

UDC: 621.39:654

Info M str. 4-11

LOCATA – TEHNOLOGIJA VISOKOPRECIZNOG POZICIONIRANJA LOCATA – HIGH PRECISION POSITION TECHNOLOGY

Nenad Antičić, Miro Govedarica

REZIME: *Locata* tehnologiju moguće je definisati kao inovativnu tehnologiju pozicioniranja, terestčki orijentisanu, razvijenu sa ciljem poboljšanja, odnosno podrške GNSS sistemu u specifičnim okruženjima u kojima su GNSS signali degradirani, iz ma kog razloga. Kroz koncept zamaljskih *LocataLite* primopredajnika, lokalno područje definisano od strane korisnika, pokriveno je stabilnim i kontrolisanim *Locata* signalima, strukturno sličnih GPS signalima, na bazi kojih je moguće pozicioniranje *Locata* rovera. Terestčki generatori *Locata* signala sinhronizovani su putem bežične tehnologije, *TimeLoc*, koja ujedno predstavlja i najveće tehničko dostignuće *Locata* sistema. *Locata* signali odašilju se na slobodnom za korišćenje ISM frekvencijskom opsegu (2.4 GHz), čime se eliminiše mogućnost interferencije sa GNSS signalima. Sa druge strane, *Locata* signali su višestruko snažniji, što omogućava pozicioniranje kako na otvorenom, tako i u zatvorenom prostoru. U okviru rada dat je kratak pregled razvoja *Locata* tehnologije, njenih osnovnih komponenti kao i mogućnosti sa stanovišta primene.

KLJUČNE REČI: *Locata*, *TimeLoc*, *LocataLite*, *LocataNet*

ABSTRACT: *Locata* technology can be defined as an innovative positioning technology which is terrestrially oriented and developed in order to improve, i.e. to support the GNSS system in specific environments where GNSS signals are degraded for any reason whatever. Through concept of *LocaLite* terrestrial-based transceiver, local area defined by the user is covered by stable and controlled *Locata* signals which are structurally similar to GPS signals and which make the positioning of *Locata* rover possible. Terrestrial *Locata* signal generators are synchronized via wireless *TimeLock* technology, which represents the greatest technical achievement of the *Locata* system. *Locata* signals are transmitted over the free to use ISM band (2.4 GHz), thus eliminating the possibility of interference with GNSS signals. On the other hand, *Locata* signals are much stronger, which enables the positioning both indoors and outdoors. This paper provides a brief overview of the development of *Locata* technology, its basic components, as well as the possibilities with respect to its application.

KEY WORDS: *Locata*, *TimeLoc*, *LocataLite*, *LocataNet*

1 UVOD

Kvalitet rezultata dobijenih korišćenjem tehnologije GNSS sistema direktno zavisi od broja dostupnih satelita, u određenom vremenskom trenutku, i njihovog prostornog rasporeda, geometrije, pre svega. Problem sa ograničenim brojem satelita i njihovim prostornim rasporedom prisutan je u gradskim uzdanim područjima, velikim gradilištima, dolinama, površinskim kopovima. Sa druge strane, GNSS sisteme uglavnom nije moguće koristiti u zatvorenim prostorijama ili ispod zemlje, zbog izuzetno niske snage signala. Pored toga, loša geometrija dostupnih satelita uzrokuje slabiju tačnost određivanja vertikalne komponente položaja. Pomenuti nedostaci, u određenoj meri, mogu se prevazići korišćenjem pseudolita (*pseudo* + *satellites*, skraćeno PL), terestčkih generatora i odašiljača signala sličnih satelitskim, namenjenih primeni u lokalnom području. Pseudolite je moguće koristiti kao sistem podrške GPS sistemu, kroz integraciju dva sistema, ili potpuno samostalno u područjima potpune opstrukcije GNSS signala [1]. Međutim, tehnologija bazirana na pseudolitima ima sopstvenih nedostataka, uglavnom vezanih za konstrukciju sistema pseudolita. Osnovni problem je što pseudoliti rade nezavisno, u nesinhronizovanom modu. Sinhronizacija odašiljača koji emituju signale, sa stanovišta vremena, predstavlja osnovni zahtev za pravilno funkcionisanje sistema radio pozicioniranja. Centimetarsku preciznost pozicioniranja, nesinhronizovanim pseudolitima, moguće je ostvariti jedino kroz koncept bazne stanice. Pored toga, postoji i niz drugih tehničkih problema koji prate korišćenje pseudolita, kao što su: kontrola snage signala, *near/far* problem, višestruka refleksija

signala emitovanih sa pseudolita, interferencija signala sa signalima emitovanih sa satelita i dr [2].

Ako bi mreža terestčkih generatora signala mogla biti sinhronizovana, uz mogućnost kontrole snage signala, postojali bi uslovi za pozicioniranje na centimetarskom nivou, bez korišćenja baznih stanica i radio veze. Upravo ova ideja definiše koncept *Locata* tehnologije pozicioniranja. *Locata* tehnologiju, u užem smislu, čine vremenski sinhronizovani terestčki primopredajnici nazvani *LocataLite* (LL). *LocataLite* primopredajnici formiraju *LocataNet* mrežu, terestčki orijentisanu mrežu koja pokriva specifično područje, u okviru koje je omogućeno pozicioniranje *Locata* pokretne jedinice (rover) sa centimetarskom tačnošću, na bazi faznih merenja. Najveće tehničko dostignuće *Locata* tehnologije je potpuno nova, patentirana, bežična tehnologija sinhronizacije između primopredajnika nazvana *TimeLoc*.

Locata Corporation je u privatnom vlasništvu australijske kompanije sa sedištem u Kanberi (*Canberra, Australian Capital Territory, Australia*). Inkorporirana je 1997. godine od strane *David Small* i *Nunzio Gambale* koji su zajednički razvijali interaktivni vodič za posetioce Kanbere baziran na trenutnoj geografskoj lokaciji. Cilj projekta je bila konstrukcija uređaja koji bi iz biblioteke video fajlova automatski selektovao i aktivirao određen fajl, zavisno od trenutne pozicije određene GPS-om. Na ovaj način bi turisti imali mogućnost da upoznaju grad, kulturu i njegovo istorijsko nasleđe. Međutim, projekat na samom početku nailazi na ozbiljan problem s obzirom da u urbanim gradskim zonama i zatvorenim prostorijama praktično nije moguće koristiti GPS tehnologiju. *Locata* tehnologija, prvenstveno, razvija se sa ciljem rešavanja ovog problema [3].

