GUI interfejs kao podrška integraciji ZigBee mreže

Olivera Janković
Student postdiplomskog magistarskog studija
Fakultet za informacione tehnologije, Slobomir P Univerzitet
Bijeljina, BiH
janolja@yahoo.com

Sadržaj—**Za potrebe testiranja bežične komunikacije ali i za daljnju konkretnu i potpunu primjenu, pohranjivanje i korištenje prenesenih podataka u okviru fajl sistema i/ili baze podataka, potrebno je kao podršku obezbjediti odgovarajuće programsko rješenje. U ovom primjeru je u te svrhe razvijen, koristeći C#, odgovarajući grafički programski interfejs GUI, dok su za praktičnu implementaciju same ZigBee mreže, korišteni XBee-PRO® RF Moduli serije 2 u okviru XBee-PRO ZB RS-232 adaptera, sa eksternom antenom.**

Ključne riječi – Xbee RF modul; ZigBee mreža; GUI;

I. UVOD

Na temelju IEEE 802.15.4 standarda za WPAN (*Wireless Personal Area Network*), od strane grupe kompanija pod nazivom ZigBee Alijansa, definisan je ZigBee kao skup komunikacijskih protokola višeg sloja, baziran na radio prenosu. ZigBee protokol koristi IEEE 802.15.4 standard koji definiše dva niža sloja: fizički sloj (PHY) i sloj kontrole pristupa mediju (MAC), dok je ZigBee Alijansa definisala i mrežni sloj (NWK) i aplikacijski sloj (APS) [1].

Prema IEEE 802.15.4 standardu uređaji u mreži mogu se podijeliti na uređaje sa potpunom funkcionalnošću (FFD – *Full Functional Device*) i uređaje sa redukovanom funkcionalnošću (RFD - *Reduced Functional Device*) [2]. Na mrežnom sloju, ZigBee definiše tri grupe uređaja – čvorova. Prvoj grupi uređaja pripada koordinator, koji može biti samo jedan u cijeloj ZigBee mreži i koji je FFD uređaj. Drugoj grupi pripadaju ruteri, takođe FFD tip uređaja, sa funkcijom rutiranja saobraćaja u mreži. ZigBee krajnji uređaj, pripada trećoj grupi, i može biti i FFD i RFD uređaj.

Da bi se u potpunosti implementirale i iskoristile sve funkcionalnosti, ovako realizovanih sistema, odnosno ostvarene bežične komunikacija potrebno je razviti i odgovarajuću programsku podršku. Implementacija odgovarajućeg softverskog rješenja, odnosno GUI(*Graphical User Interface*) interfejsa, zavisi od potreba okruženja za koje se realizuje ali u osnovi treba da omogući monitorisanje prijema/slanja podataka, kao i smještanje podataka u okviru fajl sistema i/ili baze podataka.

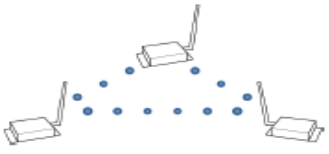
II. XBEE/XBEE-PRO MREŽE

XBee i XBee-PRO moduli, kompanije Digi - člana ZigBee Alijanse, kao i drugi XBee omogućeni uređaji predstavljaju rješenja temeljena na ZigBee protokolu, čiji je cilj da budu jednostavna za implementaciju, te da posjeduju funkcionalnosti koje im omogućavaju spajanje sa različitim uređajima.

A. Xbee / Xbee Pro RF moduli

XBee i XBee-PRO RF moduli, razvijeni su da zadovolje zahtjeve IEEE 802.15.4 standarda, te kroz minimalne zahtjeve za energijom omoguće pouzdan prenos podataka između uređaja i time podrže koncept bežične mreže. Moduli rade u opsegu radio-frekventnog spektra bez posebnih dozvola za potrebe industrije, naučnih istraživanja i medicine, u tzv. ISM 2.4GHz frekventnom opsegu i pin-to-pin su uzajamno kompatibilni. Generalno neke porodice modula, kao što je i ova, imaju verzije male potrošnje (*low-power)* i PRO verzije. PRO verzije obično imaju dodatno pojačalo za podršku većih rastojanja. Naravno, time je potrošnja energije ovih verzija "značajno" veća [3].

