

JEDNA REALIZACIJA BEŽIČNE MREŽE ZA UPRAVLJAČKO NADZORNE SISTEME

Milun Jevtić, *Elektronski fakultet u Nišu*, milun.jevtic@elfak.ni.ac.rs

Bojan Jovanović, *Elektronski fakultet u Nišu*, bojan@elfak.ni.ac.rs

Dragiša Milovanović, *Elektronski fakultet u Nišu*, gilem@elfak.ni.ac.rs

Sadržaj – U radu su najpre razmatrane mogućnosti bežičnog umrežavanja senzora i uređaja u upravljačko nadzornim sistemima prvenstveno primenljivim u sistemima robota, mada se mogu primeniti i u industrijskim sistemima, “pametnim” kućama itd. Razvijen je protokol komuniciranja sa definisanim vremenskim ograničenjima. Realizovana personalna bežična mreža (WPAN – Wireless Personal Area Network), bazirana je na RFM12 Transceiver modulu. Osnovne osobine ovog modula kao i struktura i način funkcionisanja realizovane bežične mreže u jednom upravljačko nadzornom sistemu prikazani su u ovom radu.

1. UVOD

Razvoj informacionih tehnologija daje sve kompleksnije i obimnije elektronske sisteme u kojima problem komunikacija postaje dominantan. Različiti načini umrežavanja senzora, aktuatora, elektronskih uređaja i sistema sa svojim svojstvima u mnogome utiču na performanse sistema. Zato se tehnikama prenosa podataka koji su danas u digitalnom obliku, i mrežnim protokolima posvećuje posebna pažnja [1]. Razvoj tehnologija koje su omogućile da se efikasno obrađuju elektronski signali frekvencija reda GHz-a, učinio je posebno interesantnim i realizaciju komunikacionih kanala visoke propusne moći. Uz to zahtevi da se komunikaciona mreža lako i brzo izgrađuje i rekonfiguriše, posebno interesantnim čini korišćenje bežičnih komunikacionih puteva. Oni nalaze sve širu primenu i u realizaciji najrazličitijih elektronskih mreža.

U realizaciji upravljačko nadzornih sistema različitih procesa i mehanotehničkih sistema, koji su po pravilu distribuirani sa više hijerarhijskih nivoa, cilj je realizovati što je moguće efikasniju i fleksibilniju elektronsku mrežu sa što nižim finansijskim ulaganjima. Tako se danas u oblasti bežičnih personalnih mreža (WPANs) izdvaja po svojoj jednostavnosti i ceni ZigBee standard. U cilju realizacije jedne bežične mreže za realizaciju upravljačko nadzornog sistema robota najpre je u ovom radu razmatran ZigBee standard [2]. Sama realizacija jedne bežične mreže za pomenutu namenu, ograničena raspoloživom opremom za razvoj i testiranje, bazirana je na RFM12 Transceiver modulu sa nosećom frekvencijom ispod jednog GHz.

Dogradnja komunikacionog protokola za bežičnu mrežu upravljačko nadzornog sistema robota razmatrana je u cilju povećanja pouzdanog i uvek predvidivog ponašanja sistema i u cilju uštede energije – smanjenja potrošnje celog sistema.

2. ZigBee STANDARD

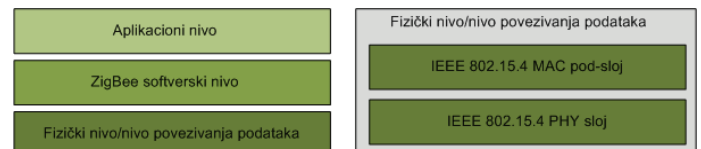
ZigBee standard za bežične radio mreže razvijen je od strane ZigBee Alliance (udruženje internacionalnih kompanija) sa ciljem da zadovolji sledeće zahteve:

- Niska cena;
- Veoma niska potrošnja;
- Funkcionisanje na slobodnim (nelicenciranim) radio opsezima;
- Jeftina i laka instalacija;
- Fleksibilna i proširiva mreža;
- Ugrađeni algoritmi za uspostavljanje mreže i rutiranje poruka u mreži.

