

Uporaba naprav Interneta stvari za merjenje kakovosti zraka v notranjih prostorih

Grega Močnik, Danilo Zimšek, Zdravko Kačič

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko,
Koroška cesta 46, 2000 Maribor

E-pošta: {grega.mocnik, danilo.zimsek, zdravko.kacic}@um.si

Use of Internet of things devices for air quality measurement

Our paper describes the development of simple Internet of Things (IoT) network for air quality measurement. The data is gathered using temperature, humidity and gass sensors placed throughout a building and then encoded and transferred to a cloud system, where analysis of data is taking place. Actions are taken, when the quality of air is low. Data transfer was enabled using MQTT protocol. Cloud system is implemented using opensource Home Assistant software. The computation process of overall air quality index is described. The measurement data and computed overall air quality are available through a web interface optimized for use with mobile devices of authorized users. The process of implementing the service on our faculty is also described. Raw data is stored on the cloud and made available to other IoT devices like fans, air conditioning and heating devices. The data can also be used for later long term analysis, which can then be basis for improvements of ventilation for buildings.

1 Uvod

Zaradi vedno večjega zavedanja o onesnaženosti zraka, nekatera mesta merijo onesnaženost zraka z uporabo koncepta interneta stvari. Gre za omrežja senzorjev, ki zbirajo podatke in jih pošiljajo navadno v oblak, kjer se izvaja analiza zbranih podatkov. Tako lahko v mestih analiziramo stopnjo onesnaženosti posameznih področij, sledimo spremembam v kvaliteti zraka skozi čas (dnevno in letno) in tudi identificiramo onesnaževalce. Na podlagi iz analize pridobljenih podatkov, lahko mesta z določenimi ukrepi zmanjšajo onesnaževanje in posledično izboljšajo kvaliteto zraka, ki ga dihalo prebivalci mesta.

Vendar pa prebivalci mest večino, okoli 90 odstotkov časa, preživijo v zaprtih prostorih, v stanovanjih in v pisarnah. Pomemben dejavnik za naše zdravje je torej tudi zrak v zaprtih prostorih, zlasti če upoštevamo čas, ki ga tam preživimo. Za škodljiv vpliv primesi v zraku je namreč ključnega pomena prav to, koliko časa smo onesnaženemu zraku izpostavljeni. Nekatere študije kažejo, da je zrak v zaprtih prostorih dva- do petkrat bolj onesnažen kot tisti zunaj.

Pri ugotavljanju kvalitete zraka, tudi v zaprtih prostorih so nam lahko v pomoč senzorji in koncept interneta

stvari. Na trgu so na voljo senzorji, s kombinacijo katerih lahko vsaj delno nadzorujemo kvaliteto zraka v zaprtih prostorih. Med najbolj pogostimi elementi onesnaženega zraka v zaprtih prostorih najdemo dušikov oksid, ogljikov monoksid, tobačni dim, organske pline, torej snovi, katerih vsebnost v zraku lahko merimo z elektronskimi senzorji.

Kljub vse večji uporabi koncepta IoT za spremljanje kakovosti zraka v notranjih prostorih, ostaja še nekaj nerešenih izzivov. Slednji se nanašajo predvsem na razvoj cenovno ugodnih storitev za analizo podatkov in razvoj senzorskih omrežij velikega obsega, ki delujejo v realnem času [1].

Bistven dejavnik pri merjenju kakovosti zraka so parametri, ki so zajeti v analizo. Študije s področja merjenja kakovosti zraka [2] v notranjih prostorih so pokazale, da so parametri, ki vplivajo na kakovost zraka v stavbah zlasti naslednji: temperatura zraka, relativna vlažnost, ogljikov monoksid in ogljikov dioksid. Predstavljena implementacija vsebuje še senzorje za zaznavo vsebnosti naslednjih plinov: amoniak (NH₃), dušikovih oksidov (NO_x), benzena in dim, saj tudi ti bistveno vplivajo na kvaliteto zraka.

