



Analiza relativne tačnosti GPS prijemnika ugrađenih u android telefon i u samostalnu jedinicu

Marko Kostić^{a*}, Nebojša Dedović^a

^aUniverzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za poljoprivrednu tehniku, Srbija

*Autor za kontakt: marko.kostic@polj.uns.ac.rs

SAŽETAK

Uvođenje GPS tehnologije i drugih sistema u poljoprivredu omogućilo je potpuno drugačiji uvid u proizvodnju uz povećanje preciznosti i produktivnosti mašinskih sistema, bolje prostorno planiranje, analizu prostorne heterogenosti i postavilo osnovu za njenu punu optimizaciju. GPS uređaji su široko rasprostranjeni u širokom rasponu cena i mogućnosti. U tom smislu, ovaj rad je imao za cilj da prikaže pojedinačne performanse dva različito koncipirana GPS prijemnika u jednodnevnom testu u dinamičkom i statičkom režimu. U okviru studije korišćen je Holux RCV-3000 i android telefon Xiaomi Note 7 u komparativnom testu gde je kao kontrolni GPS upotrebljen Trimble EZ-Guide 250 koji ima deklarisanu performanse. Na osnovu rezultata ustanovljeno je da Xiaomi Note 7 GPS lokacije imaju veću pouzdanost i manje relativno odstupanje u odnosu na lokacije dobijene od Holux RCV-3000 što je rezultat unapređenog GPS prijemnika kod Xiaomi Note 7 koji može da prima signale sa više GPS platformi. Takođe, mobilni telefoni primaju podatke sa GSM mobilne mreže što dodatno poboljšava tačnost određivanja lokacije. Prosečno izmereno odstupanje za GPS Holux RCV-3000 iznosilo je 1,77 m dok je za Xiaomi Note 7 bilo 1,3 m. Maksimalno izmereno odstupanje lokacije merene sa GPS Holux RCV-3000 je bilo 6.37 m, dok je za Xiaomi Note 7 bilo 3,35 m.

KLJUČNE REČI: GPS, tačnost, preciznost, android

Uvod

Sistem globalnog pozicioniranja primenom orbitalnih satelita (GPS) otvorio je vrata široj primeni precizne poljoprivrede. S obzirom na to da je biljna proizvodnja povezana s velikim površinama, potreba za određivanjem prostorne lokacije u vidu geografske adrese (širina i dužina) neophodna je da bi se aktivnosti mogle izvoditi prema unapred prostorno definisanim protokolima. Sve što dolazi sa polja kao podatak, ukoliko sadrži geografsku adresu, ima višestruko veću upotrebnu vrednost u daljoj analizi. Globalni navigacioni satelitski sistem (GNSS) standardni je industrijski izraz za satelitske navigacione sisteme koji pružaju geoprostorno pozicioniranje na Zemljinoj ili blizu njene površine. GPS prijemnici, na osnovu ovih radio-signalata mogu da odrede svoju poziciju. Široko prihvatanje GPS prijemnika tokom proteklih 10–15 godina od strane civilnih korisnika podstaklo je razvoj nove generacije GNSS, nazvane GNSS-2 sistemi. Glavna razlika između sistema GNSS-1 i GNSS-2 je kvalitet radio-signalata. Ukoliko se koristi GNSS-1 za dobijanje povišene tačnosti pozicioniranja za civilne korisnike, potreban je drugi signal (diferencijalni korekcionni signal). GNSS-2 sistemi će imati povećanu tačnost bez diferencijalnog signalata i nosiće informacije na više frekventnih opsega.

U poljoprivredi GPS se upotrebljava u više namena. Prevažodno, danas dominira korišćenje tzv. GPS navigatora sa ručnim ili automatskim upravljanjem, koji omogućavaju tačnije kretanje traktorskog agregata po definisanim putanjama sa ciljem pravilnog uklapanja prohoda. Ova tehnologija je brzo prihvaćena od strane poljoprivrednika širom sveta jer ne zahteva posebne veštine pri korišćenju, primenjiva je na postojećoj opremi, relativno je finansijski pristupačna i daje očigledne rezultate u vidu povećanja produktivnosti mašinskih agregata i smanjenje zamora rukovaoca.

Pored navođenja ljudski vođenih mašina, GPS se koristi i za navođenje tzv. autonomnih sistema kao što su roboti (Jurišica et al. 2012) ili bespilotne letelice (UAV – *Unmanned aerial vehicle*, Jurišica et al. 2012). Takođe, GPS lociranje je obavezno kod naučnih ili proizvodnih opservacija na polju. Kako bi bilo moguće analizirati poljoprivredne podatke u odnosu na okruženje uz uvažavanje principa lokalnih specifičnosti, neophodno je da budu povezani sa geografskom lokacijom i kao takve ih tumačiti. Analiza georeferenciranih podataka je kompleksna i zahteva posebne programske platforme tzv. GIS (geografski informacioni sistem).

