

Sistem za nadzor dimniških požarov

Aljaž Gaber, Boštjan Vlaovič

Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru

Koroška cesta 46, 2000 Maribor, Slovenija

E-pošta: aljaz.gaber@student.um.si, bostjan.vlaovic@um.si

Chimney fire control system

In winter time, it is necessary to have a good heating system installed in our homes. But most of these systems contain chimneys. In Slovenia there is a big lack of chimney maintenance. It causes high risk of chimney fires. With this thought in mind, we developed a prototype system that could help with solving this problem. It contains measurement and warning unit. Measurement unit reads temperature of chimney walls and density of smoke. After that information is sent to receiver unit over LoRa technology with operating frequency 433 MHz. Receiver unit posts received information on cloud database Firebase via WiFi technology. If parameters are exceeding optimal values it triggers sound alarm, which indicates high risk of fire. Prototype implementation turned out to be a success. There is also space for improvements, such as developing a web app which graphically displays stored data on database and automatically inform rescue services about probability of fire. By implementing more expensive LoRa modules we could increase range of communication and use it on frequency 868 MHz.

1 Uvod

V zimskih mesecih je ogrevanje ključnega pomena za normalno bivanje v stanovanjskih objektih. Tako v Sloveniji, kot tujini, so najbolj pogosti ogrevalni sistemi z dimniki. Veliko slovenskih hiš, kljub strogi zakonodaji, ima neustrezno vzdrževane dimnike. Takšnih primerov je v Sloveniji okoli 30000 [1]. Neustrezna vzdrževanost je eden izmed glavnih povzročiteljev dimniških požarov. V naši državi kljub temu, da gre za povprečno starost hiš 34 let, zabeležimo več kot 600 dimniških požarov letno [1]. V primerjavi s Finsko, ki ima dvakrat večjo populacijo od Slovenije, veliko hladnejše podnebje ter je veliko intenzivnejši uporabnik ogrevalnih sistemov, je med letoma 2008 in 2014 v dimnikih zagorelo nekje od 500 do 700-krat na leto [2]. Ta statistični podatek nakazuje, da imamo v povprečju še vedno večje število dimniških požarov, v primerjavi z najbolj razvitimi državami Evropske unije. Ob analiziranju zgornjih dejstev smo se odločili za razvoj ustreznega senzorskega sistema, ki omogoča detekcijo dimniških požarov. Po pre-

gledu trenutnega tržišča, podobne rešitve nismo našli.

Za dimniški požar so značilni znaki povišana temperatura, ki jo oddajajo stene dimnika (temperature višje od 2000 °C [3], črn dim, zaradi nepopolnega izgorevanja (gostota več kot 7000 delcev na milijon [4]), glasno bobnenje ... Odločili smo se, da bomo senzorično zaznavali temperaturo v okolici sten dimnika ter gostoto izhodnega dima. Nadzorovanje ali so vrednosti teh dveh parametrov v okviru optimalnih vrednosti, zanesljivo dokazuje ali obstaja možnost nastanka dimniškega požara.

2 Splošen opis sistema

Sistem je trenutno v prototipni fazi. Razdeljen je na merilno (poglavje 2.3) in sprejemno enoto (poglavje 2.4), ki med seboj komunicirata preko brezžične tehnologije LoRa (poglavje 3) preko modula Ra-01 (poglavje 3.1). Obe enoti sta implementirani na dveh razvojnih ploščicah. Njuno delovanje upravlja mikrokrmilnik NodeMCU (poglavje 2.2). Za programski razvoj smo uporabili strojno opremo Arduino (poglavje 2.1).

2.1 Programska oprema Arduino

Za programski razvoj smo uporabili odprtokodno strojno programsko opremo Arduino. Razlogi za uporabo so brezplačnost, odprtokodnost in odlična podpora s primeri programov in sistemskih knjižnic. Programska koda je spisana, s pomočjo brezplačnega razvojnega okolja Arduino IDE, v programskem jeziku C [5].

