

RAZVOJ GLOBALNIH SATELITSKIH NAVIGACIONIH SISTEMA

Kapetan sc *Slobodan* Radojević,
slobodan.radojevic@va.mod.gov.rs, Vojna akademija,
kapetan fregate mr *Jovica* Ćurčić,
jovicacurcic@artcommunication.rs, Komanda Rečne flotile

Rezime:

U radu se analiziraju načini poboljšanja karakteristika globalnih satelitskih navigacionih sistema kako bi zadovoljili strože sigurnosne zahteve. Takođe, dat je osvrt na postojeće globalne satelitske navigacione sisteme. Bliža budućnost postojećih globalnih satelitskih navigacionih sistema jeste u međusobnoj integraciji, a dalja u integraciji i sa ostalim sensorima za prikupljanje svih vrsta podataka koji služe kreiranju informacija potrebnih za bilo koji aspekt ljudskog života. Prikazana je procena i očekivanje porasta broja korisnika globalnih satelitskih navigacionih sistema u budućnosti, u različitim sferama ljudskog života, koja dovoljno govori o njihovoj važnosti i širokoj primeni. Ključne reči: globalni satelitski navigacioni sistemi, sigurnost.

DEVELOPMENTS OF GLOBAL NAVIGACION SATELLITE SYSTEMS

Summary:

The article analyses the methods to improve the characteristics of the global navigation satellite systems so as to comply with more stringent safety demands. Existing global navigation satellite systems have also been discussed. Near future of existing global navigation satellite systems can be observed in the mutual integration and further in the integration with other sensors used for collecting all kinds of data serving in the creation of information necessary for any aspect of human life. At the end there is also an assessment given as well as the expectations that the number of users of global navigation satellite systems will rise in the future in various fields of human life, which says more than enough about how important and how broadly applied they are.

Key words: *global navigation satellite systems, safety.*

Uvod

Osnovna specifičnost gotovo svakog satelitskog radio-navigacionog sistema je dvoetajni rad. U prvoj etapi, po podacima trajektornih merenja koja se izvode u fiksiranim trenucima, određuju se početni parametri orbite

navigacionog satelita i prognozira se njegovo kretanje, tj. proračunavaju se njegovi tekući efemeridi (koordinate i komponente vektora brzine satelita). U drugoj etapi određuju se pozicija i vektor brzine letelice, broda (korisnika) u njegovom računarima na osnovu izmerenih navigacionih parametara i efemeridne informacije izdvojene iz signala dobijenog sa satelita [1].

Prihvatanje satelitskih navigacionih sistema u vazduhoplovstvu i pomorstvu zavisi od strogih sigurnosnih aspekata i mora da zadovolji više zahteva. To su:

- 1) *tačnost* – mogućnost sistema da osigura zadovoljavajuću navigacionu tačnost za pojedine faze leta ili plovidbe;
- 2) *celovitost* – garancija da sve funkcije sistema rade unutar operativnih granica tolerancije uz mogućnost detekcije anomalija signala koje bi mogle da izazovu navigacione greške veće od propisanih;
- 3) *dostupnost* – svojstvo sistema da je upotrebljiv unutar područja pokrivanja i da je navigacioni signal dostupan korisniku i
- 4) *kontinuitet* – mogućnost sistema da osigura funkcionalnost bez prekida u radu, kao i da sistem funkcioniše sve vreme trajanja neke operacije [2].

Postojeći satelitski navigacioni sistemi, američki GPS¹ i ruski GLO-NASS,² ne zadovoljavaju sve zahteve u fazama leta i plovidbe, pogotovo ne za precizni prilaz pri sletanju i za približavanje obali. Podaci o poziciji dobijeni satelitskim navigacionim sistemom mogu poslužiti u vazduhoplovstvu tek nakon što se uporede sa drugim proverenim navigacionim sistemom.

Sistem globalnog pozicioniranja bio je zamišljen kao globalno dostupan satelitski navigacioni sistem prvenstveno za vojne, a tek zatim i za civilne korisnike. Za ispravan rad celokupnog sistema važno je da sateliti emituju tačne podatke na osnovu kojih prijemnici izračunavaju poziciju. Satelitski navigacioni sistemi ne omogućavaju civilnim korisnicima dovoljan uvid u stanje ispravnosti satelita [3].

