

Bežični senzor dima sa LoRaWAN interfejsom

Nikola Cvetković, Pavle Milenković, Vladimir Rajović
Elektrotehnički fakultet
Beograd, Srbija
cvele@etf.rs, mpavle6@gmail.com, rajo@etf.rs

Jelena Janković, Goran Rapić
Meter&Control
Beograd, Srbija
jelena.jankovic@meterandcontrol.com,
goran.rapic@meterandcontrol.com

Vladan Lapčević
Elektrotehnički fakultet
Meter&Control
Beograd, Srbija
lapac@etf.rs

Sažetak— U ovom radu je opisana realizacija bežičnog senzora dima za povezivanje na Internet of Things (IoT). Za realizaciju senzorskog čvora korišćena je Arduino platforma uz bežični IoT modem i optički senzor dima. Prikupljanje i prikaz podataka sa senzora realizovani su korišćenjem servisa ThingsBoard platforme u oblaku. Sve bežične IoT aplikacije, pa i senzor dima, bi trebalo da zadovolje određene tehničke zahteve, kao što su: veliki domet, mala brzina prenosa, niska potrošnja i niska cena. Dostupne tehnologije do nedavno nisu ispunjavale sve ove uslove, tako da je razvijen veliki broj novih tehnologija, pod zajedničkim imenom Low Power Wide Area Network – LPWAN. Nakon sprovedene analize karakteristika dostupnih LPWAN tehnologija, u ovom radu je za implementaciju izabran LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) protokol, koji se na fizičkom sloju veze zasniva na LoRa (Long Range) modulaciji.

Ključne reči—LoRaWAN; LPWAN; IoT; Arduino; senzor; dim; (key words)

I. UVOD

Dim predstavlja skup sitnih čestica i gasova koji se emituju prilikom sagorevanja materijala. On nastaje kada dođe do nepotpunog sagorevanja, usled nedostatka kiseonika. Iako može da sadrži stotine različitih hemikalija i isparenja, vidljivi dim se uglavnom sastoji od čestica ugljenika (čadi), katrana, ulja i pepela. Sastav dima zavisi od prirode zapaljenog goriva i uslova sagorevanja. Požari sa visokom dostupnošću kiseonika gore na visokoj temperaturi i sa malom količinom dima, dok se čestice uglavnom sastoje od pepela, aerosoli i azotnih oksida. Vatre koje gore uz nedostatak kiseonika proizvode veći broj jedinjenja od kojih su mnoga toksična, a to su pre svih ugljen-monoksid i cijanovodonik.

Dim je obično neželjeni nusproizvod požara (uključujući sveće, peći, motore sa unutrašnjim sagorevanjem, uljane lampe i kamine), ali se takođe može koristiti i za odbranu od štetočina, komunikaciju (dimni signali), odbrambene i ofanzive akcije vojske, u kuvanju, u duhovne svrhe, kao aroma i tako dalje.

U okviru ovog rada korišćena je LoRaWAN (*Long Range Wide Area Network*) tehnologija za bežičnu komunikaciju velikog dometa i male potrošnje. Domet u kom funkcioniše LoRaWAN mreža kreće se od nekoliko kilometara u urbanim sredinama, pa sve do preko 10 km u ruralnim sredinama. S obzirom na to da su optimizovani da troše malo energije, LoRaWAN uređaji mogu da rade napajani iz baterije i do 15 godina, uz minimalne troškove održavanja. Zahvaljujući jednostavnom LoRaWAN protokolu je smanjena kompleksnost hardvera, a samim tim i cena ovakvih uređaja. Takođe, dugi domet, u kombinaciji sa topologijom LoRaWAN mreže, ne iziskuje teške infrastrukturne zahvate.

Projektovani sistem poseduje senzorski čvor, koji se sastoji iz senzora dima, Arduino razvojne ploče i LoRaWAN modula. Podaci sa senzorskog čvora prosleđuju se ka gejtvaju, koji vrši konverziju primljenih paketa i prosleđuje ih ka mrežnom serveru. Kako bi se vizualizovali podaci, koristi se IoT platforma *ThingsBoard*, koja prikuplja podatke sa servera i na osnovu njih formira prikaz.

Celine koje čine rad su sledeće – u okviru drugog poglavlja navedeni su principi detekcije dima i dat je pregled osnovnih tipova senzora. U okviru trećeg poglavlja opisane su neke od postojećih LPWAN tehnologija. Četvrto poglavlje se detaljno bavi LoRaWAN tehnologijom, dok je u petom poglavlju fokus na konkretnoj hardverskoj realizaciji. Konačno, u poslednja dva poglavlja dati su eksperimentalni rezultati i izvedeni zaključci o karakteristikama projektovanog uređaja.

