

PRISTUP U UPOTREBI SOFTVERA ZA SIMULACIJU ZIGBEE MREŽA U NASTAVI

Dalibor Dobrilović, Borislav Odadžić, Željko Stojanov
Univerzitet u Novom sadu / Tehnički Fakultet “Mihajlo Pupin” – Zrenjanin
ddobriilo@tfzr.rs; borislav.odadzic@gmail.com; zeljko.stojanov@tfzr.rs

Sadržaj: *Ekspanzija i razvoj bežičnih senzorskih mreža (WSN) i Internet of Things (IoT) utiče na važnost implementacije ovih tehnologija u nastavi na akademskim institucijama. Tehnologije koje se koriste kao ključne za razvoj ovih okruženja su mnogobrojne: ZigBee, IEEE 802.15.4, Bluetooth Low Energy, RFID, 6loWPAN, itd. Budući da je dinamika razvoja ovih tehnologija veoma brza, pred edukatore se postavlja veoma složen zadatak u odabiru najpogodnije i najefikasnije platforme za učenje ovih tehnologija. U ovom radu će biti predstavljen pristup u upotrebi softverskog simulatora za učenje koncepta ZigBee mreža.*

Ključne reči: *ZigBee, simulacija diskretnih događaja, inženjerska edukacija, simulacija ZigBee mreža*

1. Uvod

Ekspanzija i razvoj bežičnih senzorskih mreža (WSN – Wireless Sensor Networks) i Internet of Things (IoT) utiče na važnost implementacije ovih tehnologija u nastavi na visokoškolskim ustanovama. Njihova implementacija nije moguća bez implementacije ključnih tehnologija koje omogućuju kreiranje ovakvih okruženja. Dinamika razvoja tih ključnih tehnologija je veoma velika. U poslednjih nekoliko godina pojavile su se tehnologije kao što su: IEEE 802.15.4, ZigBee, Z-Wave, Bluetooth Low Energy, RFID, 6loWPAN, WirelessHART itd. Zadatak koji se postavlja pred edukatore je da odaberu fleksibilnu i efikasnu platformu koja se može koristiti u nastavi. Ta platforma mora biti efikasna u tom smislu da omogući studentima realni uvid u tehnologiju i njene karakteristike ali i dovoljno fleksibilna da može da podrži implementaciju što šireg skupa tehnologija i njihovu primenu.

Softver OPNET IT Guru, simulator diskretnih događaja, ima dugu tradiciju u korišćenju u nastavi i za edukaciju na akademskim institucijama u oblasti telekomunikacija i računarskih mreža. Taj softver se koristi na preko 500 univerziteta širom sveta. Od 2012. godine kompanija Riverbed je preuzela kompaniju OPNET. U ovom radu je prezentovana uporeba softvera Riverbed Modeler Academic Edition 17.5 za upotrebu u nastavi na akademskim institucijama, a za savladavanje koncepta i analizu mreža baziranih na ZigBee tehnologiji. Pored upotrebe softvera za simulaciju navedene

su i osnovne karakteristike ZigBee tehnologije, kao i opis realnog scenarija ZigBee mreže za praćenje temperaturnih parametara okruženja koji je upotrebljen kao osnova za simulaciju.

2. ZigBee tehnologija

ZigBee [5,6,7] je standardni komunikacioni protokol koji je dizajniran za upotrebu u mrežama gde je potreban prenos manjih količina podataka, kao i u mrežama gde je mala potrošnja energije veoma bitna. Baš kao i kod drugih standardizovanih protokola, kao na primer kod Bluetooth-a, bilo koja dva uređaja koja podržavaju ZigBee protokol mogu međusobno komunicirati nezavisno od proizvođača. Arhitektura ZigBee protokola je zasnovana na IEEE 802.15.4 referentnom modelu i u potpunosti koristi prednosti fizičkog sloja takve bežične komunikacije. [5]

IEEE 802.15.4 standard je fokusiran na bežičnu komunikaciju kratkog dometa između dva uređaja koji rade u opsegu od 2.4 GHz uz malu potrošnju i minimalnu infrastrukturu. Ovaj standard je usvojen 2003. godine. IEEE 802.15.4 standard može biti implementiran u bilo koji embedded sistem (industrijske, automobilske, medicinske, komercijalne, vojne i druge aplikacije) u svrhu prenosa podataka. Standardom IEEE 802.15.4 predviđeno je korišćenje 16 radio kanala u nelicenciranom opsegu 2.4 GHz numerisanih od 11 do 26. Pored toga, u opsegu od 915 MHz predviđeno je korišćenje 10 kanala kao i 1 jedan kanal u opsegu od 868 MHz [7]. Brzina prenosa kod ovog standarda je do 250 kb/s i obično ima domet do 50 metara.

