

Implementacija bežične komunikacije za prenos senzorskih podataka

Harun Dedović

*Odsjek za telekomunikacije
Elektrotehnički fakultet, Univerziteta u Sarajevu
Sarajevo, Bosna i Hercegovina
hdedovic3@etf.unsa.ba*

Vedad Crnčalo

*Odsjek za telekomunikacije
Elektrotehnički fakultet, Univerziteta u Sarajevu
Sarajevo, Bosna i Hercegovina
vcrncalo1@etf.unsa.ba*

Sažetak—Ovaj rad istražuje implementaciju bežične komunikacije za prenos senzorskih podataka koristeći Arduino platformu, Bluetooth modul HC-05 i DHT11 senzor za mjerenje temperature i vlage. Cilj projekta je razvoj efikasnog, troškovno prihvatljivog i energetske štedljivog sistema za real-time praćenje parametara okruženja, uz analizu performansi DHT11 senzora.

Mjerenja putem senzora su se vršila više puta, kako bi se odredila njihova tačnost i prikladnost za različite primjene. Te će se ti rezultati slati na email adresu, kao i na Bluetooth terminal na mobilnom uređaju. Dodatno, razmatrane su tehnologije poput Bluetootha, VLC-a, Wi-Fi-a kao i SMTP protokola i njihove prednosti i ograničenja u kontekstu bežične komunikacije.

Index Terms—Bežična komunikacija, Arduino Mega 2560, DHT11, Bluetooth HC-05, VLC, Wi-Fi, SMTP, OLED displej, WEMOS D1 Mini, Automatizacija, Praćenje temperature i vlage, Energetska efikasnost, Real-time monitoring

I. UVOD

Razvoj tehnologija bežične komunikacije značajno je unaprijedio efikasnost u prikupljanju i prijenosu podataka, posebno u oblasti praćenja parametara životne sredine. Tradicionalni sistemi mjerenja često ovise o manuelnom unosu podataka, što može dovesti do grešaka i otežava dugoročno čuvanje podataka. Uvođenje pametnih sistema za automatizirano praćenje temperature i vlažnosti omogućava preciznije i pouzdanije rezultate uz smanjenje troškova i potrošnje energije [1].

Ovaj projekat ima za cilj razvoj sistema koji koristi Arduino Uno kao platformu za upravljanje, bluetooth hc-05 modul za bežičnu komunikaciju i DHT11 senzor za mjerenje temperature i vlažnosti. Pomoću ovih komponenti, podaci o ključnim parametrima okruženja prijenose se i prikazuju na OLED displeju, omogućavajući real-time monitoring. Posebna pažnja posvećena je troškovnoj efikasnosti, jednostavnosti dizajna i niskoj potrošnji energije, čime ovaj sistem predstavlja idealno rješenje za različite primjene, uključujući industrijska i kućna okruženja.

II. KOMPONENTE I DIZAJN SISTEMA

A. Popis opreme

Prije nego što se započne sa opisom dizajna sistema, potrebno je razložiti od čega se on sastoji. Hardverska pločica koja se koristi u ovom projektu je Arduino Mega 2560 koja sadrži mikrokontroler ATmega2560. Za razliku od Arduino Uno, ova pločica nudi veći kapacitet memorije kao i više ulazno/izlaznih (I/O) pinova. To jeste 54 digitalnih pinova, te 16 analognih što čine ovu pločicu prikladnijom u svrhu kompleksnijih primjena. Arduino Mega 2560 sadrži i kristalni oscilator frekvencije 16 MHz. Napajanje se može vršiti preko D.C. porta ili kao u slučaju ovog rada, preko USB porta sa kojeg se prijenosi i izvorni kod kreiran u IDE (eng. *integrated development environment*) okruženju Arduino. Dok se za napajanje komponenti priključenih na ovu pločicu

koriste se stabilizatori napona od 3,3V i 5V. Od ostalih karakteristika Arduino Mega pločice potrebno je spomenuti i dodatni ICSP (eng. *In-Circuit Serial Programming*) port za programiranje ploče, podržava ulazno napajanje u rasponu od 6V do 20V, flash memoriju kapaciteta 256 KB, RAM-a od 8 KB tipa SRAM, ROM-a od 4 KB tipa EEPROM i dimenzije 101 x 53 mm [2].

