

# Zahtevi i tehnološke mogućnosti komunikacionih sistema u preciznoj poljoprivredi

Nikola Zogović, *Member, IEEE*, Goran Dimić, *Member, IEEE*

**Sadržaj** — Bežične senzorske mreže (BSM) pronalaze sve veću primenu. Jedna je prikupljanje podataka u poljoprivredi, čime se omogućava pravovremena i optimalna primena mera za povećanje prinosa i smanjenje troškova proizvodnje hrane. U ovom radu razmotreni su problemi u komunikaciji u sistemima za preciznu poljoprivredu sa osvrtnom na probleme koji se sreću u komunikaciji kada se primeni BSM tehnologija. Dati su pregledi stanja u oblasti istraživanja i raspoložive opreme za realizaciju BSM sa primenom u preciznoj poljoprivredi.

**Ključne reči** — Bežične senzorske mreže, precizna poljoprivreda.

## I. UVOD

U poslednjih nekoliko godina istraživanja u oblasti bežičnih senzorskih mreža doživela su ekspanziju zahvaljujući sniženju cena senzora i radio primopredajnika (RPP – radio primopredajnik) za komunikaciju na malim rastojanjima tako da je danas moguće napraviti relativno jeftine *moteove*, uređaje koji su opremljeni senzorima, procesorom, RPP-om i nezavisnim napajanjem. Umrežavanjem ovakvih uređaja moguće je napraviti BSM, koja može sa malih rastojanja da posmatra fenomen i da prenese informaciju do proizvodnog mesta na globalnoj mreži, Internetu.

BSM sve više pronalaze primenu u raznim oblastima: kontrola industrijskih procesa, vojne primene, praćenje ciljeva, nadgledanje prirodnog okruženja, nadgledanje struktura, precizna poljoprivreda, zdravstvena zaštita i druge [1, 2].

U ovom radu fokus je stavljen na primenu BSM u preciznoj poljoprivredi (PP), komunikacionim zahtevima koji se pred ovakve sisteme stavljaju i raspoloživim sredstvima kojima ti zahtevi mogu da se zadovolje.

PP je termin koji se koristi širom sveta ali nema preciznu definiciju [3]. Iako poljoprivreda obuhvata stočarstvo, ratarstvo i šumarstvo u ovom radu pod PP se

podrazumeva proces upravljanja uslovima rasta useva u zavisnosti od specifične lokacije (SSCM – *Site-Specific Crop Management*). Postoje 4 osnovna cilja precizne poljoprivrede: optimizacija proizvodne efikasnosti, optimizacija kvaliteta, minimizacija uticaja okoline i minimizacija rizika u proizvodnji [3]. Prostorna promenljivost mikro uslova na nadgledanoj parceli treba da diktira gustinu raspoređenih tačaka u kojima se vrši nadgledanje. Sadašnje stanje u poljoprivredi je takvo da se najčešće vrši ravnomerno raspoređivanje mernih tačaka, nešto ređe se sreće raspoređivanje po zonama dok SSCM predviđa raspoređivanje u zavisnosti od prostorne promenljivosti mikro uslova. Primenom SSCM-a mogu da se postignu najbolji rezultati u dostizanju sva četiri cilja PP-a. SSCM je najskuplji metod i zato je retko zastupljen. Razvojem BSM tehnologije i smanjenjem cene konkretnih BSM realizacija u preciznoj poljoprivredi očekuje se sve veća zastupljenost SSCM pristupa.

Rad je organizovan u 4 celine. U drugom delu su razmotreni opšti zahtevi za komunikaciju u PP sistemu i postojeći komunikacioni standardi. U trećem delu su predstavljeni projekti koji se bave problematikom primene BSM u PP. U četvrtom delu je prikazana komercijalno raspoloživa komunikaciona oprema za realizaciju BSM sa primenom u PP. U petom delu dat je zaključak.

