

ZigBee protokol za bežične senzorske mreže i PicdemZ razvojno okruženje

dipl. ing. Marko Trnavac

Sadržaj — Bežične senzorske mreže sa svojim raznovrsnim primenama predstavljaju veliki potencijal za dalje unapredjenje kvaliteta života i okoline. Jednostavne su za instalaciju u raznim uslovima što ih čini naročito pogodnim za embedded sisteme gde predstavljaju interfejs između čoveka i njegove okoline. Dominantni korišćeni standardi su IEEE 802.15.4 i Zigbee. Microchip PicdemZ razvojni paket je jedno od okruženja korišćenih za učenje i razvoj novih algoritama zasnovanih na Zigbee protokolu. Programiranje, debugiranje i prikaz rezultata omogućen je u jedinstvenom okruženju MPLAB IDE.

Ključne reči — Zigbee, PicdemZ, MPLAB IDE.

I. UVOD

Bežične senzorske mreže WSN su mreže budućnosti, a i sadašnjosti. Osnovna uloga im je u procesiranju informacije dobijene iz fizičkog domena našeg okruženja. Za razliku od WLAN (Wireless Local Area Network) mreža najčešće ne zahtevaju dodatnu infrastrukturu i predstavljaju jeftino i energetski efikasno rešenje problema prenosa informacija u embedded sistemima s kojima se danas srećemo ili ćemo se susretati u bliskoj budućnosti [2]. Svaka WSN mreža se sastoji od mogućeg velikog broja čvorova, tj. uređaja zaduženih za različita fizička merenja u svome okruženju. Očitavanja sa senzora koja čvorovi obavljaju se zatim prenose bežičnim putem i dostavljaju centralnom aplikativnom sistemu koji donosi dalje odluke. Ograničavajući faktori razvoja bežičnih senzorskih mreža su svakako energetski, ali i procesiranje informacija i njihov zapis (storage). Senzorskim čvorovima u većini primena je neophodno obezbediti autonomno napajanje dugog veka trajanja što je moguće postići poboljšavanjem karakteristika baterijskih izvora kao i minijaturizacijom komponenti i modovima rada sa smanjenom potrošnjom.

Glavne današnje primene su za prevenciju i otklanjanje posledica elementarnih nepogoda, kontrole okoline, izgradnju inteligentnih zgrada, sigurnosnih sistema, za nadgledanje rada mašina, u medicini i mnoge druge [3]. Pri tome se iz spoljašnje okoline kao ulazni parametri koriste temperatura, vlažnost, vidljiva i infracrvena svetlost, zvuk, vibracije, pritisak, hemijski i mehaničke promene, elektromagnetno polje itd.

Standard IEEE 802.15.4 - 2003 definiše fizički sloj - PHY i MAC podsloj sloja podataka u OSI referentnom modelu bežičnih senzorskih mreža. Ubrzo po donošenju

standarda IEEE 802.15 grupe 4 čime je definisan fizički i MAC sloj bežičnih mreža malog protoka - LR-WPAN (Low Rate Wireless Personal Area Network) osnovana je Zigbee Alliance grupa od strane osam vodećih kompanija u ovoj oblasti čiji zadatak je bio da standard prilagodi korisniku i zahtevima tržišta. Samim tim Zigbee standard [4] se nadovezuje na standard IEEE 802.15.4 i definiše preostale slojeve steka do sloja aplikacije.

Rad je podeljen u četiri poglavlja. Nakon uvodnog poglavlja, u drugom poglavlju je prikazana osnovna struktura i funkcija Zigbee mreža, dok je u trećem poglavlju objašnjen algoritam pristupa jednom od čvorova Zigbee mreže radi očitavanja temperature. Poslednje poglavlje zaključuje rad i opisuje pravce daljeg istraživanja u ovoj oblasti.

