

Izazovi implementacije interneta od stvari u biološkim sistemima

Adrijana Jeremić, dr Dušan Vujošević

Sadržaj — Predmet ovog rada su osnove arhitekture interneta od stvari u biološkim sistemima, uključujući slojeve arhitekture, senzore, bežičnu komunikaciju i klad kao centralni sistem za obradu podataka. Opisan je predlog za razvoj sistema za praćenje biljnih hormona zasnovan na internetu od stvari. Kroz kombinaciju odgovarajućih tehnologija, protokola za bežičnu konekciju i senzora za merenje hormonskih nivoa, otvara se potencijal za kontinuirano i udaljeno praćenje stanja biljaka. Ovakav sistem treba da omogući brzo dobijanje ključnih informacija o hormonskom statusu biljaka i pravovremeno reagovanje na potrebe biljaka.

Ključne reči — aktuatori, bežična konekcija, biljni hormon, gejtvej, enzimski senzor, oblak, platforma, ruter, senzori

I. UVOD

INTERNET od stvari (engl. Internet of Things - IoT) predstavlja koncept koji je u poslednjim decenijama značajno promenio naš način života i poslovanja, a odnosi se na mrežu međusobno povezanih uređaja koji mogu prikupljati, razmenjivati i analizirati podatke putem Interneta. Ovo omogućava prikupljanje velike količine podataka o okruženju i objektima. Ovaj koncept se sve više primenjuje u različitim domenima, a jedno od obećavajućih područja je primena IoT u biološkim sistemima.

Biološki sistem je skup organizovanih i međusobno povezanih komponenti koje funkcionišu zajedno kako bi obavljale specifične biološke procese. Biološki sistemi mogu biti različitih nivoa kompleksnosti, od ćelijskih organela do čitavih organizama. Obavljaju širok spektar funkcija, uključujući rast, razmnožavanje, održavanje unutrašnje ravnoteže, reakciju na okolinu i

adaptaciju na promene.[1] Ovi sistemi su kompleksni i dinamični, i njihovo proučavanje predstavlja izazov za naučnike. Upravo zato, primena IoT-a u biološkim sistemima može značajno olakšati ovaj proces i omogućiti bolje razumevanje bioloških sistema.

IoT tehnologija u biološkim sistemima podrazumeva integraciju senzora, aktuatora, softverskih platformi i drugih fizičkih uređaja u biološki sistem. Ovo omogućava prikupljanje podataka u realnom vremenu, upravljanje biološkim sistemima i analizu podataka kako bi se dobili potrebni rezultati. Implementacija IoT u biološke sisteme otvara brojne mogućnosti za prikupljanje podataka, praćenje i analizu bioloških procesa, kao i unapređenje razumevanja i upravljanja ovim sistemima.

II. IMPLEMENTACIJA INTERNETA OD STVARI U BIOLOŠKIM SISTEMIMA

Implementacija IoT u okviru biološkog sistema zahteva multidisciplinarni pristup, koji uključuje eksperte iz oblasti biotehnologija, medicine, poljoprivrede i informacionih tehnologija, pored ostalog. Multidisciplinarnim pristupom se može postići efikasna i pouzdana integracija interneta od stvari u biološke sisteme.

Arhitektura IoT u biološkim sistemima obuhvata četiri sloja koji omogućavaju komunikaciju, prikupljanje i obradu podataka iz bioloških sistema. To su sloj uređaja, sloj mreže, sloj platforme i sloj aplikacije.

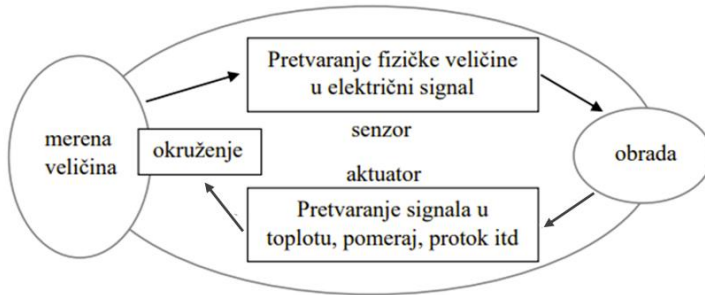
A. Sloj uređaja

Sloj uređaja u IoT sistemima odnosi se na fizičke uređaje koji su povezani i komuniciraju preko Interneta radi prikupljanja i razmene podataka. Ovaj sloj čini "stvari" u internetu od stvari. To su uređaji koji mogu biti senzori, aktuatori ili bilo koji drugi uređaji koji su sposobni da prikupljaju, obrađuju i prenose podatke.[2]

Senzori, odnosno merni uređaji, su jedna od najvažnijih komponenti IoT tehnologija u biološkim sistemima. Senzori vrše konverziju energije u električni signal. Postoji mnogo vrsta senzora koji se koriste u biološkim sistemima. Oni mogu meriti različite parametre, kao što su temperatura, vlažnost, pH vrednost, koncentracija kiseonika i drugih gasova, nivo vibracija, elektromagnetno zračenje i tako dalje.[3]

U IoT aktuatori su uređaji koji pretvaraju ulazne signale u fizički pokret, snagu ili neku drugu vrstu izlaznog impulsa. Odnosno, to su uređaji koji se koriste za izvršavanje određenih radnji na osnovu podataka koje su prikupili senzori.[4] Oni su ključna komponenta IoT tehnologija u biološkim sistemima, jer omogućavaju pružanje uticaja na biološki sistem u cilju

izvođenja željenih radnji. Mogu se koristiti za izvršavanje različitih zadataka kao što su proizvodnja hrane, poljoprivreda, kontrola temperature, vlažnosti, osvetljenja i slično. Ali i za automatsko uzimanje uzoraka, primenu lekova, upravljanje ventilacijom, itd (Sl. 1).



