

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

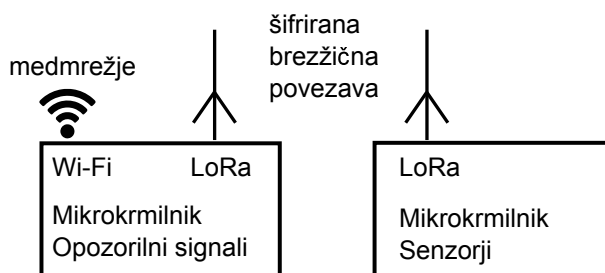
In many parts of the world it is necessary to have a heating system installed in our homes. Most of these systems contain a chimney. Inadequate maintenance presents risk of creosote build-up on its inner walls. It can ignite under the high temperature of flue gases and eventually cause a chimney fire. As a part of the student project, we have developed a low-cost DIY prototype wireless sensor system for detecting chimney fires. It contains a measurement and receiving unit, which are based on the IoT platform NodeMCU. The measurement unit reads the temperature of the flue gases and concentration of the carbon monoxide. Data are encrypted with the XXTEA algorithm and sent to the receiving unit using LoRa technology. The receiver unit stores the received data on a remote Firebase via Wi-Fi technology. The article presents the development of the prototype, and suggests additional functionalities that could be developed using the proposed approach.

1 Uvod

V mnogih predelih sveta je ogrevanje ključnega pomena za normalno bivanje. Najbolj pogosti so ogrevalni sistemi z dimniki. To področje je v Sloveniji zakonsko urejeno, a se kljub temu ocenjuje, da je kar 30.000 hišnih dimnikov neprimerno vzdrževanih. Tovrstna malomarnost je ena izmed glavnih povzročiteljev dimniških požarov. Dimniški požar lahko definiramo kot vžig nabranega kreozota na notranjih stenah dimnika. Nevzdrževani dimnik ima večjo možnost za nabiranje kreozota, ki je zmes fenola in fenolovih etrov. Nastane pri nepopolnem izgorevanju ob uporabi neustrezne kurjave, kot je moker les ali karton. Najpogostejši vzrok za vžig kreozota je vroč ogenj v kurilni peči, ki prekomerno segreje izhodne pline [1]. Optimalna povprečna temperatura izhodnih plinov je 110 °C. Faza vžiga kreozota se začne, ko izhodni plini dosežejo temperaturo nad 500±37 °C. Do požara pride, ko je kreozot izpostavljen tej temperaturi za približno 30 minut. V fazi požara izhodni plini s hipnim skokom dosežejo temperaturo do 1000 °C, gostota ogljikovega monoksida pa presega 7000 delcev na milijon [2, 3, 4].

Letno zabeležimo več kot 600 dimniških požarov pri povprečni starosti objektov 34 let [5]. 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 med 500 do 700-krat na leto [6]. Ta statistični podatek nakazuje, da imamo v povprečju večje število dimniških požarov. V okviru študentskega projekta smo zato sprejeli izziv in razvili prototip nizkofrekvenčnega brezžičnega senzorskega sistema za detekcijo dimniških požarov. Naš cilj ni bila profesionalna naprava, temveč pripomoček, ki bi ga lahko zainteresirani posamezniki izdelali sami, pri delovanju uporabili obstoječo infrastrukturo ter na ta način pripomogli k večji varnosti svoje nepremičnine.

Po pregledu obstoječih rešitev in uvodnem spoznavanju lastnosti dimniških požarov smo se odločili, da sistem razdelimo na dva sklopa. Na hišnem dimniku bo nameščena merilna enota, ki z uporabo različnih senzorjev detektira potencialno nevarnost za razvoj dimniškega požara. Ob izpolnjenih pogojih se posreduje šifrirano sporočilo na sprejemno enoto. Slednja lahko sprejema podatke z več merilnih enot ter ukrepa skladno s sprejetim protokolom. Enoti za komunikacijo uporabljata omrežje LoRa (slika 1). Sprejemna enota vključuje tudi svetlobno in zvočno signalizacijo ob prejetem LoRa paketu ter omogoča povezavo v medmrežje preko Wi-Fi. To predstavlja osnovo za razvoj centralnega sistema za obveščanje, tudi z uporabo storitev v oblaku in aplikacij za mobilne telefone.