Inicijalno, XBee®/XBee-PRO® RF Moduli su konfigurisani da podrže *non-beacon* [1] način rada, (nije uključena opcija korištenja tzv. nadzornog-okvira (*superframe*)) komunikaciju bez koordinatora. Ovakav *non-beacon* način rada podržava topologiju ravnopravnih stanica, P2P(*peer-to-peer*) mrežnu topologiju, i nije zavisan od tzv. *master/slave* odnosa. To znači da se moduli sinhronizuju bez korištenja *master/slave* konfiguracije, te da svaki modul dijeli i *master* i *slave* uloge. P2P arhitekturom kompanije Digi (Sl. 1) omogućena je brza sinhronizacija. Ovako inicijalno konfigurisanje nalazi široku aplikativnu primjenu.



Slika 1. P2P Arhitektura

[1] *beacon* - far

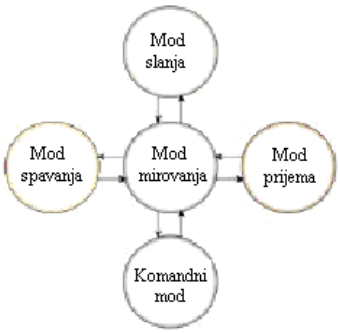
P2P mrežna topologija se postiže konfigurisanjem:

- svakog od modula kao krajnji uređaj, postavljanjem parametra CE[2] na "0",
- onemogućavanjem udruživanja krajnjih uređaja i koordinatora, postavljanjem A1[3] parametra na "0" za sve module, i postavljanjem identičnih vrijednosti parametara ID[4] i CH[5] u cijeloj mreži.

XBee/XBee-PRO moduli mogu da rade i u mreži koja koristi *non-beacon* sistem rada sa koordinatorom[6]. Uređaj se konfiguriše kao koordinator postavljanjem CE parametra na "1". Koordinator može koristiti direktnu i indirektnu transmisiju. Ako je SP[7] parametar postavljen na "0", koordinator će odmah slati podatke. U ostalim slučajevima SP parametar definiše vrijeme koje koordinator zadržava podatke prije nego ih odbaci.

Između krajnjih uređaja i koordinatora moguće je uspostaviti i pridruživanje korištenjem A1 i A2[8] komandi, odnosno njihovih parametara. Ovo pridruživanje je korisno jer donosi fleksibilnost tako što dozvoljava krajnjem uređaju da se udruži sa koordinatorom bez da poznaje njegovu adresu, kanal i PAN ID. Za dinamičko podešavanje odredišne adrese, PAN ID i/ili kanala za krajnji uređaj koristi se A1 parametar.

XBee/Xbee-PRO RF modul podržava pet različitih modova rada (Sl. 2), tj. može se naći u pet različitih stanja.



Slika 2. Moguća stanja XBee modula

Kada ne prima/šalje podatke RF modul je u modu mirovanja. Iz ovog moda, modul prelazi u ostale modove rada, zavisno od sledećih uslova:

- Mod slanja (transmisije) - Serijski podaci su stigli u bafer.
- Mod prijema – Validni RF podaci su stigli sa antene.
- Mod spavanja – Postignuti su zatjevi za mod spavanja.
- Komandni mod – Izdata je odgovarajuća komandna sekvenca

[2] *Coordinator Enable*
[3] *End Device Association*
[4] Pan ID
[5] *channel*
[6] *NonBeacon w/ Coordinator.*
[7] *Cyclic Sleep Period*
[8] *Coordinator Association*

B. XBee/XBee-PRO adresiranje

Pri komunikaciji dva umrežena uređaja svaki paket podataka sadrži izvorišnu i odredišnu adresu. Struktura RF paketa podataka, tj. XBee / XBee-PRO RF modula zadovoljava IEEE802.15.4 specifikaciju, te podržava i "kratke" 16-bitne adrese i "duge" 64-bitne adrese. Jedinstvena 64-bitna IEEE izvorišna adresa je dodjeljena u tvornici i može se pročitati, tj odgovara vrijednosti SL [9] i SH [10] parametara. Korištenje skraćenog adresiranja, 16 bitnih adresa, se može postići konfigurisanjem. RF modul će koristiti svoju jedinstvenu 64-bitnu adresu kao izvornu adresu, ako MY[11] parametar ima vrijednost "0xFFFF" ili "0xFFFE".