Sl. 1. Veza između senzora i aktuatora

B. Mrežni sloj

Kada su senzori i aktuatori odabrani, sledeći korak je odabir odgovarajućih bežičnih tehnologija i protokola koji će se koristiti za komunikaciju između senzora, aktuatora i IoT platforme. Mrežni sloj uključuje uređaje za povezivanje i prenos podataka, poput rutera, gejtveja i drugih uređaja. Podaci prikupljeni pomoću sloja uređaja obično se šalju putem bežičnih mreža do centralne jedinice (npr. server oblaka) koja ih obrađuje. [2] Ova centralna jedinica može biti udaljena od senzora i aktuatora, što omogućava daljinsko upravljanje uređajima i sistemima koji su povezani u IoT (Sl.2.).

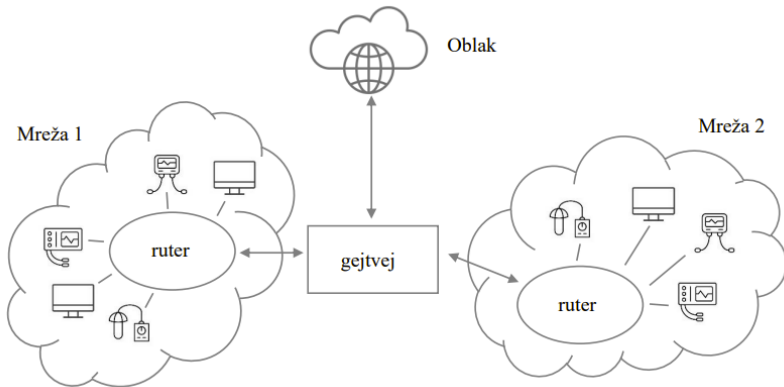
Ruteri su uređaji koji se koriste za uspostavljanje lokalne mreže i povezivanje uređaja unutar te mreže. Oni mogu biti bežični ili žičani i omogućavaju prenos podataka između uređaja koji se nalaze u istoj mreži. [2]

Gejtvej je uređaj koji se koristi za povezivanje IoT mreže sa drugim mrežama, poput Interneta.[2] Za razliku od rutera koji se koristi za upravljanje saobraćajem unutar mreža, gejtvej omogućava komunikaciju između različitih tipova mreža i konvertuje podatke kako bi se omogućila ta komunikacija.

Sledeći važan element u sloju mreže su protokoli za komunikaciju, koji se koriste za uspostavljanje i održavanje veze između senzora, aktuatora i drugih uređaja u IoT mreži. Postoji mnogo različitih protokola za IoT mreže, uključujući Vaj-Faj, Bluetut, ZigBi, LoRaVAN, NB-IoT i druge.

U slučaju IoT u biološkim sistemima, postoji potreba za pouzdanim i sigurnim prenosom podataka, zbog čega se koriste protokoli koji su posebno

prilagođeni ovim zahtevima. Na primer, protokoli poput MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) i CoAP (Constrained Application Protocol) omogućavaju efikasan i siguran prenos podataka između gejtvej uređaja i klaud platforme.[5]



Sl. 2. Mrežni sloj interneta od stvari

C. Sloj platforme

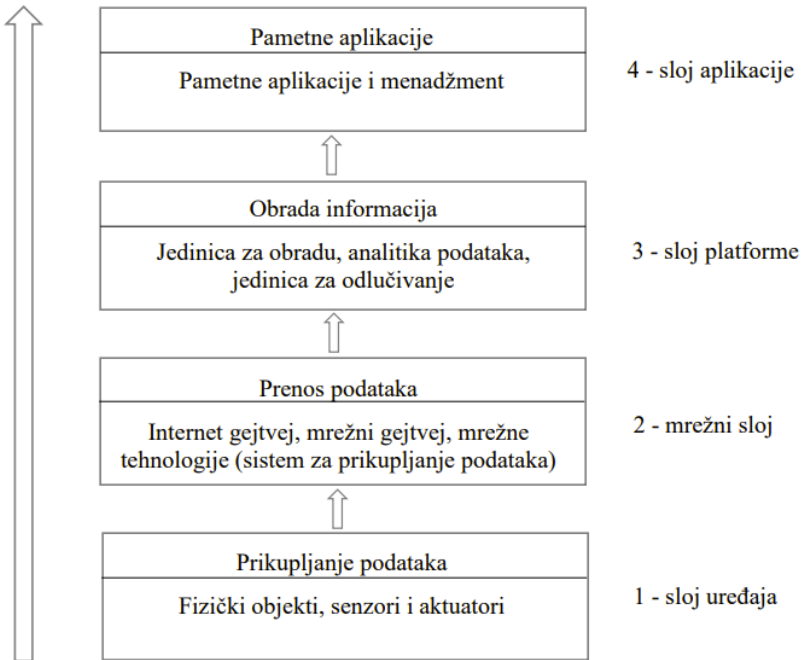
Sledeći korak je implementacija IoT platforme. U sloju platforme se nalazi centralni server koji prima podatke sa senzora i aktuatora preko mrežnog sloja. Ti podaci se zatim obrađuju i skladište u bazi podataka koja se nalazi na serveru.

Platforma može biti izgrađena na oblaku ili na lokalnom serveru, u zavisnosti od potreba sistema. Oblak može biti povoljniji, jer ne zahteva velike investicije u hardver, omogućava brz pristup podacima i skalabilnost, a često su dostupne i razne usluge analitike podataka. Međutim, korisnik ne može kontrolisati sigurnost i privatnost svojih podataka, što može biti problematično u slučaju osetljivih podataka. S druge strane, lokalni serveri omogućavaju korisniku veću kontrolu nad sigurnošću i privatnošću podataka, pa mogu biti izvedeni tako da budu prilagođeni specifičnim potrebama, ali zahtevaju veća ulaganja u hardver i IT stručnjake.[6] Neke od najčešće korišćenih platformi za IoT u biološkim sistemima su: AWS IoT, Google Cloud IoT Core, Microsoft Azure IoT Hub i IBM Watson IoT.[7]

D. Sloj aplikacije

Konačno, nakon što je IoT platforma implementirana, poslednji korak je implementacija aplikacija za upravljanje sistemom. Aplikacije se obično izrađuju za desktop i mobilne uređaje. Ili se prave kao veb aplikacije.[6]

Sloj aplikacije takođe može uključivati i softverske alate za analizu podataka koji se prikupljaju iz bioloških sistema. [8] Ovi alati mogu biti jednostavni ili složeni, u zavisnosti od specifičnosti sistema za koje su namenjeni (Sl. 3).



