

UPOTREBA OPEN-SOURCE HARDVERA I SINGLE-BOARD RAČUNARA U RAZVOJU PROTOTIP SISTEMA ZA PAMETNE GRADOVE

Dalibor Dobrilović, Borislav Odadžić, Milan Malić
Tehnički fakultet “Mihajlo Pupin” - Zrenjanin,
dalibor.dobrilovic@uns.ac.rs, borislav.odadzic@gmail.com, milanmalic@outlook.com

Sadržaj: *U skorije vreme, uporedo sa razvojem tehnologija bežičnih senzorskih mreža (WSN) i Interneta stvari (IoT), sve više se radi na razvoju sistema pametnih gradova (smart cities). Aplikacije u okviru tih sistema mogu biti raznovrsne i mogu imati veliki broj primena. Takođe, infrastruktura tih sistema i tehnologije koje ih omogućavaju, a pre svega standardi u oblasti bežičnih komunikacija kao što su ZigBee, Bluetooth Low Energy, 6LoWPAN, LoRa i dr. se veoma brzo razvijaju. S obzirom na nagli razvoj tehnologije, veoma je važno da se razvoj prototip sistema može sprovoditi brzo i na dostupnim platformama, i da se ujedno ti prototip sistemi mogu koristiti za razvoj aplikacija za pametne gradove i njihovo testiranje, ali i testiranje tehnologije i infrastrukture potrebne za te aplikacije. U radu je pored kratkog osvrtu na sisteme pametnih gradova i njihove primere, dat prikaz komunikacionih tehnologija i infrastrukture koje su potrebne za te sisteme. Kako je u današnje vreme brz i sveprisutan razvoj open-source hardvera, single-board računara i DIY (Do It Yourself) tehnologije, u nastavku, analizirana je njihova upotreba u brzom kreiranju dostupnih i efikasnih rešenja za stvaranje okruženja pametnih gradova.*

Ključne reči: *pametni gradovi, infrastruktura pametnih gradova, bežične komunikacije, open-source hardver, single-board računari*

1. Uvod

U skorije vreme, u pogledu tehnologije i njene upotrebe, evidentan je i dominantan razvoj bežičnih senzorskih mreža i Interneta stvari (IoT – Internet of Things) kao i tehnologija koje ih omogućavaju. Tehnologije koje se nalaze kao vršioци prenosa podataka u ovakvim okruženjima, bar u onom delu koji je najbliži senzorima ili delu za prikupljanje podataka, su uglavnom bežične i spadaju u takozvane WPAN (Wireless Personal Area Networks) tehnologije. U prvom redu, tu se misli na ZigBee, IEEE 802.15.4, Bluetooth Low Energy i slične tehnologije kraćeg dometa.

Kako se tehnologije bežičnih senzorskih mreža i IoT objedinjuju u okruženjima poznatim pod nazivom pametni gradovi (eng. *Smart cities*) za prenos podataka u najnižem sloju takvih okruženja, sada su potrebne bežične tehnologije većeg dometa,

pored IEEE 802.11 mreža ili WLAN mreža i 3G/4G mreža mobilne telefonije, sve su prisutnije upotrebe bežičnih Low Power Wide Area Network tehnologija (LPWAN) u koje spadaju Lora, LoraWAN, SigFox i sl. Pored ovih tehnologija ne bi trebalo zaboraviti ni ZigBee module većeg dometa (do 1.6 km), kao i module koji podržavaju vlasničke protokole.

U ovom radu dat je kratak pregled mogućih sistema za pametne gradove [1, 2], zatim kratak pregled bežičnih tehnologija koje su pomenute [3]. Kako se pojavom open-source hardvera i single-board računara, otvara veliki broj mogućnosti u kreiranju brzih prototip rešenja za pametne gradove, dat je opis i takve vrste uređaja. Na kraju dat je primer upotrebe open-source hardvera dizajniranog za proveru karakteristika bežičnih veza baziranih na ZigBee tehnologiji u gradskom okruženju. Pored opisa hardvera, opisan je i hardverski uređaj, kao i rezultati merenja.

