

ARHITEKTURA PROTOKOLA I TOPOLOGIJA SENZORSKIH ZIGBEE MREŽA SENSOR ZIGBEE NETWORK PROTOCOL ARCHITECTURE AND TOPOLOGY

Vanja Elčić, Nada Vasiljević, Slobomir P Univerzitet, Slobomir

Sadržaj – Arhitektura prookola definisana standardima IEEE 802.15.4¹ i ZigBee² su primjenjeni u sve rasprostranjenijim bežičnim senzorskim mrežama. Bitan aspekt korišćenju ovih mreža je interoperabilnost i koegzistencija uređaja različitih proizvođača, o čemu ZibBee grupa proivodača vodi računa kroz proces sertifikacije. Organizacija rada ZigBee mreža (vrste i međusobni odnos uređaja) topologija ima svojih specifičnosti u odnosu na druge PAN mreže. Sve veći broj uređaja zahtjeva implementaciju algoritama za rutiranje: vektora udaljenosti, izvorišnog rutiranja i rutiranja po stablu.

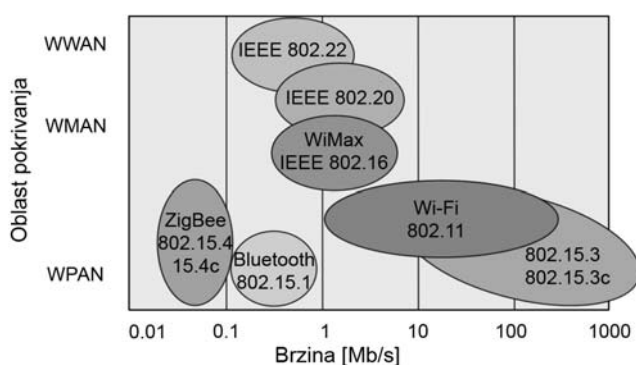
Ključne riječi: senzorske mreže, ZigBee, IEEE 802.15.4

Abstract – Protocol architecture defined by IEEE 802.15.4 and ZigBee standards are widely applied in emerging wireless sensor networks. An important aspect of using these networks is interoperability and coexistence of devices made by different manufacturers, which ZigBee Alliance takes into account through the process of certification. ZigBee topology has its specifics, compared to other PAN networks. An increasing number of devices required the implementation of algorithms for routing: distance vector route discovery, source routing and the routing tree .

Key words: sensor networks, ZigBee, IEEE 802.15.4

1. UVOD

IEEE_802.15.4 (Institute of Electrical and Electronics Engineers) i ZigBee su standardi koji obezbjeđuju mrežnu infrastrukturu za bežične senzorske mrežne aplikacije. Međusobni odnos i mjesto serije IEEE802 standarda predstavljen je na slici 1.



Slika 1: Međusobna pozicija IEEE802 standarda

Za senzorske mrežne aplikacije ključni zahtjevi u projektovanju se kreću oko ograničenog trajanja baterija, niskih cijena, malih rastojanja između uređaja i koncepta međusobno uvezanih mreža (*mesh*) i komunikaciona podrška za veliki broj međusobno povezanih uređaja u multiaplikacionom okruženju. Ovo su bile osnove za IEEE 802.15.4 i ZigBee specifikacije da obezbjede osnov za relativno jednostavnu, prilagodljivu, velikog obima

bežičnu mrežu sa više skokova (*multi-hop*) uz mogućnost da podrži veliki broj različitih aplikacija.

U ovom radu biće dat prikaz osnovnih postavki ZigBee alijanse u obezbjeđivanju međusobnog rada i koegzistencije (2. poglavlje) i ahitektura ZigBee protokola (3. poglavlje). Za funkcionisanje mreže bitna je njena organizacija što će biti analizirano u 4., 5. i 6. poglavlju rada. Problem kome se u svim umreženim sistemima danas poklanja posebna pažnja je rutiranje pa su poglavlja 7-10 posvećena analizi algoritama i protokola primjenjenih u ZigBee mrežama.