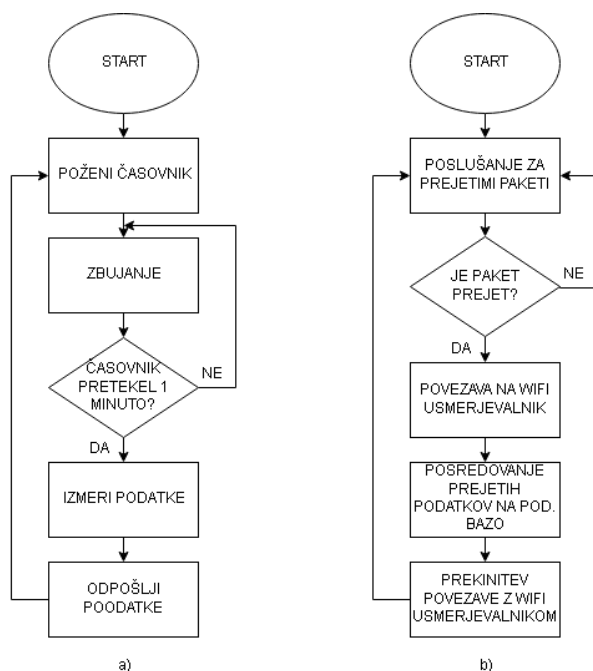
Čeprav privzeta strojna oprema na NodeMCU, ki uporablja skriptni jezik Lua, je mikrokrmilnik mogoče reprogramirati za uporabo pomnilniškega programja Arduino (poglavje 2.2).

2.2 Mikrokrmilnik NodeMCU

Mikrokrmilnik NodeMCU vključuje 16 digitalnih vhodnih ali izhodnih ter en analogni priključek, operacijski sistem XTOS, USB vodilo, ki je tudi vir napajanja in vgrajen WiFi modul ESP8266. Na voljo ima 128 kB delovnega spomina in trajni pomnilnik velikosti 4 MB [6]. Razlogi za našo uporabo so nizka energijska poraba (poglavje 2.2.1), ustrezne zmogljivosti in nizka cena (poglavje 5).

2.3 Merilna enota

Merilna enota deluje avtonomno. Posebnost merilne enote sta dva načina delovanja, budno stanje in globok spanec. V budno stanje preide dvakrat na uro in traja 10 sekund. V tem času enota prebere vrednosti s senzorjev ter jih pošlje na sprejemno enoto preko tehnologije LoRa (poglavje 3). Preostali čas je enota v globokem spancu (slika 1). Nanjo so vezani LoRa modul Ra-01 ter senzor za merjenje temperature DHT-11 in gostote plinov MQ-2.



Slika 1: Graf prehajanja med stanji na merilni -a) in sprejemni enoti -b).

DHT-11 je digitalni senzor, katerega izmerjene temperature vrednosti beremo preko digitalnega vmesnika D4 na NodeMCU. Za delovanje uporablja namensko knjižnico Adafruit DHT Humidity and Temperature Sensor Library [7]. V vzbujenem stanju potrebuje napetost 3,3 V. Pri merjenju temperature, deluje v omnočju 0-50 °C in z natančnostjo ± 2 °C. Temperature pri dimniškem požaru dosežejo tudi do 600 °C [8]. Možnost merjenja takšnih temperatur omogočajo dražji senzorji. V našem prototipnem sistemu je zaradi časovne in cenovne omejitve, bil izbran DHT-11.

MQ-2 za delovanje potrebuje napetost 5 V. Za izklop grelnika na senzorju v stanju globokega stanja merilne enote smo uporabili MOSFET tranzistor. Razpon zaznave dima je med 300 in 10000 delci na milijon, kar ustreza za zaznavo dima pri dimniškem požaru, ki ima gostoto 7000 delcev na minuto [9]. Vrednosti beremo prekoga analogne analognega vmesnika A0 na mikrokrmilniku. Izmerjene vrednosti niso podane v enoti delci na milijon. Senzor vrača referenčne vrednosti, ki jih s kalibracijo pretvorimo v ustrezno enoto.

2.3.1 Energijska poraba

V vzbujenem stanju merilna enota porablja povprečni tok 0,132 A, v času globokega spanja pa okoli 0,05 μ A. Tabela 1 prikazuje čas avtonomnega delovanja ob različnih vrednostih kapacitete baterije, števila vzbujanj v eni uri in času budnega stanja.

Kap. baterije [mAh]	8100	1200
El. tok (globok spanec) [μ A]	0,5	0,5
El. tok (budno stanje) [μ A]	0,13	0,13
Št. vzbujanj na uro	2	6
Čas budnega stanja [s]	10	10
Avtonomnost [dni]	390,6	192,9

Tabela 1: Čas avtonomnega delovanja ob različnih vrednostih

2.3.2 Struktura poslanih podatkov

Na merilni enoti se prebrane vrednosti, temperature in gostote dima, hranijo v ločeni znakovni polji. Pred prenosom podatkov se polji združita v en skupni znakovni niz (slika 2).

a) temp=24, dim=514 b) 25,514

Slika 2: Hranjenje podatkov v ločeni znakovni polji -a) in pretvorba v skupni znakovni niz -b).

