

# Distribuirana bežična mreža za merenje koncentracije ugljen monoksida

Branka Milošević  
Institut za fiziku  
Beograd, Srbija  
brankam@ipb.ac.rs

Vladimir Rajović  
Odsek za elektroniku  
Elektrotehnički fakultet  
Beograd, Srbija  
rajo@etf.rs

**Sažetak**—U ovom radu opisana je bežična mreža senzora za merenje koncentracije ugljen monoksida. Za realizaciju jednog senzorskog čvora korišćena je NodeMCU platforma i MQ-7 gasni senzor. NodeMCU platforma programirana je u razvojnom okruženju *Arduino*. Za prikupljanje i obradu podataka sa senzorskih čvorova napravljena je aplikacija u programskom paketu *LabWindows CVI*, namenjena za korišćenje na personalnom računaru.

**Ključne reči**—koncentracija ugljen monoksida; bežične mreže senzora; Wi-Fi;

## I. UVOD

Ugljen monoksid (CO) je u velikom broju zemalja jedan od najčešćih uzroka trovanja gasom. S obzirom da je u pitanju gas bez boje, ukusa i mirisa, teško je primetiti ukoliko dođe do povećanja njegove koncentracije u okolnom vazduhu, a samim tim i blagovremeno odreagovati [1]. Zbog toga se projektuju detektori ugljen monoksida, koji tokom dužeg vremenskog perioda mere koncentraciju ovog gasa i daju zvučni signal za uzbunu pre nego što koncentracija dostigne određeni nivo. Prema evropskoj službi za bezbednost i zdravlje radnika, dozvoljena gornja granica za prosečnu koncentraciju ugljen monoksida tokom osmočasovnog radnog vremena iznosi 50 ppm, odnosno 0.005%. Do ozbiljnijih posledica po ljudsko zdravlje može doći kada koncentracija ugljen monoksida dostigne 200 ppm (0.02%).

Najčešće korišćeni gasni senzori su elektrohemijski senzori, pelistori, i senzori MOS (*metal oxide semiconductor*) tipa [2]. Elektrohemijski i MOS senzori se najčešće koriste za merenje koncentracije reaktivnih gasova, u koje spada i ugljen monoksid. Pelistori se koriste za merenje koncentracije zapaljivih gasova i daju ukupnu meru eksplozivnosti okolnog vazduha, pa nisu pogodni za detekciju ugljen monoksida.

Distribuirane mreže gasnih senzora se danas široko primenjuju, najčešće u sistemima za uzbunu u industriji ili stambenom prostoru, i u sistemima za nadgledanje zagađenja životne sredine. U ovakvim mrežama, komunikacija između senzora i centralnog računara može biti ostvarena pomoću fizičkih kablova [3], ili pomoću bežične veze [4, 5]. Bežični prenos podataka se može ostvariti na više načina, a u bežičnim mrežama senzora se najčešće ostvaruje korišćenjem Wi-Fi, ZigBee ili GSM standarda [6-8].

Korišćenje bežične mreže senzora za detekciju ugljen monoksida ima značajnih prednosti, pre svega zato što nije potrebno korišćenje provodnika. Zahvaljujući tome, senzori se mogu rasporediti po velikoj površini ili postaviti u odvojene prostorije. Takođe, senzori se po potrebi mogu premeštati i zamenjivati, a mreža se može jednostavno proširiti ako je to potrebno. Korisniku je omogućeno nadgledanje celokupne mreže sa jednog mesta, koje može biti na proizvoljnoj udaljenosti od mreže. Nedostatak bežičnih mreža senzora je to što u najvećem broju slučajeva senzorski čvor koristi baterijsko napajanje, pa je potrebno obezbediti malu potrošnju.

Ovaj rad opisuje bežičnu mrežu senzora koja za bežično povezivanje koristi Wi-Fi standard. Senzorski čvorovi ove mreže su projektovani korišćenjem NodeMCU platforme sa ESP8266 modulom i MQ-7 gasnim senzorom. Realizovana mreža je zvezdaste topologije, što znači da jedna NodeMCU platforma ima ulogu TCP servera i povezana je sa personalnim računarom preko serijske magistrale, dok su na ostale NodeMCU platforme povezani senzori i one imaju ulogu TCP klijenata. Server prikuplja podatke o koncentraciji ugljen monoksida i šalje ih na računar, gde se podaci prikazuju pomoću aplikacije napravljene u programu *LabWindows CVI*. Za razvoj softvera na NodeMCU platformi korišćeno je okruženje *Arduino* [9].

