

LORA (LONG-RANGE) TEHNOLOGIJA U PRECIZNOJ POLJOPRIVREDI

*Dušan Marković¹, Uroš Pešović², Slađana Đurašević²,
Mihailo Knežević², Dalibor Tomić¹, Vladeta Stevović¹*

Izvod: Precizna poljoprivreda, uz podršku savremenih informaciono-komunikacionih tehnologija omogućava značajanu optimizaciju procesa poljoprivredne proizvodnje. Zahvaljujući konceptu Interneta stvari (Internet of Things - IoT) upravljanje pojedinim operacijama tokom proizvodnog procesa može se ostvariti na daljinu. U radu je predstavljena LoRa (Long Range) tehnologija koja omogućava bežičnu komunikaciju na velikim udaljenostima uz malu potrošnju energije, kao i metodologija projektovanja LoRa mreže. Veoma je značajna upotreba LoRa tehnologije na otvorenom kako bi se prikupili podaci sa poljoprivrednih polja koje se prostiru na većim površinama.

Ključne reči: bežična komunikacija, LoRa, IoT, precizna poljoprivreda

Uvod

Zahtevi za proizvodnjom veće količine kvalitetne i zdravstveno bezbedne hrane nameću pitanje efikasnijeg upravljanja poljoprivrednom proizvodnjom. Na temeljima najnovijih dostignuća u senzorskoj tehnologiji i komunikacionim protokolima ostvaren je veliki skok u primeni Interneta stvari (Internet of Things - IoT). Primena IoT aplikacija u domenu poljoprivrede obično podrazumeva nezavisnu implementaciju bežičnih senzorskih mreža zasnovanih u polju, odnosno na širem području gde se može odvijati raznovrsna poljoprivredna proizvodnja. Bežične senzorske mreže se sastoje od niza bežičnih senzora koji međusobno komuniciraju kako bi prikupljali podatke, koji se dalje šalju u baznu stanicu na dalju obradu. Pošto senzori koriste baterijsko napajanje, imperativ je postići visoku energetska efikasnost što bi omogućilo njihovu dugotrajnu autonomiju tokom poljoprivredne sezone, bez potrebe za zamenom baterije. Na tržištu je dostupan veći broj komunikacionih tehnologija koje omogućavaju bežični prenos male snage, ali ovakvi tipovi komunikacija nisu u stanju da ostvare veliki domet. Najčešće je domet bio ograničen na nekoliko stotina metara što je nedovoljno za pokrivanje većih poljoprivrednih površina.

LoRa (Long-Range) tehnologija omogućava prenos senzorskih podataka sa polja na velike udaljenosti uz malu potrošnju energije. Cilj rada je bio predstavljanje značaja LoRa komunikacionih tehnologija kao dela sistema za nadgledanje u preciznoj poljoprivredi. Pored isticanja prednosti LoRa mreže u

¹Univerzitet u Kragujevcu, Agronomski fakultet u Čačku, Cara Dušana 34, 32000 Čačak, Srbija (dusan.markovic@kg.ac.rs, dalibort@kg.ac.rs, vladeta@kg.ac.rs);

²Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija (uros.pesovic@ftn.kg.ac.rs, sladjana.djurasevic@ftn.kg.ac.rs, mihailo.knezevic@ftn.kg.ac.rs).

pokrivanju većih površina u ruralnim krajevima, predstavljen je i proračun parametara potrebnih za pogodnu implementaciju LoRa mreže.