2. USLOVI ZA MEĐUSOBNI RAD I KOEGZISTENCIJU

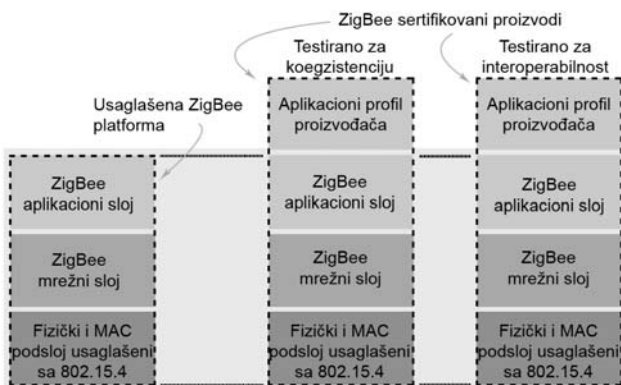
Zig Bee je alijansa od preko 285 kompanija koje rade zajedno na razvoju jeftinih, pouzdanih, sa malom potrošnjom bežičnih mreža i vrše kontrolu proizvoda nastalih na globalnom otvorenom standardu. Da bi proizvod nosio logotip ZigBee Alijanse, prvo mora uspješno da prođe ZigBee program sertifikacije.



Postoje dva programa za sertifikaciju proizvoda (slika 2). Prvi je ZigBee usaglašena platforma (ZCP - *ZigBee Compliant Platform*) i odnosi se na module, ili platforme koje su namjenjene kao gradivni blokovi za krajnji proizvod. ZigBee sertifikovani proizvodi se odnosi na krajnje proizvode koji su izgrađeni na ZigBee usaglašenoj platformi.

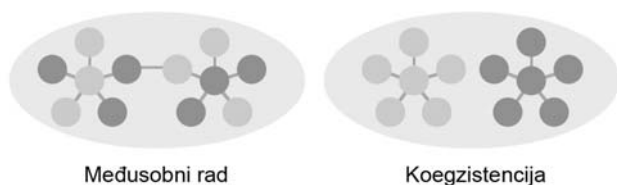
¹ <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>

² <http://www.zigbee.org/>



Slika 2 Koncept sertifikovanja ZigBee proizvoda

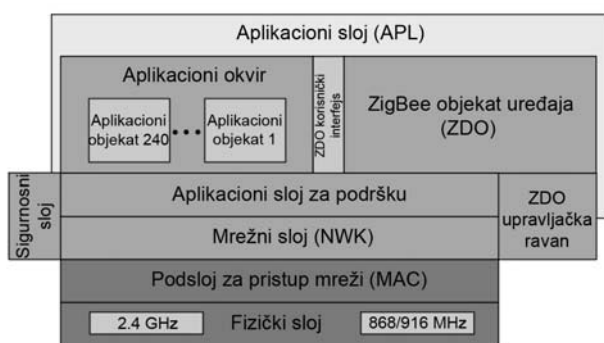
Proizvodi koji koriste javne aplikacione profile su testirani da se obezbjedi međusobni rad (*public application profiles*) interoperabilnost sa drugim ZigBee krajnjim proizvodima. Proizvodi koji koriste od strane proizvođača određene profile (*manufacturer-specific profiles*), koji će raditi kao zatvoreni sistemi (*embedded*) testirani su da se obezbjedi istovremeni rad (koegzistencija) sa drugim ZigBee sistemima.



Slika 3: Međusobni rad i koegzistencija

3. ARHITEKTURA ZIGBEE PROTOKOLA

ZigBee specifikacijom definisani su slojevi arhitektura protokola iznad fizičkog sloja i MAC (*Mediu Access Control*) podsloja.



Slika 4: ZigBee skup protokola

Svaki sloj pruža određene uslugu sloju iznad sebe. Komunikacija između slojeva se realizuje preko pristupne tačke (SAP - *Service access point*).

Aplikacioni sloj (APL) predstavlja najviši sloj ZigBee skupa protokola. Sastoji se od:

- aplikacionog okvira (*Application Framework*) čija je osnovna funkcija da obezbjedi opis kako da se napravi

profil na ZigBee steku (kako bi se osiguralo da profili mogu biti generisani na konzistentan način);

- ZigBee objekta uređaja (ZDO - *ZigBee Device Object*) koji definiše ulogu uređaja u okviru mreže, inicira i/ili odgovara na zahtjeve povezivanja ili otkrivanja rute i uspostavlja sigurne relacije između mrežnih uređaja;
- aplikacionog podsloja za podršku (APS - *Application Support Sublayer*) koji nudi sličnu podršku aplikacionim uslugama kao što to čini TCP protokol u TCP/IP mrežama. Razlika ipak postoji: ovaj podsloj ne obezbjeđuje kontrolu toka koji nudi TCP protokol;
- aplikacionog objekta (APS - *Application Support Object*) koji predstavlja softver krajnjih tačaka koje kontrolišu rad uređaja.