Integritet sistema podrazumeva garanciju da sve njegove funkcije rade u operativnim granicama tolerancije. Ako dođe do kvara na predajniku satelita, satelit neće emitovati signale i neće moći da utiče na greške pozicioniranja. Međutim, ako satelit šalje signale, ali je došlo do nepravilnosti u radu zbog kojih šalje netačne podatke, to rezultuje greškom pozicioniranja većom od dopuštene. Grešku registruje zemaljski kontrolni segment sistema i satelitu šalje korekciju, u čijoj je navigacijskoj poruci sadržan podatak o stanju satelita koji može biti emitovan sa velikim kašnjenjem s obzirom na kon-

¹ GPS (**G**lobal **P**ositioning **S**ystem) – Sistem globalnog pozicioniranja je jedan od satelitskih navigacijskih sistema za vrlo tačno i stalno određivanje pozicije, u vlasništvu i pod nadzorom Ministarstva obrane SAD. Pokrenut je sedamdesetih godina prošlog veka.

² GLONASS (ruski: **Г**ЛОБАЛЬНАЯ **Н**АВИГАЦИОННАЯ **С**ПУТНИКОВАЯ **С**ИСТЕМА ili engleski: **G**lobal **N**avigation **S**atellite **S**ystem), doslovno: „globalni navigacijski satelitski sistem“) je satelitski navigacijski sistem koji je započeo SSSR 1976. godine. Po raspadu Sovjetskog Saveza Rusija je preuzela projekat i on se trenutno nalazi u nadležnosti ruskih svemirskih snaga.

cepciju slanja korekcijskih podataka kontrolne stanice prema satelitima. U pomorstvu i vazduhoplovstvu i ovakvo kašnjenje može imati velike posledice u pogledu sigurnosti. Radi toga sistem bez dodatnih dogradnji ne može biti prihvaćen kao jedini navigacijski sistem koji zadovoljava sve zahteve.

Problem integriteta sistema treba razmotriti naročito u situacijama približavanja obali ili aerodromu, kad bi se upozorenje o otkazu sistema ili nepreciznosti trebalo, zbog sigurnosti, javiti za manje od 6 sekundi od nastanka kvara. Postoje razne varijante nadzora, kontrole i dojava celovitosti, što utiče na prihvaćenost tehnologije nadgradnje navigacionih sistema.

Dostupnost sistema na poziciji korisnika može se definisati kao postotak vremena u kojem je usluga pozicioniranja iskoristiva u definisanom periodu. Kontinuitet sistema definiše se kao verovatnoća da je usluga pozicioniranja podržana za sve vreme otkad je korisnik započeo neku operaciju do njenog kraja bez prekida.

Diferencijalni GPS

Kako postojeći satelitski navigacioni sistemi ne zadovoljavaju zahteve tačnosti u fazama leta i plovidbe potrebno je poboljšati njihovu tačnost. Visoka tačnost pozicije neophodna je pri plovljenju kroz kanale, navigaciono teška područja i u prilazima lukama. U tim slučajevima tačnost mora biti znatno veća od zahtevane tačnosti pozicije broda na otvorenom moru.

Veća tačnost određivanja pozicije korisnika može se dobiti merenjem sa višekanalnim GPS prijemnikom, dužim vremenom opažanja i naknadnom obradom dobijenih podataka, simultanim opažanjem sa više prijemnika, a takođe i diferencijalnim globalnim pozicionim sistemom (DGPS) [1].

Diferencijalni režim rada realizuje se pomoću kontrolnih primopredajnih stanica, čiji su osnovni elementi: prijemnik radio-navigacionih signala GPS, koji radi sa topografski privezanim antenom; računar koji određuje koordinate prijemne stanice na osnovu primljenih radio-navigacionih signala i izračunava diferencijalne popravke navigacionih parametara upoređenjem izračunatih koordinata sa poznatim koordinatama kontrolne stanice; i predajnik pomoću kojeg se te popravke prenose na letelicu ili brod (korisniku).

Postoje diferencijalni radio-navigacioni sistemi sa različitim korekcijama:

– *radio-navigacioni sistem sa korekcijom pozicije*. Na kontrolnoj stanici periodično se mere diferencijalne popravke pozicije trodimenzionalne tačke u geocentričnom pravouglom (Δx , Δy , Δz) ili sfernom ($\Delta \varphi$, $\Delta \lambda$, Δh) koordinatnom sistemu, koje se zatim predaju korisnicima sistema. Za realizaciju ove varijante potrebno je da kontrolna stanica i svi korisnici koji se nalaze u zoni njenog opsluživanja koriste jedan isti radni set navigacionih satelita. Pri narušavanju ovog uslova brzo nastaje poremećaj, a ne kompenzacija sistemске greške određivanja pozicije korisnika;

– *radio-navigacioni sistem sa korekcijom pseudodaljine*. Ovaj sistem ne zahteva da korisnici koriste isti set navigacionih satelita koji koristi kontrolna stanica. Korisnici dobijaju diferencijalne popravke o pseudodaljini za sve vidljive navigacione satelite sa kontrolne stanice. Greške određivanja pozicije u ovoj varijanti nastaju zato što kontrolna stanica i korisnici za navigacione parametre koriste efemeridnu informaciju, formiranu u različitim trenucima. Pri tome se promene promenljivih komponenta efemeridne informacije uračunavaju samo na kontrolnoj stanici, jer jeftini prijemnici tipa Z, zbog odsustva posebnog informacionog kanala, ne mogu da obnavljaju ovu informaciju posle njenog regularnog uvođenja u toku 30 do 40 minuta;