Primena LoRa tehnologije

Precizna poljoprivreda se zasniva na prikupljanju podataka od značaja sa lokaliteta pomoću kojih se može vršiti nadgledanje, upravljanje i donošenje novih odluka u cilju unapređenja ili optimizacije poljoprivredne proizvodnje. Dostupnost podataka obično podrazumeva njihovo prenošenje sa udaljenih lokacija, gde se nalaze poljoprivredna polja, do mesta koja imaju pristup Internetu. U tu svrhu pogodna je upotreba LoRa tehnologije koju karakteriše relativno mala potrošnja energije (Lloret et al., 2021). Na primer u radu Miles et al. (2020) prezentovana je detaljna studija o performansama LoRa komunikacione mreže u okviru IoT aplikacija za primenu na farmama. U radu Raja Gopal et al. (2022) predstavljen je krajnji uređaj sa IoT i LoRa modulom za implementaciju pametne farme. Pri tome je uključena obrada podataka na krajnjem uređaju kako bi se unapredio kvalitet podataka za slanje i performanse kašnjenja. Preko LoRa modula slati su podaci dobijeni sa senzora temperature, relativne vlažnosti i vlažnosti zemljišta, pri čemu su dobijeni rezultati ukazivali na prihvatljivost predloženog sistema za pametnu poljoprivredu i automatsko navodnjavanje. Dos Santos et al. (2019) su predstavili model koji kombinuje bežične senzorske mreže manjeg i srednjeg dometa sa mehanizmom predviđanja kako bi se predvidele potencijalne disfunkcije useva i prosledilo obaveštenje do farmera koji bi mogli reagovati u što kraćem roku. Komponente modela su bazirane na obe tehnologije, IoT i LoRa, pri čemu su rezultati pokazali prihvatljivu upotrebu LoRa komunikacije u ruralnim mestima kako bi se pomoću sistema za predikciju mogli iskoristiti parametri sa polja.

Studija predstavljena od starne Brunel et al. (2021) prikazuje upotrebu mapiranja kako bi se testirala efikasnost bežične senzorske mreže niske cene, bazirane na LoRa modulima, pre implementacije kompletnog sistema u vinogradu. Empirijsko mapiranje ima potencijal da pokaže kako lokalno okruženje utiče na kvalitet signala i može da posluži kao podrška sistemu za odlučivanje u određivanju optimalne lokacije za postavku senzorskih i posrednih uređaja.

Sistem za navodnjavanje čije sastavne delove čine senzori i aktuatori, uz dodatak algoritma veštačke inteligencije zaduženog za proces navodnjavanja predstavljen je u istraživanjima Kontogiannis et al. (2017). U okviru opisanog sistema autori su predložili novu komunikaciju preko LoRa tehnologije kao sredstvo za klaster komunikacioni mehanizam male potrošnje i dugog dometa. Opisani sistem sa predloženim algoritmom pružao je efikasnije navodnjavanje na grupisanim (klaster) površinama u odnosu na algoritme određene samo vremenskim rasporedom ili graničnim vrednostima. Jedna od primena IoT dostignuća i LoRa tehnologije za prenos podataka predstavljen je u radu Khoa et al. (2019) u cilju optimizacije procesa navodnjavanja i uštede u potrošnji.

Još jedna primena LoRa tehnologije u okviru pametne poljoprivrede, je za potrebe kontrolnog sistema kod plastenika (Wu et al., 2019). Pored podsistema koji

su zaduženi za monitoring parametara u plasteniku bitan je i podsistem za daljinsku kontrolu đubrenja i rasporeda navodnjavanja. Upravo za prenos podataka na veću udaljenost korišćena je LoRa tehnologija male potrošnje energije i pokazala se posebno pogodnom za ovu namenu.

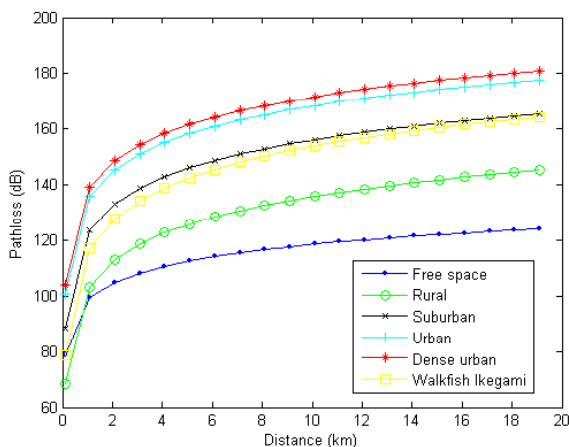
U radu Ojo et al. (2021) predstavljena je IoT aplikacija za nadgledanje životinja u divljini u okviru šireg područja. Predstavljeni rezultati su pokazali da je za korišćene LoRa module veza ostvarena do 860 m u gustom okruženju stabala, dok je u proređenom delu šume postignuta veza na udaljenosti do 2050 m.