II. DETEKCIJA DIMA

Senzori dima detektuju čestice dima u vazduhu. Na osnovu načina detekcije dima u osnovi se dele na optičke i radioaktivne. Važna odlika senzora dima je to da postoji međusobna razlika u veličini čestica koje mogu da detektuju. Prosečna veličina čestice dima je 1 μm [1], [2], dok veličina čestice prašine u okviru domaćinstva iznosi oko 20 μm [3].

Radioaktivni senzori dima su prilagođeni detekciji brzog plamena. Termin plamen se odnosi na vatru koja potiče od zapaljivih tečnosti, drveta ili papira. Ovaj senzor se sastoji iz dve naelektrisane ploče između kojih je radioaktivni materijal, koji jonizuje vazduh, što za posledicu ima protok struje između ploča. Kada dim uđe između ploča, dolazi do poremećaja protoka jona, što smanjuje struju. Promene struje daju jasan signal da je dim prisutan. Radioaktivni senzori su skloni lažnim detekcijama. Razlog lažnog oglašavanja je taj što su detektori ovog tipa proizvedeni kao detektori sagorevanja, a ne detektori dima. Drugim, rečima, oni otkrivaju čestice sagorevanja koje su nevidljive golim okom, kao što su razna isparenja. Upravo iz tog razloga može doći do toga da se lažno aktiviraju, usled isparenja koje emituju razni grejni elementi, a koja nisu posledica stvarnog požara. Takođe, možda neće uspeti da se aktiviraju u ranoj, niskotplotnoj fazi tinjanja vatre.

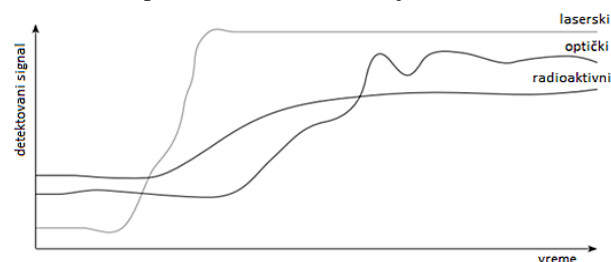
Optički senzori, poznati i kao fotoelektrični, poželjni su u slučajevima kada postoji tinjajući plamen, tj. proizvode se kao pravi detektori dima. Ovaj senzor se sastoji od jedne LED i fotodiode. Ispred LED diode postavljeni su sočivo i prerez, koji usmeravaju snop svetlosti ka spolja. Sočivo i prerez su takođe postavljeni i ispred fotodiode, kako bi ka njoj usmerili reflektovane zrake. Reflektovani zraci nastaju kada se u senzoru pojave čestice dima, koje se sudaraju sa česticama svetlosti koju emituje LED dioda, i menjaju njihov pravac.

Navedeni tipovi senzora su široko rasprostranjeni jer su veoma jeftini, posebno radioaktivni senzori, a sposobni su da zadovoljavaju detektuju dim. Radioaktivni senzori bolje reaguje na plamen, odnosno kada su temperature visoke. Takođe, ovi senzori su obično jeftiniji za proizvodnju od optičkih senzora, ali mogu biti skloniji lažnim detekcijama. Iz navedenog razloga, a s obzirom na to da oba tipa dima mogu da budu fatalna, najbolje je da se u prostorijama postavljaju oba tipa senzora.

U samom senzoru se tokom vremena nagomilavaju razne čestice, najčešće prašina. Kako standardni optički senzori koriste LED diodu koja emituje svetlosne zrake, i to pod velikim uglovima, dešavaće se da se neki od zraka sudari baš sa česticama koje su se nataložile u senzoru, poput prašine ili kondenzacije, što izaziva lažnu aktivaciju senzora. Iz tog razloga, standardni senzori dima mogu se malo izmeniti. U pitanju su skuplji detektori sa laserskim snopovima infracrvenog ili ultraljubičastog zračenja koji se koriste u oblastima gde bi tradicionalni detektori dima bili skloni lažnom aktiviranju. Ovi senzori su po načinu rada slični optičkim sensorima, ali su, za razliku od njih, prilagođeni tome da podjednako dobro prepoznaju i brzi i tinjajući plamen. Princip rada je isti, ali se kao svetlost koristi veoma uzak snop koji potiče od laserske diode kod koje je svetlost

par hiljada puta jača nego kod obične LED diode. Uskim snopom svetlosti postiže se smanjenje njenog rasipanja, dok je količina zraka reflektovanih o nataložene čestice mnogo manja, što daje veći SNR (odnos signal-šum) ako se reflektovani zraci posmatraju kao šum.

Na Sl. 1 prikazano je poređenje odskočnih odziva navedenih tipova senzora za detekciju dima.



Slika 1. Odskočni odziv različitih tipova senzora za detekciju dima

Sa Sl. 1 se može uočiti da radioaktivni senzori brže detektuju pojavu dima od optičkih, ali valjalo bi imati na umu mogućnost lažnih detekcija. Najbolju detekciju poseduju laserski senzori, koji zbog složenosti izrade koštaju više nego tradicionalni optički senzori.