2 KONCEPT LOCATA POZICIONOG SISTEMA

Locata je inovativna tehnologija pozicioniranja razvijena u Australiji. Mreža terestčki orijentisanih primopredajnika, poznatijih pod nazivom *LocataLite*, emituju četiri radio signala, strukturno sličnih GPS signalima, u okviru 2.4 GHz *Industrial, Scientific and Medical - ISM* opsega i obezbeđuju tačnost pozicioniranja na centimetarskom nivou. Za razliku od pseudosatelita *LocataLites* primopredajnici su međusobno vremenski sinhronizovani *TimeLoc* tehnologijom sa tačnošću od < 1 ns [4]. Primopredajnici se sinhronizuju bežično, nezavisno od GNSS satelita, ne koriste skupe atomske oscilatore, ne zahtevaju kontrolne centre niti mrežu referentnih stanica koja bi obezbeđivala korekcije. *Locata* pozicioni sistem se može posmatrati i kao svojevrsna lokalna replika GPS/GNSS sistema pri čemu je kosmički segment u ovom slučaju zamenjen terestičkim, vremenski sinhronizovanim primopredajnicima. Slično kao i GPS, *LocataLite* primopredajnici koriste *Direct – Sequence Code Division Multiple Access* (DS-CDMA) signale, i time čine terestičku *Time – Hopped* verziju CDMA signala (TH/DS-CDMA) rešavajući problem *near/far* efekta [5].

Mreža koju formiraju *LocataLite* primopredajnici poznata je pod nazivom *LocataNet*, i čine je bar četiri *LocataLite* primopredajnika u situaciji kada je potrebno obezbediti pozicioniranje u prostoru. *LocataNet* mrežu odlikuje izuzetna prilagodljivost okruženju, proširivost i skalabilnost. Mreža se jednostavno može proširiti novim primopredajnicima kako bi obezbedila veću pokrivenost, može se izvršiti integracija više prethodno formiranih mreža, ili, izvršiti izmeštanje mreže na novu lokaciju u urbanom ili ruralnom području. Ključna inovacija vezana za *Locata* tehnologiju je metod vremenske sinhronizacije primopredajnika, *TimeLoc*, o kojoj će biti reči u poglavlju 4.

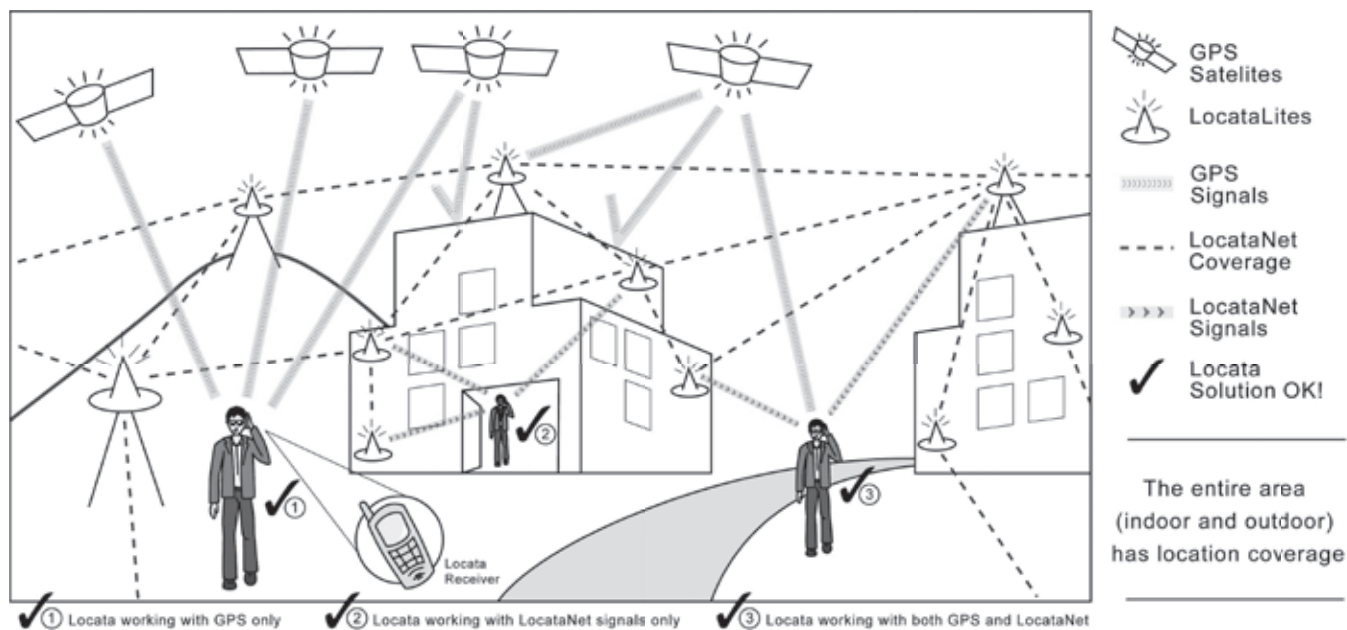
Locata prijemnik može registrovati i GNSS i *Locata* signale, i na taj način obezbeđuje neprekidnu akviziciju signala na prelazima između okoline u kojoj je moguće registrovati GNSS signale, *Locata* signale ili oboje (slika 1). Poznato je da GNSS prijemnik može dati precizan i pouzdan položaj samo pri „čistom nebu“ i kvalitetnoj geometriji bar četiri satelita (slika 1, slučaj 1). U tom smislu, *Locata* predstavlja podršku GNSS pozicioniranju, proširujući njegove mogućnosti radom u zatvorenim prostorijama ili urbanim sredinama [6].

Ključne komponente *Locata* pozicionog sistema sadržane su u dva jedinstvena hardverska uređaja:

- *LocataLite* primopredajnik – emitovanjem radio signala obezbeđuje visoko precizna merenja dužine do pokretnog prijemnika, na osnovu kojih je jedinstveno određena pozicija u prostoru,
- *Locata* pokretni prijemnik – akvizicijom *Locata* signala generiše vrednosti latitude, longitude i visine.