Novi sistem za nadgledanje baziran na LoRa prenosu podataka predstavljen je u radu Deng et al. (2020). Osnovni delovi sistema su pored centra za nadgledanje na farmi i cloud platforme, patrolni automobil koji očitava RFID senzore postavljene u zemljištu. Tako se nadgledanje zemljišta ostvaruje prolaskom patrolnog prevoznog sredstava koji preko RFID prijemnika pribavlja senzorske podatke a preko LoRa modula prosleđuje ih do centra na farmi.

LoRa komunikaciona tehnologija

Poslednjih godina pojavila se LoRa tehnologija koja je omogućila prenos podataka na veće daljine (do 10 kilometara) sa malom potrošnjom energije. LoRa uređaji i mreže omogućavaju pametne IoT aplikacije koje rešavaju neke od najvećih izazova sa kojima se suočava naša planeta: upravljanje energijom, smanjenje prirodnih resursa, kontrola zagađenja, efikasnost infrastrukture i prevencija katastrofa. Do sada je oko 225 miliona uređaja povezanih u LoRa mreže u više od 100 zemalja i predviđa se da će do 2026 godine više od 50 % IoT uređaja koristiti LoRa protokol.

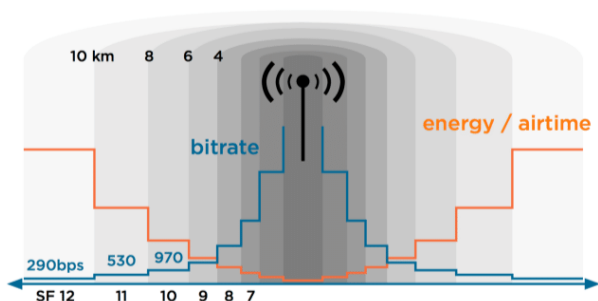
LoRa podržava različite frekventne opsege, u zavisnosti od nacionalnih regulativa, tako da se na teritoriji Evrope i naše zemlje mogu koristiti opsezi 433 MHz i 868 MHz, bez potrebe za posebnim dozvolama pod uslovom da se ne prekorači maksimalna dozvoljena transmisiona snaga. Prvi opseg obuhvata frekvencije od 433.05 do 434.79 MHz i njegova širina je 1.74 MHz, dok drugi opseg obuhvata frekvencije od 868.6 do 869.700 MHz i njegova širina je 1.1 MHz (RATEL Plan-namene-tabele). LoRa tehnologija podržava korišćenje različitih širina propusnih opsega počevši od (7.8 kHz do 500 KHz) što omogućava da veći broj nezavisnih mreža funkcioniše u različitim delovima frekventnog opsega. Širina propusnog opsega direktno je proporcionalna brzini prenosa podataka, tako da se najveće brzine prenosa ostvaruju korišćenjem propusnog opsega od 500 KHz, ali u tom slučaju moguć je rad maksimalno dve ili tri nezavisne mreže po frekventnom opsegu. Domet bežične komunikacije između predajnika i prijemnika zavisna je od gubitaka na putanji (eng. pathloss) duž koje se signal prostire. Idealno gubici na putanji rastu sa kvadratom razdaljine u slobodnom prostoru bez ikakvih prepreka (eng. Free space), dok u ruralnim (eng. Rural), prigradskim (eng. Suburban) i gradskim sredinama (eng. Urban i Dense Urban) usled postojanja prepreka gubici rastu znatno brže, sa eksponentom koji se kreće u granicama od 3 do 5 (Slika 1).