## II. ZAHTEVI ZA KOMUNIKACIJU U PP SISTEMU

U proizvodnji biljaka, mnogi procesi se odvijaju kombinovanjem različitih uređaja. Kontrolni proces odvija se u nekoliko faza koje mogu da se uopšteno podele na: prikupljanja podataka senzorima, obrada tih podataka, odlučivanje i preduzimanje određenih agrotehničkih mera. Između svih faza kontrolnog procesa postoji komunikacija. Savremeni uređaji za primenu u poljoprivredi kontrolisani su elektronski i lako ih je umrežiti. Priroda poljoprivrednog sistema najčešće nameće uslov mobilnosti, koji za sobom povlači upotrebu radio komunikacije. DIN 9684 [4] je standard u Nemačkoj koji definiše komunikacioni bus-sistem u poljoprivredi, a njegov međunarodni ekvivalent je ISO 11783 standard [5]. Primena ovih standarda u povezivanju poljoprivrednih mašina i sistema na nivou farme opisana je u [6]. BSM kao senzorski podsistem u sistemu procesa kontrole se povezuje sa ostalim podsistemima te je stoga poželjno da ima standardni interfejs prema ostatku sistema.

Unutar same BSM komunikacija se odvija bežično.

Ovaj rad podržan je od Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, kroz finansiranje projekta TR-11022 Bežične senzorske mreže i daljinsko prikupljanje podataka – osnovi nove poljoprivredne infrastrukture.

N. Zogović, Institut Mihajlo Pupin, Volgina 15, 11060 Beograd, Srbija; (e-mail: Nikola@lab200.imp.bg.ac.yu).

G. Dimić, Institut Mihajlo Pupin, Volgina 15, 11060 Beograd, Srbija; (e-mail: gdimic@kondor.imp.bg.ac.rs).

Postoji nekoliko specifičnih problema u bežičnoj komunikaciji u BSM sa primenom u PP. Prvi problem je što je komunikacioni medijum u određenoj količini ispunjen biljnom masom, koja sadrži dosta vode. Ovaj problem se ogleda u povećanoj apsorpciji radio talasa i u velikoj meri zavisi od frekvencije na kojoj se komunikacija odvija [7]. Drugi problem je blizina površine zemlje, koja se ponaša kao ogledalo i uzrokuje interferenciju direktnog talasa sa reflektovanim talasom suprotne faze od direktnog talasa. Treći problem je različit komunikacioni domet, odnosno rastojanje na kojem treba da se ostvari komunikacija između komunikacionih čvorova, zbog neravnomernog prostornog rasporeda. Četvrti problem je povećanje biljne mase u komunikacionom medijumu sa rastom useva. Pored ovih specifičnih problema postoje i problemi tipični za sve BSM kao što je energetska ograničenost.

Sa stanovišta specifičnih problema u primeni BSM u PP može da se izvrši nekoliko podela. Prva podela je prema veličini parcele na kojoj se vrši nadgledanje mikro uslova: mala parcela (veličine do nekoliko ari), srednja parcela (veličine do nekoliko desetina ari) i velika parcela (veličine nekoliko hektara). Svaki *mote* je okarakterisan senzorskim dometom i komunikacionim dometom. Senzorski domet je daljina na kojoj senzor može da detektuje neku pojavu. Senzorski i komunikacioni domet određuju minimalnu gustinu čvorova u BSM. Broj čvorova u BSM direktno je proporcionalan veličina parcele, a obrnuto proporcionalan senzorskom i komunikacionom dometu.

Druga podela može da se izvrši na osnovu izolovanosti od atmosferskih uslova: zatvorene parcele (staklenici, plastenici) u kojima može da se kontroliše veliki broj uslova i otvorene parcele kod kojih je teže kontrolisati uslove. Kod zatvorenih parcela promena medijuma usled atmosferskih prilika je kontrolisana i može da se predvidi, a kod otvorenih parcela mora da se ide na pokrivanje šireg raspona oscilacija karakteristika medijuma.

Treća podela može da se izvrši po visini useva, čiji uslovi rasta su predmet nadgledanja: nisko rastinje (zelena salata, borovnice, cveće), srednje rastinje i žbunasto bilje (krompir, paradajz, kupina), visoko rastinje (drvenaste biljke). Visina na kojoj treba da budu postavljeni mrežni čvorovi da bi ostvarili komunikaciju zavisi od visine rastinja. S obzirom na broj *moteova* potrebnih za realizaciju BSM, njihovo podizanje na određenu visinu može znatno da poveća cenu same mreže.