Sl. 3. Četvoroslojna arhitektura interneta od stvari. Prikaz slojeva po redolsedu implementacije

III. PREDLOG ZA RAZVOJ REŠENJA – IOT SISTEM ZA PRAĆENJE BILJNIH HORMONA

Biljke i poljoprivrednici suočavaju se sa brojnim izazovima koji utiču na rast, razvoj, produktivnost i otpornost biljaka. Trenutni pristupi u razvoju poljoprivredne proizvodnje i upravljanju biljkama obuhvataju upotrebu senzora za detekciju temperature, vlažnosti zemljišta, količine đubriva i slično. Međutim, nedostatak precizne regulacije hormonskog statusa biljaka može negativno uticati na rast i zdravlje biljaka, što dovodi do njihove manje otpornosti na stres, te do gubitka prinosa. Stoga, postoji potreba za rešenjem koje će omogućiti brzo, precizno i kontinuirano praćenje nivoa biljnih hormona u realnom vremenu.

Biljni hormoni igraju ključnu ulogu u rastu i razvoju biljaka, odgovoru na stres i opštem zdravlju biljaka. Precizna regulacija i održavanje optimalnih nivoa biljnih hormona su od suštinskog značaja za postizanje visokog prinosa, otpornosti na stresne uslove, kao i očuvanje zdravlja biljaka u poljoprivrednoj i hortikulturnoj proizvodnji. U tom kontekstu, razvoj IoT sistema za praćenje i regulaciju biljnih hormona može doneti brojne prednosti.

Ovakav sistem bi omogućio kontinuirano, realno vremensko praćenje nivoa biljnih hormona u biljkama, što bi obezbedilo brzo i precizno reagovanje na promene. Uz pomoć senzora koji se postavljaju direktno na biljke, podaci o hormonskom statusu bi se neprekidno prikupljali i slali na IoT platformu. Ovakav sistem bi pružio bolju preciznost, brže reagovanje i automatizaciju. Razvoj IoT sistema za praćenje i regulaciju biljnih hormona obezbedio bi napredno upravljanje biljkama i omogućio poljoprivrednicima da postignu optimalne rezultate u proizvodnji u poljoprivredi, vrtlarstvu i drugim oblastima gajenja biljaka.

A. Praćenje biljnih hormona

Biljni hormoni, poznati i kao fitohormoni, prirodne su hemijske supstance koje igraju ključnu ulogu u regulaciji rasta, razvoja, odgovoru na stres i drugim fiziološkim procesima biljaka. Oni se proizvode u specifičnim delovima biljke i prenose se unutar biljnog tkiva, izazivajući različite biološke reakcije.

Postoji nekoliko glavnih klasa biljnih hormona, uključujući: auksine, gibereline, citokinine, apscizinsku kiselinu (ABA) i etilen. Svaki od ovih hormona ima svoju specifičnu ulogu u regulaciji biljnog razvoja i odgovora na spoljne faktore. Auksini su odgovorni za regulaciju elongacije i rasta biljaka, formiranje korena, listova i plodova. Giberelini stimulišu rast i razvoj biljaka, posebno u pogledu produženja stabljike i povećanja veličine plodova. Citokinini su uključeni u regulaciju ćelijske deobe, kontrolu razvoja pupoljaka i rasta bočnih izdanaka. Apscizinska kiselina deluje suprotno od ostalih hormona, jer je odgovorna za inhibiciju rasta, kontrolu dormancije semena i regulaciju odgovora na stresne uslove. Etilen je gas koji igra ključnu ulogu u regulaciji procesa sazrevanja plodova, cvetanja i odgovora na stres.

Da bi se utvrdili nivoi biljnih hormona, potrebne su analize koje se obično vrše u laboratorijskim uslovima. Tradicionalne metode analize uključuju ekstrakciju hormona iz biljnog tkiva, nakon čega se vrši njihova kvantifikacija putem tehnika kao što su tečna hromatografija, gasna hromatografija ili spektrometrija. Ove analitičke tehnike pružaju visoku tačnost i preciznost, ali zahtevaju uzorke koji se obrađuju u laboratorijskim uslovima, što može biti vremenski i resursno zahtevno. Međutim, postoje i inovativne metode analize koje se mogu primeniti direktno na živim

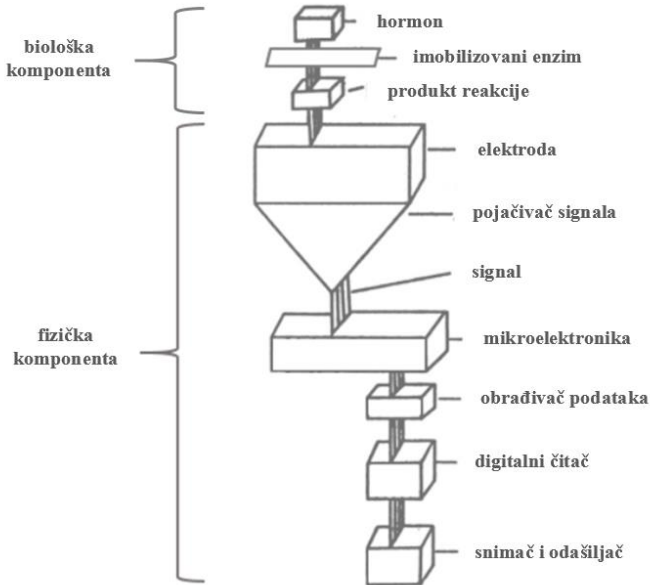
biljkama, kao što su biosenzori za detekciju biljnih hormona. Ove metode omogućavaju brže i jednostavnije praćenje nivoa hormona biljaka u realnom vremenu, čime se smanjuje potreba za ekstrakcijom uzoraka i laboratorijskom analizom.