– *radio-navigacioni sistemi sa vremenskom korekcijom*. Dok prve dve varijante predstavljaju sisteme dalje navigacije sa lokalnom korekcijom, dotle se u ovom navigacionom sistemu realizuje sistem relevantne (bliže) navigacije, jer korisnici određuju svoju poziciju u odnosu na kontrolnu stanicu, a ne na satelite. To omogućava da se uprosti šema prijemnika korisnika i smanji broj korigovanih parametara radi dobijanja tačne pozicije.

Dakle, standardna metoda poboljšanja tačnosti jeste postavljanje kontrolnih stanica na tačno poznatim pozicijama, koje izračunavaju korekcijske veličine za tačnije pozicioniranje i šalju ih korisnicima preko radio-veza.

Sistem radi sa pomoćnom zemaljskom stanicom za nadzor na tačno poznatoj poziciji. Nadzorna stanica prima signale svih vidljivih satelita, izračunava greške i preko radio-veze emituje podatke o veličini grešaka i potrebne korekcije. Ovakvim korekcijama u krugu od nekoliko stotina kilometara od nadzorne stanice može se postići tačnost do 2 m (tabela 1). Korisnik mora posedovati prijemnik za poruke sa DGPS i program za obradu korekcijskih podataka. Zemaljska stanica služi kao „dodatni satelit“ i daje dodatni podatak sa vrlo tačnom pozicijom.

Tabela 1

Izvori grešaka GPS, poboljšanje tačnosti sa DGPS [2]

Komponenta greške, tipično (po satelitu)	Standardni GPS (m)	Diferencijalni GPS (m)
Vreme u satelitu	1,5	0,0
Greške orbite	2,5	0,0
Jonosfera	5,0	0,4
Troposfera	0,5	0,2
Šum u prijemniku	0,3	0,3
Višestruka refleksija	0,6	0,6
Ukupno	10,4	1,5

Prisutne su i modifikacije ovog načina otklanjanja grešaka. Moguće je sačuvati merenja u baznoj stanici i merenja u prijemniku i kasnije pristupiti proračunu gde je prijemnik bio (*mapiranje*). Obrnut proces (Inverted) diferencijalnog sistema koristi se kada se iz baze želi nadzirati veliki broj prijemnika (npr. javni prevoz). Kako se ne bi u svako vozilo ugrađivao prijemnik koji podržava DGPS ulaz, u vozilu se mere samo pseudoudaljenosti koje se radio-vezom prosleđuju bazi, gde se proračunava i korekcija [2].

U Americi radi DGPS služba koju kontroliše Obalska straža SAD (*U. S. Coast Guard*). Za emitovanje diferencijalnih korekcija koristi se frekvencijama postojećih srednjih talasa odašiljača obalnih radio-farova (285–325 KHz). Domet ovih predajnika je oko 500 km. Sistem je namenjen prvenstveno za pomorsku navigaciju u priobalnim područjima. Na kopnu se mogu vrlo uspešno koristiti mreže postojećih ultrakratkotalasnih (UKT) predajnika za emitovanje diferencijalnih korekcija. Osim vrlo dobre pokrivenosti, velika prednost upotrebe UKT predajnika je i mogućnost korišćenja jednostavnim prijemnicima. Gotovo svi evropski predajnici već emituju, uz normalne radio-programe, i digitalne podatke preko RDS sistema (Radio Data Service – radio-digitalni podaci). RDS omogućava automatsku identifikaciju, izbor vrste programa i druga obaveštenja, kao i prenos dodatnih informacija. Primena UKT predajnika za prenos diferencijalnih korekcija može biti problematična samo za vazduhoplove na većim visinama, jer odašiljači imaju usmerenu karakteristiku antena orijentisanu, uglavnom, na niže elevacije [4].

U novije vreme diferencijalne korekcije mogu se slati korisnicima i internetom. Ovakvi sistemi sa korekcijama merenja pseudoudaljenosti na lokalnom nivou nazivaju se LADGPS (Local Area DGPS - sistem sa diferencijalnim korekcijama na lokalnom nivou), a navigacijske greške postaju sve nepreciznije povećanjem udaljenosti od kontrolne stanice. Ukoliko se diferencijalne korekcije prenose nekom bežičnom tehnologijom (npr. GSM), sistem se naziva WAGPS (Wireless Assisted GPS – bežično podržani GPS).