ZigBee mreže pogodne su za primenu u sistemima koji imaju sledeće osobine:

- Mala brzina prenosa podataka (ispod 250kbps);
- Čvorovi u mreži su u *idle* stanju (niti primaju niti šalju podatke) u dugom vremenskom periodu;
- Potreba da se mreža modifikuje (da se dodaju ili izbace neki čvorovi) dok je u funkciji;
- Čvorovi u mreži kod kojih je nezgodno koristiti kablove za umrežavanje.

Zbog prethodno navedenog ZigBee bežične personalne mreže našle su svoju primenu u komercijalnim zgradama i kućnoj automatici, obezbeđivanju objekata, zdravstvenoj zaštiti, automobilske industriji, poljoprivredi i td.



Slika 1. Osnovna softverska ZigBee arhitektura

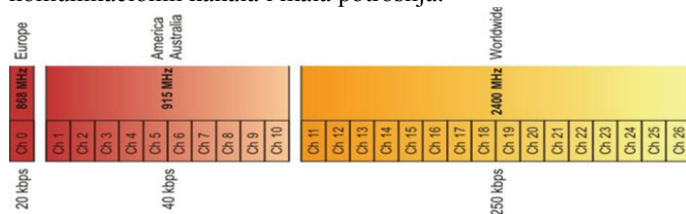
Osnovna softverska ZigBee arhitektura prikazana je na sl.1. ZigBee softverski nivo obezbeđuje visoku funkcionalnost, strukturu i bezbednost mreže (enkripcija i autentifikacija podataka). Ispod ovog nivoa je fizički nivo koji je odgovoran za operacije adresiranja i slanja/prijema poruka. Najviši nivo je nivo aplikacije i nalazi se iznad ZigBee softverskog nivoa. Fizički nivo sastoji se iz dva IEEE 802.15.4 sloja:

- MAC (Media Access Control) pod-sloja i
- PHY (Physical) sloja

MAC pod-sloj odgovoran je za adresiranje poruka – za poruke koje se šalju ovaj sloj određuje destinaciju primaoca, dok za poruke koje se primaju određuje adresu pošiljaoca. PHY sloj bavi se interfejsom prema fizičkom prenosnom medijumu. Ovaj sloj vrši razmenu bitova podataka sa ovim medijumom kao i sa MAC pod-slojem.

ZigBee mreže komuniciraju na nelicenciranim frekventnim opsezima. Centralne frekvencije ovih opsega su **868, 915 i 2400 MHz**. Svaki opseg podeljen je na određeni broj komunikacionih kanala (sl. 2) a brzina prenosa podataka je 20, 40 i 250 kbps (sa porastom centralne frekvencije raste i brzina prenosa podataka). Iako frekventni opsezi na 868 i 915 MHz

imaju određene prednosti u pogledu manjeg broja korisnika, manje interferencije, apsorpcije i refleksije radiosignala, u svetu je najprihvaćeniji frekventni opseg od 2400 MHz. Prednosti ovog opsega su najveća brzina prenosa podataka, najveći broj komunikacionih kanala i mala potrošnja.



Slika 2. ZigBee RF komunikacioni opsezi.

Maksimalno rastojanje na kome dva čvora u mrežu uspešno mogu da komuniciraju zavisi od okruženja. Na otvorenom prostoru ovo rastojanje je najveće. U zatvorenom prostoru, usled apsorpcije, refleksije i difrakcije radiotalasa ovo rastojanje se smanjuje. Maksimalni domet komunikacije zavisi i od snage radiotalasa. Radiotalasi snage 0 dBm (standardni čvorovi) na otvorenom prostoru imaju domet od preko 200 metara a u zatvorenom do 30m. Kod modula veće snage (15 dBm) ova rastojanja su i do 5 puta veća.