Rad je organizovan na sledeći način: drugo poglavlje opisuje topologiju mreže. Treće poglavlje daje pregled korišćenog hardvera, dok je u četvrtom poglavlju opisana komunikacija između klijenata i servera. U petom poglavlju je opisan postupak kalibracije senzora, koji je od velikog značaja za ispravno funkcionisanje ovakvog sistema. Šesto poglavlje daje neke opšte karakteristike mreže, poput potrošnje i dometa. Sedmo poglavlje opisuje aplikaciju na PC računaru pomoću koje korisnik pristupa podacima sa senzora. Na kraju rada je dat zaključak.

## II. TOPOLOGIJA SISTEMA

Bežična mreža senzora opisana u ovom radu je zvezdaste topologije, što znači da se sastoji iz jedne bazne stanice koja prima i šalje poruke ka većem broju senzorskih čvorova. Senzorski čvorovi komuniciraju samo sa baznom stanicom, a međusobna komunikacija između senzora nije dozvoljena. Prednosti ovakve topologije su jednostavnost, minimalna potrošnja senzorskih čvorova i malo kašnjenje, a nedostatak je ograničen domet [10]. Maksimalan domet bežične mreže

senzora zvezdaste topologije je jednak dometu korišćenog standarda za bežično povezivanje.

Na Sl. 1. je prikazana topologija mreže opisane u ovom radu. Centralna NodeMCU platforma je bazna stanica, koja prikuplja podatke sa senzorskih čvorova i šalje ih personalnom računaru. Ostale NodeMCU platforme prikupljaju podatke sa MQ-7 senzora i šalju ih baznoj stanici.

### III. HARDVER SISTEMA

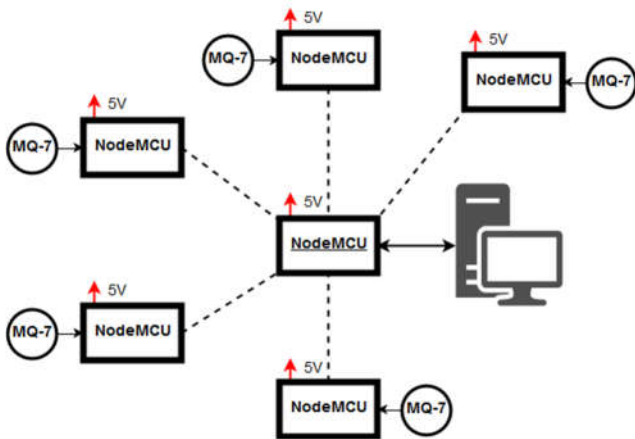
#### A. MQ-7 senzor

Ovaj tip senzora je korišćen za praktičnu realizaciju mreže zbog dobre osjetljivosti na ugljen monoksid, dugog životnog veka i niske cene. MQ-7 je senzor MOS tipa, i kao i većina gasnih senzora ovog tipa za detekciju ugljen monoksida koristi kalaj dioksid  $SnO_2$ . Mehanizam detekcije se bazira na smanjenju otpornosti kalaj dioksida pri porastu koncentracije ugljen monoksida. Zavisnost otpornosti senzora od koncentracije ugljen monoksida i drugih gasova je prikazana na Sl. 2.

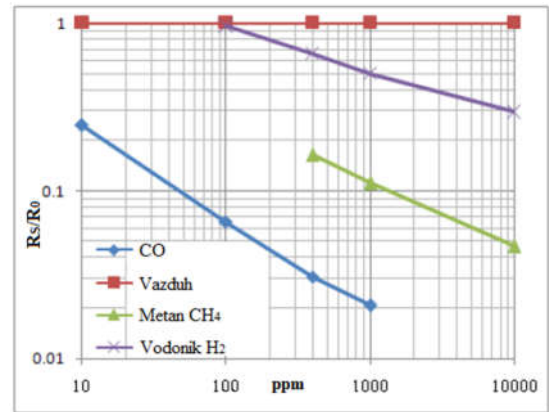
Na ovaj način, MQ-7 senzor može detektovati ugljen monoksid u granicama od 20 ppm do 2000 ppm, to jest od 0.002% do 0.2% koncentracije u okolnom vazduhu [11].