Smanjenje tačnosti zbog prostorne dekorelacije može se popraviti pomoću sofisticiranih tehnika WADGPS sistema (Wide Area DGPS – veliko područje pokrivenosti DGPS). Prednosti diferencijalnog sistema su povećana tačnost pozicioniranja od 2 do 3 m na prostoru do 1000 km udaljenosti od kontrolne stanice. Na manjim udaljenostima, do 50 km, može se postići tačnost od 1 do 2 m. Kako diferencijalni sistem kontinuirano kontroliše sve parametre sistema, svaka degradacija njegovog rada registruje se i trenutno signalizira korisnicima. Reakcija DGPS je mnogo brža nego što kontrolni segment sistema signalizira nepravilnost u radu satelita unutar navigacione poruke i time omogućava eliminaciju podataka tog satelita. Zato diferencijalni sistem ima vrlo dobru kontrolu integriteta sistema, što je vrlo važan činilac za sigurnost pri upotrebi sistema u vazduhoplovstvu [5].

Kvalitet korekcijskih parametara zavisi od kvaliteta bazne stanice, a preostali izvori grešaka koji su neotklonjivi ovom metodom jesu šum prijemnika i greška zbog višestrukog puta signala. Što je prijemnik dalje od bazne stanice, diferencijalna korekcija postaje netačnija. Greške su u granicama dozvoljenih, sve do udaljenosti od 250 km, ali su korekcije obično ograničene dometom odašiljača tih korekcija na oko 170 km LADGPS (Local DGPS – lokalni DGPS). Za veća područja pokrivenosti izgrađuju se mreže baznih stanica tako da prijemnik bira korekcije iz bliže stanice WADGPS. Starost LADGPS korekcije koja dođe do prijemnika manja je od 5 sekundi, što ne utiče na njenu valjanost, a ukoliko prijemnik prestane dobiti WADGPS korekcije, koristi poslednju koju je primio još oko 2 minuta. Osim popravke položaja, važan zadatak DGPS je poboljšavanje pouzdanosti merenja radi brže dojave mogućeg kvara satelita. Sistemi WADGPS ostvaruju nešto manju tačnost (oko 3 m na području gde su korekcije valjane) za razliku od sistema LADGPS (do 1,5 m oko referentne stanice), jer WADGPS ne pokriva uticaj troposfere na kašnjenje signala.

Poboljšanja satelitskih navigacionih sistema

Jedan od mogućih načina poboljšanja i dopune satelitskih navigacionih sistema koristi se geostacionarnim satelitima INMARSAT.³ Inmarsatovi sateliti omogućavaju uvođenje diferencijalnih usluga satelitskih navigacionih sistema za široko područje upotrebe. Geostacionarna satelitska dopuna GPS i GLONASS za civilnu navigaciju uvedena je kako bi korisnici dobili dodatne podatke koji omogućavaju postizanje strogih zahteva pouzdanosti i celovitosti informacija i navigacionih podataka. Dodatni navigacioni signali generišu se u zemaljskim stanicama i emituju uzlaznom (*uplink*) vezom do satelita Inmarsat-3 koji imaju repetitorske kanale za re-emitovanje navigacionih signala korisnicima. Takva dopuna omogućuje sledeće usluge:

- emitovanje informacija o celovitosti i ispravnosti svakog GPS i GLONASS satelita u realnom vremenu;
- emitovanje dodatnih navigacionih signala radi povećanja dostupnosti GPS signala, što rezultuje povećanjem RAIM⁴ dostupnosti, i
- emitovanje diferencijalnih korekcija na širokom prostoru za GPS i GLONASS korisnike, kako bi se povećala tačnost signala civilnih korisnika.

Kombinacija ovih usluga čini WAAS sistem (Wide Area Augmentation System – široko područje augmentacije) [4] i [5].

³ INMARSAT – sateliti koji se nalaze u geostacionarnoj orbiti na udaljenosti od 35700 km, čime je osigurano vreme obilaska od 24 časa, odnosno zbog čega se za nepokretnog posmatrača položaj satelita na nebeskom svodu ne menja tokom vremena.

