

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija

Sustavi za praćenje i vođenje procesa

IEEE 802.15.4

Davor Živko
Mbr: 0036385503
Industrijska elektronika

SADRŽAJ

UVOD.....	2
FIZIČKI SLOJ (PHY).....	3
Struktura paketa.....	4
MAC (MEDIA ACCESS) SLOJ.....	5
Struktura okvira.....	6
Becon okvir.....	6
Podatkovni okvir.....	6
Okvir za potvrdu prijema.....	7
MAC naredbeni okvir.....	7
SUČELJE PREMA VIŠIM SLOJEVIMA.....	8
PRIKLJUČIVANJE I ISKLJUČIVANJE UREĐAJA.....	9
PRIJENOS PODATAKA.....	9
SIGURNOST.....	11
Kontrola pristupa.....	11
Kodiranje podataka.....	11
Cjelovitost okvira (frame integrity).....	11
Osvježavanje sekvence.....	11
Nesigurni način.....	12
IEEE 802.15.4 & ZIGBEE.....	12
LITERATURA.....	13

UVOD

IEEE 802.15.4 standard je specifikacija fizičkog (PHY) sloja i MAC sloja (medium access) za bežične osobne mreže (WPAN, wireless personal networks) koje koriste nisku razinu protoka podataka. Standard definira bežičnu komunikacijsku tehnologiju čije glavne karakteristike su: niska složenost, niska cijena i niska potrošnja energije. Ta tehnologija je namijenjena za primjenu u takvim aplikacijama kao što su: bežično mjerenje i nadgledanje, upravljanje osvjetljenjima, alarmima, detektorima pokreta, termostatima, detektorima dima itd.

IEEE 802.15.4 standard koristi metodu direktnog raspršenja spektra (DSSS, direct sequence spread spectrum) u tri frekvencijska područja, te pruža mogućnost prijenosa podataka brzinama od 20, 40 i 250 Kb/s. Tri frekvencijska područja se koriste kako bi se omogućilo fleksibilnost u razvoju aplikacija na svjetskoj razini. Standard također koristi metodu CSMA – CA (carrier sense multiple access with collision avoidance), kako bi izbjegli koliziju paketa u prijenosu podataka. Podržava razne topologije mreže, kao što su: zvjezdasta (star) i od točke do točke (peer to peer). Moguće su dvije vrste uređaja u mreži: uređaji sa punom funkcionalnošću (FFD) i uređaji sa smjenjom funkcionalnošću (RFD). FFD uređaji mogu biti mrežni koordinatori. Oni implementiraju cijeli protokolni slog (protocol stack). S druge strane, RFD uređaji su uređaji koji imaju implementirani minimalni dio sloga, nužan samo za komunikaciju. RFD uređaji se obično koriste kao " vanjski " čvorovi mreže (senzori itd.).

S ciljem produženje životnog vijeka baterije, standard dopušta nekim uređajima u mreži da isključe i prijamnik i odašiljač. Vrijeme njihove neaktivnosti može iznositi i preko 99% cijelog njihovog operativnog vremena. Standard također definira, kao opciju, 128 – bitno kodiranje putem AES algoritma. Udaljenost na kojoj je moguća komunikacija se kreće od 10 do 75 metara, ovisno o izlaznoj snazi odašiljača i okolini u kojoj se mreža nalazi.

FIZIČKI SLOJ (PHY)

Glavni zadatak fizičkog sloja je interakcija i kontrola radio odašiljača i prijammnika. Sloj također mjeri energetske razine unutar određenog kanala i tzv. indikaciju kvalitete veze (LQI, link quality indicator) za primljene pakete. Prije slanja paketa, PHY obavlja "procjenu oslobođenosti kanala" (CCA, clear channel assesment), kako bi utvrdio je li kanal zauzet. Ovaj sloj je zadužen za odašiljanje i primanje paketa na ispravnoj frekvenciji.

Fizički sloj može raditi u tri različita frekvencijska područja, uz različite brzine prijenosa podataka.