Standardno električno kolo ovog senzora je prikazano na Sl. 3. i sastoji se iz dve komponente. Prva je vremenski kontrolisano grejno kolo, na čijem izlazu se periodično smenjuju visok napon, koji iznosi 5V, i nizak napon, koji iznosi oko 1.5V. Podatke sa senzora je potrebno očitavati dok je grejač senzora na niskom naponskom nivou, zato što je tada napon na izlazu senzora proporcionalan koncentraciji ugljen monoksida u okolnom vazduhu. Deo ciklusa kada je grejač na visokom naponskom nivou služi da se površina senzora očisti od adsorbovanih molekula drugih gasova.

Druga sastavna komponenta MQ-7 senzora je kolo koje reaguje na promenu površinske otpornosti senzora i na osnovu nje generiše izlazni signal.



Slika 1. Topologija realizovane mreže



Slika 2. Zavisnost otpornosti MQ-7 senzora od koncentracije gasova [11]

#### B. NodeMCU platforma

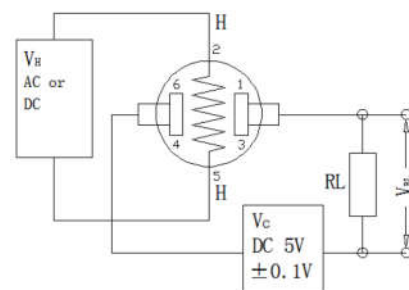
ESP8266 je Wi-Fi modul visokog stepena integracije, malih dimenzija i niske cene, koji može da istovremeno radi i kao Wi-Fi stanica, i kao bežična pristupna tačka. Ovaj modul se može samostalno programirati, zato što sadrži 32-bitni Tensilica L106 mikrokontroler [12], a može se koristiti i samo kao Wi-Fi adapter u složenijim sistemima.

NodeMCU platforma, pored ESP8266 modula sadrži i USB/UART kontroler, koji omogućava programiranje i napajanje preko USB porta.

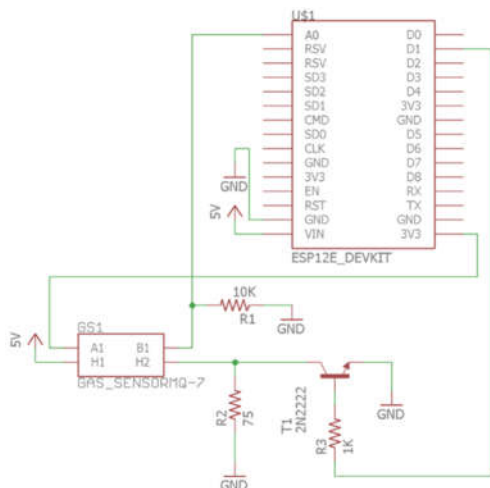
#### C. Šema i povezivanje

Da bi se omogućile promene napona na grejaču senzora, koristi se električna šema prikazana na Sl. 4. Priključci H1 i H2 na MQ-7 senzoru predstavljaju grejač, dok je sa priključaka A1 i B1 potrebno očitati vrednost otpornosti koja se menja sa promenom koncentracije ugljen monoksida. Ovo se ostvaruje tako što se na priključak A1 dovode napon od 3.3V koji se dobija sa NodeMCU platforme, pa se vrednost napona na priključku V1 očitava na analognom ulazu platforme A0. Otpornik  $R1=10k\Omega$  je izabran po preporuci proizvođača, mada je napomenuto da se njegova vrednost može menjati.