G. Anastasi i ostali u [8] su poredili karakteristike mica2dot i mica2 senzorskih platformi, *moteova*, firme *Crosbow*, opremljenih CC1000 RPP-ima. CC1000 je RPP koji može da radi na 433/869 MHz. Rezultati ispitivanja na 869 MHz pokazuju da se domet komunikacije kod mica2 platforme smanjuje sa 55 m, u uslovima normalne vlažnosti, na 10 m, u uslovima povećane vlažnosti. Ispitivanje dometa komunikacije, u zavisnosti od visine na kojoj se nalaze antene, pokazuje da ukoliko su antene na površini zemlje, komunikacija gotovo da i ne može da se ostvari dok na visini od 1 m, pri maksimalnoj snazi predaje

i normalnoj vlažnosti, mica2 platforma može da ostvari komunikaciju na 70 m, a mica2dot na 230 m. Domet komunikacije kod mica2 platforme u većoj meri zavisi od orijentacije antene nego kod mica2dot platforme.

U [9] su predstavljeni rezultati ispitivanja propagacije radio talasa kroz polje krompira. Ispitivanja su rađena sa mica2dot senzorskim platformama i komunikacijom na 433 MHz. Pokazano je da domet komunikacije opada sa 23 m, u vreme kada je krompir zreo, na 10 m u vreme kada krompir cveta. Interesantno je da su u ovim ispitivanjima ostvareni veći dometi komunikacije po vlažnom vremenu nego po normalnim vremenskim uslovima. Autori ovu pojavu objašnjavaju promenom koeficijenta refleksije površine vezane za vrh biljaka krompira. Zavisnost slabljenja lateralnog talasa od koeficijenta refleksije površine vezane za vrh biljnog pokrivača izložena je u [10].

### III. POSTOJEĆI PROJEKTI

Neki od projekata koji su demonstrirali uspešnu primenu komunikacionih tehnologija i BSM u preciznoj poljoprivredi su LOFAR projekat [11] i GoodFood [12]. Ovi projekti su pokazali kako BSM omogućavaju: prikupljanje podataka u prostoru, precizno navodnjavanje, precizno đubrenje i obaveštavanje poljoprivrednika (farmera) o stanju useva.

BSM imaju glavnu ulogu u prikupljanju podataka. S obzirom na mali domet RPP-a u realnim uslovima, one se organizuju hijerarhijski tako da jedan *mote* ima ulogu *gatewaya* i prikuplja podatke od *moteova* sa senzorima u svojoj blizini. Za prenos podataka do centralnog računara može se konstruisati *mesh* mreža ovakvih *gatewaya*, koji prenose pakete u više skokova od jednog do drugog sve bliže centru. Alternativa je korišćenje postojeće mreže mobilne telefonije i GPRS servisa (ili nekog drugog poput EDGE ili 3G) za prenos paketa podataka do centralnog računara. U tom slučaju, uz *mote gateway* prikači se odgovarajući GPRS modul, koji može da inicira vezu sa centrom i razmenjuje podatke sa njim. Na ovaj način se mogu premostiti razdaljine od više kilometara između centra i BSM na određenoj parceli. Treba imati u vidu da GPRS modul ima za oko dva reda veličine veću potrošnju energije nego RPP *motea*, pa mu je potrebno obezbediti stalni izvor napajanja.

Ovi projekti dali su predloge za protokole na nivou pristupa medijumu, koji omogućuju minimizaciju potrošnje energije, koristeći znanje o brzini promene parametara u realnim uslovima.

### IV. KOMERCIJALNO RASPOLOŽIVA OPREMA I STANDARDI

S obzirom na to da je BSM oblast u povoju još uvek ne postoje konkretni standardi i regulativa. Istraživanja vezana za BSM do sada su se uvek vezivala za postojeće bliske standarde. U [13] je dat kratak pregled standarda bliskih BSM. U oblasti komunikacija postoji nekoliko standarda koji definišu radio komunikaciju. Sa stanovišta BSM mogu se podeliti u dve grupe.

U prvu grupu spadaju oni koji mogu da definišu

komunikaciju unutar same BSM, odnosno između *mote*ova. Ovdje spadaju IEEE standardi 802.11 za bežične lokalne mreže, 802.15.1 za bežične personalne mreže i 802.15.4 za bežične personalne mreže sa malim bitskim brzinama. IEEE 802.11 i IEEE 802.15.1 su često korišćeni kao najbliži standardi u ranom periodu razvoja BSM ali se od njih ubrzo odustalo zato što nisu mogli da zadovolje problem male potrošnje energije. 2003. godine pojavio se IEEE 802.15.4 standard koji u velikoj meri pokriva zahteve za komunikaciju u BSM i trenutno je najzastupljeniji standard. Ovi standardi definišu fizički sloj i sloj pristupa medijumu. ZigBee standard definiše mrežni sloj i naslanja se u potpunosti na IEEE 802.15.4 standard.