Slika. 1. Gubici na putanji u različitim sredinama
 Figure. 1. Pathloss in various environments

Kako bi prijemnik bio u stanju da primi signal, prijemna snaga koja predstavlja transmisionu snagu predajnika umanjenu za gubitake na putanji, mora biti veća od osetljivosti prijemnika. Domet se može povećati ako se poveća transmisiona snaga pri čemu se ne sme prekoračiti maksimalna dozvoljena snaga u kanalu od 20 dBm. LoRa uređaji uglavnom koriste omnidirekzione antene koje omogućavaju komunikaciju u bilo kom pravcu ali imaju malo pojačanje, dok je upotrebom usmerenih antena moguće dodatno povećati domet. Usmerene antene su pogodne za komunikaciju između fiksnih uređaja, kao što je na primer komunikacija između senzora i bazne stanice.

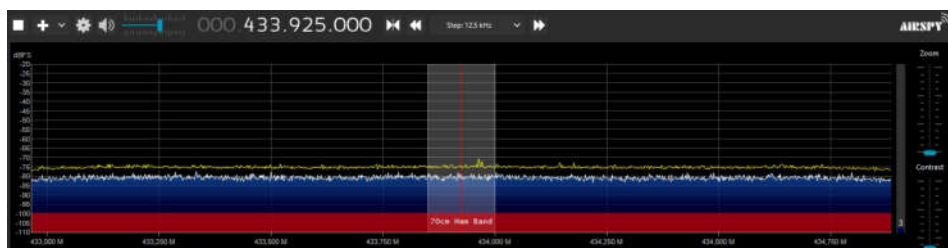
LoRa tehnologija (“Long Range”) koristi tehniku proširenog spektra (Chirp Spread Spectrum) koja kodira podatke koristeći sinusoidni signal čija se frekvencija povećava ili smanjuje tokom vremena. Tehnika proširenog spektra omogućava da se umesto jednog bita podatka šalje veći broj impulsa koji se nazivaju čipovi. LoRa tehnologija podržava korišćenje različitih stepena širenja (SF – Spreading factor) koji se kreću od 6 do 12 i predstavljaju stepene broja 2. Veći stepeni širenja omogućavaju znatno bolju detekciju signala u slučaju niskih vrednosti snage signala u odnosu na šum i smetnje u kanalu. Tako da se u slučaju faktora širenja SF=12 jedan bit se zamenjuje sa 4096 čipova, što omogućava detekciju signala čak i kada je prijemni signal 100 puta (-20dB) slabiji od pozadinskog šuma. Upotreba većeg faktora širenja omogućava komunikaciju na većim udaljenostima jer se na taj način poboljšava osetljivost prijemnika ali za posledicu ima manju brzinu prenosa (engl. bitrate). Samim tim prenos podataka se obavlja duže (eng. airtime) što za posledicu ima i veću potrošnju energije (Slika 2). Kako bi se dodatno povećala pouzdanost prenosa, LoRa tehnologija koristi kod za ispravljanje grešaka gde se sa nizom bitova podataka šalje od 1 do 4 redundantna bita koda koji omogućavaju ispravljanje grešaka na prijemu, bez potrebe za retransmisijom.



Slika. 2. Domet i brzina prenosa LoRa mreže
 Figure. 2. Range and data rate of LoRa network

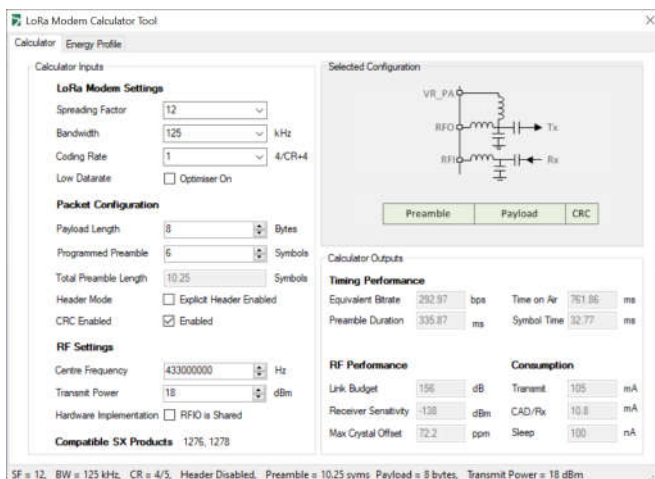
Postupak projektovanja LoRa mreže

Postupak projektovanja mreže započinje analizom spektra signala softverski definisanim radijom kako bi se utvrdilo koji kanali su slobodni unutar frekventnog opsega od 433 MHz (Slika 3).