ZigBee mreže mogu biti organizovane u tri različite topologije: **Star**, **Tree** i **Mesh**. Osnovna karakteristika Star topologije je da ima jedan centralni čvor koji je povezan sa svim čvorovima u mreži. Sve poruke u mreži prolaze kroz centralni čvor. Tree (stablo) topologija ima jedan čvor na vrhu (koren) na koji su, po principu grananja, povezani ostali čvorovi. Poruka unutar ove mreže putuje uz stablo i niz stablo. Mesh topologija je nalik Tree topologiji kod koje su neke grane-čvorovi međusobno povezani.

Svaki čvor ZigBee mreže ima jedinstvenu identifikaciju koja se ostvaruje pomoću dve adrese:

- IEEE adrese
- Mrežne adrese

IEEE adresa je **64-bitna** adresa koju, od strane IEEE organizacije, dobija svaka komponenta koja se može priključiti na mrežu. Jedinствена je za svaku komponentu a takođe se označava i kao **MAC adresa**. Mrežna adresa je **16-bitna** adresa koja se pridružuje svakom čvoru u mreži (lokalna adresa – dve komponente u različitim mrežama mogu imati istu mrežnu adresu). Svaki put kada se mreža proširi novim čvorom zadatak rutera ili koordinatora je da ovom novom čvoru pridruži mrežnu adresu.

ZigBee mreže imaju različite mehanizme pouzdanosti i sigurnosti koji imaju za cilj da obezbede pouzdan rad mreže:

Selekcija kanala: Nakon instaliranja ZigBee mreže za komunikaciju se bira onaj kanal koji je najmanje opterećen.

Osluški vanje pre slanja: Da bi se izbegli konflikti prilikom slanja poruka (različite poruke se prenose preko istog kanala u isto vreme), pre no što otpočne sa slanjem poruke, čvor osluškuj e kanal. Tek pošto se uveri da se kanalom ne prenosi nikakva poruka, čvor otpočinje slanje poruke. U suprotnom, čvor čeka neko vreme i ponovo vrši osluškivanje kanala.

Kodiranje podataka: Obavlja se sa ciljem da se poveća verovatnoća da poruka bude prenet a do odgovarajućeg čvora, čak i u slučaju konflikta prilikom prenosa.

Potvrđivanje (acknowledgement): Kad prijemni čvor primi poruku on predajnom čvoru šalje potvrdu da je poruka primljena. Ako predajni čvor ne primi poruku potvrde u određenom vremenskom intervalu, vrši ponovno slanje originalne poruke. Ova procedura se može ponoviti nekoliko puta, sve dok predajni čvor ne dobije poruku potvrde.

Određivanje putanje poruke: ZigBee mreže Mesh topologije imaju ugrađene algoritme pomoću kojih pronalaze alternativne putanje za slanje poruka između dva čvora, za slučaj da se default-nom putanjom poruka ne može preneti.

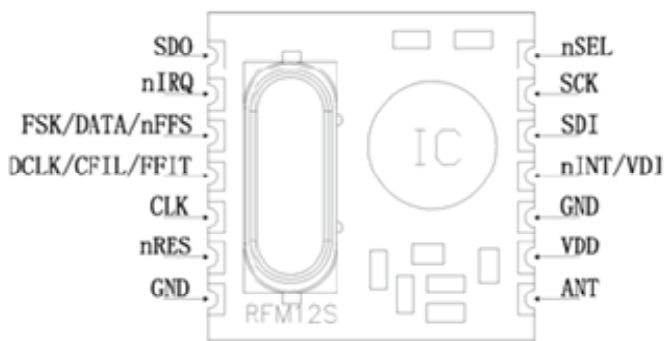
Bezbednost podataka koji se prenose ZigBee mrežom osigurana je 128-bitnim AES (Advanced Encryption Standard) baziranim enkripcijama podataka. Zahvaljujući ovim mehanizmima pouzdanosti i sigurnosti ZigBee mreže funkcionišu na istom prostoru i na istim RF opsezima kao i druge mreže bazirane na istim ili različitim standardima (Wi-Fi, Bluetooth...).