Slika 1: Zasnova sistema

V drugem poglavju podrobneje predstavimo posamezne sklope in izbrane gradnike prototipa. V tre-

tjem poglavju opišemo komunikacijo preko omrežja LoRa in šifriranje. V zaključku podamo oceno stroškov ter predloge za izboljšave.

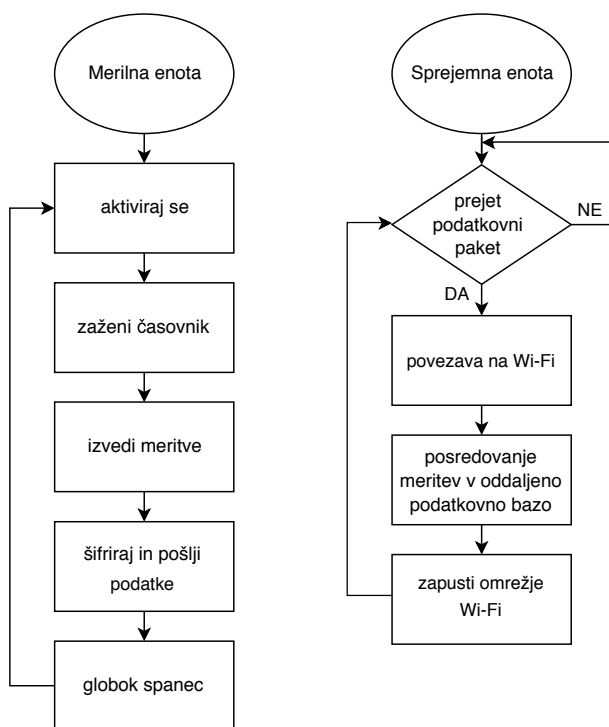
2 Zasnova prototipa

Odločili smo se, da bo prvi prototip meril temperaturo izhodnih plinov in gostoto delcev CO, ki so posledica nepopolnega izgorevanja ob gorenju kreozota. Presodili smo, da je kombinacija teh vzorcev lahko dovolj zanesljiva indikacija razvoja požara v dimniku.

Izbrali smo prototipno platformo NodeMCU z modulom ESP8266. NodeMCU vključuje 16 digitalnih vhodov oz. izhodov, analogni vhod, operacijski sistem XTOS, podporo omrežju Wi-Fi in vodilo USB, preko katerega se lahko platforma tudi napaja. Na voljo je 123 kB delovnega pomnilnika in trajni pomnilnik velikosti 4 MB [7]. To platformo smo izbrali zaradi nizke energijske porabe in prekratke časovnice za razvoj lastne tiskanine. Za podporo omrežju LoRa smo izbrali modul Ra-01.

2.1 Merilna enota

Merilna enota deluje avtonomno v enem izmed dveh načinov. V aktivnem stanju izvaja meritve, preostali čas pa je v t. i. globokem spanju z optimirano porabo energije. Meritve se izvajajo 6-krat na uro v 10-sekundnih intervalih. To nam omogoča pravočasno detekcijo faze vžiga kreozota. Po meritvi se podatki pošljejo na sprejemno enoto preko omrežja LoRa, preostali čas pa je enota neaktivna (slika 2). Za merjenje temperature smo uporabili senzor DHT-11, za merjenje gostote plinov pa senzor MQ-2.



Slika 2: Poenostavljen diagram izvajanja

Temperature pri dimniškem požaru presegajo specifikacije izbranega temperaturnega senzorja, saj ta deluje zgolj do 80 °C. Pred testiranjem na dimniku bi bilo potrebno uporabiti senzor, ki podpira meritve vsaj do 500 °C, na primer senzor DM-333, ki podpira meritve do 600 °C. Za potrebe prototipa smo sprejeli omejitve izbranega senzorja, ki deluje z natančnostjo ± 2 °C. Za vzpostavitev delovanja senzorja smo uporabili prostodostopno knjižnico [8, 9]. Senzor za svoje delovanje potrebuje napajalno napetost 3,3 V. DHT-11 je digitalni senzor, izmerjene vrednosti temperature beremo preko digitalnega vmesnika D4 na NodeMCU.