2. Pametni gradovi i tehnologije za njihovu realizaciju

U poslednjih desetak godina, u svetu se sve više pominju tehnologije pametnih gradova (eng. *Smart Cities*). Pametni gradovi u svojoj osnovi objedinjuju upotrebu komunikacionih tehnologija u okruženjima Interneta stvari (IoT) i bežičnih senzorskih mreža (WSN) sa ciljem da se omoguće servisi za pružanje boljih uslova življenja u tim gradovima. U ovom poglavlju biće ukratko objašnjeno, kakvi sve mogu biti tipovi aplikacija, na kojim se komunikacionim tehnologijama mogu zasnivati i kako se open-source hardver i single-board računari mogu koristiti za brz razvoj prototip okruženja za pametne gradove.

Aplikacije za pametne gradove mogu biti različite. Jedna od tipova aplikacija su *Smart Parking* [4] servisi koji omogućavaju praćenje praznih parking mesta učesnicima u saobraćaju. Za učesnike u saobraćaju, mogu takođe biti zanimljivi *Traffic Congestion* i *Smart Road* sistemi, koji mogu da prate opterećenje na pojedinim raskršnicama i u pojedinim delovima grada i da u skladu sa tim predlažu alternativne rute. Za praćenje uslova življenja i parametara okoline mogu se koristiti *Air Pollution / Environmental Monitoring* sistemi [5, 6], koji mogu pratiti nivoe štetnih gasova u vazduhu, ali i nivoe UV zračenja, temperaturu, vlažnost vazduha i barometarski pritisak. Slično se mogu koristiti i sistemi za praćenje nivoa buke (*Noise Urban Maps*) i elektromagnetnog zračenja (*Electromagnetic Field Levels* i *Smartphone Detection*). Jedno od bitnih parametara gradskog okruženja je i praćenje strukturnog zdravlja (*Structural health*) ili opterećenja koje trpe konstrukcije (zgrade, mostovi i sl.) u jednom gradskom okruženju, a nastaju usled vibracija prouzrokovanih saobraćajem ili nekim drugim faktorima. Za energetske efikasnost gradova mogu poslužiti *Smart Lighting* sistemi [7, 8], koji na efikasan i ekonomičan način mogu upravljati gradskim osvetljenjem. *Waste Management* sistemi predstavljaju dodatak servisima koji se brinu o zdravoj životnoj sredini omogućujući optimizaciju rada komunalnih službi i sprečavanje preopterećenja sistema za odlaganje smeća, ali i optimizaciju ruta komunalnih službi.

Sistemi pametnih gradova u osnovi imaju sakupljanje raznih podataka pomoću senzora, njihovo slanje, skladištenje, analizu i vizuelizaciju. Takođe, ovi sistemi omogućavaju upravljanje i donošenje odluka na osnovu prikupljenih podataka i analiza koje su nad njima izvršene. Fokus u ovom radu se odnosi na prenos podataka i to na mestu koje se nalazi u blizini prikupljanja podataka, tj. kod senzora i senzorskih stanica.

Naime, pored upotrebe *Ethernet* tehnologije i mreža baziranih na TCP/IP protokolu, za prenos podataka u *Sensing Layer*-u, tj. na mestu senzorskih stanica najviše se koriste sistemi za bežični prenos, karakteristični za tehnologije bežičnih senzorskih mreža. Tako se na ovom sloju mogu koristiti tehnologije kratkog dometa kao što su Bluetooth, Bluetooth Low Energy, RFID/NFC, ZigBee, IEEE 802.15.4 i neki vlasnički protokoli na 433MHz, 868MHz i 2.4 GHz. Na srednjim rastojanjima mogu se koristiti ponovo ZigBee (kao što će biti prikazano i u ovom radu), IEEE 802.15.4, ali i IEEE 802.11 tehnologije. Na kraju, za prenos podataka na veća rastojanja nameću se 2G/3G/4G, Wimax, IEEE 802.11, ali i tehnologije koje su u današnje vreme u sve većem prodiru, a to su Low Power Wide Area Network tehnologije (LPWAN). U tu grupu tehnologija spadaju LoRa, LoRaWAN, SigFox i dr. LoRa tehnologija radi na sloju veze podataka i obično se koristi za uspostavljanje veza tipa tačka-tačka. LoRaWAN obuhvata i sloj mreže tako da može da šalje informacije i preko baznih stanica koje su povezane na Cloud platformu. LoRaWAN moduli mogu da rade na različitim frekvencijama [9].