Da bi poslali paket na određeni RF modul, koristeći pri tome 16-bitno adresiranje, potrebno je: postaviti DL[12] parametar da odgovara, bude jednak, vrijednosti MY parametra odredišnog modula i postaviti DH[13] parametar na "0".

Za slanje paketa na određeni RF modula koristeći 64-bitni adresiranje, potrebno je postaviti odredišnu adresu (DL + DH) modula pošiljaoca tako da bi se slagala, bila jednaka, sa izvorišnom adresom (SL + SH) odredišnog RF modula.

C. Unikast način rada

Inicijalno RF modul radi u unikast (*unicast*) modu. Samo ovaj režim rada omogučava ponovljeno slanje paketa. Unikast način rada omogućava potvrdu komunikacije. Dok je u ovom modu, modul koji prima, šalje potvrdu prijema RF paketa (ACK[14]), modulu od kojeg je paket poslat. Ako modul koji šalje ne primi ACK, ponoviti će slanje paketa do tri puta ili dok ne primi potvrdu prijema paketa ACK.

Modul može biti konfigurisan za korištenje kratkih 16-bitnih adresa kao izvorišnih adresa, ukoliko je MY<0xFFFE. Postavljanjem DH parametra (DH=0) će konfigurisati odredišnu adresu kao 16-bitnu adresu (ako je DL<0xFFFE). Da bi dva modula komunicirala koristeći 16-bitno adresiranje, odredišna adresa modula koji šalje mora odgovarati MY parametru modula koji prima.

U tabeli I. dat je primjer jednostavne mrežne konfiguracije koja omogućava unikast mod komunikaciju koristeći kratke 16-bitne adrese.

TABELA I. PRIMJER UNIKAST KONFIGURACIJE (16-BITNO ADRESIRANJE)

Parametar	RF Modul 1	RF Modul 2
MY (Source Address)	0x01	0x02
DH (Destination Address High)	0	0
DL (Destination Address Low)	0x02	0x01

[9] *Serial Number Low*
[10] *Serial Number High*
[11] *16-bit Source Address*
[12] *Destination Address Low*
[13] *Destination Address High*
[14] *acknowledgement*

Serijski broj RF modula (SL parametar ulančan na SH parametar) se može koristiti kao 64-bitna izvorišna adresa kada je MY parametar onemogućen. Kada je MY parametar onemogućen (MY=0xFFFF ili 0xFFFE), izvorišna adresa modula se postavlja na 64-bitnu IEEE adresu smještenu u SH i SL parametrima.

Kada je krajnji uređaj pridružen koordinatoru njegov MY parametar je postavljen na 0xFFFE kako bi se omogućilo 64-bitno adresiranje. Ta 64-bitna adresa modula je spremljena kao vrijednost SH i SL parametara. Za slanje paketa na određeni modul, odredišna adresa (DL + DH) modula koji šalje mora odgovarati izvorišnoj adresi (SL + SH) prijemnog modula.

D. Brodkast način rada

Bilo koji RF modul, ukoliko je u dometu, će prihvatiti paket koji sadrži *broadcast* adresu. Kada je konfigurisan da radi u brodkast modu, prijemni modul ne šalje ACK – potvrde prenosa, a modul koji šalje ne vrši ponovno slanje kao što je u slučaju unikast načina rada.

