RFID i NFC tehnologija .....   | 131        |
| 8.4.1 Primena RFID tehnologije u zdravstvenim sistemima .....                        | 131        |
| 8.4.2 Primena RFID tehnologije u lancima snabdevanja .....                           | 132        |
| 8.4.3 Primena NFC tehnologije .....  | 133        |
| <b>9. Upravljanje uređajima u M2M (OMA–DM, CoAP protokol) .....</b>                  | <b>135</b> |
| 9.1 Uvod .....   | 135        |
| 9.2 Upravljanje uređajima u M2M .....  | 136        |
| 9.3 OMA DM standard .....  | 136        |
| 9.3.1 Osnovi OMA-DM protokola .....  | 138        |
| 9.4 CoAP protokol .....  | 140        |
| 9.4.1 REST arhitektura .....   | 141        |
| 9.4.2 HTTP i REST arhitektura .....  | 141        |
| 9.4.3 Osnovi CoAP .....  | 142        |
| 9.4.4 Neke dodatne osobine CoAP .....  | 145        |
| 9.5 OMA LWM2M standard za upravljanje uređajima i aplikacijama .....                 | 146        |
| 9.5.1 Osnovi OMA LWM2M standarda .....   | 147        |
| 9.5.2 Struktura OMA LWM2M protokola .....  | 148        |
| <b>10. M2M komunikacije za pametnu mrežu (<i>smart grid</i>) .....</b>               | <b>151</b> |
| 10.1 Uvod .....  | 151        |
| 10.2 Osnovi pametnih mreža .....   | 153        |
| 10.3 Problemi M2M komunikacija u okviru pametne mreže .....                          | 156        |
| 10.4 Bežične komunikacione tehnologije za M2M komunikacije .....                     | 159        |
| 10.5 Neki primeri M2M komunikacija u pametnoj mreži .....                            | 162        |
| <b>11. Primena M2M komunikacija u okviru brige o zdravlju (<i>ehealth</i>) .....</b> | <b>168</b> |
| 11.1 Uvod .....  | 168        |
| 11.2 Mrežna arhitektura M2M komunikacija i <i>ehealth</i> .....                      | 171        |
| 11.3 Kratak pregled bežičnih tehnologija .....                                       | 172        |
| 11.3.1 Standardi .....   | 172        |

|  |            |
|--|------------|
| 11.3.2 Zaštićena ( <i>proprietary</i> ) rešenja .....                                  | 173        |
| 11.3.3 M2M pristupna komunikaciona mreža .....   | 174        |
| 11.4 Konektivnost i sigurnost u E2E rešenjima za M2M komunikacije .....                | 174        |
| 11.4.1 Integracija tehnologije za M2M komunikacije .....                               | 174        |
| 11.4.2 Neki reprezentativni primeri E2E rešenja M2M za <i>ehealth</i> aplikacije ..... | 175        |
| 11.4.3 Pitanja sigurnosti i privatnosti .....  | 176        |
| 11.5 Postojeći projekti .....  | 178        |
| <b>Indeks</b> .....  | <b>184</b> |