B. Senzori za detekciju biljnih hormona

Enzimski senzori su senzori koji reaguju sa specifičnim biljnim hormonima i proizvode merljive promene, kao što je promena boje. Dizajnirani su za neinvazivno uzorkovanje i merenje hormona bez potrebe da se ošteti ili otkine deo biljke.[9] To ih čini korisnim alatima za istraživače i poljoprivrednike koji žele da prate i upravljaju zdravljem svojih biljaka u realnom vremenu, bez nanošenja štete biljkama.

Prvi korak u dizajniranju enzimskog senzora je izbor enzima koji je specifičan za ciljani biljni hormon. Enzimi su proteini koji mogu prepoznati određene molekule, u ovom slučaju, biljne hormone. Senzor se sastoji od elektrode (često od zlata ili platine) na koju se nanosi sloj enzima. Enzim je preko propusne membrane imobilizovan na površini elektrode, čime se omogućava interakcija između enzima i ciljnog hormona. Kada se ciljni biljni hormon nalazi u okolini senzora, dolazi do reakcije između hormona i enzima. Ova reakcija obično dovodi do promene u električnim svojstvima senzora.[10] Zatim senzor meri promenu električnih svojstava koja je uzrokovana dobijenom reakcijom. Ova promena se konvertuje u merljiv signal, kao što je promena struje ili napona. (Sl.4.)

Pre nego što senzor može tačno da meri koncentraciju ciljnog hormona, potrebno je kalibrirati ga. Ovo uključuje testiranje senzora sa poznatim koncentracijama hormona kako bi se uspostavila veza između promene električnih svojstava i koncentracije hormona. Na osnovu kalibracije, senzor može da očita i interpretira koncentraciju ciljnog hormona u uzorku. Očitavanje može biti u realnom vremenu ili može biti snimljeno za dalju analizu.

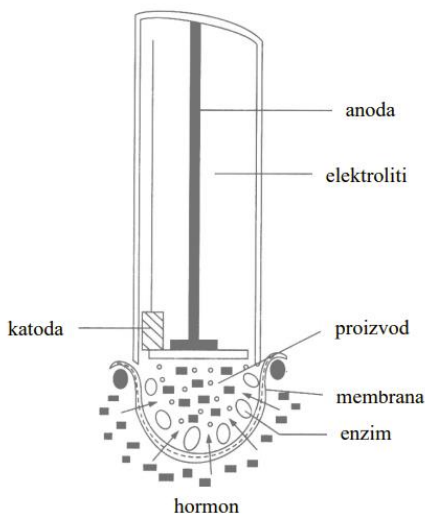


Sl. 4. Šematski nacrt enzimskog biosenzora

Enzimski senzori se mogu postaviti na površinu lišća, stabljike ili na zemljište oko korena. Montaža može zahtevati malo veštine i opreza kako bi se senzor tačno postavio, te kako bi se osiguralo da senzor ima dobar kontakt sa biljkom ili zemljištem.[9]

Enzimski senzori mogu varirati u veličini, ali su uglavnom veoma mali i kompaktni. (Sl.5.). Oni obično koriste napredne materijale kao što su nanočestice i polimerni filmovi, kako bi se enzim stabilizovao i zaštitio.

Ovi uređaji su osetljivi i zahtevaju redovno održavanje i kalibraciju kako bi ostali precizni. Takođe, postoji potreba za zaštitom senzora od vremenskih uslova i okoline kako bi se obezbedila tačnost merenja.



Sl. 5. Primer jednostavnog enzimskog biosenzora

Kada je očitavanje rezultata u pitanju, enzimski senzori proizvode analogne signale (kao što je promena napona) ili digitalne podatke koji se zatim mogu interpretirati kako bi se utvrdio nivo biljnog hormona. Očitavanje se obično vrši pomoću softvera za analizu podataka.

Treba napomenuti da enzimski senzori mogu biti specifični za određene vrste biljnih hormona, pa je potrebno odabrati senzor koji je kompatibilan sa hormonom koji se prati. Međutim, postoji način da se omogući merenje više različitih hormona koristeći isti senzor, ali to obično zahteva napredniju tehnologiju i dizajn senzora. Ovakvi senzori se nazivaju "multisenzori" ili "multi-analitski senzori" i razvijeni su kako bi omogućili istovremeno merenje više različitih analita, u ovom slučaju različitih biljnih hormona. [9] Osnovni način da se to postigne jesu višestruki enzimi. Senzor može sadržati više različitih enzima, svaki specifičan za određeni hormon. Svaki od tih enzima će reagovati samo na svoj ciljani hormon, omogućavajući paralelno merenje.

Pošto su enzimski senzori specijalistička tehnologija, proizvođači rade u partnerstvu sa akademskim institucijama i istraživačkim centrima.

- *Thermo Fisher*: Fokusira se na visokokvalitetne senzore za istraživačke svrhe.
- *Siemens*: Nudi rešenja koja su često integrisana u šire ekosisteme za upravljanje poljoprivrednim operacijama.

- *Texas Instruments*: Poznati su po elektronskim komponentama i imaju liniju senzora koji se mogu koristiti u poljoprivrednim aplikacijama.

Ovakvi senzori su danas još uvek deo naprednih laboratorijskih istraživanja i razvoja, i njihova primena je trenutno ograničena na specifične naučne ili industrijske potrebe.

Enzimski senzori za biljne hormone mogu biti deo IoT sistema. Opremljeni su modulima koji omogućavaju bežično slanje podataka na klaud ili direktno korisnicima. Ovo omogućava praćenje i analizu u realnom vremenu, što je posebno korisno za istraživače i poljoprivrednike.

C. Mrežni sloj sistema za praćenje biljnih hormona

Organizacija mrežnog sloja u IoT arhitekturi za detekciju i upravljanje biljnim hormonima zahteva pažljiv izbor konekcije, odgovarajuću mrežnu topologiju, protokole komunikacije, sigurnosne mehanizme, skalabilnost, upravljanje mrežom i povezivanje sa aplikativnim slojem. Ova kombinacija faktora može obezbediti optimizovanu i efikasnu IoT arhitekturu za praćenje i regulaciju biljnih hormona.