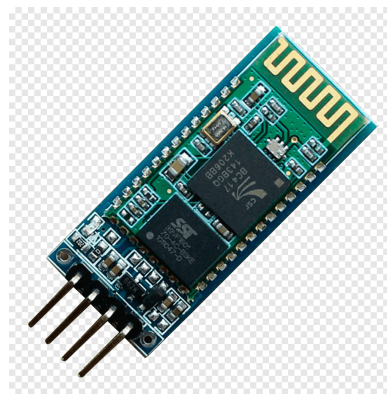
Arduino, sam po sebi, ne podržava bežičnu komunikaciju poput savremenih tehnologija kao što su Bluetooth i Wi-Fi (eng. *Wireless Fidelity*). Međutim, omogućava povezivanje s drugim modulima za bežičnu komunikaciju, poput bluetooth modula HC-05 [1].

HC-05 je Bluetooth modul dizajniran za bežičnu komunikaciju, koji može raditi u master ili slave konfiguraciji. HC-05 koristi standardizovani protokol IEEE 802.15.1, kojim omogućava uspostavljanje bežične PAN (eng. *personal area network*) mreže. Radi pokrivanja PAN mreže posjeduje domet do 100m, ali ta vrijednost naravno varira u zavisnosti od predajnika i prijemnika, kao i okruženja u kojem radi. Za prijenos podataka koristi radio tehnologiju s frekvencijskim skakanjem FHSS (eng. *frequency-hopping spread spectrum*) [3].

HC-05 modul radi na 3.0V u režimu niske potrošnje energije, ali mogu se koristiti i naponi do 6V. Modul sadrži integrisanu antenu, rubni konektor i UART (eng. *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) interfejs preko kojeg serijski komunicira sa mikrokontrolerom, te ima programabilni broj baud-a. Pored pinova za napajanje i uzemljenje, posjeduje i pin RXD (eng. *Receiver Data*) za prijem serijskih podataka sa drugog uređaja, kao i TXD (eng. *Transmitter Data*) sa slanje podataka [4]. Ima velik broj primjena poput bežičnih slušalica, kontrolera za igre, bežičnih miševa, tastatura i drugih uređaja za potrošače [3].

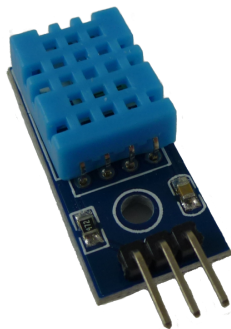
Jedan od zadataka ovog rada je da se podaci šalju između pametnog telefona i HC-05 modula.

Zbog toga je potrebno instalirati aplikaciju za Bluetooth terminal koja omogućava prijenos i prijem podataka. Takve aplikacije dostupne su za Android, Apple i Windows uređaje u odgovarajućim prodavnicama aplikacija. Prije uspostavljanja komunikacije između dva Bluetooth uređaja, potrebno je prvo upariti HC-05 modul s pametnim telefonom. U svrhe ovog rada korištena aplikacija skinuta sa *Google Play Store*-a je Serial Bluetooth Terminal (autor Kai Morich).



Slika 1. HC-05 Bluetooth modul

Kao komponentu koji će prikupljati relevantne podatke iz okruženja, koristiti će se DHT11 senzor. DHT11 je kombinovani modul sa mogućnosti mjerenja kako temperature, tako i vlage. Prikupljeni podaci se kao signal šalju na Arduino Uno pločicu. Ovaj senzor pruža visoko precizne vrijednosti temperature i vlažnosti, za čije prikupljanje koristi otpornik (za vlažnost), te NTC (eng. *Negative Temperature Coefficient*) komponentu (za temperaturu). Važno je napomenuti da DHT11 ima ugrađen 8-bitni mikrokontroler, što kao rezultat ima brzi odziv, nisku cijenu i isporuku u pakovanju sa 4 pina u jednom redu. Pin NC (eng. *not connected*) je u modulu integrisan tako da u ovom slučaju se radi sa 3 pina: VCC (eng. *Voltage Common Collector*) (napon), data (podaci) i GND (eng. *Ground*) (uzemljenje). Njegov serijski interfejs s jednom žicom omogućava brzo i jednostavno integrisanje u sistem [5].