GPS sistem je asocijacija za preciznu poljoprivredu, međutim tačnost generisane lokacije je relativna i zavisi od više faktora kao što su raspored satelita u orbiti u odnosu na prijemnik (konstelacija), greške satelita, greške prijemnika, atmosferski uticaj, višestruka refleksija (*Multipath error*), rasipanje preciznosti (*Dilution of precision*), selektivna dostupnost (*Selective Availability, SA*) i

greške zbog godišnjeg zanošenja (*Drift*). Najveći uticajni faktor na pojavu greške je gubitak vidnog polja između prijemnika i satelita. Iz tog razloga, prijemnici rade manje tačno u zatvorenom ili pak u okruženju visokih objekata (zgrade i drveće).

Često se među korisnicima javlja zabuna oko termina tačnosti i preciznosti GPS prijemnika. Pod pojmom tačnosti se podrazumeva odstupanje generisane GPS adrese (lokacije) od apsolutno tačne i ona se ne odnosi na ponovljivost u vremenskom domenu, dok je preciznost termin koji podrazumeva pomenost izmerene GPS koordinate u odnosu na prethodno generisane i to ne mora biti u korelaciji sa tačnošću. To znači da prijemnici koji daju tačnije koordinate ne moraju biti istovremeno i precizni.

Ocenjivanje kvaliteta rada GPS prijemnika zavisi od primenjenih kriterijuma i namene uređaja. Standard koji definiše kriterijume i procedure za ispitivanje GPS uređaja je definisan (ION, 1997). Neki radovi u poljoprivredi prilikom kojih se primenjuje GPS navigacija zahtevaju visoku apsolutnu tačnost pozicioniranja, a neki samo relativnu. Apsolutna greška se u literaturi naziva još i statička greška, dok se relativna naziva dinamička greška (ISO, 2009). Kada se govori o sistemima za navigaciju poljoprivrednih mašina, pod pojmom greške podrazumeva se maksimalno poprečno odstupanje trenutne linije vođenja od izabrane (Adamchuk i sar., 2007) u periodu između dva prohoda (*pass-to-pass*). Važnost provere dinamičke i statičke tačnosti uređaja za navigaciju u poljoprivredi potvrđuju studije više autora (Stombaugh i sar., 2002; Han i sar., 2004). Drugi autori (Gomez-Gil i sar., 2013; Gomez-Gil i sar., 2011) razvijali su metodologiju za unapređenje preciznosti postojećih GPS uređaja. Autori Kostić i sar. (2015) sprovedli su teoretsku analizu uticaja koncepcije traktora (standardni/zglobni) i konfiguracije (geometrijski parametri) na grešku pri GPS navigaciji.

Nekoliko istraživača je koristilo RTK GPS sistem sa centimetarskom tačnošću za dobijanje referenci tokom testiranja na vozilu (Han i sar. 2004, 2002; Coyne i sar., 2003). Han i sar. (2002) napravili su šest prohoda za jedan test, sa trajanjem svakog testa od 8 do 50 min. zavisno od brzine. Coyne i sar. (2003) navode vreme za koje je sproveden test ali ne pominju trajanje ponovljenog testa. Ehsani i sar. (2002) su koristili isti metod za evaluaciju sistema za navođenje. Stombaugh i sar. (2002) objasnili su rotirajuću opremu od 7,5 m poluprečnika za testiranje GPS prijemnika kao i prednosti korišćenja opreme.

Cena GPS prijemnika ima veliki raspon i kreće se od 20 eura do nekoliko hiljada eura. Raspon cena je uglavnom usaglašen sa mogućnostima GPS prijemnika i njegovim karakteristikama u određivanju geolokacije. Pored samostalnih prijemnika, danas svaki mobilni telefon ima ugrađen jednofrekventni GPS. Mada, postoje i najnoviji modeli koji već sada imaju mogućnost prijema L5 GPS signala koji dolazi ne samo od GPS nego i Galileo satelitskog sistema čime se značajno povećava tačnost bez potrebe za tzv. diferencijalnom korekcijom koja se dobija od geostacionarnih satelita ili baznih zemaljskih stanica. Osim pomenutih, postoje i samostalni džepni GPS prijemnici koji pružaju podršku u sakupljanju terenskih podataka u vidu evidentiranja GPS lokacija u sopstvenu ili memoriju eksternog uređaja prema kojem se šalju standardizovane NMEA poruke.

Cilj ovog istraživanja je da se pruži uvid u kvalitet određivanja geolokacije od strane android GPS uređaja i samostalnog eksternog GPS prijemnika koji su komercijalno dostupni širokom opsegu korisnika s obzirom na to da im je cena pristupačna.