1) Bežična konekcija

IoT uređaji uključeni u sistem za detekciju biljnih hormona bi trebalo da budu povezani putem bežične mreže kako bi se omogućili fleksibilnost, mobilnost i laka integracija. Izbor odgovarajućeg protokola zavisi od različitih faktora. Budući da je u pitanju sistem za detekciju biljnih hormona, važno je da se postigne odličan domet komunikacije i obezbedi pouzdana komunikacija u poljoprivrednim okruženjima i staklenicima. Zato je LoRaWAN odgovarajući izbor za ovaj sistem.[11]

1. Domet komunikacije: LoRaWAN tehnologija može obezbediti impresivan domet komunikacije, naročito u ruralnim i ruralno-urbanim područjima. Senzori mogu biti udaljeni i nekoliko kilometara od centralnog upravljačkog čvora, što omogućava praćenje biljnih hormona na većem području.

2. Pouzdanost u poljoprivrednom okruženju: LoRaWAN tehnologija pokazala se pouzdanom u teškim uslovima poljoprivrednih okruženja, kao što su staklenici i ruralna područja sa mnogo prepreka. Njena sposobnost da prodiere kroz zidove i prepreke doprinosi stabilnoj komunikaciji između senzora i centralnog upravljačkog čvora.

3. Niska potrošnja energije: LoRaWAN je poznat po niskoj potrošnji energije, što znači da senzori mogu raditi na baterijama ili drugim izvorima energije sa dugim radnim vekom. To je posebno korisno u poljoprivrednom okruženju gde, po pravilu, nije jednostavno obezbediti stalno napajanje.

4. Niski troškovi implementacije: LoRaWAN mreža može biti relativno jeftina za implementaciju. Zbog velikog dometa i malih potreba za

infrastrukturu, potrebno je manje čvorišta za pokrivanje velikih površina. To može smanjiti troškove postavljanja i održavanja mreže.

Koristeći LoRaWAN tehnologiju, može se obezbediti dalekosežno i pouzdano praćenje biljnih hormona u različitim poljoprivrednim sredinama, bez potrebe za skupom infrastrukturom. Uz nisku potrošnju energije, senzori mogu raditi dugo vremena bez zamene baterija, što dodatno olakšava upravljanje i održavanje sistema.

2) *Mrežna topologija*

Mrežna topologija određuje način na koji su IoT uređaji povezani i komuniciraju međusobno. Centralni uređaj je upravljački uređaj koji prima podatke sa senzora i upravlja njima. Tipični izbori mrežne topologije su hijerarhijska topologija, zvezdasta topologija i mreža sa više čvorova. U slučaju sistema za detekciju biljnih hormona, najbolji odabir je hijerarhijska topologija. Hijerarhijsku topologiju odlikuje nekoliko karakteristika važnih za rad sa biljkama:

1. Geografska raspodela biljaka - mogućnost da biljke budu prostorno rasprostranjene na većoj površini ili u različitim regionima (na primer više staklenika ili voćnjaci). Hijerarhijska topologija omogućava lokalno prikupljanje podataka na svakoj biljci ili u određenom regionu i zatim prenos podataka do centralnog čvora. Ova topologija omogućava distribuiranu obradu podataka i smanjuje zavisnost od jedne centralne tačke.

2. Kompleksnost sistema - veliki broj senzora za detekciju biljnih hormona koji zahtevaju međusobnu komunikaciju. Ovo je od velikog značaja jer broj biljaka sa kojima radimo može biti prilično velik. Hijerarhijska topologija omogućava direktnu komunikaciju između senzora, što olakšava brzi prenos podataka i smanjuje opterećenje mreže.

3. Skalabilnost sistema - ako se očekuje dodavanje ili uklanjanje senzora iz sistema, hijerarhijska topologija je najpraktičnija. Ova topologija omogućava lako proširivanje sistema dodavanjem novih lokalnih upravljačkih čvorova za nove senzore ili grupu senzora.

Kod hijerarhijske topologije efikasnost prenosa podataka nije prioritet, tj brzina prenosa podataka nije ključna, kao što je kod zvezdaste topologije. Međutim, u analizi hormona biljaka, brzina svakako nije najvažniji faktor. Takođe, hijerarhijska topologija je manje otporna na otkaze od na primer mreže sa više čvorova, što znači da centralni čvor ima veliku ulogu. [12]

3) *Protokoli komunikacije*

Izbor odgovarajućeg protokola komunikacije između IoT uređaja i upravljačkog čvora takođe igra važnu ulogu u optimizaciji mrežnog sloja. Protokoli kao što su MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), CoAP (Constrained Application Protocol) ili RESTful API (Representational State

Transfer) mogu se koristiti za efikasnu razmenu podataka između uređaja. Ovi protokoli su dizajnirani da budu lagani, energetski efikasni i pouzdani.

U IoT sistemu sa LoRaWAN tehnologijom, gde su posebno važni potrošnja energije i pouzdanost komunikacije, dobar izbor protokola je MQTT. MQTT je lagan protokol koji omogućava efikasnu razmenu podataka između IoT uređaja, što je posebno važno kada se koriste bežične tehnologije sa ograničenim propusnim opsegom poput LoRaWAN-a. Ovaj protokol je takođe poznat po pouzdanosti i jednostavnosti implementacije, što je bitno u poljoprivredi gde se senzori mogu nalaziti na različitim lokacijama. Uz upotrebu LoRaWAN-a i MQTT protokola, IoT sistem može da pruži visoku pouzdanost komunikacije i efikasnu potrošnju energije, što je od ključnog značaja za adekvatno praćenje biljnih hormona u poljoprivrednim okruženjima i staklenicima. [5]

4) *Sigurnost*

Zaštita podataka, autentifikacija uređaja i enkripcija komunikacije su neophodni kako bi se osigurali privatnost i integritet podataka. U poljoprivredi, gde se mogu prikupljati osetljivi podaci o biljkama, ova sigurnost postaje još važnija.

