

Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet

Dr Dejan D. Drajić

# **PAMETNI GRADOVI**

Akadska misao  
Beograd, 2018.

Dr Dejan D. Drajić

## PAMETNI GRADOVI

*Recenzenti*

Dr Aleksandar Nešković

Dr Predrag Ivaniš

*Izdavač*

AKADEMSKA MISAO

Beograd

---

Odlukom broj 147/3 od 26.02.2018. godine, Nastavno-naučno veće Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu je na svojoj 823. sednici održanoj 13.02.2018 odobrilo ovaj udžbenik kao nastavni materijal na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu.

---

*Štampa*

Akademski misao, Beograd

*Tiraž*

300 primeraka

ISBN 978-86-7466-723-1

---

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

---

# Sadržaj

Spisak skraćenica .....	6
Predgovor .....	10
1 Uvod.....	12
1.1 Šta je pametni grad?.....	12
1.2 Neki problemi pri formiranju pametnog grada .....	15
1.3 „Onlife Manifesto” .....	16
2 Tehnologija .....	18
2.1 Uvod.....	18
2.1.1 Servisi u pametnom gradu .....	18
2.1.2 Opšti pregled dostupnih tehnologija za pametne gradove .....	19
2.1.3 Neke dostupne arhitekture .....	24
2.2 Čelijske mobilne mreže.....	25
2.3 IoT čelijske mreže.....	25
2.3.1 LoRa(WAN) .....	25
2.3.2 Sigfox .....	27
2.3.3 „Weightless SIG“ .....	29
2.3.4 Ingenu .....	29
2.4 Višeslojke arhitekture .....	30
2.4.2 ZigBee.....	30
2.4.3 6LoWPAN .....	32
2.4.4 Dalja poboljšanja i izmene zasnovane na IEEE 802.15.4.....	34
2.4.5 Bluetooth Low Energy .....	34
2.4.6 Z-Wave .....	36
2.4.7 Wireless M-Bus .....	36
2.4.8 WiFi Low Power.....	37
2.4.9 Koncept “bezćelijske” ( <i>cell-less</i> ) mreže .....	37
2.4.10 Veza sa Internetom .....	38
2.5 Zaključak.....	39
3 Arhitektura – rad u oblaku .....	41
3.1 Uvod.....	41
3.2 Rad u oblaku .....	41
3.3 Rad u magli .....	44
3.4 Rad na ivici ( <i>edge computing</i> ) .....	46
3.5 Efikasno komuniciranje pametnog grada sa oblakom .....	47
4 Briga o zdravlju.....	51

4.1 Uvod.....	51
4.2 Arhitektura .....	52
4.2 Primene Bluetooth Low Energy tehnologije u brizi o zdravlju .....	53
4.3 Asistirani način života (AAL – <i>Ambient Assisted Living</i> ).....	55
4.3.1 Arhitektura za AAL .....	55
4.3.2 Projekat iKaaS (Intelligent Knowledge as a Service).....	57
4.3.3 Projekat SPHERE (Sensor Platform for Healthcare in a Residential Environment) .....	59
5 Pametne zgrade .....	62
5.1 Uvod.....	62
5.2 Razvoj pametnih zgrada.....	62
5.3 Projektovanje pametnih zgrada.....	63
5.3.1 Standardi .....	64
5.4 Pametne kancelarije .....	65
5.5 Pametna nanomreža .....	66
5.6 Perspektive daljeg razvoja .....	67
6 Javni transport.....	70
6.1 Uvod.....	70
6.2 Elementi za modelovanje saobraćaja .....	71
6.3 Modelovanje saobraćaja.....	72
6.4 Upravljanje saobraćajem.....	73
6.5 Korišćenje dronova (UAV – <i>Unmanned Aerial Vehicles</i> ).....	73
6.6 Verodostojnost podataka u ITS ( <i>Intelligent Transport Systems</i> ).....	74
6.7 Socijalne vozačke mreže (VSN – <i>Vehicular Social Networks</i> ) .....	75
7 Privatnost i sigurnost.....	77
7.1 Uvod.....	77
7.2 Neki problemi vezani za aplikacije.....	77
7.3 Problemi privatnosti.....	78
7.4 Poverljivost, integritet podataka i dostupnost.....	80
7.4.1 Mehanizmi za očuvanje privatnosti .....	81
7.5 Sigurnost u okviru IoT .....	82
7.5.1 Sigurna IoT arhitektura .....	85
7.6 Sigurnost i privatnost servisa .....	86
8 Tržni centri.....	90
8.1 Uvod.....	90
8.2 Projekat MarketNet.....	90
8.2.1 Problemi koje treba istraživati .....	91