Slika 2. DHT11 senzor za temperaturu i vlažnost

Također dodan je OLED (*eng. Organic Light-Emitting Diode*) displej, OLED displeji za Arduino sa 4 pina (VCC, GND, SCL, SDA) su popularni zbog svoje kompaktnosti, male potrošnje energije i odlične vidljivosti, čak i pri jakom osvetljenju. Često se koriste u projektima koji zahtevaju male ekrane za prikazivanje informacija poput teksta, grafika, ili ikonica. Najčešće 128x32 ili 128x64 piksela, koristi I2C protokol, što omogućava spajanje više uređaja na istu sabirnicu. Dodana je i LED dioda za praćenje poslanih informacija (LED dioda upaljena informacija je poslana, u suprotnom kada nije upaljena informacija nije poslana).

Kao VLC (*eng. Visible light communication*) komponentu koristi se WEMOS D1 Mini koji je Wi-Fi razvojna ploča bazirana na ESP-8266 mikrokontroleru. Ova pločica nudi 11 ulazno/izlaznih pinova kao i modulaciju širine impulsa (*eng. Pulse width modulation*), flash memoriju od 4MB, komunikacijski protokol I2C za spajanje uređaja preko SCL (*eng. Serial Clock Line*) i SDA (*eng. Serial Data Line*) pinova, te i jedan analogni ulaz koji može raditi sa naponima do 3,2V. Što se tiče portova, opremljena je sa USB portom tipa C i LOLIN I2C, preko kojih je spojena sa IDE okruženjima Arduino, MicroPython ili NodeMCU. Često je korištena u raznim IoT (*eng. Internet of things*) projektima, zahvaljujući svojim malim dimenzijama 34,2 mm x 25,6 mm [6].

B. Korištene tehnologije

Bluetooth je jeftina, energetska efikasna radiofrekvencijska tehnologija za komunikaciju na kratkim udaljenostima. Može se koristiti za zamjenu kablova koji povezuju prijenosne ili fiksne elektronske uređaje, izgradnju ad-hoc mreža ili osiguranje pristupnih tačaka za prenos podataka/glasovne komunikacije. Napredak u mikroelektronici omogućava integraciju složenih funkcija u jedan mali čip, čime se postiže niska cijena. Sa svojom niskom cijenom, malom potrošnjom energije i kompaktnim dizajnom, može se praktično smjestiti bilo gdje. Ovo će omogućiti realizaciju mnogih koncepata, poput pametnih uređaja i ugrađenog interneta [7].

U poređenju s drugim sličnim bežičnim tehnologijama, njegova najveća prednost je niska potrošnja energije i niska cijena, što ga čini pogodnim za mobilne aplikacije. Međutim, njegov nizak protok podataka ograničava ga za primjene koje zahtijevaju velike brzine, poput prijenosa videozapisa u stvarnom vremenu [7].

Wi-Fi je najzastupljenija WLAN (*eng. wireless local area network*) tehnologija razvijena od strane IEEE kao 802.11 standard. Uvođenje ove tehnologije imalo je značaj utjecaj na korištenje uređaja kao što su mobilni telefoni, laptopi, VoIP (*Voice over Internet Protocol*) i mnoge drugi, pružajući tako uslugu koja je bila dostupna sa žično povezanim uređajima. Ova tehnologija pokazala se kao idealno rješenje za problem bežičnog povezivanja uređaja u domovima i uredima. Tipična Wi-Fi mreža se sastoji od centralne pristupne tačke AP (*eng. access point*) i više okolnih stanica (uređaja) koje su povezane na AP tačku. Razlikujemo dva moda komunikacije: centralizovani mod u kojem se sva komunikacija vrši preko AP, te decentralizovani u kojem STA (*eng. stations*) mogu komunicirati direktno. Domet ovih mreža je od 50m do 100m u zatvorenom prostoru, dok na otvorenom prostoru ide čak do 1km. Prednosti Wi-Fi standarda IEEE 802.11 uključuju niske troškove infrastrukture, jednostavnost razvoja i podršku za

mobilne korisnike. S druge strane, glavne mane ovog standarda su problemi sa sigurnošću, jer se koristi dijeljeni medij, što povećava rizik od neovlaštenog pristupa i prisluškivanja. Također, performanse mreže značajno opadaju s povećanjem broja uređaja povezanih na mrežu [8].