Digitalni izlaz D1 na platformi NodeMCU se dovodi na bazu tranzistora i programira se tako da 60 sekundi bude na logičkoj jedinici, a 90 sekundi na logičkoj nuli. Za računanje proteklog vremena se koristi funkcija *millis()*, koja daje broj milisekundi koji je prošao od trenutka uključenja sistema. Ipak, ovaj broj se nakon 50 dana zbog prekoračenja vraća na nulu, pa je potrebno sprovesti proveru da li je nova vrednost funkcije manja od stare, što bi značilo da je došlo do prekoračenja, i tako izbeći moguće greške.



Slika 3. Električno kolo MQ-7 senzora



Slika 4. Električna šema senzorskog čvora (napajanje nije prikazano)

Kada je D1 na logičkoj jedinici, tranzistor T1 je uključen, i može se smatrati da je priključak grejača H2 povezan na masu, što znači da napon na grejaču iznosi 5V. Tokom trajanja logičke jedinice, napon na izlazu senzora V1 nije potrebno očitavati, zato što se tada ne dobijaju nikakvi korisni podaci. Kada se vrednost digitalnog izlaza D1 promeni na logičku nulu, tranzistor T1 se isključuje i priključak senzora H2 je sada povezan sa masom preko otpornika R2. Otpornost R2 iznosi 75Ω, a s obzirom da je otpornost grejača oko 33Ω, napon na grejaču će biti približno 1.5V. Napon na senzoru je sada moguće konvertovati u koncentraciju ugljen monoksida izraženu u ppm.

#### IV. KLIJENT-SERVER KOMUNIKACIJA

Komunikacija između servera i klijenta se realizuje na sledeći način. Centralna NodeMCU platforma predstavlja server senzorske mreže i sa računarnom komunicira preko serijske magistrale. Ona radi kao Wi-Fi pristupna tačka i pokreće TCP server sa fiksnom IP adresom na određenom portu.

Centralna platforma u glavnom programu vodi računa o povezivanju senzorskih čvorova na sistem, odnosno vrši aktivnosti povezane za uspostavljanje i raskidanje TCP veze sa senzorskim čvorovima.

U određenim vremenskim intervalima, server od računara dobija zahtev za podatke, koji je u ovoj aplikaciji definisan kao znak pitanja. Nakon toga, server senzorske mreže šalje TCP poruke na pojedinačne senzorske čvorove koji kao odgovor šalju izmerene koncentracije ugljen monoksida.

Dalje server senzorske mreže čita podatke koje je dobio od klijenata, i preko serijske magistrale ih prosleđuje na računar kao niz bajtova promenljive dužine, čije je značenje: jedan bajt broj povezanih klijenata, i potom za svakog povezanog klijenta: IP adresa sa 4 bajta, MAC adresa sa 6 bajtova i koncentracija ugljen monoksida izražena u ppm sa 8 bajtova (proširena tačnost).

Za proveru da li postoji novi prijavljeni klijent i povezivanje sa klijentom server koristi funkciju *available()* iz Arduino *Server* klase. Broj bajtova dostupnih za čitanje server dobija korišćenjem funkcije *available()* iz *Client* klase. Vrlo je bitno primetiti razliku između ove dve funkcije.

Što se klijenta tiče, on se povezuje na Wi-Fi pristupnu tačku koju generiše server senzorske mreže, i potom uspostavlja TCP vezu sa TCP serverom na centralnoj platformi. Klijent neprestano meri koncentraciju ugljen monoksida, i taj podatak šalje serveru kada postoji zahtev za slanje podataka iniciran od strane računara a pristigao sa TCP servera. Provera da li je klijent povezan sa serverom se vrši preko funkcije *connected()* iz *Client* klase.

#### V. KALIBRACIJA

Pre kalibracije, potrebno je da senzor radi bar 48 sati kako bi se zagrejavao. Nakon toga, može se započeti sa kalibracijom. Formula koja povezuje otpornost MOS senzora i koncentraciju merenog gasa glasi:

$$R_s = A[C]^{-\alpha},$$

gde A predstavlja konstantu, C koncentraciju gasa, dok je  $\alpha$  nagib krive koja je prikazana na Sl. 2. Dakle, za ispravnu kalibraciju senzora, potrebne su bar dve tačke u kojima je poznata tačna koncentracija ugljen monoksida. Obično se za kalibraciju koriste dve boce sa kalibracionim gasom, u kojima koncentracija ugljen monoksida iznosi 50 ppm i 100 ppm. Kada se otpornost senzora izmeri za dve poznate koncentracije ugljen monoksida, tada se može izračunati nagib krive  $\alpha$ , a potom i konstanta A.

