

IOT VIŠENAMENSKI LABORATORIJSKI SISTEM KORIŠĆENJEM RASPBERRY PI 3 I ESP32

Amela Zeković, Milutin Nešić
Akademija tehničko-umetnički strukovnih studija u Beogradu –
Visoka škola elektrotehnike i računarstva,
amela.zekovic@viser.edu.rs, nesic@viser.edu.rs

Rezime: *Internet stvari (Internet of Things, IoT) predstavlja jednu od najmodernijih tehnologija čije proširenje i unapređenje u različitim sferama života tek dolazi. Iz ugla obrazovanja, IoT obezbeđuje posebnost koja se ogleda u kombinovanju različitih inženjerskih oblasti – elektronike, telekomunikacija i računarske tehnike. Ova osobina, razvijeni IoT sistem za laboratorijske vežbe čini značajnim u nastavi različitih studijskih programa, sa različitim usmerenjima i vezama sa privredom. Na Visokoj školi elektrotehnike i računarstva (VIŠER), razvili smo IoT sistem za laboratorijske vežbe niske cene i male potrošnje korišćenjem Raspberry Pi 3 i ESP32 kao elemente okosnice. Sa jedne strane, sistemu je omogućeno povezivanje i upravljanje radom sa različitim sensorima, a sa druge ima komunikaciju sa ostatkom sveta kroz povezivanje na server ili oblak i slanje elektronske pošte ili SMS poruke. Na ovaj način sistemu je omogućeno i dalje unapređenje u smislu udaljene kontrole i upravljanja i korišćenja alata za analizu podataka i mašinsko učenje.*

Ključne reči: *IoT, Raspberry Pi 3, ESP32, višenamenski laboratorijski sistem*

1. Uvod

Internet stvari (*Internet of Things, IoT*) predstavlja mrežu fizičkih objekata koji nisu nužno u relaciji sa Internetom, [1-2]. U ove objekte između ostalih spadaju uređaji, vozila, prostorije i/ili zgrade, kao i drugi objekti sa ugrađenim potrebnim električnim hardverom, odgovarajućom softverskom podrškom, sensorima i/ili aktuatorima i mrežnim interfejsima. Dalje, u okviru Interneta stvari može da bude omogućeno sakupljanje i čuvanje, razmena i obrada podataka i drugi načini njihovog korišćenja.

Različiti aspekti Interneta stvari su povezani sa različitim inženjerskim oblastima – elektronikom, telekomunikacijama i računarskom tehnikom. Ovo oblast Interneta stvari čini jedinstvenom, posebno ako se velika pažnja posveti svakoj od pojedinačnih celina.

U okviru ovog rada biće izložen razvijeni IoT višenamenski laboratorijski sistem koji uzima u obzir svaku od nabrojanih celina. Pažljivo je izvršen izbor hardverskih komponenti i urađeno njihovo povezivanje. Zatim, realizovano je upravljanje samim uređajima pisanjem odgovarajućih kodova u programskim jezicima. Na kraju, pored

direktne komunikacije između elemenata u sistemu, omogućena je i komunikacija sa ostatkom sveta preko Interneta.

Zbog niske cene i male potrošnje energije *Raspberry Pi* računari i ESP (*Espressif modules*) familija mikrokontrolera se u kombinaciji sa različitim sensorima, aktuatorima i kamerama sve češće koristi za razvoj IoT aplikacija i višenamenskih laboratorijskih sistema. Ovi sistemi se najčešće implementiraju radi praćenja temperature, vlažnosti i zagađenosti kao i za nadzorne i sigurnosne sisteme. Zbog zaštite životne sredine i bolje energetske efikasnosti, *Raspberry Pi* i ESP32 se takođe sve češće koriste i za kontrolu potrošnje električne energije.

U radu [3] korišćeni su senzori koji omogućavaju merenje zagađenosti, temperature i vlažnosti dok ESP32 omogućava povezivanje na server i praćenje očitavanja putem mobilne aplikacije. ESP32 korišćen je i u [4] za razvoj sistema niske cene koji omogućava praćenje temperature i vlažnosti u laboratorijama politehničkog univerziteta u Bukureštu.