ZDO upravljačka ravan (*ZDO Management Plane*) omogućava komunikaciju između aplikacionog i mrežnog sloja sa ZigBee objektom uređaja (ZDO).

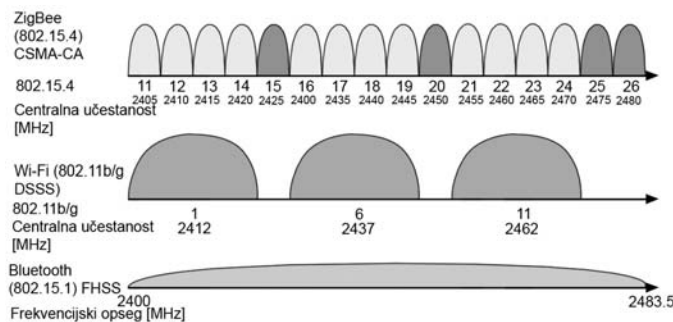
Sigurnosni sloj (*SSP Security Service Provider*) obezbjeđuje sigurnosne mehanizme za slojeve koji koriste šifrovanje (mrežni i aplikacioni).

Mrežni sloj vodi računa o mrežnim adresama i rutiranjem. Zadaci ovog sloja su i pokretanje mrežnog koordinатора, pridruživanje mrežnih adresa, dodavanje i uklanjanje mrežnih uređaja, otkrivanje rute, prosljeđivanje rutirajućih poruka i primjena sigurnosnih mjera.

IEEE802.15.4 MAC podsloj odgovoran je za pružanje pouzdane komunikacije između uređaja i njegovog neposrednog susjeda, implementacijom CSMA/CA (*Carrier sense multiple access with collision avoidance*) protokola. MAC podsloj je takođe odgovoran za sastavljanje i dekomponovanje ramova podataka.

IEEE802.15.4 fizički sloj obezbjeđuje interfejs za pristup fizičkom prenosnom medijumu.

Fizički sloj se sastoji od dva sloja koja rade u dva odvojena frekventna opsega. Niža učestanost fizičkog sloja pokriva dva opsega: 868MHz (Evropa) i 915MHz (SAD i Australija). Više opseg učestanosti (2.4GHz) koristi se u gotovo cijelom svijetu. Radio frekvencijski spektar i dostupni kanali za ZigBee (802.15.4) i Wi-Fi (802.11b/g) se preklapaju. Izborom kanala mogu se izbjeći smetnje. Biraju se kanali koji koriste slobodni prostor između dva susjedna 802.11 kanala plus 25 i 26 kanali.

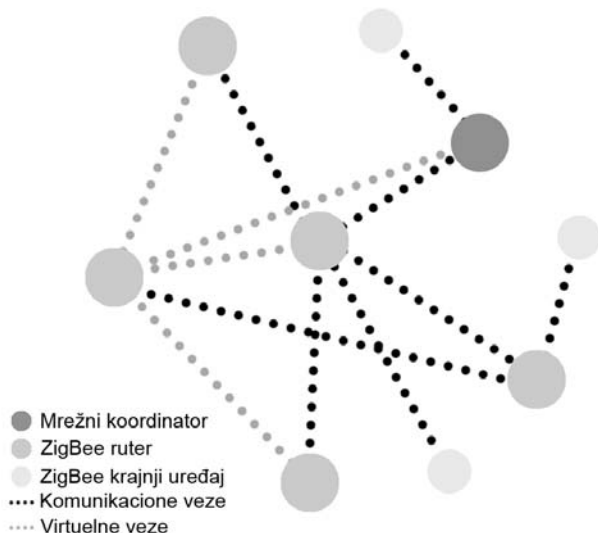


Slika 5: Frekvencijski spektar i kanali: ZigBee, WiFi i Bluetooth

Kanali 1, 6 i 11 obično se koriste kod WiFi mreža u SAD-u. Druge zemlje preporučuju druge kanale. U ovom slučaju za IEEE802.15.4. najbolje je koristiti kanale koji se najmanje preklapaju sa navedenim. Sa slike 5 vidi se da su to kanali 15, 20, 25 i 26. Koriste se sljedeće modulacije: DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*), QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) i ASK (*Amplitude Shift Keying*).