U ovom radu će biti prikazana upotreba XBee PRO S2 komunikacionih modula koji podržavaju ZigBee [10] tehnologiju i koji za razliku od slabijih modula XBee S2 manjeg dometa, imaju domet do 1.6 km sa optičkom vidljivošću. Slabiji XBee S2 moduli imaju domet na otvorenom deklarisan do 120m sa direktnom optičkom vidljivošću. ZigBee tehnologija je zanimljiva zato što pruža pored veza tipa tačka-više-tačaka i mesh umrežavanje. Dizajnirana je da radi na 868MHz i 2.4 GHz. Opseg na 2.4 GHz koristi 16 kanala za komunikaciju širine 2 MHz. U ovom radu su dati rezultati merenja sa upotrebom ovih modula.

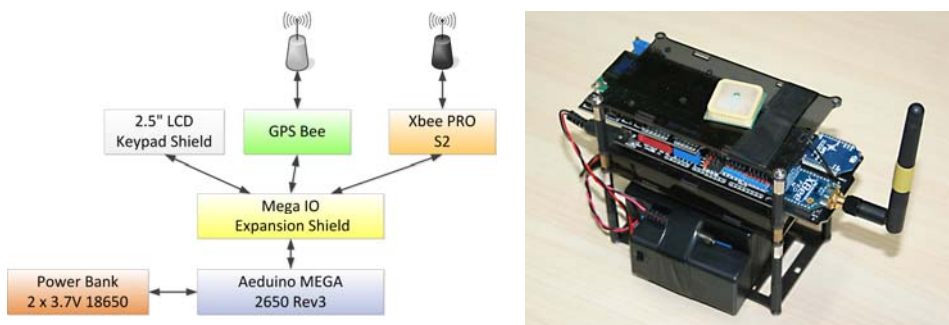
Na kraju ove sekcije biće objašnjena upotreba open-source hardvera i single-board računara u realizaciji brzih prototip okruženja koja se mogu koristiti za razvoj aplikacija za pametne gradove. Open-source hardver i single-board računari, takođe doživljavaju veliku ekspanziju poslednjih nekoliko godina. Razvoj mikroelektronike, pad cena materijala i proizvodnje kao i velika konkurencija na tržištu pogodno su uticali dostupnost ovih komponentata na tržištu.

Open-source hardver je pokret i koncept koji je počeo da se razvija marta 2010. godine. Na Opening Hardware workshop događaju i u sledećih 11 meseci definisana je verzija 1.0 dokumenta Open Source Hardware (OSHW) Statement of Principles and Definition (<http://freedomdefined.org/OSHW>), koji je objavljen februara 2011. godine [11]. Po tom dokumentu open source hardware je hardver čiji je dizajn javno dostupan tako da bilo ko može da proučava, modifikuje, distribuira, kreira i prodaje dizajn ili hardver baziran na pomenutom dizajnu. Izvor dizajna hardvera treba da bude dostupan u uobičajenim formatima koje omogućavaju njegovu modifikaciju. Pri tome treba paziti da se u procesu dizajna koriste dostupne komponente i materijali, standardni procesi, otvorena infrastruktura i open-source razvojni alati. Kao jedna od vodećih platformi na tom području je platforma Arduino/Genuino koja je dostupna u velikom broju varijanti razvojnih ploča, kao što su: UNO, DUE, 101, MEGA, Leonardo, Nano i sl. U ovom radu je razvoj prototip platforme korišćen Arduino/Genuino MEGA 2560 razvojna ploča. Arduino/Genuino Mega 2560 [12] je mikrokontrolerska ploča bazirana na ATmega2560. Ima 54 digitalna input/output pina, 16 analognih input pinova, 4 UART ili hardverska serijska porta, 16 MHz crystal oscillator, USB port za povezivanje na računar, priključak za napajanje.