Razvijen je i veliki broj sigurnosnih sistema, kako za kućnu tako i za komercijalnu upotrebu, baziranih na upotrebi *Raspberry Pi* i različitih ESP32 modula. Pored *Raspberry Pi* i različitih ESP32 modula ovi sistema koriste različite senzore kretanja i video kamere. U [5] je prikazan sistem baziran na upotrebi ESP32 modula i senzora kretanja koji omogućava kontrolu i nadzor ulaznih vrata. Senzori kretanja omogućavaju detekciju otvaranja i zatvaranja vrata i o tome obaveštavaju korisnika. *Raspberry Pi*, video kamere i senzori kretanja korišćeni su u [6] za razvoj pametnog nadzornog sistema koji omogućava slanje slika i videa korisnicima.

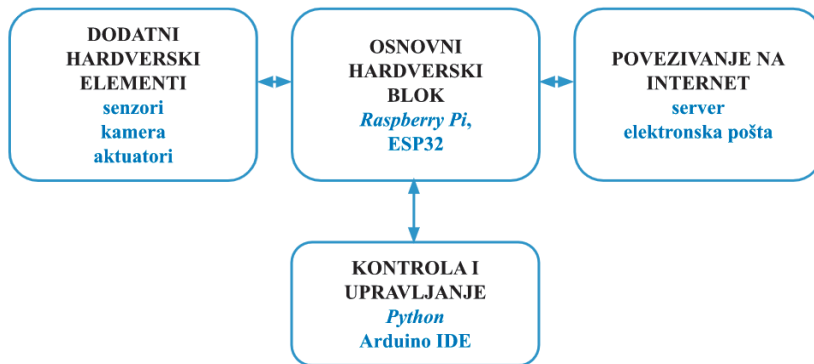
Poslednjih nekoliko godina, pod uticajem pandemije, u ubrzanom razvoju su i udaljene (*remote*) laboratorije koje se najviše koriste za istraživanje i edukaciju. Kao osnova za razvoj ovakvih laboratorija često se koriste IoT laboratorijski sistemi, posebno u slučajevima kada je krajnji cilj mogućnost realizacije pametne laboratorije. *Raspberry Pi 3* i ESP8266, iz iste familije, korišćeni su u [7] za razvoj pametnog višenamenskog laboratorijskog sistema za Koimbatore koledž u Indiji. Osnovni cilj sistema je kontrola i monitoring uređaja u laboratoriji radi smanjenja potrošnje električne energije. Sličan pristup korišćen je i u [8] gde je pametni laboratorijski sistem razvijen pomoću *Raspberry Pi* i različitih senzora za detekciju pokreta, koji omogućavaju detekciju ljudi u laboratoriji. Dobri primeri udaljenih laboratorija zasnovanih na korišćenju IoT sistema su i [9-10] gde je akcenat stavljen na razvoj aplikacija za praćenje stanja u laboratoriji i [11-13] gde su dati predlozi opštih rešenja za IoT podržane udaljene laboratorije.

Pored opštih i edukativnih rešenja za laboratorijske sisteme zasnovne na IoT, rađene su i realizacije laboratorijskih sistema u specijalizovanim laboratorijama, [14-16].

Realizovani IoT višenamenski laboratorijski sistem je kreiran po principu manjih blokova formiranih oko ključnih hardverskih komponenti, *Raspberry Pi* računara i ESP32 modula (Sekcija 2). Ovo znači da osnovna postavka može da se proširuje i smanjuje u hardverskom smislu korišćenjem različitih dodatnih uređaja, kao što su senzori, aktuatori i kamere, tako što se dodatni elementi koriste u manjim ili većim grupama (Sekcija 3). Na kraju, poslednji blok, koji je u različitim oblicima dodat na realizovani sistem, je komunikacija sa Internetom (Sekcija 4).

2. Osnovni hardverski blok sistema

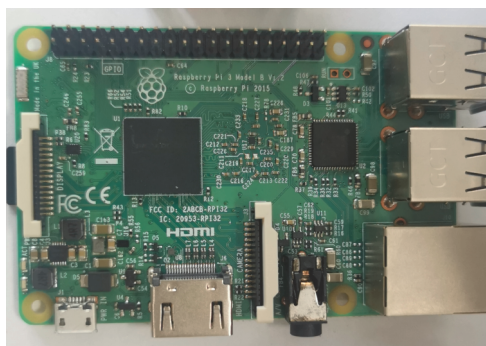
Blok šema razvijenog sistema data je na Slici 1.