4. VRSTE ZIGBEE UREĐAJA

U ZigBee mreži definisana su tri vrste uređaja: koordinator, ruter i krajnji uređaj.



Slika 6: Vrste ZigBee uređaja i vrste njihovih međusobnih veza

Koordinator je uređaj koji pokreće i kontroliše mrežu. Koordinator skladišti informacije o mreži, koje omogućuju da djeluje kao centar od povjerenja (*Trust Center*) i kao skladište za sigurnosne ključeve.

Ruteri proširuju oblast pokrivanja mreže, omogućuju dinamičke rute oko prepreka, kao i rezervne rute u slučaju zagušenja mreže ili otkaza uređaja. Oni se mogu povezati sa koordinatorom i drugim ruterima, kao i obezbijediti podršku uređajima za koje su zaduženi.

Krajnji uređaji mogu da prenose ili primaju poruke, ali ne mogu da obavljaju funkcije rutiranja. Oni moraju biti povezani na koordinator ili ruter, a ne mogu pružiti podršku djetetu uređaju.

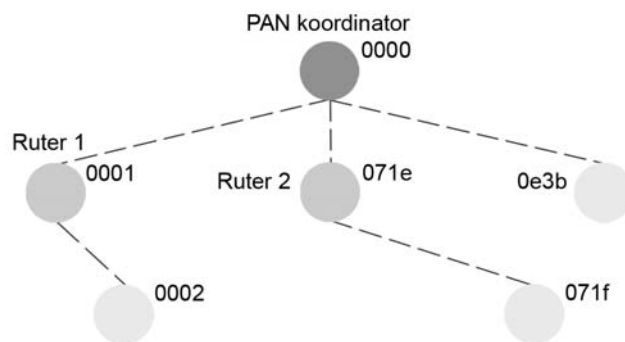
5. TOPOLOGIJA MREŽE

Uređaj koji je sposoban da bude koordinator pronalazi slobodan kanal skeniranjem, a onda postavlja sebe na funkciju koordinatora. U ZigBee mreži, on se označava kao PAN (*Personal Area Network*) koordinator. Uređaj koji želi da se priključi mreži će prvo poslati zahtjev uređajima koji mu mogu obezbijediti pristup mreži. Na početku, samo će PAN koordinator dati odgovor. Osim PAN koordinatora, uređaj koji može dozvoliti drugim uređajima da se priključe na ZigBee mrežu je ZigBee ruter. Nakon primljenog zahtjeva utvrđuje se da li uređaj može pristupiti mreži. Kod 802.15.4, ovaj proces se

označava kao udruživanje (*association*). Ključni faktor u donošenju odluka je kapacitet rutera i njegova mogućnost da prihvati dodatne uređaje kao svoje potomke (*child*).

Koja je prednost IEEE802.15.4 mreža u odnosu na ostale bežične tehnologije npr. IEEE802.11 (Wi-Fi)? Prednost je u boljoj pristupnoj hijerarhiji. Na primjer, uređaj koji se priključuje koordinatoru i sam može biti ruter i taj uređaj može dopustiti ostalim uređajima da se priključe. Kao rezultat postiže se pristup u više nivoa.

Kao primjer data je mreža prikazana na slici 7. U ovom slučaju su na PAN koordinator (koji uvijek ima mrežnu adresu 0000) povezana tri uređaja. Dva uređaja (sa mrežnim adresama "0001" i "071e"), imaju ulogu rutera za koje su povezani krajnji uređaji.