8.3 Planiranje tržišta sa gledišta kompanije.....	92
9 WeLive projekat.....	94
9.1 Uvod.....	94
9.2 Ciljevi WeLive projekta.....	96
9.3 WeLive metodologija.....	97
9.4 Proces ko-kreacije u okviru WeLive.....	98
9.5 Razvoj ideja u okviru WeLive .....	99
9.6 WeLive okvir ( <i>Framework</i> ).....	101
9.7 Kratak opis pilot projekta.....	104
Indeks.....	107

## Spisak skraćenica

3G – *Third Generation*  
3GPP – *Third Generation Partnership Project*  
4G – *Fourth Generation*  
5G – *Fifth Generation*  
6LoWPAN – *IPv6 over Low-power Wireless Area Network*  
AAA – *Authentication, Authorisation and Accountability*  
AAL – *Ambient Assisted Living*  
AC – *Alternating Current*  
ACL – *Access Control List*  
AES – *Advanced Encryption Standard*  
AFC – *Automated Fare Collection*  
AP – *Access Point*  
API – *Application Programming Interface*  
ARM – *Architectural Reference Model*  
ATIS – *Advanced Traveler Information Systems*  
ATMS – *Advanced Traffic Management Systems*  
AVL – *Automated Vehicular Location*  
BAN – *Body Area Networks*  
BH – *BackHaul*  
BIM – *Building Information Management*  
BLE – *Bluetooth Low Energy*  
BS – *Base Station*  
BSI – *British Standards Institution*  
CAPS (*Collective Awareness Platforms for Sustainability and Social Innovation*)  
CAS – *Collective Adaptive Systems*  
CEB – *Cloud-Edge-Beneath*  
CEN – *Comité Européen de Normalisation*  
CENELEC – *Comité Européen de Normalisation Électrotechnique*  
CIA – *Confidentiality, data Integrity, Availability*  
CMS – *Content Management System*  
CoAP – *Constrained Application Protocol*  
CoT – *Cloud of Things*  
CPS – *Cyber-Physical System*  
C-RAN – *Cloud-RAN*  
CSMA-CA – *Carrier Sense Multiple Access, Collision Avoidance*  
D2D – *Device-to-Device*  
DaaS – *Data as a Service*  
DB – *(Knowledge) Database*  
DC – *Direct Current*  
DoS/DDoS – *Denial-of-Service/Distributed Denial-of-Service*  
DSL – *Dynamic Speed Limits*  
DSRC – *Dedicated Short-Range Communication*  
DSSS – *Direct Sequence Spread Spectrum*  
E2E – *End-to-End*  
EC – *European Commission*  
ECC – *Elliptic Curve Cryptography*  
ECDSA – *Elliptic Curve Digital Signature Algorithm*  
ETSI – *European Telecommunication Standards Institute*

EU – *European Union*  
EVA – *Emergency Vehicle Assistance*  
EXALTED – *Expanding LTE for Devices*  
FDMA – *Frequency Division Multiple Access*  
FFD – *Fully Functional Device*  
FIP – *Factory Instrumentation Protocol*  
FP7 – *Framework Programme 7*  
GDPR – *General Data Protection Regulation*  
GFSK – *Gaussian Frequency-Shift Keying*  
GHG – *Green House Gas*  
GMSK – *Gaussian Minimum Shift Keying*  
GPRS – *General Packet Radio Service*  
GPS – *Global Positioning System*  
GSM – *Global System for Mobile communications*  
GSMA – *The Global System for Mobile Communications Association*  
H2H – *Human-to-Human*  
H2M – *Human-to-Machine*  
HTTP – *Hypertext Transfer Protocol*  
HVAC – *Heating, Ventilation, Air Conditioning*  
IBI – *Intelligent Building Institute*  
IBM – *International Business Machines*  
ICS – *Industrial Control Systems*  
ICT – *Information and Communication Technologies*  
IDS – *Intrusion Detection System*  
IETF – *Internet Engineering Task Force*  
iKaaS – *Intelligent Knowledge as a Service*  
IoT – *Internet of Things*  
IoV – *Internet of Vehicles*  
IP – *Internet Protocol*  
ISA – *International Society of Automation*  
ISM – *Industry, Science, Medical*  
ISMS – *Information Security Management System*  
ISO – *International Standards Organization*  
ISP – *Internet Service Provider*  
IT – *Intelligent Technologies*  
ITD – *Internal Time Discrepancy*  
ITS – *Intelligent Transport Systems*  
JSON – *Java Script Object Notation*  
KaaS – *Knowledge-as-a-Service*  
LAN – *Local Area Network*  
LECIM – *Low Energy Critical Infrastructures*  
LED – *Light-Emitting Diodes*  
LLN – *Low-power and Lossy Networks*  
LoRaWAN – *Low Rate Wide Area Network*  
LPWA(N) – *Low Power Wide Area (Networks)*  
LSHDN – *Large-Scale Highly-Dense Networks*  
LTE – *Long Time Evolution*  
LTE-A – *LTE Advanced*  
LTE-U – *LTE Unlicensed*  
LTCA – *Long-Term Certificate Authority*