Material i metod rada

Dana 22.01.2021. obavljeno statičko i dinamičko testiranje dva GPS uređaja (slika 1) i to Holux RCV-3000 (Holux technology, Inc, 300 Taiwan) i Xiaomi Note 7 (Xiaomi, China). Holux RCV 3000 ima mogućnost memorisanja lokacije u internu memoriju ili slanja NMEA poruke na spoljni uređaj *bluetooth* vezom ili žično preko USB kabela. Xiaomi mobilni telefon nema mogućnost slanja NMEA poruke, ali je u svrhu testiranja korišćena aplikacija sa Google prodavnice pod nazivom *Ultra GPS Logger* koja omogućava memorisanje koordinata i izvoz na PC radi analize (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.flashlight.ultra.gps.logger&hl=sr&gl=US>). Kao kontrolni uređaj korišćen je uređaj EZ Guide 250 (Trimble Inc., Sunnyvale, CA, USA) koji je namenjen za navigaciju poljoprivredne mehanizacije. Uređaj je opremljen posebnom antenom AG15 koja ima specijalno dizajnirano kućište za fiksiranje na metalne površine, ali i eliminaciju interferencije osnovnog signala sa simetričnim, dobijenih refleksijom od bliskih objekata. Uređaj prima osnovni GPS signal uz poboljšanje tačnosti korišćenjem SBAS (*Satellite-Based Augmentation System*) platforme za diferencijalnu korekciju (EGNOS - *European Geostationary Navigation Overlay Service*) sa deklariranim relativnim odstupanjem između dva merenja u vremenskom okviru od 10-15 min koje iznosi 20 cm. U literaturi ne postoje egzaktni podaci o apsolutnoj tačnosti uređaja. Prenos NMEA poruka sa EZ Guide 500 na PC moguća je preko standardnog kabela sa RS-232 konekcijom.



Slika 1. Uređaji koji su korišćeni u ispitivanju relativne tačnosti globalnog pozicioniranja: a) Holux RCV-300, b) Xaiomi Note 7 i c) Trimble EZ-Guide 250

Figure 1. The used devices in the testing of relative accuracy of global positioning: a) Holux RCV-300, b) Xaiomi Note 7, and c) Trimble EZ-Guide 250

Tokom testiranja korišćen je program Catman Easy (HBM, Inc., Version 3.4.1, Darmstadt, Germany) sa pojačalom signala (QuantumX, HBM, Inc., Version 440A, Darmstadt, Germany 440A) kojim su paralelno prikupljeni podaci sa EZ-Guide 250 i Holux RCV-3000 uz prenos od 1 Hz (slika 2).

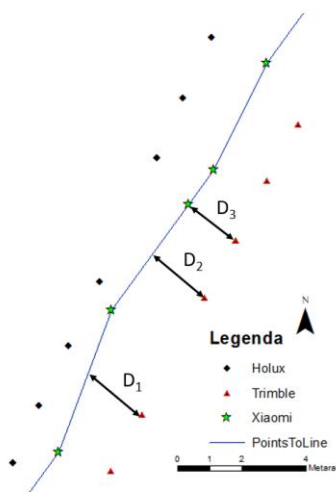


Slika 2. Šema povezivanja akvizicionog modula i GPS prijemnika sa laptopom

Figure 2. The scheme of connection between data acquisition module, GPS receiver and laptop

Podaci sa telefona Xiaomi Note 7 su nezavisno sakupljeni na memoriji telefona. Dobijeni podaci su prikazani i analizirani u GIS programu (ArcMap v10.5, Esri, Redlands, CA, USA) uz korišćenje odgovarajućih alatki. U pomenutom programu postoji opcija automatskog računanja rastojanja između dve lokacije koje su istovremeno detektovane (<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/analysis/near.htm>) što je u mnogome olakšalo rad na izračunavanju odstupanja između lokacije dobijenih od svakog prijemnika. S obzirom da GPS podaci sa Xiaomi telefona nisu paralelno zapisivani i da je postojala vremenska disharmonija, odstupanje dobijenih lokacija od lokacija kontrolnog GPS-a je računato u odnosu na putanju koja je dobijena spajanjem lokacija dobijenih od Xiaomi telefona. Potom su računata najbliža međusobna rastojanja od putanje do odgovarajuće EZ-Guide 250 lokacije (slika 3). Sličan pristup u testiranju GPS uređaja imali su Taylor i sar. (2004). Podaci o geografskim lokacijama sa korišćenih GPS prijemnika su definisani za WGS84 datum koji je

od 1984. godine referentni i u odnosu na njega se definišu svi regionalni datumi. S obzirom da se WGS84 koristi kod lociranja tačke na Zemljinom elipsoidu i to uz korišćenje ugaonih koordinata, a da se obrada podataka radi u ravanskom prostoru ekrana, koordinate dobijene sa GPS-a su projektovane u pravougaone koordinate državnog referentnog koordinatnog sistema za zonu kojoj pripada lokacija na kojoj je obavljeno merenje (ETRS89 / UTM zona 34N).