Slika 7: Primer ZigBee mreže: koordinator, 2 rutera i 3 krajnje stanice

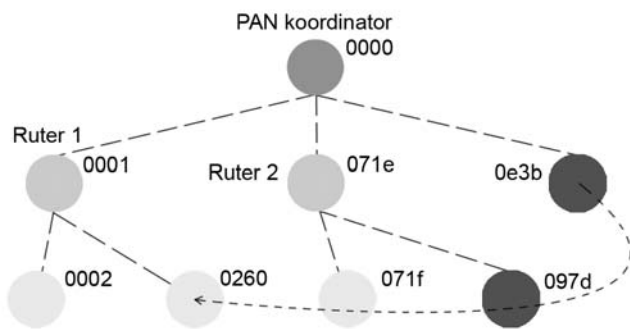
6. MESH TOPOLOGIJA

Mesh umrežavanje je tip umrežavanja u kome svaki čvor u mreži može da deluje kao nezavisni ruter, bez obzira da li je povezan na drugu mrežu ili ne. Mesh mreža se sastoji od jednog koordinatora, većeg broja rutera i krajnjih uređaja. Mesh topologija podržava komunikaciju kroz više skokova (*Multi-hop*), gdje se podaci šalju kroz skokove od uređaj do uređaja koristeći najpouzdaniji i najjeftiniji link sve dok ne dođu do odredišta. Multi-hop karakteristika omogućuje tolerantnost na greške, gdje ako jedan uređaj prestane sa radom mogu se prosljediti podaci nekom drugom rutom, tj. drugim nizom skokova. Prednosti ovakve topologije su da je veoma pouzdana i robusna, lako proširiva, a tamo gdje je signal slab problem se rješava dodavanjem novih rutera.

7. DINAMIČNOST MREŽE

Kada se uređaji priključe ili napuste mrežu dolazi do promjena strukture mreže Slika 8 prikazuje primjer prekombinovanja mreže. U ovom primjeru uređaj sa adresom "0e3b" pridružuje se mreži kao "097d" a nakon toga kao "0260". Ovaj uređaj se pridružuje novom "roditelju", koji formira adresu iz opsega koji je njemu dostupan.

Kada se kombinuje velika mreža uređaja, sa dinamičkim promjenama, povezivanjem, rekombinovanjem i odjavljivanjem sa mreže, nadzor uređaja i topologija mreže može postati veoma veliki izazov.

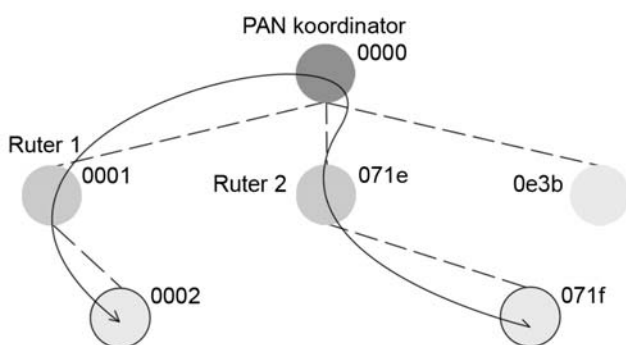


Slika 8: Ponovno udruživanje (reassociations) dovodi do promena u topologiji mreže

8. RUTIRANJE PO STABLU

Radi kontrole priključivanja mreži i dodjele adresa, u mreži je takođe aktivan usmjerivački algoritam nazvan rutiranje po stablu (*tree routing*). Adresni algoritam obezbjeđuje opseg adresa koji omogućava bilo kom uređaju da brzo odredi bilo koju mrežnu adresu bilo kog potomka tog uređaja (takođe i njegovih potomaka), ili u mrežnom stablu. Kao rezultat, svaki uređaj može napraviti jednostavnu usmjerivačku odluku baziranu na prosljeđivanju paketa gore ili dole kroz mrežno stablo.

Pogledajmo primjer na slici 9: u ovom slučaju paket se generiše u uređaju "071f" i namijenjen je za "0002". Pomoću tri usmjeravanja, ovaj paket je dostavljen od "071f" do njegovog roditelja "071e" a zatim do njegovog roditelja "0000", do koordinatora a zatim dole kroz drvo preko "0001", i konačno stiže do "0002". Najveća prednost kod rutiranja po stablu je njegova jednostavnost i ograničeno korišćenje resursa. Pomoću jednostavnog algoritma koji otkriva da li je adresa potomak ili roditelj ili se nalazi bilo gdje na stablu, svaki ruter može donijeti usmjerivačku odluku jednostavno pomoću adrese željenog odredišta paketa. U ovom slučaju ruter jednostavno prosljeđuje paket do nekog od svojih potomaka ili "roditelja". Rezultat je da nije potrebna velika količina memorije za skladištenje informacija o usmjerivanju. Dakle, veoma jeftini uređaji mogu biti razvijeni i bez mogućnosti usmjerivanja ali i dalje mogu učestvovati u bilo kojoj ZigBee mreži.