II. ZIGBEE MREŽE

Osnovne uloge fizičkog sloja su: aktivacija i deaktivacija radio primopredajnika, detekcija energije unutar trenutno aktivnog kanala, indikacija kvaliteta veze za primljene pakete, pristup slobodnom kanalu radi CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) algoritma, selekcija frekvencije kanala, slanje i primanje podataka [1]. Predviđen je rad u tri opsega - 868 MHz, 915 MHz i 2.45 GHz. Najviše korišćen je opseg 2.45 GHz (ISM - Industrial Scientific Medical) koji se koristi i u drugim lokalnim personalnim bežičnim mrežama, kao što je npr. Bluetooth. U ovom opsegu koristi se kvaziorogonalna modulacija, pri čemu se 4 bita po simbolu koriste za izbor jedne od 16 približno ortogonalnih pseudoslučajnih sekvenci za prenos. Dobijena sekvenca čipa se zatim modulira na nosilac korišćenjem O-QPSK modulacije.

MAC (Medium Access Control) podsloj je zadužen za pristup fizičkom radio kanalu i obavlja sledeće zadatke: generisanje beacon ramova ako je uređaj koordinator, sinhronizacija na beacon ramove, podrška PAN (Personal Area Network) asocijaciji i deasocijaciji, podrška sigurnosti uređaja, implementiranje CSMA-CA mehanizma za pristup kanalu [3], realizacija i održavanje mehanizma garantovanih vremenskih slotova, realizacija sigurnog linka između dva MAC entiteta.

Zigbee mreže često primenjuju superfrejmske strukture. Format superfrejma je definisan od strane koordinatora mreže. Podeljen je u 16 jednakih vremenskih slotova. Osnovna karakteristika superfrejma je beacon ram koji se prenosi u prvom vremenskom slotu svakog superfrejma i na taj način ga ograničava. Beacon ramovi se koriste za

sinhronizaciju povezanih uređaja, za identifikaciju PAN mreže i za opisivanje strukture superfrejma. Svaki uređaj koji želi da komunicira u mreži može to uraditi u vremenskom periodu između dva beacon rama - CAP (Contention Access Period)..

Na nivou sloja mreže, Zigbee standard definiše tri grupe uređaja – čvorova. Zigbee krajnji uređaj može biti bilo RFD (Reduced Function Device) ili FFD (Full Function Device) senzorski čvor. Drugoj grupi pripadaju Zigbee ruteri sa funkcijom rutiranja saobraćaja u mreži, a treći tip uređaja je koordinator, već objašnjen u okviru WPAN mreža, koji može biti samo jedan u celoj Zigbee mreži. I ruteri i koordinatori moraju biti FFD uređaji. Pored zvezdaste topologije, Zigbee sloj mreže podržava i dosta kompleksnije topologije kao što su drvo i žbun (tree, mesh). [2], [5].

Formiranje mreže se umnogome razlikuje zavisno od korišćene topologije. U zvezda topologiji, po uključanju, jedan od FFD uređaja može postati PAN koordinator i formirati svoju mrežu. Sve zvezda mreže rade nezavisno od ostalih zvezda mreža u njihovoj blizini. Svaka mreža se karakteriše svojim PAN brojem koji ne sme biti korišćen u susednim mrežama u radio dometu. Po izboru PAN broja koordinator dozvoljava priključivanje ostalih RFD i FFD uređaja svojoj mreži [2]. U Peer-to-peer topologiji svaki uređaj može da komunicira sa bilo kojim uređajem u dometu. Jedan od uređaja se proglašava PAN koordinatorom, npr. prvi uređaj koji započne komunikaciju u kanalu.

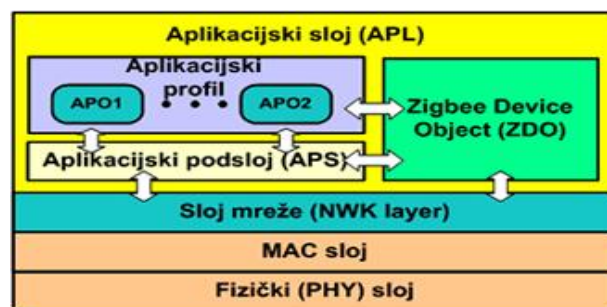
Mehanizam pristupa kanalu je CSMA-CA mehanizam pri čemu se u LR-WPAN mrežama koriste dva različita algoritma. U mrežama koje ne koriste beacon ramove primenjuje se CSMA-CA algoritam bez određenih vremenskih slotova [3]. Uređaji u mrežama pokušavaju da pristupe medijumu nakon proizvoljnog vremena čekanja. Ukoliko je medijum slobodan, uređaj šalje podatke, a ukoliko nije slobodan uređaj mora da čeka slučajan vremenski interval nakon koga će ponovo pokušati da pristupi medijumu. Ramovi potvrde šalju se direktno bez primene CSMA-CA algoritma.