Kreiran znakovni niz se nato zašifrira in pošlje (poglavje 4). Na sprejemni enoti prejet znakovni niz dešifriramo in ga glede na lokacijo vsebovane vejice, razbijemo na dva ločena znakovna niza. Njuni vrednosti pretvorimo v dve ločeni polji znakovnega tipa, zapakiramo v format tipa JSON in posredujemo na podatkovno bazo (poglavje 2.4).

2.4 Sprejemna enota

Namen sprejemne enote je sprejem podatkov poslanih z merilne enote in njihovo posredovanje na podatkovno bazo. Nanjo je vezan LoRa modul. Za namene testiranja LED dioda ter piskač, ki nakazujejo uspešno prejet paket. Kot podatkovno bazo uporabljamo Firebase. Razlogi za njeno uporabo so enostavna uporaba, delovanje v oblaku in podprtost med različnimi platformami JavaScript SDK, Android, iOS, ... [10] Baza je v naši implementaciji definirana s knjižnico FirebaseArduino [11].

Delovanje te enote ni avtonomno, saj je priključena na stalni vir napajanja. Deluje tako, da ves čas posluša za podatke, ki so poslani na njen naslov (slika 1). Ob prejetem paketu se preko WiFi modula poveže na usmerjevalnik, ki je povezan na internet, in podatke objavi na Firebase (slika 3).

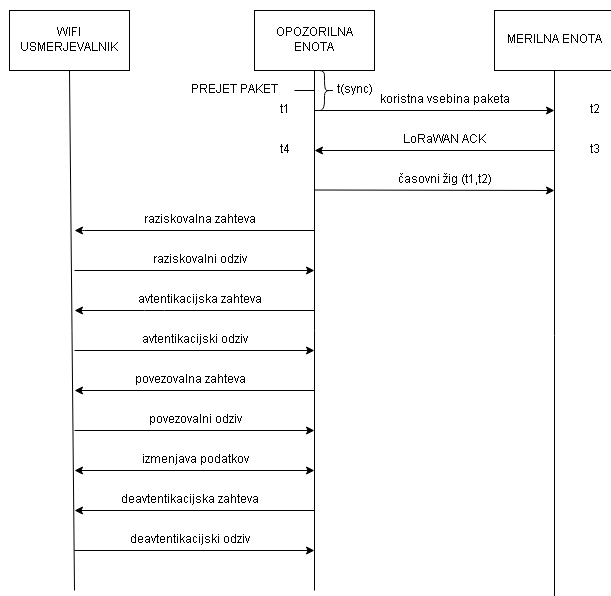
a) {"temp", 25} b) {"dim", "514"}

Slika 3: Primer JSON formata za izmerjeno temperaturo -a) in dim -b).

V podatkovni bazi se informacije hranijo v formatu JSON (primer strukture podatkov tipa JSON na sliki 2).

3 LoRa komunikacija

Merilna in sprejemna enota komunicirata preko brez-žične tehnologije LoRa. Tehnologija je namenjena za uporabo v aplikacijah z nizko porabo energije, malimi prenosnimi hitrostmi in komunikacijo na dolgih razdaljah. Po navadi je LoRa omrežje sestavljeno iz centralnega vozlišča (sprejemna enota, poglavje 2.2) na katero je povezano več ostalih vozlišč (merilna enota, poglavje 2.3). Prenosne hitrosti, ki jih lahko dosežemo se gibljejo med 0,3 in 50 kbps. LoRa omogoča multicast ali dvosmerno komunikacijo, ki jo uporabljamo tudi v našem sistemu. Prenosne hitrosti [12].



Slika 4: Izmenjava sporočil med WiFi usmerjevalnikom, merilno in sprejemno enoto [13][14].

3.1 LoRa modul Ra-01

Komunikacijo v našem sistemu omogoča LoRa modul Ra-01, ki je neposredno vezan na mikrokrmilnik na obeh enotah. Poganja ga mikroprocesor SX1278, hkrati pa podpira več tipov modulacije (FSK, GFSK, MSK, GMSK), poldupleksno SPI komunikacijo in sprejemno občutljivost -141 dBm. Za uporabo Ra-01 na strojni opremi Arudino smo uporabili knjižnico Lora Shield Arudino.

Modul ima priloženo namensko vijačno anteno, ki se namesti s spajkanjem. Dobitek antene je 2.5 dBi [15]. Za uporabo na razvojnih ploščicah, ga je bilo potrebno pritrditi na namenski adapter ESP-12.