Senzor MQ-2 zaznava dim in pline, kot so ogljikov monoksid, propan in metan v koncentracijah med 300 in 10.000 delci na milijon [10]. Pri nepopolnem gorenju kreozota vsebuje nastali dim koncentracijo ogljikovega monoksida, ki je višja od 7000 delcev na milijon. Za delovanje priporočeno potrebuje napetost 5 V, vendar smo uporabili napajalno napetost 3,3 V. Pri testiranju nismo opazili težav, zato nismo uporabili napetostnega pretvornika. Senzor vključuje grelnik jakosti 900 mW in poseben postopek kalibracije z 20-sekundnim predgretjem senzorja. V naši aplikaciji kršimo priporočila glede trajanja meritve, saj je 10 sekund ravno polovica priporočene vrednosti. S krajšo meritvijo podaljšamo čas avtonomnega delovanja sprejemne enote. Ker ne potrebujemo visoke natančnosti meritev, senzor pa segrevajo tudi izhodni plini, smo bili pripravljeni sprejeti ta kompromis. Ob testiranju se niso pokazala pomembna odstopanja zaradi krajšega časa meritve. Za povečanje avtonomnosti izklopimo grelnik tudi v času globokega spanja z uporabo MOSFET tranzistorja. Izmerjene vrednosti beremo z uporabo analogno-digitalnega priključka A0 na mikrokrmilniku. Vrednosti predstavljajo izhodno napetost v referenčnih enotah, ki so proporcionalne s koncentracijo plina ali dima v zraku. Občutljivost senzorja izberemo s spremenljivim uporom nameščenim na ohišju senzorja. Senzor vsebuje zaznavni element, ki temelji na aluminijevem oksidu s prevleko iz kositrovega dioksida. Senzor glede na koncentracijo plinov oz. dima v zraku spreminja upornost zaznavnega materiala. Upornost se spreminja v območju med 20 k Ω in 2 k Ω in je dodatno odvisna od vlažnosti in temperature okolice. Mejne vrednosti za zaznavo CO smo izvedli s testiranjem. Na aluminijasti plošči smo s spajkalnikom segrevali vzorec kreozota iz hišnega dimnika do pojava ognja. Med segravanjem smo senzor držali 20 cm nad ploščo. Skladno s priporočili za uporabo senzorja MQ-2 smo mejne koncentracije CO v dimu določali tako, da smo ugotavljali razmerje Rs/Ro. Z uporabo podatkovnega lista lahko določimo koncentracijo CO v delcih na milijon. Izmerjena vrednost Rs/Ro je bila v stanju brez zaznanih plinov 7,55. V fazi vžiga, ob pojavu belega dima, je padla na 5,01. Ob vžigu se je pojavil ogenj in črn dim. V tej fazi je vrednost Rs/Ro padla na 1,79, kar označuje vsebnost

CO s koncentracijo okoli 7000 delcev na milijon.

Na merilni enoti se prebrane vrednosti temperature in gostote dima hranijo v ločenih nizih, na primer, temp=74, dim=6.21. Pred prenosom podatkov se polji združita v skupni znakovni niz, za podan primer se uporabi "74,6.21". Niz se pred oddajo šifrira z uporabo algoritma XXTEA.

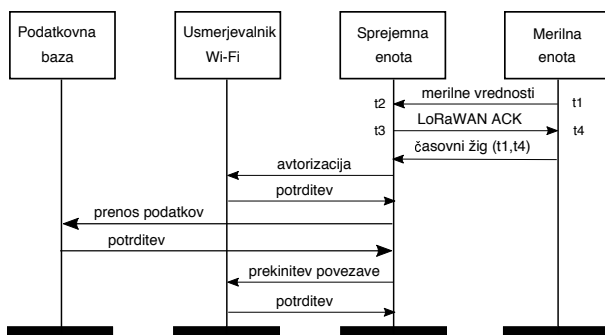
V aktivnem stanju merilna enota porabi v povprečju 130 mA, v času globokega spanja pa okoli 50 nA. Meritve izvajamo vsakih 10 minut. To zadoštuje za pravočasno zaznavo vzpostavljanja pogojev za razvoj dimniškega požara. Ob izbiri napajalnega vira kapacitete 20 Ah lahko dosežemo avtonomnost naprave za 11 mesecev dolgo kurilno sezono.