U mrežama koje koriste beacon ramove, vremenski intervali čekanja i trenutka pokušaja pristupa medijumu su određeni i sinhronizovani putem beacon ramova. Ukoliko nema garantovani vremenski slot, uređaj pokušava da pristupi kanalu u vremenskom slotu u okviru CAP intervala superfrejma. Ukoliko slot bude zauzet uređaj čeka proizvoljan broj slotova nakon čega opet pokušava pristup medijumu a ako je medijum slobodan uređaj započinje komunikaciju. Ramovi potvrde i beacon ramovi šalju se bez primene mehanizma CSMA-CA [3], [5].

Jedan od primera korišćenja peer-to-peer topologije je cluster-tree forma mreže [4]. Ona predstavlja specijalan slučaj u kome su skori svi uređaji FFD. RFD čvorovi se mogu povezati samo na krajnjim čvorovima (krajevima grana) iz razloga što ovi uređaji mogu biti povezani samo sa jednim FFD čvorom. Pojedini FFD čvorovi preuzimaju ulogu koordinatora i omogućuju sinhronizaciju u komunikaciji ostalim čvorovima u tom delu mreže -

klasteru. U celoj mreži samo jedan od ovih koordinatora može biti PAN koordinator, koji najčešće poseduje veće mogućnosti procesiranja radi boljeg funkcionisanja mreže. PAN koordinator formira prvi klaster proglašavanjem samog sebe za koordinatora – CLH (Cluster Header) sa CID (Cluster Identification) identifikatorom jednakim nula. Zatim počinje sa emitovanjem beacon ramova susednim čvorovima. Čvorovi kojima stižu beacon ramovi mogu zatražiti priključivanje klasteru. Ukoliko čvor dobije dozvolu za priključenje, PAN koordinator dodaje ovaj čvor u listu uređaja u mreži. Novopridruženi čvor može zatim i sam da počne da emituje beacon ramove i da priključuje nove uređaje, koji nisu bili u dometu PAN koordinatora, u mrežu u klasteru koji sam formira.

Fizički sloj, MAC podsloj i sloj mreže pružaju standardizovanu osnovu za rad Zigbee mreža. Funkcionisanje viših slojeva u Zigbee bežičnim senzorskim mrežama [5], [6] nemoguće je objasniti jednodimenziono kao što je to slučaj u OSI modelu. Oni predstavljaju osnovu za aplikativni sloj i razne aplikacije za koje se ove mreže primenjuju. Višeslojni model Zigbee mreža prikazan je na sl. 1.



Sl. 1 - Zigbee funkcionalna slojevita struktura.

Svaka Zigbee aplikacija sastoji se od skupa aplikacionih objekata APO (Application Object) koji se nalaze na čvorovima širom mreže. Svaki APO objekat predstavlja deo softvera koji kontroliše hardverske delove na uređajima. Svakom ovom objektu dodeljen je i odgovarajući broj koji drugi objekti u mreži koriste kao dodatak adresi čvora sa kojim komuniciraju. ZDO (Zigbee Device Object) je specijalni objekat koji pruža servis aplikacijskim objektima. Omogućava im pronalaženje odgovarajućih uređaja u mreži, kao i realizaciju njihovog servisa. Aplikacijski podsloj omogućava transfer podataka za APO i ZDO objekte [5]. Svaka Zigbee aplikacija mora biti usklađena sa aplikacijskim profilom podržanim od strane Zigbee Alliance grupe. Aplikacijski profil definiše poruke, formate i protokole za komunikaciju između dva APO objekta čime se formira distribuirana aplikacija. Ovaj profil može se iskoristiti kao osnova za nove programere da nezavisno grade, unapređuju i prodaju kompatibilne Zigbee uređaje. Svaki aplikacijski objekat uključuje skup atributa i omogućava servise za podešavanje i primanje vrednosti atributa, ili biva obavešten o promeni odgovarajućeg atributa. Skup atributa slične funkcije označava se kao klaster i može biti i numerisan. Tipičan klaster može biti skup atributa jednog APO objekta koji