2.1 *LocataLite* primopredajnik

LocataLite predstavlja inteligentni predajnik kojim se obezbeđuje emitovanje dvofrekventnih radio signala unutar *ISM* frekvencijskog opsega, sa dve prostorno odvojene predajničke antene. Time je obezbeđeno emitovanje četiri radio signala od strane jednog *LocataLite* predajnika. Mreža *LocataLite* predajnika praktično predstavlja repliku GPS konstelacije po svojoj funkcionalnosti, ali lokalno i terestički. Jedna od najbitnijih karakteristika *LocataLite* predajnika je emitovanje signala na željenoj frekvenciji ili snazi signala [7]. *LocataLite* sistem čine dve odašiljačke antene (i), jedna prijemna antena () i izvor napajanja. Najnoviji tip *LocataLite* primopredajnika, *LocataLite* G4 prikazan je na slici ispod (slika 2).



Slika 1: Koncept pozicioniranja *Locata* tehnologijom [6]



Slika 2: LocataLite G4

Transmitter i prijemnik *LocataLite* koriste isti časovnik, jeftini kristalni oscilator, TCXO. Procedura vremenske sinhronizacije primopredajnika u mreži omogućena je *Direct Digital Synthesis - DDS* tehnologijom poznatom pod imenom *TimeLoc* [8]. *LocataLite* primopredajnici smešteni su u odgovarajuće vodootporne kutije, dimenzija 26 x 13 x 2.5 cm, sa ugrađenim priključcima za antenu, prenos podataka i izvor napajanja [2].

2.2 Locata prijemnik

Prva generacija *Locata* sistema koristila je postojeći GPS hardver, kako za *LocataLite* prijemni uređaj, tako i za *Locata* prijemnik/rover. Takav pristup omogućio je brži razvoj sistema, ali nije bio fleksibilan budući da mu je upotreba bila jako ograničena. Uglavnom je korišćen u laboratorijskim uslovima [2]. Najnovija generacija *Locata* prijemnika, baš kao i *LocataLite*, koristi *Xilinx FPGA* platformu kao osnovu svog hardvera. *Locata* prijemnik je modularnog dizajna sa razdvojenom pločom prijemnika od radiofrekvencijske ploče. Veličina prijemnika je, aproksimaciono, dva puta manja u poređenju sa *LocataLite*. Najnoviji tip prijemnika *Locata LRx8* (slika 3) ima dimenzije 14.5 x 13 x 2.5 cm, i identičan je desnoj strani *LocataLite*.



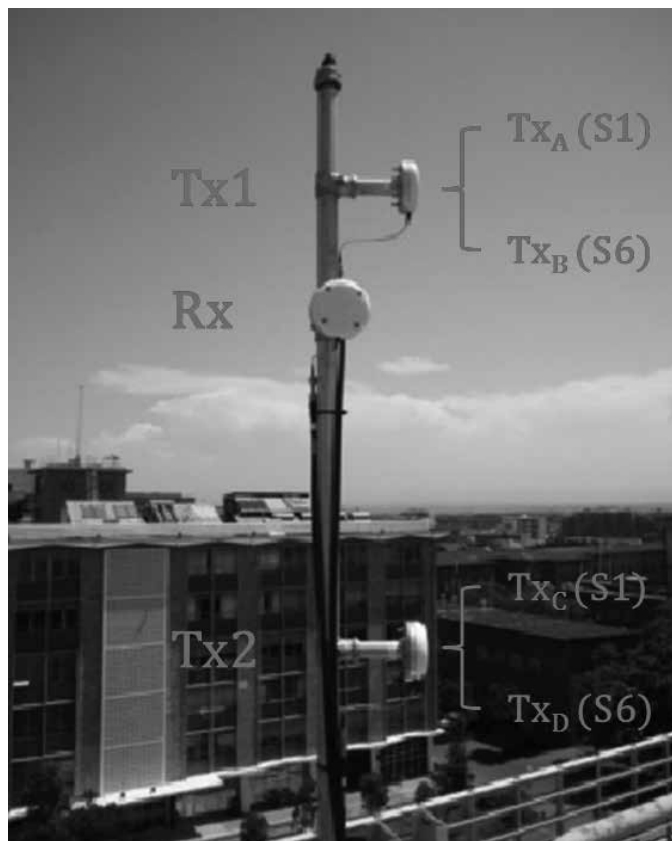
Slika 3: Locata LRx8

Locata prijemnik koristi *Direct Carrier Ranging – DCR* algoritam za određivanje sopstvene pozicije od najmanje četiri (za 3D pozicioniranje) ili tri (za 2D pozicioniranje) *LocataLite*-a. Ovaj algoritam sličan je algoritmu koji koristi GPS za apsolutno pozicioniranje jedne tačke, s tim što se u ovom slučaju koriste fazna merenja. Za rešenje algoritma potrebno je odrediti faznu neodređenost. U prototipu *Locata* sistema problem se rešavao inicijalizacijom na poznatoj tački, dok danas, korišćenjem merenja na dve frekvencije, to nije potrebno [8] [2].

3 STRUKTURA I MODEL LOCATA SIGNALA

Prva generacija *LocataLite* primopredajnika koristila je istu strukturu signala kao i GPS, dakle, radio signal iz L1 opsega modifikovan C/A kodom, dok je rover stvoren modifikacijom GPS prijemnika. Međutim, korišćenje GPS L1 opsega predstavlja ograničenje iz nekoliko razloga. Prvo, pravila za odašiljanje signala na ovoj frekvenciji razlikuju se od države do države, i drugo, dobijanje dozvole za primenu ma kog terestičkog sistema na L1 frekvenciji bilo bi izuzetno teško. Javlja se i problem moguće degradacije kvaliteta GPS signala kao i problema sa međusobnim delovanjem dva sistema. Rezultat svega bila bi ograničena sposobnost *LocataLite* primopredajnika u smislu snage emitovanih signala, a posledično i njegovog radnog područja, pre svega pozicioniranja u zatvorenim prostorijama. Dalje, došlo bi i do ograničenja broja *LocataLite* uređaja unutar jedne *LocataNet* mreže kako bi se osiguralo da ne dođe do interferencije ili degradacije kvaliteta GPS signala [2]. U cilju prevazilaženja pomenutih problema, radio talasi se emituju na slobodnom za korišćenje *Industrial Scientific Medical - ISM* frekvencijskom pojasu širine oko 80 MHz (2.4 – 2.4835 GHz). Korišćenje ovog opsega omogućuje povećanje snage odaslatog signala i do 1 Watt, što odgovara pokrivenosti područja od oko 10 km. Nova struktura signala nesumljivo ima mnogobrojne prednosti u poređenju sa prvom generacijom *Locata* sistema, koje se ogledaju u, sve svega, slobodnom ISM frekvencijskom opsegu, smanjenju uticaja greške višestruke refleksije i dr [9] [10].