Tokom kalibracije, NodeMCU se sa senzorom povezuje po šemi sa Sl. 4., a senzor se izlaže kalibracionom gasu. Napon senzora se očitava na pinu A0, tokom trajanja niskog naponskog nivoa. Otpornost senzora  $R_s$  se dobija korišćenjem formule za razdelnik napona između  $R_s$  i  $R_1$ , i ta tačka ostaje zapamćena u memoriji NodeMCU modula. Isti proces se ponavlja i za drugu tačku.

#### VI. KARAKTERISTIKE SENZORSKE MREŽE

Jedan od najvažnijih parametara kod bežičnih mreža senzora predstavlja potrošnja, i cilj je da ona bude što je moguće manja. Wi-Fi standard ima veću potrošnju u odnosu na ostale standarde za bežično povezivanje, ali veći problem u opisanoj mreži predstavlja potrošnja MQ-7 senzora.

Napon napajanja ESP8266 modula iznosi 3.3V, a struja u radnom režimu oko 80mA, što znači da je njegova ukupna potrošnja oko 264mW. Međutim, klijenti šalju podatke serveru samo u određenim vremenskim trenucima, pa će potrošnja modula biti znatno manja veći deo vremena. Potrošnja grejnog kola MQ-7 senzora iznosi oko 350mW, dok disipacija na otporniku R2 iznosi oko 100mW i na njih je nemoguće uticati. Potrošnja ostalih elemenata kola može se zanemariti. S obzirom na to da ukupna potrošnja jednog senzorskog čvora iznosi više od 700mW, bilo bi pogodno da se svakom čvoru obezbedi mrežno napajanje. Detekcija ugljen monoksida se obično radi u industriji i stambenom prostoru, to jest u zatvorenim prostorijama gde postoji niskonaponska mreža, pa je jednostavno obezbediti napajanje.

Dometa realizovane mreže zavisi od dometa ESP8266 modula i korišćene antene, koji u ovom slučaju iznosi oko 40 m u zatvorenom i 140 m na otvorenom [12]. Ukoliko bi bilo

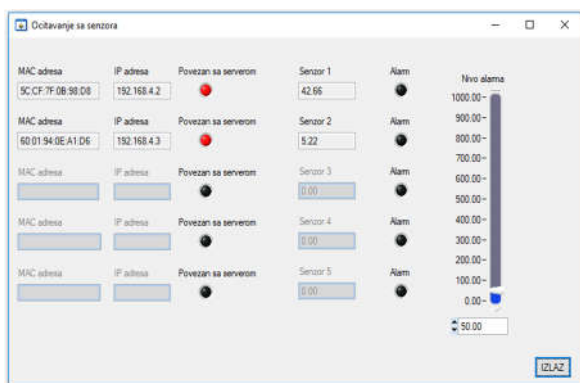
potrebno da se bežičnom mrežom senzora prekrije neka veća površina, bilo bi neophodno promeniti topologiju mreže, uvođenjem repetitora i hijerarhijske strukture. Prilikom testiranja mreže, utvrđeno je da klijenti nemaju problema u komunikaciji sa serverom ni kada se nalaze u odvojenim prostorijama, na udaljenosti od oko 20 m. Komunikacija nije testirana na većim rastojanjima između klijenata i servera.

## VII. APLIKACIJA

Aplikacija je rađena u programskom paketu *LabWindows CVI*. Izgled grafičkog interfejsa je prikazan na Sl. 5. Aplikacijom je predviđeno maksimalno pet senzora, a na primeru sa slike su povezana dva klijenta i date su njihove IP i MAC adrese. O tome da li je posmatrani klijent povezan sa senzorom, korisnika aplikacije obaveštava LED indikator. Koncentracija ugljen monoksida data u ppm je prikazana u poljima *Senzor 1* i *Senzor 2*, to jest za oba povezana klijenta. Svi podaci se dobijaju od servera, koji je povezan sa računarom preko serijske magistrale. Aplikacija periodično, na svakih 10 sekundi, preko serijske veze šalje serveru upit, i dobija podatke po ranije opisanom protokolu. Nivo ugljen monoksida za koji se uključuje LED indikator za alarm moguće je menjati pomoću kontrole *Nivo alarma*.