III. BEŽIČNE TEHNOLOGIJE MALE SNAGE I DUGOG DOMETA

Termin LPWAN obuhvata bežične komunikacione tehnologije koje odgovaraju zahtevima IoT-a. Zajedničko im je da su male potrošnje i dugog dometa, i kao takve su izuzetno pogodna za aplikacije kojima je potrebno da se mala količina podataka prenese na velika rastojanja. Aplikacija koje se služe nekom od LPWAN tehnologija je veoma mnogo [4], a neke od trenutno najzastupljenijih su one koje se koriste u rešenjima za "pametne" zgrade, "pametne" gradove, poljoprivredu, "pametna" brojila itd. LPWAN tehnologije, na osnovnom nivou rada, mogu da se podele u dve grupe.

U prvu grupu spadaju tehnologije koje pripadaju nelicenciranom frekvencijskom opsegu, odnosno ne nude se od strane mobilnih operatora, kao što su Weightless, Ingenu, Sigfox i LoRaWAN. Ove tehnologije su razvijene od strane privatnih kompanija, dok još nisu postojali LPWAN mobilni standardi, a razlog je to što su ostale mobilne tehnologije (bez LPWAN) bile preskupe za potrebe IoT aplikacija. Kasnije su se različite mobilne tehnologije prebacile u LPWAN frekvencijski prostor, zajedno sa tehnologijama navedenim u okviru druge grupe.

U drugu grupu spadaju tehnologije koje rade u licenciranom spektru i koriste mreže mobilnih operatora, a razvijene su od strane 3GPP-a (*3rd Generation Partnership Project*). Neke od njih su EC-GSM-IoT, LTE-M i NB-IoT.

U praksi najzastupljenije LPWAN tehnologije su NB-IoT, LTE-M, Sigfox i LoRaWAN.

NB-IoT je mobilna tehnologija, predodređena za slanje i primanje malih količina podataka, od nekoliko desetina do nekoliko stotina bajtova dnevno, generisanih od strane IoT

uređaja. Način komunikacije, zasnovan na porukama, sličan je kao kod LoRaWAN i Sigfox tehnologija ali je brzina prenosa znatno veća [5]. Međutim, NB-IoT komunikacioni protokol ne može da se poveže na neku IP mrežu i šalje podatke, kao što to može pametni telefon. Napravljena je za jednostavne IoT aplikacije i u tom smislu energetski je efikasna, tj. dizajnirana je za uređaje koji se retko oglašavaju.

Slično kao prethodno opisana tehnologija, LTE-M tehnologija kao prioritet uzima potrošnju i udaljenost uređaja nad brzinom komunikacije. Ipak, osnovne prednosti LTE-M tehnologije nad NB-IoT tehnologijom leže u značajno većoj brzini prenosa podataka i mogućnosti da se projektuju sistemi mobilni u prostoru. Zbog lakog povezivanja uređaja sa jedne na drugu baznu stanicu, pri čemu uređaj sve vreme ostaje povezan na mrežu, LTE-M tehnologija je pogodna za upotrebu u sistemima u kojima su potrebni srednja brzina protoka, kašnjenje u milisekundama i obezbeđena mobilnost uređaja. Glavne mane LTE-M tehnologije u poređenju sa LoRaWAN-om jesu ograničena mrežna pokrivenost, kao i to što podrazumeva licencirani propusni opseg, što utiče na cenu sistema.

Sigfox je bežična tehnologija koja koristi vrlo uzak opseg frekvencija. Ova tehnologija pruža najnižu cenu radio modula, ali iz toga proizilazi problem koji se tiče bidirekcionne komunikacije. Naime, uspešno se mogu slati *uplink* poruke, tj. poruke od čvora ka baznoj stanici, jer je u tom slučaju dobra osetljivost prijemnika, ali je kapacitet *veze* u slučaju *downlink* poruka veoma mali, i zato je komunikacija u tom smeru ograničena. To se dešava zato što je osetljivost prijemnika sa strane čvora mnogo lošija od osetljivosti prijemnika sa strane bazne stanice.

LoRaWAN je bežična tehnologija koja ima veći kapacitet veze od svih ostalih LPWAN tehnologija. LoRa predstavlja oblik modulacione tehnike za geografski rasprostranjene računarske mreže. Termin LoRa je skraćenica od *Long Range*; ova tehnologija omogućuje prenos podataka na velikim rastojanjima, mnogo većim od onih koja se očekuju od standardnih tehnologija koje se danas koriste, kao što su *Bluetooth* i *WiFi*. Druga ključna prednost ove tehnologije je mala potrošnja, pa baterijski napajani uređaji mogu da traju prilično dugo. Zbog ovih osobina, mreža zasnovana na LoRaWAN protokolu je idealna za aplikacije koje podrazumevaju komunikaciju na velikim daljinama između uređaja koji priključuju male količine podataka i troše vrlo malo energije.