Kako bi rešila problem višestruke refleksije i šuma signala, *Locata* koristi klaster od četiri prostorno razdvojena signala (slika 4), imenovanih kao , sa talasnim dužinama između 12.49 cm i 12.07 cm. Naime, *LocataLite* primopredajnik čine dva transmitera (i) i jedna prijemna antena (). Signali su identifikovani sa , gde predstavlja *ID Locata* transmitera, i emituju se na dve noseće frekvencije iz *Industrial Scientific Medical - ISM* frekventnog opsega (). Bitno je još i napomenuti da razmak dva transmitera na *LocataLite* primopredajniku direktno utiče na očekivano rastojanje između primopredajnika i *Locata* rovera. Preporučeno je da rastojanje između i bude 1 m ako je očekivano da se rover nalazi na udaljenosti do 1 km, a 1.5 m ako je rover na više od 1.6 km. Takođe *LocataLite* prijemnik nalazi se znatno bliže predajniku [11].



Slika 4: Prostorni razmeštaj odašiljačkih antena i prijemnika u LocataLite sistemu

Dostupni parametri Locata signala dati su u tabeli 1 [12]:

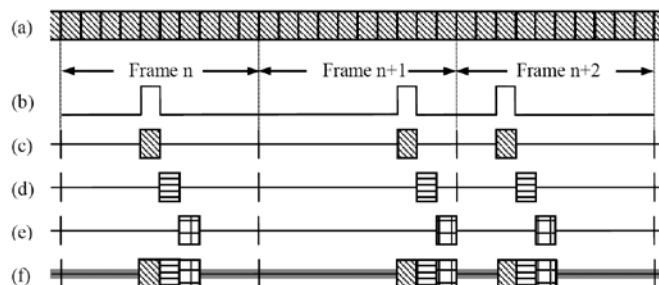
Tabela 1: Osnovni parametri Locata signala

Frekvencioni opseg	2.4 GHz ISM opseg širine 80 MHz
PRN kod	Vlasnički (10 MHz chipping rate)
Licenca	Nije potrebna, FCC/ACMA kompatibilna
Hardver	FPGA i Direct Digital Synthesis - DSS
Snaga emitovanog signala	Podesiva, max 1 Watt
Radni opseg	~ 10 km (zavisno od snage signala)

Ovakva postavka omogućava Locata roveru praćenje četiri signala () sa svakog primopredajnika. Svaki od ovih signala je modulacija navigacione poruke bitske učestanosti od 50 Hz koja sadrži informacije o koordinatama odgovarajuće Locata antene, PRN kodu i meteorološkim podacima [11] [5].

Nominalna vrednost snage emitovanog Locata signala je 23 dBm. Problemi interferencije signala, šuma i near/far efekta rešavaju se korišćenjem Time-Hopping/Direct Sequence Code Division Multiple Access – TH/DS-CDMA strukture signala, gde TH sekvenca zapravo „maskira“ originalni DS-CDMA signal [5] [12]. Ovakva struktura omogućava korišćenje više slotova unutar jednog frejma (slika 5) pri čemu svaki LocataLite koristi jedinstven slot za transmisiju signala. Raspodela slot sekvenci ponavlja se svakih 200 frejmova, pri čemu je svaki frejm dužine 1 ms a čini ga 10 slotova dužine 0.1

ms. Sa učestanošću od 50 bps, svaki bit navigacione poruke je modulacija 20 frejmova, pri čemu se granice bita i slota poklapaju. Sva četiri signala jednog LocataLite sistema emituju se simultano u okviru jednog slota. Korišćenjem TimeLoc tehnologije LocataLite vrši sinhronizaciju, „vremensko poravnaje“, emitovanog PRN koda sa početkom njegovog slota [5].



Slika 5: (a) Kontinualni CDMA signal emitovanog sa LocataLite 1, (b) Raspodela slot sekvenci (Pulsing Sequence), (c) TH/DS-CDMA emitovanog sa LocataLite 1, (d) TH/DS-CDMA emitovanog sa LocataLite 2, (e) TH/DS-CDMA emitovanog sa LocataLite 3, (f) Primljen signal uključujući i šum [5]

Analitički prikaz modela Locata signala reprezentovan je sa:

$$S(t) = \sqrt{2P_{i,j}} d_{i,j}(t) c_{i,j}(t) g(t) \cos(2\pi f_{i,j}t + \phi_{i,j}) \quad (1)$$

gde je snaga emitovanog signala, su biti navigacionoh podataka, pseudoslučajni signal (), je slot sekvenca (), frekvencija nosioca, faza nosioca. Indeksi i odnose se na signal, odnosno LocataLite primopredajnik. Svaka antena odašilje signal na obe frekvencije (i) pa tako odaslat signal može biti prikazan sumom:

$$S(t) = \sum_1^2 \sqrt{2P_{i,j}} d_{i,j}(t) c_{i,j}(t) g(t) \cos(2\pi f_{i,j}t + \phi_{i,j}) \quad (2)$$

Takođe, signal koji je primljen od strane rovera može biti reprezentovan sledećom sumom:

$$S(t) = \sum_1^4 \sqrt{2P_{i,j}} d_{i,j}(t) c_{i,j}(t) g(t) \cos(2\pi f_{i,j}'t + \phi_{i,j}) + n(t) \quad (3)$$

gde predstavlja stvarnu vrednost primljene frekvencije signala (odaslati frekvencije poremećena Doplerovim uticajem) a simbolizuje šum i interferenciju signala [5].

3.1 Navigacioni algoritam Locata pozicionog sistema

Osnovna formula za određivanje udaljenosti između prijemnika i satelita (u metrima) u slučaju faznih merenja na L1 frekvenciji kod GPS-a glasi [13]:

$$\phi_A^j = \rho_A^j + \tau_{trop} + c\delta T_A - c\delta T^j - \tau_{jon} - \frac{c}{f_{L1}} N_A^j + \epsilon \quad (4)$$

gde je geometrijska udaljenost između prijemnika i satelita, atmosferska korekcija zbog uticaja troposfere, greška sata pri-

jemnika, greška sata satelita, atmosferska korekcija zbog uticaja jonosfere, frekvencija L1 nosećeg talasa, fazna neodređenost i je suma preostalih grešaka (greške efemerida, ostali atmosferski uticaji, višestruka refleksija, šum prijemnika i dr). Slično kao kod GPS-a, jednačina opažanja u *LocataNet* mreži, bazirana na faznim merenjima, ima oblik:

$$\varphi_A^j = \rho_A^j + \tau_{trop} + c\delta T_A^j - \frac{c}{f_{L1}} N_A^j + \varepsilon \quad (5)$$

Parametri u jednačini korespondiraju parametrima jednačine GPS opažanja, s tim da se eksponent umesto na satelit odnosi na *LocataLite* primopredajnik. Potrebno je primetiti da u jednačini ne figurišu parametri koji se odnose na grešku časovnika prijemnika i jonosfersko kašnjenje. Naime, *LocataLite* primopredajnici su sinhronizovani *TimeLoc* metodom, a jonosfera nema uticaj na propagaciju signala s obzirom da je sistem terestički. Uticaj troposfere na prostiranje signala pre svega će zavistiti od razdaljine između *Locata* prijemnika i *LocataLite* primopredajnika, elavacionog ugla prema primopredajniku i atmosferskih uslova (temperature, pritiska, vlage i dr.) [6] [14] [15].