Študentje v času študija dnevno preživijo relativno veliko časa v predavalnicah in na hodnikih fakultet. Spremljanje kvalitete zraka lahko njim, kot tudi zaposlenim predstavlja dodano vrednost, saj so seznanjeni s parametri okolja in lahko glede na njih spreminjajo svoje navade in tako tudi sami prispevajo k bolj zdravemu delavnemu okolju predvsem s prezračevanjem. Poleg parametrov kvalitete zraka spremljamo še temperaturo in vlago v prostoru. Ta dva parametra predstavljata skupaj z vsebnostjo dušikovega oksida, ogljikovega monoksida in dima v zraku mero kakovosti zraka.

Z implementacijo merjenja kakovosti zraka želimo izboljšati način klimatizacije stavbe in v nadaljnjem delu omogočiti avtomatsko krmiljenje prezračevalnih naprav.

Za implementacijo prototipa omrežja smo izbrali stavbo G-2 Fakultete za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru. Senzorje smo namestili v dele stavbe, kjer se študenti največ zadržujejo. Gre predvsem za predavalnice in hodnike. Zaradi čim cenejše izvedbe smo s senzorji opremili le bolj zasedene predavalnice in hodnike. V času testnega delovanja sistema, ki je trajalo teden dni, smo spremljali nivo ogljikovega di-

oksida v prostorih, saj raven njegove vsebnosti v zraku najbolj vpliva na kakovost zraka v prostoru.

2 Zajem podatkov

Pri izboru senzorjev za zajem podatkov smo upoštevali več dejavnikov. Najpomembnejši dejavnik je zagotovitev možnosti zajema vseh potrebnih meritev. Zaradi precejšnjega števila senzorjev je ob upoštevanju dobavljenosti, pomemben dejavnik tudi cena. Pri izboru elektronskih komponent upoštevamo še točnost in ločljivost, ki je prilagojena namenu uporabe (območje delovanja in največje točnosti prilagojenih za bivalna okolja). Ker smo želeli zagotoviti tudi hitro implementacijo, smo bili pri izbiri komponent pozorni predvsem na dostopnost primerov implementacije in dokumentacije.

Za zajem temperature in vlažnosti zraka smo uporabili senzor SHT21. Gre za senzor tipa CMOS z visoko stopnjo natančnosti merjenja temperature (največje odstopanje $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ na intervalu od 5 do 60°C) in deleža vlage ($\pm 3\%$ na intervalu od 20 do 80%). Senzor ponuja za komunikacijo z nadzornim modulom digitalni serijski vmesnik in vmesnik I^2C .

Zajem vsebnosti posameznih plinov v zraku smo izvedli s senzorjem MQ135. Senzor meri vsebnosti strupenih plinov, ki so prisotni v pisarnah in domovih: amoniak, dušikovi oksidi, alkohol, benzen, dim, ogljikov dioksid in drugi. Senzorski sloj sestoji iz kositrovega dioksida (SnO_2), ki ima manjšo konduktivnost od čistega zraka. Zaradi onesnaženosti zraka se njegova konduktivnost zviša. Senzorji imajo grelni element in upor, ki reagira na pline. Napetost senzorja preberemo preko padca napetosti na senzorju. Za napajanje senzorja se uporablja napetost 5 V , podatke pa pošilja na analogni in digitalni izhod.

3 Komunikacija med napravami

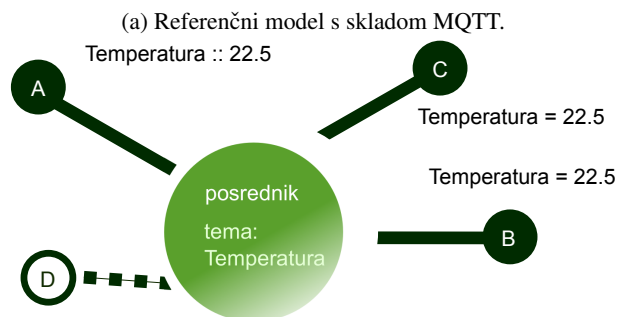
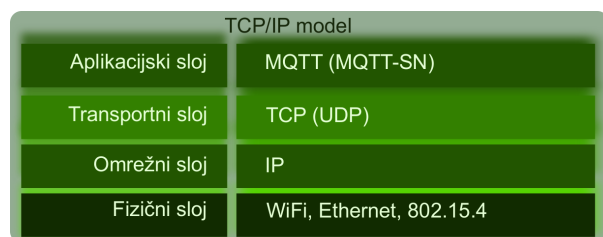
Pri izboru komunikacijskega protokola, smo upoštevali predvsem dva dejavnika: nizko porabo energije in primernost uporabe za procesorsko manj zmogljive platforme.