Kada se koristi LoRaWAN bežična tehnologija, preporučuje se implementacija sigurnosnog mehanizma kao što su TLS (Transport Layer Security) protokoli i digitalni sertifikati. TLS omogućava enkripciju podataka tokom komunikacije između senzora i upravljačkog čvora, što sprečava neovlašćeni pristup i štiti podatke od neželjenog presretanja. Digitalni sertifikati se koriste za autentifikaciju uređaja, osiguravajući da samo validni uređaji mogu pristupiti mreži i razmenjivati podatke. [13]

Pored toga, važno je i redovno ažuriranje softvera i sistema kako bi se ispravile sigurnosne ranjivosti i sistem održao zaštićenim od potencijalnih napada. Takođe, ograničavanje pristupa mreži i podacima samo na ovlašćene korisnike ili uređaje dodatno pojačava sigurnost sistema.

5) *Skalabilnost*

Skalabilnost je veoma značajna karakteristika za IoT sistem za detekciju i upravljanje biljnim hormonima, posebno imajući u vidu mogućnost proširenja sistema tokom vremena. Kako biljne kulture i zahtevi u poljoprivredi mogu varirati tokom godišnjih doba ili sa promenama u usevu, mogu biti potrebni dodatni senzori ili uređaji kako bi se sistem prilagodio novim uslovima.

Horizontalna skalabilnost se odnosi na sposobnost dodavanja novih uređaja (senzora) paralelno sa postojećim uređajima kako bi se povećao kapacitet sistema. Na primer, dodavanje novih senzora na različite biljke ili regione u poljoprivrednom okruženju bez potrebe za promenom infrastrukture. S druge strane, vertikalna skalabilnost se odnosi na mogućnost

unapređivanja postojećih uređaja kako bi se povećala njihova sposobnost i kapacitet. Na primer, mogu se nadograditi postojeći senzori kako bi se postigla bolja preciznost, veći domet komunikacije ili dodatne funkcionalnosti.

Idealna skalabilnost zavisi od specifičnih zahteva i budžeta. Međutim, uglavnom je kombinacija horizontalne i vertikalne skalabilnosti najbolje rešenje. Kombinovanje obe vrste skalabilnosti omogućava najveću fleksibilnost i prilagodljivost sistema. Ova opcija podržava različite promene u zahtevima sistema tokom vremena. Na primer, mogu se dodavati novi senzori na novim biljkama horizontalno, dok se vertikalno mogu nadograđivati postojeći senzori kako bi im se poboljšale performanse. Kombinovana skalabilnost pruža najbolje rezultate i čini sistem otpornim na različite buduće promene i izazove.

6) Upravljanje mrežom

Upravljanje mrežom je važan aspekt optimizacije mrežnog sloja. Sistem za detekciju biljnih hormona treba da ima mehanizme za nadzor i upravljanje mrežom, kao što su automatska konfiguracija uređaja, upravljanje propusnošću, rukovanje greškama i otkrivanje uređaja u mreži. To omogućava efikasno održavanje i dijagnostiku u slučaju problema.

D. Sloj platforme sistema za praćenje biljnih hormona

Sloj platforme u IoT sistemu za detekciju biljnih hormona igra ključnu ulogu u integrisanju, analizi i upravljanju podacima koji su prikupljeni od senzora i mreže uređaja za detekciju biljnih hormona. Platforma treba da podrži integraciju senzora koji se koriste za merenje biljnih hormona, odnosno jednostavno povezivanje i kalibraciju različitih senzora. Takođe, IoT platforma mora biti integrisana sa klauud uslugama kako bi omogućila centralizovano skladištenje podataka i omogućila pristup podacima sa različitih uređaja i lokacija.

1) Analitički alati

Sloj platforme treba da sadrži alate za analizu podataka o biljnim hormonima. Ovi alati bi omogućili istraživanje i interpretaciju podataka kako bi se identifikovali obrasci, trendovi i eventualni problemi u hormonalnom statusu biljaka. Alati za analizu podataka, uključujući statistiku, mašinsko učenje i duboko učenje, trebalo bi da budu deo platforme kako bi se dobile korisne informacije iz podataka. Oni treba da uključuju realno vreme praćenja i mogućnost praćenja promena tokom vremena. Statistička analiza mogla bi pomoći u identifikaciji značajne razlike u podacima. Na primer, primenom t-testova ili analize varijanse može se utvrditi da li postoje statistički značajne razlike u koncentraciji hormona između različitih grupa biljaka. Mašinsko učenje bi omogućilo automatizovanu analizu podataka kako bi se identifikovali uzorci ili izgradili modeli za predviđanje. Na primer,

moгу se koristiti algoritmi za klasifikaciju kako bi se automatski prepoznale biljke koje su izložene visokim koncentracijama od onih koje nisu. Budući da bi u ovakvom sistemu postojale velike količine podataka, duboko učenje bi bilo korisno za analizu. Na primer, duboke neuronske mreže bi se mogle koristiti za prepoznavanje kompleksnih obrazaca u podacima o koncentraciji hormona.

Konačno, prediktivnom analitikom bi se predvideli budući događaji ili trendovi. Na primer, mogu se koristiti podaci o koncentraciji hormona da bi se predvidelo kada će biljkama biti potrebno navodnjavanje ili dodatna ishrana.

2) *Vizualizacija podataka*

Vizualizacija podataka omogućila bi prikazivanje podataka o biljnim hormonima u obliku grafova, tabela i drugih vizualnih formata. Vizualizacija podataka olakšava razumevanje i interpretaciju rezultata, što pomaže poljoprivrednicima i stručnjacima u praćenju i upravljanju hormonalnim statusom biljaka na efikasan način.

3) *Integracija sa softverskim alatima*

Slaj platforme može biti integrisan sa postojećim softverskim alatima za upravljanje poljoprivrednom proizvodnjom. Na primer, moguće je integrisati podatke o biljnim hormonima sa softverom za navodnjavanje ili sa sistemima za donošenje odluka kako bi se automatizovalo upravljanje biljkama u staklenicima ili na poljima.