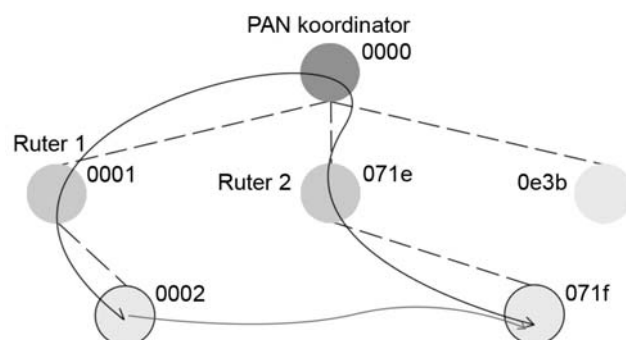
Slika 9: Rutiranje po stablu

9. PRETRAŽIVANJE VEZA

Iako je usmjeravanje u vidu stabla jednostavno i koristi veoma malo resursa ono može biti prilično neefikasno.

Zavisno od toga kako se mreža formira, dva uređaja na malo udaljenosti mogu se priključiti na mrežu u veoma udaljenim granama te mreže. To rezultira time da ramovi koji se razmjenjuju između njih prolaze preko mnogih rutera i grana, a postoji mogućnost jednostavne veze (skoka) između ta dva uređaja direktno.

Slika prikazuje sva tri usmjeravanja i usmjerivački algoritam korišćen u ZigBee. U osnovi je korišćeno usmjeravanje po stablu i paket se šalje od uređaja "0002" do uređaja "071f" a prosljeđivan je dole i gore kroz stablo (kroz "0001", "0000" i "071e"). Kasnije se počelo sa otkrivanjem putanje (*Route Discovery*). Uređaj "071f" bio je u mogućnosti da odgovori na zahtjevnu poruku poslatu od strane uređaja "0002" i direktna veza je uspostavljena.



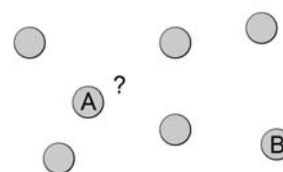
Slika 10: Rutiranje

U nastojanju da se obezbijedi što efikasnija razmjena otkrivanje putanje obezbjeđuje veliku proširivost. Kada neki uređaj prestane sa radom ili trenutno ne može da prosljedi paket, svi njegovi potomci na stablu će biti izolovani od ostatka stabla ako se koriste samo usmjerivači preko stabla. Na primjer, ako uređaj "0001" prestane sa radom uređaj "0002" neće biti u mogućnosti da komunicira sa ostatkom mreže.

Međutim, sa pretraživanjem veza, direktna veza može biti uspostavljena od "0002" do "071f" (ili bilo gdje na drvetu). Pretraživanje veza omogućava svim uređajima u mreži da komuniciraju sa svim ostalim preko njihovih rutera koji su podešeni dinamički. Dakle, kako pretraživanje veza radi? Za otkrivanje rute koristi se AODV (*Ad hoc On Demand Distance Vector*). Ovaj algoritam razvijen je u IETF (*Internet Engineering Task Force*) kao eksperimentalni dokument RFC3561 a zatim je adaptiran za korišćenje u ZigBee mrežama.

10. PROCES RUTIRANJA

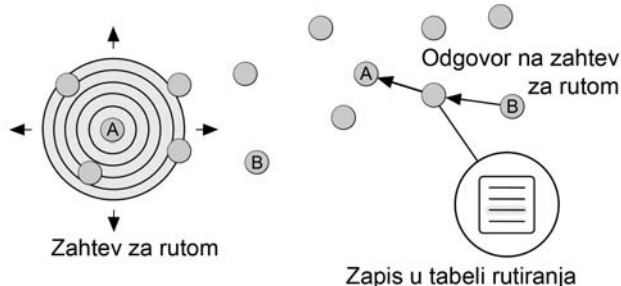
U ZigBee mrežama obično se koristi algoritam rutiranja zasnovan na vektoru udaljenosti (slika 11).