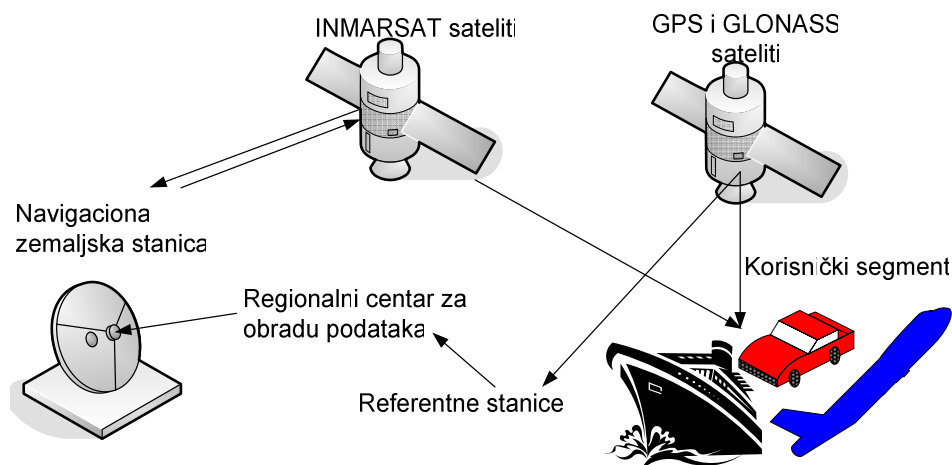
⁴ RAIM – Receiver Autonomous Integrity Monitoring – tehnika za procenu tačnosti signala u prijemniku.

Sistem WAAS

Radi povećanja tačnosti satelitskih navigacionih sistema GPS i GLONASS za civilne korisnike pri radu na velikim prostranstvima, danas se razvija nekoliko satelitskih sistema za povećanje mogućnosti sredstva satelitske navigacije (SBAS – Satellite Based Augmentation System), kao što su:

- evropski globalni geocentrični navigacioni sistem (EGNOS), namenjen za prekrivanje zone određen Evropskom konferencijom civilnog vazduhoplovstva (ECAC);
- američki sistem WAAS, koji bi pokrivaio kontinentalni deo SAD;
- japanski sistem MSAS, koji bi pokrivaio japanska ostrva.

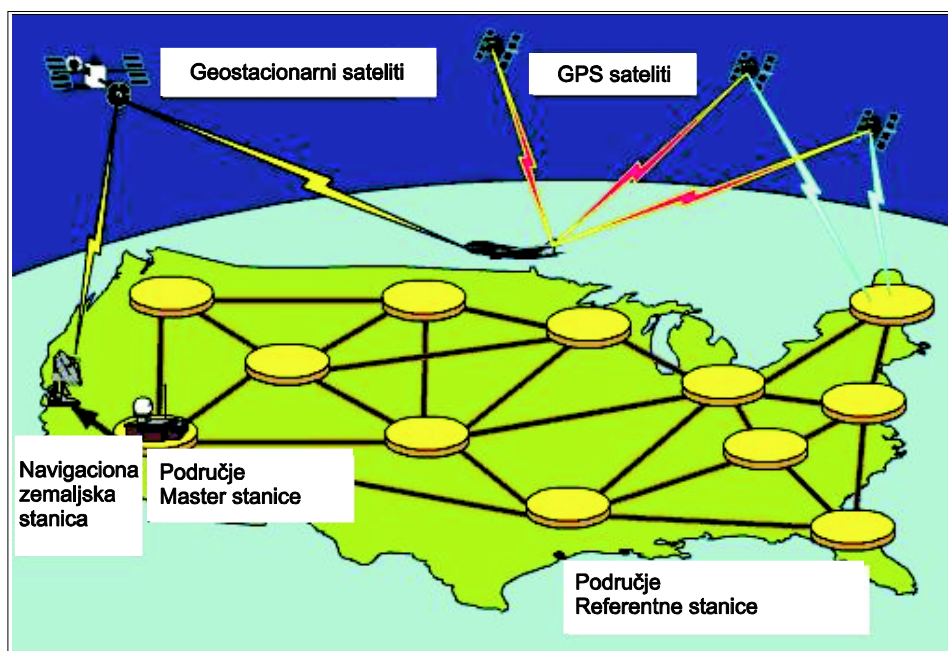
Sistemi SBAS pomoću satelita šalju korekcijske podatke i podatke o integritetu satelitskih sistema GPS i GLONASS. Svrha ovih sistema jeste da povećaju tačnost i pouzdanost određivanja pozicije. Sistem WAAS razvijen je u SAD i pokriva ceo kontinent Severne Amerike [4] i [5]. Navigacioni signali GPS i GLONASS primaju se na referentnim stanicama (integrity monitoring) raspoređenima na širokom prostoru SAD. Primljeni podaci šalju se mrežama do regionalnog centra za obradu, gde se obrađuju podaci o celovitosti, diferencijalnim korekcijama i jonosferskim vrednostima za svaki pojedini satelit. Načelo rada WAAS sistema prikazano je na slikama 1 i 2 (obrađa autora na osnovu [5]).



Slika 1 – Sistem WAAS

Kako su geostacionarni Inmarsat sateliti sastavni deo sistema, i za njih je potrebno obraditi precizne orbitalne informacije. Integrisana korekcijska poruka prosleđuje se do navigacione zemaljske stanice. U naviga-

cionoj stanici signal proširenog spektra se precizno sinhronizuje sa referentnim vremenom i moduliše sa podacima o integritetu i ispravnosti sistema, kao i diferencijalnim ispravkama.