E. Slaj aplikacije sistema za praćenje biljnih hormona

Aplikativni slaj IoT sistema za praćenje i upravljanje biljnim hormonima ima ključnu ulogu u omogućavanju korisnicima da pristupe, analiziraju i upravljaju podacima o hormonskim nivoima biljaka. Postoji nekoliko komponenti koje bi mogle biti deo aplikativnog slaja:

1. Korisnički interfejs: Aplikacija treba da ima intuitivan korisnički interfejs dostupan na različitim uređajima, kao što su pametni telefoni, tableti i računari. Ovde korisnici mogu vizualizovati podatke o hormonima putem grafova, dijagrama i tabela.

2. Praćenje u stvarnom vremenu: Aplikacija treba da omogući korisnicima praćenje hormonskih nivoa biljaka u stvarnom vremenu. To uključuje kontinuirano ažuriranje podataka i obaveštenja o promenama.

3. Upravljanje akcijama: Korisnici mogu postavljati pravila i parametre za automatske akcije koje će se preduzeti kada se otkriju određene promene u hormonima. Na primer, mogu postaviti da se automatski aktivira navodnjavanje ili primena đubriva kad hormoni pređu određeni prag.

4. Alarmi i obaveštenja: Aplikacija može slati obaveštenja korisnicima putem e-pošte, SMS-a ili *push* notifikacija kada se detektuju važne promene u hormonima ili kada se preduzmu automatske akcije.

5. Istorija i analiza podataka: Aplikacija bi trebala čuvati istorijske podatke o hormonima kako bi korisnicima omogućila pregled i analizu prošlih događaja. Ovo može biti korisno za donošenje dugoročnih odluka.

6. Prilagodljivost i podešavanja: Korisnici bi trebalo da imaju mogućnost da prilagode postavke sistema prema svojim potrebama, uključujući pragove za alarme, frekvenciju prikupljanja podataka i parametre za upravljanje akcijama.

7. Integracija sa drugim sistemima: Aplikacija može biti sposobna za integrisanje sa drugim sistemima, kao što su meteorološke stanice ili druge IoT mreže, kako bi dobila dodatne podatke koji mogu uticati na hormone biljaka.

8. Sigurnost i pristup: Ovako osetljivi podaci treba da budu zaštićeni. U aplikaciji bi trebalo implementirati sigurnosne mehanizme, kao što su autentifikacija korisnika, enkripcija podataka i kontrola pristupa.

9. Dokumentacija i podrška: Korisnici bi trebalo da imaju pristup dokumentaciji i podršci kako bi razumeli kako sistem funkcioniše i kako rešavati probleme.

Aplikativni sloj bi trebalo da bude intuitivan, prilagodljiv i pouzdan, kako bi korisnicima omogućio efikasno upravljanje na osnovu hormona biljaka i, time, optimizaciju poljoprivredne proizvodnje i održiv razvoj.

IV. ZAKLJUČAK

U današnje doba intenzivne poljoprivredne proizvodnje i potrebe za održivim razvojem, inovacije poput IoT sistema za praćenje i regulaciju biljnih hormona predstavljaju ključne korake ka unapređenju agrarnih praksi i postizanju veće produktivnosti i održivosti. Kroz ovaj rad razmotren je niz elemenata koji čine osnovu za razvoj ovakvog koncepta.

Iako već postoje istraživanja i tehnologije koje se bave merenjem biljnih hormona, primena IoT-a i integracija senzora u ovakav sistem doneli bi nekoliko inovativnih elemenata:

1. Praćenje: Kombinacija senzora za merenje biljnih hormona i IoT tehnologije obezbedili bi praćenje koncentracije hormona u biljkama u realnom vremenu. Ovo bi omogućilo brzo reagovanje na promene i pružanje pomoći biljkama.

2. Precizna regulacija: Senzor za merenje biljnih hormona pružio bi detaljne informacije o hormonskom statusu biljaka. To bi omogućilo preciznu regulaciju hormonskog disbalansa ili stresnih situacija. Na osnovu tih informacija, mogli bi se obezbediti odgovarajući tretmani i intervencije, kako bi se očuvalo zdravlje i poboljšao rast biljaka.

3. Kontinuirano praćenje i optimizacija: Sistem za detekciju biljnih hormona putem IoT-a omogućio bi kontinuirano praćenje i sakupljanje

podataka o hormonskom statusu biljaka tokom vremena. Ovi podaci bi se mogli analizirati i koristiti za optimizaciju gajenja biljaka, donošenje informisanih odluka i pružanje dugoročnih predviđanja.

4. Automatizacija: Integracija senzora za merenje biljnih hormona sa IoT platformom omogućila bi automatizaciju odgovora i akcija. Na osnovu podataka o koncentraciji hormona, sistem bi mogao automatski pokrenuti procese kao što su navodnjavanje, isporuka hranjivih materija ili primena pesticida, optimizujući uslove za rast i zdravlje biljaka.

Kroz razvoj ovakvog IoT sistema, teži se unapređenju održivosti, produktivnosti i zdravlja biljaka, pružanju podrške poljoprivrednicima i istraživačima biljaka, i doprinosu očuvanja životne sredine i povećanju prinosa u poljoprivrednoj proizvodnji.

Testiranje sistema u stvarnim okruženjima, poput staklenika ili poljoprivrednih parcela, predstavlja ključni korak za potvrdu efikasnosti i prilagodljivosti ovakvog sistema. Ovaj proces bi omogućio prikupljanje dragocenih podataka o performansama sistema u stvarnim uslovima. Kroz ova testiranja, istraživači mogu identifikovati potencijalne izazove i slabosti sistema, što je od suštinskog značaja za njegovo poboljšanje i optimizaciju.

Takođe, saradnja sa stručnjacima iz oblasti agronomije i poljoprivrede je od suštinskog značaja kako bi se osiguralo da IoT sistem zaista odgovara potrebama i zahtevima poljoprivrednih proizvođača. Kroz ovu saradnju bolje bi se razumeli specifični izazovi i zahtevi poljoprivrednika i prilagodio sistem tako da bude praktično primenjiv u stvarnim poljoprivrednim operacijama. Ovaj praktičan pristup može dovesti do stvarnih inovacija u poljoprivredi i pomoći u unapređenju održivosti i produktivnosti u ovom sektoru.

