



UDK: 303.645.063

BEŽIČNI SENZORI U POLJOPRIVREDI DANAS, I BUDUĆE PERSPEKTIVE PRIMENE

*Mićo V. Oljača, Đukan Vukić, Đuro Ercegović, Dušan Radivojević,
Nebojša Momirović, Goran Topisirović, Kosta Gligorević,
Branko Radičević, **Vladimir M. Oljača

*Poljoprivredni fakultet - Beograd, Zemun

**Student, Fakultet organizacionih nauka - Beograd

Sadržaj: U radu je dat pregled (današnjeg) skorašnjeg razvoja bežičnih senzorskih tehnologija i standarda za komunikacije putem bežičnih senzora. Dati su primeri bežičnih senzora i senzorskih mreža primenjenih u kontroli sredine u poljoprivredi, preciznoj poljoprivredi, mašinama zasnovanim na M2M komunikaciji i kontrolama procesa, izgradnji i automatizaciji opreme i RFID zasnovanim sistemima praćenja. Rad takođe razmatra prednosti bežičnih senzora i probleme prepreka koje ometaju njihovo brzu primenu u istraživanjima u poljoprivredi. Na kraju, data je i kraća analize razvoja tržišta, razmatrani su budući trendovi razvitka tehnologije bežičnih senzora i primena u poljoprivredi.

Ključne reči: Sistem M2M; ZigBee; Bluetooth; RFID.

Upotrebene skraćenice:

M2M, *machine-to-machine, machine-to-mobile or mobile-to-machine* – mašina-mašina, mašina-mobilni, ili mobilni-mašina;

CAN, *controller area network* – mreža kontrolnog područja;

CDMA, *code division multiple access* – metod pristupa komunikacionim kanalima;

GSM, *global system for mobile communications* – globalni sistem mobilnih komunikacija;

GPRS, *general packet radio service* – usluga koja omogućuje pristup Internetu mobilnim korisnicima; HVAC, *heating, ventilation and air conditioning* – grejanje, ventilacija i regulacija klime;

IEEE, *Institute of Electrical and Electronics Engineers* – Institut inženjera elektronike;

IrDA, *a suite of protocols for infrared data exchange* – paket protokola za razmenu podataka putem tehnologije infracrvenih zraka;

IT, *information technology* – informacione tehnologije;

LAN, *local area network* – lokalna mreža;

MEMS, *micro-electro-mechanical systems* – mikroeletromehanički sistemi;

NCAP, *network capable application processor* – procesor osposobljen za mrežu;

NIST, *National Institute of Standards and Technology* – Nacionalni institut za standarde i tehnologiju; PDA, *personal digital assistant* – lični digitalni pomoćnik, džepni računar;

RAS, *remote application server* – daljinski korisnički server;
RFID, *radio frequency identification technology* – tehnologija prepoznavanja radio frekvencija;
SPWAS, *solar-powered data acquisition stations* – sakupljačke stanice podataka koje rade na solarnu energiju;
STIM, *smart transducer interface module* – interfejs modul sa "pametnim" transduktorom;
TEDS, *transducer electronic data sheet* – transduktorski "list" elektronskih podataka;
TII, *transducer-independent interface* – interfejs sa nezavisnim transduktorom;
USDA, *US Department of Agriculture* – Ministarstvo poljoprivrede SAD;
WiFi, *wireless fidelity, usually refer to any type of IEEE 802.11 network* – bežična lokalna računarska mreža, koja se zasniva na IEEE 802.11 standardu;
WINA, *wireless industrial networking alliance* – bežična industrijska mrežna alijansa;
WLAN, *wireless local area network* – bežična lokalna mreža;
WPAN, *wireless personal area network* – bežična lična mreža;
WPS, *wireless probe system* – sistem bežičnih sondi;
WPSRD, *wireless personal safety radio device* – bežični lični sigurnosni radio uređaj.

1. UVOD

Prema mnogobrojnoj literaturi danas su bežične tehnologije prenosa podataka i signala (Wierles technology) pod ubrzanim razvojem. Naročito se to može konstatovati za poslednjih desetak godina. Vrste bežičnih tehnologija koje se razvijaju variraju od jednostavnih IrDA uređaja, koji koriste infracrveno zračenje za komunikaciju na maloj udaljenosti i od tačke do tačke, WPAN mreža za kratkometražne komunikacije od jedne do više tačaka (poput Bluetooth-a i ZigBee-a), preko WLAN mreža srednjeg dometa, do sistema mobilne telefonije velikih udaljenosti, poput sistema GSM, GPRS i CDMA.

Većina ljudi u Svetu primećuje snažan efekat bežičnih tehnologija uglavnom zbog posebno velikog rasta tržišta mobilnih telefona. Ipak, malo ljudi je shvatilo da će potražnja za širinom opsega bežičnih međuljudskih komunikacija, poput mobilnih telefona, uskoro postati manji deo ukupno raspoložive širine frekventnog opsega, možda samo 3% do kraja dekade (Sensors Magazine, 2004).

Daleko veći potencijal leži u razvijanju i primeni drugih vrsta bežičnih tehnologija, posebno bežičnih senzora i senzorskih mreža, počevši od vojnog i ekološkog nadgledanja, preko "mašina-mašina" komunikacija (M2M) i konačno, do svih mnogobrojnih aspekata života.

Bežična senzorska mreža je sistem sastavljen od prijemnika radio frekvencija (RF), senzora, mikrokontrolera i izvora napajanja. Bežične mreže senzora koje imaju sposobnosti da se same organizuju, konfiguriraju, dijagnostiraju i opravljaju greške razvijene su da reše probleme ili omoguće upotrebe senzora koje tradicionalne tehnologije nisu mogle obezbediti. Kada postanu dostupne, ove tehnologije bi nam omogućile da pronađemo mnoge druge upotrebe koje ranije nisu mogle biti smatrane ostvarljivim.

Tehnologija bežičnih senzora je i dalje u ranoj fazi svog razvitka. Primena bežičnih senzora u poljoprivredi i industriji hrane još uvek je retka. Namena ovog rada je da pruži pregled dostupnih tehnologija bežičnih senzora koje su primenljive u poljoprivredi i industriji hrane. Primeri takve primene mogu se pronaći opsežnijom pretragom literature i Interneta.