Poput open-source hardvera i jeftini i minijaturni single-board računari, ubrzali su i pospešili proces kreiranja brzih i jeftinih IoT i WSN okruženja i samim tim okruženja pogodnih i za pametne gradove [13]. U takav tip hardvera spadaju: Raspberry Pi (model 1, 2 i 3), BeagleBone (Black/Green), Intel Galileo/Galileo 2, Intel Edison, Arduino Yun i sl. Detaljniji pregled tih sistema dat je u [14]. Značaj ovih sistema, kao i prethodno opisanih mikrokontrolerskih ploča, je u tome što se mogu povezati sa velikim brojem komunikacionih modula, kao što Xbee, Bluetooth Low Enregy i sl. preko ekspanzionih modula koji se za Arduino/Genuino okruženje zovu *shield*, za Raspberry Pi okruženje *hat* i za BeagleBone okruženje nazivaju *cape*. U nastavku će biti opisan jedan primer upotrebe uređaja za ispitivanje dometa bežičnih tehnologija za prenos podataka u sistemima pametnih gradova.

3. Metodologija

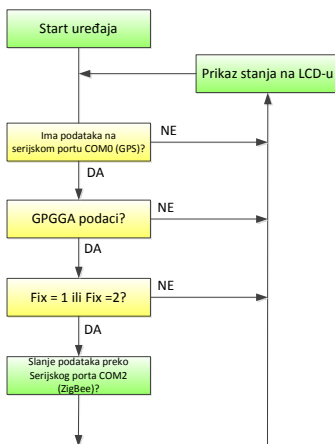
Da bi se ispitale mogućnosti upotrebe ZigBee ili neke druge bežične tehnologije u sistemima pametnih gradova, upotrebom open source hardvera kreiran je uređaj čija je blok šema prikazana na Slici 1. Uređaj je zasnovan na Arduino/Genuino MEGA 2560 Rev3, koji je bitan jer je jedan od retkih Arduino razvojnih ploča koja podržava upotrebu više od jednog hardverskog serijskog porta. Da bi uređaj mogao da obavlja funkciju, morao je da pored Arduino/Genuino MEGA razvojne ploče, sadrži i IO MEGA Expansion shield [15]. Ovaj ekspanzioni modul, je dosta zanimljiv jer omogućuje povezivanje na MEGA ploču do tri komunikaciona modula bazirana na Xbee ili Bee soketu [10], a to mogu biti moduli koji podržavaju mnogo bežičnih tehnologija uključujući i ZigBee, Bluetooth Low Energy, WiFi, RFID, GPRS ili sl. Za ovu primenu upotrebljena su dva modula: GPS Bee [16] (sa antenom dimenzija 25mm x 25mm) za određivanje geo lokacije na kojoj je mereno i ZigBee za bežični prenos podataka. Pored dva komunikaciona modula, upotrebljen je i power bank, za napajanje uređaja uz pomoć dve baterije 18650 od 3,7V (ukupno 7,4). Alternativno je upotrebljavan i power bank sa 8 AA baterija od 1,2V (ukupno 9,6V), što je u oba slučaja zadovoljavajuće jer je radni napon Arduino MEGA ploče 6V-20V (7V-12V preporučeno).