Slika 1. Blok šema razvijenog IoT višenamenskog laboratorijskog sistema

2.1. Raspberry Pi računar

Jedan od izabranih ključnih elemenata višenamenskog IoT laboratorijskog sistema je *Raspberry Pi* računar, [17]. Razlozi za ovakav izbor leže u više različitih segmenata, posmatrano iz ugla edukacije, iz ugla istraživanja i iz ugla saradnje i pripreme studenata za privredu. Edukativni značaj *Raspberry Pi* računara ogleda se u direktnom upoznavanju i savladavanju arhitekture računara i operativnim sistemima i u ovakvom kompaktnom smislu. Istraživanje pomoću *Raspberry Pi* nudi velike mogućnosti, posebno u pogledu senzorskih mreža male cene i velike potrošnje, koji omogućavaju i povezivanje na Internet, u pogledu kreiranja udaljenih laboratorija i praćenja i kontrole uslova u prostorijama i laboratorija. Drugi, nama posebno interesantan istraživački element za *Raspberry Pi* su njegove mogućnosti u pogledu oblasti analitike podataka, analize podataka i mašinskog učenja. U pogledu saradnje sa privredom i pripreme studenata za rad u privredi, *Raspberry Pi* omogućava pristupačan sistem za rad i od kuće, uz mogućnosti povezivanja na druge uređaje i njihovo upravljanje programiranjem, što u velikoj meri prati i osnovne principe rada drugih složenijih sistema.



Slika 2. Raspberry Pi 3 model B

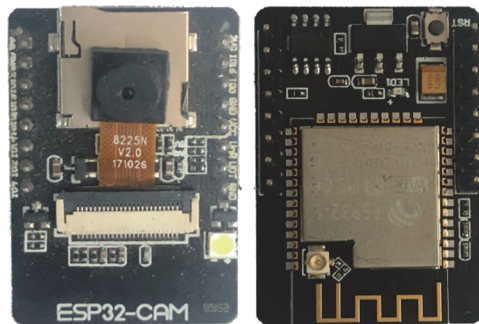
Raspberry Pi predstavlja računar na samo jednoj ploči, odnosno *Single Board Computer* (SBC), kreiran od strane *Raspberry Pi* fondacije 2012. godine. Veličina

Raspberry Pi-a odgovara veličini platne kartice, iako uređaj sadrži raznovrstan sadržaj u pogledu hardverskih komponenti i interfejsa za povezivanje i komunikaciju. U smislu hardverskih komponenti glavni element predstavlja *System on Board* (SoB) čip sa odgovarajućim procesorom, grafičkom procesorskom jedinicom i RAM memorijom. Za naš sistem korišćen je *Raspberry Pi 3* model B.

Pored imponantnih hardverskih karakteristika za tako male dimenzije, *Raspberry Pi* ima i velike mogućnosti u pogledu povezivanja sa drugim uređajima i komponentama. Neki od interfejsa za povezivanje i komunikaciju, za korišćeni *Raspberry Pi 3* model B su: USB 2.0, 15-o pinski interfejs za povezivanje kamere, HDMI, RCA povezivanje za video, MIPI interfejs za ekran, audio ulazi i izlazi, *MicroSDHC* za memorijsku karticu, *Ethernet* 10/100 Mbit/s, WiFi IEEE 802.11 b/g/n 2.4 GHz, *Bluetooth* (standardni i sa malom potrošnjom) i opštenamenske ulazno/izlazne pinove (*General Purpose Input Output*, GPIO).

2.2. ESP32 mikrokontroler

Prilikom odlučivanja za koji mikrokontroler se opredeliti za potrebe realizovanog laboratorijskog sistema razmatrani su dostupnost (komponenta koja je rasprostranjena na domaćem i svetskom tržištu i lako dostupna u nabavci), cena i periferije (u smislu integrisanih komponenti u okviru samog mikrokontrolera koje povećavaju raznovrsnost mogućnosti korišćenja).