MQTT je sporočilni protokol, ki je oblikovan prav za nizko energijske naprave z malo pomnilniškimi in procesorskimi zmogljivostmi, zaradi česar je primeren za uporabo v omrežjih interneta stvari. Namenjen je predvsem za neposredno komunikacijo med dvema napravama.

Slika 1a prikazuje modularno zgradbo protokolov, ki skupaj tvorijo protokolni sklad aplikacijskega protokola MQTT. Iz slike je razvidno, da lahko na transportnem sloju protokol MQTT uporablja povezavni protokol TCP, njegova različica MQTT-SN pa brezpovezavni protokol UDP. Na fizičnem nivoju se za brezžično komunikacijo uporabljajo nizko energijski prenosni mediji, kot so nizko energijska brezžična omrežja po standardu $802.15.4$ in podobni.

Na aplikacijskem sloju komunikacija med dvema vozliščema poteka po modelu odjemalec - strežnik, kjer se senzor (odjemalec) poveže na strežnik, ki mu v protokolu MQTT pravimo posrednik (angl.: broker).

Posrednik, ki želi poslati neko informacijo odjemalcu jo strukturira tako, da ima temo in vrednost, ki je para-



(b) Primer komunikacije po protokolu MQTT po modelu odjemalec - strežnik.

Slika 1: MQTT

meter te teme. Vsaka tema lahko ima več vrednosti. Odjemalec se lahko prijavi na temo pri posredniku. Če je na neko temo prijavljen, bo sproti prejemal informacije o parametrih, ki so shranjeni v tej temi. Primer takšne komunikacije prikazuje slika 1b.

Primer na sliki 1b prikazuje odjemalca A, ki pošlje posredniku temo "Temperatura" s parametrom "22.5". Odjemalca B in C sta prijavljena na temo Temperatura, zato lahko prejmeta parametre, ki so se pojavili v temi, na katero sta prijavljena. Odjemalci so lahko prijavljeni v več tem hkrati. Izjema je odjemalec D, ki pa ni prijavljen na temo Temperatura zato ni deležen informacij o parametrih v tej temi.

Pri prenosu večjih sporočil z uporabo protokola MQTT se pogosto zgodi, da pride do izgube podatkov. Protokol, ki premosti to oviro je MQTT-SN [3], ki na transportnem sloju uporablja protokol UDP.

4 Zbiranje in obdelava podatkov

Zaradi ugodne cene in dobre tehnične podpore smo za pridobivanje podatkov iz senzorjev ter njihovo posredovanje v oblak izbrali NodeMCU.

Ta implementira nadzorni modul. Za komunikacijo s senzorji nudi več komunikacijskih vmesnikov (I^2C), za komunikacijo z oblako storitvijo pa povezljivost preko brezžične povezave WiFi.

Naprava ali vozlišče je sestavljena iz nadzornega modula in senzorjev za temperaturo in vlago ter senzorjev za pline iz katerih lahko pridobimo vrednosti o kakovosti zraka.

Nadzorni modul se ob prvi uporabi poveže na omrežje WiFi, ki je namenjeno za omrežja IoT. Modul z uporabo protokola MQTT pošilja podatke na oblak.

Pošiljanje podatkov se zaradi varčevanja z energijo ne izvaja ves čas, ampak z določenim časovnim intervalom, v našem primeru $5-10$ minut, odvisno od lokacije

senzorja. Senzor, ki je lociran na lokaciji z manjšo frekvenco ljudi ima daljši časovni interval, kot senzor, ki je lociran na območju z višjo frekvenco ljudi.