2. ZAŠTO BEŽIČNI SENZORI ?

Prednost bežičnog prenosa podataka je značajno smanjenje i pojednostavljenje vodova od žice u opremi za merenje podataka. Procenjeno je (Crossbow Technology Inc, 2004), da tipično opremanje žičanim električnim vodovima u industrijskim postrojenjima košta od 130 do 650 US\$ po jednom metru opreme i da bi prihvatanje bežične tehnologije eliminisalo 20-80% ovih troškova (Sensors Magazine, 2004). Dodatna ušteda u ukupnim troškovima mogla bi se ostvariti efikasnijom kontrolom opreme preko efektivnije kontrole sredine. Primera radi, kompanija "Honeywell" je instalirala bežični sistem radi nadgledanja ventila za ispuštanje viška vodene pare i tako uštedela 100.000 do 300.000 US\$ godišnje.

Bežični senzori omogućavaju u nekim slučajevima nemoguću upotrebu senzora, poput nadgledanja opasnih, rizičnih, nepovezanih i udaljenih predela i lokacija. Ova tehnologija pruža gotovo neograničenu fleksibilnost instalacija senzora i povećanu pouzdanost mreže. Dodatno, bežične tehnologije umanjuju troškove i složenost održavanja.

Bežične senzorske mreže omogućavaju brže dostavljanje i instalaciju raznih tipova senzora, jer mnoge od ovih mreža pružaju sposobnosti da se same organizuju, konfigurišu, dijagnostiraju i opravljaju greške senzorskih čvorova. Neke od njih takođe omogućuju i fleksibilno proširenje mreže.

Tehnologija bežičnih senzora omogućava spajanje MEMS senzora sa pojačavačima signala i radio jedinicama, formirajući tako senzorske čvorove sa veoma niskim troškovima, malim dimenzijama i niskim energetske zahtevima. MEMS senzori statičnosti, pritiska, temperature, vlažnosti, deformacija i razni drugi senzori za merenje udaljenosti, pozicije, brzine i vibracija integrisani su u bežične senzorske čvorove i dostupni su na tržištu (Crossbow Technology Inc, 2004).

Još jedna prednost bežičnih senzora je i njihova mobilnost. Ovi senzori mogu biti smešteni u transportna vozila radi nadgledanja sredine u pokretu. Takođe mogu biti postavljeni i na rotirajuću opremu, poput osovine, da bi se izmerili neki bitni parametri.

Većina bežičnih senzora ima pojačavače i obrađivače signala instalirane na mestu gde su i sami senzori i signal emituju u digitalnom obliku. Usled toga, pojava šuma postaje manje bitan problem. A naravno, pošto su kablovi otklonjeni iz procesa prenosa podataka, pouzdanost signala je povećana.

3. HARDVERSKI I SOFTVERSKI ZAHTEVI ZA BEŽIČNE SENZORE I SENZORSKE ČVOROVE

Hardverske zahteve za bežične senzore čine: (1) otporna i pouzdana radio tehnologija, (2) procesor podataka niske cene i malih energetske potrebe, (3) fleksibilan način unošenja/čitavanja podataka sa raznih senzora, (4) energetske izvor dugog životnog veka i (5) fleksibilna razvojna platforma slobodnog pristupa. Razne vrste senzorskih čvorova, koji su integrisani u radijske procesorske jedinice, razvijene su da bi se zadovoljili ovi zahtevi.

Softverske zahteve za bežičnim sensorima čine: (1) mala štampana ploča za rad sa malim procesorima, (2) efikasna upotreba energije, (3) sposobnost višestruke obrade podataka, (4) visoka modularnost i (5) pouzdano ad-hoc umrežavanje koje zahteva male energetske resurse. "Tiny OS" operativni sistem, koji je u fazi razvitka, služi kao dobar primer takvog softvera. (Crossbow Technology Inc, 2004).

U postavci bežične senzorske mreže, čvor mreže može biti formiran od senzorske table za prikupljanje podataka i malog baterijskog senzorskog čvora, tzv. "mota" (procesorske/radio table). Ovi čvorovi mogu da komuniciraju sa pristupnom jedinicom, koja ima mogućnost komunikacije sa drugim računarima putem drugih mreža, poput LAN-a, WLAN-a, WPAN-a i Interneta. Bežične senzorske table koje su dostupne na tržištu mogu posedovati merače ubrzanja, barometarske senzore pritiska, svetlosne senzore, GPS module, senzore temperature, vlažnosti i akustičnosti, magnetne RPM senzore, magnetometre, piroelektrične detektore IR zastupljenosti, detektore solarne radijacije, senzore vlažnosti i temperature zemljišta, senzore brzine vetra, merače padavina i seizmičke senzore.

4. BEŽIČNI STANDARDI I VLASNIČKE TEHNOLOGIJE BEŽIČNIH SENZORA

Razni bežični standardi su ustanovljeni, i na primer, među njima, standardi za bežični LAN, IEEE 802.11b ("WiFi") (IEEE, 1999b) i bežični PAN, IEEE 802.15.1 (Bluetooth) (IEEE, 2002) i IEEE 802.15.4 (ZigBee) (IEEE, 2003), koji se koriste malo šire za merenja i primene automatizacije. Svi ovi standardi koriste instrumente, naučne i medicinske (ISM) radijske opsege, uključujući i opsege od 902–928 MHz (SAD), 868–870 MHz (Evropa), 433,05–434,79 MHz (SAD i Evropa) i 314–316 MHz (Japan), kao i opsege od 2,400–2,4835 GHz (prihvaćene širom sveta). U globalu, niža frekvencija dozvoljava veći transmisioni domet i jaču sposobnost prodiranja kroz zidove ili staklo.

Ali, usled činjenice da su radio talasi nižih frekvencija lakši za "upijanje" od strane raznih materijala, poput vode ili drveća, i toga da se radio talasi viših frekvencija lakše rasipaju, efektivna transmisiona udaljenost za signale prenošene putem visokofrekventnih radio talasa ne mora biti kraća od one koja je potrebna za signale prenošene niskofrekventnim talasima sa istom vrednošću emisione jačine. Opseg od 2,4 GHz ima širi pojas koji dozvoljava više kanala i menjanje frekvencija, a pri tom i kompaktnije antene.