Neke osobine LoRa tehnologije su mogućnost prenosa podataka na velikim rastojanjima, mala brzina prenosa podataka, mala potrošnja, dvosmerna komunikacija i jeftine komponente izrade mreže.

IV. LoRAWAN

LoRa modulacija je zasnovana na *Chirp Spread Spectrum* (CSS) modulaciji, što znači da koristi tzv. čirpove kao način prenosa podataka. *Chirp* (simbol) je signal čija frekvencija raste ili opada linearno u okviru definisanog opsega, brzinom koja je definisana faktorom širenja (*spreading factor*) i približno iznosi 2^{SF} [6]. Ovaj faktor predstavlja broj bita

neophodnih da se simbol predstavi u binarnom obliku.

Ukoliko se šalje isti broj podataka, za isti propusni opseg, sa većim SF potrebno je više vremena. Samim tim je povećana mogućnost prijemnika da odabere signal, što daje bolju osetljivost. Sa svakim povećanjem SF za 1 udvostručava se vreme potrebno za prenos iste količine podataka.

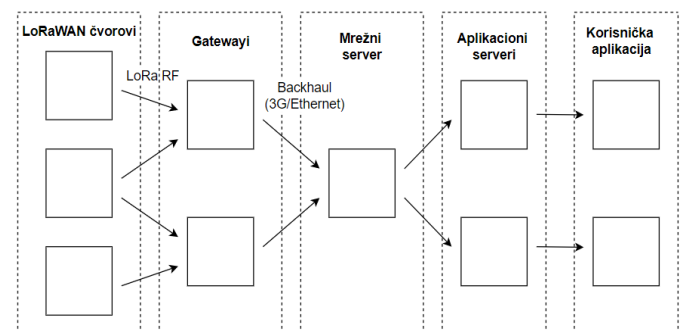
Bitna odlika LoRa komunikacije je trajanje prenosa paketa (*Time on Air*, ToA) između čvora i prijemnika. Na Sl. 2 prikazana su standardna vremena trajanja prenosa paketa za sve vrednosti faktora širenja i brzine prenosa. Vreme prenosa raste sa porastom faktora širenja i rastojanja [7].

Spreading Factor (For UL at 125 KHz)	Bit Rate	Range (Depends on Terrain)	Time on Air for an 11-byte payload
SF10	980 bps	8 km	371 ms
SF9	1760 bps	6 km	185 ms
SF8	3125 bps	4 km	103 ms
SF7	5470 bps	2 km	61 ms

Slika 2. Vreme trajanja prenosa paketa u zavisnosti od SF.

LoRaWAN je protokol za mrežno povezivanje razvijen u okviru MAC mrežnog sloja na fizičkom sloju LoRa modulacije [8], [9]. U pitanju je softverski mrežni sloj koji definiše kako uređaji koriste hardverski deo LoRa tehnologije i koji format poruka koriste pri komunikaciji. LoRaWAN protokol je pogodan za prenos malih paketa podataka na velike daljine, kao što su, na primer, podaci sa senzora.

Topologija LoRaWAN mreže ima oblik zvezde u kojoj uređaji smeju da uđu u režim spavanja, čime se potrošnja značajno smanjuje. Takođe, u takvoj mreži ne postoji direktna povezanost uređaja među sobom, što dodatno štedi energiju. LoRaWAN mreža se sastoji iz četiri dela, što je prikazano na Sl. 3. LoRaWAN čvorovi predstavljaju LoRa modeme sa dodatnom opremom kao što su senzori ili aktuatori. Ovi čvorovi razmenjuju podatke u oba smera LoRaWAN bežičnom komunikacijom sa uređajem pod nazivom *gateway* (mrežni prolaz, gejtvej), ili više njih.



Slika 3. Arhitektura LoRaWAN mreže.

Prenos podataka LoRaWAN protokolom se započinje LoRa radio prenosom od uređaja do gejtveja, a potom bežično ili preko *Ethernet* tehnologije, sa gejtveja na mrežni server. *Uplink* poruke predstavljaju poruke koje LoRaWAN čvorovi preko gejtveja šalju ka mrežnom serveru (koji ih, po

potrebi, može proslediti na aplikacioni server). *Downlink* poruke jesu poruke koje mrežni server preko gejtveja šalje ka LoRaWAN čvorovima.

Gejtvej je komponenta koja sudeluje u povezivanju uređaja sa mrežnim serverom, tj. ima ulogu ruteru i spone između njih. Ovo je jednostavan, jeftin uređaj, koji konvertuje LoRaWAN pakete koje prima od LoRaWAN modema u IP pakete koje prosleđuje na mrežni server. Ti IP paketi sadrže osnovne informacije o poslatom signalu sa LoRaWAN modema, a to su jačina signala i odnos signal/šum. LoRa gejtvej obično osluškuje 8 ili više kanala istovremeno. Ukoliko ima više gejtveja, svi će primiti podatke od LoRa modema i proslediti ih na mrežni server.