Pred pošiljanjem podatkov, jih nadzorni modul zakodira. Kodiranje je osrednja naloga nadzornega modula, ki zagotovi robustnost in transparentnost prenosa podatkov. Podatki so zakodirani v obliki, kot jo prikazuje tabela 1. Na posredniku so zapisane teme, na katere senzorji objavijo podatke. Podatki, ki jih nadzorni modul pridobi od senzorja, se zakodirajo v vrednosti znotraj sporočila MQTT. V sporočilo se zapiše tudi tema in drugi parametri, razvidni iz primera, sporočila MQTT, ki ga prikazuje tabela 1. Tema vsebuje informacijo o fizični lokaciji senzorja in tipu podatka pridobljenega od senzorja.

Del paketa	Vsebina
ID številka paketa	1541
Tema	AIRQ/Avla/Temp
Potrjevanje prejema	0
Retain flag	false
Vrednost	23.5
Oznaka ponavljanja	false

Tabela 1: Oblika sporočila MQTT.

Tabela 1 prikazuje primer sporočila MQTT za podatek o temperaturi, pridobljenega od senzorja lociranega v avli objekta

Senzor na strežnik pošlje podatek, ki vsebuje vrednost o vsebnosti posameznih plinov, kar pomeni, da se končna obdelava podatkov izvrši šele na strežniku. Zajeti podatki z vrednostjo vsebnosti plinov v ozračju, temperaturo in vlago se obdelajo in se na podlagi rezultatov določi kakšna je vrednost kakovosti zraka.

Število delcev plina na tisoč delcev v zraku je definirano z enačbo 1a. Pri tem je R_s opazovana upornost, ki je odvisna od vsebnosti opazovanega plina v zraku, izhodne upornosti R_o , ter korekcijskih faktorjev k in j .

$$ppm = k \left(\frac{R_s}{R_o} \right)^j \quad (a) \quad \text{in} \quad R_o = R_s * \exp\left(\frac{\ln\left(\frac{k}{ppm} \right)}{j} \right) \quad (b)$$

Korekcijska faktorja k in j določimo z uporabo nelinearne eksponentne regresije in krivulje karakteristike občutljivosti iz podatkovnega dokumenta senzorja MQ-135 [4] za opazovan plin.

Izhodna upornost R_o je odvisna od temperature in relativne vlažnosti zraka. Zato je potrebna kalibracija senzorja. Izhodno upornost R_o določimo, kot prikazuje enačba 1b.

Odvisnost R_s/R_o je za temperaturno območje od 10 do 50°C linearna z zanemarljivim odstopanjem, prav tako se vrednost bistveno ne spreminja znotraj vrednosti relativne vlažnosti med 33 in 85 odstotkov, zato kalibracijo izvedemo samo ob vzpostavitvi sistema.

V testnem obdobju delovanja sistema, smo v zraku merili vsebnost plina CO_2 . Kvaliteto zraka smo določili na podlagi izmerjenih vrednosti, ki smo jih razvrstili v razrede, kar prikazuje tabela 2

Razvrstitev v razrede je potrebna za prikaz stopnje

vsebnost CO_2	kakovost zraka
<450	zelo dobra
451 - 500	dobra
501 - 550	slaba
551 - 600	zelo slaba

Tabela 2: Razredi kakovosti zraka

kakovosti zraka na uporabniškem vmesniku, kjer smo stopnjo onesnaženosti ponazorili tudi z barvnim grafikonom.

4.1 Domači asistent[5]

Povezani senzorji skrbijo za zbiranje in pošiljanje podatkov, za obdelavo teh podatkov ter za odločanje in ukrepanje ob prekoračenih vrednostih pa skrbi strežnik. Ta analizira podatke, ki jih prejme od vozlišč in na podlagi te analize sprejme odločitve o ukrepanju. Poleg tega ima strežnik naložen tudi spletni vmesnik in aplikacijski programski vmesnik.