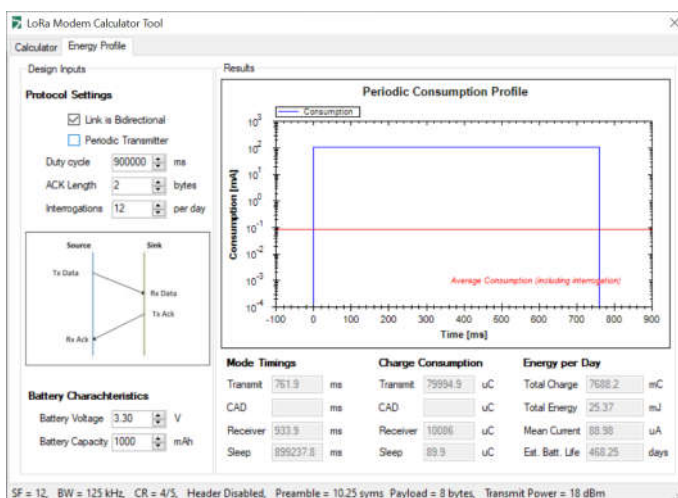
Slika. 3. Spektar signala u frekventnom opsegu od 433 MHz
 Figure. 3. Signal spectrum in the 433 MHz frequency band

Zatim je potrebno definisati format LoRa paketa, odnosno broj bajtova koji se prenose paketom sa senzora. U ovom slučaju prikupljaju se podaci o temperaturi i vlažnosti vazduha koji su dužine 8 bajtova i koji se šalju baznoj stanici na svakih 15 minuta. Zatim se definišu lokacije senzora u polju i na osnovu međusobne udaljenosti od bazne stanice određuju se gubici putanja za svaki senzor na osnovu realnih merenja ili empirijskom metodom. Razdaljina između bazne stanice i senzora je 15 kilometara što u ruralnoj sredini odgovara gubicima po putanji od 145 dB (Slika 1). Za maksimalnu transmisionu snagu od 18 dBm i sa gubicima na putanji od 145 dB, snaga na prijemniku će iznositi -127 dB. Korišćenjem LoRa kalkulatora odabiraju se optimalni parametri mreže koji će omogućiti da komunikacija između svih senzora sa baznom stanicom bude ostvariva (Slika 4). Bira se faktor širenja SF=12 za koji je osetljivost prijemnika -138 dB što je dovoljno za pouzdan prijem paketa.



Slika. 4. Proračun parametara LoRa mreže
 Figure. 4. Calculation of LoRa network paramters

U slučaju da nije moguće ostvariti komunikaciju sa raspoloživim parametrima LoRa mreže potrebno je izvršiti repozicioniranje senzora ili bazne stancie. Na osnovu odabranih optimalnih parametara LoRa mreže može se proceniti potrošnja energije i dimenzionisati baterijsko napajanje senzora. U slučaju definisanog 15 minutnog interвала merenja koje je odabrano u ovom primeru, korišćenjem baterije kapaciteta 1000 mAh moguće je ostvariti autonomiju rada od 468 dana što je duže od trajanja proizvodne sezone (Slika 5).



Slika. 5. Procena autonomije senzora LoRa mreže
 Figure. 5. Estimation of sensor autonomy in LoRa network

Zaključak

LoRa tehnologija može u velikoj meri doprineti unapređenju primene digitalnih tehnologija u poljoprivredi u okviru IoT sistema. Ona omogućava prenos senzorskih podataka sa polja na udaljenosti do 10 km uz malu potrošnju energije, Veliku praktičnu primenu ova tehnologija može imati za uspostavljanje sistema takozvanih "pametnih farmi" ili "pametnih plastenika". Zahvaljujući mogućnosti bežičnog prenosa podataka na velika rastojanja, veoma je značajna i njihova upotreba na otvorenom polju za kontrolu sistema navodnjavanja, đubrenja ili zaštite biljaka na velikim površinama. U radu je prikazan i primer proračuna parametara potrebnih za pogodnu implementaciju LoRa mreže. Zbog svojih karakteristika postoji tendencija intenzivnije primene LoRa tehnologije u sistemima za nadgledanje parametara poljoprivredne proizvodnje na oblastima koji obuhvataju veće površine a gde ne postoji adekvatna infrastruktura.