Da bi se poslao *broadcast* paket, paket namjenjen svim modulima bez obzira da li se koristi 16-bitno ili 64-bitno adresiranje, potrebno je postaviti za sve module u mreži, odredišnu adresu sa sledećim vrijednostima :

- DH = 0x0000FFFF
- DL = 0x00000000

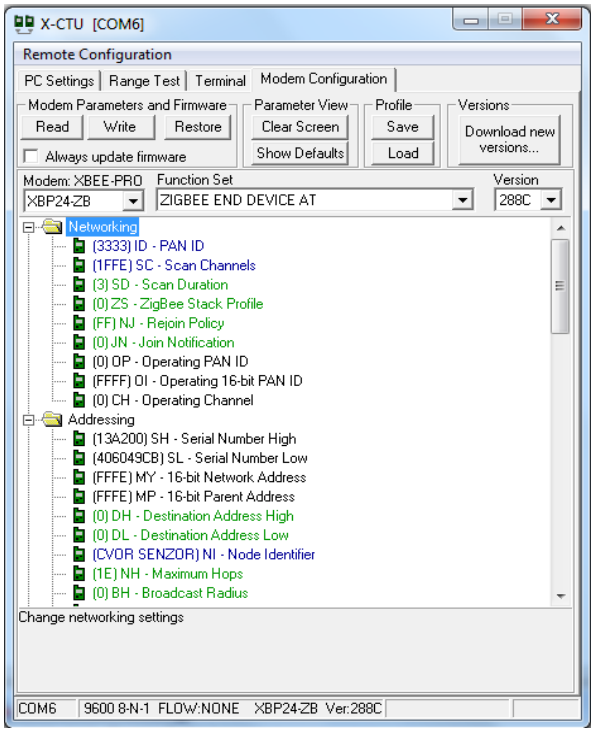
III. PROGRAMIRANJE XBEE MODULA

Da bi XBee moduli mogli ispravno komunicirati, potrebno ih je na ispravan način konfigurisati. Moduli se konfigurišu preko USB/serijskog interfejsa korištenjem odgovarajućih AT naredbi. Najjednostavniji način konfigurisanja je koristeći DIGI X-CTU program koji se besplatno može skinuti sa zvaničnog sajta firme DIGI. Koristeći ovaj program može se nadograditi verzija softvera [15] koji interno upravlja XBee modulom [4]. Navedeni program služi mjenjanju bitnih postavki konfiguracije, poput određivanja uloga (koordinator, ruter, krajnji čvor), PAN ID, filtra kanala, najveće izlazne snage, podešavanje perioda mirovanja modula, sigurnosnih postavki mreže, brzine serijskog interfejsa itd.

Konfiguracijom se određuje i mod rada čvorova – automatizovani AT mod gdje se čvorovi programiraju slanjem AT naredbi ili API mod koji omogućava programiranje čvorova preko API-ja u nekom programskom jeziku. Za potrebe ovog sistema izabran je AT mod. Taj mod radi savršeno za point-to-point veze kao što je bežično čitanje podataka sa senzora.

U praktičnoj implementaciji, na temelju koje je nastao ovaj rad, korišteni su XBee-PRO® RF Moduli serije 2 u okviru XBee-PRO ZB RS-232 adaptera, sa eksternom antenom [5]. Za potrebe realizacije bežične mreže, korištenjem X-CTU programa, izvršena je konfiguracija modula odabirom funkcija tipa "ZigBee End Device AT" i tipa "ZigBee Coordinator AT" [6] (*firmware* verzija XBP24-ZB 288C/208C respektivno).

Na Sl. 3, je predstavljen dio konfiguracije modula uloge tipa "krajnji uređaj ili ruter". Na sličan način vrši se i konfiguracija modula uloge tipa "koordinator", korištenog za potrebe realizacije bežične mreže.



Slika 3. Konfiguracija XBee modula tipa krajnji uređaj (jedan dio)

Testiranje bežične komunikacije može se izvršiti korištenjem "Terminal" opcije X-CTU programa. Međutim, za dalju, konkretnu i potpunu primjenu, korištenje prenesenih podataka u okviru fajl sistema i/ili baze podataka, potrebno je razviti vlastito programsko rješenje, (u ovom primjeru je u te svrhe korišten C#), odnosno odgovarajući programski interfejs.