Slika 3. Prikaz metode određivanja odstupanja Xiaomi Note 7 GPS lokacije od lokacije dobijene uređajem EZ-Guide 250

Figure 3. The used method for determination of the distance between GPS location of Xiaomi Note 7 and GPS location obtained from EZ-Guide 250

Korišćene su tri forme kretanja mobilnog sistema tokom testiranja (slika 4). Merenje je sprovedeno na dva relativno bliska lokaliteta (45,454326N; 19,606928N i 45,455278E; 19,642741N), na betonskoj, nivelisanoj podlozi kako bi se isključio eventualni uticaj nagiba na ishod merenja. Takođe, obavljeno je ispitivanje preciznosti GPS koordinata generisanih sa prijemnika u stacionarnom režimu. Testiranje je obavljeno na dva prostorno razmaknuta poligona, apsolutno ravna gde su primenjena dva šablona kretanja i to kombinovano koje je imalo komponente pravolinijskog i polukružnog, i potpuno kružno kretanje. Šema testiranja prikazana je u tabeli 1.

Tabela 1

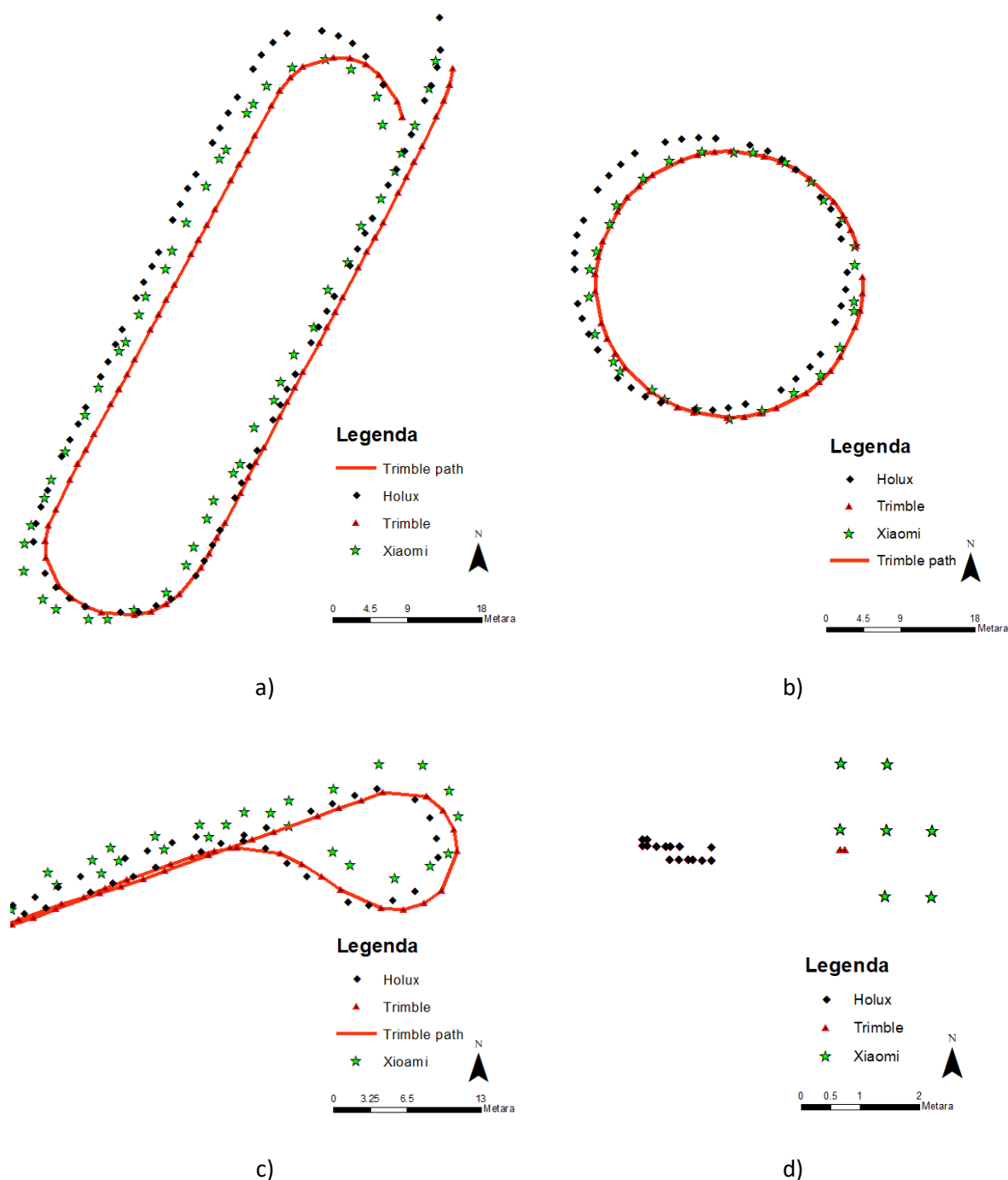
Dizajn eksperimenta

Table 1

The design of experiment

Sesija	Lokacija	Režim	Br. ponavljanja/trajanje (min)
1	I	Kombinovan	4
2	I	Kružni	4
3	II	Kombinovan	3
4	II	Kružni	3
5	II	Stacionarni	5