Spletni vmesnik strežnika predstavlja uporabniški vmesnik za pregled in upravljanje z napravami povezanimi v omrežje. Tako lahko preko njega spremlja trenutne vrednosti za posamezne parametre zraka in statistiko spreminjanja parametrov skozi željeno časovno obdobje. Poleg tega lahko preko spletnega vmesnika opravimo tudi začetno nastavitve omrežja in naprav. Tu gre predvsem za dodajanje novih senzorjev ter njihovo poimenovanje, na podlagi česar zgradimo uporabniški vmesnik za pregleddovanje omrežja in podatkov senzorjev.

Aplikacijski programski vmesnik strežnika služi za interakcijo drugih naprav z omrežjem. Vmesnik lahko koristijo tako mobilne aplikacije na mobilnih napravah za pregled vrednosti senzorjev, kot tudi morebitne druge naprave v omrežju za pridobivanje podatkov. Primeri takih naprav so na primer namenski prikazovalniki za prikaz kvalitete zraka v prostoru.

Domači asistent prikaže podatek na svojem spletnem vmesniku v interaktivnem področju. Vmesnik je optimiziran za delovanje tako na mobilnih napravah, kot tudi na napravah z večjimi zasloni.

```

sensor:
  platform: yr
  platform: mqtt
  state_topic: "AIRQ/Prostor/Parameter"
  name: "$Prostor$ $Parameter$"
  unit_of_measurement: ' X'

```

Tabela 3: Primer konfiguracijske datoteke.

Za implementacijo v ciljnim okolju (prostor Fakultete za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru) je primeren strežnik, ki poleg opisanih funkcionalnosti omogoča tudi enostavno širjenje in konfiguracijo omrežja IoT. Zato smo kot oblako storitev implementirali odprto kodno programsko opremo Home-Assistant. Z namestitvijo programske opreme na računalniški oblak smo zagotovili tudi enostavno vzdrževanje programske opreme.

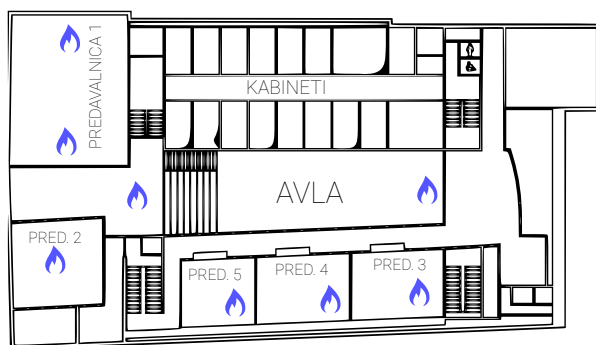
Programska oprema je z vidika sporočilnega protokola MQTT posrednik, ki prejema podatke od odjemal-

cev. Komunikacijo z v omrežje povezanimi napravami v strežniku Home Assistant nastavljamo s konfiguracijsko datoteko tipa yaml, katere primer prikazuje tabela 3.

V datoteki je za vsak senzor navedena komunikacijska platforma, tema, ime vozlišča, ki se prikazuje na uporabniškem vmesniku in enota za zapis vrednosti. Za dodajanje ali odstranjevanje senzorjev je potrebno samo ustrezno urediti opisano datoteko.

5 Koncept merjenja kakovosti zraka na FERI

Za spremljanje kakovosti zraka v ciljnem okolju, smo zasnovali koncept, ki v vsakem trenutku omogoča vpogled v podatke o kvaliteti zraka in jih tudi grafično prikaže. Podatki so grafično prikazani s tortnim diagramom v treh barvah. Uporabnik lahko izbira med dvema barvnima paletama. Zelena ali modra barva predstavljata zrak najvišje kakovosti, oranžna ali rumena srednje kakovosti in rdeča ali črna slabe kakovosti. Ker koncept predvideva več senzorjev, bi bilo v prihodnosti dobro načrtovati prikaz podatkov s pomočjo modela 3D stavbe ali vsaj s tlorisom, ločenim po nadstropjih. Prikaz podatkov o kakovosti zraka bi lahko umestili tudi v prostor na način, da bi za prikaz obstoječih požarne načrtov uporabili elektronski papir, na katerega bi zapisali te informacije.



