

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA  
ZAVOD ZA ELEKTRONIČKE SUSTAVE I OBRADBU INFORMACIJA

Seminarski rad iz kolegija  
„Sustavi za praćenje i vođenje procesa“

## **ZigBee**

White paper

Andro Bačan  
0036397303  
4.INE

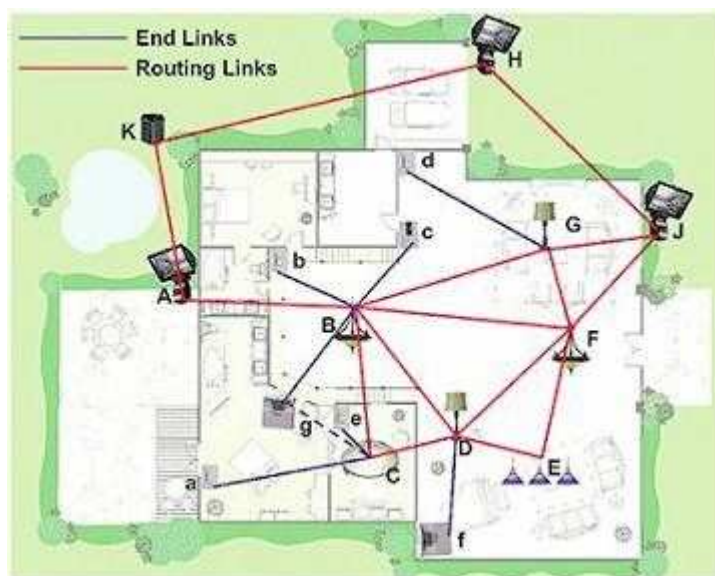
Zagreb, 2006

## Sadržaj

1	Ukratko – čemu ZigBee .....	- 1 -
2	Što je ZigBee?.....	- 3 -
3	Kako ZigBee radi? .....	- 5 -
3.1	Specifičnosti fizičkog sloja .....	- 6 -
3.2	Specifičnosti sloja za pristup mediju .....	- 7 -
3.3	Specifičnosti mrežnog sloja .....	- 7 -
3.4	Uspostavljanje veze – mreže sa mrežnom zrakom .....	- 7 -
3.4.1	Uključivanje koordinatora .....	- 8 -
3.4.2	Dodavanje čvora (krajnjeg uređaja).....	- 8 -
3.4.3	Komunikacija unutar mreže.....	- 10 -
4	Primjene ZigBee.....	- 11 -
4.1	Senzorske mreže .....	- 11 -
4.2	Automatizacija objekata.....	- 12 -
4.3	Industrijske komunikacije.....	- 13 -

## 1 Ukratko – čemu ZigBee

Živimo u svijetu gdje sve više upotrebljavamo upravljanje nekim uređaji, bilo zato jer nam je to neophodno, bilo zato jer time povećavamo svoj komoditet. Daljinsko zaključavanje automobila, daljinsko upravljanje garažnih vrata i rampi, daljinski uređaji za uređaje zabavne elektonike samo su neki od češće upotrebljivanih uređaja koje koristimo. Također, pokazujemo potrebu za bežičnim periferijama za osobno računalo: miš, tipkovnica. Ali, to nije sve. Tehnologija senzorskih mreža je već prisutna: detektori požara, mreže za praćenje ugroženih životinjskih vrsta, mreže za praćenje zdravlja velikih građevnih objekata su već stvarnost. Što je zajedničko uređajima koje običan čovjek svakodnevno čak i nesavjesno više puta upotrebljava i senzorskim mrežama koje u ključnom trenutku mogu spasiti i matrijalnu i ljudsku vrijednost? Pa, u prvom redu, potreba za komuniciranjem. Naravno, takve mreže imaju specifične uvjete, kao što je niska cijena i dugotrajan i pouzdan rad uređaja. Uređaji u tim mrežama sasvim sigurno ne mogu raditi bez napajanja, a upravo je napajanje kritična stvar: često je, zbog dimenzija uređaja, potrebno neku bateriju svesti na što je moguće manji volumen.