Frekvencijski pojas (MHz)	Brzina prijenosa (Kbps)	Broj kanala
868 – 868.6	20	1
902 - 928	40	10
2400 – 2483.5	250	16

Tablica 1. Frekvencijski pojasevi i brzine prijenosa

U tablici 1. su prikazani frekvencijski pojasi u kojima rade uređaji po IEEE 802.15.4 standardu, brzine prijenosa podataka u tim pojasevima, te broj kanala.

Frekvencijski pojasi na 2.4 GHz i 868 MHz su tzv. ISM pojasevi (industrial, scientific, medical) i njihovo korištenje je moguće bez posebnih dozvola nadležnih tijela.

Frekvencijski pojas (MHz)	Kanali	Širina kanala (MHz)	Modulacija
868 – 868.6	0	0.6	BPSK
902 – 928	1 – 10	2	BPSK
2400 – 2483.5	11 – 27	5	O – QPSK

Tablica 2. Frekvencijski pojasevi, širine kanala i modulacije

U tablici 2. su prikazane širine kanala u pojedinim pojasevima, te modulacije radio signala koje se koriste: BPSK (bit phase shifting key) i O – QPSK (ortogonal quad bit phase shifting key).

Postoji jedan dodatan uvjet koji uređaji moraju zadovoljiti, a to je da, ukoliko ne rade na pojasu od 2.4 GHz, moraju raditi na oba dva druga pojasa.

STRUKTURA PAKETA

Struktura paketa fizičkog sloja je prikazana na tablici 3. Najmanje značajan bit (LSB) je prikazan krajnje lijevo.

Bytes: 4	Bytes: 1	Bytes: 1		Bytes: variable
Preamble	Start of frame delimiter (SFD)	Frame length (7 bits)	Reserved (1 bit)	Payload
SHR		PHR		PHY payload

Tablica 3. Struktura paketa PHY sloja

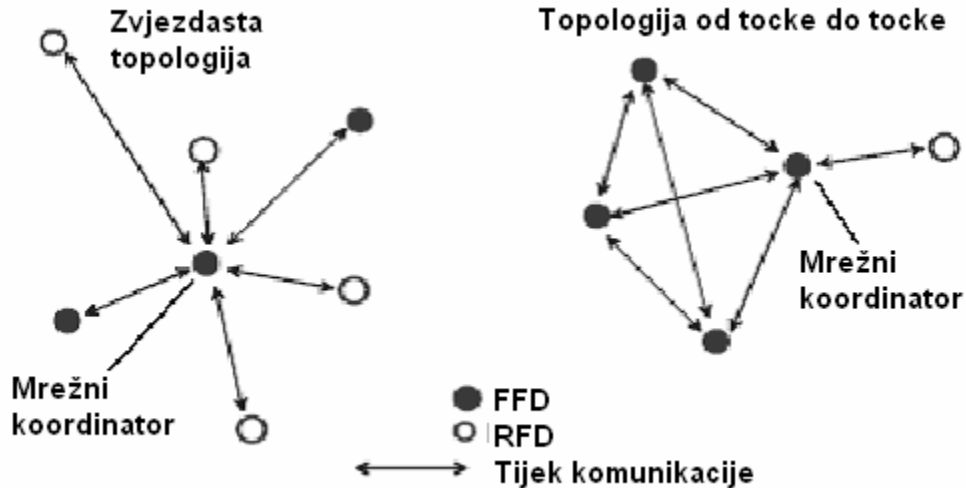
Sinhronizacijsko zaglavlje (SHR) dopušta primopredajnicima dvaju uređaja da se sinhroniziraju. " Preamble " se sastoji od 32 bita, sva postavljena u binarnu nulu, omogućujući sinhronizaciju bita. Početak SFD – a se sastoji od 8 bita (11100101), i signalizira početak okvira (frame).

PHY zaglavlje (PHR) sadrži dužinu " sadržaja " (payload). Dužine paketa od 4 – 6 i 6 – 7 bajtova su rezervirane. Sadržaj tj. payload sadrži paket MAC sloja.