U drugu grupu spadaju standardi koji definišu bežičnu komunikaciju između BSM *gateway*a i Interneta. GSM/GPRS/EDGE, CDMA standardi definišu prenos podataka u mrežama mobilne telefonije druge i treće generacije, respektivno. IEEE 802.16 (WiMAX), se koristi za komunikaciju u ruralnim i perifernim područjima.

Pored standardnih komunikacija razvijen je i veliki broj zaštićenih komunikacionih protokola namenjenih za komunikaciju u BSM. Na tržištu mogu da se nabave kako RPP-i rađeni po nekom od standarda tako i oni koji su specijalizovani za primenu u BSM. U [14] je dat pregled komercijalno raspoloživih RPP-a.

U oblasti senzorskih uređaja postoji IEEE 1451 standard za „pametne“ *transducere* (senzore i aktuatora). Ovaj standard definiše arhitekturu uređaja, koja treba da se sastoji od pristupnog modula uređaja (STIM – *smart transducer interface module*), mrežnog procesora (NCAP – *network capable application processor*) i nezavisnog pristupa uređaju (TTI – *transducer independent interface*). Standard specificira i opis uređaja (TEDS – *transducer electronic data sheet*). U razvoju je IEEE 1451.5 standard, koji treba da poveže bežične senzore i „pametne“ *transducere*. U ovom standardu TTI će biti definisan kao bežični pristup.

*Mote*ovi za BSM su do sada razvijani u dva pravca [15]. Prvi pravac podrazumeva *mote* opšte namene, koji obezbeđuje procesor, AD konvertor, RPP, napajanje, u pojedinim slučajevima često korišćene senzore i ima ekstenziju za priključenje dodatnih senzora. Ovakva platforma pruža mogućnost realizacije širokog spektra aplikacija. Drugi pravac je fokusiran na razvoj specijalizovanih *mote*ova. Na ovaj način moguće je napraviti jednostavniji i jeftiniji *mote*.

Za primenu BSM u preciznoj poljoprivredi, po našim saznanjima do sada nisu pravljeni specijalizovani *mote*ovi već se išlo na upotrebu *mote*ova opšte namene. Razlog je što u oblasti BSM i primene BSM u PP ne postoji zadovoljavajuća regulativa. *Mote*ovi koji su do sada našli primenu u PP su „eN2100“ *mote* [16] firme „Crossbow“ iz „IRIS“ familije; „T-Node“ *mote* firme „SOWNet“ [17] i „Tyndall“ *mote* [18]. „T-Node“ komunicira na 869 MHz, brzinom 38,6/52,2 *kbps* i koristi sopstveni komunikacioni protokol, dok „eN2100“ i „Tyndall“ komuniciraju na 2,4 GHz, brzinom 250 *kbps* i koriste IEEE 802.15.4

komunikacione protokole. „Tyndall“ *mote* može pored RPP-a, koji rade po 802.15.4 standardu, da koristi i druge RPP-e, koji rade na 2,4 GHz, brzinama do 1000 *kbps*. Radni temperaturni opseg za „eN2100“ je (–40, +60) °C, a za „T-Node“ (–10, +70) °C. Temperaturni opseg je bitna karakteristika ukoliko se BSM postavlja na otvoreni prostor. Komunikacioni domet na otvorenom, po specifikaciji proizvođača, je do 500 m za „eN2100“, odnosno 120 m za „T-Node“.

BSM kao ceo sistem spreman da se primeni u PP je realizovalo nekoliko proizvođača među kojima „eKo Pro Series System“ [16] firme „Crossbow“ prednjači. Ovaj sistem je baziran na „eN2100“ *mote*ovima i ima senzore za merenje temperature okoline i vlažnosti okoline i zemljišta. Za povezivanje mreže na računar obezbeđeni su RPP „eKo eB2110“ i *gateway* „eKo eG2100“. Sistem je opremljen i softverom za prikaz podataka „eKo View“.