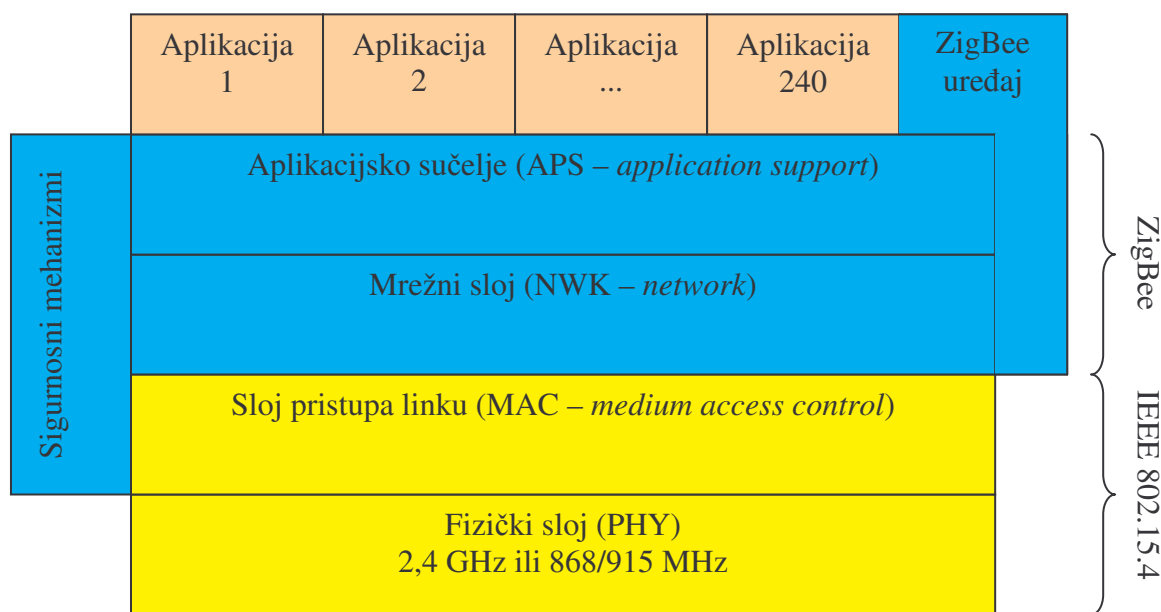


**Slika 1.1** Primjer "pametne kuće" gdje pojedini uređaji zathvejavaju komunikaciju jedni između drugih. Radi jednostavnosti i jeftinoće izvedbe, potrebno je da komunikacija u takvim uređajima bude bežična. Upravo takva, bežična komunikacija je ogromni potrošač energije: za prijenos samo jednoga bita preko radio valova, potrebno je onoliko energije koliko jednome mikrokontroleru za obavljanje 3000 instrukcija. Iz ovoga se da zaključiti zašto je optimiranje baš komunikacije bitna stvar.

ZigBee je protokol koji zadovoljava navedene uvjete: nisku cijenu uređaja, vrlo malu potrošnju, te pouzdanost kao i jednostavnu instalaciju i održavanje, naravno, iz razloga jer je razvijen baš u svrhu rada pod takvim uvjetima. Mogućnosti upotrebe ZigBee-a su brojne: automatizacija zgrada, sigurnosni sustavi u kući, senzorske mreže, industrijske mreže, daljinska mjerenja te povezivanje raznih periferija za osobno računalo su samo neke od njih.

## 2 Što je ZigBee?

ZigBee je mrežni protokol namijenjen bežičnim privatne mreže sa malom potrošnjom energije kao što su senzorske mreže te mreže za kontrolu, nadzor ili upravljanje. Temelje ZigBee je IEEE specifikacija 802.15.4 za bežične privatne mreže (WPAN – *wireless personal area networks*) sa malom propusnošću. Ta specifikacija ne određuje samo malu propusnost mreže, već i malu potrošnju energije te malu složenost, između ostalih. Propusnost je ograničena na 250 kbps na 2,4 GHz području, 20 kbps na 868 MHz (Europa) i 40 kbps na 915 MHz (Sjeverna Amerika i Australija) tzv. ISM (*industrial, scientific and medical*) frekvencijskom području. ZigBee je, kao nadogradnja na IEEE specifikaciju, izdala udruga ZigBee Alliance u kojoj su vodeći svjetski proizvođači. Slika 2.1 prikazuje vezu između IEEE 802.15.4 i ZigBee, tzv. ZigBee protokolarni stog.