MAC (MEDIA ACCESS) SLOJ

MAC sloj ima nekoliko zadataka. Odgovoran je za generiranje i sinhronizaciju na " network beacon ". Sloj ostvaruje pouzdanu vezu između dvaju uređaja. Također, u njemu su ugrađeni određeni sigurnosni mehanizmi koji se mogu koristiti pri prijenosu. Sloj održava GTS mehanizam (guaranteed time slots), koji se primjenjuje kod uređaja koji zahtijevaju konstantnu brzinu prijenosa podataka i konstantna kašnjenja u prijenosu.

MAC sloj podržava stvaranje dvije vrste mrežnih topologija: zvjezdasta (star) i od točke do točke (peer to peer). Kod zvjezdaste topologije, sva komunikacija je kontrolirana od strane mrežnog koordinatora (PAN coordinator). Svaki FFD uređaj može kreirati svoju mrežu ukoliko postane PAN coordinator. Topologija " od točke do točke " omogućuje mnogo kompliciranije načine komunikacije. Bilo koji FFD uređaj može komunicirati s bilo kojim drugim FFD uređajem. U ovu topologiju je moguće implementirati " routing " protokol. Uređaji koji imaju reduciranu funkcionalnost (RFD), mogu također sudjelovati u mreži, ali samo kao rubni uređaji mreže. Oni ne mogu prenositi pakete niti sudjelovati u " routing " mehanizmu.



Slika 1. Prikaz topologija mreže

Na slici 1. su prikazane razne strukture mreže, vrste uređaja i smjerovi komunikacija koji su mogući.

STRUKTURA OKVIRA (FRAME)

MAC sloj definira 4 različita tipa okvira:

- " becon " okvir
- podatkovni okvir (data frame)
- okvir za potvrdu prijema (acknowledgement frame)
- MAC naredbeni okvir (MAC command frame)

Sva 4 tipa okvira su objašnjena u daljnjem tekstu.

BECON OKVIR

Format becon okvira je prikazan na tablici 4. Najmanje značajan bit (LSB) je prikazan krajnje lijevo. Ovi okviri se periodički odašilju od strane mrežnog koordinatora i koriste se za identificiranje mreže i sinhronizaciju na mrežu uređaja koji još nisu priključeni na nju.

Octets: 2	1	4/10	2	variable	variable	variable	2
Frame control	Sequence number	Addressing fields	Superframe specification	GTS fields	Pending address fields	Beacon payload	FCS
MHR			MAC payload				MFR

Tablica 4. Struktura becon okvira

PODATKOVNI OKVIR

U tablici 5. prikazana je struktura podatkovnog okvira. Najmanje značajan bit (LSB) je prikazan krajnje lijevo. " Payload " sadrži pakete viših slojeva.

Octets: 2	1	(see 7.2.2.2.1)	variable	2
Frame control	Sequence number	Addressing fields	Data payload	FCS
MHR			MAC payload	MFR

Tablica 5. Struktura podatkovnog okvira

OKVIR ZA POTVRDU PRIJEMA

Format ovog okvira je prikazan u tablici 6. Najmanje značajan bit (LSB) je prikazan krajnje lijevo. Okvir za potvrdu prijema se koristi, kako mu i ime kaze, za potvrdu uspješnog prijema okvira. Njegova uporaba u mreži je opcionalna.

Octets: 2	1	2
Frame control	Sequence number	FCS
MHR		MFR

Tablica 6. Struktura okvira za potvrdu prijema

MAC NAREDBENI OKVIR

Format naredbenog okvira je prikazan u tablici 7. Najmanje značajan bit (LSB) je prikazan krajnje lijevo. MAC naredbeni okvir sadrži polje za identifikaciju tipa naredbenog okvira i naredbene podatke, zvane " command payload ". Ovaj okvir se koristi za komunikaciju i pregovaranje između MAC entiteta na različitim uređajima.