ZigBee standard koristi kao osnovu prva dva sloja protkolo steka definisana standardom IEEE 802.15.4 na koje se nadograđuje skup ZigBee slojeva. Taj skup ZigBee slojeva dodaje navedenom standardu tri značajne osobine [5]:

- Rutiranje – tabele rutiranja definišu kako jedan bežični uređaj prosleđuje poruku kroz seriju drugih bežičnih uređaja do svoje krajnje destinacije.
- Ad Hoc kreiranje mreže – ovo je veoma praktičan proces kreiranja cele mreže bežičnih uređaja koji je automatizovan.
- Self-healing mash – je proces koji automatski prepoznaje odsustvo jednog ili više bežičnih uređaja iz mreže i rekonfiguriše mrežu da bi se ažurirale rute.

ZigBee mreža se sastoji od 3 različita tipa uređaja. Svaka ZigBee mreža ima jedan koordinirajući uređaj – koordinator. Budući da je potreban bar još jedan uređaj da bi se sistem mogao nazivati mrežom, svaka ZigBee mreža mora da sadrži bar još jedan tip uređaja - ruter ili krajnji uređaj (eng. *End Device*). [5]

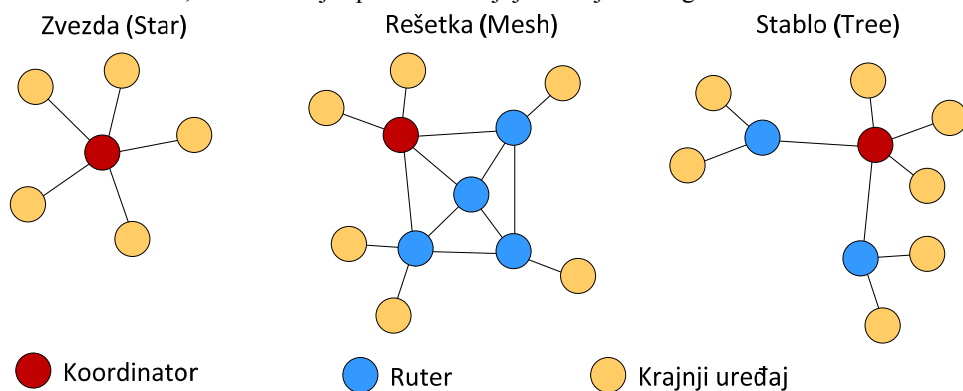
- Koordinator (eng. *Coordinator*) – ZigBee mreža može imati samo jedan uređaj koji je koordinator. Ovaj uređaj je zadužen za formiranje mreže, prosleđivanje adresa i drugih funkcionalnosti koje definišu mrežu, obezbeđuju je i održavaju.
- Ruter (eng. *Router*) – je čvor koji podržava sva svojstva ZigBee uređaja. On se može pridružiti postojećoj mreži, slati, primiti i rutirati informacije. Rutiranje je proces prosleđivanja poruka između dva uređaja između kojih se ruter nalazi. Ruteri raspolazu samostalnim izvorom napajanja, da bi se obezbedila permanentna funkcionalnost mreže. Jedna mreža može sadržati više rutera.
- Krajnji uređaj (eng. *End Device*) – U mnogim situacijama ruter koji ima neprekidno napajanje je neekonomičan za ono što određeni čvor u mreži treba da uradi. Krajnji uređaj je, u suštini, minimalizovana verzija rutera. Oni se mogu

pridružiti mreži i primati i slati informacije. Oni ne mogu da prosleđuju poruke između druga dva uređaja, tako da koriste manje zahtevan hardver i mogu se uključivati po potrebi. Kada ne postoji potreba da uređaj radi, on prelazi u neaktivni – sleep mod i tako čuva energiju. Krajnjem uređaju je potreban ruter ili koordinator kao parent uređaj, koji će omogućiti pridruživanje mreži i čuvati poruke za njega dok je on u neaktivnom modu. ZigBee mreža može sadržati veliki broj krajnjih uređaja.