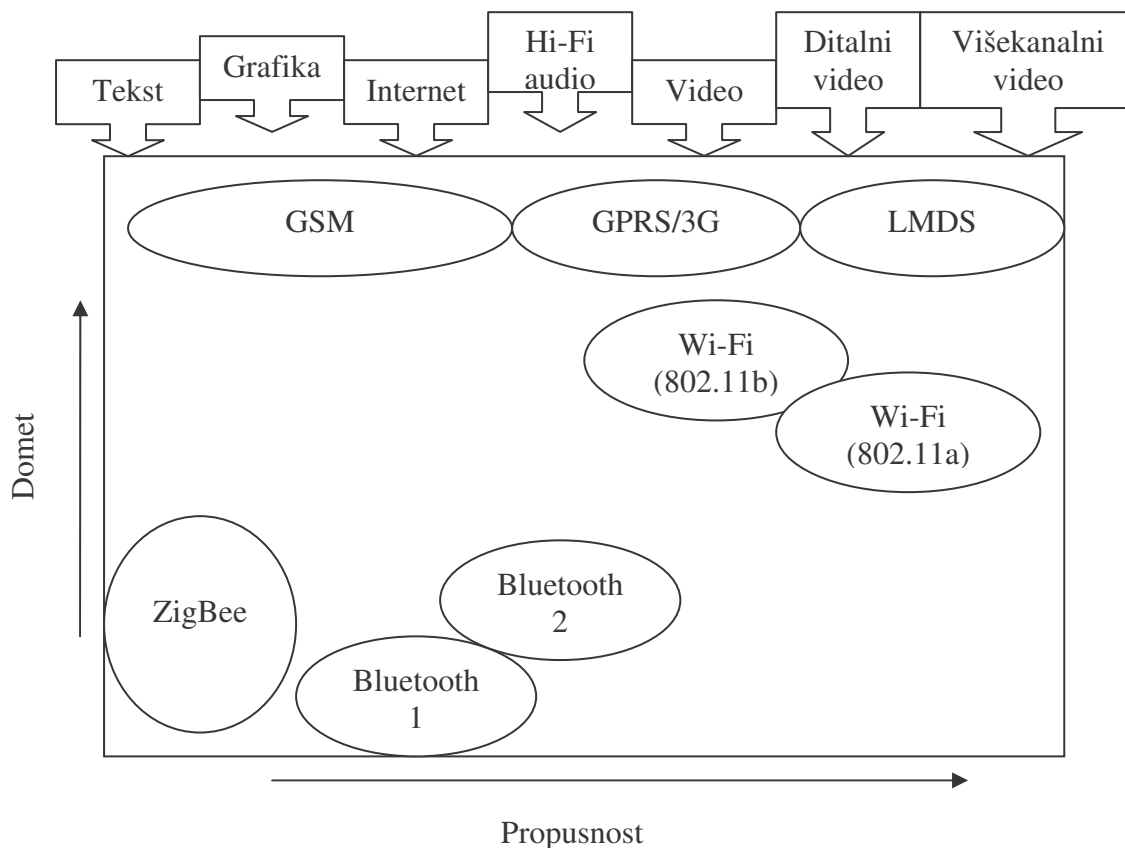


Slika 2.1 ZigBee protokolarni stog

Kao što je vidljivo sa slike, ZigBee protokolarni stog je veoma jednostvan, te se djelomično temelji na OSI (*open system interconnect*) modelu. IEEE je definirao fizički i sloj pristupa linku, koji određuju propusnost, frekvencije rada te tehniku modulacije. Na fizičkom sloju su definirana dva tipa uređaja: FFD (*full functional device*) i RFD (*reduced functional device*). Mrežni sloj i aplikacijsko sučelje je razvila udruga ZigBee Alliance, koji uključivaju i sigurnosne mehanizme, te ZigBee uređaj (ZDO – *ZigBee Device Object*). Ova

dva specificiraju postavljanje mreže, odnos između pojedinih uređaja u mreži. Aplikacijski sloj je ostavljen na korištenje korisniku, te može sadržavati do 240 raznih aplikacija.

Slika 2.2 Usporedba komunikacijskih protokola temeljenih na IEEE standardima prikazuje smještaj pojedinih komunikacijskih protokola u prostoru koji je određen sa dvije dimenzije: dometom i propusnošću. U usporedbi sa ostalim protokolima, vidi se gdje je ZigBee smješten.

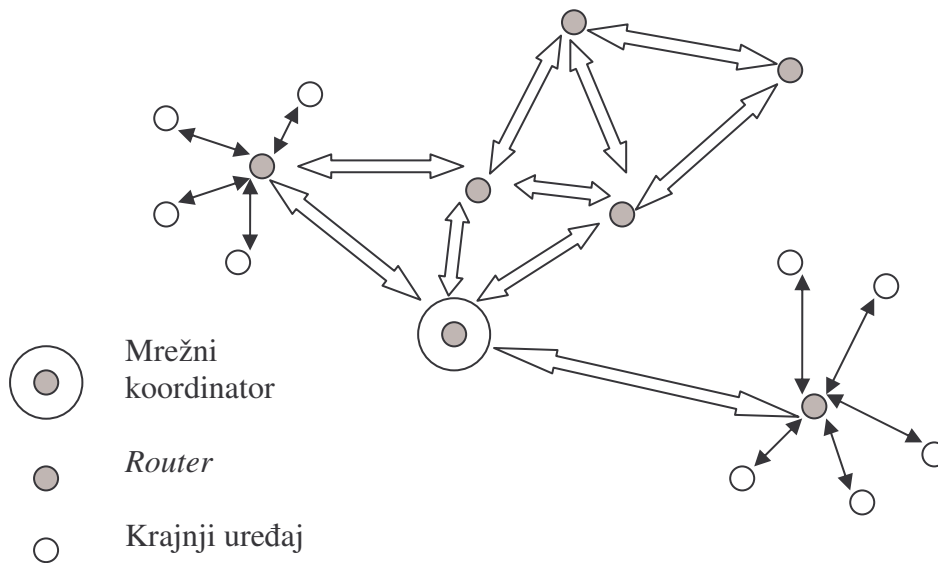


**Slika 2.2 Usporedba komunikacijskih protokola temeljenih na IEEE standardima**

Imajući na umu da i Bluetooth i Wi-Fi koriste 2,4 GHz područje za kounikaciju, nameće se pitanje da li ZigBee može raditi u tom području, bez ometanja između protokola. Osim što koristi DSSS (*direct sequence spread spectrum*) tehniku moduliranja koja je različita od tehnika moduliranja Bluetootha i Wi-Fi-a, ZigBee u tom području koristi 16 kanala širine 5 MHz. Neki od njih se ne poklapaju sa kanalima Bluetootha i Wi-Fi-a, te se u slučaju pojave interferencije automatski mijenja kanal.

### 3 Kako ZigBee radi?

ZigBee koristi digitalne odašiljače i prijemnike za komuniciranje između uređaja. Tipična mreža se sastoji od tri vrste uređaja. Mrežni koordinatorski uređaj koji konfigurira mrežu te upravlja protokom podataka unutar nje. Svaka ZigBee mreža mora imati jednog koordinatorskog uređaja. Ostali uređaji mogu biti *routeri*, koji kao i koordinatorski uređaj moraju biti FFD, te krajnji uređaji, koji su tipično RFD. Slika 3.1 pokazuje jedan primjer ZigBee mreže.