Bežični LAN (IEEE 802.11) je fleksibilan komunikacioni protokol za podatke postavljen da produži ili zameni žičanu lokalnu mrežu, poput Ethernet. Širina pojasa protokola 802.11b je 11Mbps i radi na frekvenciji od 2,4 GHz. Bluetooth (IEEE 802.15.1) je bežični protokol koji se primenjuje za komunikaciju na kraćim rastojanjima. On koristi radio opsege od 868 i 915 MHz i 2,4 GHz za komunikaciju od 1 Mbit do između 8 uređaja.

Bluetooth se smatra dostojnom zamenom za mobilne uređaje. Uglavnom je predviđen da maksimizira funkcionalnost mreže.

Standard IEEE 802.15.4 je fizička radio specifikacija koja pruža povezivost sa niskim protokom podataka između relativno jednostavnih uređaja koje troše minimalne količine energije i koji su uobičajeno povezani na kraćim rastojanjima. Idealan je za nadgledanje, kontrolu, automatizaciju, opažanje i praćenje u domaćinstvima, medicinskim i industrijskim sredinama. Karakteristike IEEE 802.15.4 su:

- 868 MHz opseg, 1 kanal, 20 kbps;
- 915 MHz ISM opseg, 10 kanala, 40 kbps;
- 2.4 GHz ISM opseg, 16 kanala, 250 kbps;
- povezivanje do 255 uređaja u jednu mrežu;
- potpun protocol za pouzdanost prenosa;
- upravljanje napajanjem za obezbeđivanje niske energetske potrošnje.

ZigBee tehnologija je osnovana od strane ZigBee Alijanse koju podržava u Svetu, više od 70 kompanija članica koje proizvode ili rade na problemima komunikacija i prenošenja podataka. ZigBee tehnologija, postojećem standardu 802.15.4 pridodaje mrežni, bezbedonosni i aplikativni softver. Zahvaljujući svojim niskim energetskeim zahtevima i jednostavnoj mrežnoj konfiguraciji, ZigBee je dugo smatran za najperspektivnijeg od svih bežičnih senzora. Ali, danas su, ZigBee specifikacije su još uvek u razvoju.

Upoređenje tri bežična standarda (Tab. 1), prikazuje, koji su sistemi najpogodniji za bežične senzorske mreže.

Tab. 1. Upoređenje LAN, Bluetooth i Zigbee mreža

Karakteristika	WiFi (IEEE 802.11b)	Bluetooth (IEEE 802.15.1)	ZigBee (IEEE 802.15.4)
Radio	DSSS*	FHSS**	DSSS
Prenos podataka	11 Mbps	1 Mbps	250 kbps
Čvorova po masteru	32	7	64,000
Kašnjenje sistema	Do 3 s	Do 10 s	30 ms
Tip podataka	Video, audio, grafika, slike, fajlovi	Audio, grafika, slike, fajlovi	Mali paketi podataka
Domet (m)	100	10	70
Mogućnost proširenja	Roming omogućen	Ne	Da
Vek baterije za napajanje	Sati	1 nedelja	>1 godina
Cena materijala (US\$)	9	6	3
Složenost sistema	Složen	Vrlo složen	Jednostavan

* DSSS, direct sequence spread spectrum – opseg rasprostiranja sa direktnim nizom

**FHSS, frequency hopping spread spectrum – opseg rasprostiranja sa preskakanjem frekvencija

Bežični standardi takođe regulišu i probleme sa mrežama kod bežičnih senzora. Tri vrste mreža: zvezdasta, hibridna i isprepletana mreža su razvijene i standardizovane. Bluetooth tehnologija koristi zvezdaste mreže, koje čine piko-mreže i skater-mreže. Svaka piko-mreža spaja jedan master čvor sa maksimalno 7 slave čvorova, a u skater-mrežu se spaja više piko-mreža, formirajući tako ad-hoc mrežu. ZigBee tehnologija koristi hibridne zvezdaste mreže koje koriste više master čvorova sa ruterskim sposobnostima koje spajaju slave čvorove, koje nemaju ruterske sposobnosti (Sensicast, 2004).

Najefikasnija mrežna tehnologija koristi peer-to-peer (korisnik do korisnika), isprepletane mreže koje dozvoljavaju svim čvorovima u mreži da poseduju ruterske sposobnosti. Isprepletane mreže dozvoljavaju autonomnim čvorovima da se samointegrišu u mrežu. To takođe omogućuje informacijama iz senzora da se rasprostiru širom mreže sa visokim stepenom pouzdanosti i preko šireg područja. Dodatno, to omogućuje vremensku sinhronizaciju i nisku potrošnju energije "oslušivača" u mreži, produžujući na taj način vek baterije (Crossbow Technology Inc, 2004).

Kada veći broj bežičnih senzora treba da bude povezan u jednu mrežu, nekoliko nivoa umrežavanja može biti kombinovano. Primera radi, 802.11 (WiFi) isprepletana mreža, sačinjena od najmodernijih čvorova, poput pristupnih jedinica, može biti postavljena na ZigBee senzorsku mrežu da bi se tako održao visok nivo performansi u ispitivanju.

Daljinski aplikativni server (RAS) takođe može biti postavljen u polju, blizu lokalne senzorske mreže, da njom upravlja, sakuplja lokalizovane podatke, hostuje aplikacije sa mreže, daljinski pristupa mobilnoj mreži putem GSM/GPRS tehnologija ili CDMA zasnovanog modema i na kraju pristupa Internetu i udaljenim korisnicima (Crossbow Technology Inc, 2004)

Vlasničke tehnologije bežičnih senzora razvijene su čak i pre donošenja raznih standarda. Primera radi, Crossbow Technology je proizvela seriju proizvoda bežičnih senzora, uključujući pominjane "motove" koje rade na raznim frekvencijama, razne senzorske table i pristupne jedinice. Novi model "motova" skoro je razvijen da bi bio kompatibilan sa ZigBee specifikacijama. Novi model "motova" koji se trenutno razvija omogućavao bi emitovanje signala preko razdaljina od nekoliko milja (Crossbow Technology Inc, 2004). Freescale Semiconductor, Inc. takođe proizvodi softver i hardver koji zadovoljava standarde senzorske bežične mreže (Feescale, 2004.).