U prototip *Locata* sistemu, određivanje fazne neodređenosti i greške časovnik prijemnika rešeno je putem statičke inicijalizacije na poznatoj tački. Uz modelovanje ili potpuno zanemarivanje uticaja troposfere (zbog relativno kratkih rastojanja između prijemnika i primopredajnika možemo predpostaviti da troposfera neće uticati na propagaciju signala), uticaj fazne neodređenosti i greške časovnika može se prikazati kao:

$$B_A^j = c\delta T_A^j - \frac{c}{f_{L1}} N_A^j + \varepsilon = \varphi_A^j - \rho_A^j \quad (6)$$

Osnovna jednačina opažanja sada poprima oblik:

$$\varphi_A^j = \rho_A^j + B_A^j + \delta dT_A + \varepsilon \quad (7)$$

i

$$\rho_A^j = \sqrt{(X_A - X^j)^2 + (Y_A - Y^j)^2 + (Z_A - Z^j)^2} \quad (8)$$

gde je promena greške sata prijemnika od vremena statičke inicijalizacije. Sada, uz koordinate *Locata* prijemnika () definisan je sistem od četiri nepoznate za čije rešavanje je potrebno bar četiri fazna merenja generisanih od strane *LocataLite* primopredajnika. Ocena nepoznatih parametara rešava se po metodi najmanjih kvadrata. Rešavanje problema je slično GPS apsolutnom pozicioniranju jedne tačke (*SPP* – *Single Point Positioning*) s tim da se ovde koriste precizna fazna merenja [2].

4 TIMELOC METOD VREMENSKE SINHRONIZACIJE

Pravilno funkcionisanje sistema radiopozicioniranja baziranog na *Locata* tehnologiji zahteva, pre svega, vremensku sinhronizaciju odašiljača *Locata* signala koji formiraju mrežu. Za specificiranu subcentimetarsku preciznost pozicioniranja, što je često zahtev, nivo sinhronizacije mora biti izuzetno vi-

sok. Greška u određivanju vremena na nivou 1 ns prouzrokuje, aproksimaciono, grešku u određivanju položaja od 30 cm [15]. *TimeLoc*, bežična metoda sinhronizacije, obezbeđuje sinhronizaciju *LocataLite* transivera na nivou od ispod 1 ns, kao i autonomiju *LocataNet* mreže sa stanovišta vremenske sinhronizacije. Pri tome, metoda ne zahteva korišćenje atomskih oscilatora, eksternih kablova, niti korekcije sa bazne stanice [6]. Ograničenje u pogledu broja *LocataLite* transivera koje je moguće sinhronizovati *TimeLoc* metodom, teoretski, ne postoji. Jedini uslov je obezbediti komunikaciju, odnosno, do gledanje ka bar jednom *LocataLite*-u u mreži. *TimeLoc* metod sinhronizacije predstavlja kičmu *Locata* tehnologije pozicioniranja i detaljno je opisan u *Locata TimeLoc Patent* (US Patent #7,616,682) [2].

TimeLoc postupak sinhronizacije može se realizovati na dva načina:

- **Direct TimeLoc.** Postupak zahteva *master LocataLite* stanicu kojoj je omogućena komunikacija ka svim ostalim *LocataLite* transmitterima u mreži, *slaves* transmitterima. Sinhronizacija svih *LocataLite* stanica se vrši direktno, u odnosu na master stanicu.
- **Cascade TimeLoc.** U situaciji kada nije moguće obezbediti komunikaciju ka master stanici, mrežu je moguće sinhronizovati i kaskadno. Kaskadna sinhronizacija podrazumeva sinhronizaciju *LocataLite* stanica u odnosu na susednu ili drugu vidljivu *LocataLite* stanicu.

Sinhronizacija, *Direct TimeLoc* metodom, vrši se kroz proces od dva ključna koraka. Inicijalna procena pseudo dužine za slave u epohi određuje se kao:

$$TL_i^M(t_k) = (P^M(t_k) - P_i(t_k)) - (\rho_i^M(t_k) + \rho_{Rx}^{TxA}(t_k)) \quad (9)$$

Prvi segment jednačine predstavlja izračunato vremensko neslaganje, *clock offset*, a drugi je poznat i sadržan u navigacionoj poruci. Za precizno određivanje vremena fazne razlike koristi se:

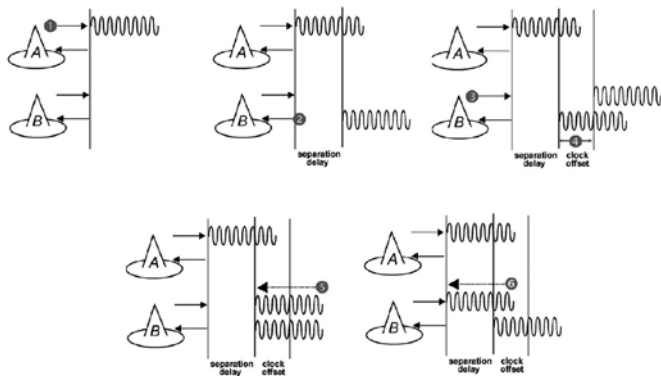
$$TL_i^M(t_k) = \frac{t\Phi^M(t_k) - \Phi_i(t_k)}{c} - (\rho_i^M(t_k) + \rho_{Rx}^{TxA}(t_k)) \quad (10)$$

Tačnost vremenske sinhronizovanosti primopredajnika u mreži *TimeLoc* tehnologijom je esencijalna s obzirom da na određivanje pseudo dužine bitno utiče višestruka refleksija, troposfersko kašnjenje i dr. S tim u vezi bitno je obezbediti vidljivost između *master* i ostalih primopredajnika u mreži, mada nije i neophodno. Naime, u situaciji kada to nije izvodljivo sinhronizacija se može vršiti i kaskadno, kako je to gore i rečeno [11].