Slika 3.1 Primjer ZigBee mreže

Slika pokazuje koncept topologije ZigBee mreže. Topologije koje su podržane su mreža (*mesh*), zvijezda (*star*) te kombinirana (*cluster tree*). Zvijezda topologija je korisna ukoliko se radi o malom broju uređaja na nekom prostoru, te mogu komunicirati isključivo sa jednim *routerom*. Takav skup čvorova može biti zaseban, ili preko *routera* mogu komunicirati sa ostatkom mreže, do mrežnog koordinatorskog uređaja. Topologija mreža omogućava više mogućih putova, te čak i u slučaju isključenja *routera* može naći alternativni put.

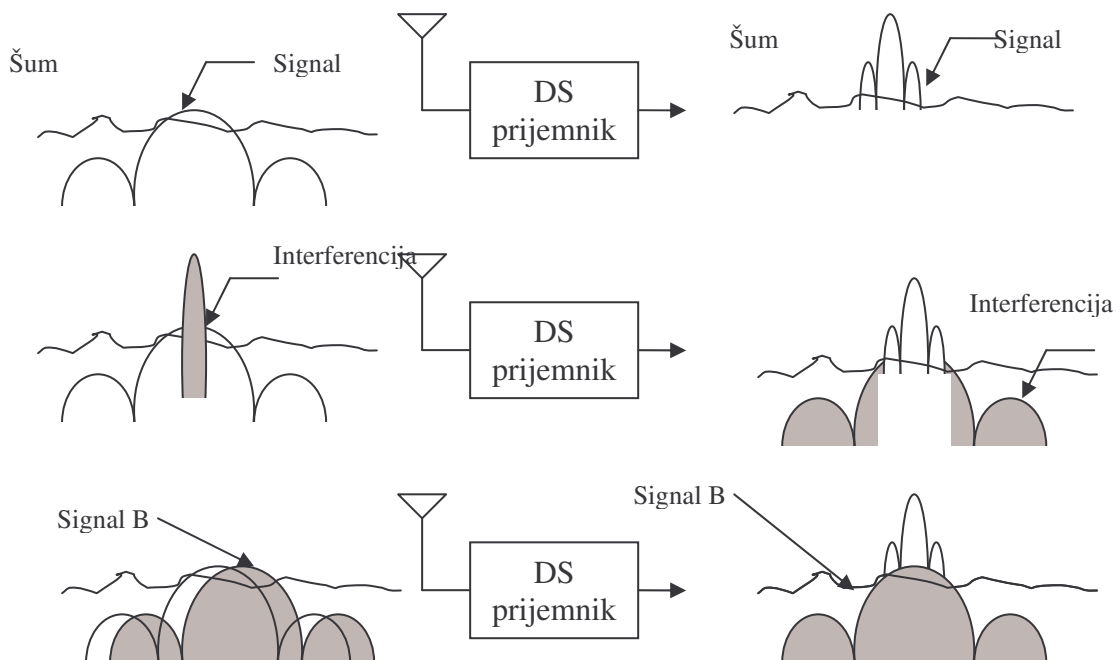
ZigBee podržava dva tipa komunikacije u mreži: komunikacija sa sinkronizacijom na mrežnu zraku (*beacon mode*) i bez mrežne zrake (*non beacon mode*). *Beacon mode* je potpuno kontrolirana komunikacija u kojoj svi uređaji imaju točno određeni period kada mogu komunicirati. U ovom načinu rada, koordinatorski uređaj povremeno pošalje mrežnu zraku i tako „probudi“ uređaje u mreži. Uređaj tada potvrdi ukoliko ima li podataka za slanje, pošalje ako ima, te se vrati natrag u spavanje. U *non beacon* načinu rada, je manje

koordinirana komunikacija, budući da svaki uređaj šalje podatke kada mu je to potrebno. Ovakav način komunikacije, osim što dopušta zagušenje medija, troši i više energije, budući da koordinator mora cijelo vrijeme biti uključen.

### 3.1 Specifičnosti fizičkog sloja

Kao što je već spomenuto, ZigBee koristi ISM područje koje je zagušeno sa signalima drugih mreža. Kako onda osigurati dobro odašiljanje i primanje signala, te izbjeći interferenciju sa ostalim mrežama? Odgovor se krije u postupku modulacije – raspršenje spektra direktnim postupkom – DSSS (*direct sequence spread spectrum*).

DSSS je tehnika modulacije koja se zasnima na ideji raspršenja spektra. Odašiljač će spektar korisnog signala raširiti, što je jednostavno radi množenjem podataka sa višestruko bržim (10:1) pseudoslučajnim nizom, te takvoga ga poslati u eter. Prijemnik, koji je namješten na istu frekvenciju kao i odašiljač, taj signal demodulira primjenom istog takvog niza. U tom slučaju, na prijemnikovoj strani se spektra korisnog signala suzi, dok se spektar ostalih, parazitnih signala rasprši po cijelom spektru (Slika 3.2). Time se postiže puno bolji odnos signal/šum (SNR – *signal to noise ratio*), te izvanredno postiskivanje preslušavanja susjednih kanala.



