

2010

[Naziv fakulteta]
[Ime i prezime mentora]
[Naziv predmeta]

Bežična automatizacija kućnih mreža

Seminarski rad

Bežične automatizovane kućne mreže sadrže ugrađene bežične (wireless) senzore i aktivatore koji omogućavaju monitoring i kontrolu za komfor kućnog korisnika i efikasno upravljanje domom. Ovaj članak se osvrće na glavna aktuelna i rješenja u nastajanju koja su pogodna za WHAN-ove, i koja uključuju: ZigBee, Z-Wave, INSTEON, Wavenis i tehnologiju baziranu na IP-u.

4/12/2010

Kandidati:
[Ime i prezime kandidata]



Sadržaj:

I. Uvod.....	3
II. Scenariji korišćenja i osnovne karakteristike WHAN-ova.....	4
III. Rješenja za WHAN-ove.....	7
1. ZigBee.....	9
2. Z-wave.....	12
3. INSTEON	13
4. Wavenis.....	13
5. Rješenja bazirana na IP-u	14
IV. DISKUSIJA	17
1. Fizički nivo	17
2. Nivo linka.....	18
3. Nivo mreže.....	19
4. End-to-end pouzdanost.....	20
5. Nivo aplikacije.....	20
6. Zaštita.....	21
7. Povezanost sa Internetom.....	21
8. Veličina implementacije	21
9. Standardizacija i osvajanje tržišta	22
V. Zaključak.....	23
Lista skraćenica:.....	24

Kratak pregled

Bežične automatizovane kućne mreže sadrže ugrađene bežične (wireless) senzore i aktivatore koji omogućavaju monitoring i kontrolu za komfor kućnog korisnika i efikasno upravljanje domom. Ovaj članak se osvrće na glavna aktuelna i rješenja u nastajanju koja su pogodna za WHAN-ove, i koja uključuju: ZigBee, Z-Wave, INSTEON, Wavenis i tehnologiju baziranu na IP-u.

I. Uvod

Posljednjih godina, mreže sa *wireless* senzorima i aktivatorima su uzele maha, stičući zavidnu pažnju od akademskog kruga, industrijskih i organizacija za razvijanje standarda. Jedna od primarnih oblasti primjene ove tehnologije je kućna automatizacija. *Wireless* kućne mreže za automatizaciju (WHAN) obezbjeđuju monitoring i kontrolu u cilju komfora kućnog korisnika i efikasnog upravljanja domom.

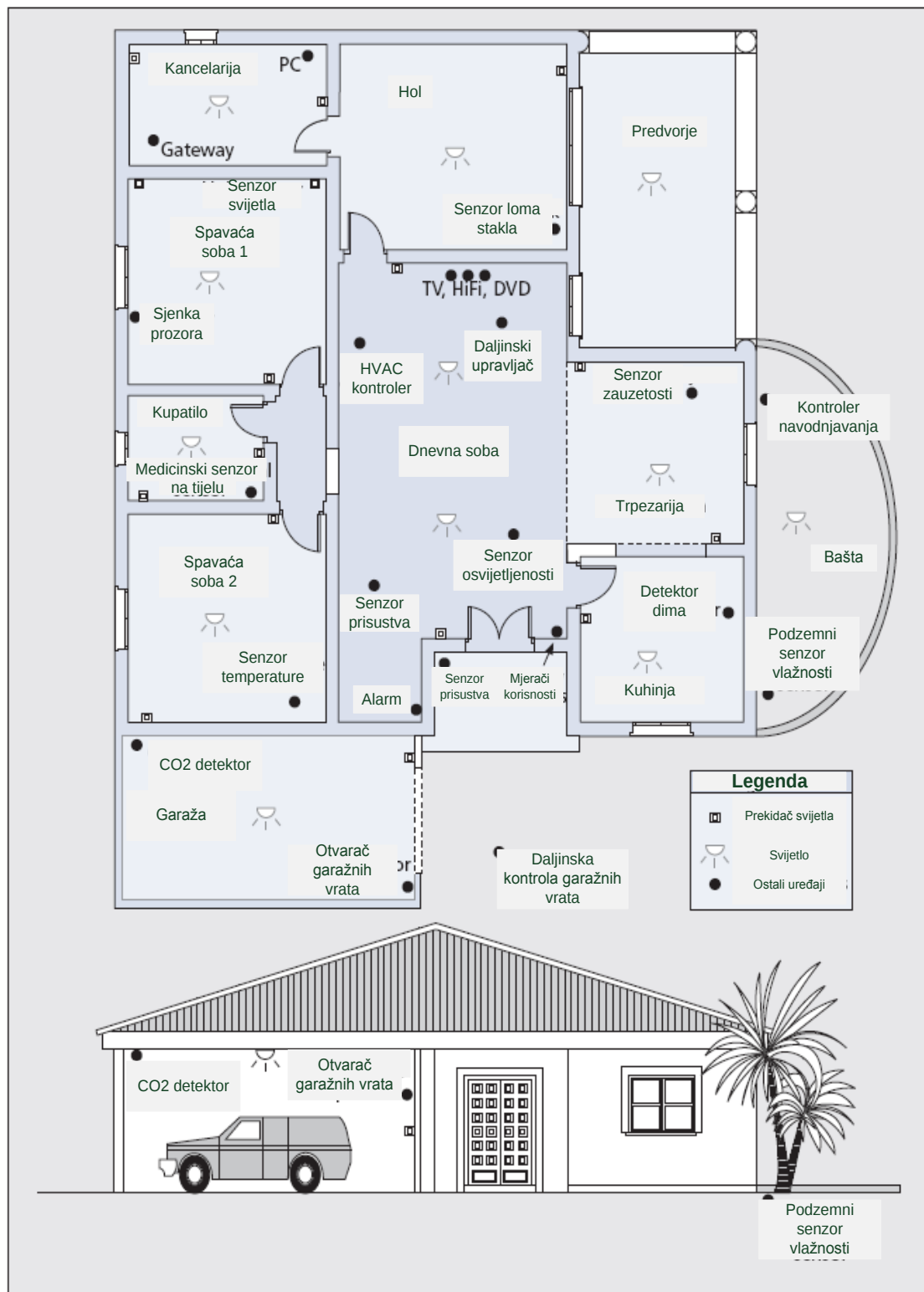
Jedna WHAN mreža se tipično sastoji od više tipova strogo ograničenih ugrađenih uređaja, sa mogućim baterijskim napajanjem i koji su opremljeni sa radiofrekvencijskim (RF) primopredajnicima malih snaga. Korišćenje RF komunikacije dozvoljava fleksibilno dodavanje ili odstranjivanje uređaja ka ili od mreže i smanjuje troškove instalacije, s obzirom na to da žična rješenja zahtijevaju cijevi ili kanale za kablove. Međutim, dinamičnost radio propagacije, ograničenja resursa i mobilnost nekih uređaja predstavljaju izazov za dizajn WHAN-a.

Neke organizacije i kompanije su razvile WHAN rješenja prema različitim arhitekturama i principima. Ovaj članak se osvrće na glavne trenutne i arhitekture i tehnologije u razvoju koje su usklađene ili odgovarajuće za WHAN-ove. Naredna cjelina ilustruje scenarija korišćenja i navodi osnovne karakteristike i zahtjeve za WHAN-ove. Potom predstavljamo pregled ZigBee, Z-Wave, INSTEON, Wavenis i pristupe bazirane na IP-u. Kasnije ćemo razmotriti ova rješenja sa osvrtom na WHAN zahtjeve uz tehničke i ne-tehničke kriterijume. Posljednje poglavlje je zaključak članka.