Sinhronizacija dva *LocataLite* u mreži (slika 6), *TimeLoc* metodom, može se predstaviti kroz sledećih šest koraka [6] [14] [15]:

- **Korak 1:** *LocataLite* A odašilje C/A kod modulisan na nosećem signalu određenim PRN kodom.
- **Korak 2:** Prijemnik *LocataLite* B vrši akviziciju, praćenje i merenje signala generisanog od strane *LocataLite* A.

- **Korak 3 i 4:** *LocataLite B* generiše svoj jedinstven signal. U primopredajniku *LocataLite B* vrši se izračunavanje razlike između primljenog i odaslatog signala. Ignorišući greške propagacije signala, razlika između dva signala uzrokovana je zbog vremenske nesinhronizovanosti satova u primopredajnicima, kao i zbog geometrijske udaljenosti između njih.
- **Korak 5:** *LocataLites B* vrši korekciju sopstvenog oscilatora i sinhronizuje ga sa oscilatorom *LocataLites A* korišćenjem *Direct Digital Synthesis - DSS* tehnologije. Razlike oscilatora se kontinualno prate i koriguju. U ovom slučaju sat *LocataLites B* primopredajnika prati sat *LocataLites A*, odnosno sinhronizuje se prema njemu.
- **Korak 6:** Poslednji korak predstavlja korekciju geometrijske udaljenosti između dva uređaja A i B. Pozicije primopredajnika su poznate, pa se iz kordinata može sračunati i tačna udaljenost na temelju koje se vrši geometrijska korekcija. Ovim je izvršena *TimeLoc* sinhronizacija.



Slika 6: *TimeLoc* metod bežične sinhronizacije

5 LOCATANET TERESTIČKA MREŽA LOCATA PRIMOPREDAJNIKA

Lokalnu terestičku mrežu, *LocataNet*, kreiraju bar četiri *LocataLite* primopredajnika. Predajnici u okviru mreže su međusobno vremenski sinhronizovani putem bežične patentirane tehnologije *TimeLoc*. U ovako formiranoj mreži, akvizicijom kontrolisanih *Locata* signala, *Locata* rover može odrediti svoju poziciju bez korekcija sa bazne stanice ili drugih informacija [6].

Uspostavljanje *LocataNet* mreže zahteva ispunjenost dva uslova. Prvo, svaki *LocataLite* mora biti u mogućnosti da prima signale emitovane sa bar jednog *LocataLite* prijemnika iz mreže, i drugo, geometrija mreže (DOP) mora biti u saglasnosti sa zahtevanom tačnošću pozicioniranja [2]. Uspostavljanje *LocataNet* mreže je postupak koji se može razložiti na sledeće korake [6]:

- **Korak 1:** *LocataLite* primopredajnik određuje svoj položaj na osnovu GNSS opažanja, nakon čega emituje sopstvene signale,
- **Korak 2:** Drugi *LocataLite*, pozicioniran u okviru radnog područja prvog, određuje svoj položaj na osnovu GNSS opažanja i signala emitovanih sa prvog *LocataLite*. Vre-

menski se sinhronizuje sa signalom prvog *LocataLite* a nakon toga emituje vlastiti signal,

- **Korak 3:** Uslov za trodimenzionalno pozicioniranje je mreža formirana sa minimalno četiri primopredajnika. Iz tog razloga, mreža se proširuje sa još dva *LocataLite*. Postupak opisan u drugom koraku se ponavlja za svaki dodatno postavljen *LocataLite* koji svoj položaj određuje pomoću GNSS signala i signala registrovanih sa svih ostalih prethodno postavljenih primopredajnika,
- **Korak 4:** Nakon koraka 3 uspostavljena je osnovna geometrija *LocataNet* mreže koja se sastoji od četiri vremenski sinhronizovana primopredajnika. Položaj svakog od njih je precizno određen. Ovako uspostavljena mreža može funkcionisati nezavisno od GNSS sistema,
- **Korak 5:** Nakon što je mreža uspostavljena, moguće je izvršiti njeno proširivanje dodatnim *LocataLite* primopredajnicima, na otvorenom prostoru ili unutar objekata.

6 PRIMENA LOCATA TEHNOLOGIJE

S obzirom da uspostavljanje *LocataNet* mreže ne zahteva nužno vezu sa GNSS sistemom, a ujedno obezbeđuje funkcionalnost jednog GNSS sistema, formirano je potpuno novo tržište na nivou jedne države, korporacije ili pojedinačnog korisnika. Na područjima gradova, ili delova gradova, gradilišta, rudnika i površinskih kopova, aerodoroma, luka i skladišta, moguće je projektovati mrežu saglasnu predefinisanim kriterijumima dostupnosti, preciznosti i pouzdanosti. Pozicioniranje na ovaj način postaje lokalno orijentisan i nezavisan sistem, kontrolisan i korišćen od strane onog kome je potreban. Od 2005. godine [2] *Locata* tehnologija se kontinualno unapređuje čemu svedoče i testovi na područjima kao što su: *Locata Corporation's Numeralla Test Facility* (Australija), *UNSW* kampus (Australija), kampus *University of Nottingham* (Velika Britanija), *Ohio State University* (SAD), Međimursko veleučilište (Hrvatska) i dr.

- Prva testiranja *Locata* tehnologije u zatvorenim prostorijama sprovedena su 2002. godine u prostorijama zgrade *Locata Corporation*. Postignuta je subcentimetarska tačnost statičkog pozicioniranja, odnosno submetarska tačnost kinematičkog pozicioniranja [2] [16]. Dve godine kasnije *Locata* je testirana u stvarnim industrijskim uslovima u hali *BlueScope Steel* (Australija) [17]. 2010. godine sprovodi se testiranje *Locata* antene *TimeTena* u test prostorijama *Locata* korporacije. Rezultati ovih testova mogu se naći u radovima [9] [10]. Takođe, septembra 2011. godine, na konferenciji ION-GNSS, demonstrirana je preciznost pozicioniranja na centimetarskom nivou u zatvorenom prostoru [18].
- Počeci testiranja *Locata* tehnologije kada je u pitanju kontrola, monitoring i navigacija građevinskih mašina u rudnicima i otvorenim kopovima, vezuje se za rudnik *DeBeers* u Južnoj Africi 2006. godinu. Dve godine kasnije, rudnik *Newmont Boddington Gold* (Australija), postaje razvojni partner *Locata* korporacije sa ciljem usavršavanja i testiranja *Locata* tehnologije. Rezultat saradnje je

Leica Jigsaw Positioning System, izrađen u saradnji sa *Leica Geosystem*, kao i niz testova u periodu od nekoliko godina. Tokom pomenutog perioda sprovedeni su testovi dostupnosti *Locata* i GNSS signala na području površinskog kopa rudnika NBG, kao i testovi tačnosti pozicioniranja. Rezultati pokazuju značajno povećanje efikasnosti rada kada je u pitanju dostupnost signala na dnevnom nivou, dok sa druge strane tačnost pozicioniranja ostaje u saglasnosti sa zahtevanim kriterijumima. Rezultati su prezentovani u radovima [18] [19].