Slika 3.2 Princip rada DSSS-a



Frekvencijsko područje koje koristi ZigBee je podjeljeno na tri frekvencijska područja, od kojih je svaki podjeljen na određeni broj kanala, te su tim kanalima pridruženi redni brojevi.

Frekvencijsko područje (MHz)	Propusnost (Kbps)	Kanali	Širina kanala (MHz)	Modulacija
868 – 868,6	20	0	0,6	BPSK
902 – 928	40	1-10	2	BPSK
2400 – 2483,5	250	11-27	5	QPSK

Tablica 3-1 Frekvencijski pojasi i njihove karakteristike

Mrežni sloj se koristi i za indikaciju kvalitete veze (LQI – *link quality indicator*) te procjenu oslobođenosti kanala (CCA – *clear channel assesment*).

Zaglavlje paketa fizičkog sloja sastoji se od sinhronizacijskog i fizičkog zaglavlja.

4 bajta	1 bajt	1 bajt		
Preambula	Početak paketa (SFD)	Duljina paketa (7 bitova)	Rezervirano (1 bit)	Sadržaj viših slojeva
Sinhronizacijsko zaglavlje (SHD)		Fizičko zaglavlje (PHR)		

Slika 3.3 Paket fizičkog sloja

### 3.2 Specifičnosti sloja za pristup mediju

Sloj za pristup mediju (MAC – *medium access*) je sloj koji je odgovoran za generiranje i sinkronizaciju na mrežnu zraku, te za pouzdanu vezu između dva uređaja. MAC sloj također je zadužen za pravilnu topologiju mreže, pronalaženje optimalnih putova kod složenih mreža, te određivanje prioriteta uređaja: FFD ili RFD. Na MAC sloju su definirana četiri različita paketa: mrežna zraka, podatkovni paket, potvrda prijema i naredbeni paket.

### 3.3 Specifičnosti mrežnog sloja

Mrežni sloj je sloj koji je odgovoran za uspostavu mreže i ispravan rad mreže. Pod to se podrazumjeva uključivanje novog uređaja u mrežu, isključivanje uređaja iz mreže, otkrivanje susjednih mreže, dodjeljivanje ispravne adrese uređajima, dodjeljivanje adrese mreže te pronalaženje optimalnih putova poruke. Adrese mogu biti dugačke 8 ili 16 bita, te toliki adresni prostor ostavlja mjesta za preko 65000 uređaja u jednoj mreži.

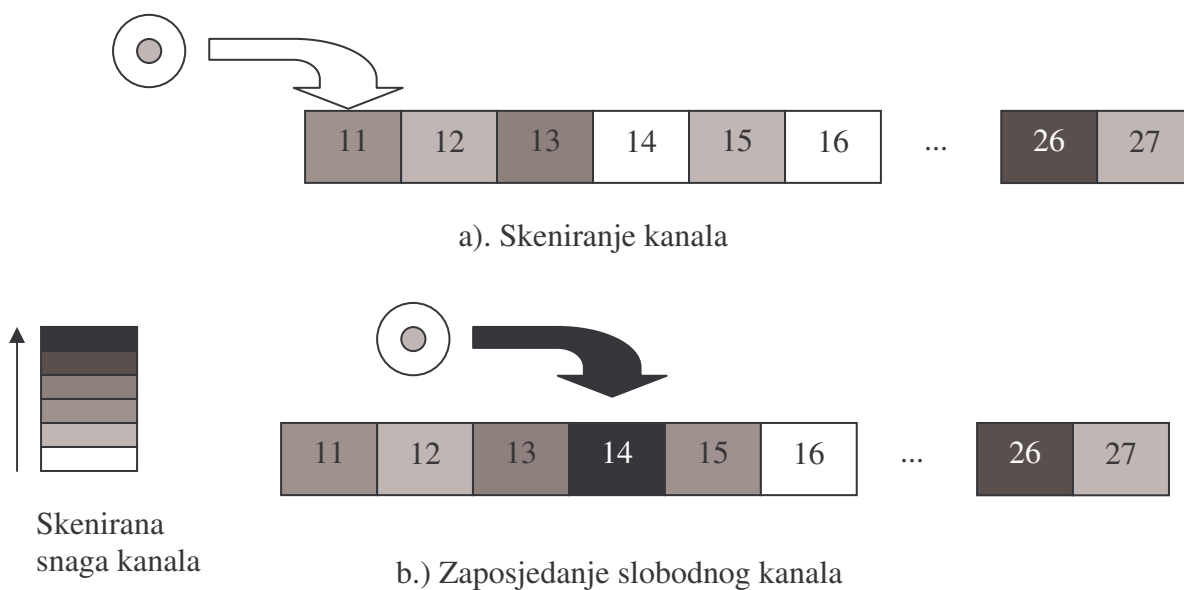
### 3.4 Uspostavljanje veze – mreže sa mrežnom zrakom

Kod mreža sa mrežnom zrakom, radi se uglavnom o mrežama koje su građene na zvijezda topologiji. Komunikacija između koordinatora i krajnjeg uređaja se odvija u samo jednom

malom vreneskom intervalu, dok su ostalo vrijeme isključeni radi smanjenja potrošnje energije. Odnos između vremena uključenosti i vremena između dva uključivanja se naziva radni omjer, te tipično iznosi od 1% do 0,01%.