II. Scenariji korišćenja i osnovne karakteristike WHAN-ova

WHAN-ovi obezbjeđuju raznolike scenarije korišćenja, kao što je prikazano na Slici 1. Ispod je predstavljena omanja lista primjera.

- **Kontrola osvjetljenja:** Nova svjetlost se može kontrolisati sa bilo kojeg svič-a, što smanjuje potrebu za novim žičnim konekcijama. Svijetla se takođe mogu aktivirati kao odgovor na komandu zadatu daljinskim upravljačem. Dalje, mogu se automatski uključivati kada senzori prisustva i osvijetljenosti detektuju boravak ljudi u slabo osvijetljenoj prostoriji.
- **Daljinska kontrola:** Infracrvena tehnologija se koristi za bežičnu komunikaciju između daljinskog upravljača i uređaja, kao što su TV, HiFi oprema i sistemi grijanja, ventilacije i klimatizacije (HVAC). Međutim, *infrared* zahtijeva liniju vidljivosti (LOS) i komunikaciju na kraćim rastojanjima. RF tehnologija prevazilazi ovakva ograničenja.
- **Pametna energija:** Sjenke prozora, HVAC, centralno grijanje, itd. se mogu kontrolisati u zavisnosti od informacije sakupljene od strane više tipova senzora koji nadgledaju parametre, kao što su: temperatura, vlažnost, svjetlost i prisustvo. Uz to se može izbjeći nepotrebna potrošnja energije. Dodatno, mogu se koristiti pametni mjerači iskorišćenja za detekciju *peak*-ova korišćenja i za oglašavanje kućnih uređaja koji ih možda izazivaju. Kompanije za snabdijevanje energijom mogu takođe koristiti WHAN-ove za upravljanje energetske opterećenjem.
- **Daljinska briga:** Pacijenti i nepokretni i stariji građani mogu imati koristi od medicinske pažnje kod kuće. Nosivi bežični senzori mogu periodično da prijavljuju nivoe mnogobrojnih tjelesnih parametara (npr. temperaturu, krvni pritisak i insulin) zbog preciznije dijagnoze. Ako senzori ubrzavanja nagovještavaju da je osoba pala, alarmi se mogu aktivirati automatski.
- **Bezbjednost i zaštita:** Napredni sistemi bezbjedonodni sistemi mogu biti bazirani na više senzora (npr. detektori dima, senzori loma stakla i senzori pokreta) za detektovanje eventualno rizičnih situacija i u odgovor tome pokreću odgovarajuće akcije. Na primjer, detektori dima mogu aktivirati požarni alarm.



Slika 1: Primjer kuće opremljene WHAN-om

Slijede osnovne karakteristike i zahtjevi za WHAN-ove:

- Gustina čvorova je potencijalno visoka i broj čvorova može biti reda stotina.
- Kuća je tipično *multipath* okruženje zbog prisustva reflektujućih površina (na primjer zidovi, podovi i stolovi).
- Rezidencijalni scenariji su podložni interferenciji. Industrijski, naučni i medicinski sistemi (IMS) su posebno nagomilani prisustvom WiFi-a, Bluetooth-a, bežičnih telefona, pa čak i mikrotalasnih pećnica.
- Za omogućavanje konektivnosti od kraja do kraja, zahtijevaju se *multihop* komunikacije, tako da među-čvorovi mogu retransmitovati podatke za čvorove koji nisu unutar opsega slanja pošiljaoca.
- Iako je većina uređaja statična, mobilnost nekih od njih i dinamičnost RF propagacije signala traže da mreža bude samoobnavljajuća. Trajanje praznina u komunikaciji zbog promjena u topologiji mreže treba da bude nisko.
- Aplikacije zahtijevaju da WHAN-ovi podržavaju različite šablone saobraćaja, kao što su *point-to-point*/tačka-tačka (na primjer: svič šalje komandu svijetlu), *point-to-multipoint*/tačka-više tačaka (na primjer: daljinski upravljač šalje komandu grupi uređaja) i *multipoint-to-point*/više tačaka-tačka (na primjer: više senzora prijavljuje izmjerene vrijednosti centralnoj kontroli).
- Kašnjenje nije kritično za neke aplikacije monitoringa, ali jedna WHAN treba da omogući brze rezultate u detekciji hitnih situacija i u akcijama korisnika.
- WHAN-ovi treba da ponude Internet vezu da bi dozvolili daljinski monitoring kuće i upravljanje.
- Neke aplikacije (na primjer: protivprovalni alarmni sistem koji kontroliše WHAN tehnologija) zahtijevaju zaštitu servisa bezbjednosti.
- Čvorišta mogu imati mali memorijski kapacitet (na primjer: par kilobajta RAM-a) i mogu da se izlože ograničenoj moći procesiranja (sa procesorima koji tipično rade na desetinama megaherca). Neka čvorišta mogu crpiti svoju snagu iz baterija ili čak nekih oblika sakupljanja energije.

III. Rješenja za WHAN-ove

Ovaj dio predstavlja pregled rješenja koja su konkretno usklađena ili su odgovarajuća za WHAN-ove. Slijede detalji i osnovne karakteristike svakog od rješenja koje su predstavljene u Tabeli 1.

		ZigBee / 6LoWPAN	Z-Wave	INSTEON	Wavenis
Fizički nivo	RF opseg (MHz)	868/915/2400	868/908 (svi čipovi) 2400 (čip 400 serije)	904	433/868/915 (takođe dostupan 2400)
	Domet (m)	10-100	30 (indoor) 100(outdoor)	45 (outdoor)	200 (indoor) 1000 (outdoor)
	Bit rate (kb/s)	20/40/250	9.6/40 (čip od 200 serije) 200 (čip samo iz 400 serije)	38.4	4.8/19.2/100 (min/tip/maks)
	Modulacija	BPSK/BPSK/O-QPSK	BFSK	FSK	GFSK
	Spreading tehnika	DSSS	Ne	Ne	Brza FHSS
	Osjetljivost prijemnika (dBm)	- 85 ili bolja (2.4 GHz opseg) - 92 ili bolji (868/915 MHz opsezi)	- 101 (na 40 kb/s)	-103	- 110 (na 19.2 kb/s)
Nivo linka	MAC mehanizam	TDMA + CSMA/CA (režim sa opomenama) CSMA/CD (režim bez opomena)	CSMA/CA	TDMA + simulcast	CSMA/TDMA (sinhronizovane mreže) i CSMA/CA (ostale)
	Veličina poruke (bajti)	127 (maksimalno)	64 (maksimalni MAC payload u čipu serije 200)	14 (standardne poruke) 28 (proširene poruke)	N/A
	Kontrola greške	16-bitni CRC, ACK-i (opciono)	8-bitna check-suma, ACK-i (opciono)	8-bitni CRC	BCH (32.21) FEC, data interleaving, scrambling. ACK-i po-frejmju ili po-prozoru (opciono)

Nastavak tabele na sljedećim stranama.