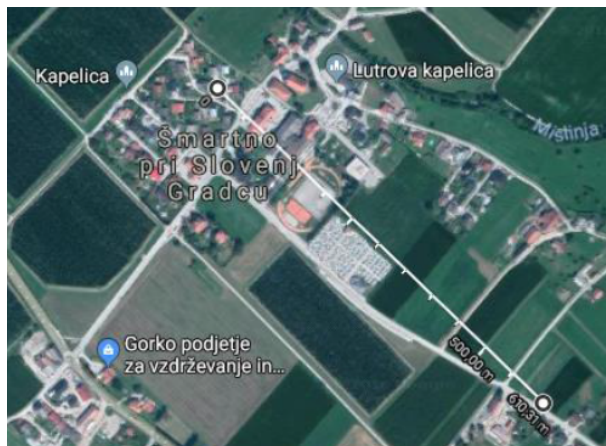
Razlogi za izbiro Ra-01 so hitra dobava (1 teden), doseg signala (do 5 km), nizka poraba v času spanja (0,2 μ A). Njegova slabost je, da podpira komunikacijo pri frekvenčnem razponu med 410 - 525 MHz in ne na frekvenci 868 MHz, ki je standardna. Zaradi tega enote komunicirajo na frekvenci 433 MHz (poglavje 3.2).

3.2 Lastnosti komunikacije med enotama

Komunikacija med enotama poteka na frekvenci 433 MHz in pasovni širini 5 kHz. Pri tej konfiguraciji smo dosegli domet signala, na prostem, okoli 610,31 m. Doseg se zmanjša za okvirno 100 m, če eno izmed enot namestimo v zaprt prostor, ki ima okno.

S trenutnim dometom komunikacije, lahko, z eno sprejemno ter eno ali več merilnimi enotami, pokrijemo območje

velikosti manjšega kraja. V eni postavitvi lahko uporabimo do 24 različnih merilnih enot, saj modul Ra-01 podpira 24 različnih kanalov.



Slika 5: Izmerjen domet na prostem, med merilno in sprejemno enoto.

4 XXTEA kriptiranje

Za varno komunikacijo med enotama se poslane informacije kriptirajo s šifro XXTEA, ki sta jo razvila Roger Needham in David Wheeler. Razlog za uporabo je implementacija v več obstoječih IoT rešitvah in postopek šifriranja ne zmoti delovanja mikrokrmilnika. Temelji na Corrected Block TEA algoritmu. XXTEA je implementirana s knjižnico XXTEA Cryptography Library for Arduino, v kateri je implementirana najnovejša verzija šifre Needham in Wheeler [16]. Edina omejitev naše uporabe knjižnice je, da lahko naenkrat zakodiramo največ 80 zlogov, ampak je irelevantna, saj v našem sistemu šifriramo največ 11 zlogov.

Poslani podatki se na merilni enoti šifrirajo tik pred pošiljanjem, na sprejemni pa dešifrirajo takoj po prejemu. Enoti za uspešno komunikacijo uporabljata enak šifrirni ključ.

5 Strošek in čas pri razvoju prototipa

Končna cena pri izdelavi merilne enote je 35€, sprejemne pa 25€. Dobava vseh komponent traja približno dva tedna. Vse uporabljene knjižnice in programska oprema, potrebna pri razvoju, je brezplačna. Čas razvoja za trenutno razvojno fazo prototipa je zahteval 149 ur dela (vključno s testiranjem).

6 Zaključek in možnosti za izboljšave

V članku smo predstavili naš prototipni sistem za nadzor dimniških požarov. Bralce smo skušali seznaniti z osnovnim namenom sistema. Opisali smo vse vključene komponente, njihovo medsebojno interakcijo in implementacijo. Predstavljena je uporabljena programska oprema, skupaj s primerom delovanja. Ocenili smo tudi strošek in čas izdelave prototipa.

Razvit testni sistem bi lahko izboljšali z LoRa komunikacijo na frekvenci 868 MHz. Uporabiti bi bilo potrebno LoRa komunikacijski vmesnik, ki ima podprto zmoglost komuniciranja na tej frekvenci. Tako bi lahko prototip deloval v LoRaWAN omrežju, ki je že postavljeno v Sloveniji in deluje na 868 MHz (trenutno v naši državi

deluje 58 LoRa prehodov). Dodatna izboljšava bi se izvedla s testiranjem prenosa pri različnih pasovnih širinah. S tem bi skušali doseči, čim večji doseg komunikacije med enotami.