Slika 2 – Sistem WAAS u SAD

Taj signal emituje se prema geostacionarnom satelitu na uzlaznoj frekvenciji (*uplink*) u C-pojasu. Na Inmarsat satelitu navigacioni signal se frekvencijski transponira i emituje korisnicima na frekvenciji $L_1=1575,42$ MHz i do navigacionih zemaljskih stanica u C-pojasu. Ovaj signal u C-pojasu služi za vrlo precizno vremensko usklađivanje *takt-signal*a u zatvorenoj petlji povratne veze, kako bi se signal mogao tretirati kao da je generisan na satelitu za određivanje udaljenosti.

Signal WAAS je tako koncipiran da su za postizanje kompatibilnosti potrebne minimalne modifikacije sklopova GPS prijemnika. Kao nosilac koristi se samo frekvencija L_1 i modulacioni postupci kao u GPS, uključujući C/A pseudoslučajni PRN kod (Pseudo Random Noise). Faza koda sinhronizovana je sa GPS vremenom, kako bi se imitirao satelit sa mogućnošću određivanja udaljenosti.

Brzina podataka i format modulacionih podataka superponiranih na nosilac proširenog spektra drugačiji su nego u GPS signalu. U signalu su mnogobrojne poruke koje generiše WAAS operater i namenjene su kompatibilnim GPS prijemnicima za informisanje o funkcionisanju satelit-

skog navigacionog sistema. Poruke sadrže i informacije o korekcijama jonsferskog kašnjenja koje se koriste za poboljšanje preciznosti i tačnosti pozicioniranja. Simboli poruke prenose se brzinom od 500 simbola u sekundi [4] i [5].

Da bi se koristile prednosti WAAS sistema bilo gde na Zemlji, potpuno kompatibilni kontrolni sistemi morali bi biti postavljeni i izvan SAD, širom sveta. U Evropi se razvija verzija WAAS sistema pod nazivom EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service – Evropski geostacionarni navigacijski servis).

Evropski geostacionarni navigacioni servis – EGNOS

Sistem EGNOS je zajednički projekat Evropske unije, Evropske agencije za svemirska istraživanja⁵ (ESA) i Evropske organizacije za sigurnost vazduhoplovne navigacije EUROCONTROL. Planovi razvoja sistema za globalnu navigaciju predviđaju razvoj u nekoliko faza [3]. U prvoj fazi koristila bi se infrastruktura GPS i GLONASS sistema uz nezavisan sistem za kontrolu i praćenje. Kontrolni sistem bi se sastojao od glavne kontrolne stanice, nekoliko kontrolnih stanica za praćenje celovitosti sistema raspoređenih na Islandu, u severnoj Skandinaviji, u istočnom Mediteranu i Kanarskim ostrvima, i navigacijskih zemaljskih stanica uz geostacionarne satelite s navigacionim predajnicima koji treba da osiguraju dodatno merenje pseudoudaljenosti. Sistem treba da osigura WADGPS uslugu za ceo evropski kontinent u realnom vremenu. Rad sistema je vrlo sličan WAAS sistemu u Americi [3]. Za razliku od WAAS, EGNOS je planiran da daje i diferencijalne korekcije za GLONASS i za Galileo sistem.

Podaci i formati podataka bili bi identični. Problemi rada sistema mogu se pojaviti u severnijim delovima kontinenta, gde su geostacionarni sateliti nisko iznad horizonta sa vrlo malom elevacijom, pa prijem signala može biti problematičan. Na geografskim širinama iznad 80° elevacije geostacionarnih satelita su ispod horizonta. Da bi se izbegao problem zaklonjenosti geostacionarnih satelita koji emituju EGNOS signale, od februara 2002. godine ESA nudi mogućnost pristupa EGNOS signalima i preko interneta korišćenjem SISNeT tehnologije.⁶ Tako svaki korisnik preko interneta može pristupiti EGNOS sistemu potpuno nezavisno od signala geostacionarnih satelita [3]. Signali sa geostacionarnih satelita su

⁵ **Evropska svemirska agencija ili Evropska agencija za svemirska istraživanja (ESA)** (engl. *European Space Agency*) osnovana je 1975. godine kao međuvladina organizacija posvećena istraživanju svemira sa trenutno 16 država članica. Sedište ESA je u Parizu, Francuska. ESA ima 1900 zaposlenih (ne računajući podizvođače i nacionalne svemirske agencije).