### 3.4.1 Uključivanje koordinatora

Budući da u jednoj mreži mora postojati mrežni koordinators, nameće se logičan zaključak da će za uspostavu mreže biti nužno prvo uključivanje koordinatora. Prilikom uključivanja, koordinators će napraviti sljedeće:



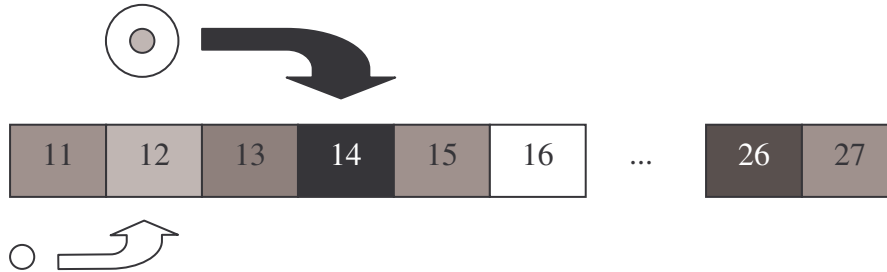
**Slika 3.4 Uključivanje koordinatora i uspostavljanje mreže**

- skenirati sve kanale na svome frekvencijskom pojasu, te utvrditi koji je najpogodniji za uspostavljanje mreže. Skeniranje se provodi tako da koordinators neko vrijeme osluškuje medij, mjereći razinu signala u njemu, te prema razinama signala zaposjeda kanal u kojem je izmjerena najmanja snaga, ili prvi slobodan.
- postaviti svoju adresu, te adresu mreže
- početi odašiljati mrežnu zraku točnom određenim periodom.

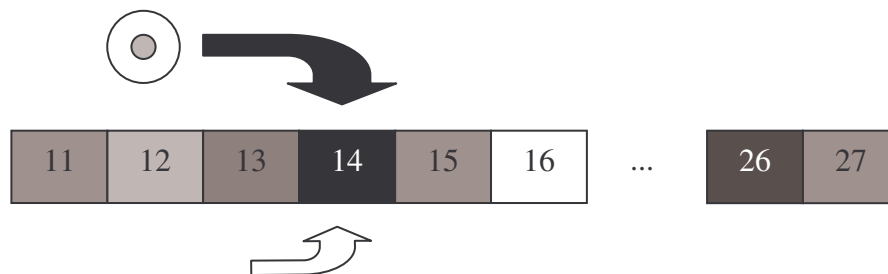
### 3.4.2 Dodavanje čvora (krajnjeg uređaja)

Nakon što je koordinators uspostavio mrežu, potrebno je tu mrežu „oživiti“ dodavanjem čvorova – krajnjih uređaja. Čim se krajnji uređaj uključi, on će početi skeniranje kanala na frekvencijskom području. Na svakom kanalu se zadrži točno koliko iznosi period slanja

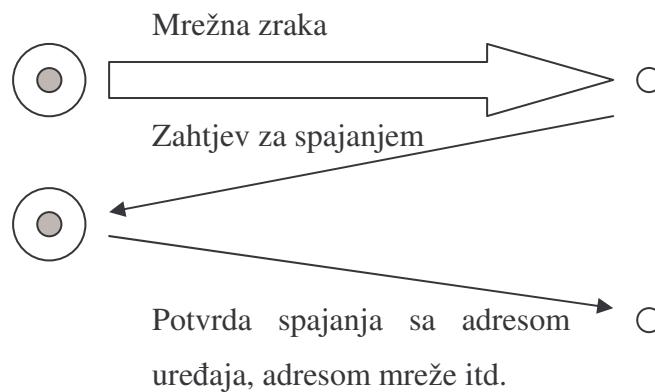
mrežne zrake. Ukoliko je uhvatio mrežnu zraku, koordinatorsu će poslati zahtjev za priključivanje u mrežu. Ukoliko smije biti uključen na mrežu, koordinatorsu će poslati naredbu za priključenje u mrežu, zajedno sa pridodjeljenom adresom.