5. PRIMENA BEŽIČNIH SENZORA I MREŽA U POLJOPRIVREDI

Upotreba bežičnih senzora i mreža u poljoprivredi (i prehrambenoj industriji) je još uvek u početnoj fazi. Njihova primena se može pojaviti u pet kategorija: (1) praćenje stanja sredine, (2) precizna poljoprivreda, (3) kontrola mašina i procesa, (4) izgradnja i automatizacija postrojenja i (5) sistemi za praćenje.

5.1. Praćenje stanja sredine

Uprkos ubrzanom razvoju računarskih tehnologija, određeni podaci ispitivanja sa terena, kao što su vremenska prognoza i tehnološka ispravnost – kvalitet vode, i dalje zavise od stacionarnih senzora i baza podataka, i klasične merne opreme, olovke i papirnih sveski, koji su međutim skloniji pravljenju grešaka prilikom obrade podataka (Vivoni i Camilli, 2003). U Srbiji (2008), na kontinualnom praćenju stanja čovekove okoline, danas rade određene Institucije koje na primer za praćenje meteoroloških podataka ili kvaliteta vode i vazduha koriste kombinaciju merne opreme koja u nekim delovima ima i savremeniju opremu koja uključuje i bežični prenos podataka do centralnih računarskih jedinica (Meteorološki zavod Srbije). Takođe postoje merni uređaji (senzori) koji su daljinskim putem dostavljali podatke merenja centralnom računaru, o zagađenju vazduha (na primer: 18 mernih mesta za SO₂ i 4 merna mesta za CO₂), na teritoriji Beograda, za studiju kvaliteta vazduha u Beogradu (2007).

5.1.1. Praćenje vremenskih prilika

Postoje podaci istraživanja, (Discovery Channel, 2003) o primeni bežičnih senzora i mreža u vinogradima u Britanskoj Kolumbiji u Kanadi. U ovom istraživanju 65 senzorskih mesta je bilo instalirano na 40 ha zemljišta sa vinogradom, da bi se daljinski pratili parametri: temperatura, vlažnost zemljišta, brzina vetra, i jačina sunčevih zraka. Dobijeni podaci su bežičnom tehnologijom prenešeni u PC računar (kontrolni centar) svakih 5 minuta. Na ovaj način korisnik je lako mogao da nadgleda svaki deo vinograda, imajući podatke u realnom vremenu radi sprečavanja štete od mraza, načina organizovanja navodnjavanja, rasporedu đubrenja i rasporedu berbe.

5.2. Precizna poljoprivreda

Bežični senzori se koriste u preciznoj poljoprivredi u cilju pomoći pri (1) prikupljanju podataka u prostoru, (2) preciznom navodnjavanju, (3) tehnologiji promenljivog kretanja i (4) distribuciji podataka farmerima.

5.2.1. Prikupljanje podataka u prostoru

Mobilni sistem za prikupljanje podataka je razvijen od strane Gomide et al. (2001) radi prikupljanja podataka za upravljanje i prostorno-varijabilne studije. Sistem se sastoji od vozila za prikupljanje podataka, rukovaoca vozilom i sistema za kontrolu i upravljanje podacima mašinama na farmi. Sistem je bio u stanju da izvrši lokalno snimanje terena i prikupi podatke o vlažnosti, čvrstini i snabdevenosti zemljišta potrebnim elementima, količini prinosa biomase, indexu lisnate površine, temperaturi lista, sadržaju hlorofila, količini potrebne vode za biljke, lokalnim vremenskim uslovima, napadu insekata ili biljnih bolesti, prinosu po zrnui, slično. Vozilo za prikupljanje podataka prikuplja podatke iz mašina putem sistema WLAN-a i analizira, skladišti i šalje bežično podatke operateru vozila. Operater i mehaničari u vozilu prate performanse rada mašina sa farme i zahteve sistema za podacima, rešavajući probleme na osnovu povratnih informacija.

5.2.2. Prezirno navodnjavanje zemljišta

Damas et al. (2001) su razvili i testirali raspodeljene, daljinski kontrolisane, automatske sisteme za navodnjavanje radi kontrole 1500 ha oblasti za navodnjavanje u Španiji. Oblast je bila podeljena u sedam podregiona sa ukupno 1850 instaliranih hidranata. Svaki podregion je praćen i kontrolisan od strane kontrole tog sektora. Sedam kontrola svakog sektora je komuniciralo međusobno preko centralne kontrole putem WLAN mreže. Testovi na terenu su pokazali 30 do 60% uštede u potrošnji vode upotrebljene za navodnjavanje.

Evans and Bergman (2003) su vodeći u USDA istraživačkoj grupaciji koja izučava precizne, samopogonske, linearno pokretačke i centralno postavljene sisteme navodnjavanja. Bežični senzori su korišćeni u sistemu za podršku rasporedu navodnjavanja kombinujući podatke o vremenskim prilikama, daljinskom korišćenju podataka i želji korisnika.

Prema podacima (AVITAL d.o.o., Beograd, Netafim Irrigation, 2007) na 140 ha voćnjaka za jabuke u Srbiji (Kompanija BioStar, Vojvoda Stepa, 2007.) ugrađeno je 40 senzorskih davača u kombinovanu mrežu prikupljanja podataka za praćenje: temperature vazduha, brzine vetra, vlažnosti zemljišta. Podaci su poslani upravljačkoj jedinici NMC 64, zbog kontrole početka ili kraja navodnjavanja u sistemu kap-po-kap sa mogućnosti istovremenog dodavanja vodotopivih đubriva.

5.2.3. Distribucija podataka farmerima

Jensen et al. (2000) razvija Web server koji omogućuje dobijanje informacija o štetočinama i biljnim bolestima i vremenskoj prognozi. Farmeri mogu da dobiju informacije direktno preko Interneta koristeći ih za svoje planiranje i raspoređivanje poljoprivrednih poslova u određenim fazama. USDA (Flores, 2003) je sproveda istraživanje u Misisipiju radi razvijanja sistema brze bežične mreže da bi pomogla farmerima da dobiju slike vremenski prilika i prognoze preko WLAN-a do svojih ličnih računara. Ovi podaci se uglavnom korišćene za precizno organizovanje farmerskih poslova.