IV. GUI INTERFEJS

U sklopu rada razvijena je i realizovana aplikacija na C# programskom jeziku, koja implementira sve funkcionalnosti, prethodno opisanog, realizovanog sistema ostvarenog korištenjem ZigBee OEM modula. Kao razvojno okruženje GUI interfejsa korištena je dostupna verzija Microsoft Visual C# 2010 Expres programskog jezika. U skladu sa ciljevima rada implementacija odgovarajućeg softverskog rješenja, odnosno GUI interfejsa, treba da omogući monitorisanje prijema/slanja podataka, kao i smještanje podataka u okviru fajl sistema i baze podataka.

Da bi se realizovali navedeni ciljevi, moguće su različita programska rješenje koja u značajnoj mjeri zavise od same aplikacije rješenja, odnosno realizovane bežične komunikacije. Ipak, bez obzira na samu konačnu aplikaciju, moguće je identifikovati osnovne, zajedničke elemente koje treba

[15] *firmware*

realizovati da bi se razvila odgovarajuća programska podrška, pri čemu korišteni programski alati u mnogome zavise od obučenosti i afiniteta samog projektanta/programera.

Kao prvo, obzirom da za komunikaciju sa host uređajem XBee®/XBee-PRO® RF Moduli koriste asinhroni serijski interfejs potrebno je isti na odgovarajući način podržati, odnosno implementirati u okviru programskog rješenja. Drugi važan dio koji treba programski podržati je sama bežična komunikacija, odnosno odabrani mod rada modula. U ovom primjeru, obzirom da XBee®/XBee-PRO® RF Moduli rade u transparentnom modu korištene su AT naredbe. Na raspolaganju je konačan skup AT naredbi koje mogu imati i određene parametre. Pri tome, ako je potrebno promijeniti ili samo pročitati neki od parametara zapisanih u XBee modulu (npr. PAN ID ili broj kanala), modul se mora prebaciti u komandni način rada, stanje u kome se nadolazeći serijski simboli tumače kao naredbe.

Ralizacijom prethodno opisanih koraka korištenjem odgovarajućih softverskih alata, programski je podržana ostvarena bežična komunikacija i podaci se mogu prenijeti sa jednog na drugi modul. Obzirom da je krajnji cilj prenosa njihova daljnja primjena/obrada, potrebno ih je pohraniti u okviru fajl sistema/baze podataka. Na osnovu podataka pohranjenih u bazi podataka moguće je kreirati neophodne preglede/izvještaje u skladu sa prirodom same aplikacije.

A. Parametri serijske komunikacije

Za komunikaciju sa host uređajem XBee®/XBee-PRO® RF Modul koristi asinhroni serijski interfejs. Koristeći svoj serijski port modul može komunicirati sa bilo kojim kompatibilnim UART-om. U navedenom dijelu programskog koda (Sl. 4.) prikazan je jedan dio načina korištenja serijskog porta u C#, a za potrebe aplikacije „ZigBee komunikacija“.