Slika 1. a) Blok šema hardvera uređaja za merenje ZigBee signala b) Uređaj

Softver koji je razvijan za uređaj izrađen je u Arduino IDE razvojnom okruženju, a njegova šema je data na Slici 2. Kao što se vidi na slici, uređaj prvo pokušava da proveri da li su primljeni podaci sa satelita preko GPS Bee modula

povezanog na COM0 port. Ako su podaci primljeni, proverava se da li je primljen odgovarajući tip GPS poruke. Ovde se radi o porukama navigacionog NMEA protokola [17, 18]. Tip poruke \$GPGGA je odabran kao najpouzdaniji za pronalaženje geo lokacije. Samo u slučaju kada je primljen \$GPGGA tip poruke, nastavlja se sa daljom obradom podataka. Nakon toga, utvrđuje se da li je dobijen signal koji daje tačnu lokaciju (fix=1 ili fix=2). Ako se i to detektuje, tek tada se podaci šalju preko COM1 tj. ZigBee modula. Pre slanja paketa, promenljiva za brojanje paketa se uvećava za jedan, a pored cele GPGGA poruke i broja paketa, šalje se i podatak o vremenu u sekundama (*millis()/1000*) koje je prošlo od startovanja uređaja.



Slika 2. Blok šema softvera uređaja za merenje ZigBee signala

Format GPGGA poruke je dat u nastavku [18], a objašnjenje njenih polja u Tabeli 1. U toku merenja slata je cela \$GPGGA poruka i tako je dobijena prosečna dužina ZigBee paketa od 118-119 bajta.

\$GPGGA,hhmmss.ss,llll.ll,a,yyyy.yy,a,x,xx,x.x,x.x,M,x.x,M,x.x,xxxx

Tabela 1. Struktura \$GPGGA podataka [18]

Naziv podatka	Primer	Opis
Sentence Identifier	\$GPGGA	Global Positioning System Fix Data
Time	170834	17:08:34
Latitude	4124.8963, N	41d 24.8963' N ili 41d 24' 54" N
Longitude	08151.6838, W	81d 51.6838' W ili 81d 51' 41" W
Fix Quality: - 0 = Invalid - 1 = GPS fix - 2 = DGPS fix	1	GPS fix podaci
Number of Satellites	05	Broj satelita koji su detektovani 5
Horizontal Dilution of Precision (HDOP)	1.5	Relativna tačnost horizontalne pozicije.
Altitude	280.2, M	280.2 metara iznad nivoa mora
Height of geoid above WGS84 ellipsoid	-34.0, M	-34.0 metara
Time since last DGPS update	Blank	Vreme od poslednjeg ažuriranja podataka
DGPS reference station id	Blank	DGPS id stanice
Checksum	*75	Koristi se za proveru grešaka u prenosu

Merenje je vršeno u toku jula 2016. god. u Zrenjaninu i obavljeno je tako, što se opisani uređaj (predajnik) nosio u ruci ili stavljao na neki čvrst oslonac koji je pronađen na terenu, obično na visini od 1,3-1,6m od tla. Takođe je pokušano da se prilikom merenja zauzme pozicija sa što je mogućom boljom vidljivošću ka predajnoj tački. Prijemna tačka je u oba slučaja bila postavljena visoko na zgradama. U prvom slučaju to je bio 8. sprat, a u drugom 9. sprat.



Slika 3. Centralna lokacija i 4 lokacije merenja u prvom slučaju



Slika 4. Centralna lokacija i 2 lokacije merenja u drugom slučaju

Na strani prijemnika koristila se štap omnidirekcionalna antena pojačanja 7dBi i dimenzija 196mm x 14 mm, a na predajnom kraju antena sa pojačanjem od 2 dBi, dimenzija 112mm x 10mm. To su ujedno, pored nepostojanja lokacija sa dovoljno dobrom optičkom vidljivošću i bez prepreka, predstavljali najveće nedostatke merenja. Merenje je vršeno u dva slučaja, a lokacije za merenje su date na Slikama 3 i 4.