Prostor za izboljšave se pojavi tudi pri podaljšanju časa avtonomnega delovanja merilne enote. To bi dosegli z optimizacijo enotinih stanj delovanja in porabe energije priključenih modulov.

Za pregled nad podatki shranjenimi v podatkovni bazi, bi se ustvarila spletna aplikacija, ki omogoča analizo in kronološki pregled zajetih podatkov. Če bi se izkazalo, da bi dostop do pregleda podatkov bil potreben tudi na mobilnih napravah, bi se lahko tudi razvila aplikacija, za mobilna operacijska sistema Android in iOS. Ob prekoračenih vrednostih temperature sten dimnika (2000 °C [17]) in dima (7000 delcev na milijon [17]) in bi aplikacija o nevarnosti, samodejno obvestila reševalne službe.

Prav tako bi lahko povečali natančnejšo odčitavanje vrednosti dimnega senzorja MQ-2 z boljšo kalibracijo.

Pri končnem produktu bi bilo potrebno razmisliti še o izdelavi namenskega vezja na katerem bi enoti delovali ter primerne ohišja za namestitve na samem dimniku. Najprimernejša lokacija namestitve enot bi bila dimniška kapa. Upoštevati bi morali, da je ohišje odporno na zunanje vremenske vplive, hkrati pa omogoča nemoteno delovanje med enotami.

Literatura

- [1] Šubic M. Pozimi je lahko dimnik še kako nevaren, februar 2018. Dostopno na: <https://www.dnevnik.si/1042802774> [12.1.2019].
- [2] Leppänen P., Neri M., Luscietti D., Bani S., Pentti M., Pilotelli M. Comparison between European chimney test results and actual installations, november 2016. Dostopno na: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0734904116680222> [4.2.2019].
- [3] Chimney Fires Can Be Prevented. Northeastern Chimney, Inc., oktober 2015. Dostopno na: <https://www.ctsweep.com/blog/top-sweep-stories/chimney-fires-can-be-prevented/>
- [4] Greiner H. T. Carbon Monoxide Poisoning: Checking for Complete Combustion (AEN-175). Department of Agricultural and Biosystems Engineering, Iowa State University, september 1997. Dostopno na: <https://www.abe.iastate.edu/extension-and-outreach/carbon-monoxide-poisoning-checking-for-complete-combustion-aen-175/>
- [5] What is Arduino?. Arduino, februar 2019. Dostopno na: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> [2.2.2019]
- [6] NodeMCU, marec 2015. Dostopna na: <https://en.wikipedia.org/wiki/NodeMCU> [12.3.2019].
- [7] DHT Sensor Library, februar 2019. Dostopno na: <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library> [13.3.2019].
- [8] DHT11 – Temperature and Humidity Sensor. Components 101, januar 2018. Dostopno na: <https://components101.com/dht11-temperature-sensor> [2.2.2019]
- [9] MQ-2 Semiconductor Sensor for Combustible Gas. Pololu Robotics & Electronics, januar 2019. Dostopno na: <https://www.pololu.com/file/0J309/MQ2.pdf>
- [10] Firebase Realtime Database, januar 2019. Dostopno na: <https://firebase.google.com/docs/database/> [14.2.2019].
- [11] Firebase Arudino, marec 2019. Dostopno na: <https://github.com/FirebaseExtended/firebase-arduino> [24.2.2019].
- [12] Narayan R. All You Need to Know About LoRaWAN and How It Works, november 2015. Dostopno na: <https://www.iotleague.com/lorawan-low-power-wide-area-network/> [13.1.2019].
- [13] Wi-Fi deauthentication attacko, avgust 2015. Dostopno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_deauthentication_attack [26.2.2019].
- [14] Sisinni E. Standard LoRaWAN message exchange sequence between end device (ED) and gateway (GW), avgust 2018. Dostopno na: https://www.researchgate.net/figure/Standard-LoRaWAN-message-exchange-sequence-between-end-device-ED-and-gateway-GW_fig3_327085205 [26.2.2019].
- [15] Get Started With XL1276-D01. Shenzhen Ai-Thinker Technology Co., november 2017. Dostopno na: <https://www.instructables.com/id/Get-Started-With-XL1276-D01-LoRa-433MHz-SPI-Using-/> [6.1.2019].
- [16] XXTEA Encryption and Decryption Library for Arduino, november 2018. Dostopno na: <https://github.com/boseji/xxtea-lib> [26.2.2019].