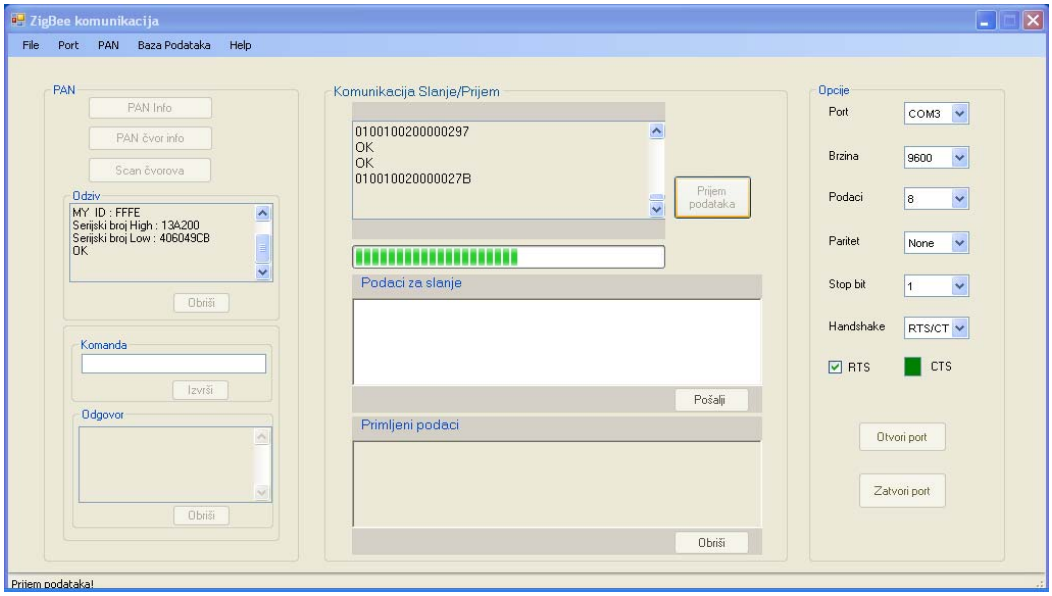
```
private void sPort_PinChanged(object sender,
SerialPinChangedEventArgs e)
 {
    //MessageBox.Show(" Promjena signala CTS!");
   UpdatePinState();
 }

 private void UpdatePinState()
 {
    this.Invoke(new ThreadStart(() =>
 {
    // Prikaz stanja pinova
        if (sPort.CtsHolding == false)
        txtCTS.BackColor = Color.Black;
   else
        txtCTS.BackColor = Color.Green;
 }));
 }
```

Slika 4. Primjer koda za prikaz stanja signala

B. Funkcionalne cjeline

Nakon pokretanja aplikacije "ZigBee komunikacija", sve funkcije koje su povezana sa radom serijskog porta, odnosno koje se oslanjaju na serijsku komunikaciju i dostupnost XBee modula, su neaktivne sve dok se ne otvori serijski port i XBee modul bude dostupan. Karakterističan primjer ekrana aplikacije dat je na Sl. 5., koji je nastao u toku samog prijema podataka. Na njemu su, pored ostalih, vidljive i opcije kojima se vrši izbor parametara serijske komunikacije i prikaz stanja RTS i CTS signala.



Slika 5. Prijem podataka

Samo otvaranje porta se može obaviti na dva načina: iz "**Port**" menija sa ***Port->Otvori port*** opcijom ili klikom na dugme "**Otvori port**". Prije nego se otvori port potrebno je selektovati port i odgovarajuće parametre serijske komunikacije (Sl. 5.), u protivnom otvaranje porta je neuspješno. Nakon uspješnog otvaranja porta i pronalaženja XBee modula sve ostale funkcije aplikacije su omogućene. Za vrijeme dok port nije otvoren i/ili nije dostupan XBee modul omogućen je rad sa bazom podataka.