M2M – *Machine-to-Machine*  
MaaR – *Mobile as a Representer*  
MAC – *Media Access Control*  
MFD – *Macroscopic Fundamental Diagram*  
MITM – *Man In The Middle*  
MQTT – *Message Queuing Telemetry Transport*  
MTC – *Machine-Type Communications*  
NDN – *Named-Data-Networking*  
NFC – *Near Field Communication*  
NFV – *Network Function Virtualization*  
OBU – *Onboard Units*  
OSN – *Online Social Networks*  
P2P – *Peer-to-Peer*  
PAN - *Personal Area Network*  
PAS – *Publicly Available Specification*  
PC – *Personal Computer*  
PCA – *Pseudorandom Certificate Authority*  
PET – *Privacy-Enhancing Technologies*  
PHY – *Physical (layer)*  
PIA – *Privacy Impact Assessment*  
PIN – *Personal Identification Number*  
PIR – *Passive Infrared Sensor*  
PLC – *Power Line Communications*  
PV – *PhotoVoltaics*  
QoL – *Quality of Life*  
QoS – *Quality-of-Service*  
RAN – *Radio Access Network*  
REST – *Representation State Transfer*  
RFC – *Request For Comments*  
RFD – *Reduced Functional Device*  
RFID – *Radio Frequency Indentification*  
ROLL – *Routing over Low-Power and Lossy (networks)*  
RPMA – *Random Phase Multiple Access*  
RRM – *Radio Resource Manager*  
RSU – *Road Side Unit*  
RTIS – *Real-Time Information System*  
RWD – *Responsive Web Design*  
SaaS – *Software as a Service*  
SBI – *Smart Building Institute*  
SC – *Smart City*  
SCADA – *Supervisory Control And Data Acquisition*  
SCALE – *Security, Cognition, Agility, Lattency, Efficiency*  
SCI – *Safe Cities Index*  
SDN – *Software Defined Networking*  
SEVC – *Smart Electric Vehicle Charging*  
SIG – *Special Interst Group*  
SL – *Smart Logistics*  
SMS – *Short Message Service*  
SMT – *Smart Mass Transit*  
SPP – *Smart and Priority Parking*



SwHE – *Somewhat Homomorphic Encryption*  
TCP – *Transmission Control Protocol*  
TDD – *Time Division Duplex*  
TDMA – *Time Division Multiple Access*  
UAV – *Unmanned Aerial Vehicles*  
UE – *User Equipment*  
UI – *User Interface*  
UL – *Up Link*  
ULP – *Ultra Low Power*  
UMCC – *Urban Mobile Cloud Computing*  
UNB – *Ultra-Narrow Band*  
URI – *Unity Resource Identifier*  
USB – *Universal Serial Bus*  
UTBS – *United Technology Buildings Systems*  
V2I – *Vehicle-to-Infrastructure*  
V2V – *Vehicle-to-Vehicle*  
VPN – *Virtual Private Network*  
VSN – *Vehicular Social Networks*  
WAVE – *Wireless Access in the Vehicular Environment*  
WBAN – *Wireless Body Area Networks*  
WiFi – *Wireless Fidelity*  
WiMAX – *Worldwide interoperability for Microwave Access*  
WirelessHART – *Wireless Highway Addressable Remote Transducer*  
WLAN – *Wireless Local Area Network*  
WMAN – *Wireless Metropolitan Area Networks*  
WPAN – *Wireless Personal Area Network*  
WSN – *Wireless Sensor Networks*  
WUSB – *Wireless Universal Serial Bus*