5.3. Mašine i kontrola procesa – M2M

M2M ja tehnologija koja podržava žičane ili bežične (WPAN, WLAN, mobilni sistemi...) komunikacije između mašina, od mašine do mobilnog primača signala ili obrnuto. M2M tehnologija uveliko povećava automatizaciju sistema (mašinskog sistema,

procesa ili posla) i integriše imovinu u okviru sistema sa IT sistemom. Ovaj koncept je uglavnom razvijen za industriju. Primeri primene M2M tehnologije u poljoprivredi mogu biti kategorizovani na (1) navođenje vozila (2) upravljanje mašinama (3) robotsku kontrolu i (4) kontrolu procesa, iako nijedna od ovih primena ne koristi M2M tehnologiju u pravom smislu.

5.3.1. Navođenje vozila

Sistem komunikacije između vozila zasnovan na WLAN-u ispitivan je (Guo and Zhang, 2002) da bi se razmenjivale informacije između vozila o stanjima vozila i operacionoj kontroli. Laboratorijski i testovi na terenu su pokazali izvodljivost bežične komunikacije između vozila koja učestvuju u pojedinim agrotehničkim operacijama.

Stentz et al. (2002) su razvili bežični link između traktora i nadzora u agregatu koji sačinjavaju polu-nezavisni traktori. Svaki traktor opremljen odgovarajućim senzorima imao je mogućnost da detektuje ljude, životinje ili druga vozila na unapred definisanoj putanji kretanja. Traktor je morao da stane pre nego što udari u prepreku, i tako da stoji sve dok ne primi komande od supervizora preko bežičnog linka, za nastavak radne operacije.

5.3.2. Upravljanje mašinama

McKinion et al., 2003, McKinion et al., 2004a i McKinion et al., 2004b su uspostavili komunikacioni sistem baziran na WLAN-u radi povezivanja farme (stanice) sa mašinama, kao što su kombajni za pamuk, oprema za zaštitu, različita oprema i ručni digitalni asistenti u polju, koji dozvoljavaju brzu tačnu i dvosmernu komunikaciju. Krallmann and Foelster (2002) navode da pokretni sistem za poljoprivredne mašine zahteva WLAN sa brzinom prenosa od 11 Mbit/s, da bi se obezbedila maksimalna dostupnost i minimizirano vreme nedostupnosti sistema.

5.4. Automatizacija kontrolisanih prostora

Poljoprivredni objekti kao što su staklenici i objekti sa životinjama uključuju HVAC, kontrolu osvetljenja, upravljanje energijom, kontrolu pristupa i bezbednost od požara. Standardi za žičane HVAC sisteme kontrole (Lon Works, Bzc Net.) su odavno u eksploataciji, dok se standardi za bežične sisteme trenutno razvijaju (Crossbow Technology Inc., 2004).

5.4.1. Kontrola staklenika

Serôdio et al., 1998 i Serôdio et al., 2001 su razvili i testirali sistem za upravljanje i kontrolu za više staklenika. Više komunikacionih tehnika je korišćeno za razmenu podataka. U svakom stakleniku je korišćena WLAN mreža sa frekvencijom od 433,92 MHz da se poveže mrežni senzor sa lokalnim kontrolorom. Kontrolna prostorna mreža (CAN) je obezbeđena radi povezivanja mreže za izvršenje komandi sa lokalnim kontrolorom. Kroz drugu radio vezu (458 MHz) nekoliko lokalnih kontrolora je povezano sa glavnim PC računarom.

Morais et al. (1996) su implementirali bežičnu mrežu koja je služila da prikupi spoljne i unutrašnje klimatske podatke za plastenike u Portugaliji. Nekoliko solarnih sakupljačkih stanica (SPWAS) je postavljeno unutar i van staklenika da bi se merili lokalni klimatski uslovi. Radio linkovi su postavljeni između sakupljačkih stanica i bazne stanice, koja je korišćena da kontroliše SPWAS-stanice i čuva podatke.

Momirović N., Vasić B., Oljača V.M. (2007), u istraživanjima *kontrole mikroklimе u plastenicima*, za proizvodnju povrća u zaštićenom prostoru, eksperimentalno koriste bežičnu kontrolu centralnog PC računara i programa, koji imaju mogućnost delimične intervencije u automatskom pokretanju sistema ventilacije plastenika. Istraživanja su sprovedena na oglednom polju d.o.o. "Zeleni Hit", Beograd, Srbija.

5.4.2. Prostorije za boravak životinja

Praćenje klimatskih uslova u štali može pomoći održavanju dobrog zdravlja životinja. Pessel i Denzer (2003) su razvili prenosivi instrument za merenje temperature, relativne vlažnosti, buke, osvetljenosti i procenat amonijaka u vazduhu u štali. Ovaj instrument prenosi podatke do računara preko tehnologije infracrvenih zrakova.

Kvalitet vazduha u prostorima za jahanje konja je veoma važan za konje, kao i za jahače. Da bi pratili temperaturu i vlažnost u halama korišćeno je nekoliko Hob-Pro merača sa bežičnim radio modemima (Onset Computer Corporation, Pacasset, Masačusets) koje je ispitivao Wheeler et al. (2003). Podaci su prebacivani do centralne PC jedinice sa 900 Hz ISM radio opsega. Na ovaj način su se kontrolisali uslovi u halama gde su potrebni strogo kontrolisani uslovi u pogledu vlažnosti i kvaliteta vazduha.

Topisirović i Radivojević (2005), ispituju uticaj kontrole rada ventilacionih sistema (brzina strujanja i temperatura vazduha) na raspodelu koncentracije prašine u objektima za svinje sa tri različite sistema ventilacije u 20 mernih tačaka. Temperatura vazduha (merna mesta raspoređena u 40 tačaka u objektu), kao parametar merenja je do centralnog PC računara prenešena bežičnom sistemom veza.