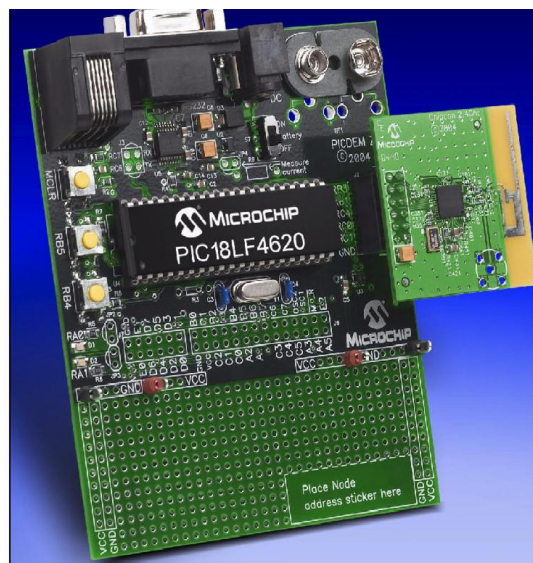
služi kao interfejs u komunikaciji sa drugim APO objektima u mreži.

III. PICDEMZ RAZVOJNO OKRUŽENJE

U svrhu razvoja uređaja i sistema zasnovanih na Zigbee standardu, mnogi proizvođači opreme razvili su posebne razvojne pakete namenjene upoznavanju sa Zigbee mrežnim okruženjem i njegovim daljim programiranjem. Jedno od ovih okruženja je i PicdemZ razvojno okruženje firme Microchip, predviđeno za rad sa Zigbee protokolom [7]. Ovo okruženje omogućava upoznavanje funkcionisanja Zigbee protokola na demo softveru koji je instaliran, pri čemu je dozvoljena nadgradnja softvera i dodavanje novih funkcija postojećim.

Picdem Z (sl. 2) okruženje sastoji se od dve Zigbee integrisane ploče. Svaka od ploča sadrži mikrokontroler Microchip PIC18F4620, primopredajnik Microchip MRF24J40, temperaturni senzor TC77, kao i neophodne pinove za dalju nadgradnju. Čvorovi su programirani demo softverom tako da jedan čvor sadrži sve funkcije moguće u Zigbee mreži – FFD, dok će drugi raditi sa smanjenim brojem funkcija – RFD.

U okviru mikrokontrolera postoji i flash memorija koja se koristi bilo kao RAM bilo kao programska memorija. Vezu sa ostatkom hardvera na ploči mikrokontroler realizuje preko svoja četiri porta, pri čemu je podržano korišćenje SPI interfejsa za prenos podataka. Osnovna uloga primopredajnika je u stvaranju bežičnog interfejsa putem Zigbee protokola između koordinatorskog i senzorskog mikrokontrolera. Ovaj primopredajnik koristi opeg od 2.45 GHz, ima malu potrošnju struje od 18 mA, i podržava sleep mod rada sa potrošnjom od 2 μ A. Izračena snaga je oko 1mW (0 dBm), a maksimalna osetljivost prijemnika -91 dBm. Primopredajnik je pored mikrokontrolera centralni deo Zigbee okruženja, pošto se sve funkcije Zigbee protokola preko njega realizuju. Povezan je sa mikrokontrolerom preko četiri žice pri čemu se tri koriste za SPI interfejs a jedna žica služi za izbor moda rada sa malom odnosno aktivnom potrošnjom energije. Primopredajnik poseduje sopstvenu memoriju malog kapaciteta, kao i sopstveni oscilator, pri čemu može bez pomoći mikrokontrolera ostvariti komunikaciju sa drugim primopredajnicima u mreži. Pored osnovnih funkcionalnih delova svaka od ploča sadrži RS232 interfejs, RJ 11 konektor kao i tri eksterna dugmeta i dve LED diode koje mogu biti softverski kontrolisane. Postoje priključci i za fiksno i za napajanje baterijom.