2.1. Topologije mreže

ZigBee uređaji mogu se povezati na različite načine da bi se obezbedila komunikacija. Ti načini se zovu topologije i određuju logičku povezanost uređaja u mreži, dok fizička povezanost može biti drugačija. Razlikujemo tri ZigBee topologije [4]:

- Zvezda – ovaj način povezivanja uređaja je vrlo jednostavan. Koordinator se nalazi u centru, a svi krajnji uređaji su povezani direktno na njega. Svaki uređaj šalje poruku drugom uređaju tako što je prosleđuje koordinatoru, a on je dalje usmerava ka ciljnim uređajima.
- Mesh – ova topologija ima rutere povezane na koordinator. Ovi ruteri mogu prosleđivati poruke drugim ruterima, kao i krajnjim uređajima. Koordinator, koji je, zapravo, samo specijalna forma rutera, služi za organizaciju mreže, ali takođe može rutirati poruke. Različit broj krajnjih uređaja može biti povezan na rutere i koordinatora, kako bi oni prosleđivali poruke za njih [6].
- Stablo – Stablo topologija sadrži koordinatora i rutere koji sačinjavaju „kičmu“ sistema, dok su na njih povezani krajnji uređaji ili drugi ruteri.

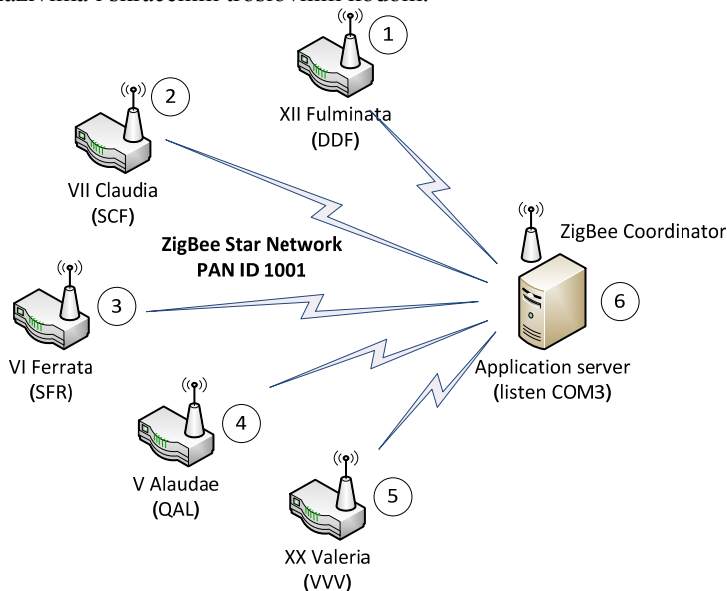


Slika 1. Topologije ZigBee mreža

3. Mrežni scenario za simulaciju

Kao platforma za razvoj simulacije u našem slučaju korišćena je bežična senzorska mreža bazirana na ZigBee tehnologiji i hardverskoj open-source platformi baziranoj na Arduino uređajima. Mreža je razvijena na Tehničkom fakultetu „Mihajlo Pupin“ kao platforma za upotrebu u nastavi iz predmeta Računarske mreže, Komunikacioni sistemi i Napredne telekomunikacije, kao i platforma koja će biti podrška za istraživanje i izradu aplikacija za bežične senzorske mreže u okviru studentskih projekata, seminarskih i master radova i za rad studentskih sekcija [2,3,4]. Stanice pomoću senzora mere temperaturu, vlažnost vazduha, vazdušni pritisak i količinu svetla u prostoriji u zavisnosti od tipa senzora koje se na njima nalaze. Svaka stanica sadrži senzore za merenje temperature i barometarskog pritiska tako da je mreža prvenstveno namenjena praćenju temperaturnih parametara okruženja.

Mreža se sastoji iz 5 različitih senzorskih stanica (Slika 2.) povezanih na centralni uređaj (ZigBee koordinator) koji je povezan sa računarnom. Ova mreža ima topologiju zvezde, gde su stanice ruteri, a centralni uređaj koordinator mreže. Sve stanice su Arduino uređaji sa XBee komunikacionim modulom Serije 2, a razlikuju se po sensorima i šildovima koji su priključeni na njih. Na slici su prikazane stanice sa njihovim nazivima i skraćenim troslovnim kodom.