Režimi komunikacije	Unicast	Da / Da	Da	Da	Da
	Broadcast	Da / Da	Da	Da	Da
	Multicast	Da (NWK i APL nivoi). Nije podržano MAC-om / IP multicast (nije optimizovan za LoWPAN-ove). Nije podržano MAC-om	Da	Da	Da
	Ostali režimi	Indirektno adresiranje / IPv6 anycast	Ne	Ne	N/A
Identifikatori		16-to i 64-bitne MAC adrese, 28-bitne IPv6 adrese (koje mogu biti kompresovane u 16-bitne ID-e)	32-bit (kućni ID) 8-bit (ID čvorišta)	24-bitni modulska ID	48-bitne MAC adrese
Tipovi uređaja		Koordinator, ruter i krajnji uređaj / edge ruter, mesh čvor (mesh ispod), ruter (ruta preko), host	Kontroleri i kontrolisani	Jedna vrsta uređaja	Jedna vrsta uređaja
Nivo mreže	Multihop rješenje	Mesh rutiranje, tree rutiranje i izvorno rutiranje / RPL	Izvorno rutiranje	Simulcast	Tree rutiranje
	Granica hoba	30/10/5 (mesh rutiranje, tree rutiranje i izvorno rutiranje) / 255	4	4	N/A
	Stanje multihop rješenja	$O(N)$ (mesh rutiranje), $O(1)$ (rutiranje od mnogih ka jednom) / $O(N)$ (root), $O(N_{DAGs})$ (ostali uređaji)	$O(N^2)$ (kontroler), $O(N_{PREC})$ (rutirajući potčinjeni), nema stanja (potčinjeni)	Nema stanja	$O(N)$ (root), $O(1)$ (ostali uređaji)
Pouzdanost od kraja do kraja		ACK-i i kontrola dupliranih paketa / TCP/UDP/ostali	ACK-i	ACK-i i NAK-i	—
Aplikacioni nivo	Komandni prostor	65.536 (klasteri) / —	32.768	65.536	—
	Prostor za tip uređaja	65.536 / —	N/A	65.536	—
Bezbjednost		Integritet, povjerljivost, kontrola pristupa i key menadžment / Integritet, povjerljivost i kontrola pristupa (IEEE 802.15.4). Key menadžment nije trenutno podržan.	128-bitna AES enkripcija (čip 400 serije)	Enkripcija (odnosno rolling kodovi)	3DES i 128-bitna AES enkripcija
Translacioni gateway potreban za Internet konektivost		Da / Ne	Da (nije potrebno za IP-Wave)	Da	Da

Veličina implementacije	45-128 kB (ROM), 2.7-12 kB (RAM) / 24 kB (ROM), 3.6 kB (RAM)	32-64 kB (flash), 2-16 kB (SRAM)	7 kB (flash), 4 kB (eksterni EEPROM), 256 B (interni EEPROM), 256 B (SRAM)	48 kB (flash), 400 B (RAM), 20 B (neizbrisiva memorija)
Specifikacija javno dostupna	Da / Da	Ne	Ne	Ne

Tabela 1. Pregled osnovnih karakteristika ZigBee-a, 6LoWPAN-a, Z-Wave-a, INSTEON-a i Wavenis-a

1. ZigBee

ZigBee je tehnologija bežičnog umrežavanja koju je razvila ZigBee Alliance za aplikacije sa malim brzinama prenosa podataka i malim dometima. ZigBee skup protokola se sastoji od četiri osnovna nivoa: fizički nivo (PHY), nivo kontrole pristupa medijumu (MAC), nivo mreže (NWK) i nivo aplikacije (APL). Dodatno, ZigBee obezbeđuje zaštitnu funkcionalnost kroz nivo (Slika 2a). Dva niža nivoa ZigBee skupa protokola su definisana IEEE 802.15.4 standardom, dok je ostatak skupa definisan ZigBee specifikacijom.

Inicijalna verzija IEEE 802.15.4, na kojoj je ZigBee baziran, radi u 868 MHz, 915 MHz i 2 GHz opsezima, koji su dostupni u Evropi, Sjevernoj Americi i ostatku svijeta, respektivno. Brzine prenosa podataka su 20 kb/s, 40 kb/s i 250 kb/s, respektivno. Binarna PSK (BPSK) je korišćena u prva dva opsega i ortogonalno-kvadratura PSK (O-QPSK) je korišćena za 2.4 GHz signale. Ovi mehanizmi komunikacije su kombinovane sa tehnikom direktnog sekvencijskog proširenja spektra (DSSS).

Postoje dvije metode za pristup kanalu u IEEE 802.15.4: omogućen opomenom i bez opomene. Prvi pretpostavlja da postoji čvor koji se ponaša kao koordinator PAN (Personal Area Network) mreže, koji emituje opomene za mrežnu sinhronizaciju. Sa ovom šemom, vrijeme između opomena je podijeljeno u tri perioda:

- Period sa sukobom zahtjeva za pristupom (CAP) u kojem se koristi tehnika osluškivanja višestrukog pristupa nosioca sa izbjegavanjem kolizije (CSMA/CA)

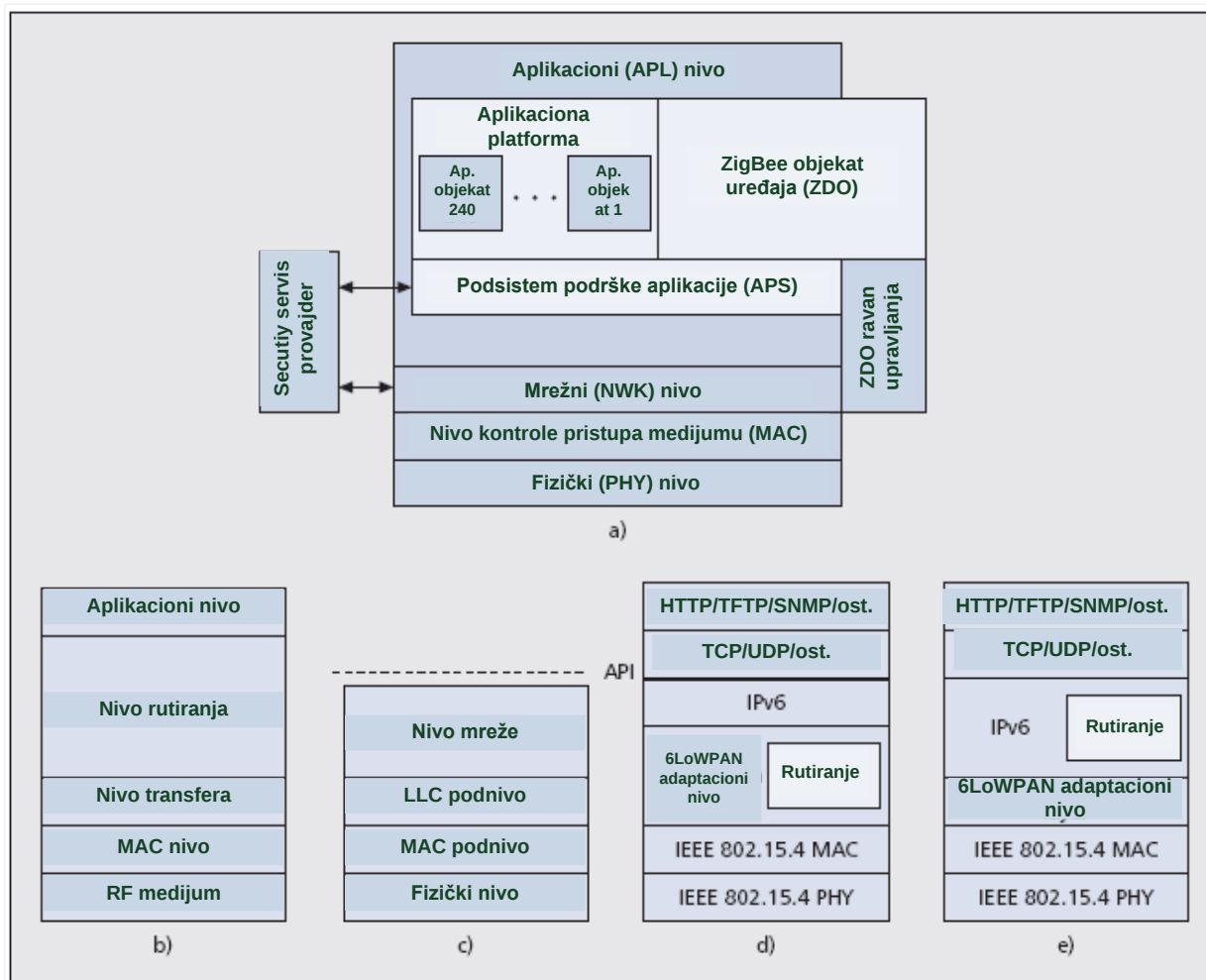
- Period bez sukoba zahtjeva (CFP) u kojem čvor može da prenosi u alociranom garantovanom vremenskom slotu (GTS)
- Neaktivni period u kojem čvorovi mogu ostati u režimu spavanja.