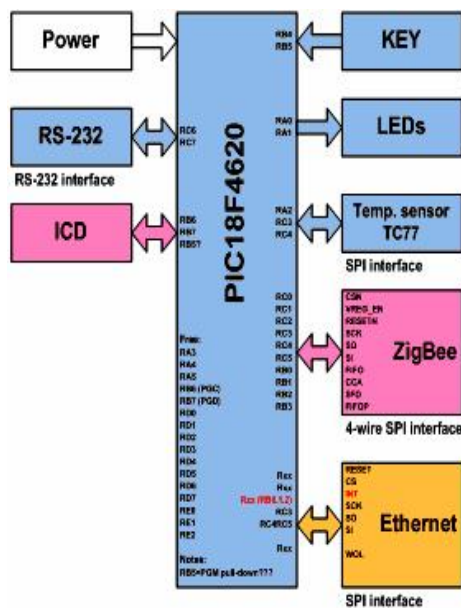


Sl. 2 – PicdemZ ploča.

Da bi se formirala Zigbee mreža neophodno je isprogramirati mikrokontrolere svih čvorova u mreži na adekvatan način. Pri tome koordinatorski čvorovi se nekad mogu razlikovati od krajnjih samo po različitom softveru, ili po činjenici da se napajaju iz distributivne mreže a ne preko baterija. Softverom se formira kompletan Zigbee stek u čvorovima, čime se čvorovi osposobljavaju da samostalno funkcionišu. Kao što je ranije napomenuto neki od čvorova Zigbee mreže, najčešće koordinatorski čvorovi, mogu biti povezani na PC, Laptop ili Palmtop čime se omogućuje nadgledanje rada mreže. Zato jedna od važnih karakteristika Zigbee steka mora biti kompatibilnost sa Ethernet slojem.

Razvoj autorovog algoritma na PicdemZ pločama trebalo je da omogući daljinsko očitavanje temperature na koordinatorskom čvoru, sa udaljenog čvora. Na taj način se udaljeni čvor koji je u sebi sadržao temperaturni senzor ponašao kao senzorski čvor, a koordinatorski povezan sa PC računom se ponašao kao uređaj za nadgledanje odnosno kontrolu. Realizacija navedenog algoritma sadržala je nekoliko faza. Koordinatorski i senzorski čvor su trebali da budu programirani različitim algoritmima, iako se po hardverskim komponentama koje sadrže ova dva čvora suštinski ne razlikuju. Senzorski čvor, koji preuzima ulogu Zigbee RFD čvora, je trebalo programirati algoritmom koji će omogućiti komunikaciju mikrokontrolera sa temperaturnim senzorom i Zigbee primopredajnikom. Komunikacija je predviđena da se obavi korišćenjem SPI (Serial Peripheral Interface) magistrale. Koordinatorski čvor je zadužen za komunikaciju sa Zigbee primopredajnikom preko koga komunicira sa udaljenim senzorskim uređajem i zadaje start očitavanja temperature na senzorskom čvoru. U poslednjoj fazi trebalo je omogućiti prelazak na Ethernet link, kao viši hijerarhijski nivo. Komunikacija koordinatorskog sa primopredajnikom i Ethernet pločom realizuje se preko SPI interfejsa [7].

Blok šema povezivanja prikazana je na sl. 3.



Sl.3 – Funkcionalna blok šema mikrokontrolera i perifernih delova na ploči.

