

Primer bežičnog senzorskog sklopa u pametnim kućama

Saša A. Vukosavljev, Erne Đ. Kovač, Boris A. Radin, Dragan P. Simić

Sadržaj — U radu je opisan PIR (Pyroelectric Infrared Radial) senzor i ZigBee komunikacioni protokol kao bežični senzorski sklop koji se najčešće koristi u “smart home” aplikacijama za otkrivanje čovekovog prisustva. Obrazložen je izbor datog bežičnog komunikacionog protokola sa poređenjem ostalih prisutnih na tržištu kao i izbor optimalne konfiguracije senzorskog elementa.

Cljučne reči — PIR senzor, ZigBee.

I. UVOD

TAKOZVANE “pametne kuće” (smart home) - odnosno domovi u kojima postoje inteligentne računarske mreže koje povezuju, kontrolišu i upravljaju tehničkim uređajima, poput osvetljenja, klimatizacije, grejanja, inteligentnog alarmnog sistema, daljinskog video nadzora, sistema za navodnjavanje, itd. – postaju sve popularnije širom sveta.

Kuća je “pametna” jer se “prilagođava” trenutnoj aktivnosti, raspoloženju, navikama i životnom stilu svakog od ukućana, a pritom ostvaruje energetske uštede [1].

Pored životnog stila, komfora, bezbednosti i sigurnosti stanara, racionalnog korišćenja uvek oskudnih vremenskih resursa, koncept podrazumeva izgradnju i prisustvo svesti o potrebi za pažljivim i racionalnim iskorišćavanjem energetske resursa. To je od posebnog značaja, jer će u bliskoj budućnosti ekonomska cena tih resursa biti sve veća, a globalna raspoloživost sve manja.

Prema osnovnoj koncepciji ovakvi sistemi se projektuju tako da imaju više nivoa upravljanja:

Prvi nivo upravljanja je klasičan, pomoću pametnih tastera koji su potpuno programabilni. Sledeći nivo su takozvani “pametni” (smart) senzori. To su uglavnom bežični senzori, poput PIR (Pyroelectric Infrared Radial) senzora za otkrivanje čovekovog prisustva, senzori plamena, dima, gasova, itd.

Dalje slede nivoi upravljanja preko same centralne upravljačke jedinice i pomoću daljinskog upravljača poslednje generacije koji se povezuje pomoću bežične mreže sa svim uređajima u kući.

Zanimljivi su i nivo upravljanja slanjem SMS (System Management Server) poruke, sa mobilnog telefona bilo kog proizvođača, čiji je broj SIM (Subscriber Identity

Ovaj rad je delimično finansiran od Ministarstva za nauku Republike Srbije, projekat 12004, od 2008. god.

Saša A. Vukosavljev, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (telefon: 381-21-4801201, e-mail: sasa.vukosavljev@rt-rk.com).

Erne Đ. Kovač, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (telefon: 381-21-4801185, e-mail: erne.kovac@rt-rk.com).

Boris A. Radin, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (telefon: 381-21-4801201, e-mail: boris.radin@rt-rk.com).

Dragan P. Simić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (telefon: 381-21-4729160-120, e-mail: dragan.simic@rt-rk.com).

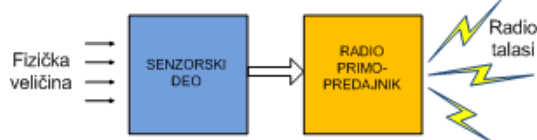
Module) kartice prethodno upisan u memoriju kontrolera, kao i upravljanje pomoću Internet mreže, kada je uz odgovarajuću lozinku omogućena komanda i nadzor sa bilo koje lokacije koja ima Internet pristup.

“Pametna kuća” je koncipirana kao sistem kućne automatike, maksimalno jednostavan za korišćenje, održavanje i ugradnju i kao moderno tehnološko rešenje u službi povećanja kvaliteta stanovanja, energetske efikasnosti i zaštite životne sredine.

Rad se sastoji od pet poglavlja. Drugo poglavlje opisuje delove senzorskog sklopa i njihove funkcije. U trećem poglavlju je predstavljena ZigBee bežična komunikacija. Četvrto poglavlje razmatra različite tipove PIR senzora. U petom poglavlju je obrazložen izbor konfiguracije senzorskog elementa. Šesto poglavlje je zaključak.