- ***PAN informacije*** - Nakon što je port otvoren i dostupan XBee modul, moguće je dobiti informacije za identifikator PAN mreže, informacije vezane za sam čvor na kojem je pokrenuta aplikacija i informacije za čvorove u mreži (uz uslov da je predhodno uspostavljena ZigBee komunikacija). Identifikator PAN mreže u kojoj se nalazi čvor, može se dobiti klikom na "**PAN Info**" dugme. Osnovne informacije kao što su identifikator čvora, vrjednost MY parametra, te 64-bitna adresa i slično, vezane za tekući čvor mogu se vidjeti klikom na "**PAN čvor info**", a za sve PAN čvorove u mreži, izborom opcije "**Scan čvorova**".
- **Komandni mod** - Korištenje GUI interfejsa omogućava zadavanje odgovarajućih AT komandi, kojima je moguće izvršiti dodatna konfigurisanja XBee modula. Važno je napomenuti da je prije zadavanja AT komandi, u slučaju kada je potrebno promijeniti ili samo pročitati neki od parametara zapisanih u XBee modulu (npr. PAN ID), modul se prethodno mora, odgovarajućom sekvencom prebaciti u komandni način rada. Ova opcija se preporučuje samo korisnicima koji poznaju komunikaciju putem AT naredbi, a njihov detaljan opis može se naći u okviru "**Help**" menija.
- **Prenos file podataka -** Nakon što se podaci (proizvoljan paket podataka) unesu u box podataka "**Podaci za slanje**" na jednom od čvorova, moguće ih je klikom na "**Pošalji**" poslati kroz mrežu na drugi čvor. Podaci se mogu unijeti i izborom određenog fajla podataka. Nakon što se izabere željeni fajl (.txt), njegov sadržaj se može vidjeti u odgovarajućem *box*-u, "**Podaci za slanje**". S druge strane tako primljeni podaci na odredišnom čvoru će biti prikazani u box-u "**Primljeni podaci**", nakon čega ih je moguće obrisati opcijom "**Obriši**" ili sačuvati u okviru fajl sistema u datoteci sa .txt ekstenzijom. Izbor fajla za slanje, odnosno za čuvanje podataka vrši se u okviru menija "**File**" izborom podmenija "**Open**"/"**Save**" respektivno.
- **Izvještaji** - U okviru aplikacije "ZigBee komunikacija" postoji određen broj kreiranih izvještaja sa mogućnošću kreiranja novih izvještaja na osnovu podataka pohranjenih u bazi podataka. Izbor kreiranih izvještaja se dobije korištenjem menija "**Baza podataka**" podmeni "**Izvještaji**".
- **Help** - U okviru "**Help**" menija dat je kratak spisak i opis AT komandi, koje se mogu unositi u okviru aplikacije "ZigBee komunikacija", za dodatnu konfiguraciju XBee modula, kao i korisnička dokumentacija same aplikacije.

V. ZAKLJUČAK

Osnovni zaključak, nakon uspješne praktične realizacije navedenog u radu je, da je za potpunu integraciju sistema, odnosno ostvarenu bežičnu komunikacija potrebno razviti i odgovarajuću programsku podršku. Implementacija odgovarajućeg softverskog rješenja, odnosno GUI interfejsa, uvjetovana je potrebom okruženja za koje se realizuje ali u osnovi treba da omogući monitorisanje prijema/slanja podataka, kao i smještanje podataka u okviru fajl sistema i/ili baze podataka za potrebe daljnje obrade i/ili kreiranja neophodnih izvještaja.

ZAHVALNICA

Rad je dio teorijskog istraživanja i praktične realizacije u sklopu izrade magistarskog rada pod naslovom “Implementacija bežične mreže za različite aplikacije korištenjem ZigBee OEM modula” na postdiplomskom magistarskom studiju na Fakultetu za informacione tehnologije, Slobomir P Univerziteta, pod mentorstvom prof. dr Verice Vasiljević.

LITERATURA

[1] ZigBee Alliance, "ZigBee Specification", January 2008

[2] IEEE Std. 802.15.4-2006, “IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks”, 2006.

[3] Digi International Inc., "XBee®/XBee-PRO® RF Modules" - Product Manual v1.xEx-802.15.4 Protocol, 2008

[4] Digi International Inc., "X-CTU Configuration & Test Utility Software" – documentation, 2008

[5] O. Janković, "Korištenje XBee OEM modula za implementaciju ZigBee mreže", prihvaćen za objavljivanje.

[6] L. Limor, "XBee Adapter – wireless Arduino programing", MIT & Media Lab, February 2011

ABSTRACT

For the purposes of testing wireless communications, but also for further specific and complete application, storage and use of data transmitted within the file system and/or database, you need to provide support as appropriate software solution. This example is for this purpose was developed using C #, the corresponding graphical programming interface GUI, while for practical implementation, the ZigBee network, used XBee-PRO® RF Modules Series 2 in the XBee-PRO ZB RS-232 adapter with external antenna.

GUI INTERFACE AS SUPPORT THE INTEGRATION OF ZigBee NETWORKS

Olivera Janković