3. RFM12 Transiver

RF transiveri su elektronski uređaji čija je osnovna namena da primaju i šalju RF signale (signali frekventnog opsega od 3Hz do 300GHz). RF transiver ima dva moda rada: prijemni i predajni. U prijemnom modu rada RF signal se prima i demoduliše, dok se u predajnom modu RF signal moduliše i šalje. Sastavni deo RF transivera je i antena pomoću koje se RF signal šalje ili prima. Nakon prijema signala, uz pomoć podešavača (tuner) vrši se izdvajanje korisnog signala informacije od svih ostalih signala koje antena prima (interferencija i šum). Zatim se, uz pomoć demodulatora, vrši izdvajanje korisnog signala informacije. Za predajni mod rada postoje oscilatori koji generišu sinusni signal nosioca (PLL sintetizatori – Phase Locked Loop) koji se uz pomoć modulatora moduliše i pomoću antene šalje kao RF signal.

Parametri koji određuju osobine RF transivera su brzina prenosa podataka (data rate), osetljivost, izlazna snaga, komunikacioni interfejs, radna frekvencija i maksimalni domet komunikacije. Brzina prenosa podataka predstavlja broj bitova koje je u sekundi moguće preneti prijemniku. Izlazna snaga predstavlja snagu signala koji se šalje antenom i izražava se u dBm. Osetljivost daje informaciju o minimalnoj neophodnoj snazi koju signal mora da poseduje da bi bio korektno primljen. Komunikacioni interfejs je način prenošenja primljenih podataka do kompjutera ili neke programabilne komponente koja upravlja radom RF transivera. Može biti paralelni (GBIP) ili serijski (USB, RS232, RS485, SPI). Radna frekvencija daje informaciju o frekventnom opsegu RF signala koji se pomoću transivera mogu slati ili primiti. Maksimalni domet predstavlja maksimalno rastojanje između predajnika i prijemnika na kome se komunikacija između njih uspešno odvija.

RFM12 [3] je RF modul niske potrošnje, višekanalni FSM transiver dizajniran za rad na nelicenciranim frekventnim opsezima (300MHz do 1GHz). Maksimalna brzina prenosa podataka je 256kbps, osetljivost transivera je -102dBm a maksimalna izlazna snaga 8dBm (domet 150m). Transiver koristi serijski SPI komunikacioni interfejs za vezu sa mikroracunarom. Izgled RFM12 transivera prikazan je na slici 3. gde su dati i funkcionalni opisi pinova ovog transivera.