II. OPIS SENZORSKOG SKLOPA

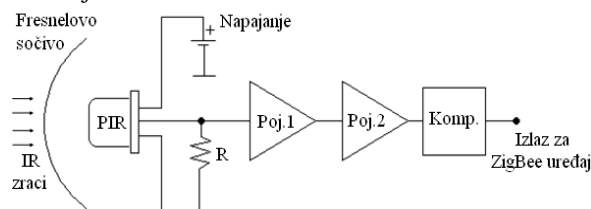
Bežični senzorski sklop se sastoji iz dve, logički razdvojive celine, kao što je to prikazano na Sl.1.



Sl.1. Blok šema senzorskog sklopa.

A. Senzorski deo sklopa

Prvi deo sklopa je senzorski deo, koji je ovde obraden na primeru otkrivanja pokreta pomoću PIR senzora i prikazan je na Sl.2.



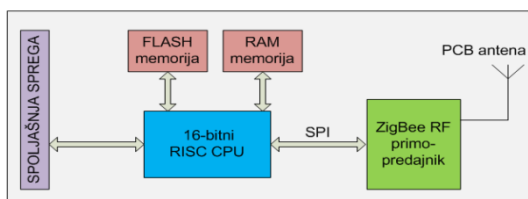
Sl.2. Senzorski deo sklopa.

Na Sl.2. se uočava Fresnelovo sočivo kao neizostavni deo svakog PIR senzora koji se koristi za otkrivanje pokreta. Ono služi za usmeravanje upadnih IR (Infrared) zraka na PIR senzor, kako bi se povećala osetljivost sklopa, kao i domet otkrivanja. Fresnelovo sočivo je plan-konveksno sočivo čija je jedna površina specijalno izrađena, tako da sočivo zadrži svoja optička svojstva ali uz znatno smanjenu debljinu, kako bi se smanjili apsorpcioni gubici u samom sočivu [2].

PIR senzor otkriva promene u spektru IR zračenja, tako što se izrađuje od kristalnih materijala čija se količina površinskog naelektrisanja menja kada se izlože IR zracima. Odgovarajućom polarizacijom senzora iz nekog izvora napajanja, na otporniku R se ta promena

površinskog naelektrisanja manifestuje kao vrlo slab naponski signal. Taj signal se pojačava dvostepenim pojačavačkim sistemom oko 10 000 puta i vodi na prozorski komparator koji na svom izlazu daje odziv i na pozitivne i na negativne polutalase [3].

B. Primo-predajni ZigBee sklop



Sl.3. Primo-predajni ZigBee sklop.

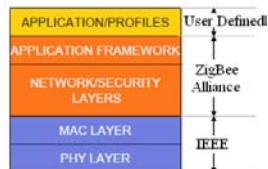
Na Sl.3. je prikazan radio primo-predajnik, koji čini drugi deo sklopa. Glavna komponenta je šesnaestobitni RISC mikrokontroler koji radi na taktu od 1 Mhz i ima u sebi dvanaestobitni A/D (Analog-to-Digital) konverter. Primarni zadatak mu je obrada podataka prispelih sa izlaza komparatora na osnovu čega generiše odgovarajuće izlazne poruke za 2,4 GHz-ni ZigBee RF (Radio Frequency) primo-predajnik, sa kojim komunicira preko standardne četvorožične SPI (Serial Peripheral Interface) serijske periferijske sprege. Vrlo važan element je i precizno projektovana PCB (Printed Circuit Board) antena. Sprega mikrokontrolera sa senzorom i spoljašnjim računarskim sistemom se može realizovati pomoću standardnih komunikacionih sprežnih sistema, kao što su SPI, I²C (Inter-Integrated Circuit) ili UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter).

III. ZIGBEE BEŽIČNA KOMUNIKACIJA

ZigBee je dobro poznat standardizovani bežični komunikacioni protokol otvorenog tipa razvijen za WPAN (Wireless Personal Area Network) mreže. Za razliku od WLAN (Wireless Local Area Network) mreža ne zahtevaju dodatnu infrastrukturu i predstavljaju jeftino i sa energetskog stanovišta efikasno rešenje problema prenosa podataka u bežičnim senzorskim sistemima, gde se ne zahteva velika brzina protoka podataka.