5.5. Sistemi za praćenje (RFID)

Sa povećanim zahtevima za bezbednošću, kompletna dokumentacija proizvoda (hrane), od polja do korisnika je postala veoma tražena (Thysen, 2000). RFID je prihvaćen kao nova tehnologija za dobro strukturiran sistem praćenja prikupljanja podataka kao i praćenja ljudi, životinja i proizvoda (Sahin et al., 2002). Predviđeno je da će primena RFID-a značajno porasti u sledećih deset godina, sa godišnjim rastom (2003-2010.) od 32,2% (Sangani, 2004). Da bi podržali ove velike potencijale RFID tehnologije, mnoga istraživanja ovog problema su danas intenzivirana.

5.5.1. Identifikacija i praćenje zdravlja životinja u stočarstvu

Nagl et al. (2003) su dizajnirali prenosivi sistem za praćenje zdravlja stoke u određenom periodu, koji sadrži senzore uključujući GPS uređaj, merač pulsa, merač telesne temperature, elektronski pojas, merač disanja i merač spoljne temperature. Sistem je komunicirao bežično sa baznom stanicom preko sistema Bluetooth. Taylor and Mayer (2004) su napravili studiju o "pametnom" životinjskom menadžment sistemu. Svakoј životinji je stavljen bežični senzor kojim se mogu obezbediti informacije o lokaciji i zdravlju. Haapala (2003) je testirao performanse elektronskih identifikacionih tagova i različitih čitača na stoki u ekstremno hladnim uslovima u Finskoј. Brown-Brandl et al. (2001) su testirali kratkodometni sistem telemetrije za merenje temperature tela kod živine, goveda i ostale stoke. Odašiljači temperature su ubacivani u tela životinja. Com Temp primač podataka je primao podatke o temperaturi bežično. Rezultati testa su pokazali dobru preciznost, detaljnost i vreme odgovora za merenje temperature. Kononoff et al. (2002) su koristili bežični automatski sistem za beleženje žvakanja i jedenja da bi ispitao uticaj dijetetskih faktora na normalnu funkciju preživanja kod krava muzara.

6. SITUACIJA NA TRŽIŠTU

Danas se senzori sve više razvijaju, a njihova cena se kontinualno smanjuje. Skorašnji trendovi razvijanja novih standarda su doveli do nastajanja jeftinih visoko funkcionalnih bežičnih sistema. Korišćenje bežičnih senzora i cela M2M tehnologija se pokazala finansijski korisnim za preduzetnike u veoma kratkom vremenskom roku.

Tržište bežičnih senzora je imalo stalni porast u prošloj deceniji. U 2004. prodato ih je od 200.000 do 500.000. Ovaj broj je porastao na 6 do 10 miliona u 2006. Prema World Inc. (2004) predviđa se da "kada tržište dosegne kritičnu masu do 2008. godine ovaj segment će rasti najmanje 200% godišnje, sve dok se tržište ne promeni".

Kao važnoj komponenti tehnologije senzora, prihodu od RFID proizvoda je takođe predviđen stabilan rast u narednih 6 godina. Očekuje se da će bežična M2M tehnologija imati prihod od 4 milijarde dolara po godini do 2008. (Alexander Resources, 2004).

Bežična industrijska mrežna alijansa (WINA) podržana od strane Ministarstva energetike SAD-a predvidela je da visoko raširena upotreba bežičnih senzora može poboljšati proizvodnju i energetska efikasnost za 10%. WINA je izjavila da "bežične tehnologije i bežični mrežni sistemi su potencijalna velika pomoć industriji SAD-a u korišćenju energije i materijala efikasnije, smanjenju sistemskih infrastrukturnih troškova, smanjenju troškova proizvodnje i povećanju produktivnosti." (WINA, 2004).

7. PROBLEMI U KORIŠĆENJU SENZORSKE TEHNOLOGIJE

Razvoj bežičnih senzor tehnologija je bio različitih uspeha. Uprkos činjenici da su potencijali ove tehnologije prepoznati od strane mnogih i da je razvoj ove tehnologije optimistički podržan od strane industrijskih alijansi, usvajanje bežičnih senzorskih tehnologija nije bilo brzo kao što se očekivalo. Glavne prepreke mogu uključivati:

1. Standardizacija još nije završena.
2. Rani usvajači ove tehnologije još "ispravljaju neke greške" dok ostali čekaju dokaz o uspešnosti toga.
3. Masivna količina podataka generisanih od strane bežičnih senzora imaju mogućnost da preoptereće, a ipak obezbeđuju ograničene vrednosti, osim ako strukture i procesi nisu na pravom mestu da iskoriste njihove mogućnosti.
4. Postojeća IT struktura, komunikaciona struktura zasnovana na kablovima, nije dizajnirana za mnogo zahteva i značajne promene.
5. Kompatibilnost sa postojećim sistemima nije prilagođena, tako da postojeći sistemi sprečavaju uvođenje bežične tehnologije. Kompletno usvajanje može zahtevati odbacivanje postojeće, žičane infrastrukture i promenu na *status quo*. Kada se implementira, fleksibilnost infrastrukture može biti ograničena.
6. Bezbednost podataka mora biti obezbeđena, WLAN bezbedonosna kriza može služiti kao dobar primer.
7. Kompleksnost i visoki troškovi pokrivanja velikih prostora sprečavaju brzo usvajanje.
8. Obezbeđenje električne energije je uvek veliki problem kod bežičnih sistema.
9. Pouzdanost bežičnih sistema ostaje nedokazana i smatraju se previše rizičnim za kontrolu procesa.
10. Nedostatak iskusnog osoblja za popravku eventualnih kvarova.

8. BUDUĆI TREND OVI PRIMENE U POLJOPRIVREDI

U prošlosti preterano povezivanje žicama se smatralo znakom tehnološkog napretka čak i za pokretna vozila. Na primer, 1955. godine, ukupna dužina žica u najmodernijim vozilima je iznosila 45 metara. Ovaj broj je porastao na 4 km u najnovijim vozilima iz 2002. Iako su mreže u vozilima, kao kontrolne mreže, smanjile količinu žica u njima, najnaprednije upravljačke tehnologije na modernim vozilima se i dalje zasnivaju na žicama, "upravljanje preko žica", "kočenje preko žica"...