U sklopu sa PicdemZ razvojnim okruženjem korišćen je i softverski paket MPLAB IDE [8] (MPLAB Integrated Development Environment). Ovaj softverski paket korišćen je za programiranje flash memorije mikrokontrolera, pri čemu vezu sa PicdemZ pločom ostvaruje preko RJ 11 interfejsa. U sastavu ovog softverskog paketa kao editor programskog koda korišćen je C 18 kompajler programskog jezika C. Pored standardnih C bibliotekih funkcija, za adekvatno programiranje neophodno je i korišćenje više asemblerskih direktiva pošto je memoriju često neophodno direktno adresirati. Svaki MPLAB projekat pored C koda sadrži i biblioteke sa predefinisanim hardverskim funkcijama, koje se razlikuju u zavisnosti od korišćenog mikrokontrolera. Ove datoteke se koriste prilikom prevođenja programskog koda na mašinski jezik pogodan za upisivanje u memoriju mikrokontrolera. U okviru paketa koristi se i MPLAB ICD [8] (Integrated Circuit Debugger) koji pri online vezi sa hardverom omogućava step by step izvršavanje instrukcija i otklanjanje grešaka u programiranju. Nakon uspešnog debagovanja program ostaje upisan u memoriji mikrokontrolera na PicdemZ ploči i svoju funkciju na dalje može obavljati nezavisno od računara, pošto poseduje i sopstveno napajanje (baterije, adapter).

Programirani softver je bilo neophodno implementirati u demo softver koji je sadržao osnovne protokolske funkcije Zigbee protokola – Zigbee stack [6]. Radi prikaza rezultata programiranja, u ovom slučaju očitavanja temperature, pored niza LED dioda integrisanih na PicdemZ ploči može se koristiti i veza sa PC računarnom preko RS 232 porta, pri čemu se za ispis na monitoru koristi Microsoft Hyper Terminal. Pri tome je jedini problem što se ne može istovremeno posmatrati rad i koordinatorskog i senzorskog čvora. Hyper Terminal takođe omogućava i softversku kontrolu rada Zigbee čvorova, sa razlikom što je u tom slučaju neophodno koristiti mehanizam softverskih

prekida, pa je u korišćenom primeru znatno pogodnije bilo korišćenje programabilnih upravljačkih tastera na PicdemZ ploči.

Za analizu rada programiranih čvorova vrlo je pogodan i ZENA Network Analyzer, takođe dostupan u okviru Microchip paketa, koji prikazuje real-time razmenu ramova između koordinatora i senzorskog čvora.

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisane su Zigbee bežične senzorske mreže i jedno od razvojnih okruženja korišćenih za upoznavanje sa funkcijama Zigbee protokola i programiranju Zigbee čvorova. Ovakvo okruženje podesno je i za razvoj novih aplikacija sa malim brojem čvorova. Područje Zigbee mreža zbog široke potencijalne primene ostavlja mogućnost razvoja novih aplikacija pri čemu veliku pažnju treba posvetiti korišćenju efikasnijih i dugotrajnih autonomnih izvora.

ZAHVALNICA

Autor se iskreno zahvaljuje Institutu „Jožef Štefan“ u Ljubljani, odeljenje za telekomunikacije, za stručnu pomoć i omogućavanje neophodnih uslova za istraživanje u ovoj oblasti.

LITERATURA

- [1] IEEE 802.15.4-2003 Standard
- [2] Karl - Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks (Wiley, 2005)
- [3] Stojmenovic - Handbook of Sensor Networks - Algorithms and Architectures (Wiley, 2005)
- [4] ZigBee Alliance Tutorial, September-November 2005, www.zigbee.org
- [5] Baronti - Wireless Sensor Networks - A survey on the state of the art and the 802.15.4 and Zigbee Standard, Sciencedirect 2007.
- [6] Microchip Stack for the ZigBee Protocol, www.microchip.com
- [7] PICDEM Z Demonstration Kit User's Guide, www.microchip.com
- [8] MPLAB IDE User's Guide, www.microchip.com

ABSTRACT

Wireless Sensor Networks with their implementation present great potential to upgrade quality of life and environment. They are dominantly based on the IEEE 802.15.4 and Zigbee standard and present easy to install networks, which makes them mostly suitable for embedded systems, as an interface between man and his environment. Microchip PicdemZ development board is one of the tools used for learning principles of Zigbee communication and for developing new algorithms and solutions. Programming and debugging tools are provided using MPLAB IDE and supporting software.

ZigBee protokol za bežične senzorske mreže i PicdemZ razvojno okruženje

dipl. ing. Marko Trnavac