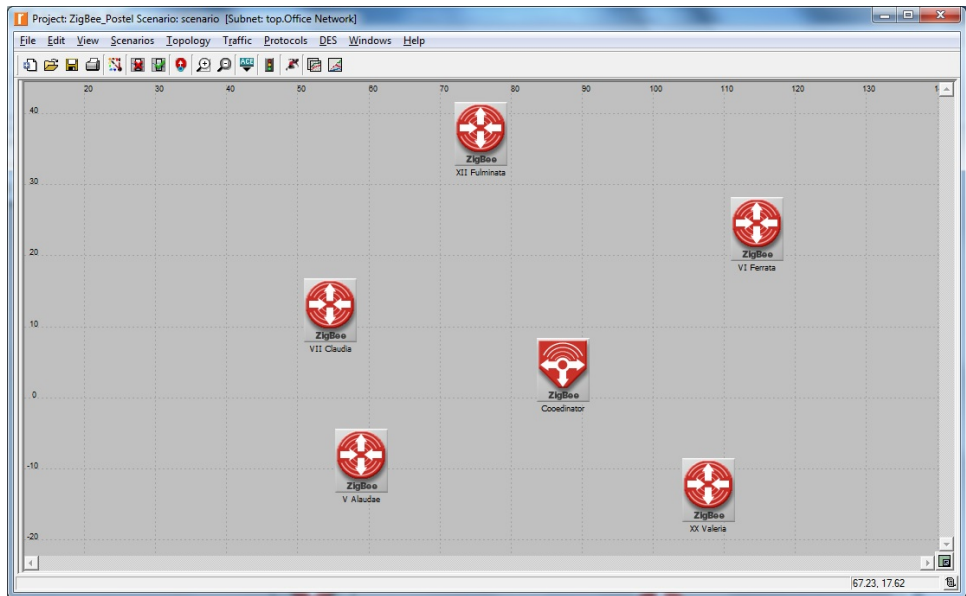
Slika 2. Topologija mreža za praćenje temperaturnih parametara okruženja

4. Simulacija ZigBee mreže

4.1. Kreiranje mreže

Za simulaciju prikazane mreže korišćen je Riverbed Modeler Academic Edition 17.5. Ovaj softver ima podršku za simulaciju ZigBee mreža i predstavlja naslednika

programa OPNET IT Guru Academic Edition [1] koji ima dugu tradiciju u korišćenju u nastavi na akademskim institucijama i za koji je kreiran veliki broj laboratorijskih vežbi i scenarija. Simulacija ZigBee mreže koja je prikazana u prethodnom poglavlju izvršena je na sledeći način. Raspored koordinatora i rutera, tj. senzorskih stanica u mreži izvršen je kao što je prikazano na slici 3. Stanice su raspoređene na području maksimalnog raspona do 100m.



Slika 3. Izgled ZigBee mreže u simulatoru

Podешavanje simulacije je izvršeno na najjednostavniji način. Desnim klikom na bilo koju stanicu dobija se meni sa opcijom *Edit Attributes*. Aktiviranje te opcije omogućava prikaz prozora u kome se mogu uneti parametri za atribut svakog čvora. Podешavanje atributa svakog čvora u ovoj mreži određuje ponašanje čvorova u toku rada mreže. Podешavanja se za potrebe ovog scenarija vrše u delu *Application Traffic*.