SMTP (*eng. Simple Mail Transfer Protocol*) je aplikacijski protokol unutar *TCP/IP* modela koji se koristi za prenos elektronske pošte između servera. Funkcionira tako što klijentski *SMTP* proces otvara *TCP* vezu ka serverskom *SMTP* procesu i prenosi poruku. Najčešće koristi port 25 za povezivanje i razmjenu podataka. *SMTP* omogućava slanje poruka od korisničkog klijenta do servera ili između samih servera, a često se koristi zajedno s protokolima *POP3* (*eng. Post Office Protocol v3*) ili *IMAP* (*eng. Internet Message Access Protocol*) za preuzimanje poruka [9]. Za sigurnost korisničkog računa, implementirana je dvofaktorska autentifikacija (*2FA*). Ova sigurnosna metoda omogućava dodatnu zaštitu računa jer zahtijeva dva faktora za autentifikaciju: nešto što korisnik zna (lozinku) i nešto što korisnik ima (npr. mobilni uređaj ili autentifikator). Time se smanjuje rizik od neovlaštenog pristupa čak i u slučaju da lozinka dospije u pogrešne ruke.

Također, za slanje e-mailova putem aplikacije, kreirana je aplikacijska lozinka (*eng. app password*), posebna lozinka koja omogućava aplikacijama pristup e-mail računu bez korištenja glavne lozinke. Ova lozinka je bila potrebna jer korištenje standardne lozinke za aplikaciju može biti blokirano iz sigurnosnih razloga, a aplikacijska lozinka omogućava siguran i specifičan pristup bez ugrožavanja glavne lozinke računa.

VLC (*eng. Visible Light Communication*) koristi vidljivi spektar svjetlosti (380-750 nm) za prijenos podataka, omogućavajući istovremeno osvjjetljenje i bežičnu komunikaciju. Ova tehnologija koristi neometan spektar vidljive svjetlosti, koji ima frekvencijski opseg čak 10.000 puta veći od radio-talasa, čime omogućava prijenos podataka brzinama do 100 Gbps.

Osnova VLC sistema su LED sijalice, koje zahvaljujući brzom uključivanju i isključivanju prenose podatke bez narušavanja osvjjetljenja prostora. Jedna od ključnih prednosti VLC-a je povećana sigurnost, jer svjetlost ne prolazi kroz zidove, čineći presretanje signala znatno težim [10].

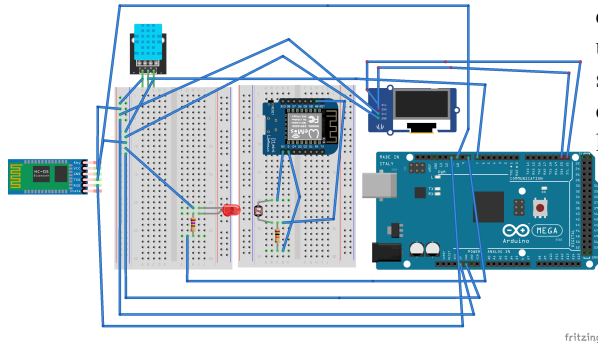
VLC koristi LED sijalicu za prijenos podataka modulacijom svjetlosti, dok fotorezistor detektuje promjene u svjetlosnom signalu i pretvara ih u električne signale. U kombinaciji sa senzorom temperature, podaci o očitavanju temperature prenose se putem VLC-a, dok fotorezistor dekodira signal i šalje ga mikrokontroleru. Wi-Fi modul zatim koristi prikupljene podatke kako bi ih prenio na mrežu, omogućavajući, na primjer, slanje očitavanja temperature putem e-pošte (*e-maila*).

C. Povezivanje komponenti

Sve komponente su povezane u sistem sa *Arduino Mega2560* i dodatnim modulom. *DHT11* senzor za mjerenje temperature i vlažnosti povezan je tako da su njegov *VCC* i *GND* priključeni na 5V i *GND* pinove Arduina, dok je *DATA* pin povezan na jedan od digitalnih pinova. *HC-05* Bluetooth modul povezan je tako da je njegov *VCC* spojen na 5V, *GND* na *GND* Arduina, dok su *TX* i *RX* pinovi modula povezani na *RX* i *TX* pinove Arduina. *OLED* ekran koristi *I2C* komunikaciju, pa su *SDA* i *SCL* pinovi ekrana povezani na *SDA* i *SCL* pinove Arduina. Jedna *LED* dioda povezana je preko otpornika od 27 Ω na jedan od digitalnih pinova Arduina, dok je njena katoda spojena na *GND*.