a.) Uređaj skenira kanale



b.) Uređaj je na istom kanalu kao i koordinatorsu, čeka se mrežna zraka



c.) Priključivanje u mrežu

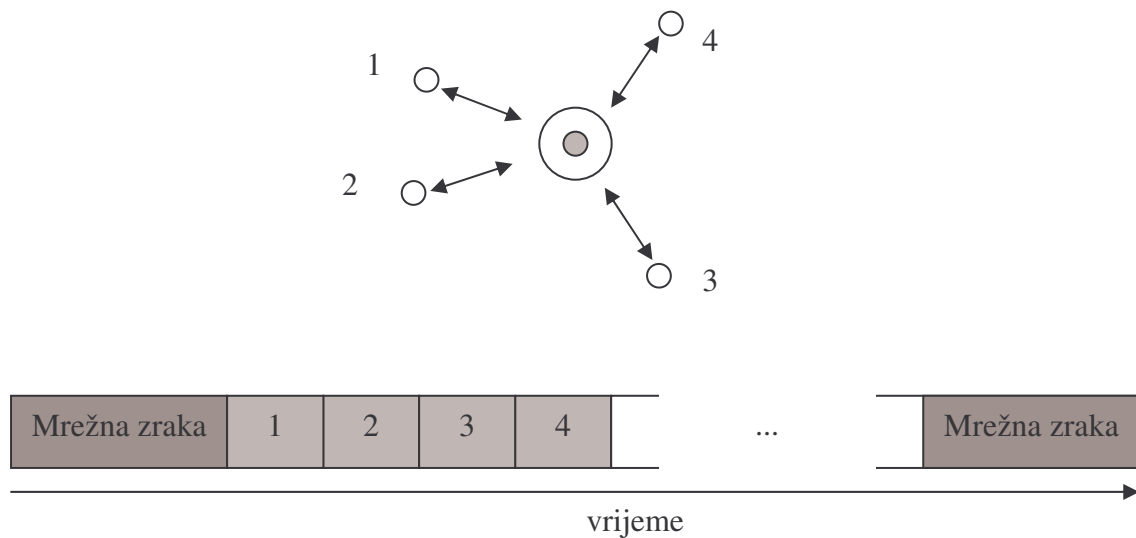


d.) Rezultirajuća topologija

Slika 3.5 Pridruživanje čvora mreži

### 3.4.3 Komunikacija unutar mreže

Komunikacija unutar mreže odvija se u unaprijed određenim vremenskim intervalima. Čvor (krajni uređaj) je neaktivan cijelo vrijeme osim kada mrežni koordinatork šalje mrežnu zraku. Nakon sinhronizacije na mrežnu zraku, čvor će u svome predefiniranom vremenskom intervalu poslati informacije koordinatork. Ukoliko je uključena potvrda prijema, koordinatork će na primljeni paket odgovoriti potvrdno. Komunikacija u drugom smjeru se odvija na istom principu: nakon sinhronizacije na mrežnu zraku, mrežni koordinatork će poslati uređaju podatke. Slika 3.6 Vremenski prikaz komuniciranja u mreži sa mrežnom zrakom prikazuje vremenski odnos kod komunikacije. Osjenčani dijelovi su vremenski periodu u kojima se komunicira unutar mreže. Jačina osjenčanosti predstavlja snagu izlaznog signala. Nakon mrežne zrake, komunikacija će se ostvariti prvo između čvora 1 i koordinatork, pa tako do zadnjeg uređaja u mreži, nakon čega se svi uređaji gase i čekaju ponovno sinkroniziranje na mrežnu zraku.



Slika 3.6 Vremenski prikaz komuniciranja u mreži sa mrežnom zrakom

## 4 Primjene ZigBeea

Kao što je već prije naglašeno, ZigBee nije razvijen za mreže u kojima je potreban veliki prijenos podataka, već sa mreže sa velikim brojem čvorova koje komuniciraju sa relativno malim brojem podataka. Podaci koji su šalju kroz mrežu su uglavnom neke informacije koje se mogu prikazati kao tekst, rijetko kada se šalje neki podatak koji sadrži sliku i slično.

### 4.1 Senzorske mreže

Senzorske mreže su skup autonomnih, najčešće inteligentnih mjernih pretvornika. Inteligentni pretvornik sam po sebi zahtjeva komunikaciju sa drugim uređajima. Takvu komunikaciju je najlakše ostvariti bežično, budući da će tada inteligentni mjerni pretvornik u pravom smislu riječi biti autonoman. Informacije koje se mogu poslati najčešće se sastoje od tek jedne ili nekoliko izmjerenih veličina, kao što su npr. temperatura, vlažnost, koncentracija nekih plinova ili su ti podaci čak i kompletno obrađeni unutar uređaja te se šalje samo konačni rezultat obrade. Procesi koji se mjere su sporopromjenjivi, tako da uzorkovanje frekvencijom od 1 Hz predstavlja naduzorkovanje. Uređaji za napajanje najčešće koriste energiju iz ambijenta, kao što je sunčeva, energija vibracija tla i termoelektičku energiju. Iz tih izvora mogu se dobiti malene količine energije, a i sama pohrana te energije predstavlja problem. Iz svega ovoga je vidljivo da protokol za komunikaciju u prvom redu treba imati što je moguće manju potrošnju energije, ne pretjeranu brzinu, ta da će veliki dio vremena provesti u tzv. „*sleep modeu*“ rada. Tu je i često veliki broj uređaja koji moraju komunicirati međusobno. Naravno, sve navedene zahtjeve zadovoljava ZigBee.

Slika 4.1 i Slika 4.2 prikazuju primjenu bežičnih senzorskih mreža za praćenje stanja okoliša.