- *Locata* tehnologija koristi se i kao sistem u okviru koga je moguće vršiti monitoring pomaka i deformacija izgrađenih građevinskih objekata kao što su brane, mostovi, zgrade i dr. Prva testiranja sprovedena su u Sydney (Australija) i Nottinghamu (Velika Britanija) [2]. Serija kontrolnih merenja sprovedena je i na brani *Tumut Pond* u Australiji. Eksperiment je podrazumevao korišćenje dva nezavisna sistema za osmatranje istih kontrolnih tačaka, *Locata* sistem pozicioniranja, i robotizovanu totalnu stanicu. Rezultati pokazuju milimetarsku preciznost pozicioniranja, ali i određene probleme kada je u pitanju detekcija pomaka u vertikalnoj ravni prouzrokovana geometrijom mreže. Rezultati su prikazani u radu [20].
- Potrebe američkog ratnog vazduhoplovstva, (*U. S. Air Force - USAF*), zahtevaju autonoman pozicioni sistem operativan na ogromnim područjima. Prostor vojne baze, *Missile Range* (Novi Meksiko) koja se prostire na oko 6500 km², poslužio je kao test polje *Locata* pozicionog sistema, 2011. godine. Na pomenutom području, na zahtev USAF, uspostavljena je *LocataNet* mreža sa pojedinim baznim stranama dužim od 50 km. Prvi rezultati pokazuju tačnost pozicioniranja na nivou decimetra, a kompletni rezultati sadržani su u radu [21]. Osim za navigaciju u vojne svrhe, *Locata* sistem koristi se i za navigaciju pomorskih vozila i putničkih aviona. U luci *Sydney Harbour* (Australija) tokom 2012. godine, sprovedeno je niz testova sa ciljem navigacije pomorskih vozila, dok su testovi za potrebe navigacije aviona sprovedeni 2011. godine na aerodromu *Comma* (Australija). *Locata* sistem, u oba slučaja, integrisan je sa GNSS i INS sistemom pri čemu je cilj kroz niz testova sagledati benefite *Locata* tehnologije kao integrisanog (*Locata* + GNSS + INS), odnosno, autonomnog sistema pozicioniranja. Rezultati pomenutih testova ukazuju na mogućnost korišćenja *Locata* sistema kao potpuno samostalnog sistema radio pozicioniranja, uz napomenu da se geometriji *LocataNet* mreže mora posvetiti izuzetna pažnja. Takođe, u hibridnom sistemu, pri potpunoj opstrukciji GNSS signala, *Locata/INS* sistemom moguće je i dalje obezbediti pozicioniranje na centimetarskom nivou. Kompletni rezultati sadržani su u radovima [22] [23].
- Prva testiranja *Locata* tehnologije na našim prostorima sprovedena su na Međimurskom veleučilištu u Čakovcu u Hrvatskoj, decembra 2015. godine. Test je podrazumevao merenja na određenom broju kontrolnih tačaka, kroz više mernih sesija, koje su prethodno određene klasičnim

terestičkim geodetskim metodama. Merenja su realizovana tokom dva dana. Rezultati ukazuju na visoku preciznost merenja, preciznost na centimetarskom nivou, u horizontalnoj i vertikalnoj ravni. Kompletni rezultati eksperimenta dostupni su u radu [24].

7 ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Primarni cilj koji egzistira kroz proces razvoja *Locata* tehnologije je nadomestiti nedostatke koji su standardno prisutni kod tradicionalnog pozicioniranja GNSS sistemima, a pri tome zadržati kvalitet samih merenja i robusnost sistema. Gusto naseljena područja gradova, šumska područja, doline, velika gradilišta, otvoreni kopovi, hale i zatvorene prostorije predstavljaju područja gde samo satelitskim metodama nije moguće obezbediti rezultate zadovoljavajućeg kvaliteta, sa stanovišta pozicioniranja i navigacije. U tom smislu, *Locata* predstavlja terestičku podršku GNSS konstelacijama, ili mrežu zemaljskih referentnih stanica, kojima je lokalno područje pokriveno stabilnim signalima na bazi kojih je obezbeđeno pozicioniranje na centimetarskom ili subcentimetarskom nivou. *Locata* sistem moguće je koristiti i potpuno samostalno što praktično znači da su stvoreni uslovi za rad i pri potpunoj opstrukciji GNSS signala.

Osnovu *Locata* tehnologije čije *LocataLite* primopredajnici koji formiraju *LocataNet* mrežu. *LocataNet* mreža je terestička mreža *LocataLite* primopredajnika koja je u potpunosti podređena potrebama korisnika i okruženja u kom se koristi. Mreža može pokrivati područje industrijske hale, ali i daleko veće područje pri čemu se dužine baznih strana mogu kretati i do 50 km. Svaki od primopredajnika u mreži odašilje četiri nezavisna *Locata* signala iz besplatnog *ISM* frekventnog opsega, na bazi kojih *Locata* rover određuje svoju poziciju u mreži. *LocataLite* primopredajnici su visoko vremenski sinhronizovani, što je uslov za kvalitetno određivanje pozicije *Locata* rovera. Sinhronizacija primopredajnika odvija se kroz bežični i patentiran metod, *TimeLoc*.

Sumirano, *LocataNet* predstavlja terestičku konstelaciju određenog broja primopredajnika, sa funkcionalnostima jednog GNSS sistema, u praktično ma kom radnom okruženju. Terestički i korisnički segment *Locata* sistema egzistiraju zajedno, dok odvojen kontrolni segment ne postoji. U okviru terestičkog segmenta sadržani su *LocataLite* primopredajnici koji pokrivaju prethodno definisano područje rada, dok se korisnički segment sastoji od jednog ili više *Locata* rovera koji određuju svoju poziciju i vremena na bazi akvizicije *Locata* signala iz terestičkog segmenta [2].