Ispostavilo se prilikom merenja da iako je Zrenjanin ravničarski grad, sa relativno niskom gradnjom na većem procentu njegove površine, postoji veoma mali broj lokacija u gradu sa dobrom optičkom vidljivošću sa predajnim antenama postavljenim na visini od oko 1,5m i sa visoko postavljenim prijemnim antenama. Problem je predstavljao i relativno veliki broj stabala koja su sačinjavala dodatne prepreke na liniji optičke vidljivosti.

4. Rezultati

Za merenje podataka na prijemnoj strani korišćen je XBee PRO S2 modul, koji je preko USB explorer modula i USB kabla bio povezan na USB port računara. Za logovanje poslatih podataka koristio se softver Texas Instrument SmartRF™ Packet Sniffer u kombinaciji sa CC2541 ZigBee Sniffer modulom [19], a način merenja je detaljnije opisan u [20]. Merenje opisano u [20] izvršeno je bez većih problema, dok u ovom slučaju očitane vrednosti nivoa primljenog signala (RSSI) nisu bile validne. Razlozi dobijanja nevalidnih vrednosti mogu biti višestruke i to pitanje je u procesu analize.

I pored upotrebe antena koje su bile slabijih karakteristika (omni-direkcionane antene), i koje su postavljene obično na zaklonjenim mestima ili mestima sa puno prepreka, dobijeni su zadovoljavajući rezultati. Maksimalan domet komunikacionih ZigBee modula iznosi 1,6 km prema specifikaciji proizvođača. Rezultati dobijeni u toku merenja (Tabela 2) su bili do maksimalno 602 m. Pored broja uspešno primljenih paketa i PER (Packet Error Rate) parametra (procenat primljenih/poslatih paketa), meren je i broj dupliranih paketa prilikom slanja. Za sada ne postoji dobro objašnjenje za prisustvo velikog broja dupliciranih paketa na predajnim lokacijama koje su najbliže prijemnoj anteni na centralnoj lokaciji. Razlozi mogu biti višestruki, ali će se ta pojava više analizirati u narednom istraživanju.

Tabela 2. Rezultati merenja i podaci o lokacijama

No.	Location	Duplicates	Sent	Rcvd	Success Rate	PER	AVG Packet Length	Distance (m)
1	Parking	1201	383	383	100.00	0.00	118.92	394
2	OS 01	151	519	441	84.97	15.03	118.85	243
3	OS 03	234	509	471	92.53	7.47	119.07	27
4	DIV	0	522	503	96.36	3.64	118.82	430
5	Centar	1519	513	513	100.00	0.00	118.94	131
6	Galeb	0	549	473	86.16	13.84	118.96	602

U Tabeli 3 Navedeni su uglavnom GPS podaci o lokacijama sa kojih je vršeno merenje. Prvih pet lokacija je prikazano na slici 3. i one su vezane za merenje u prvom slučaju, a poslednje dve lokacije (slika 4.) su korišćene u drugom slučaju.

Tabela 3. GPS podaci o lokacijama

No.	Location	Distance (m)	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Sattellites
1	Parking	394	45.38382467	20.37786133	90.62	7,72
2	OS 01	243	45.38705567	20.3791085	90.28	9,24
3	OS 03	27	45.38562433	20.37913367	93.38	8,41
4	DIV	430	45.38603717	20.3736485	91.37	8,87
5	Centar	131	45.380016	20.389927	91.83	5,00
6	Galeb	602	45.3813845	20.38403917	88.59	8,50

5. Zaključak

U radu je prikazan pristup u kreiranju uređaja za merenje performansi bežičnih tehnologija za prenos podataka namenjenim za sisteme pametnih gradova. Uređaj koji je prikazan u radu baziran je na Arduino/Genuino MEGA 2560 razvojnoj ploči, u kombinaciji sa IO Mega Expansion shield-om i komunikacionim modulima koji podržavaju GPS i ZigBee tehnologiju. Za prenos podataka je korišćen modul XBee PRO S2, za logovanje rezultata na prijemnoj strani koristio se drugi XBee PRO S2 modul, koji je preko USB explorer modula i USB kabla bio povezan na USB port računara. Za logovanje poslanih podataka koristio se softver Texas Instrument SmartRF™ Packet Sniffer u kombinaciji sa CC2541 ZigBee Sniffer modulom.