## VIII. ZAKLJUČAK

Isprojektovana je distribuirana mreža zvezdaste topologije, koja za bežično povezivanje koristi Wi-Fi standard i služi za merenje koncentracije ugljen monoksida. U odnosu na komercijalno dostupne detektore ugljen monoksida, ova mreža poseduje dosta prednosti. Pre svega, senzorski čvorovi se mogu rasporediti tako da pokriju znatno veću površinu i veći broj prostorija nego što bi to jedan detektor mogao. Čak i u slučaju korišćenja više detektora, ovakva mreža ima prednost zbog toga što korisnik preko računara ima istovremeni pristup podacima sa svih senzorskih čvorova. Takođe, cene detektora ugljen monoksida se kreću od nekoliko desetina, do nekoliko stotina dolara, dok cena jednog senzorskog čvora prikazanog sistema ne prelazi više od deset dolara.



Slika 5. Korisnički interfejs aplikacije na PC računaru

## ZAHVALNICA

Ovaj rad je finansiran sredstvima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja preko projekata tehnološkog razvoja TR-32024 i TR-32043, i projekta integralnih i interdisciplinarnih istraživanja III-45016.

## LITERATURA

- [1] Goldstein, M. Carbon monoxide poisoning. *J. Emerg. Nurs.* 2008, 34, 538–542.
- [2] Moseley, P. T. "Solid state gas sensors." *Measurement Science and technology* 8.3 (1997): 223.
- [3] M. Plotner, O. Berger, H. Stab, W.-J. Fischer, P. König, A. Schwartz, "Miniaturized gas monitoring system employing several SAW sensors", *Proceedings of the 2001 IEEE International Frequency Control Symposium and PDA Exhibition*, 2001, pp. 520–527.
- [4] A. Chehri, W. Farjow, H. T. Mouftah and X. Fernando, "Design of wireless sensor network for mine safety monitoring," *2011 24th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, Niagara Falls, ON, 2011, pp. 001532-001535.
- [5] T. S. Lin *et al.*, "Application of a reliable MAC protocol for the urban air quality monitoring system based on the wireless sensor network," *2012 Proceedings of IEEE Southeastcon*, Orlando, FL, 2012, pp. 1-6.
- [6] K. Muheden, E. Erdem and S. Vançın, "Design and implementation of the mobile fire alarm system using wireless sensor networks," *2016 IEEE 17th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI)*, Budapest, 2016, pp. 000243-000246.
- [7] S. Mansour, N. Nasser, L. Karim and A. Ali, "Wireless Sensor Network-based air quality monitoring system," *2014 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*, Honolulu, HI, 2014, pp. 545-550.
- [8] K. Deve, G. Hancke and B. Silva, "Design of a smart fire detection system," *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Florence, 2016, pp. 6205-6210.
- [9] <https://www.arduino.cc/>
- [10] Gutiérrez, Daniel & Toral, S.L. & Barrero, Federico & Bessis, Nik & Asimakopoulou, Eleana. (2013). The Role of Ad Hoc Networks in the Internet of Things: A Case Scenario for Smart Environments. *Studies in Computational Intelligence*. 460. 89-113.
- [11] <http://www.winsen-sensor.com/>
- [12] Espressif Systems IOT Team, ESP8266EX Datasheet, Version 4.3, 2015

## ABSTRACT

This paper describes the design of a wireless sensor network for carbon monoxide concentration measurement. For realization of sensor nodes, NodeMCU platforms and MQ-7 gas sensors were used. NodeMCU platforms are programmed in the Arduino development environment. For data collecting from all wireless sensor nodes and for data processing, an application was created in the LabWindows CVI software package, which was intended for use on a PC.

## DEVELOPMENT OF DISTRIBUTED WIRELESS SENSOR NETWORK FOR CARBON MONOXIDE CONCENTRATION MEASUREMENT

Branka Milošević, Vladimir Rajović