Zbog deljenja zajedničkih resursa od strane više korisnika, definiše se parameter *duty cycle* koji predstavlja maksimalni procenat vremena tokom kog uređaj može da zauzme kanal i da šalje poruke, i karakteristika je mreža koje koriste frekvencije iz nelicenciranog opsega, kako ne bi došlo do preopterećenja na mreži. *Duty cycle* je 1% za *uplink* poruke, i 10% za *downlink* poruke [8]. To znači da je, ukoliko ima 100 uređaja povezanih na jedan gejtvej, vreme prenosa po uređaju u toku jednog sata ograničeno na 360 ms i nakon što uređaj pošalje poruku, treba da sačeka 35,64 s pre nego što pošalje sledeću poruku.

Mrežni server donosi odluku sa kog gejtveja uzima primljeni podatak, koji dalje prosleđuje na aplikacioni server. On ima zadatak da prihvata poruke sa LoRa gejtveja, a zatim da: proveri autentifikaciju (to radi poređenjem različitih ključeva dodeljenih uređaju sa ključevima aplikacije), komunicira sa aplikacionim serverom, i upravlja slanjem poruka ka čvorovima.

Uprkos velikoj otpornosti na interferenciju i sposobnosti da prima veoma zašumljene signale, LoRaWAN mreža nije otporna na potencijalne sudare sa signalima drugih LoRaWAN mreža. Iz tog razloga implementirane su različite tehnike za prevazilaženje ovog problema. Jedna od njih je ADR (*Adaptive Data Rate*). Na primer, LoRa gejtvej može da prima signale sa faktorom širenja između 7 i 12, osluškajući i do 8 različitih kanala istovremeno. Najbolja osetljivost prijemnika se postiže za SF=12, ali je tada vreme potrebno za prenos čak 32 ($=2^5$) puta veće nego za SF=7, što dosta uvećava mogućnost da dođe do sudara. Iz tog razloga, trebalo bi da uređaji koji imaju dovoljno stabilne RF uslove koriste manji SF. To može da se podese u okviru samog čvora, ili da se omogući ADR mehanizam, koji radi isti posao, odnosno podešava optimalan *data rate* (brzinu prenosa) uređaja i snagu prenosa. Ovaj mehanizam ima smisla samo za uređaje koji miruju. Valjalo bi da, kada god je moguće, ADR bude aktivan, kako bi se optimizovali potrošnja energije i kapacitet mreže, pošto ADR mehanizam pronalazi optimalan odnos između brzine prenosa i utrošene energije, u zavisnosti od daljine na koju se prenose podaci.

Da bi pristupio LoRaWAN mreži svaki uređaj mora da bude personalizovan i aktiviran na mrežnom serveru. LoRa podržava dva načina na koja uređaj može da se aktivira: OTAA i ABP.

Kod OTAA (*Over The Air Activation*) načina aktivacije, pre nego što se pošalje zahtev za pristup mreži, uređaju treba dodeliti DevEUI, AppEUI i AppKey. Uređaj zatim šalje ka mreži zahtev za pristup, pri čemu mu se dodeljuje dinamička adresa DevAddr. Mreža proverava AppEUI i AppKey upisane u uređaj i, ako su ispravni, vraća se potvrdna poruka ka uređaju, na osnovu koje se generišu NwkSKey i AppSKey. Ovi ključevi se čuvaju i traju sve dok traje jedan ciklus komunikacije između uređaja i mreže. Sa svakim novim pristupanjem mreži od strane uređaja, formiraju se novi NwkSKey i AppSKey, i zato je ovaj način bezbedniji.

Kod ABP (*Activation By Personalisation*) načina aktivacije, uređaj ne šalje zahtev za pristupom, već odmah može da započne sa slanjem podataka na server. NwkSKey i AppSKey ugrađeni su u uređaj, i ostaju isti prilikom svakog novog pristupa na mrežu. Iako jednostavnija, ova forma nije pouzdana jer NwkSKey i AppSKey ostaju nepromenjeni, pa su veće šanse da neki drugi uređaj pristupi tim podacima.

Aplikacioni server je odgovoran za rukovanje porukama i šifrovanje. Podaci se sa aplikacionog servera šalju na krajnju aplikaciju, na istom ili udaljenom (serverskom) računaru, u okviru koje se mogu raditi analize, vršiti grafički prikaz, inicirati različite akcije (slanje SMS poruke, mejla...) itd.

Kada je *downlink* u pitanju, razlikuju se dva tipa poruka: *unicast* i *multicast*. *Unicast* poruke se šalju ka jednom LoRaWAN čvoru, dok su *multicast* poruke namenjene grupi čvorova.