Implementacija IoT sistema za praćenje i regulaciju biljnih hormona obezbedila bi niz dobrobiti u poljoprivredi. Poboljšana preciznost i brzina praćenja hormonskog statusa omogućili bi ranu dijagnostiku stresa, bolesti ili nedostataka, što bi omogućilo brzu intervenciju i sprečilo gubitke prinosa. Uz to, optimizacija hormonskog statusa biljaka mogla bi povećati otpornost na stresne uslove, smanjiti potrebu za upotrebom pesticida i đubriva, te unaprediti ukupnu održivost poljoprivrednih sistema.

Takođe, ovakav IoT sistem ima potencijal, ne samo za detekciju i nadzor nad hormonalnim statusom biljaka, već i za aktivno upravljanje tim parametrima. Na osnovu kontinuiranih podataka o koncentraciji hormona, sistem bi mogao prepoznati ključne trenutke kada je potrebna intervencija kako bi se optimizovali uslovi za rast i zdravlje biljaka. Sistem bi mogao automatski pokrenuti procese kao što su navodnjavanje, isporuka hranjivih materija ili primena pesticida, optimizujući uslove za rast i zdravlje biljaka. Na primer, ukoliko se detektuje višak ili nedostatak određenog hormona koji je ključan za rast biljaka, sistem bi mogao automatski inicirati odgovarajuće

mere. To bi moglo uključivati automatsko prilagođavanje nivoa navodnjavanja ili pravilno doziranje hranjivih materija. Osim toga, u slučaju prisustva štetočina ili bolesti koje utiču na hormonski balans biljaka, sistem bi mogao preduzeti korake za primenu pesticida ili drugih zaštitnih sredstava. Ovaj aspekt upravljanja hormonima mogao bi značajno unaprediti poljoprivrednu proizvodnju tako što bi omogućio preciznije i efikasnije metode brige o biljkama. Takođe, automatizacija takvih procesa mogla bi smanjiti potrebu za ljudskim intervencijama i pomoći u optimizaciji resursa poput vode i đubriva, čime se doprinosi održivijoj poljoprivredi.

Kroz razvoj i primenu ovakvog sistema, može se zamisliti budućnost u kojoj su biljke integrisane u digitalne ekosisteme, gde se poljoprivrednici oslanjaju na podatke i analitiku za donošenje informisanih odluka. Sve ovo može promeniti način na koji se bavimo poljoprivredom, povećavajući njenu efikasnost, održivost i doprinoseći globalnoj sigurnosti hrane.

Kroz kontinuiranu inovaciju i saradnju između poljoprivrednih eksperata, tehnoloških inovatora i istraživača, IoT sistem za praćenje biljnih hormona mogao bi pružiti održivu budućnost za poljoprivredu i pomoći u zadovoljenju rastućih globalnih potreba za hranom.

LITERATURA

- [1] Edelman, Gerald M., and Joseph A. Gally. "Degeneracy and complexity in biological systems." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98.24 (2001): 13763-13768.
- [2] Soumyalatha, Shruti G. Hegde. "Study of IoT: understanding IoT architecture, applications, issues and challenges." 1st International Conference on Innovations in Computing & Net working (ICICN16), CSE, RRCE. *International Journal of Advanced Networking & Applications*. Vol. 478. 2016.
- [3] Sehrawat, Deepti, and Nasib Singh Gill. "Smart sensors: Analysis of different types of IoT sensors." 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI).
- [4] IEEE, 2019.B. Smith, "Unpublished work style," unpublished.
- [5] Çorak, Burak H., et al. "Comparative analysis of IoT communication protocols." 2018 International symposium on networks, computers and communications (ISNCC). IEEE, 2018.
- [6] Burhanuddin, M. A., et al. "Internet of things architecture: Current challenges and future direction of research." *International Journal of Applied Engineering Research* 12.21 (2017): 11055-11061.
- [7] Lucero, Sam. "IoT platforms: enabling the Internet of Things." White paper (2016).
- [8] Karagiannis, Vasileios, et al. "A survey on application layer protocols for the internet of things." *Transaction on IoT and Cloud computing* 3.1 (2015): 11-17.
- [9] Piroozmand, Firoozeh, Fatemeh Mohammadipanah, and Farnoush Faridbod. "Emerging biosensors in detection of natural products." *Synthetic and systems biotechnology* 5.4 (2020): 293-303.
- [10] Westfall, Corey S., Ashley M. Muehler, and Joseph M. Jez. "Enzyme action in the regulation of plant hormone responses." *Journal of Biological Chemistry* 288.27 (2013): 19304-19311.
- [11] Miles, Badreddine, et al. "A study of LoRaWAN protocol performance for IoT applications

- in smart agriculture." *Computer Communications* 164 (2020): 148-157.
- [12] Santra, Santanu, and Pinaki Pratim Acharjya. "A study and analysis on computer network topology for data communication." *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 3.1 (2013): 522-525.
- [13] Rademacher, Michael, et al. "Bounds for the Scalability of TLS over LoRaWAN." *Mobile Communication-Technologies and Applications; 26th ITG-Symposium. VDE, 2022.*

ABSTRACT

Content — The topic of this paper is the fundamentals of the Internet of Things architecture in biological systems, including architecture layers, sensors, wireless communication, and the cloud as a central data processing system. We describe a proposal for developing a plant hormone monitoring system based on the Internet of Things. The potential for continuous and remote monitoring of plant conditions opens up through the combination of appropriate technologies, protocols for wireless connection, and sensors for measuring hormone levels. Such a system should enable obtaining key information about the hormonal status of plants and timely response to plant needs.

CHALLENGES OF IMPLEMENTING INTERNET OF THINGS IN BIOLOGICAL SYSTEMS

Adrijana Jeremić, dr Dušan Vujošević