8 LITERATURA

- [1] Novaković, G., Đapo, A., Mahović, H. (2009): Razvoj i primjena pseudolita u pozicioniranju i navigaciji, *Geodetski list*, 3, 215–241.
- [2] Novaković, G., Marenić, A., Grgac, I., Paar, R., Ilijaš, R. (2015): *Locata* – Nova tehnologija visokopreciznog pozicioniranja na otvorenome i u zatvorenim prostorima, *Geodetski list*, 4, Zagreb, Hrvatska, 279 – 304.

- [3] URL 1: Technology Brief, <http://www.locata.com/wp-content/uploads/2014/07/Locata-Technology-Brief-v8-July-2014-Final1.pdf>, pristupljeno (10. 02. 2016.).
- [4] URL 2: Locata's Inventions, <http://www.locata.com/technology/locata-tech-explained/locatas-inventions/>, pristupljeno (5. 02. 2016.).
- [5] Khan, F., (2011): Locata Positioning System Performance Evaluation and Improvement in the Presence of RF Interference, PhD Thesis, School of Surveying & Spatial Information System, The University of New South Wales, Australia.
- [6] Barnes, J., Rizos, C., Wang, J., Small, D., Voigt, G., Gambale, N. (2003): High precision indoor and outdoor positioning using LocataNet, *Journal of Global Positioning Systems*, Vol. 2, No. 2, 73–82.
- [7] URL 3: Locata's Inventions, <http://www.locata.com/technology/locata-tech-explained/locatas-inventions/>, pristupljeno (5. 02. 2016.).
- [8] Barnes, J., Rizos, C., Kanli, M., Pahwa, A., Small, D., Voigt, G., Gambale, N., Lamance, J. (2005): High accuracy positioning using Locata's next generation technology, 18th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Institute of Navigation, Long Beach, California, 13–16 September, 2049–2056.
- [9] Rizos, C., Li, Y., Politi, N., Barnes, J., Gambale, N., (2011): Locata: A new constellation for high accuracy outdoor and indoor positioning, FIG Working Week, Marrakech, Morocco, 18–22 May 2011.
- [10] Rizos, C. (2013): Locata: A positioning system for indoor and outdoor application where GNSS does not work, 18th Annual Conf., Association of Public Authority Surveyors, Canberra, Australia, 12–14 March, 73–83.
- [11] Bonenberg, L., K., (2014): *Closely-Coupled Integration of Locata and GPS for Engineering Applications*, PhD Thesis, The University of Nottingham, Faculty of Engineering, England, Nottingham.
- [12] Cheong, J., W., Wei, X., Politi, N., Dempster, A., G., Rizos, C., (2009): *Characterising the Signal Structure of Locata's Pseudolite-based Positioning System*, IGSS Symposium 2009, International Global Navigation Satellite System Society, Australia, 1 – 3 December.
- [13] Mihailović, K., Aleksić, I., (2008): *Koncepti mreža u geodetskom premeru*, Belgrade: Geokarta.
- [14] Barnes, J., Rizos, C., Wang, J., Small, D., Voigt, G., Gambale, N. (2003): Locatanet: A new positioning technology for high precision indoor and outdoor positioning, 16th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Institute of Navigation, Portland, Oregon, USA, 9–12 September, 1119–1128.
- [15] Barnes, J., Rizos, C., Wang, J., Small, D., Voigt, G., Gambale, N. (2003): Locatanet: Intelligent time-synchronised pseudolite transceivers for cm-level stand-alone positioning, 11th Int. Assoc. of Institutes of Navigation (IAIN) World Congress, Berlin, Germany, 21–24 October 2003.
- [16] Rizos, C., Barnes, J., Small, D., Voigt, G., Gambale, N. (2003): A new pseudolite-based positioning technology for high precision indoor and outdoor positioning, Int. Symp. & Exhibition on Geoinformation 2003, Shah Alam, Malaysia, 13–14 October, 115–129.
- [17] Barnes, J., Rizos, C., Kanli, M., Small, D., Voigt, G., Gambale, N., Lamance, J., Nunan, T., Reid, C. (2004): Indoor industrial machine guidance using Locata: a pilot study at BlueScope Steel, 60th Annual Meeting of the U.S. Inst. Of Navigation, Dayton, Ohio, USA, 7–9 June, 533–540.
- [18] Rizos, C., Gambale, N., Lilly, B., (2013): *Mine machinery automation using Locata-augmented GNSS*, U.S. Institute of Navigation Pacific PNT Symp., Honolulu, Hawaii, USA, 22–25 April, 463–469.
- [19] Lilly, B., Gray, S., Carr, J., Earl, J., (2012): *Well positioned*, International Mining, Berkhamsted, Hertfordshire, England, September, 68–79.
- [20] Choudhury, M., Rizos, C. (2010): Slow structural deformation monitoring using Locata – a trial at Tumut Pond Dam, *Journal of Applied Geodesy*, Vol. 4, Issue 4, 177–187.
- [21] URL 4: Inside GNSS, <http://www.insidegnss.com/auto/mayjune12-Craig.pdf> pristupljeno (10.11.2016.).
- [22] Jiang, W., Li, Y., Rizos, C., Barnes, J., Hewitson, S. (2013): Precise Maritime Navigation with a Locata-Augmented Multi-Sensor System, China Satellite Navigation Conference (CSNC) 2013 Proceedings, Lecture Notes in Electrical Engineering Vol. 245, 577–587.
- [23] Jiang, W., Li, Y., Rizos, C., Barnes, J. (2013): Flight Evaluation of a Locata-augmented Multisensor Navigation System, *Journal of Applied Geodesy*, Vol. 7, No. 4, 1–9.
- [24] Grgac, I., Novaković, G., Ilijaš, R., (2015): First Application of Locata Positioning Technology in Croatia, SIG 2016 – International Symposium on Engineering Geodesy, 20–22 May 2016, Varaždin, Hrvatska, 451–462.



Prof. dr Miro Govedarica, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

Kontakt: miro@uns.ac.rs

Oblasti interesovanja: Geoinformacioni sistemi, objektno-orijentisano softversko inženjerstvo, baze podataka



Asistent Nenad Antić mast. inž. geodez., Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Srbija

Kontakt: nenadsbc@uns.ac.rs

Oblasti interesovanja: Geoinformacioni sistemi, globalni navigacioni satelitski sistemi, daljinska detekcija