Napomena

Istraživanja u ovom radu deo su projekta 451-03-68/2022-14 i projekta 451-03-68/2022-14/200132 koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja.

Literatura

- Brunel G., Moinard S., Ducanhez A., Crestey T., Pichon L., Tisseyre B. (2021). Empirical mapping for evaluating an LPWAN (LoRa) wireless network sensor prior to installation in a vineyard. *OENO One*. 55(2): 301–313.
- Deng F., Zuo P., Wen K., Wu X. (2020). Novel soil environment monitoring system based on RFID sensor and LoRa. *Computers and Electronics in Agriculture*. 169: 105169.
- Dos Santos U.J.L., Pessin G., da Costa C.A., da Rosa Righi R. (2019). AgriPrediction: A proactive internet of things model to anticipate problems and improve production in agricultural crops. *Computers and Electronics in Agriculture*. 161: 202–213.
- Khoa T.A., Man M.M., Nguyen T.-Y., Nguyen V., Nam N.H. (2019). Smart Agriculture Using IoT Multi-Sensors: A Novel Watering Management System. *Journal of Sensor and Actuator Networks*. 8(3): 45.
- Kontogiannis S., Kokkonis G., Ellinidou S., Valsamidis S. (2017). Proposed Fuzzy-NN Algorithm with LoRa Communication Protocol for Clustered Irrigation Systems. *Future Internet*. 9: 78.
- Lloret J., García L., Jimenez J.M., Sendra S., Lorenz P. (2021). Cluster-Based Communication Protocol and Architecture for a Wastewater Purification System Intended for Irrigation. *IEEE Access*. 9: 142374–142389.

- Miles B., Bourennane E.-B., Boucherkha S., Chikhi S. (2020). A study of LoRaWAN protocol performance for IoT applications in smart agriculture. *Computer Communications*. 164: 148–157.
- Ojo M.O., Adami D., Giordano S. (2021). Experimental Evaluation of a LoRa Wildlife Monitoring Network in a Forest Vegetation Area. *Future Internet*. 13: 115.
- Raja Gopal S., Prabhakar V.S.V. (2022). Intelligent edge based smart farming with LoRa and IoT. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. <https://doi.org/10.1007/s13198-021-01576-z>
- Wu Y., Li L., Li M., Zhang M., Sun H., Sygrimis N., Lai W. (2019). Remote-Control System for Greenhouse Based on Open Source Hardware. *IFAC-PapersOnLine*. 52(30): 178–183.

LORA (LONG-RANGE) TECHNOLOGY IN PRECISION AGRICULTURE

*Dušan Marković¹, Uroš Pešović², Slađana Đurašević²,
Mihailo Knežević², Dalibor Tomić¹, Vladeta Stevović¹*

Abstract

Precise agriculture, with the support of modern information and communication technologies, enables significant optimization of the agricultural production process. Thanks to the concept of the Internet of Things (IoT), the management of individual operations during the production process can be achieved remotely. The paper presents LoRa (Long Range) technology that enables wireless communication over long distances with low energy consumption, as well as the methodology of LoRa network design. The use of LoRa technology in the open is very important in order to collect data from agricultural fields that spread out on a larger area.

Key words: wireless communication, LoRa, IoT, precision agriculture

¹University of Kragujevac, Faculty of Agronomy in Čačak, Cara Dušana 34, 32000 Čačak, Srbija (dusan.markovic@kg.ac.rs, dalibort@kg.ac.rs, vladeta@kg.ac.rs);

²University of Kragujevac, Faculty of technical sciences Čačak, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija (uros.pesovic@ftn.kg.ac.rs, sladjana.djurasevic@ftn.kg.ac.rs, mihailo.knezevic@ftn.kg.ac.rs).