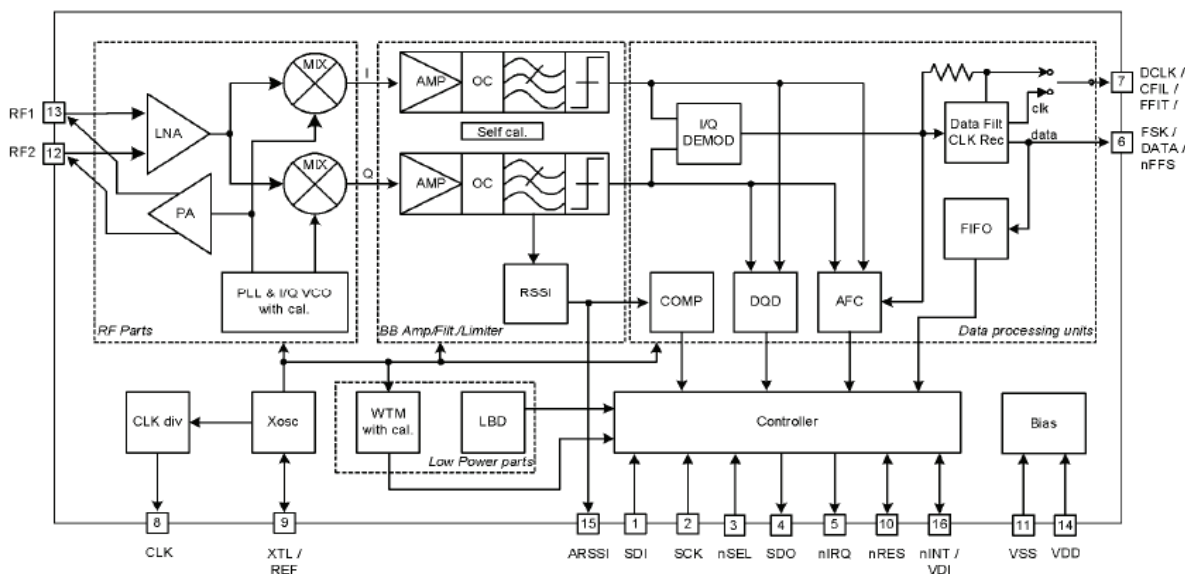


Pin	Tip	Funkcija
VDD	S (Supply)	Napon napajanja
SDI	DI (Digital Input)	SPI ulaz za podatke
SCK	DI	SPI ulaz za takt
nSEL	DI	Chip select (aktivan sa log. 0)
SDO	DO (Digital Output)	Serijski izlaz za podatke
nIRQ	DO	Interrupt request izlaz (aktiv. log.0)
GND	S	Ground

Slika 3. RFM12 Transiver

RFM12 transiver za prenos podataka koristi digitalnu FSK modulaciju. Modulirani FSK signal dobija se tako što se frekvencija nosećeg signala, F_c , umanjuje ili uvećava za frekvenciju devijacije Δf , u zavisnosti od toga da li je bit koji se prenosi 0 ili 1. Modulirani signal će, prema tome, biti sinusni signal frekvencije $F_c + \Delta f$ za slučaj da je bit podatka 1 (*mark frequency*), odnosno frekvencije $F_c - \Delta f$, ako je bit podatka 0 (*space frequency*).

Funkcionalni blok dijagram RFM12 transivera prikazan je na slici 4. RFM12 transiver dizajniran je za frekvencije nosećeg signala od 434MHz, 868MHz i 915MHz. Za dobijanje ovih



Slika 4. Blok dijagram RFM12 Transivera

3. UPRAVLJAČKO NADZORNI SISTEM ROBOTA

Logička struktura mreže kojom se povezuju centralni upravljački računar sa kontrolerima kretanja po pojedinim

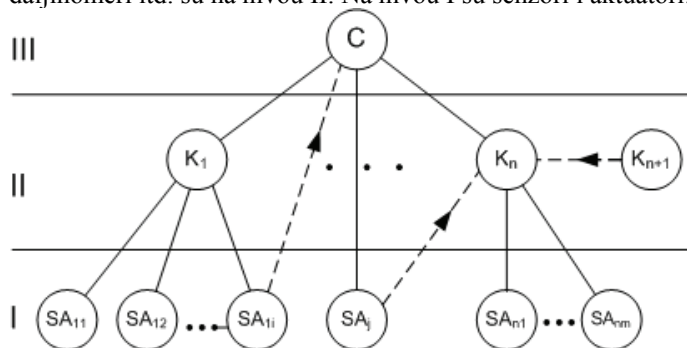
frekvencija koristi se PLL sintetizator visoke rezolucije. RF pojačavač snage (PA) koristi se u predajnom modu da definiše snagu modulisanog signala koji se šalje preko antene. Snaga modulisanog signala je programabilna veličina i određuje se u postupku programiranja RFM12 transivera. U prijemnom modu rada, signal informacije se, nakon prijema pomoću antene, najpre pojačava LNA (Low-Noise Amplifier) pojačavačem. Pojačanje ovog pojačavača signala je takođe programabilna veličina. LNA pojačavač smanjuje uticaj interferencije signala informacije sa različitim nekorisnim signalima. Baznopojasni filtri (BB) funkcionišu u prijemnom modu rada i uloga im je da filtriraju primljeni signal. Propusni opseg ovog filtra je takođe programabilna veličina čime se prijemniku omogućava da se lako prilagodi frekventnom opsegu signala informacije. On se određuje u zavisnosti od frekvencije devijacije i brzine prenosa podataka. RFM transiver sadrži i kolo kristalnog oscilatora (Xosc) koji PLL sintetizatoru daje referentni signal frekvencije 10MHz. LBD (Low Battery Detector) generiše interrupt svaki put kad napon napajanja transivera padne ispod određenog, unapred programiranog nivoa. WTM (Wake-Up Timer) blok značajno redukuje potrošnju RFM12 transivera.