Wi-Fi modul (*ESP8266*) i fotorezistor s otpornikom od 10k Ω nisu direktno povezani na *Arduino Mega*. Ove komponente čine nezavisni podsistem koji je povezan na laptop radi napajanja i komunikacije. Fotorezistor je spojen u seriji s otpornikom od 10k Ω , pri čemu je spoj između fotorezistora i otpornika vjerovatno povezan na analogni ulaz *Wi-Fi* modula za očitavanje vrijednosti osvjjetljenja. Napajanje i komunikacija za *Wi-Fi* modul osigurani su putem *USB* veze s laptopom. Za svrhu izrade naše sheme u programu *Fritzing*, korišten je drugi

model *OLED* displeja. Nažalost, Nije bilo moguće koristiti *OLED* displej koji je konkretno predviđen za stvarni projekat, jer taj model nije bio dostupan u biblioteci programa *Fritzing* koji se koristio za kreiranje *sheme*.



Slika 3. Konačni izgled šeme u programu *Fritzing*

III. REZULTATI RADA I MOGUĆA POBOLJŠANJA

Nakon pokretanja koda u *IDE* okruženju Arduino, *DHT11* senzor je otpočeo mjerenje temperature i vlage iz okoline. Te podatke je preko Arduino Mega poslao na *Bluetooth HC-05* modul sa kojeg su emitovani na mobilni uređaj koji je prethodno uparen sa *HC-05* modulom. Ovim je omogućen prvi od dva, načina očitavanja rezultata mjerenja sa senzora. Drugi način je očitavanje rezultata sa *OLED* displeja koji je direktno povezan na Arduino Mega preko *TX* i *RD* pinova.

Što se tiče mogućih poboljšanja, upotreba *DHT22* senzora bi omogućilo preciznije mjerenje od korištenog *DHT11*. Optimizaciju koda za stabilniju *Bluetooth* komunikaciju, korištenje preciznijih senzora za mjerenje temperature i vlage, te implementaciju alternativnih bežičnih tehnologija poput *Wi-Fi* ili *LoRa* za veći domet i pouzdanost prenosa podataka.

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu implementiran je sistem za bežičnu komunikaciju senzorskih podataka koristeći Arduino platformu, *Bluetooth HC-05* modul i *DHT11* senzor za mjerenje temperature i vlage. Analizirani

su performanse sistema, pri čemu je potvrđena njegova efikasnost, troškovna prihvatljivost i energetska štedljivost. Kroz višestruka mjerenja, utvrđena je tačnost *DHT11* senzora, dok su podaci uspješno slani putem *Bluetooth* terminala i e-maila. Također su razmatrane alternative poput *Wi-Fi* komunikacije i *SMTP* protokola, čime je pružen širi uvid u mogućnosti bežične razmjene podataka. Ovakav sistem može naći primjenu u različitim kućnim okruženjima, doprinoseći preciznijem praćenju okolišnih parametara.

LITERATURA

- [1] Aishwarya Karra, Bhuvana Kondi, and Ramesh Jayaraman. Implementation of wireless communication to transfer temperature and humidity monitoring data using arduino uno. In *2020 international conference on communication and signal processing (ICCSP)*, pages 1101–1105. IEEE, 2020.
- [2] AC Gheorghe and CI Stoica. Wireless weather station using arduino mega and arduino nano. *The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty*, 21(1):35–38, 2021.
- [3] Souvik Paul, Saumedhik Biswas, Atreyo Sengupta, Banishikha Basu, and Sreya Basu. Arduino based, bluetooth controlled rc car. *International Journal of Computer Science & Communication*, 11(1):7–13, 2019.
- [4] Sutariya Hardik Jayantilal. Interfacing of at command based hc-05 serial bluetooth module with minicom in linux. *International Journal for Scientific Research & Development*, 2(3):329–332, 2014.
- [5] Deeksha Srivastava, Awanish Kesarwani, and Shivani Dubey. Measurement of temperature and humidity by using arduino tool and dht11. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(12):876–878, 2018.
- [6] WEMOS Electronics. Lolin d1 mini. https://www.wemos.cc/en/latest/d1/d1_mini.html. Accessed: 2025-01-15.
- [7] Hongfeng Wang. Overview of bluetooth technology. *The Pennsylvania State University, Dept. of Electrical Engineering State College, PA16802*, 2001.
- [8] Sourangsu Banerji and Rahul Singha Chowdhury. On iee 802.11: wireless lan technology. *arXiv preprint arXiv:1307.2661*, 2013.
- [9] Vladimir V Riabov. Smt (simple mail transfer protocol). *River College*, 2005.
- [10] Luiz Eduardo Mendes Matheus, Alex Borges Vieira, Luiz FM Vieira, Marcos AM Vieira, and Omprakash Gnawali. Visible light communication: concepts, applications and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(4):3204–3237, 2019.