Octets: 2	1	(see 7.2.2.4.1)	1	variable	2
Frame control	Sequence number	Addressing fields	Command frame identifier	Command payload	FCS
MHR			MAC payload		MFR

Tablica 7. Struktura MAC naredbenog okvira

Tipovi MAC naredbenih okvira su:

Broj naredbenog okvira	Ime naredbe
0x01	Association request
0x02	Association response
0x03	Disassociation notification
0x04	Data request
0x05	PAN ID Conflict Notification
0x06	Orphan Notification
0x07	Beacon Request
0x08	Coordinator Realignment
0x09	GTS Request
0x0a – 0xff	Reserved

Tablica 8. Tipovi MAC komandnih okvira

SUČELJE PREMA VIŠIM SLOJEVIMA

U prijašnjem tekstu su objašnjeni formati okvira kako se oni prenose zrakom. Sad ćemo objasniti MAC sučelje prema višim slojevima protokola. Ovo sučelje nije sučelje koje je direktno ponuđeno programeru, već je to niz rudimentarnih pravila koja objašnjavaju kakva vrsta podataka se mora izmjenjivati između MAC sloja i viših slojeva i tekstualni opis kada i kako se neko pravilo koristi. Većina tih pravila može biti lako prevedena i implementirana kao biblioteka funkcija u softverskoj implementaciji MAC sloja. Potpuna specifikacija svih pravila može se naći u službenoj verziji IEEE 802.15.4 standarda.

PRIKLJUČIVANJE I ISKLJUČIVANJE UREĐAJA

Prije nego što se pokušamo priključiti na uređaj, tj. prije nego ga pokušamo priključiti na mrežu, uređaj mora obaviti reset MAC sloja, koristeći MLME – RESET.request naredbu, i zatim obaviti uspješno pretraživanje komunikacijskih radio kanala. Rezultati tog pretraživanja se koriste kako bi se izabrala pogodna mreža (PAN).

Prvi uređaj šalje MLME – ASSOCIATE.request naredbu. Ukoliko je odgovor uspješan, uređaj prima kratku adresu, koju će koristiti u budućoj komunikaciji. Ukoliko, pak, mrežni koordinator nije imao dovoljno resursa da prihvati ovu novu vezu, vratit će uređaju odgovor, indicirajući mu da je pokušaj priključenja neuspješan.

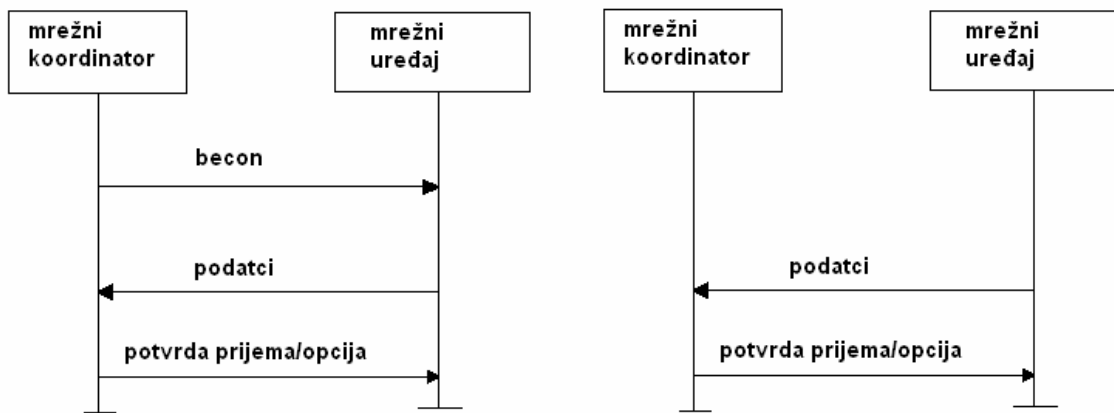
Isključenje počinje korištenjem MLME – DISASSOCIATE.request naredbe. Priključeni uređaj će isključiti se, uklanjajući sve podatke o mreži. Mrežni koordinator će isključiti taj uređaj uklanjajući sve podatke o tom uređaju.