Ali zamena "X količine prenosa preko žica" sa "X količine prenosa preko bežične tehnologije" se i dalje smatra nepouzdanim i nebezbednim. Iako je auto industrija počela da razmatra zamenu žica bežičnim tehnologijama, poljoprivredna mašinska industrija nije. Zato mnogobrojna istraživanja potvrđuju da će auto industrija u najskorije vreme uvesti bežične tehnologije, a da će do ovoga procesa doći i kod poljoprivrednih mašina, ali sa određenim zastojem.

Velike moćne mašine u poljoprivredi su postale glavni alat za većinu poljoprivrednih operacija. Ove mašine nanose trajnu štetu zemljištu, pre svega procesom sabijanja u toku kretanja po površini zemljišta. Poljoprivredne mašine troše velike količine goriva. Naznačena je mogućnost korišćenje malih robota koji mogu biti programirani da izvršavaju razne poslove u usevima, staklenicima, voćnjacima i eventualno, kako bi moglo doći do zamene velikih mašina.

Bežični senzori i kompjuterski programirani roboti su savršene kombinacija da bi se realizovale navedene mogućnosti. Lokalna bežična mreža može biti realizovana preko WLAN-a preko koje se mogu izvršavati sistematski i precizno razne operacije. Kako raste interesovanje za kvalitetom, bezbednošću i zdravijom hranom, oštrije inspekcije agroproizvoda su sve više obavezne. Praćenje celog lanca proizvodnje hrane od farmi do potrošača postaje sve više popularno. RFID se smatra najvažnijim identifikacionim alatom za uspostavljanje efektivnog "sistema praćenja" (Sahin et al., 2002). U poređenju sa tradicionalnom bar kod tehnologijom, RFID omogućava dodeljivanje "inteligentnog koda (oznake)" svakom proizvodu koji se može očitati u svakoj poziciji bez fizičkog kontakta sa čitačem.

Inteligentna oznaka se može obnavljati ili dopuniti tokom celog lanca da bi obezbedio kompletne podatke o rastu, obradi, pakovanju, distribuciji, skladištenju... Kada se kombinuje sa bežičnim sensorima RFID sistem može beležiti parametre okoline i specifične o kvalitetu i bezbednosti tokom celog lanca proizvodnje. Predviđa se da će razvoj RFID tehnologije i bežičnih senzora u praćenju proizvoda doživeti veliki prosperitet u bliskoj budućnosti.

9. ZAKLJUČAK

PC računari su dobili širu primenu u nauci pre 60 godina. Razvoj računara ja bio u tri faze. Prva faza je bila (1940–1980), gde je jedan kompjuter deljen između više ljudi. Druga faza (još traje delimično) stavlja PC računar i čoveka jedno naspram drugog u nepovoljan položaj. I treća faza koja počinje je situacija kada više PC računara opslužuje jednog čoveka bilo gde u svetu.

Ljudi ovu fazu nazivaju dobom mirne tehnologije ("*age of calm technology*") ili masovnog korišćenje PC računara gde se tehnologija pojavljuje u svim aspektima života i oslobađa ljude velike količine "inteligentnog rada" (Weiser, 1996). Sensors Magazine (2004) je ovu ideju predstavio tako da "virtuelno sve može biti obavljano preko malih sistema zasnovanih na sensorima koji mogu biti povezani u beskonačnu mrežu drugih uređaja koji obavljaju zadate funkcije".

Opisani koncept može biti primenjen u svakom polju delatnosti ljudi, uključujući poljoprivredu i industriju hrane. Bežični senzori i mreže su ušli na farme i plantaže i tako imaju sigurnu budućnost.

LITERATURA

- [1] Alexander Resources, 2004. Wireless M2M and Telemetric: *Gaining Value in Vertical Markets*, on the <http://www.alexanderResources.com>.
- [2] AVITAL-Beograd-Netafim Irrigation, 2007.: *Glavni projekat mikro-irigacionog sistema voćnjaka*, BioStar, d.o.o, Vojvoda Stepa, Srbija.
- [3] Brown-Brandl, T. Yanagi, H. Xin, R.S. Gates, R. Bucklin and G. Ross, *Telemetry system for measuring core body temperature in livestock and poultry*. ASAE Paper No.: 01-4032, The American Society of Agriculture Engineers, St. Joseph, Michigan, USA (2001).
- [4] Butler, P. Corke, R. Peterson and D. Rus, *Virtual fences for controlling cows*, *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation* New Orleans, LA, USA, April 26–May 1 (2004), pp. 4429–4436.
- [5] Chandler S., Vision of the future for smart packaging for brand owners, *Proceedings of the International Conference on Smart and Intelligent Packaging* Barcelona, Spain, October 28–29 (2003), pp. 253–269.
- [6] Charles K., Stenz A., 2003. *Automatic Spraying for Nurseries*. USDA Annual Report. Project Number: 3607-21620-006-03. September 22, 2000–August 31, 2003. USDA, USA.
- [7] Crossbow Technology Inc., Smart Dust/Mote Training Seminar, Crossbow Technology, Inc., San Francisco, California (2004) July 22–23.
- [8] Cugati S., W. Miller and J. Schueller, *Automation concepts for the variable rate fertilizer applicator for tree farming*, *The Proceedings of the 4th European Conference in Precision Agriculture* Berlin, Germany, June 14–19 (2003).
- [9] Damas M., A.M. Prados, F. Gómez and G. Olivares, *HidroBus[®] system: fieldbus for integrated management of extensive areas of irrigated land*, *Microprocessors Microsyst.* 25 (2001), pp. 177–184.
- [10] Discovery Channel, 2003. <http://www.exn.ca/video/?video=exn20030925-wine.asx>.
- [11] Evans R., Bergman J., 2003. *Relationships Between Cropping Sequences and Irrigation Frequency under Self-Propelled Irrigation Systems in the Northern Great Plains (Ngp)*. USDA Annual Report. Project Number: 5436-13210-003-02. June 11, 2003–Dec. 31, 2007.
- [12] Flores A., *Speeding up data delivery for precision agriculture*, *Agric. Res. Mag.: The United State Department of Agriculture (USDA)* 51 (2003) (6), p. 17.
- [13] Frost and Sullivan, 2004., on the <http://www.mindbranch.com/products/R49-216.html>.
- [14] Gebresenbet G., D. Ljungberg, G. Van de Water and R. Geers, *Information monitoring system for surveillance of animal welfare during transport*, *Proceedings of the 4th European Conference in Precision Agriculture* Berlin, Germany, June 14–19 (2003).
- [15] Gomide R.L., R.Y. Inamasu, D.M. Queiroz, E.C. Mantovani and W.F. Santos, *An automatic data acquisition and control mobile laboratory network for crop production systems data management and spatial variability studies in the Brazilian center-west region*. ASAE Paper No.: 01-1046, The American Society of Agriculture Engineers, St. Joseph, Michigan, USA (2001).
- [16] Heimerdinger U., Wireless probes revolutionize moisture measurement when drying wood, *Proceedings of the 51st Western Dry Kiln Association Meeting* Reno, Nevada, USA, May 5–7 (2000), pp. 63–66.
- [17] Hirakawa A.R., A.M. Saraiva and C.E. Cugasca, Wireless robust robot for agricultural applications, *Proceedings of the World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources* Iguacu Falls, Brazil, March 13–15 (2002), pp. 414–420.
- [18] *Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-Transducer to Microprocessor Communication Protocol and Transducer Electronic Data Sheet*. IEEE Standard 1451.2. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 345 East 47th Street, New York, NY.