Slika 3. ESP32 mikrokontroler

Analizom tržišta, utvrđeno je da trenutno, najbolji odnos parametara poseduje integrisano kolo bazirano na *Espressif*-ovoj familiji kola ESP32. ESP32 je familija energetske efikasne SoC (*System on a Chip*) integrisanih kola baziranih na mikrokontroleru sa integrisanim WiFi i *Bluetooth* komponentama za komunikaciju. Ovo integrisano kolo je namenjeno za primenu u mobilnim uređajima i za IoT aplikacije. Potrošnja energije se može kontrolisati izborom različitih modova rada, kontrolom takta i dinamičkom kontrolom snage. Moduli sa kontrolerom ESP32 se izrađuju u više različitih varijanti, a mi smo se odlučili za ESP32-CAM modul koji dolazi sa podrškom za kameru.

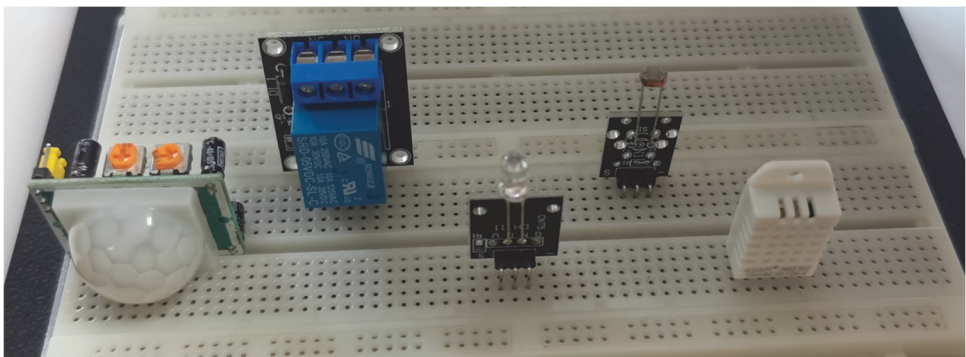
Izabrani modul sa mikrokontrolerom ima veliku upotrebnu vrednost u oblasti IoT. Na ovaj modul je moguće povezati veliki broj aktuatora, samim tim vrlo jednostavno se može približiti studentima proces akvizicije i prikupljanja podataka iz okoline. Na samom kontroleru je moguće raditi obradu prikupljenih podataka i na osnovu rezultata obrade

aktivirati pojedine aktuatora i/ili indikatore. Zahvaljujući periferijama za povezivanje i komunikaciju, moguće je ostvariti konekciju sa udaljenim uređajima i/ili serverima ka kojima se može vršiti dalja dvosmerna komunikacija. Na osnovu navedenih karakteristika i mogućnosti, a zajedno sa podrškom za kameru, navedeni modul otvara prostor za primenu u okviru polja veštačke inteligencije, kao i u senzorskim mrežama. Iz navedenog se može zaključiti da je izbor komponente za potrebe laboratorijskog sistema dobar, pre svega i iz razloga jednostavne implementacije i široko rasprostranjenog *Arduino* razvojnog okruženja (*Arduino Integrated Development Environment* ili *Arduino Software (IDE)*).

3. Povezivanje, kontrola i upravljanje dodatnim hardverom

3.1. Opšti principi

Kada je izabrana okosnica IoT laboratorijskog sistema u vidu *Raspberry Pi* računara i EPS32 mikrokontrolera, moguće je proširenje sistema dodatnim hardverom u vidu različitih senzora, kamere i aktuatora. Realizovani sistem je modularan, odnosno dodatne hardverske komponente mogu da se koriste u užem sistemu direktno sa jednim od upravljačkih elemenata ili da se rade kombinovanjem više dodatnih elemenata.



Slika 4. Primeri korišćenih dodatnih uređaja (sa levo na desno, senzor kretanja, rele, LED dioda, fotootpornik, senzor temperature i vlažnosti)

Radi preglednosti, u okviru ove sekcije biće izloženi primeri pojedinačnih dodatnih elemenata različitih tipova i u kontekstu povezivanja sa jednim od upravljačkih elemenata na *Raspberry Pi* računaru ili EPS32 mikrokontroler.

3.2. Senzor kretanja povezan na Raspberry Pi

Opštenamenski ulazi/izlazi (*General Purpose Input Output*, GPIO) za *Raspberry Pi* su standardni interfejs na mikrokontrolerima i SBCs (*Single Board Computers*) koji omogućavaju digitalni ulaz i izlaz. Na ovaj način mikrokontroleri i SBCs mogu da kontrolišu eksterne komponente, kao što su motori ili predajnici (*output*) ili da primaju podatke, na primer sa senzorskih modula i prekidača (*input*). GPIO omogućava *Raspberry Pi*-u da kontroliše, prati i dobija povratne informacije od elemenata sa kojima se povezuje, bilo da su to jednostavna električna kola koja sadrže otpornike i diode, ili složeniji projekti za meteorološku stanicu, video sigurnost ili *selfdriving* robote.