2.2 Sprejemna enota

Sprejemna enota prejeti znakovni niz preko omrežja LoRa pretvori v format JSON. Do medmrežja je povezana z uporabo omrežja Wi-Fi. Meritev shrani v oddaljeno podatkovno bazo Firebase v formatu {"temp",74}, {"dim",6.21}. S takšnim pristopom smo testirali delovanje v oblaku ter hkrati zagotovili podporo različnim uporabniškim platformam [11, 12]. Za namene testiranja smo dodali svetlečo diodo in piskač, ki signalizirata uspešno prejet paket. Delovanje te enote ni avtonomno, saj je priključena na stalni vir napajanja. Deluje tako, da ves čas preverja, ali je na voljo nov paket iz katere merilne enote (slika 1). Ob prejemu paketu se preko Wi-Fi modula poveže na usmerjevalnik in podatke shrani v oddaljeno podatkovno bazo Firebase. Naprava je povezana v medmrežje samo za čas prenosa. S tem dosežemo manjšo izpostavljenost varnostnim tveganjem ter potencialnim težavam ob ponovnih zagonih usmerjevalnika.

3 Omrežje LoRa

Merilna in sprejemna enota komunicirata preko brezžične tehnologije LoRa. Tehnologija je namenjena uporabi v aplikacijah z nizko porabo energije, majhnimi prenosnimi hitrostmi in komunikacijo na sorazmerno dolgih razdaljah. Praviloma je omrežje sestavljeno iz centralnega vozlišča, na katero je povezanih več ostalih vozlišč. Prenosne hitrosti zadostujejo našim potrebam [13].



Slika 3: Sporočila med usmerjevalnikom, merilno in sprejemno enoto

LoRa modul Ra-01 vključuje integrirano vezje SX1278 z občutljivostjo reda -148 dBm in podporo modulacijam FSK, GFSK, MSK in GMSK. Modul odlikuje nizka poraba: 93 mA pri pošiljanju, 12,15 mA ob sprejemu in 1,6 mA v stanju pripravljenosti. Predviden doseg signala modula je do 5 km. Omejitve pa predstavlja podprti frekvenčni obseg delovanja med 410 in 525 MHz in ne na frekvenci 868 MHz, na kateri deluje LoRa omrežje v našem okolju. Zaradi časovnih omejitev projekta smo se vseeno odločili za njegovo uporabo na frekvenci 433 MHz. Modul ima priloženo vijačno anteno, ki se namesti s spajkanjem. Predviden dobiček antene je 2,5 dBi [14]. Za namestitvev na razvojno ploščo smo uporabili namenski adapter ESP-12.

Komunikacijo vedno prične merilna enota (slika 3). Ob prehodu iz globokega spanca izmeri vrednosti, pripravi paket LoRa in ga pošlje na naslov sprejemne enote [15]. Sledi potrditev o uspešno sprejetem paketu. Merilna enota pošlje časovni žig z začetnim (t1) in končnim časom (t4). To potrebuje algoritem za sinhronizacijo. Pri programski izvedbi povezave smo uporabili knjižnico "Lora Shield Arudino".

Za varno komunikacijo med enotama se poslane podatke šifrira po postopku XXTEA [16]. Postopek temelji na Corrected Block TEA algoritmu in se uporablja pri več IoT projektih, saj ni procesorsko zahteven. Omejitev uporabljene knjižnice je, da lahko naenkrat zakodiramo največ 80 zlogov. V našem primeru to ne predstavlja ovire, saj podatki ne presežejo 48 zlogov. Poslani podatki se na merilni enoti šifrira tik pred pošiljanjem, na sprejemni pa dešifrirajo takoj po prejemu. Enoti za uspešno komunikacijo uporabljata enak šifrirni ključ.

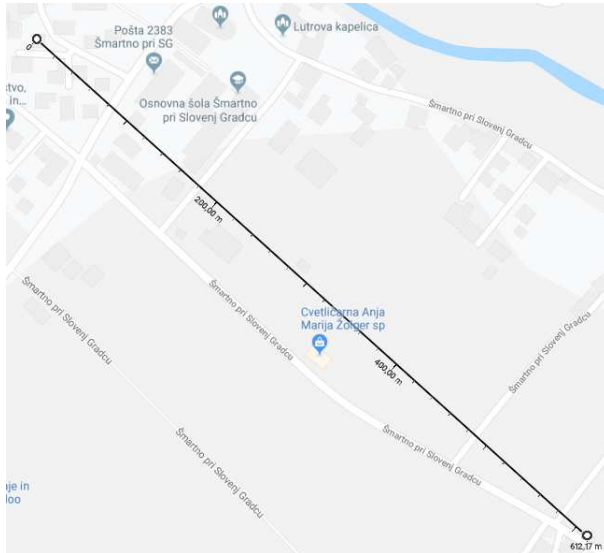
Ob testiranju na terenu smo dosegli domet signala okoli 610 m. Ko smo sprejemno enoto namestili v notranjost stavbe, se je domet zmanjšal za približno 100 m. Sprejemna enota lahko sprejema podatke na 24 različnih kanalih.