PRIJENOS PODATAKA

Standard definira tri različita scenarija u komunikaciji i prijenosu podataka:

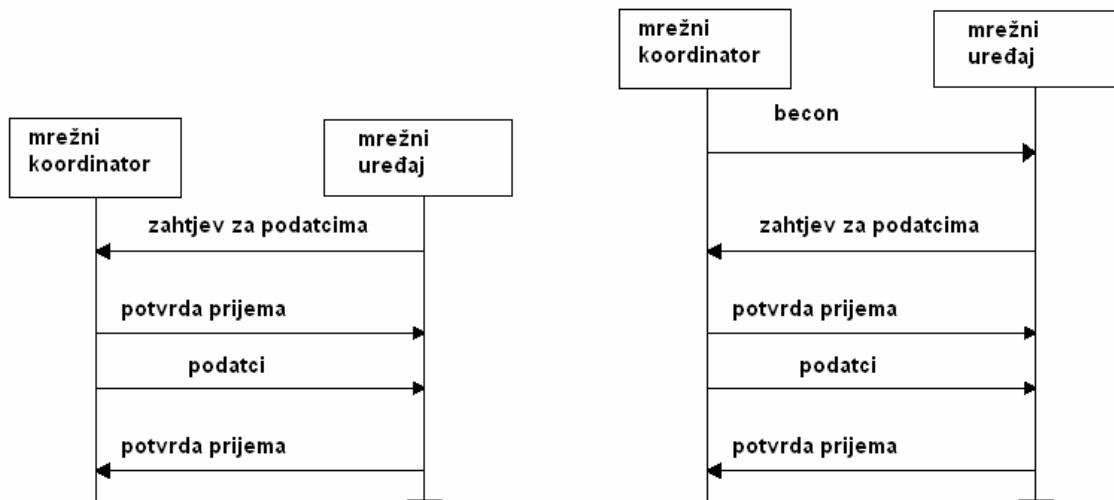
- prijenos podataka od uređaja mrežnom koordinatoru
- prijenos podataka od mrežnog koordinatora uređaju
- prijenos podataka od uređaja do uređaja

U prvom slučaju, uređaj (RFD ili FFD) odašilje podatke mrežnom koordinatoru. Ukoliko je omogućen način emitiranja " beacon broadcast ", uređaj koristi taj način kako bi se sinhronizirao na koordinatora. Ako " beacon broadcast " nije omogućen, uređaj jednostavno odmah odašilje podatke. Podatci se primaju i opcionalno se uređaju javlja potvrda prijema (data acknowledgement, acknowledgement packet).



Slika 2. Prijenos podataka od uređaja, koordinatoru

U drugom slučaju koordinador odašilje podatke uređaju. Ukoliko je "network becon" omogućen, koordinador signalizira uređaju kako ima podatke za njega. Uređaj periodički provjerava "becon broadcast", i ukoliko postoje podatci za prijenos, šalje zahtjev za prijenosom i prima podatke od mrežnog koordinadora. Ako "becon broadcast" nije omogućen, uređaj mora periodički slati zahtjeve za prijenosom podataka, kako bi provjerio ima li nekih podataka koji čekaju na prijenos. Potvrda prijema postoji kao opcija.



Slika 3. prijenos podataka od koordinadora, uređaju

U trećem slučaju, svaki uređaj može komunicirati sa bilo kojim drugim uređajem u mreži. Koristi se mrežna topologija " od točke do točke " (peer to peer).

SIGURNOST

Postoji nekoliko razina osiguravanja sigurnog i pouzdanog prijenosa podataka definiranih ovim standardom. Spomenut ćemo načine osiguravanja sigurnog prijenosa koje omogućavaju specifikacije MAC sloja.

KONTROLA PRISTUPA

Ukoliko je omogućena kontrola pristupa, uređaj održava ACL (Access Control List), koji sadrži sve uređaje s kojim uređaj može/hoće komunicirati. Ako neki uređaj hoće komunicirati sa drugim uređajem, no ne nalazi se na njegovoj ACL listi, pokušaj komunikacije će biti ignoriran.