U zavisnosti od LoRaWAN aplikacije, potrebno je napraviti određeni kompromis između pouzdanosti i uštede energije. U aplikacijama u kojima uređaji koriste baterijsko napajanje, potrebno je težiti uštedi energije, za razliku od slučaja kada je bitno da slanje i prijem poruka budu što pouzdaniji. Zbog toga kod LoRaWAN tehnologije postoje tri klase uređaja, čija je glavna razlika u tome kada krajnji uređaji primaju podatke od mrežnog servera.

Uređaj klase A može poruku ka serveru da pošalje bilo kada, dok server ka uređaju može poslati samo nakon što primi poruku od uređaja. Konkretno, nakon što uređaj pošalje poruku ka serveru, čeka se izvesni vremenski period, u okviru kojeg server može da pošalje poruku. Ako uređaj ne primi poruku od servera u zadatom vremenu vraća se u režim spavanja, i ostaje u tom režimu sve dok se opet ne probudi kako bi poslao narednu poruku.

Klasa B nadograđuje klasu A tako što se dodatno periodično budi i određeno vreme čeka na poruku sa servera. Sinhronizacija servera i uređaja vrši se periodičnim slanjem sinhronizacionog signala od strane gejtveja. Dodatno, kao i kod uređaja u klasi A, nakon svake poslate *uplink* poruke, čeka se izvesni vremenski period u okviru kojeg se takođe može primiti poruka.

Klasa C slična je klasi A, sa razlikom u tome što je uvek omogućen prijem *downlink* poruka, osim kada je u toku slanje *uplink* poruka. To znači da uređaji klase C troše više energije od uređaja u klasi A, ali je moguće poruku do uređaja dostaviti praktično trenutno.

Za uređaje svih klasa važi da, nakon slanja *uplink* poruke, uređaj ne bi trebalo da šalje narednu poruku, sve dok ili ne primi poruku sa servera, ili ne istekne vreme čekanja na tu poruku.

V. REALIZACIJA

Realizovani sistem može se podeliti na četiri celine: čvor sa LoRaWAN modemom, mikrokontrolerom i senzorom dima, gejtvej, *ChirpStack* integrisani mrežni/aplikacioni server, i aplikacija za grafički prikaz dobijenih podataka, kako je prikazano na Sl. 4. Komunikacija se vrši u jednom smeru, odnosno LoRaWAN čvor šalje podatke sa senzora ka gejtveju, koji poruke prosleđuje ChirpStack serveru. Server podatke dalje prosleđuje na ThingsBoard, IoT platformu za prikupljanje, obradu i grafički prikaz podataka.

Hardverskom delu rešenja pripadaju komponente označene na blok šemi sa „čvor“ (koji radi u klasi A) i „gateway“. Blok šema čvora prikazana je na Sl. 5 i na njoj su sledeće komponente:

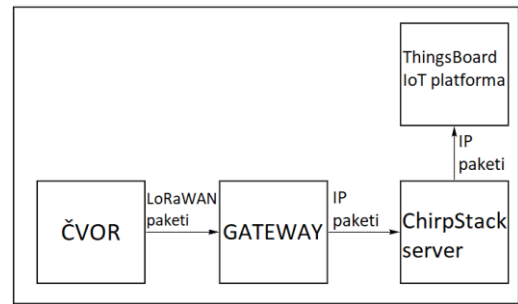
- Arduino razvojna ploča sa ATMEGA2560 mikrokontrolerom;
- Senzor dima GP2Y1014AU0F za generisanje podataka koji će se slati na mrežu;
- RHF76-052 razvojna ploča sa RisingHF RHF0M003 LoRaWAN AT modulom, koja preko UART-a komunicira sa Arduino mikrokontrolerom [10];
- PC računar preko kog se pristupa mrežnom serveru i aplikaciji u okviru servera, gde se grafički prikazuju primljeni podaci sa senzora;
- bidirekcionni konvertor logičkih naponskih nivoa koji služi da omogući napon od 3.3 V za potrebe LoRaWAN modema.

RHF0M003-HF20 modem spada u grupu LoRaWAN modema male potrošnje, niske cene i malih dimenzija koji se sastoji iz LoRa čipa SX1276 kompanije Semtech i mikrokontrolera STM32L07x. Integrisan je u okviru razvojne ploče RHF76-052. Modem radi na frekvenciji od 868 MHz, i sa njim se komunicira preko AT komandi.

Na Sl. 6 prikazan je izgled realizovanog čvora. Program je napisan u okviru Arduino IDE razvojnog okruženja. U okviru programske petlje, najpre se aktivira senzor i očitava njegov analogni izlaz korišćenjem AD konvertora. Zatim se senzor deaktivira i očitana vrednost šalje preko LoRaWAN modema. Kako se u programu ne vodi računa o *duty cycle*-u, već se to vrši u samom modemu, slanje se pokušava sve dok poruka ne bude zaista poslata. Nakon toga, petlja se izvršava iz početka.