## Predgovor

Početak sedamdesetih godina prošloga veka došlo je do prave „eksplozije“ u stvaranju modernog informatičkog društva. Danas postoji svetska digitalna mreža – Internet, gde se svi signali prenose digitalno. U početku je Internet korišćen za komunikacije sa udaljenim računarima ili za komuniciranje ljudi međusobno (*e-mail*). Pored svih ostalih primena, poslednjih petnaestak godina izuzetno se brzo proučava i razvija komuniciranje između uređaja, bez nadgledanja od strane čoveka ili uz njegovo delimično učešće. Najčešće se ono naziva M2M komuniciranje (*Machine-to-Machine communications*). Očekuje se da će već posle 2020. godine biti u svetu preko 20 milijardi ovakvih uređaja. Svi, ili skoro svi, ovi uređaji će biti povezani u veliku mrežu koje se često naziva Internet uređaja (stvari) (*Internet of Things – IoT*). Termin IoT je prvi put upotrebljen od strane MIT Auto-ID centra 1999. On se odnosi na objekte, stvari i njihove virtualne predstave u strukturi koja je slična Internetu. U poslednje vreme IoT je postao posebno popularan imajući u vidu niz interesantnih primena: inteligentna proizvodnja, transport, logistika, briga o zdravlju, telemedicina, ekologija (recimo praćenje koncentracije gasova), korišćenje prirodnih resursa, očitavanje pametnih električnih merača, pametne energetske mreže (*smart grid*), pametne kuće (*smart home*), pametni gradovi (*smart city*). Glavne komponente IoT su detekcija (oslušivanje) događaja, heterogeni pristup, obrada informacija, primena i servisi, uz sigurnost i privatnost. Uz njega, a često i češće, spominju se i termini WSN (*Wireless Sensor Network*), CPS (*Cyber-Physical System*) i M2M (*Machine-to-Machine*).

Ovaj udžbenik predstavlja komplement i logičan nastavak dva prethodna udžbenika – *Uvod u M2M (Machine-to-Machine) komunikacije* (ETF, Akademska misao, Beograd 2016) i *Uvod u IoT Internet of Things* (ETF, Akademska misao, Beograd 2017), a takođe delimično pokriva i materiju vezanu za predmet Bežične senzorske mreže (master studije). Ova oblast se veoma populzivno razvija i njom se bavi i veliki broj međunarodnih projekata (FP7, Horizon 2020), usvajaju se i novi standardi. Stoga je i realno očekivati da su neki delovi ovih knjiga samo delimično aktuelni. Nekoliko poglavlja je napisano na osnovu (glava) monografija u kojima sam i sam učestvovao kao koautor, kao i na osnovu rezultata niza projekata u kojima sam učestvovao ili učestvujem.

Treba istaći da se od pomenutih oblasti, najviše zahvaljujući izuzetnom napretku novih tehnologija, posebno razvijaju tzv. „pametni gradovi“, tj. sve one njihove službe (recimo, transport, briga o zdravlju, ekologija itd) koje građanima znatno olakšavaju život i čine ga kvalitetnijim. Deo ove problematike izložen je u prethodnim knjigama, prema tadašnjem stepenu razvoja. Taj materijal, odnosno neke fundamentalne stvari, neće ovde biti ponavljan već će, po potrebi, biti samo pomenut. Da bi se ovaj udžbenik ipak mogao relativno samostalno koristiti, neki manji delovi odgovarajućih glava biće reprodukovani sažeto.

Iz veoma opširne i složene problematike pametnih gradova, najpre su opisane odgovarajuće tehnologije i arhitekture, dok je posebno opisan i rad u oblaku. Zatim su izloženi problemi vezani za brigu o zdravlju, pametne zgrade, javni transport i tržne centre. Posebno su razmatreni izazovi vezani za privatnost i sigurnost. Na kraju, detaljno je prikazan projekat WeLive gde je upravljanje gradom povezano sa potrebama i mišljenjem građana. U ovome projektu sam i sam učestvovao.

Imajući u vidu da je niz pojmova iz ove savremene oblasti na engleskom jeziku, a da za njih ne postoji dobar adekvatan prevod, nije učinjen pokušaj da se neki od njih prevedu, već su

pisani u izvornom obliku – kurzivom. Niz naziva (Bluetooth, Ericsson itd.) nisu transkribovani na srpski. Takođe su i na većini slika zadržani natpisi na engleskom.

Uzgred, kod nas se već odomaćio pojam „pametni“ (smart) grad. Treba imati u vidu da pridev „smart“ ima veliki broj značenja (od žestok, okretan, vešt, bistar, promućuran, vispren, hitar pa do inteligentan, razuman, uman, pametan) i da možda pojam „pametan grad“ nije najsrećnije izabran. Tako, na primer, može se naći rečenica tipa „Such applications make the home a bit smarter, but they are not really intelligent“ (K. Pretz, „Building Smarter Homes“, *The Institute*, Vol. 29 (2015), No. 4 (Dec.), pp. 4-5). Međutim, pošto je ovaj pojam već ušao u široku upotrebu treba ga i dalje koristiti, imajući ipak u vidu prethodnu napomenu.

Januar 2018.

Dejan D. Drajić