KODIRANJE PODATAKA

Mehanizam kodiranja podataka koristi simetričnu šifru kako bi zaštitio podatke. Tako podatke može čitati samo ona strana koja ima isti enkripcijski ključ.

CJELOVITOST OKVIRA (FRAME INTEGRITY)

Cjelovitost okvira uvodi tzv. MIC (message integrity code), koji je namijenjen čuvanju poruka od mijenjanja. Naime, netko bez enkripcijskog ključa bi mogao pokušati mijenjati poruku, sa ciljem neovlaštenog korištenja podataka i mreže. Cjelovitost okvira također osigurava da su podatci koji su primljeni, primljeni od strane uređaja sa ispravnim enkripcijskim ključem.

OSVJEŽAVANJE SEKVENCE

Ovaj sigurnosni mehanizam održava zadnji korišteni broj sekvence (freshness value), kako bi mogao detektirati i odbaciti okvire koji se ponovljeni emitiraju. Ukoliko vrijednost sekvence primljenog paketa nije novija od zadnje poznate vrijednosti, podatci se odbacuju.

NESIGURNI NAČIN RADA

Postoji mogućnost da uređaji u mreži ne koriste nikakve sigurnosne mehanizme definirane standardom.

IEEE 802.15.4 & ZIGBEE

Zigbee Alliance je neprofitno udruženje većeg broja kompanija iz područja elektronike koji su se udružili sa ciljem razvoja standarda za bežične mreže, koje bi karakteriziralo: niska brzina prijenosa podataka, mala složenost standarda, jednostavna implementacija standarda u uređaje, mala količina podataka koja bi se prenosila, niski " duty cycle " uređaja te veoma niska potrošnja, koja bi omogućila dugotrajni rad uređaja u mreži bez potrebe za mijenjanjem baterija ili nadopunjavanjem baterija vanjskim izvorima energije (npr. solarne ćelije).

Naime, uočeno je iz ispitivanja tržišta da postoji potreba za ovakvim tipom mreža u industrijskim mrežama, mjerenjima parametara automatskih procesa, daljinskoj senzorici, potrošačkoj elektronici (PC periferije, igračke...), alarmnim sustavima, detekciji pokreta, mjerenja temperature itd. Također je shvaćeno kako ne postoji komercijalno rješenje koje bi zadovoljavalo navedene uvjete, te se krenulo u razvoj novog protokola.

Kako je u, otprilike isto vrijeme, razvijen i donesen IEEE 802.15.4 standard koji zadovoljava sve uvjete, ZigBee Alliance i IEEE su se udružili, te je ZigBee postao komercijalni naziv za tehnologiju koja je standardizirana IEEE 802.15.4 standardom.

Dakle, IEEE 802.15.4 standardom definirana su donja dva sloja protokolnog stoga (PHY i MAC), koja su pobliže objašnjena u gornjem tekstu. ZigBee protokolom se definira cijeli protokloni stog. Protokol se razvija od strane ZigBee Alliance-a, koji razvija razne profile, specifikacije i proširenja, ovisno o željenim aplikacijama koje će se razvijati za komercijalne upotrebe. No sva proširenja, profili i cijeli protokol se temelji na IEEE 802.15.4 standardu i njime definiranim PHY i MAC slojevima.

LITERATURA

1. IEEE 802.15 WPAN Task Group 4,
<http://grouper.ieee.org/groups/802/157pub/TG4.html>
2. ZigBee Alliance, frequently asked questions,
<http://zigbee.com/about/faqs/index.asp>
3. ZigBee Alliance official website, <http://www.zigbee.com>
4. Patrick Kinney: *ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works* , Communications Design Conference, October 2003
5. Venkat Bahl: *ZigBee Overview4.pdf*
6. Jon Adams: *Designing with 802.15.4 and Zigbee*, Industrial Wireless Applications Summit, San Diego, March 2004.