U režimu bez opomena, uređaj primjenjuje ravnu CSMA/CA šemu. IEEE 802.15.4 dozvoljava korišćenje frejmova potvrde (ACK) za *unicast* prenose.

ZigBee definiše tri uloge uređaja:

- ZigBee koordinator, koji odgovara IEEE 802.15.4 PAN koordinatoru
- ZigBee ruter
- ZigBee krajnji uređaj

Posljednji je, naravno, jednostavan uređaj sa veoma skromnim mogućnostima.



Slika 2. Arhitekture protokola odgovarajuće za WHAN: a) ZigBee; b) Z-Wave; c) Wavenis; d) 6LoWPAN (mesh ispod); e) 6LoWPAN (routing iznad)

ZigBee NWK nivo konkretno podržava adresiranje i rutiranje za topologije mreže i drveta. Topologija drveta, koja je adekvatna za sakupljanje podataka, je rutirana u ZigBee koordinatoru. Ova šema uključuje mehanizam dodjeljivanja adresa, koji takođe olakšava *multihop* prenos podataka. U topologiji mreže, rute su kreirane na zahtjev i održavane korišćenjem skupa mehanizama koji su bazirani na *ad-hoc on-demand distance vector* (AODV) protokolu rutiranja. Ovo rješenje je korišćeno za proizvoljni *point-to-point* saobraćaj. ZigBee PRO rješenje takođe nudi *many-to-one* rutiranje za komunikaciju između više uređaja i centralnog kontrolera ili *sink* čvora. Ovaj čvor može odgovoriti uređajima korišćenjem izvornog rutiranja. Jedino ZigBee koordinatori i ruteri učestvuju u operacijama rutiranja.

Razvoj ZigBee aplikacionih objekata (odnosno samih aplikacija) može iskoristiti aplikacione profile. Postoje dva relevantna ZigBee aplikaciona profila za WHAN-ove. Prvi je ZigBee kućni javni aplikacioni profil automatizacije (1), koji definiše opise uređaja, komande, attribute, i ostale standardne postupke za ZigBee aplikacije u rezidencijalnim ili blago komercijalnim okruženjima; glavna područja primjene koja su razmotrena su: osvjjetljenje, HVAC i bezbjednost. Drugi je ZigBee profil pametne energije (2) koji se fokusira na odgovor na zahtjev za energijom i upravljanje opterećenja. S obzirom na kućno okruženje, ovaj profil se fokusira na komunikaciju između kućnih uređaja i energetske servisnog portala (ESP), koji povezuje ZigBee WHAN pametne energije sa komunikacionom mrežom kompanije za snabdijevanje energijom. ZigBee WHAN pametne energije ima više bezbjedonosne zahtjeve u odnosu na obični ZigBee WHAN. Odatle, čvorišta posljednjeg ne mogu sarađivati sa prvima, sem ako ne podržavaju profil pametne energije. Konačno, buduća ZigBee RF4CE specifikacija će ponuditi jednostavno rješenje daljinske kontrole od uređaja-do uređaja za korisnike elektronike, koje neće koristiti mogućnosti *mesh* umrežavanja sa svim karakteristikama.

2. Z-wave

Z-Wave je arhitektura bežičnog protokola razvijena od *ZenSys*-a (sada dio *Sigma Design*-a) i promovisana od strane Z-Wave Alliance za automatizaciju u stambenim i drugim blago komercijalnim okruženjima. Glavni cilj Z-Wave-a je da omogući pouzdan prenos kratkih poruka od kontrolne jedinice na jedan ili više čvorova u mreži. Z-Wave je organizovana kao arhitektura koja se sastoji od pet glavnih slojeva: PHI, Mac, prenos, rutiranje i nivoi aplikacije (sl. 2b).

Z-wave radio uglavnom radi na 900MHz ISM opseзима (npr., 868 MHz u Evropi i 908 MHz u SAD). Z-wave dozvoljava prenos na 9,6 i 40 kb/s brzine prenosa podataka preko (BFSK) modulacije. Skorašnja Z-wave 400 serija sa jednim čipom podržava 2,4 GHz i nudi brzine prenosa do 200 kb/s.

MAC sloj Z-talasa definiše mehanizam izbjegavanja kolizije koji omogućava prenos okvira (frejma) kada je kanal dostupan. Inače, pokušaj prenosa se odlaže za slučajni vremenski period. Nivo za prenos upravlja komunikacijom između dva uzastopna čvora. Ovaj sloj obezbjeđuje opcionu mehanizam retransmisije baziran na ACK-ovima.

Z-wave definiše dva tipa uređaja: kontrolere i 'robove' (*slaves*). Kontroleri glasaju ili šalju komande *slave* uređajima, koji odgovaraju kontrolerima, ili izvršavaju komande. Z-wave sloj rutiranja obavlja rutiranje na osnovu pristupa rutiranja izvora. Kada kontroler prenosi paket, on u paket uključuje put koji treba slijediti. Paket se može prenijeti do preko četiri *hop*-a, što je dovoljno u stambenim uslovima i ograničava zaglavlje paketa koje rutira izvor. Kontroler održava tabelu koja predstavlja kompletnu topologiju mreže. Prenosivi kontroler (npr. daljinsko upravljanje) pokušava prvo da dosegne odredište putem direktnog prenosa. Ako ta opcija ne uspije, kontroler vrši procijenu svoje lokacije i izračunava najbolji put do odredišta. *Slave* uređaji se mogu ponašati kao ruteri. *Slave*-ovi za rutiranje čuvaju statiku puteva (obično prema kontrolerima) i dozvoljeno im je da šalju poruke na druge čvorove, bez obzira da li se to od njih zahtijeva.

Slave-ovi su pogodni za nadgledanje senzora, u kojima je kašnjenje zbog *polling*-a prihvatljivo, kao i za pogone koji obavljaju radnje kao odgovor na aktiviranje komandi. *Slave*-ovi za rutiranje se koriste za vremenski kritične aplikacije kao i aplikacije ne-izazivanog (*non-solicited*) prenosa kao što je aktiviranje alarma.