Takođe, utvrđena su relativna odstupanja u statičkom režimu rada. Svi prijemnici su bili postavljeni na najvišoj poziciji pokretnog vozila kako bi se eliminisao uticaj bliskih barijera na prijem signala, i u središtu u odnosu na pravac kretanja na minimalnom međusobnom rastojanju. Brzina kretanja tokom merenja je bila približno jednaka i iznosila je 7 km/h. Podaci su analizirani u programu ArcMap i MS Excel.

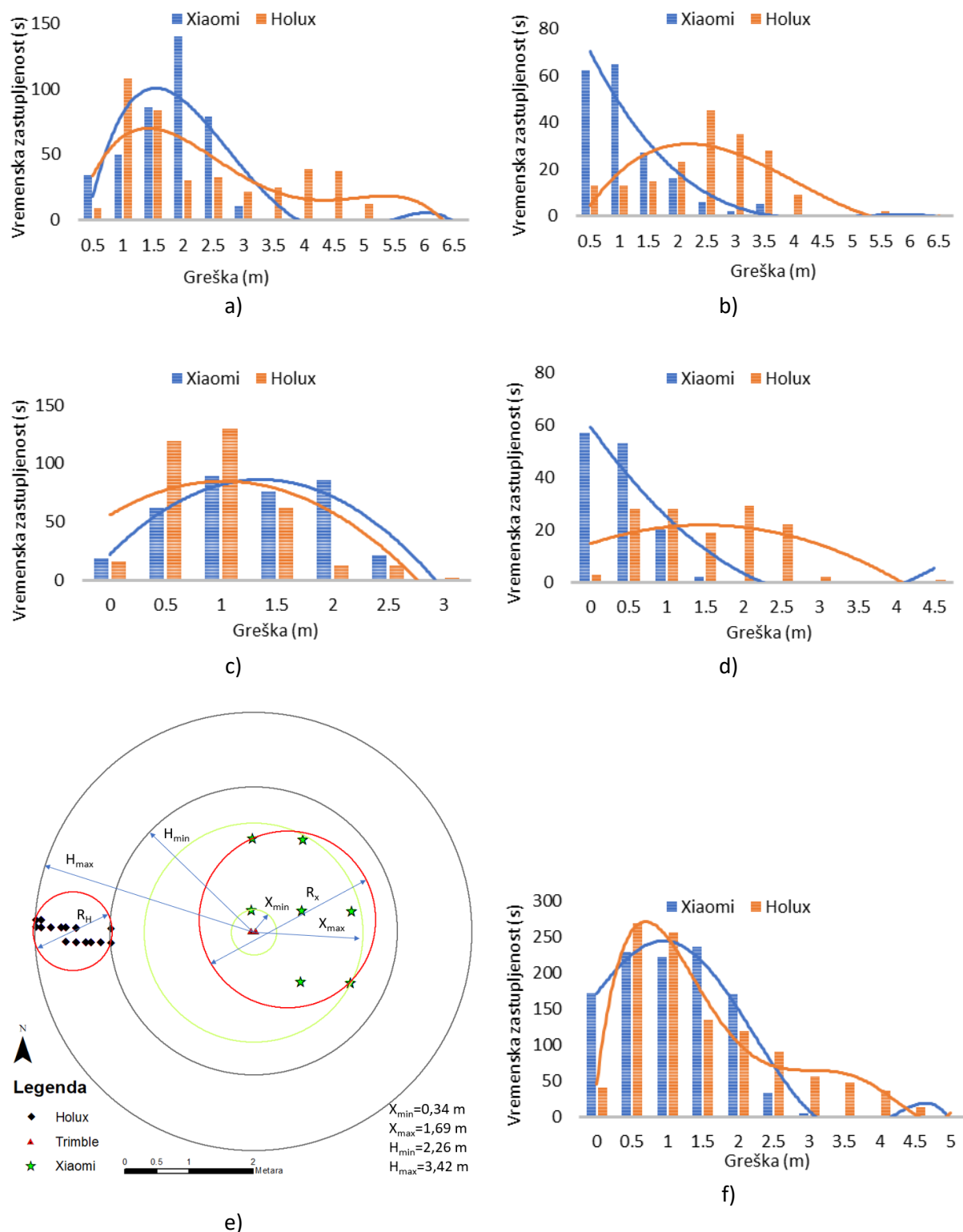


Slika 4. GIS prikaz odabranih zapisa dobijenih tokom merenja: a) kretanje u kombinovanom režimu, b) kružna forma, c) kombinovana petlja i d) stacionarni režim