Slika 2: Tloris objekta s postavitvijo senzorjev

Pri umestitvi senzorjev v prostor smo bili omejeni z dvema dejavnikoma: možnost priključitve na omrežni vir napajanja in pokritost s signalom WiFi. Na sliki 2 je prikazano, kakšna je postavitev senzorjev, za izbrano nadstropje.

Pazili smo tudi, da senzorji niso bili postavljeni ob dotok svežega zraka (pri odprtih oknih, ventilatorjih, ipd.), saj bi s tem vplivali na rezultate meritev kakovosti zraka.

5.1 Predstavitev in analiza podatkov

Prikaz podatkov je omogočen z uporabo spletnega vmesnika programa Home Assistant ali z lastno mobilno aplikacijo, ki podatke pridobiva preko programskega vmesnika. Lastna mobilna aplikacija omogoča pregled trenutnih in preteklih meritev.

Predvidili smo tudi možnost vključevanja drugih naprav v omrežje in implementacijo naprednega odločanja ter proženja akcij, ob določenih dogodkih. Za proženje akcij skrbijo naprave z aktuatorji, ki lahko na primer ob slabih vrednostih meritev kakovosti zraka vklopijo prezračevanje.

V testnem obdobju delovanja sistema, ki je trajalo en teden, je sistem deloval stabilno. Merili smo nivo ogljikovega dioksida. Običajne vrednosti ogljikovega dioksida v odprtem prostoru so med 350 in 450 delci na milijon delcev zraka. Sprejemljive vrednosti za notranje prostore (torej takšne, ki še ne škodujejo človeku) so pod 600 delcev na milijon delcev zraka. Iz pridobljenih podatkov smo ugotovili, da v tem času ni prišlo do prekoračitve vrednosti. Opazili smo dnevna nihanja in korelacijo med stopnjo zasedenosti prostora in nivojem vsebnosti ogljikovega dioksida v zraku.

6 Zaključek

V sklopu nadaljnjega dela načrtujemo nadgradnjo sistema z zaznavanjem drugih plinov in implementacijo metode za izračun zraka na podlagi vseh pridobljenih vrednosti. S tem bi pripomogli k natančnejši določitvi kakovosti zraka.

Izboljšanje natančnosti je v prihodnje mogoče doseči tudi pri metodi merjenja na strani senzorja, predvsem z rednim preračunavanjem korekcijskih faktorjev.

Za zagotavljanje stabilnosti delovanja omrežja je pomembno, da ohranimo majhno količino prenesenih podatkov med napravami. K zmanjšanju količine prenesenih podatkov lahko pristopimo z upoštevanjem kontekstnih informacij. Tako lahko za predavalnice na podlagi urnika pridobimo informacijo o terminih zasedenosti in to informacijo uporabimo za spreminjanje intervala ponovnega pošiljanja podatkov (ko je prostor zaseden, pogostejše pošiljamo podatke).

Izboljšati je mogoče tudi dostopnost do podatkov in informiranost o storitvi, predvsem z implementacijo aplikacije za mobilne telefone, ki podatke pridobiva preko aplikacijskega programskega vmesnika strežnika.

Zahvala

Delo je bilo delno sofinancirano s strani Republike Slovenije in Evropske unije iz Evropskega sklada za regionalni razvoj v okviru programa "Inteligentni dom nove generacije zasnovan na pametnih napravah in lesu – IQ Dom".

Literatura

- [1] D. Lohani and D. Acharya. Smartvent: A context aware iot system to measure indoor air quality and ventilation rate. *IEEE Xplore*, 2:64–69, June 2016.
- [2] Gonçalo Marques and Rui Pitarma. An indoor monitoring system for ambient assisted living based on internet of things architecture. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(11), 2016.
- [3] H. L. Troung A. Stanford-Clark. Mqtt for sensor networks (mqtt-sn), protocol specification.
- [4] Mq135 - technical data. <https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>. Dostopno 05.07.2017.
- [5] Home assistant. <https://home-assistant.io/>. Dostopno: 14.07.2017.