3. INSTEON

INSTEON je rješenje razvijeno za kućnu automatizaciju od strane *SmartLabs*-a i promovisano od strane INSTEON Alliance (Udruženja). Jedna od posebnih karakteristika INSTEON-a je činjenica da on definiše mrežnu topologiju koja se sastoji od RF-a i veza električnih vodova (*power-line*). Uređaji mogu biti samo RF ili *power-line*, ili mogu da podržavaju oba tipa komunikacije. INSTEON radiofrekventni signali koriste (FSK) modulaciju na centralnoj učestanosti od 904 MHz, sa protokom neobrađenih podataka od 38,4 kb/s.

INSTEON uređaji su *peer*-ovi, što znači da svaki od njih može da igra ulogu pošiljaoca, primaoca, ili prenosioca. Komunikacija između uređaja koji nisu u istom opsegu se postiže *multihop* pristupom koji se u mnogim aspektima razlikuje od tradicionalnih tehnika. Svi uređaji nanovo prenose poruke koje primaju, ukoliko oni sami nisu destinacija poruke. Maksimalni broj *hop*-ova za svaku poruku je ograničen na četiri (kao kod *Z-wave*). *Multihop* prenos se vrši pomoću šeme za sinhronizaciju vremenskih slotova, po kojoj su prenos dozvoljeni u određenim vremenskim slotovima, i uređaji u okviru istog opsega ne prenose različite poruke u isto vrijeme. Ovi vremenski slotovi su definisani od strane jednog broja *power-line* multih ukrštanja. RF uređaj koji nije priključen na električni vod može da prenosi asinhrono, ali te poruke će bi ti sinhronizovano ponovo poslate od strane RF uređaja koji su priključeni na vod. Za razliku od klasičnog mehanizma za izbjegavanje kolizije, uređajima unutar istog opsega je dozvoljeno da simultano prenesu istu poruku. Ovaj pristup, koji se zove *simulcast*, počiva na veoma maloj vjerovatnoći da više simultanih signala budu otkazani na prijemu.

4. Wavenis

Wavenis je bežični protokol stek razvijen od strane *Coronis System*-a za kontrolu i nadzor aplikacije u nekoliko okruženja, uključujući i kuće i automatizaciju u zgradama . Wavenis trenutno promoviše i njime upravlja Udruženje Wavenis Otvorenog Standarda (*Wavenis-OBA*). On definiše funkcionalnost fizičkog nivoa, nivoa linka, i mrežnog nivoa. Wavenis servisima se može pristupiti iz gornjih slojeva kroz aplikacijski programski interfejs (API) (sl.2c).

Wavenis radi uglavnom na 433 MHz, 868 MHz, i 915 MHz, koji predstavljaju ISM opsege u Aziji, Evropi i Sjedinjenim Državama. Neki proizvodi rade na 2,4 GHz. Minimalne i maksimalne brzine prenosa podataka koje nudi Wavenis su 4,8 kb/s i 100 kb/s, respektivno, sa 19,2 kb/s kao tipičnom vrijednošću. Podaci su modulirani pomoću Gausove FSK (GFSK). Brzo frekvencijsko skakanje sa proširenim spektrom (FHSS) se koristi u kanalima od preko 50 kHz propusnog opsega.

Wavenis MAC podsloj nudi sinhronizovane i ne-sinhronizovane šeme. U sinhronizovanoj mreži, čvorovi dobijaju kombinovani CSMA / TDMA mehanizam za prenos kao odgovor na *broadcast* ili *multicast* poruke. U takvom slučaju, čvor dodjeljuje vremenski slot koji je pseudo-slučajno izračunat na osnovu svoje adrese. Prije prenosa u tom slotu čvor osluškuje kanal (CS). Ako je kanal zauzet, čvor izračunava novo vrijeme slotu za prenos. Za ne-sinhronizovanu mrežu, u kojoj je pouzdanost kritičan zahtjev (alarmi, sigurnost itd.), koristi se CSMA/CA. Wavenis LLC podnivo upravlja protokom i kontrolom greške nudeći ACK-ove po frejmu i po prozoru.

Wavenis definiše samo jedan tip uređaja. Wavenis mrežni sloj definiše četiri nivoa virtuelnog hijerarhijskog stabla. Korijen stabla može igrati ulogu *sink*-prikupljanja podataka ili *gateway*-kapije, npr. uređaj koji se pridružuje Wavenis mreži namjerava da pronade adekvatnog roditelja. U tu svrhu, novi uređaj emituje zahtjev za uređaj određenog nivoa i dovoljne (QoS) vrijednosti. QoS vrijednost se dobija uzimajući u obzir parametar kao što su mjerenja indikatora jačine primljenog signala (RSSI), energija baterije, kao i broj uređaja koji su već vezan i za ovaj uređaj.

5. Rješenja bazirana na IP-u

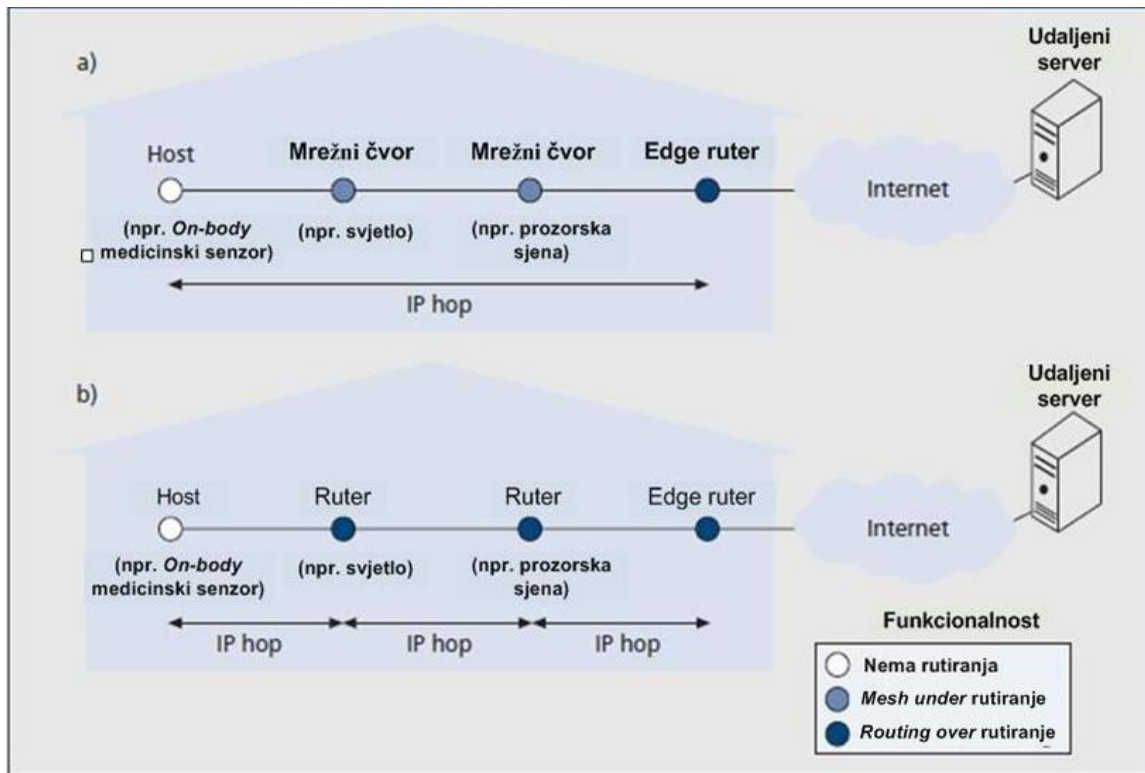
Uprkos početnom skepticizmu mnogih istraživača o podobnosti Internet arhitekture za senzorske mreže, danas su ovakvim mrežama na raspologanju implementirani IPv6 *stack*-ovi. U stvari, IPv6 ima rješenja spremna za mrežnu autokonfiguraciju i odsustvo *stateless* osobine, i zadovoljava veliki adresni prostor potreban za takve mreže. Paralelno sa tim, *Internet Engineering Task Force* (IETF) je sprovodila standardizaciju mehanizama za proširenje Interneta za senzorske i pokretačke (*actuator*) mreže. Pored toga, korišćenje IP -a za ove uređaje se promoviše od nedavno osnovanog *IP za Smart Objects* (IPSO) Udruženja. Iako je rad koji IETF

obavlja trenutno u toku, IP senzorske mreže nastaju i mogu dramatično povećati kapilarnost na Internetu. U bliskoj budućnosti će u potpunosti biti dostupna standardizovana IP bazirana rešenja za WHAN-ove.