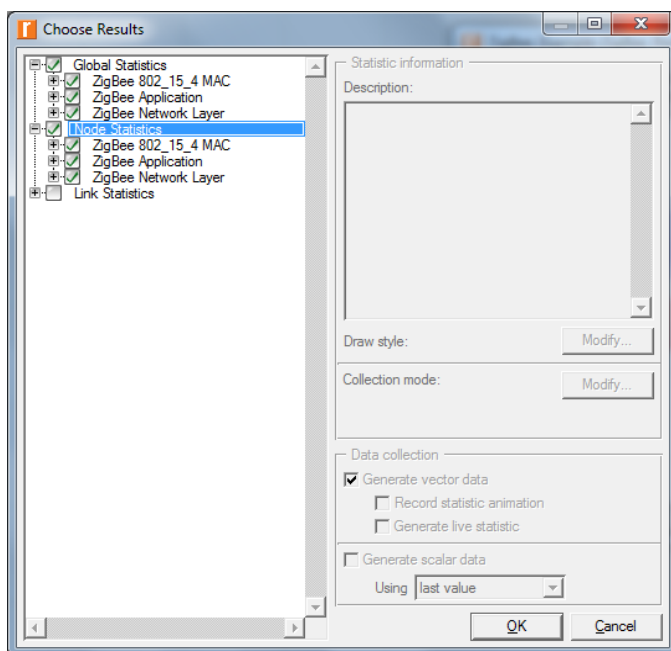
Da bi se scenario izvršio potrebno je izvršiti podешavanje odredišta paketa koji se šalju sa svakog čvora. Sve merne stanice šalju podatke koordinatoru a međusobno ne razmenjuju saobraćaj. Tako da je za svaku mernu stanicu za *Destination* podешen *Coordinator*, a za koordinator je kao *Destination* podешena vrednost *None*. Za *Packet Interval Time* podешena je vrednost *constant(600.0)* što znači da senzorske stanice šalju pakete svakih 600 sekundi, tj. svakih 10 min. Ova vrednost odgovara realnoj mreži prikazanoj u prethodnom poglavlju u kojoj se senzorski podaci očitavaju i šalju svakih 10 min. Parametar *Packet Size* definiše veličinu paketa u bitima, tako da vrednost *1024* koja je podешena znači da je za dužinu paketa uzeto 128 kB. Vreme startovanja svake stanice podешeno je da bude različito, što bi trebalo da simulira različito vreme uključivanja stanica. Vrednost odabrana za *Start Time* je *uniform(1,3600)*, što znači da se

stanice mogu startovati od 1 do 3600-te sekunde trajanja simulacije. *Stop Time* je podešen na *Infinity* što znači da će stanice slati podatke u toku trajanja čitave simulacije.

Podešavanje koordinatora se razlikuje od podešavanja radnih stanica. Prvo je za *Application Traffic – Destination* podešen parametar *No Traffic*. Zatim je za *Network Parameters* podešen *Default Star Network*. *PAN ID* je podešen na 1001, a *ACK Mechanism – Status – Enabled*. Ostala podešavanja su ostavljena sa podrazumevanim vrednostima.

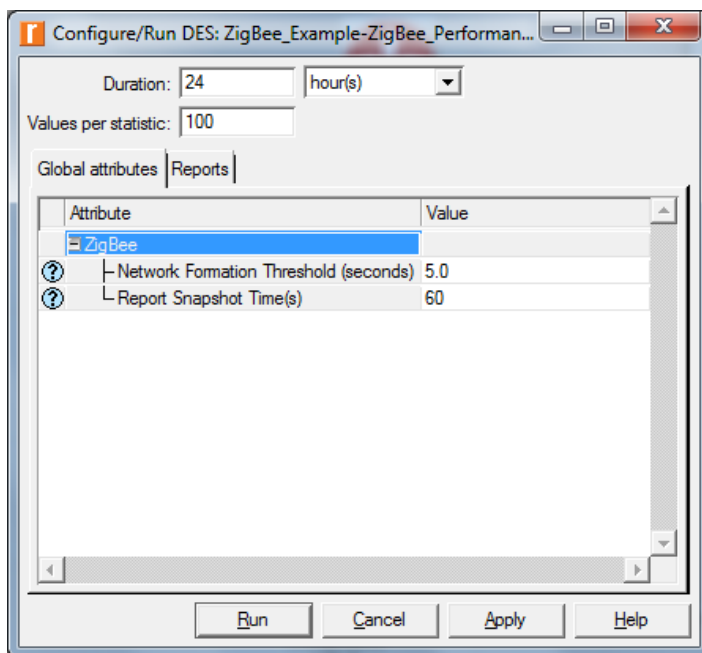
4.2. Kreiranje i startovanje simulacije

Kreiranje simulacije se vrši preko opcije menija *DES (Discrete Event Simulation)* i podopcije *Choose Individual Statistics...* Preko te opcije moguće je čekirati sve parametre koji se žele pratiti. Za potrebe ove simulacije čekirani su svi dostupni parametri (Slika 4).