ZigBee je zasnovan na IEEE standardu 802.15.4 bežičnih komunikacionih mreža malog protoka LR-WPANs (Low-Rate Wireless Personal Area Networks), koji definiše PHY (Physical) i MAC (Media Access Control) slojeve podataka u OSI referentnom modelu (Open System Interference Reference Model) [4].

Protokol je vlasništvo ZigBee Alliance, grupe od osam vodećih kompanija u oblasti računarskih komunikacija, koji su se udružili kako bi postojeći standard prilagodili korisnicima i zahtevima tržišta. Njihov zadatak je bio da definišu preostale slojeve OSI referentnog modela do sloja aplikacije. Tako je nastao tzv. ZigBee stek, koji je prikazan na Sl.4.



Sl.4. Blok šema ZigBee steka.

Na nivou fizičkog (PHY) sloja standardom je predviđen rad u 3 slobodna frekvencijska opsega i to 16 kanala u opsegu od (2405-2480) MHz sa maksimalnom brzinom prenosa podataka od 250 kb/s, 10 kanala u opsegu od (902-928) MHz sa maksimalnom brzinom prenosa podataka od 40 kb/s i jedan kanal u opsegu od (868-870) MHz sa maksimalnom brzinom prenosa podataka od 20 kb/s [5]. Najrasprostranjeniji je ipak opseg od 2.4 GHz (ISM, Industrial Scientific Medical) koji se koristi i u drugim personalnim bežičnim mrežama, kao što je npr. Bluetooth.

TABELA 1: POREĐENJE KLJUČNIH PARAMETARA TRENUTNO NAJZASTUPLJENIJIH BEŽIČNIH KOMUNIKACIONIH PROTOKOLA NA TRŽIŠTU.

<i>Prednosti</i>	<i>IEEE 802.11b</i>	<i>Bluetooth</i>	<i>ZigBee</i>
Trajanje baterije	Satima	Danima	Godinama
Složenost	Veoma složen	Složen	Jednostavan
Kašnjenje	3 s	10 s	30 ms
Domet	100 m	10 m	70-300 m
Brzina prenosa podataka	11 Mb/s	1 Mb/s	250 Kb/s
Zaštita	SSID	64 bit, 128 bit	128 bit AES

U tabeli 1 je prikazano poređenje ključnih parametara koji se moraju razmotriti pre projektovanja bilo kakve bežične mreže. Za senzorske mreže je od posebnog značaja razmotriti i pitanje potrošnje.

ZigBee i Bluetooth uređaji imaju istu struju prilikom primo-predaje podataka koja iznosi oko 30 mA, ali zato struja ZigBee uređaja u stanju rezerve (standby) iznosi svega 3 µA u poređenju sa 200 µA koliko ona iznosi za Bluetooth uređaje. To je posledica učestalog odazivanja uređaja u mreži radi održavanja sinhronizacije, dok ZigBee uređaji mogu otići u stanje pripravnosti (sleep mode) u kom ne rade ništa i štede energiju, sve dok ne budu prozvani. Ta ušteda energije je u stvari glavna prednost ZigBee-a u odnosu na Bluetooth pri projektovanju senzorskih mreža, u kojima nema velike količine podataka, dok je vek trajanja baterije vrlo bitno pitanje.

Wi-Fi (IEEE 802.11b) protokol pripada WLAN standardu, pa iz toga proizilazi da uređaji zasnovani na ovom protokolu zahtevaju skoro kontinualnu međusobnu interakciju u mreži. Struja u stanju rezerve im iznosi i do 400 mA, pa se stoga ovi uređaji projektuju tako da se tokom eksploatacije napajaju iz značajnijih izvora energije. Glavna prednost u bežičnim mrežama im je mogućnost prenosa velikih količina podataka. Ovo su međutim putpuno kontradiktorni zahtevi od onih koji se zahtevaju u bežičnim senzorskim mrežama, tako da su ovi uređaji krajnje nepogodni za ovu upotrebu.

Važno je naglasiti i to, da od navedena tri standarda samo ZigBee podržava petljastu (mesh) topologiju

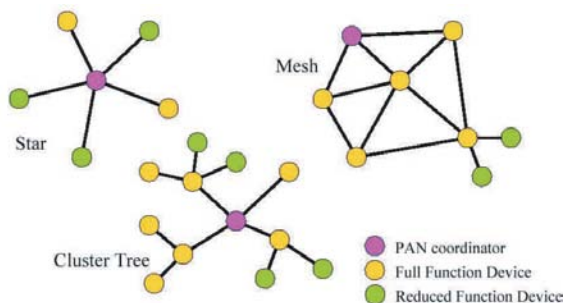
umrežavanja, koji je najfleksibilniji i najrobusniji vid umrežavanja, kao što se to vidi sa Sl.5.