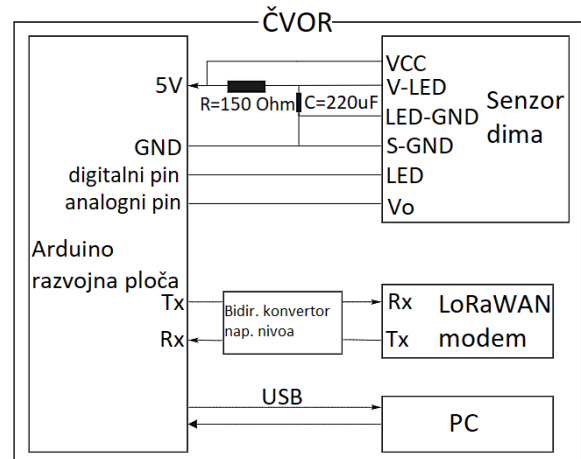
Za potrebe debagovanja koristi se serijska komunikacija. Na Sl. 7 dat je prikaz serijskog monitora iz Arduino razvojnog okruženja, sa svim porukama poslatim ka modemu i onim primljenim od modema koje ilustruju rad programa.

U okviru rada korišćen je ChirpStack mrežni/aplikacioni server. Ovaj server predstavlja *open-source* rešenje koje, između ostalog, pruža podršku za rad sa sve tri klase LoRaWAN uređaja i ADR. ChirpStack čine četiri glavne komponente – most za gejtvej kojim komunicira sa LoRa gejtvejmima, mrežni server, aplikacioni server i *ChirpStack*

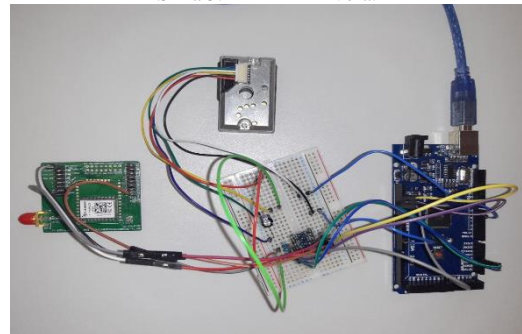


Slika 4. Blok šema sistema.

Gateway OS, operativni sistem baziran na Linux-u za pokretanje ChirpStack-a na Raspberry Pi LoRa gejtvejmima.



Slika 5. Blok šema čvora.



Slika 6. Realizovani čvor.

Kada podaci stignu na ChirpStack server, smeštaju se u bazu podataka. Za prikaz podataka dobijenih sa senzora, korišćena je jedna od IoT platformi koje su povezane sa serverom - ThingsBoard. Podaci se u bazi na serveru čuvaju u *base64* formatu, zato je neophodno u okviru mrežnog servera definisati način na koji se podaci konvertuju za slanje na ThingsBoard.

ThingsBoard je jedna od otvorenih IoT platformi koje je moguće povezati sa ChirpStack aplikacionim serverom, a koja pruža različite opcije za rad sa podacima sa servera. U okviru ThingsBoard platforme moguće je, između ostalog, upravljati uređajima, pratiti prikupljene podatke pomoću ugrađenih indikatora, vršiti obradu podataka i podizati alarme vezane za događaje (poput neaktivnosti ili isključenja uređaja sa mreže) [11]. Kao jednoj od predefinisanih aplikacija, podešavanje veze sa serverom je vrlo jednostavno.

```

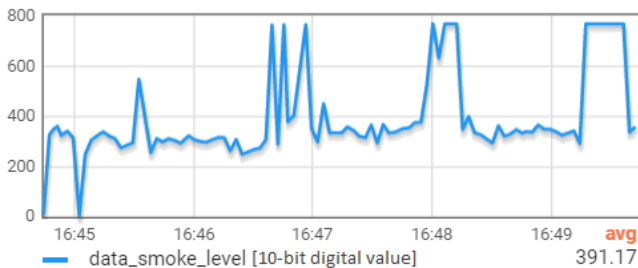
AT+ID=DevEUI,"00be8314cfc42704"
+ID: DevEui, 00:BE:83:14:CF:C4:27:04
AT+KEY=AppKey,"7Eb23451019884886c8a4c1fa339629d"
+KEY: APPKEY 7EB23451019884886C8A4C1FA339629D
AT+MODE=LWOTAA
+MODE: LWOTAA
AT+CLASS=C
+CLASS: C
AT+POWER=14
+POWER: 14
AT+RXWIN2=?
+RXWIN2: 869500000,DR3
AT+ADR=ON
+ADR: ON
AT+JOIN
+JOIN: Start
+JOIN: NORMAL
+JOIN: Network joined
+JOIN: NetID 000000 DevAddr 01:57:0E:5C
+JOIN: Done

```

Slika 7. Prikaz serijskog monitora sa razmenjenim porukama.