Slika 11: Početak procesa rutiranja

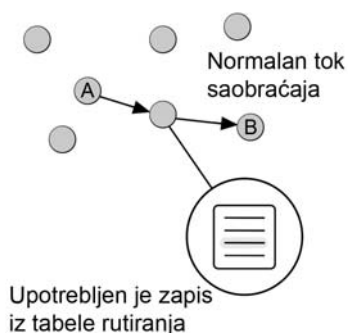
Svaki ruter koji učestvuje u prosljeđivanju rama podataka od izvorišta do odredišta unosi po zapis u tabelu za rutiranje za tu rutu. Ovaj zapis kao minimum ima logičku udaljenost do odredišta i adresu sljedećeg rutera ka odredištu (slika 12).

Kada se započne proces otkrivanja rute originalni uređaj šalje poruku upućenu svima (*broadcast*) a odredište vraća poruke kao odgovor na zahtjev za rutu (slika 12).



Slika 12: Upućivanje poruke svima; formiranje zapisa u tabeli rutiranja na osnovu dobijenog odgovora

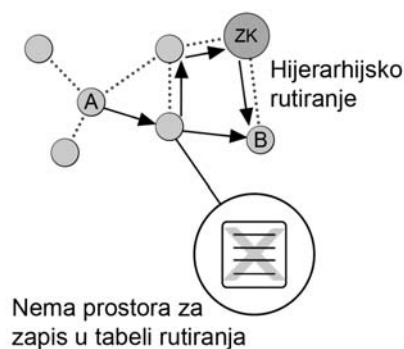
Jednom kada se upišu zapisi u tabele rutiranja ruta se može koristiti prema potrebi.



Slika 13: Upotreba zapisa iz tabele rutiranja

U slučaju kada uređaji nemaju dovoljno RAM memorije da bi čuvali rutirajuće tabele, koristi stablo rutiranja, gdje se vrši rutiranje po hijerarhiji (slika 14).

U mnogim bežičnim mrežnim aplikacijama, postoji poseban uređaj koji se obično naziva agregator i ka njemu drugi uređaju na regularnoj osnovi šalju povremeno podatke. Da ne bi svaki uređaj morao ponaosob da otkriva odredište ZigBeePRO (ZigBee specifikacija iz 2007. god.) omogućuje da na osnovu jednog zahtjeva koji agregator uputi svima svi ruteri u mreži upišu njegovu adresu kao adresu odredišta u svoje tabele rutiranja.



Slika 13: Hijerarhijsko rutiranje

Problem može nastati kada agregator treba u velikoj mreži da adresira sve uređaje posebno. Ako ima malo susjeda, njihove rutirajuće tabele biće preopterećene sa rutama do svih drugih uređaja. ZigBee PRO predlaže izvorišno rutiranje kao rješenje za ovaj problem. Kod ovakvog rutiranja izvorište (u ovom slučaju agregator) stavlja informacije o rutiranju direktno u ram koji se prenosi tako da se one ne moraju čuvati u ruterima duž putanje.

10. ZAKLJUČAK

Bežične senzorske mreže danas predstavljaju značajan segment PAN tržišta, a među njima posebno se izdvaja ZigBee tehnologija. Velika pažnja posvećuje se standardizaciji i usaglašavanju sa postojećim standardima. Sa druge strana potreba da se obuhvati što veći dio tržišta navela je proizvođače da međusobno sarađuju u implementaciji postojećih standarda. Tako je Zigbee nastavio dobru praksu organizacije proizvođača WiFi, WiMax i Bluetooth.

11. LITERATURA

- [1.] J. Kurose, K. Ross, *Computer Networking: A Top-Down Approach*, Perarson Education, Inc, Upper Saddlr River, NJ, 2008.
- [2.] V. Vasiljević, *Računarske mreže*, VIŠER, Beograd, 2008.
- [3.] <http://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
- [4.] <http://www.daintree.net>
- [5.] <http://www.ZigBee.org>
- [6.] <http://www.ieee802.org/15>