Figure 4. GIS representation of recordings obtained during measurements: a) moving in the combined regime, b) circular pattern, and c) static regime

Rezultati i diskusija

Na osnovu rezultata testa prikazanih na slici 5a može se zaključiti da je u sesiji 1 zapis sa Xiaomi GPS prijemnika imao raspon odstupanja od 0 do 2,9 m, dok je zapis sa Holux GPS prijemnika imao raspon od 0 do 6,4 m. Podaci o raspodeli učestanosti greške Xioami GPS lokacije imaju oblik normalne krive sa najčešćom pojavom u opsegu od 1,5-2 m, dok podaci sa Holux GPS imaju asimetričnu raspodelu sa najčešćim javljanjem greške u opsegu 0.5-1 m, ali i sa značajnim učešćem grešaka sa većim odstupanjem (<3 m).



Slika 5. Distribucija raspodele relativne devijacije lokacije ispitivanih GPS prijemnika u odnosu na kontrolni: a) sesija 1, b) sesija 2, c) sesija 3, d) sesija 4, e) sesija 5 (statični režim) i f) združeno 1-4 sesija

Figure 5. The distribution of frequency of the relative distance between tested GPS receivers and control GPS: a) session 1, b) session 2, c) session 3, d) session 4, e) session 5 (static regime), and f) jointed 1-4 sessions

U drugoj sesiji (slika 5b), Xaomi GPS je pokazao dodatnu prednost u preciznosti u odnosu na Holux GPS. Greške zapisa lokacije sa Xaomi GPS su dominantno prisutne u zoni do 1 m, dok su

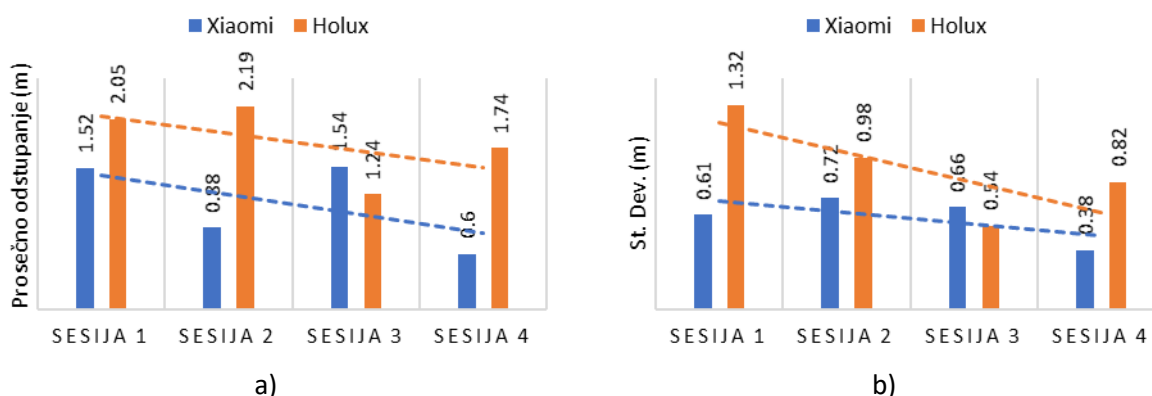
greške Holux GPS prijemnika najprisutnije u opsegu 1,5 do 3,5 m. Takođe, maksimalna greška Xiaomi GPS je 3,3 m, dok je kod Holux GPS to 5,2 m.

Kao što se vidi sa slike 5c, distribucija učestanosti greške oba prijemnika ima sličnu formu. Maksimalna zabeležena greška lokacije u odnosu na lokaciju kontrolnog GPS kod Xiaomi prijemnika je 2,9 m, a Holux prijemnika 3,2 m. U ovom slučaju, Holux GPS greške su dominantno u delu 0,5-1,5 m, dok je za Xiaomi to u širem dijapazonu od 0,5-2 m.

Vrlo slična raspodela učestanosti grešaka u sesiji 4 (slika 5d) je pokazana i za sesiju 2 (slika 4b). Kao i kod sesije 2, Xiaomi GPS greške lokacije u odnosu na kontrolni GPS su najviše grupisane u rasponu 0-1 m, a kod Holux uređaja ta zona je od 0,5 do 2,5 m. Maksimalna greška u geolociranju Holux GPS je 4,6 m, dok je kod Xiaomi GPS svega 1,5 m.