U okviru laboratorijskog sistema koristi se *Raspberry Pi 3* model B, koji sadrži 40 GPIO pinova za povezivanje. GPIO pinovi imaju različitu namenu i mogu da se grupišu u pinove opšte namene, pinove za napajanje, uzemljenje i pinove specijalne namene. Prilikom korišćenja pinova kao izlaznih, vrednosti napona na pinovima se postavljaju na HIGH i vrednost LOW. Slično važi i za korišćenje pinova kao ulaznih.

Među nabrojanim različitim tipovima spoljašnjih elemenata koji mogu da se povezuju na ovaj način, posebno su važni senzorski moduli. Cena ovih modula varira, ali često mogu da budu i veoma pristupačni, što ih čini više dostupnim u različitim uslovima. Kroz povezivanje različitih modula sa *Raspberry Pi* računarom, studenti savladavaju osnove rada električnih kola.

Zbog raznovrsnosti primena, a sa druge strane zbog načina povezivanja koji je sličan sa većim brojem drugih senzora, jedan od značajnih senzora koji je korišćen u razvijenom IoT sistemu je senzor kretanja. Korišćen je PIR (*Passive Infrared*) senzor kretanja čije hardversko povezivanje podrazumeva da se senzor poveže na napajanje i masu od strane odgovarajućih *Raspberry Pi* GPIO pinova, a izlaz senzora na pin *Raspberry Pi* GPIO koji je konfigurisan kao ulazni. Napravljeni sistem sakuplja podatke dobijene od senzora i u slučaju detektovanog kretanja, ima nekoliko različitih potencijalnih događaja (uključenje diode, uključanje zvučnog oglašavanja, uključanje kamere, slanje elektronske pošte i slično).

Za upravljanje i kontrolu rada povezanog sistema korišćen je programski jezik *Python*, [18-20]. Ovaj jezik je izabran zbog njegove široke primene i velikog broja dostupnih biblioteka za razne oblasti, kao i zbog velike podrške i dostupnih materijala koju programski jezik ima. *Raspberry Pi* je i zamišljen da prevashodno za upravljanje koristi programski jezik *Python*.

Za rad sa GPIO interfejsom u *Python*-u korišćen je RPi.GPIO modul, uvezen kao GPIO. Prvi korak u radu sa GPIO u *Python*-u podrazumeva izbor željenog tipa numeracije pinova (GPIO.BOARD ili GPIO.BCM). Nakon ovoga je moguće podešavanje pojedinačnih pinova u željeni način rada, kao izlazni pin kome se vrednost može postavljati po potrebi na nižu ili višu (GPIO.LOW, GPIO.HIGH) ili kao ulazni pin čija vrednost može da se očita i zavisi od događaja u okruženju. Podešavanje pinova na ulazne i izlazne može da uključi i korišćenje *pull-up* ili *pull-down* otpornika.

Ponekad je u kodu potrebno napraviti vremenski razmak između izvršenja susednih linija koda. Na primer, da bi hardverske komponente imale vremena da se prilagode novim postavkama ili da bi se određeno stanje zadržalo neko vreme. U ove svrhe može da se koristi *Python* modul *time*.

3.3. Senzor temperature i vlažnosti vazduha povezan na ESP32 mikrokontroler

Korišćeni senzor je zahtevao kompatibilnost sa izabranim upravljačkim uređajima, a ujedno i mogućnost testiranja u zatvorenim, laboratorijskim uslovima. Analizom dostupnih senzora sa zadatim kriterijumima, izbor se sveo na senzor DHT11/22. Ovo je senzor temperature i vlažnosti vazduha koji je široko rasprostranjen u sistemima za kontrolu kvaliteta vazduha. Ovi senzori sadrže integrisano kolo koje radi analogno/digitalnu konverziju i prosleđuje digitalni signal sa podatkom o temperaturi i vlažnosti, [21].