IETF IPv6 over Low-Power Wireless PAN (6LoWPAN) Radna Grupa (WG) je definisala okvir frejma i nekoliko mehanizama potrebnih za prenos IPv6 paketa na vrhu IEEE 802.15.4 mreža. Ove mreže se nazivaju LoWPAN. Mehanizmi koje nudi 6LoWPAN su:

- Fragmentacija, pošto IPv6 podržava 1280-bajtna pakete i maksimalna IEEE 802.15.4 veličina frejma je 127 bajta.
- Kompresija zaglavlja, čime se može komprimovati uobičajno 40-bajtno IPv6 zaglavlje u 2-bajtno zaglavlje
- Auto-konfiguracija IPv6 adrese
- IPv6 susjedno otkriće za LoWPAN

Ako LoWPAN prati topologiju mreže, potreban je protokol rutiranja. Dvije šeme su predviđene za rutiranje u LoWPAN: čvor ispod (*mesh under*) i rutiranje iznad (*routing over*). U mreži ispod (slike 2d i 3a), rutiranje se vrši ispod IP-a korišćenjem IEEE 802.15.4 adresa. U ovoj konfiguraciji cio LoWPAN se pojavljuje kao jedan zasebni IP link. U rutiranju *over* (slike 2e i 3b), svaki radio-hop je ekvivalent IP-hop-a, a rutiranje se dešava u IP sloju. IETF Rutiranje zbog Malih Snaga i Mreže sa Malim Gubicima (ROLL) Radna Grupa razvija IPv6 protokol rutiranja za mreže male snage i sa malim gubicima (RPL), koji je vjerovatno kandidat za konfiguraciju protokola rutiranja *over*. RPL održava usmjerene aciklične grafikone (DAG), koji mogu biti ukorijenjeni u *sink* čvorovima, i prirodno podržava *multipoint-to-sink* i *sink-to-multipoint* komunikaciju. *Point-to-point* komunikacije su, takođe, podržane ali putevi između proizvoljnih čvorova možda neće biti optimalni, jer su ograničeni na DAG strukture.



Slika 3. Primjer WHAN mreže bazirane na 6LoWPAN-u. Glavni pokretački uređaji pogodni kao ruteri:
a) mesh under; b) routing over.

Postoje različite vrste 6LoWPAN uređaja. *Edge* ruter povezuje LoW-PAN sa drugom mrežom. Čvor mreže i ruter obavljaju zadatke rutiranja u konfiguracijama *mesh under* i *routing over*, respektivno. Host je jednostavan uređaj koji šalje (*source*) ili skuplja (*sink*) IPv6 pakete (sl.3).

IV. DISKUSIJA

U ovom dijelu se razmatraju rješenja opisana gore, sa pogledom na skup kriterijuma koji se uzimaju u obzir kod uslova za WHAN-ove kao i dodatna tehnička i ne-tehnička razmatranja.

1. Fizički nivo

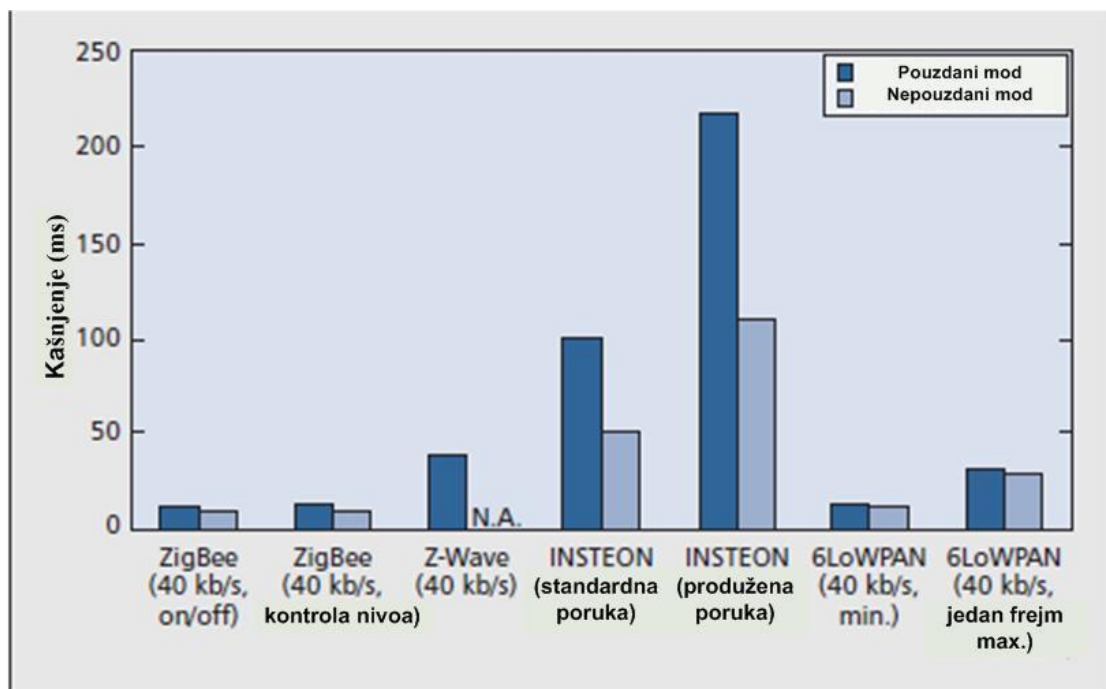
Modulacija i tehnika proširenog spektra- Z-Wave i INSTEON koriste uskopojasne signale sa FSK modulacijama , koje je lako implementirati . Wavenis koristi GFSK, koja ima veću spektralnu efikasnost nego FSK. Nasuprot tome, IEEE 802.15.4-tehnologije, koriste PSK modulacije, koje su složenije, ali nude bolji odnos signal-šum (SNR). Na drugoj strani, IEEE 802.15.4 i Wavenis fizički nivoi imaju tehnike proširenog spektra, koje mogu obezbijediti zaštitu od *multipath*-a i uskopojasne interferencije.