Dobijeni rezultati merenja pokazali su, pre svega, da je platforma bazirana na open-source hardveru, upotrebljiva za ovakva merenja. Upotrebljivost platforme je još veća ako se uzme u obzir da bi na istoj platformi ili sa malim modifikacijama moglo da se vrši testiranje i drugih modula sa XBee soketom i podrškom za druge tehnologije kao što su WiFi, Bluetooth Low Energy, RFID, vlasnički protokoli i sl. Takođe, na ovu platformu se mogu dodati i senzori jednostavnim povezivanjem jumper žičnim provodnicima, i tako se bez lemljenja (tzv. *solderless* platforma) mogu na brz način kreirati senzorske stanice različite konfiguracije, koje se dalje mogu koristiti za eksperimentalna merenja i razvoj sistema za pametne gradove.

Dalja istraživanja će obuhvatiti nadogradnju sistema sa prenosivim antenskim stubom koji bi omogućio postavljanje predajnih senzorskih stanica na lokacije na otvorenom, bez potrebe ulaženja u zgrade i pristup visokim lokacijama. Takođe, će se u daljem radu razmatrati upotreba antena sa većim pojačanjem, tj. sektorskih i usmerenih antena. Uparedo sa navedenim vrši će se pažljiviji odabir mernih lokacija, pregledom i analizom terena, prepreka i procenom vidljivosti. Drugi pravac daljeg istraživanja bi obuhvatao upotrebu komunikacionih modula većeg dometa (prvenstveno u opsegu od 868MHz) i uređaja za preciznije merenje nivoa primljenog signala.

Literatura

- [1] M. Mazhar Rathore, Awais Ahmad, Anand Paul, Seungmin Rho, Urban planning and building smart cities based on the Internet of Things using Big Data analytics, *Computer Networks*, Vol. 101, 4 June 2016, pp 63-80, ISSN 1389-1286, <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2015.12.023>.
- [2] Rida Khatoun, Sherali Zeadally, Smart Cities: Concepts, Architectures, Research Opportunities, *Communications of the ACM*, August 2016, Vol. 59, No. 8.
- [3] Edson Avelar, Lorena Marques, Diego dos Passos, Ricardo Macedo, Kelvin Dias, Michele Nogueira, Interoperability issues on heterogeneous wireless communication for smart cities, *Computer Communications*, Vol. 58, No. 1 March 2015, pp 4-15, ISSN 0140-3664, <http://dx.doi.org/10.1016/j.comcom.2014.07.005>.
- [4] Trista Lin, Hervé Rivano, Frédéric Le Mouél, Urban Infrastructure Deployment for Wireless On-Street Parking Sensor Networks, *Procedia Engineering*, Vol. 115, 2015, pp 29-36, ISSN 1877-7058, <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.351>.