Na nivou sloja mreže (NTW), ZigBee standard definiše dva tipa uređaja, koji predstavljaju čvorišta mreže. To su tzv. FFD (Full Function Device) i RFD (Reduced Function Device) uređaji. Osnovna razlika među njima je što RFD uređaji imaju redukovani stek, zbog čega zahtevaju manje memorijskih resursa, znatno su jednostavniji i jeftiniji.

Svaka mreža mora posedovati najmanje jedan FFD uređaj i tada on mora raditi kao PAN (Personal Area Network) koordinator. FFD uređaji inače mogu raditi kao krajnji uređaji, kao usmerivači ili kao PAN koordinatori. Mogu raditi u bilo kakvoj mrežnoj topologiji, dok su RFD uređaji ograničeni samo na zvezdastu topologiju. Pored toga, RFD uređaji mogu raditi samo kao krajnji uređaji. FFD uređaji mogu komunicirati bilo sa FFD ili RFD, dok RFD uređaji mogu komunicirati samo sa FFD uređajima [4].

Krajnji uređaji dakle mogu biti FFD ili RFD i oni predstavljaju senzorska čvorišta mreže. Usmerivači imaju zadatak usmeravanja paketa u mreži, ali pored toga mogu obrađivati i podatke nekog senzora. PAN koordinator ima za zadatak formiranje i održavanje celokupne mreže.

Na Sl.5. su prikazane tri mrežne topologije koje ZigBee podržava.



Sl.5. ZigBee mrežne topologije.

U zvezdastoj (star) topologiji se komunikacija između čvorišta mreže uspostavlja isključivo preko PAN koordinatora. U petljastoj topologiji svi uređaji mogu neposredno međusobno komunicirati ako su jedno drugom u dometu. Glavna odlika im je povezivanje čvorišta preko više putanja, zbog čega su vrlo efikasne i robusne. Grozd (Cluster-tree) topologija je u suštini tačka-tačka (peer-to-peer) topologija, u kojoj su čvorišta uglavnom FFD uređaji, koji imaju po nekoliko listova ispod sebe, kojima su oni jedina veza sa ostatkom mreže.

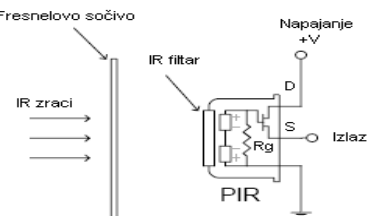
Glavne prednosti ZigBee protokola su dakle, što se mreže same formiraju, što mogu sadržati i do 65 536 čvorišta, a zbog male potrošnje mogu raditi i godinama bez ikakvih intervencija. Podržava petljastu topologiju umrežavanja, dok je standardizacijom omogućeno korišćenje komponenata različitih proizvođača kao rezultat međusobne kompatibilnosti.

IV. PRIMER SENZORSKOG ELEMENTA

PIR senzori se izrađuju od kristalnih materijala čija se količina površinskog naelektrisanja menja kada se izlože IR zracima. Da bi se to naelektrisanje moglo otkriti, u sam senzor se integriše i osetljivi FET (Field-effect Transistor). Sam senzorski element je osetljiv na širok opseg IR zraka,

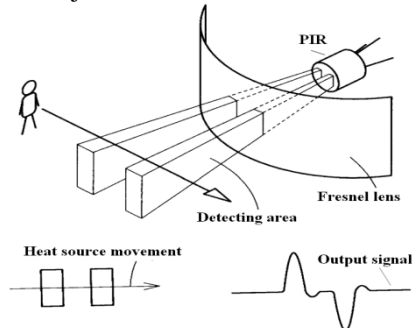
pa se ispred kristala postavlja filtarski prozor koji ograničava prolaz upadnih zraka samo u opsegu od (8-14) μm kako bi senzor bio najosetljiviji na zračenje ljudskog tela [5].

Senzori pokreta uglavnom sadrže dva kristala (Dual element PIR) redno vezana ali suprotno polarisana, sa optičkim razmakom od 1 mm, kao što je to prikazano na Sl.6. Na ovaj način se efikasno poništavaju šumovi nastali usled vibracija, promene temperature ili sunčevim zračenjem.