Jednokanalni vs Multikanalni- IEEE 802.15.4 nudi nekoliko kanala u opsezima 915 MHz i 2.4 GHz. Dakle, u ZigBee-ju i 6LoWPAN-u, moguće je izgraditi mehanizme protiv interferencije i to na osnovu izbora kanala na koji najmanje utiče interferencija. U stvari, ZigBee koordinator može odlučiti da ponovo formira cijelu mrežu u novom kanalu, ukoliko svaki čvor detektuje neku smetnju. Nasuprot tome, INSTEON, Wavenis i Z-Wave (kasnije, osim za 400 seriju *single*-čipa) rade u jednom kanalu na pod-gigahercnim opsezima. Ovakav pristup koristi činjenicu da su ovi opsezi trenutno manje skloni interferenciji od onih na 2,4 GHz u stambenim područjima i on pojednostavljuje dizajn hardvera. Međutim, neizvjesno je koliko će interferencije u budućnosti biti prisutno u pod-gigahercnim opsezima. U tom smislu, čip nedavne Z-Wave 400 serije ima mehanizam frekvencijske agilnosti pri čemu prijemnik istovremeno osluškuje tri različita kanala, a predajnik može da koristi jedan sa najmanjom interferencijom.

2. Nivo linka

Pouzdanost- Z-Wave i INSTEON koriste jednostavne 8-bitne kontrolne sume, dok ZigBee i 6LoWPAN koriste moćnije 16-bitne kontrolne sume poput one koja se koristi u IEEE 802.15.4. Wavenis koristi naprednije tehnike kontrole greške po bitu (Tabela 1). Ako se izuzme INSTEON, razmatrana rješenja obezbijavaju, opcionalno, na nivou linka ACK-ove za pouzdan prenos po linku. Ova funkcija omogućava rješenja koja se mogu prilagoditi u skladu sa zahtjevima aplikacije. Na primjer, pouzdanost se može zamijeniti za uštedu energije i propusnog opsega kod aplikacija za alarm i *remote* održavanje.

Kašnjenje- Slika 4 prikazuje grafik sa očekivanim kašnjenjima komande prenosa od pošiljaoca do *one-hop* prijemnika za pouzdani i nepouzdati režim. Rezultati su teoretski, pod idealnim uslovima (osim za Z-Wave rezultate, koji su eksperimentalni).



Slika 4. Očekivana kašnjenja zadate transmisije od pošiljaoca prema one-hop primaocu. Protok podataka za ZigBee, Z-Wave i 6LoWPAN je 40 kb/s. Normalni protok za INSTEON je 38.4 kb/s. (Napomena: Rezultati za Z-Wave su eksperimentalni.)

Za pouzdani režim, postoji vrijeme obilaska koje uključuje prenos ACK potvrde. Poređenja radi, pretpostavlja se kanal na 900 MHz, i u analizu je uključen INSTEON *end-to-end* pouzdani režim prenosa. Uključivanje / isključivanje i komande nivoa kontrole se razmatraju za ZigBee. Za 6LoWPAN, dat je opseg minimalne i maksimalne vrijednosti, pod pretpostavkom da se koristi UDP i da se korisni sadržaj paketa uklapa u jedan IEEE 802.15.4 frejm.

3. Nivo mreže

Rutiranje / Multihopping stanje – Kod Z-Wave, samo kontroler skladišti i održava tabelu rutiranja ('slaves' rutiranja, koja imaju unaprijed konfigurisane puteve prema broju destinacija, N_{prec} , su izuzetak). Nasuprot tome, ZigBee Kućna Automatizacija Javnog Aplikativnog Profila preporučuje upotrebu velikih tabela rutiranja na račun visoke gustine koja se očekuje u stambenim okruženjima, što povećava memorijske zahtjeve na ZigBee čvorovima. *Routing* stanje u svim čvorovima koji koriste ZigBee mreže rutiranja je $O(N)$, gde je N broj aktivnih destinacija u mreži. Međutim, kod *many-to-one* rutiranja, stanje je $O(1)$. U Wavenis, svaki uređaj čuva samo svoj put do korijena, dakle, stanje rutiranja je takođe $O(1)$. Korijen, koji ne može da ispolji ista ograničenja kao kod ostalih čvorova, čuva puteve da bi dostigao svaki čvor. Isto obrazloženje važi za DAG korijen u RPL. Stanje rutiranja drugih RPL uređaja je $O(N_{\text{DAGs}})$, gde je N_{DAGs} broj DAG-ova u mreži. INSTEON uređaji koriste *simulcast* umjesto rutiranja, koji izbjegava potrebu za skladištenjem stanja što čini *multihop* komunikacije mogućim.

Metrike rutiranja- Upotreba metrika kvaliteta linka je posebno korisna u kućnim sredinama, gdje *multipath* i interferencija mogu uticati na performanse. ZigBee i 6LoWPAN mogu iskoristiti indikator kvaliteta linka (LQI) koji je ponuđen od strane IEEE 802.15.4, i implementiran je u mnogim radio čipovima i uz procjenu stope greške po bitu (BER). Međutim, Wavenis koristi procjenjivač kvaliteta linka na osnovu RSSI, koji može biti netačan, zbog *multipath*-a i interferencije. Z-Wave bira rute na osnovu metrike brojanja *hop*-ova i nije svjestan kvaliteta linka.

Kašnjenje uslijed promjene rute- INSTEON koristi *simulcast* umjesto rutiranja, i kada posredni uređaj postane nedostupan, podaci mogu i dalje stići do odredišta kroz alternativne putanje (ako postoje), a da ne osjete jaz u konekciji. Druga rješenja, koja koriste rutiranje, imaju kašnjenje nastalo detekcijom neuspjeha linka i pronalaženjem alternativnog puta (ako postoji). Kašnjenje prilikom promjene rute (RCL) kod Z-Wave je u prosjeku 1s, dok je kod ZigBee između 50 i 100 ms. Detekcija neuspjeha linka može da bude brza ukoliko nivo linka radi u režimu potvrdnih poruka. Odsustvo ACK-ova nakon prenosa frejma podataka može da ukaže na neuspjeh linka. U suprotnom, protokol rutiranja će možda morati da se osloni na prijem kontrolnih poruka za održavanje konekcije, što obično dovodi do detekcije kašnjenja na nivou linka u redu sekundi.

4. End-to-end pouzdanost

ZigBee, Z-Wave, kao i INSTEON nude jednostavne *end-to-end* i mehanizme retransmisije. ZigBee takođe filtrira duplirane pakete. U 6LoWPAN, kada je potreban pouzdan prenos, realizatori su pribjegli korišćenju UDP-a proširenog sa brojevima sekvenci, ACKovima i pokušajima. U stvari, TCP može biti složeniji za veoma ograničene uređaje, i zbog toga nije dovoljno uspješan kada su u pitanju okruženja sa *wireless*-om.

5. Nivo aplikacije

ZigBee, Z-Wave, kao i INSTEON imaju set dobro definisanih komandi i atributa za različite WHAN aplikacije. Ova funkcionalnost trenutno ne postoji za 6LoWPAN. Pored toga, uobičajena primjena Internet protokola nivoa aplikacije (na primjer, HTTP i SNMP) i formati kodiranja podataka nisu prirodno pogodni za WHAN mreže na bazi 6LoWPAN, imajući u vidu ograničenja uređaja i to da je na nivou transporta korisni sadržaj paketa od 50-60-bajtova na raspolaganju u LoWPAN.

Nova IETF CoRE Radna Grupa će razviti nove protokole nivoa aplikacije i formate za kodiranje podataka, ili ih prilagoditi. Za cilj ovih unapređenja se uzima WHAN.