## V. ZAKLJUČAK

U ovom radu dati su zahtevi za komunikacione sisteme, koji se primenjuju u preciznoj poljoprivredi. Prikazani su rezultati istraživanja o propagaciji elektromagnetnih talasa kroz sredinu sa karakterističnom vegetacijom, koji ukazuju na mali realni domet radio primopredajnika, od 10m do 30m. Prikazani su projekti, koji su integrisali kompletan sistem prikupljanja podataka i donošenja odluka u PP i njihova rešenja slanja podataka preko većih rastojanja, od nekoliko stotina metara do više kilometara. Predstavljena je komercijalno raspoloživa oprema, koja se može primeniti u PP. Iz svega predstavljenog vidi se da još ne postoje standardna rešenja za primenu BSM u PP. Ovo je razumljivo s obzirom na veliki broj scenarija sa raznovrsnim zahtevima. Sa druge strane, to ostavlja još mnogo prostora za dalja istraživanja i razvoj BSM, koje se koriste u PP.

## LITERATURA

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey", *Computer Networks – Elsevier*, Vol. 38, No. 4, March 2002.
- [2] C.F. Garcia-Hernandez, et al., "Wireless Sensor Networks and Applications: A Survey", *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol. 7, No. 3, March 2007.
- [3] J. Taylor, B. Whelan, "A General Introduction to Precision Agriculture", Grains Research and Development Corporation, [www.usyd.edu.au/su/agric/acpa](http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa)
- [4] DIN 1989 – 1998. Standard DIN 9684: Landmaschinen und Traktoren – Schnittstellen zur Signalübertragung.
- [5] ISO 11783 standard – Tractors, machinery for agriculture and forestry – serial control and communication network.
- [6] A. Munack, H. Speckmann, "Communication technology is the Backbone of Precision Agriculture", *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*, Vol. III, May 2001.
- [7] D.L.Vine, M. Karam, "Dependence of attenuation in a vegetation canopy on frequency and plant water content", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1996.
- [8] G. Anastasi, A. Felchi, A. Passarella, M. Conti, E. Gregori, "Performance Measurements of Motes Sensor Networks", *MSWiM'04 Conference*, Venezia, Italy, Oct. 2004.
- [9] J. Thelen, D. Goense, K. Langendoen, "Radio Wave Propagation in Potato Fields", *1st Workshop on Wireless Network Measurements*, Riva del Garda, Italy, Apr. 2005.

- [10] K. Sarabandi, I. Koh, "Effects of canopy-air interface roughness on hf-vhf wave propagation in forests", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.50, No. 2, February 2002.
- [11] A. Baggio, "Wireless sensor networks in precision agriculture", ACM Workshgop on Real-World Wireless Sensor Networks (REALWSN 2005), Stockholm, Sweden, June 2005.
- [12] "GoodFood – Food Safety and Quality Monitoring with Microsystems", FP6 Project, [www.good-food.org](http://www.good-food.org)
- [13] N. Wang, N. Zhang, M. Wang, "Wireless sensors in agriculture and food industry – Recent development and future perspective", Computer and Electronics in Agriculture, Elsevier, Vol. 50, Issue 1, January 2006.
- [14] N. Zogović, G. Dimić, „Evaluacija radio-primopredajnika za primenu u bežičnim senzorskim mrežama“, Konferencija ETRAN, jun 2007.
- [15] N. Zogović, "Evaluacija komercijalno raspoloživih platformi za realizaciju bežičnih senzorskih mreža", konferencija ETRAN, jun 2008.
- [16] Eko Pro Series System and Starter for environmental monitoring, [www.xbow.com](http://www.xbow.com)
- [17] T-Node product sheet, [www.sownet.nl](http://www.sownet.nl)
- [18] J. Barton i ostali, "A Miniaturised Modular Platform For Wireless Sensor Networks", European Conference on circuit Theory and Design, Ireland, September 2005.

#### ABSTRACT

Wireless sensor networks (WSN) are used in a growing number of applications. One of them is data acquisition in agriculture, which facilitates timely and optimal application of agricultural activities in order to achieve higher yield and reduced costs of food production. This paper presents challenges that exist in communication systems in precision agriculture, with emphasis on application of WSNs. A survey of research and existing WSN equipment is provided.

#### **REQUIREMENTS AND TECHNOLOGICAL CAPABILITIES OF COMMUNICATION SYSTEMS IN PRECISION AGRICULTURE**

Nikola Zogović and Goran Dimić