Slika 4. Podešavanje parametara simulacije za praćenje

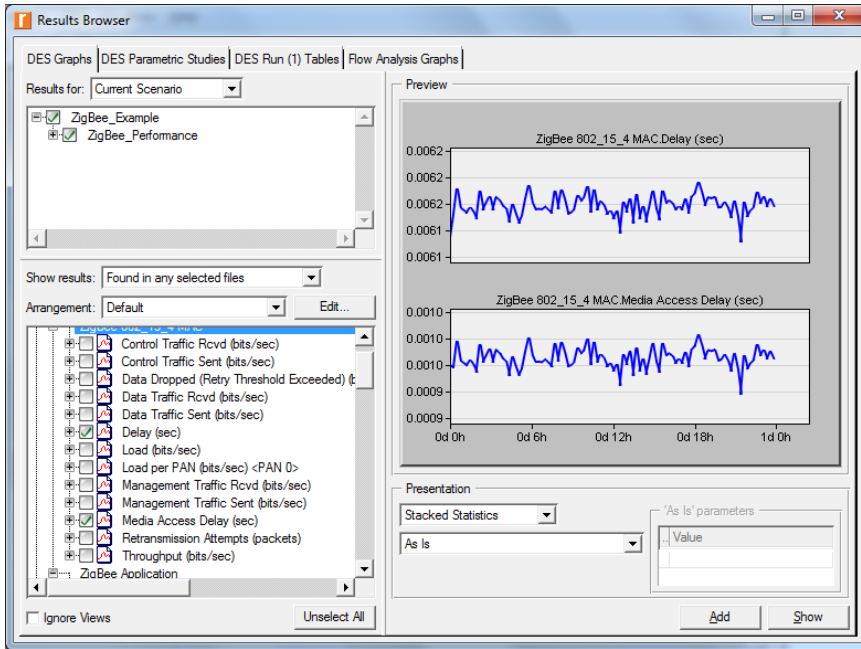
Pokretanje simulacije se vrši preko opcije menija *DES* i podopcije *Configure / Run Discrete Event simulation...* Preko te opcije vrši se podešavanje trajanja simulacije koje je podešeno na 24 sata i pokreće se sama simulacija pomoću opcije *Run* (Slika 5).



Slika 5. Podešavanje trajanja simulacije i njeno startovanje

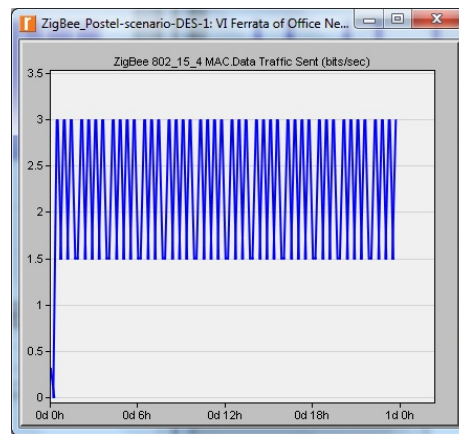
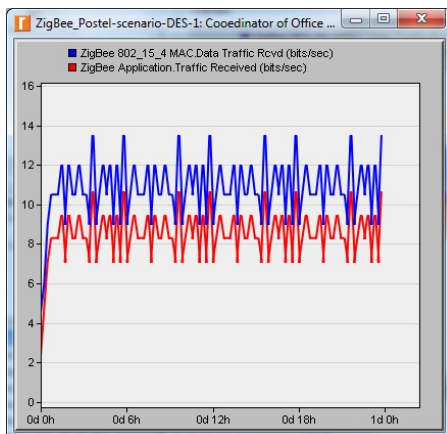
5. Rezultati simulacije

Pregled rezultata se vrši desnim klikom na radnu površinu i odabirom opcije *View Results*. Posle pokretanja te opcije u donjem levom prozoru (Slika 6.) prikazana je statistika koja se može pregledati, u desnom gornjem prozoru dat je predprikaz grafikona, a u donjem desnom prozoru je dato podešavanje prikaza. Osnovna podešavanja prikaza su pojediničan prikaz na više dijagrama (*Stacked Statistics*) ili kombinovani prikaz više vrednosti na jednom dijagramu (*Overlaid Statistics*). Takođe, moguće je definisati prikaz vrednosti na grafu, kao trenutno izmerene vrednosti (*As Is*) ili kao prosečne vrednosti u jedinici vremena (*average*).