Statički režim rada GPS prijemnika daje uvid u rasipanje izmerenih vrednosti, odnosno koliki je „šum“ s obzirom da prijemnik miruje u prostoru. Tačke na slici 5e pokazuju da je kontrolni GPS imao svega 78 mm devijaciju GPS lokacije. U odnosu na kontrolni GPS, Xiaomi GPS je generisao koordinate udaljene u rasponu od 0,34 do 1,69 m, dok je za Holux GPS raspon lokacija u odnosu na kontrolni od 2,26 do 3,42 m. Fokusiranost tačaka je mera preciznosti GPS prijemnika kada se radi statičko merenje. U tom smislu, Holux GPS je imao stabilnije podatke gde je maksimalno prostorno rasipanje iznosilo 1,23 m, dok je kod Xiaomi GPS lokacija to bilo 2,72 m. Generalna analiza distribucije grešaka za dinamičko merenje (Sesija 1 – 4) data je na slici 4f. Xiaomi GPS lokacije su najvećim delom izmerene na rastojanju 0-1 m dok je taj raspon za Holux GPS lokacije veći i iznosio je najčešće od 0,5 do 2,5 m. Prosečno odstupanje lokacije dobijene sa Xiaomi GPS je 1,3 m sa prosečnom devijacijom odstupanja od 0,72 m, dok je kod Holux GPS prosečno utvrđeno odstupanje 1,8 m sa devijacijom od 1,1 m.

Na slici 6 date su vrednosti prosečnih odstupanja po prijemniku od kontrolnih lokacija za svaku sesiju ponaosob. Iz priloženog se vidi da je minimalno prosečno odstupanje Xiaomi GPS lokacije od kontrolne lokacije postignuto u sesiji 4 (0,6 m), dok je maksimalno prosečno odstupanje dobijeno u sesiji 3 (1,54 m). Za Holux GPS dobijeno je minimalno prosečno odstupanje u sesiji 3 (1,24 m) dok je najveće prosečno odstupanje dobijeno u sesiji 2 (2,19 m). Kao što se vidi sa slike 5a, Xiaomi je u sesijama 1, 2 i 4 imao značajno manje odstupanje dobijenih lokacija nego što je to slučaj kod Holux GPS lokacija. Jedini slučaj kada je Holux dao manje prosečno odstupanje u odnosu na kontrolni GPS je u sesiji 3. Uopšteno gledano, pošto sesije na slici 5 odgovaraju vremenskom poretku testiranja, može se uočiti da se sa vremenom testiranja smanjivalo odstupanje lokacija dobijenih od oba prijemnika u odnosu na lokacije od kontrolnog GPS prijemnika. Ovo ukazuje na pre svega na činjenicu da se vremenom menja konstelacija satelita iznad prijemnika ali i atmosfere prilike koje mogu doprineti različitom uticaju na prijem signala. S obzirom da je u danu kada je obavljeno testiranje bilo promenljivo oblačno vreme, uticaj na tačnost testiranih GPS prijemnika je nedvosmislena. Ako se posmatra slika 6b na kojoj su prikazana prosečna standardna odstupanja izmerenih geolokacija po sesijama i GPS prijemnicima, može se zaključiti da je u slučaju Xiaomi telefonskog GPS prijemnika standardno odstupanje lokacije bilo približno ujednačeno po sesijama, dok je u slučaju Holux GPS lokacija standardno odstupanje imalo trend opadanja slično kao i u slučaju trenda prosečnih grešaka (slika 6a). Na osnovu ovih podataka se može izvesti zaključak da je Xiaomi GPS ima stabilniju pogrešku u vremenskom domenu dok je varijabilnost greške izraženija kod Holux GPS prijemnika.



Slika 6. Prosečne vrednosti odstupanja lokacija testiranih GPS prijemnika po sesijama (a) i prosečne devijacije odstupanja (b)

Figure 6. The average values of GPS locations distance of tested device for each session (a) and average deviations of measured distance

Zaključci

Tehnološka intenzifikacija primarne biljne proizvodnje podstaknuta je masovnom primenom GPS tehnologije u različite svrhe. Analiza podataka ima posebnu informacionu vrednost jedino ako je podatak geografski određen. U ovom istraživanju testirana su dva GPS prijemnika od kojih je jedan ugrađen u android mobilni telefon, a drugi je zaseban uređaj. Pouzdano se može zaključiti da savremeni mobilni telefoni imaju bolje performanse u pogledu geolociranja u odnosu na jeftine, džepne GPS uređaje jer primaju signale sa više GPS platformi. Takođe, određivanje lokacije je potpomognuto tzv. tehnologijom A-GPS kojom telefon ostvaruje poboljšanje lociranja komuniciranjem sa baznim GSM predajnicima. U svim kombinacijama ispitivanja, Xioami GPS merenje je dalo manje prosečno odstupanje (0,6-1,52 m) od lokacija dobijenih sa kontrolnog GPS uređaja. Takođe je utvrđen trend uticaja vremena merenja na kvalitet rada GPS prijemnika koji je imao jednak karakter za oba prijemnika, što ukazuje da promena položaja satelita tokom vremena menja kvalitet merenja GPS prijemnika. Može se takođe zaključiti da je korišćenje telefonskih GPS prijemnika u poljoprivredni podstaknuto velikim izborom namenskih aplikacija, ali da je njihova namena ograničena na operacije koje zahtevaju manju apsolutnu tačnost kao što je plansko uzorkovanje zemljišta, mapiranje objekata na parceli, ali ne i za vođenje mehanizacije.