Stroški izdelave prototipa merilne enote so 35 €, stroški sprejemne enote pa 25 €. Dobava vseh komponent traja približno dva tedna. Vse uporabljene knjižnice in programska oprema je brezplačna. V razvoj in testiranje prototipa smo vložili okoli 150 ur.

4 Zaključek in možnosti za izboljšave

V članku smo predstavili prototip sistema za nadzor dimniških požarov. Predstavili smo uporabljene komponente, njihovo vključitev v sistem in implementacijo. Razvito programsko opremo smo testirali ob nadzorovanem ognju, preverili smo doseg sistema in ocenili strošek izdelave prototipa.

Sistem bi bilo vsekakor smotrno nadgraditi s podporo delovanju na frekvenci 868 MHz, saj bi tako lahko, zaradi obstoječe infrastrukture, bistveno povečali območje delovanja posamezne sprejemne enote. Uporabili bi lahko obstoječe omrežje LoRaWAN, kjer je trenutno aktivnih 58 prehodov. Dodatno bi veljalo preveriti različne načine delovanja z namenom



Slika 4: Izmerjen domet na prostem, med merilno in sprejemno enoto

povečanja dosega. Ob razvoju nove različice prototipa bi se lahko posebna pozornost posvetila podaljšanju časa avtonomije merilne enote, razmisleku o pripravi protokola za povezavo čim večjega števila merilnih enot na posamezno sprejemno enoto in povečanju zanesljivosti z uvedbo redundančnih sprejemnih enot.

Pregled nad podatki lahko izvedemo s spletno aplikacijo ali namensko aplikacijo za mobilne naprave. Tako bi lahko imel uporabnik na voljo dodatno analizo in kronološki pregled merilnih vrednosti. Ob tem bi skrbni uporabnik lahko zaznal spremembe v svojem hišnem dimniku in pravočasno ukrepal še pred razvojem pogojev za dimniški požar. Ob tem bi se verjetno pojavila potreba za boljšo kalibracijo senzorja za dimne pline, ki jo trenutni prototip ne vključuje.

V primeru testiranja v realih pogojih delovanja bi bila najprimernejša namestitvev merilne enote v kapo dimnika. Izbrano ohišje bi moralo biti odporno na zunanje vplive, primerno velikost celotne enote pa bi lahko zagotovili tudi z izvedbo lastne tiskanine, čemur se ob izdelavi prvega prototipa nismo posvetili.

Literatura

[1] 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/>

[2] 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/>

[3] Baker E. David. Wood Stove Maintenance and Operation. University of Missouri, oktober 1993. Dostopno na: <https://extension2.missouri.edu/g1731>

[4] Isenhour E. J., Brewer P. J., Eldridge A. Chimney Fires: Cause, Effects & Evaluation, Chimney Safety Institute of America, marec 2007. Dostopno na: <https://www.csia.org/chimneyfires.html>

[5] Šubic M. Pozimi je lahko dimnik še kako nevaren, februar 2018. Dostopno na: <https://www.dnevnik.si/1042802774>

[6] 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>

[7] NodeMCU, marec 2015. Dostopna na: <https://en.wikipedia.org/wiki/NodeMCU>

[8] DHT Sensor Library, februar 2019. Dostopno na: <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>

[9] DHT11 – Temperature and Humidity Sensor. Components 101, januar 2018. Dostopno na: <https://components101.com/dht11-temperature-sensor>

[10] MQ-2 Semiconductor Sensor for Combustible Gas. Pololu Robotics & Electronics, januar 2019. Dostopno na: <https://www.pololu.com/file/0J309/MQ2.pdf>

[11] Firebase Realtime Database, januar 2019. Dostopno na: <https://firebase.google.com/docs/database/>

[12] Firebase Arduino, marec 2019. Dostopno na: <https://github.com/FirebaseExtended/firebase-arduino>

[13] 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/>

[14] Ra-01 LoRa Module. Ai-Thinker, 2017. Dostopno na: http://wiki.ai-thinker.com/_media/lora/docs/c047ps01a1_ra-01-product_specification_v1.1.pdf

[15] 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

[16] XXTEA Encryption and Decryption Library for Arduino, november 2018. Dostopno na: <https://github.com/boseji/xxtea-lib>