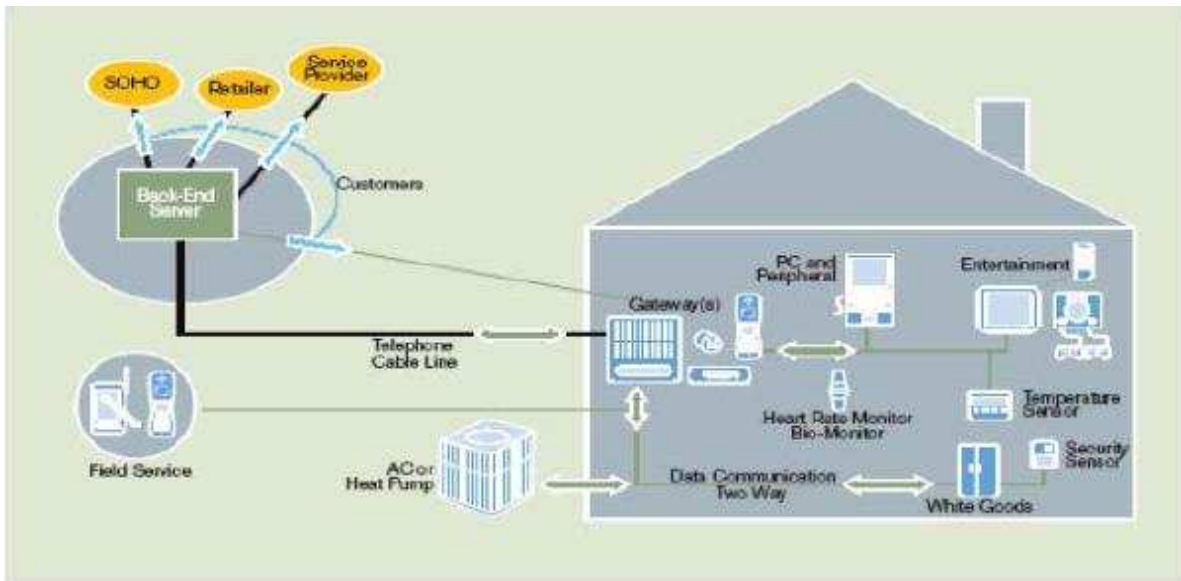
Slika 4.1 Senzorska mreža u okolišu



Slika 4.2 Čvor senzorske mreže za motrenje vinograda

## **4.2 Automatizacija objekata**

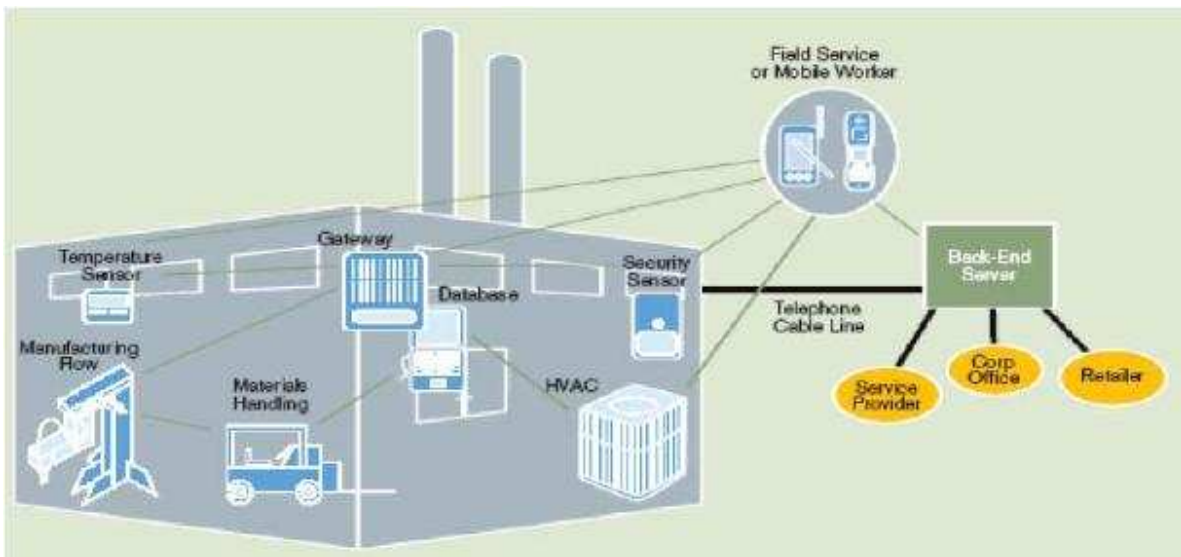
Automatizacija objekata je danas vidljiva na svakom koraku: stubišna rasvjeta, upravljanje garažnim vratima i rampama, upravljanje uređajima zabavne elektronike te sustavi za dojavu poplava i požara su sasvim normalana stvar. Ono što se od tih uređaja traži je jednostavna dojava ili samo upravljanje sa nekim objektima. I u ovom slučaju, ZigBee se nameće kao prihvatljivo rješenje za komunikaciju unutar takvih sustava, zbog svoje jednostavnosti.



Slika 4.3 Upotreba bežičnih komunikacija u upravljanu objekta

### 4.3 Industrijske komunikacije

Industrijski procesi najčešće zahtjevaju pouzdanu i dobru komunikaciju između uređaja. Do sada je na tržište izbačeno nekoliko rješenja (HART, CAN) koji su zadovoljavali industrijske uvjete. No, sva ta rješenja imaju jednu veliku manu: fiksno ožičenje mreže. ZigBee u ovom segmentu zadržava sva dobra svojstva prijašnjih protokola, ali uvodi jednu osobinu: za komuniciranje više nije potrebno vući žice, već samo postaviti primopredajnik.



Slika 4.4 Upotreba bežičnih komunikacija u industriji