Slika 6. Prozor za izbor prikaza grafikona

Prikaz dobijenih rezultata je dat na slici 7. Na grafikonu je prikazan primljeni saobraćaj (bit/sec) na koordinatoru. Na istom grafikonu (*Overlaid Statistic*) prikazan je *MAC Data* i *ZigBee Application* saobraćaj. Na istoj slici prikazan je odlazni saobraćaj na mernoj stanici VI Ferrata.



Slika 7. a) Prikaz primljenog MAC Data i ZigBee application saobraćaja na koordinatoru; b) Prikaz poslanog MAC Data saobraćaja na senzorskoj mernoj stanici VI Ferrata

6. Zaključak

U ovom radu prikazan je pristup u upotrebi softvera za simulaciju Riverbed Modeler Academic Edition 17.5 za simulaciju ZigBee mreža i njegovu upotrebu u nastavi. Scenario za simulaciju u ovom softveru je kreiran na osnovu realne mreže bazirane na open-source hardverskoj platformi koja je takođe kreirana da bi se koristila u okviru kurseva i nastave na akademskim institucijama. Sam način kreiranja simulacije kao i rezultati dobijeni na osnovu simulacije pokazali su da je ovaj softver upotrebljiv u nastavi i da studenti na osnovu ovog softvera mogu naučiti osnovne koncepte ZigBee mreža.

Dalji rad u ovom okviru bi se sa jedne strane mogao usmeriti na izradu složenijih scenarija koji obuhvataju složenije topologije (*Mesh*) i upotrebu krajnjih uređaja (*End Device*). Takođe bi realnije modelovanje saobraćaja u pogledu različite dužine paketa ili mreže u pogledu uključivanja mobilnosti stanica ili prepreka koje se nalaze između mernih stanica i koordinatora, moglo da doprinese povećanju upotrebljivosti ovog okruženja u nastavi.

Glavni pravac daljeg rada bi bilo kreiranje kombinovanog okruženja fizičke mreže zasnovane na open-source hardveru i ovog softvera za simulaciju, kako bi se stvorilo optimalno i efikasno okruženje za planiranje, analizu i razvoj ZigBee mreža i sličnih tehnologija.

Literatura

- [1] E. Abolela, *Network Simulation Experiments Manual*, 3ed., Elsevier Science Ltd., USA, 2003.
- [2] D. Dobrilović, Z. Čović, Ž. Stojanov, V. Brtko, *Approach In Teaching Wireless Sensor Networks and IoT Enabling Technologies In Undergraduate University Courses*, 2nd Regional Conference - Mechatronics in Practice and Education, MechEdu 2014, 5-6 December, Subotica, Serbia, 2013.
- [3] D. Dobrilović, Ž. Stojanov, V. Brtko, N. Bilinac, *Software Application for Analyzing ZigBee Network Performance in University Courses*, Proceeding of IEEE 12th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics - SISY 2014, pp 73-77, September 11–13, Subotica, Serbia, 2014.
- [4] D. Dobrilović, Ž. Stojanov, B. Odadžić, *Teaching Application Development for RFID/ZigBee Networks using Open Source Hardware*, Proceeding of IEEE 10th International Symposium on Telecommunications BIHTEL 2014, October 27-29, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 2014.
- [5] R. Faludi, *Building Wireless Sensor Networks*, O'Reilly Media, 2011.
- [6] S. Methley, *Essentials of wireless mesh networking*, Cambridge University Press, 2009.
- [7] H. Labiod, H. Afifi, C. De Santis, *Wi-Fi, Bluetooth, Zig Bee and Wimax*, Springer, 2007.

Abstract: *Expansion and development of Wireless Sensor Networks (WSN) and Internet of Things (IoT) affect the importance of implementing these technologies which enables its utilization in teaching at academic institutions. Technologies that are used as key technologies for development of these environments are numerous: ZigBee, IEEE 802.15.4, Bluetooth Low Energy, RFID, 6LoWPAN, etc. Considering that development dynamics of these technologies is very fast, educators have very complex tasks in choosing the most suitable and most efficient platform for learning these technologies. This paper presents approach in utilization of software simulator for learning concepts of ZigBee networks.*

Keywords: *ZigBee, discrete event simulation, engineering education, ZigBee network simulation*

APPROACH IN UTILIZATION OF SOFTWARE FOR ZIGBEE NETWORK SIMULATION IN TEACHING

Dalibor Dobrilović, Borislav Odadžić, Željko Stojanov