Bajt podatka koji se šalje u predajnom modu rada smešta se u Tx registar. Tokom ovog moda rada SDO pin je u stanju logičke 1 svaki put kad je Tx registar spreman da primi novi bajt podatka za slanje.

Tokom prijema podataka (prijemni mod rada) podaci se, po bit, smeštaju u 16-bitni FIFO registar. Prijemnik počinje sa punjenjem FIFO registra kad mu odgovarajuća kola za prepoznavanje sinhronizacione reči naznače da je sinhronizaciona reč detektovana i da slede bitovi podataka. Primljeni podaci se iz ovog registra preko SPI interfejsa vode do programibilne komponente (mikrokontroler, FPGA, CPLD...) koja upravlja radom RFM12 transivera.

osama i specifičnim uređajima (kao što su daljinomeri), kao i povezivanje senzora i aktuatora je u osnovi strukture stabla (slika 5). Na nivou III je centralni računar za globalno

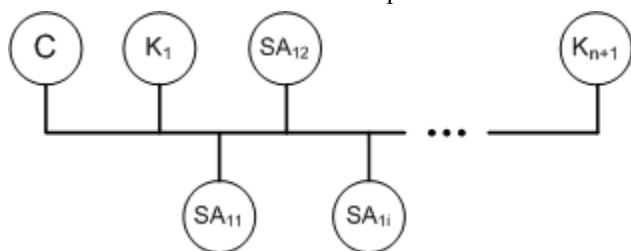
upravljanje radom robota, proračunavanje trajektorije, nadzor pouzdanog upravljanja. Kontroleri kretanja po pojedinim osama i specifični uređaji kao što su uređaji za određivanje pozicije, daljinomeri itd. su na nivou II. Na nivou I su senzori i aktuatori.



Slika 5. Logička struktura mreže upravljačkog sistema robota;

Međutim, često je pogodno da se pojedine informacije koje su od značaja za bezbedan rad robota što pre proslede do čvorova na različitim nivoima, što onda daje jednu *mesh* strukturu sa specifičnim tokovima podataka. Moguće takve veze prikazane su isprekidanim linijama i one za razliku od ostalih veza nemaju odziv na poruku da ne bi došlo do kolizije sa odzivom od čvora kome je poruka primarno namenjena

Da bi i fizička struktura mreže upravljačkog sistema robota odgovarala logičkoj neophodno je obezbediti za svaku vezu poseban fizički komunikacioni kanal. To je posebno teško obezbediti ako se komunikacija ostvaruje bežično u frekvencijskim opsezima koji ne zahtevaju licenciranje, gde je broj mogućih fizičkih kanala mali. Kao najnepovoljniji slučaj možemo pretpostaviti da se mora koristiti samo jedan fizički komunikacioni kanal po kome se treba ostvariti komunikacija koja će podržavati prikazanu logičku strukturu. To bi značilo da je fizička struktura veze *bus* struktura prikazana na slici 6.