DHT22 senzor ima bolju rezoluciju i širi raspon merenja temperature i vlažnosti, a čitanje može da se zahteva u razmaku od 2 sekunde i više. DHT11 ima manji opseg i

manju tačnost. Međutim, možemo zahtevati očitavanje senzora svake sekunde. Uprkos svojim razlikama, oni rade na sličan način i može se koristiti isti kod u *Arduino* razvojnom okruženju za očitavanje temperature i vlažnosti, [22].

Odabir navedenih senzora pokazao se kao dosta dobar jer pored upotrebne vrednosti za potrebe laboratorijskog sistema, vežbe bazirane sa ovim sensorima motivisale su studente na samostalan rad i razvoj sopstvenih aplikacija.

3.4. Kamera povezana na Raspberry Pi

Među različitim povezivanjem koje je moguće ostvariti sa *Raspberry Pi* nalazi se i poseban namenski interfejs za povezivanje na kameru (*Raspberry Pi* kamera modul, *Raspberry Pi* kamera za noćno snimanje ili *Raspberry Pi* kamera za Ultra HD snimanje sa promeњljivim sočivima). U okviru razvijenog sistema korišćena je standardna *Raspberry Pi* kamera. Pored fizičkog povezivanja kamere, potrebno je i u okviru operativnog sistema *Raspberry Pi* računara uključivanjem omogućiti korišćenje kamere.

Kada je povezivanje i uključivanje završeno, moguće je kreiranje slike ili videa u željenom kompresionom formatu i rezoluciji bilo direktno iz komandnog terminala operativnog sistema bilo iz *Python* koda. Kroz razvijeni softvrski deo sistema napravljeni su i mehanizmi za podešavanje dodatnih atributa kamere, kao što su rotacija slike, podešavanje alfa parametra, dodavanja tekstualne oznake, podešavanje osvetljenosti i kontrasta, dodavanje efekata za sliku i video i druge.

Napravljeni sistem omogućava automatsko davanje imena i čuvanje kreiranih slika i video sadržaja. Za rad sa kamerom u *Python*-u korišćena je biblioteka *picamera*, dok je za upravljanje kreiranjem foldera i dokumenata u okviru operativnog sistema za *Raspberry Pi* korišćena biblioteka *os*.

Sistem *Raspberry Pi* i kamere može da se koristi i u kombinaciji sa drugim sensorima. Na primer, u realizovanom sistemu, jedna od varijanti korišćenja kamere je u sistemu koji sadrži i PIR senzor, pa je aktiviranje kamere uslovljeno vrednostima koje stižu sa PIR senzora.

3.5. Aktuatori

Za potrebe akcije u okviru sistema koriste se aktuatori. Aktuatori u najvećem broju slučajeva su zapravo ili upravljački elementi, koji upravljaju većim potrošačima (*driver*-i, releji), ili indikatori (ekrani, LED). Za potrebe laboratorijskog sistema, odlučeno je da to budu LED diode. Odluka je bazirana na tome, da je bitno pokazati (indikovati) promenu stanja na izlazu uređaja. U uređaju namenjenom konkretnoj primeni, lako je zameniti LED diodu upravljačkom komponentom (*driver*, rele, elektromotor). Prilikom izbora konkretne diode vođeno je računa da to bude *low-current* dioda zbog energetske efikasnosti.

4. Povezivanje na korisničke računarske uređaje i komunikacija

4.1. Povezivanje na elektronsku poštu

Jedna od omogućenih povezivanja realizovanog laboratorijskog sistema sa ostatkom sveta je korišćenje elektronske pošte. Realizovano je automatsko slanje

elektronske pošte od strane *Raspberry Pi* uređaja na izabrane određene adrese elektronske pošte pod izabranim uslovima.

Realizacija je napravljena korišćenjem programskog jezika *Python* i biblioteke *yagmail*. Za elektronsku poštu izabran je *Google mail* nalog, kao jedan od najzastupljenije vrste naloga za elektronsku poštu. Da bi bilo moguće slanje elektronske pošte od strane uređaja, kreira se njegov *Python* objekat zadužen za slanje pošte pomoću funkcije *yagmail.smtp()*, čiji su parametri definisani nalogom elektronske pošte. Ovaj objekat dalje može da koristi svoj metod *objekat-mejla.send()* čiji su parametri definisani mejlom koji se šalje. U ove parametre spadaju elektronska adresa primaoca, naslov i sadržaj mejla, kao i prilozi mejla.