Zahvalnica

Ovu studiju je podržalo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (ugovor br. 451-03-68/2020-14/ 200117).

Literatura

- Adamchuk V.I, Hoy R.M, Meyer G.E, Kocher M.F. 2007. GPS-based auto-guidance test program development. In. J.V. Stafford, editor. Precision agriculture '07. 6th European Conference on Precision Agriculture Skiathos, Greece 3-6 June 2007.
- Coyene, P.I., Casey, S. J., Milliken, G.A. 2003. Comparison of differently corrected GPS sources for support of site-specific management in agriculture. Special publication 03-419-5. Manhattan, Kansas: Kansas Agricultural Experiment Station.
- Gomez-Gil J, Alonso-Garcia S, Gómez-Gil F.J, Stombaugh T. 2011. A Simple Method to Improve Autonomous GPS Positioning for Tractors. *Sensors*, 11(6):5630-5644.
- Gomez-Gil J, Ruiz-Gonzalez R, Alonso-Garcia S, Gomez-Gil F.J. 2013. A kalman filter implementation for precision improvement in low-cost GPS positioning of tractors, *Sensors* 13 (11):15307-15323.
- Han S, Zhang Q, Ni B, Reid J.F. 2004. A guidance directrix approach to vision-based vehicle guidance systems. *Computers and Electronics in Agriculture* 43: 179-195.
- Han, S., H. K. Noh, Q. Zhang, and B. S. Shin. 2002. Dynamic performance evaluation of DGPS receivers for parallel tracking. ASAE Paper No. 023107. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Ehsani, M. R., M. Sullivan, J. T. Walker, and T. L. Zimmerman. 2002. A method of evaluating different guidance systems. ASAE Paper No. 021155. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- ION.1997. ION STD 101: Recommended test procedure for GPS receivers – Revision C. Alexandria, Va.:Institute of Navigation.
- ISO, 2009. ISO/WD 12188-1, tractors and machinery for agriculture and forestry. Testing procedures for positioning and guidance systems in agriculture. Part II: Satellite- based auto-guidance systems tested during straight and level travel. International Organization for Standardization.
- Jurišica, L., Duchoň, F., Kaštan, D., & Babinec, A. (2012). High Precision GNSS Guidance for Field Mobile Robots. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 9(5), 169. <https://doi.org/10.5772/52554>
- Kostić M, Dedović N, Savin L, Snežana Matić Kekić. 2015a. Uticaj konfiguracije traktora na kvalitet vođenja priključne mašine u šablonu paralelnih prohoda-teorijska analiza. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 41(3): 155-164.
- Stombaugh T. S, Shearer S. A, Fulton. J. 2002a. Elements of a dynamic GPS test standard. In ASAE Annual International Meeting. ASAE Paper No. 021150. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Stombaugh, T. S., S. Shearer, J. Fulton and M. R. Ehsani. "Elements of a Dynamic GPS Test Standard." (2002). Taylor, R.K. i sar. 2004. Dymamic testing of GPS recievers. *Trans. ASAE*, 47(4).1017-1025.

The analysis of relative GPS accuracy of the android cell phone and external GPS logger

Marko Kostić^{a*}, Nebojša Dedović^a

^aUniversity of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Serbia

*Corresponding author: marko.kostic@polj.uns.ac.rs

ABSTRACT

The introduction of GPS technology and other systems in agriculture has enabled a completely different insight into production with increased precision and productivity of machine systems, better spatial planning, analysis of spatial heterogeneity and laid the basics for its full optimization. GPS devices are widely available with a wide range of prices and capabilities. This paper aimed to show the individual performance of two differently conceptualized GPS receivers in a one-day test in dynamic and static mode. The study used a Holux RCV-3000 and an Android phone Xiaomi Note 7 in a comparative test where the Trimble EZ-Guide 250, which has declared performance, was used as a control GPS. Based on the results, it was found that Xiaomi Note 7 GPS locations have higher reliability and less relative deviation compared to locations obtained from the Holux RCV-3000 as a result of Xiaomi Note 7's improved GPS receiver that can receive signals from multiple GPS platforms. Also, mobile phones receive data from the GSM mobile network, which further improves the accuracy of location determination. The average measured deviation for the Holux RCV-3000 GPS was 1.77 m while for the Xiaomi Note 7 it was 1.3 m. The maximum measured location deviation measured with the GPS Holux RCV-3000 was 6.37 m, while for the Xiaomi Note 7 it was 3.35 m.

KEY WORDS: GPS, accuracy, precision, android

PRIMLJEN: 09.03.2021.

PRIHVAĆEN: 27.06.2021.