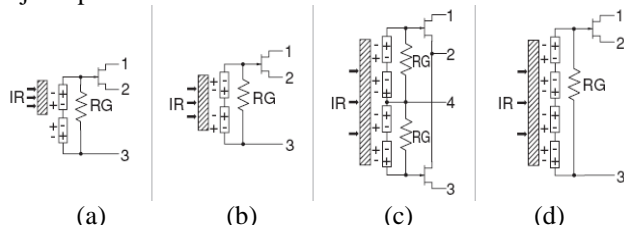
Sl.6. Detaljan prikaz PIR senzora.

Prolaskom čoveka ispred senzora najpre se aktivira jedan, pa zatim drugi kristal, kao što je to prikazano na Sl.7. Ostali, veći IR izvori aktiviraju oba kristala istovremeno, pa se na vrlo jednostavan način može interpretirati da li je senzor otkrio čoveka ili nešto drugo.



Sl.7. Odziv senzora na prolaz čoveka.

Na tržištu se može naći veliki broj različitih PIR senzora, stoga se moraju detaljno proučiti pre konačne odluke o upotrebi nekog od njih. Za sistem, koji treba da otkrije prisustvo čoveka, značajna su četiri tipa senzora, koja su prikazana na Sl.8.



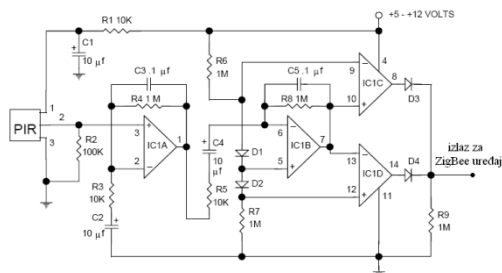
Sl.8. Tipovi PIR senzora za otkrivanje čovekovog prisustva: (a) kompenzovani jednostruki, (b) dvostruki, (c) četvostruki, (d) tačkasti četvostruki, [6].

Kompenzovani jednostruki senzori, iako se preporučuju od strane proizvođača, najpogodniji su kao detektori plamena, detektori gasova (NDIR, Non Dispersive Infrared) i radijacioni termometri. Dvostruki senzori su optimalan izbor za otkrivanje prisustva. Imuni su na promene temperature ambijenta, vibracije i optičke smetnje, a pored toga im je i cena pristupačna. Mana četvostrukog je u tome što zahteva složenije kolo za

detekciju i implementaciju prisustva, kao i njegova visoka cena. Međutim, efikasno rešava problem razlikovanja manjih životinja od čoveka, tzv. lažno alarmiranje. Tačkasti četvorostruki senzori uspešno kombinuju tehničke prednosti jednostrukih i dvostrukih senzora, pa samim tim imaju i najbolje karakteristike. To su ujedno i najskuplji senzori koji imaju širok ugao viđenja, pa se zbog toga uglavnom preporučuju kao najpogodniji za montažu na tavanicu [6].

V. IZBOR KONFIGURACIJE SENZORSKOG ELEMENTA

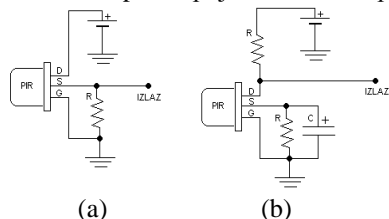
Sl.9. prikazuje električnu šemu povezivanja PIR senzora kao detektora pokreta, tj. čovekovog prisustva. To je tipična električna šema, koja se nalazi u tehničkim podacima većine proizvođača PIR senzora.



Sl.9. Električna šema detektora pokreta sa PIR senzorom.

Kritičan deo prikazane šeme je sam izlaz PIR senzora. Tu su signali reda 0.5 mV, koje je neophodno pojačati radi procesa dalje obrade. Problem je u tome što su ti mali signali vrlo osetljivi na različite šumove iz okoline. Kako bi problem rešili, najpre se razmotrila mogućnost povezivanja PIR senzora sa ostatkom električnog kola.

Na Sl.10. su prikazane dve mogućnosti povezivanja samog PIR senzora sa prvim pojačavačkim stepenom.