U okviru razvijenog sistema, napravljena je funkcija zadužena za slanje elektronske pošte. Ova funkcija može da se koristi kada je to potrebno. Na primer, za slanje slike ili videa sa kamere, za slanje log dokumenta sa događajima ili vrednostima sa senzora. Dodatno, može da se kombinuje i sa vremenskim parametrima i intervalima između događaja ili tipom događaja.

4.2. Povezivanje na server

Aplikacije koje su razvijene za potrebe IoT laboratorijskog sistema su web server i server za umrežavanje uređaja.

Web server je realizovan direktno na kontroleru ESP32. Ovom web serveru može da se pristupa preko lokalne mreže uz pomoć internet pretraživača. Primer jednog korišćenja ovog realizovanog web servera je za daljinsko upravljanje aktuatorima. Jednostavnom modifikacijom navedenog primera, mogu se razviti napredni sistemi za monitoring i upravljanje različitih procesa i uređaja. Kreirani web server na ESP32 modulu primenjen je i u sistemu sa korišćenjem kamere kada je korišćen za prepoznavanje oblika, lica i teksta, kao i donošenje odluka kroz mašinsko učenje i sprovođenje adekvatne reakcije kroz aktiviranje/deaktiviranje određenog aktuatora.

Laboratorijski sistem podržava i umrežavanje više modula baziranih na modulu ESP32 sa sakupljanjem podataka koje je realizovano sa *Raspberry Pi* računarnom. Ovom konfiguracijom se može realizovati kompleksna senzorska mreža koja ima veliku potrebnu vrednost kako u obrazovanju, tako i u privredi.

5. Zaključak

Razvijeni IoT laboratorijski sistem predstavlja modularni sistem sa promenljivom funkcionalnošću, karakteristikama i namenama. Sistem koristi aktuelna hardverska rešenja u pogledu upravljačkih hardverskih komponenti (*Raspberry Pi* računar i ESP32 mikrokontroler), dodatnih hardverskih komponenti (različite vrste senzora, kamera, aktuatori) i mogućnost povezivanja na ostatak Interneta kroz namenski postavljeni server ili korišćenjem standardne elektronske pošte. Iz ugla softvera i korišćenih programskih jezika, sistem se oslanja na rad u široko rasprostranjenom programskom jeziku *Python* (za *Raspberry Pi* računar) i na rad u okviru *Arduino* razvojnog okruženja (za ESP32 mikrokontroler).

Neke od glavnih prednosti u odnosu na prisutne razvijene IoT laboratorijske sisteme su modularnost blokova sistema i prilaženje i analiza sistema iz ugla sva tri aspekta

IoT elektronike, telekomunikacija i računarske tehnike. Dobre strane sistema su i korišćenje komponenti i uređaja koje karakteriše niska cena i mala potrošnja.

U budućnosti, planiramo da dopunimo sistem i novim elementima, ali i novim funkcijama, konkretno za analizu podataka i veštačku inteligenciju.