⁶ SISNeT – Signal In Space over Internet – pristup satelitskim signalima preko interneta.

vidljivi avionima i brodovima, dok je u gradskim sredinama čest problem gubitak korekcijskog signala zbog zaklanjanja malog broja stacionarnih satelita raznim preprekama. Zbog toga je ESA razvila SiSNeT koji korisnicima spojenim na internet omogućuje pristup EGNOS signalu. Pristup korekcijama za sada je besplatan (uz autorizaciju koju je moguće zatražiti na SISNeT@esa.int uz opis za šta se traži, za koju IP adresu i koji port). Osim autorizacije na SiSNeT server, potreban je i SIS2DS klijent (protokol izgrađen na bazi TCP/IP, a optimizovan za prenos EGNOS poruka). Poruke je potrebno raspakovati, a nakon toga sledi i aplikacija koja će ih koristiti uzimajući od GPS prijemnika samo izmerene pseudoudaljenosti. Gotovo rešenje za sada nije dostupno, a detaljna uputstva za izradu pojedinih komponenata, kao i primeri koda i potrebnih specifikacija, mogu se naći u *User Interface Documentu*. Do sada je provedeno tek nekoliko demonstracija ove tehnologije i to koristeći GSM modem za bežični prenos korekcija, PDA za računanje položaja i običan GPS prijemnik za merenje pseudoudaljenosti.

Prednosti EGNOS sistema su:

- emitovanje signala geostacionarnog satelita pokriva veliku teritoriju;
- kombinacija sistema EGNOS i WAAS može osigurati gotovo globalnu pokrivenost, i
- prate se greške jonosferskog kašnjenja, efemerida satelita i greške u vremenu.

Nedostaci EGNOS sistema su:

- velika i skupa infrastruktura mreže na Zemlji;
- problematična vidljivost geostacionarnih satelita na velikim geografskim širinama i u polarnim krajevima;
- slaba vidljivost satelita u urbanim, planinskim krajevima i šumama, i
- geostacionarni sateliti emituju slične signale kao i navigacioni sateliti, pa su podložni istim smetnjama i otkazima.

Gruba procena tačnosti merenja različitim tehnikama prikazana je u tabeli 2.

Tabela 2

Gruba procena tačnosti merenja različitim tehnikama [2]

Metoda merenja	Procena tačnosti (m)
Običan prijemnik, SPS	20
WAAS	3
EGNOS	1–2
Beacon DGPS	1–3
LADGPS	1

Budući da su sistemi GPS i GLONASS pod vojnim nadzorom, druga faza evropskog sistema za globalnu navigaciju trebalo bi da osigura nezavisnost od GPS i GLONASS sistema, lansiranjem vlastitih navigacionih satelita. Taj projekt se naziva „Galileo“. Lansiranje prvih satelita sistema Galileo počelo je decembra 2005. godine, a sistem je u 2008. godini počeo da funkcioniše. Galileo treba da osigura Evropi potpunu nezavisnost na polju upravljanja transportom i donese brojne ekonomske koristi evropskim proizvođačima i industriji otvaranjem novih radnih mesta. Takođe, trebalo bi da pruži poboljšane usluge pozicioniranja sa boljom raspoloživošću i dostupnošću sistema. U fazi definisanja određena su dva zahteva za tačnošću sistema, a to su da bude: a) prilagođen masovnoj primeni i b) prilagođen potrebama povećane sigurnosti.

Prednosti sistema Galileo nad ostalim sistemima jesu:

- osmišljen je kao civilni sistem, a ujedno sa svim potrebnim merama zaštite;
- nudi mnoge usluge vezane za poslovni svet sa odgovarajućom pouzdanošću podataka;
- tehnološki je osmišljen kao i GPS, i omogućuje dobijanje jednake, ako ne i veće tačnosti zahvaljujući odabranoj konstelaciji satelita i zemaljskih kontrolnih stanica;
- vrlo je važna činjenica da će se moći videti i na područjima velikih geografskih širina, u urbanim sredinama i zatvorenim prostorima, jer dizajn i konstrukcija signala to omogućuje;
- lokalni element preusmerava signal na manje dostupna područja;
- način na koji Galileo nadopunjuje GPS vrlo je koristan, jer predstavlja Evropu kao ravnopravnog partnera SAD;
- projekat je finansiran iz mnogih privatnih izvora;
- Galileo je kreiran tako da će prijemnik moći da se koristiti u svrhu pozicioniranja ili u kombinaciji sa komunikacijskim sredstvima kao što su GSM, GPRS i UMTS;
- predstavlja pravu javnu, odnosno civilnu službu i kao takav garantuje kontinuitet za određene aplikacije, za razliku od GPS signala koji su u poslednjih nekoliko godina povremeno bili nedostupni iz planiranih ili neplaniranih razloga, i
- kao korak dalje, Galileo će posedovati i funkciju pretrage i spasavanja (SAR, Search and Rescue-traganje i spasavanje) koja se zasniva na postojećem sistemu COSPAS-SARSAT (međunarodni satelitski sistem namenjen traganju i spasavanju). Za razliku od COSPAS-SARSAT koji ne obezbeđuje povratnu spregu ka korisniku, Galileo će emitovati poruku ka korisniku kojom će ga obavestiti da je njegova situacija detektovana i da je pomoć na putu.