Slika 6. Fizička struktura veze

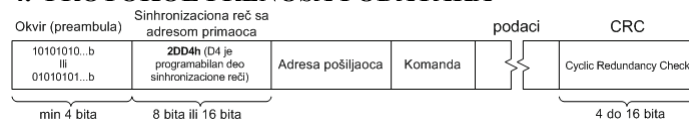
Za ostvarivanje razmene poruka između pojedinih čvorova mora se protokolom i na nivou veze obezbediti prihvatljiva vremenska raspodela komunikacionog kanala. On mora zadovoljiti specifičnosti strukture upravljačkog nadzornog sistema robota, kao i vremenska ograničenja nametnuta potrebom da se zadaci u sistemu moraju izvršiti po predviđenim scenarijima. Čvorovi se prema značaju (važnosti) dele na:

- čvorove koji se od nadređenog čvora periodično „prozivaju“ i koji uvek odgovaraju porukom u specifikiranom vremenu rezervisanom samo za tu komunikaciju radi izbegavanja kolizije.

- čvorove koji po primljenoj zajedničkoj poruci za ove čvorove šalju odziv samo ako imaju novu informaciju – promenu stanja (ovo je namenjeno za čvorove – senzore gde se ne očekuje da veći broj senzora istovremeno promeni stanje).

Važan kriterijum pri realizaciji upravljačkog nadzornog sistema robota, a time i pri realizaciji komunikacije u tom sistemu je što manja potrošnja. To znači da je poželjno da se primopredajni moduli bežične komunikacije pa čak i celi komunikacioni čvorovi postavljaju u *idle* ili *power down* stanje u vremenskim intervalima kada oni ne razmenjuju poruke. To zahteva da svaki čvor ima programirljiv tajmer (Wake-Up Timer) koji će posle specifikiranog vremena aktivirati čvor i primopredajni modul postaviti u stanje prijema. Čvor koji u toku funkcionisanja robota ne ide u *idle* ili *power down* stanje je čvor centralnog računara upravljačkog nadzornog sistema.

4. PROTOKOL PRENOSA PODATAKA



Slika 7. Komunikacioni protokol

Protokol za prenos podataka RFM12 transivera prikazan je na slici 7. Sinhronizaciona reč može da posluži i kao ID kôd RFM12 transivera, imajući u vidu da su 4 bita sinhronizacione reči programabilna. U bajtu „Komanda“ se sadrži i broj bajtova podataka koji sledi. Jedna od komandi je i postavljanje čvora ili samo primopredajnog modula čvora u *idle* ili *power down* stanje za vremenski interval koji se navodi u naredna dva bajta podataka.

5. ZAKLJUČAK

Za praktičnu realizaciju će se u narednom periodu raditi na *ZigBee* modulu sa modifikacijama prema predloženom protokolu. Cilj je ostvariti bežičnu mrežu koja će u potpunosti podržavati realizaciju upravljačko-nadzornih sistema sa visokom pouzdanošću i predvidivim ponašanjem u realnom vremenu.

LITERATURA

- [1] W. A. Shay, *Understanding data communications and networks*, Green Bay: Thomson Learning, 2004.
- [2] ZigBee e-learning <http://www.jennic.com/elearning/zigbee/index.htm>
- [3] RFM12 User's Manual <http://www.hoperf.com/pdf/RF12.pdf>

Abstract – *The possibilities of wireless networking of the sensors and devices in control and regulatory systems are considered in this paper. Communication protocol with predefined timing constraints is also described. Realised Wireless Personal Area Network (WPAN) is based on RFM12 Transceiver module. Basic features of this module as well as the structure and operation of realised WPAN in one control and regulatory system are presented here.*

ONE REALISATION OF WIRELESS NETWORK FOR CONTROL AND REGULATORY SYSTEMS

Milun Jevtić, Bojan Jovanović, Dragiša Milovanović