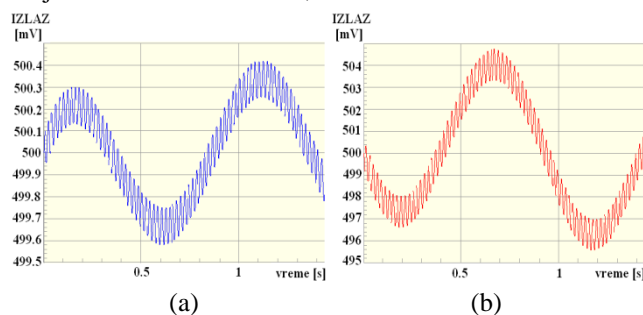
Sl.10. Mogućnosti povezivanja PIR senzora: (a) stepen sa zajedničkim dregnjom (tipično povezivanje), (b) stepen sa zajedničkim sorsom.

Tipičnim povezivanjem PIR senzora prikazanim na Sl.10.(a) se u sam senzor integrisan FET tranzistor ponaša kao "sors follower" sa naponskim pojačanjem $A_v=0.9$, kada na IZLAZ-u imamo spominjanih 0.5 mV. Kako bi taj napon povećali iskoristili smo ideju prikazanu na Sl.9.(b) [7]. U ovakvoj konfiguraciji je iskorišćena mogućnost naponskog pojačanja FET tranzistora integrisanog u sam PIR senzor. Kao rezultat dobili smo naponsko pojačanje $A_v=8.5$, a na IZLAZ-u napon nešto manji od 5 mV i obrnute faze, kao što je to prikazano na Sl.11. Suprotna početna faza nam ništa ne smeta s obzirom da imamo naizmenični signal, dok skoro deset puta veći signal puno znači zbog veće otpornosti na razne šumove iz spoljašnje okoline. To nam pokazuje i rezultat proračuna odnosa signal-šum (SNR, signal-to-noise ratio) na osnovu sledeće jednačine:

$$SNR = \left(\frac{A_{\text{signala}}}{A_{\text{šuma}}} \right)^2,$$

gde A_{signala} označava amplitudu signala, dok $A_{\text{šuma}}$ označava amplitudu šuma. SNR smo računali na osnovu odnosa kvadrata amplituda signala i šuma, jer smo ih merili preko iste impedanse.

Na ovaj način se za slučaj tipičnog povezivanja dobija $SNR=6.25$, dok u slučaju stepena sa zajedničkim sorsom ovaj odnos iznosi nešto više, $SNR=16$.



Sl.11. Izlazni signali PIR senzora konfigurisanog kao stepena sa: (a) zajedničkim dregnjom, (b) zajedničkim sorsom.

VI. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan jedan savremeni bežični senzorski sklop na primeru detektora pokreta sa PIR senzorom. Izvršeno je poređenje trenutno najzastupljenijih bežičnih komunikacionih protokola na tržištu za ovu primenu. Prikazane su i mogućnosti konfigurisanja samog senzorskog elementa, sa rezultatima proračuna SNR i simulacije, na osnovu čega je potvrđena prednost konfigurisanja PIR senzora kao stepena sa zajedničkim sorsom u odnosu na konfigurisanje kao stepena sa zajedničkim dregnjom.

LITERATURA

- [1] http://www.pametnakuca.rs/live/Pametna_kuca.
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Fresnel_lens.
- [3] Glolab Corporation, "Infrared parts manual" copyright© 2003.
- [4] Sinem Coleri Ergen, "ZigBee/802.15.4 Summary" Sempember 10, 2004.
- [5] ZigBee™ Alliance, "Wireless sensors and control networks: Enabling new opportunities with ZigBee" December, 2006.
- [6] Nippon Ceramic Co., Ltd. "Pyroelectric Infrared Sensors".
- [7] Miloš B. Živanov, Elektronika – pojačavačka kola, FTN izdavaštvo, Novi Sad, 2004.

ABSTRACT

In this paper is described PIR (Pyroelectric Infrared Radial) sensor and ZigBee communication protocol as a part of a wireless sensor network, usually used in smart home applications as a motion detector. Here are also the comparison of the actual wireless communication protocols characteristics and the choice of the optional sensor configuration for this system with the results of simulation and calculation of SNR (signal-to-noise ratio).

THE EXAMPLE OF A WIRELESS SENSOR MODULE IN SMART HOMES

Saša A. Vukosavljev, Erne Đ. Kovač, Boris A. Radin, Dragan P. Simić