6. Zaštita

ZigBee i 6LoWPAN koriste usluge zaštite koje nudi IEEE 802.15.4. na nivou linka (Tabela 1), i koji koristi 128-bitni ključ algoritma za standard napredne enkripcije (AES). Ovakav menadžment je predviđen kod ZigBee na APL nivou, ali još uvijek nije određen za 6LoWPAN. Dok Z-Wave 200 i 300 serija čipova ne nude usluge zaštite, čip 400 serije podržava 128-bitnu AES enkripciju. INSTEON nudi različite metode kriptovanja ali preporučuje korišćenje jednostavnog *rolling-code* šifrovanja, koje se koristi kod otvarača garažnih vrata. Wavenis takođe podržava više algoritama za šifrovanje, uključujući i 128-bitni AES.

7. Povezanost sa Internetom

Značajna prednost 6LoWPANa je činjenica da je suštinski interoperabilan sa Internetom. Povezivanje WHAN, baziranih na 6LoWPANu, na Internet ne zahtijeva upotrebu *gateway* prevoda protokola. Umjesto toga, WHAN na bazi 6LoWPAN mogu biti povezane na Internet preko IP rutera, nudeći *end-to-end* IP komunikaciju. Ovaj pristup izbjegava pitanja u pogledu bezbjednosti, upravljanja i dosljednosti sa QoS politikom.

Neobično, dok je ostatak WHAN rješenja razmatran u ovom članku dizajniran bez IP podrške, većina njih imaju identifikovane konvergencije sa IP-om što predstavlja ključni elemenat za zadovoljenje tekućih zahtjeva tržišta. Do sredine 2009-te godine, ZigBee je najavio osnivanje IETF standarda u svojim specifikacijama portfelja, a *Sigma Designs* je predstavio *IP-wave* čip, koji pokreće IP stek na jednom Z-wave čipu. U istom periodu, članovi Wavenis upravnog odbora su izjavili da se IP smatra trećim nivoom za buduće Wavenis specifikacije.

8. Veličina implementacije

ZigBee, Z-wave, kao i INSTEON implementiraju arhitekture protokola prema funkcionalnosti nivoa aplikacije. ZigBee zahtijeva najveći otisak (Tabela 1), jer ima punu opremu već razrađenih mehanizama za širok spektar aplikacija. Nasuprot tome, Z-Wave i INSTEON su

posebno razvijeni za kućnu automatizaciju i nude jednostavnija rješenja. INSTEON je WHAN tehnologija koja zahtijeva najmanje memorije za njeno sprovođenje, uglavnom zbog jednostavnosti *simulcast*-a. Wavenis, koji ne specificira usluge na vrhu mrežnog nivoa, troši malu količinu RAM memorije, ali zahtijeva srednju veličinu fleš memorije. Trenutne 6LoWPAN implementacije (uključujući rutiranje i protokole nivoa transporta, ali isključujući primjenu protokola nivoa aplikacije) zahtijevaju manje ROM/ Flash memorije nego ZigBee, Z-Wave, i Wavenis.

9. Standardizacija i osvajanje tržišta

Mana INSTEON-a, Z-Wave-a, kao i Wavenis-a je činjenica da njihove specifikacije nisu javno dostupne. Iako je pristup ZigBee specifikacijama otvoren, njegova primjena zahtijeva članstvo u ZigBee Alijansi. Nasuprot tome, kao Internet standard, 6LoWPAN je (i CoRE protokoli će biti) otvoren, i njegova primjena ne zahtijeva dozvolu, što znači da može da zadobije širu javnost u nego konkurentske tehnologije.

Prisustvo ZigBee proizvoda na tržištu kasni u odnosu na one bazirane na drugim rješenjima. Prvi WHAN Zig-Bee proizvodi su sertifikovani u avgustu 2009. Nasuprot tome, Z-Wave, Wavenis i INSTEON proizvodi su na tržištu već godinama. Pored toga, milioni Wavenis uređaja su trenutno raspoređeni širom svijeta, uglavnom za *smart* korisne mreže. Međutim, implementacija od oko 30 miliona ZigBee-opremljenih *smart* metara je u toku u Sjevernoj Americi.

S druge strane, 6LoWPAN je već implementiran od strane nekoliko proizvođača. Velika implementacija 6LoWPAN i budući Co RE protokoli će biti poznati kao pokušaj *Smart Energy* verzija 2 (SE 2). SE 2 ima za cilj da obezbijedi *end-to-end* konektivnost između energetske proizvođača i potrošača, a priznat je i kao dio *Smart Grid Roadmap* od strane američkog Nacionalnog instituta za standarde i tehnologiju.

V. Zaključak

Ideal kućne automatizacije podrazumijeva da ljudi u svom domu treba da budu u stanju da kontrolišu sve svoje automatizovane sisteme i uređaje sa bilo kog mjesta u kući, a da ti sistemi i aparati imaju neku vezu jedan sa drugim. Vlasnici sa velikim kućama ili problemi povezivanja električnim vodovima nalaze *wireless* kao novo rješenje za izgradnju i proširenje njihove kućne automatizacije sistema. Sa *wireless*-om, nove primjene u maloprodajnim objektima i kancelarijskim okruženjima su postale stvarnost. Baš kao i u kući, upotreba aktivnih bežičnih uređaja može lako da premosti razlike kod električnih instalacija u komercijalnim zgradama, i sa sposobnostima njihovih ugrađenih *repeat*-era, bežični uređaji za automatizaciju povećavaju pouzdanost sistema na većim udaljenostima.

Ovaj rad ispituje najvažnija trenutna rješenja i rješenja koja nastaju i koja su pogodna za WHAN-ove ili su im prilagođena: ZigBee, Z-Wave, INSTEON, Wavenis i rješenja bazirana na IP-u. Dok su Zig-Bee i 6LoWPAN dizajnirani za opšte svrhe, ostatak rješenja je razvijen za specifične aplikacije. Povećanje funkcionalnosti pojedinih rješenja i konvergencija ka IP -u pokazuju da će buduće WHAN aplikacije doprinijeti poboljšanom kvalitetu, bezbijednosti i interoperabilnosti.

Na kraju, implementacijom ovakvih budućih sistema za automatizaciju pruža se prilika za razvoj socijalnog i ekonomičnog okruženja u kojem će ljudi moći da uživaju u višem životnom standardu i boljem kvalitetu života.

Lista skraćenica:

(G)FSK – (Gaussian) Frequency-Shift Keying

ACK – Acknowledgement (Transmission Control Protocol)

AES – Advanced Encryption Standard

AODV – Ad hoc On-Demand Distance Vector

API – Application Programming Interface

APL – Application layer

BER – Bit Error Rate

BPSK – Binary Phase-Shift Keying

CSMA/CA – Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

DAG –Directed Acyclic Graphs

DSSS – Direct-Sequence Spread Spectrum

FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum

HTTP – Hyper Text Transfer Protocol

HVAC – Heating, Ventilating and Airconditioning

IPv6 – Internet Protocol version 6

ISM – Industrial, Scientific and Medical

LLC – Logical Link Control

LQI – Link Quality Indicator

MAC – Media Access Control

NWK – Network layer

PAN – Personal Area Network

PHY – Physical layer (OSI)

QoS – Quality of Service

RAM – Random Access Memory

RF – Radio Frequency

ROLL –Routing Over Low Power and Lossy Networks

RPL – Routing Protocol for Low power

RSSI – Received Signal Strength Indicator

SNMP – Simple Network Management

TCP – Transmission Control Protocol

TDMA – Time Division Multiple Access

UDP – User Datagram Protocol

WHAN – Wireless Home Automation Network

[Reference]