- [5] Muhammad Saqib Jamil, Muhammad Atif Jamil, Anam Mazhar, Ahsan Ikram, Abdullah Ahmed, Usman Munawar, Smart Environment Monitoring System by Employing Wireless Sensor Networks on Vehicles for Pollution Free Smart Cities, *Procedia Engineering*, Vol. 107, 2015, pp 480-484, ISSN 1877-7058, <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.106>.
- [6] Jong-Won Kwon, Yong-Man Park, Sang-Jun Koo, Hiesik Kim, Design Of Air Pollution Monitoring System Using ZigBee Networks for Ubiquitous-City, in Proceedings of the 2007 International Conference on Convergence Information Technology
- [7] Juan F. De Paz, Javier Bajo, Sara Rodríguez, Gabriel Villarrubia, Juan M. Corchado, Intelligent system for lighting control in smart cities, *Information Sciences*, Vol. 372, 1 December 2016, pp 241-255, ISSN 0020-0255, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2016.08.045>.
- [8] Sei Ping Lau, Geoff V. Merrett, Alex S. Weddell, Neil M. White, A traffic-aware street lighting scheme for Smart Cities using autonomous networked sensors, *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 45, July 2015, pp 192-207, ISSN 0045-7906, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compeleceng.2015.06.011>.
- [9] Waspote LoRa 868MHz 915MHz SX1272 Networking Guide, Document Version: v4.2-11/2015, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L, [Online], Available: http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspote_lora_868mhz_915mhz_sx1272_networking_guide.pdf [pristupljeno, oktobar 2016].
- [10] Robert Faludi, Building Wireless Sensor Networks, O'Reilly Media, Inc., USA, 2011.
- [11] A. McEwen, H. Cassimally, Designing the Internet of Things, John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, UK, 2014.
- [12] Arduino official site [Online], Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560> [pristupljeno, oktobar 2016]
- [13] C. Bell, Beginning Sensor Networks with Arduino and Raspberry Pi, Apress, USA, 2013.
- [14] Nikola Petrov, Dalibor Dobrilovic, Mila Kavalić, Sanja Stanisavljev, Examples of Raspberry Pi usage in Internet of Things, AIIT2016, Jun 3-4, Bitola, Makedonija, 2016.
- [15] DFRobot Wiki, Mega IO Expansion Shield V2.3, [Online], Available: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Mega_IO_Expansion_Shield_V2.3_\(SKU:DFR0165\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Mega_IO_Expansion_Shield_V2.3_(SKU:DFR0165)), [pristupljeno, oktobar 2016]
- [16] Seed Wiki, GPS Bee kit, [Online], Available: http://wiki.seeedstudio.com/wiki/GPS_Bee_kit, [pristupljeno, oktobar 2016]
- [17] NMEA Reference Manual, January 2005, Revision 1.3, Copyright© 1996-2005 SiRF Technology, Inc., <https://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/NMEA%20Reference%20Manual1.pdf> [pristupljeno, oktobar 2016]
- [18] GPS - NMEA sentence information, [Online], Available: <http://aprs.gids.nl/nmea/#gga>, [pristupljeno, oktobar 2016]
- [19] SmartRF™ Packet Sniffer User Manual, Texas Instruments Incorporated, 2010.
- [20] D. Dobrilovic, Z. Stojanov, V. Brtko, Z. Covic, N. Bilinac, "Software application for analyzing ZigBee network performance in university courses", Proceedings of IEEE 12th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics SISY 2014, pp.73,77, Septembar 11-13, Subotica, Serbia, 2014.

Abstract: *In recent time, together with the development of wireless sensor and Internet of Things (IoT) technologies, there is increasing development of smart cities systems. Application developed for those systems can be different and can have a lot of applications. Also, the infrastructure of those systems and enabling technologies, and above all, standards in the area of wireless communications such as: ZigBee, Bluetooth Low Energy, 6LoWPAN, LoRa etc, are developing rapidly. Considering the sudden development of technologies, it is very important to perform the development of prototype systems very fast and on available platforms, and to enable usage of those prototype systems for developing and testing applications for smart cities and for testing technologies and infrastructure for those applications. In this paper, besides the brief review on smart city systems and their applications, the communication technologies and infrastructure needed for those systems are presented. Because of the rapid development and wide presence of the open-source hardware, single-board computers and DIY (Do It Yourself) technologies, their appliance in rapid creation of available and efficient solutions for smart city environments is analyzed.*

Keywords: *smart cities, smart city infrastructure, wireless communications, open-source hardware, single-board computers*

**APPLICATION OF OPEN-SOURCE HARDWARE
AND SINGLE-BOARD COMPUTERS IN DEVELOPMENT
OF PROTOTYPE SYSTEMS FOR SMART CITIES**

Dalibor Dobrilovic, Borislav Odadzic, Milan Malic