VI. REZULTATI

Na Sl. 8 dat je grafik sa ThingsBoard platforme na kome su prikazane vrednosti očitane pomoću 10-bitnog AD konvertora sa senzora dima u periodu od 5 minuta. Sa grafika se vidi relativna promena izmerenih vrednosti prilikom prinošenja i uklanjanja izvora dima. Kako je u okviru projekta korišćen jedan senzor dima koji šalje podatke na server preko lokalnog gejtveja, koji ima 8 kanala, komunikacija je stabilna i svaka poruka od senzora primljena je na serveru. U okviru ovog eksperimenta svi rezultati dobijeni su za SF (*spreading factor*) 7, s obzirom na to da se korišćeni LoRaWAN čvor nalazi blizu gejtveja (15m), u istoj prostoriji. Ukoliko se prilikom analize potrošnje senzorskog čvora zanemari potrošnja Arudino razvojne ploče, pošto ona služi samo za dokaz koncepta, bitni potrošači u okviru senzorskog čvora su LoRaWAN modem i senzor dima. Ukoliko *duty cycle* iznosi 1% i ukoliko je izlazna snaga LoRaWAN modema 14 dBm, srednja snaga modema iznosi približno 1.5 mW, dok srednja snaga senzora iznosi oko 3.5 mW, odnosno ukupna potrošnja se procenjuje na 5 mW.



Slika 8. Prikaz grafika sa ThingsBoard platforme.

VII. ZAKLJUČAK

U okviru rada realizovan je i verifikovan senzorski čvor za detekciju dima sa LoRaWAN interfejsom. Jedna od glavnih prednost korišćenja LoRaWAN tehnologije je jednostavnost dodavanja novih čvorova u mrežu. Takođe, ukoliko bi se prototip izradio u formi štampane ploče, cena izrade bi bila znatno niža u odnosu na dostupna komercijalna rešenja.

U budućnosti, demonstrirani sistem bi se mogao proširiti tako da detektuje dim na više različitih lokacija (na primer više prostorija u okviru stambene jedinice ili zgrade), uz automatsko praćenje komunikacije i proveru da li sistem ispravno radi.

Ovaj rad je delimično finansiran sredstvima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije preko projekata tehnološkog razvoja TR32039 i TR32043.

LITERATURA

- [1] B.G. Mustafa et al., "Smoke Particle Size Distribution in Pine Wood Fires", Ninth International Seminar on Fire and Explosion Hazards, vol. 2, Saint-Petersburg Polytechnic University Press, pp. 1-3, April 2019.
- [2] C. H. Keith, "Particle Size Studies on Tobacco Smoke", Celanese Fibers Company, Contributions to Tobacco & Nicotine Research, vol. 11, No. 3, p. 123, January 1982.
- [3] C. Lanzerstofer, "Variations in the composition of house dust by particle size", Journal of Environmental Science and Health, part A, pp. 770-777 Apr 1971.
- [4] B.S. Chaudhari, M. Zennaro and S. Borkar, "LPWAN Technologies: Emerging Application Characteristics, Requirements, and Design Considerations", Future Internet, MDPI, March 2020.
- [5] Naumann H. and Oelers W.: "LPWAN Comparison – Low Energy Consumption with NB-IoT, LoRaWAN and Sigfox", ver. 1.1, Triptec HL UG, April 2021.
- [6] Md. Noor-A-Rahim et al., "Hybrid Chirp Signal Design for Improved Long-Range (LoRa) Communications", Signals, MDPI, January 2022.
- [7] Semtech, LoRa Developer Portal, "What are LoRa and LoRaWAN?", Accessed on January 2022. [Online] Available: <https://loradevelopers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/loraland-lorawan/>
- [8] Semtech, "LoRaWAN – Simple Rate Adaptation Recommended Algorithm", rev. 1.0, October 2016.
- [9] LoRa Alliance Technical Committee, "LoRaWAN 1.1 Regional Parameters", rev. A, LoRa Alliance, October 2017.
- [10] RisingHF, "LoRaWAN Module RHF76-052 User Manual", ver. 2.6, January 2016.
- [11] ChirpStack open-source LoRaWAN network server, "ThingsBoard getting started". Accessed on January 2022. [Online] Available: <https://www.chirpstack.io/project/guides/thingsboard/>

ABSTRACT

This paper proposes a solution for a wireless smoke sensor for the Internet of Things (IoT) applications. Sensor node consists of the Arduino platform with wireless IoT modem and optical smoke sensor. Data acquisition and visualization are implemented using the ThingsBoard cloud service. All IoT applications, including a smoke sensor, should satisfy certain technical requirements, including: long range, low data rate, low power consumption and low cost. The available technologies did not comply with these requirements until recently, that being one of the reasons for the development of numerous new technologies of wireless communication, such as Low Power Wide Area Network – LPWAN. After the analysis of available LPWAN technologies, LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) protocol, based on Lora (Long Range) modulation on a physical layer, was chosen for the implementation.

WIRELESS SMOKE SENSOR WITH LoRaWAN INTERFACE

Jelena Janković, Vladan Lapčević, Nikola Cvetković, Pavle Milenković, Goran Rapić, Vladimir Rajović