- [19] Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-Network Capable Application Processor (NCAP) Information Model. IEEE Standard 1451.1. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 345 East 47th Street, New York, USA.
- [20] Jensen A.L., P.S. Boll, I. Thysen and B.K. Pathak, PI@nteInfo: a web-based system for personalized decision support in crop management, *Comput. Elect. Agric.* 25 (2000), pp. 271–278.
- [21] Krallmann J. and N. Foelster, Remote service systems for agricultural machinery, *Proceedings of the 2002 ASAE Automation Technology for Off-Road Equipment* Chicago, Illinois, USA, July 26–27 (2002), pp. 59–68.
- [22] Kvalitet životne sredine grada Beograda u 2007. godini, Gradska Uprava, Beograd, 2007.
- [23] Lee W.S., T.F. Burks and J.K. Schueller, Silage yield monitoring system. ASAE Paper No.: 02-1165, The American Society of Agriculture Engineers, St. Joseph, Michigan, USA (2002).
- [24] Liu G. and Y. Ying, Application of Bluetooth technology in greenhouse environment, monitor and control, *J. Zhejiang Univ., Agric. Life Sci.* 29 (2003), pp. 329–334.
- [25] Mahan J., Wanjura D., 2004. Upchurch, Design and Construction of a Wireless Infrared Thermometry System. The USDA Annual Report. Project Number: 6208-21000-012-03. May 01, 2001–September 30, 2004.
- [26] McKinion J.M., S.B. Turner, J.L. Willers, J.J. Read, J.N. Jenkins and J. McDade, Wireless technology and satellite Internet access for high-speed whole farm connectivity in precision agriculture, *Agric. Syst.* 81 (2004), pp. 201–212.
- [27] Momirović N., Vasić B., Oljača V.M. (2007), Tehnički sistemi za kontrolu mikro klime u plastenicima, *Poljoprivredna tehnika*, No 4., str. 55-72, Godina XXXII, Beograd.
- [28] Pessel G.J. and H. Denzer, Portable and mobile instrument for continuous stable climate measurement, *Proceedings of the 4th European Conference in Precision Agriculture and the 1st European Conference on Precision Livestock Farming* Berlin, German, June 14–19 (2003).
- [29] Ribeiro A., L. Garcia-Perez, Garcia-Alegre and M.C. Guinea, A friendly man-machine visualization agent for remote control of an autonomous tractor GPS guided., *The Proceedings of the 4th European Conference in Precision Agriculture* Berlin, Germany, June 14–19 (2003).
- [30] Serôdio C., J.B. Cunha, R. Morais, C.A. Couto and J.L. Monteiro, A networked platform for agricultural management systems, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 31, Elsevier (2001) pp. 75–90.
- [31] Stentz A., C. Dima, C. Wellington, H. Herman and D. Stager, A system for semi-autonomous tractor operations, *Autonomous Robots* 13 (2002), pp. 87-104.
- [32] Topisirović G., Radivojević D. (2005). *Influence of Ventilation Systems and Related Energy Consumption on Inhalable and Respirable Dust Concentrations in Fattening Pigs Confinement Buildings*. *Energy and Buildings* 37 (2005), p.p. 1241 – 1249. Elsevier.
- [33] Wheeler E.F., J.L. Zajackowski and N.K. Diehl, Temperature and humidity in indoor riding arenas during cold weather. ASAE Paper No.: 03-4090, The American Society of Agriculture Engineers, St. Joseph, Michigan, USA (2003).
- [34] Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band. IEEE Standard 802.11b. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 345 East 47th Street, New York, USA.
- [35] Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs). IEEE Standard 802.15.1. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 345 East 47th Street, New York USA.
- [36] Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). IEEE Standard 802.15.4. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 345 East 47th Street, New York, USA.
- [37] Weiser, M., 1996. Open House, <http://www.ubig.com/hypertext.weiser/wholehouse.doc>

Rad je rezultat dela istraživanja u okviru realizacije projekata evidencionog broja TR 20092, TR 20012 i TR-20069, koje finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj R. Srbije.

WIRELESS SENSORS IN AGRICULTURE, CARRENT DEVELOPMENT AND FUTURE PERSPECTIVE

***Mićo V. Oljača, Đukan Vukić, Đuro Ercegović, Dušan Radivojević,
Nebojša Momirović, Goran Topisirović, Kosta Gligorević,
Branko Radičević, **Vladimir M. Oljača**

**Faculty of Agriculture - Belgrade, Zemun*

***Student, FON - Belgrade*

Abstract: This paper presents an overview on recent development of wireless sensor technologies and standards for wireless communications as applied to wireless sensors. Examples of wireless sensors and sensor networks applied in agriculture for environmental monitoring, precision agriculture, M2M-based machine and process control, building and facility automation and RFID-based traceability systems are given. The paper also discusses advantages of wireless sensors and obstacles that prevent their fast adoption in agricultural research. Finally, based on an analysis of market growth, the paper discusses future trend of wireless sensor technology development in agriculture.

Key words: *System M2M; ZigBee; Bluetooth; RFID.*