Literatura

- [1] J. Holler, V. Tsiatsis, C. Mulligan, S. Avesand, S. Karnouskos, and D. Boyle, *From Machine-to-Machine to the Internet of Things: Introduction to a New Age of Intelligence*. USA: Academic Press, Inc., 2014.
- [2] D. Drajic, *Uvod u IoT (Internet of Things)*. Akademska misao, 2018.
- [3] M. V. Moise, A. M. Niculescu, D. M. Pavel and M. Oțoiu, "IoT Environmental Monitoring and Control System in a Research Centre", *2022 45th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, IEEE, 11-15 May 2022, Vienna, Austria. DOI: 10.1109/ISSE54558.2022.9812808
- [4] B. S. Sarjerao and A. Prakasarao, "A low cost smart pollution measurement system using REST API and ESP32", *2018 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, IEEE, 06-08 April 2018, Pune, India. DOI: 10.1109/I2CT.2018.8529500
- [5] C. R. Aldawira, C. Revelivan, et al. "Door security system for home monitoring based on ESP32", *Procedia Computer Science*, vol. 157, pp. 673-682, September 2019. DOI: 10.1016/j.procs.2019.08.218
- [6] P. Dash and M. Nayak, "Smart surveillance monitoring system using Raspberry Pi and PIR sensor", *Statistics*, 2014.
- [7] M. Poongothai, P. M. Subramanian and A. Rajeswari, "Design and implementation of IoT based smart laboratory", *2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, IEEE, 26-28 April 2018, Singapore. DOI: 10.1109/IEA.2018.8387090
- [8] D. Adhav, R. Pagar, R. Sonawane, and S. Tawade, "Smart Laboratory", *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, vol. 3, pp. 504-509, April 2019.
- [9] S. Khriji, D. El Houssaini, R. Barioul, T. Rehman, and O. Kanoun, "Smart-Lab: Design and Implementation of an IoT-based Laboratory Platform," *2020 IEEE 6th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 2020, pp. 1-5, DOI: 10.1109/WF-IoT48130.2020.9221143.
- [10] M. J. C. Samonte, F. A. G. Mendoza, R. Pablo, and S. M. P. Villa, "Internet-of-Things Based Smart Laboratory Environment Monitoring System," *2021 IEEE 8th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, 2021, pp. 497-502, DOI: 10.1109/ICIEA52957.2021.9436758.
- [11] A. Azad, Design and Development of Remote Laboratories with Internet of Things Setting. *Advances in Internet of Things*, 11, 95-112. DOI: 10.4236/ait.2021.113007.
- [12] R. Bhadoriya, M. K. Chattopadhyay, and P. W. Dandekar, "Low cost IoT for laboratory environment," 2016 Symposium on Colossal Data Analysis and Networking (CDAN), 2016, pp. 1-4, DOI: 10.1109/CDAN.2016.7570939.
- [13] B. Letowski, C. Lavayssière, B. Larroque, M. Schröder, and F. Luthon, "A Fully Open Source Remote Laboratory for Practical Learning," *Electronics*, vol. 9, no. 11, p. 1832, Nov. 2020, DOI: 10.3390/electronics9111832.

- [14] J. Kustija, N. D. Jayanto, IoT Implementation for Development of Remote Laboratory (Case Study on Microscope Practice). *Reka elektronik: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 2022, 3.1: 20-29.
- [15] T. S. El-Hasan, "Internet of Thing (IoT) Based Remote Labs in Engineering," 2019 6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), 2019, pp. 976-982, doi: 10.1109/CoDIT.2019.8820591.
- [16] R. Srujan. K.Y. Manoj, M. Pallavi, M. S. Archana, C. K. Nagendra Guptha, and M. R. Shailesh, "Design and Fabrication of IoT enabled Temperature Sensor Calibration Experimental Setup for Metrology Lab," *2018 3rd International Conference on Computational Systems and Information Technology for Sustainable Solutions (CSITSS)*, 2018, pp. 333-336, DOI: 10.1109/CSITSS.2018.8768547.
- [17] Raspberry Pi Foundation. <https://www.raspberrypi.org/>
- [18] T. Cox, Raspberry Pi Cookbook for Python Programmers. Packt Publishings, 2014.
- [19] D. Ibrahim, Raspberry Pi 3: Basic to Advanced Projects. Elektor International Media B.V., 2018.
- [20] A. Pratt, Python 3: Programming and GUIs for Electronic Engineers. Elektor Verlag, 2017.
- [21] J. Fraden, Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications. Springer International Publishing, 2015.
- [22] ESP-IDF Programming Guide. <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/index.html>

Abstract: *The Internet of Things (IoT) represents one of the state of the art technologies, whose expansion and improvement in various aspects of life is yet to come. For education, IoT provides a uniqueness that is reflected in the combination of different engineering fields - electronics, telecommunications and computer engineering. This makes the developed IoT system for laboratory exercises significant in teaching on different study programmes, with different directions and connections with the economy. At the School of Electrical and Computer Engineering (VISER), we developed a low-cost low-power IoT system for laboratory exercises using Raspberry Pi 3 and ESP32 as backbone elements. On the one hand, the system is able to connect and control work with various sensors, and on the other hand, it has communication with the rest of the world through connection to a web server or cloud and sending e-mails or SMS messages. In this way, the system is enabled to further improve in terms of remote control and the use of tools for data analysis and machine learning.*

Keywords: *IoT, Raspberry Pi 3, ESP32, multi-purpose lab system*

IOT MULTI-PURPOSE LAB SYSTEM USING RASPBERRY PI 3 AND ESP32
Amela Zeković, Milutin Nešić