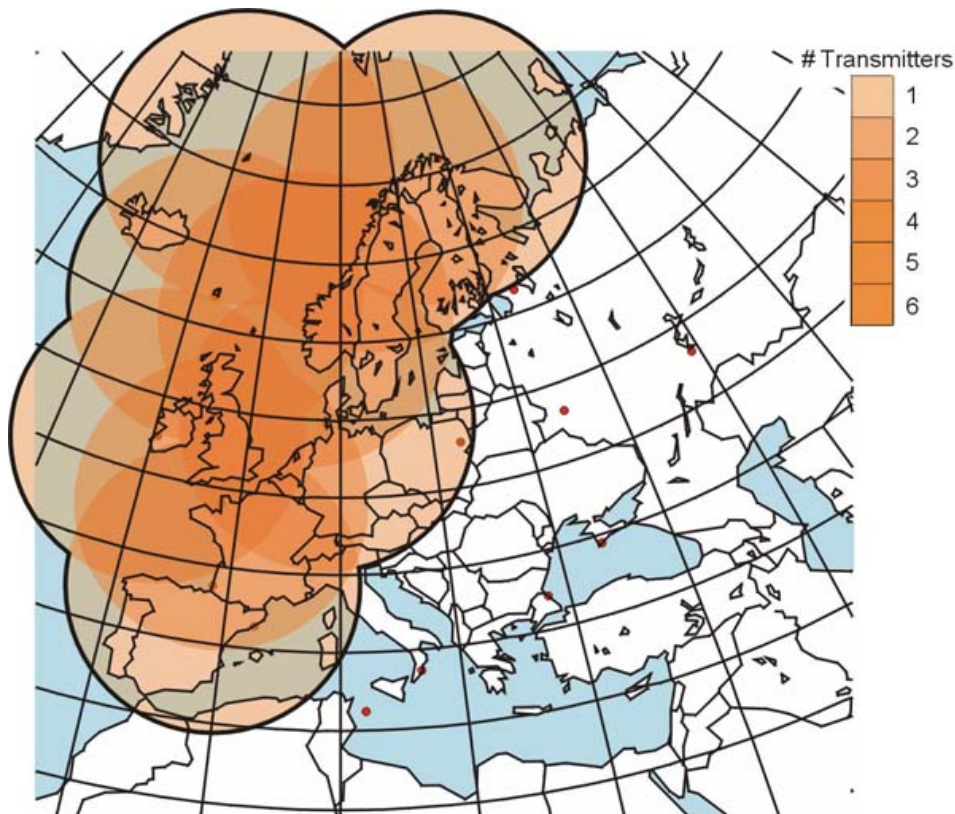
Sistem EUROFIX

Jedna od mogućnosti dopune satelitskih navigacionih sistema je kombinovanje sa zemaljskim navigacionim sistemima, što omogućuje da se korisnicima poboljša pouzdanost i dostupnost usluga pozicioniranja. Sve primene sa strogim sigurnosnim zahtevima mogle bi da se zasnivaju na satelitskom navigacionom sistemu GPS ili GLONASS i hiperbolnom navigacionom sistemu kao zemaljskoj komponenti. Čak i budući evropski projekat satelitskog navigacionog sistema Galileo neće moći da zadovolji sve sigurnosne zahteve, pogotovo u područjima gde je signal sa satelita zaklonjen preprekama (drveće, zgrade, planine i sl.), pa će morati da se kombinuje sa komplementarnim navigacionim sistemima. Sistem Loran-C predstavlja najpovoljnije rešenje za kombinovanje sa satelitskim navigacionim sistemima [6]. Karakteristika rasprostiranja signala Loran-C na frekvenciji 100 MHz potpuno je drugačija od satelitskih navigacionih signala, a pouzdanost sistema je vrlo dobra zbog kontrole celovitosti Loran lanaca.

Oba sistema (GPS i Loran-C) mogu se kombinovati zajedno radi poboljšanja dostupnosti i pouzdanosti, ali takva zajednička integracija neće neminovno voditi do bolje preciznosti pozicioniranja i celovitosti rada navigacionih sistema. Osnovna tačnost pozicioniranja Loran-C sistema ne može poboljšati SPS uslugu GPS sistema, ali kako infrastruktura već postoji, uz relativno mala ulaganja, postojeći Loran-C lanci mogli bi se prilagoditi za emitovanje diferencijalnih korekcija za DGPS. Kao osnovna dopuna sistema za poboljšanje tačnosti može poslužiti sistem Eurofix, koji kombinuje zemaljski i satelitski navigacioni sistem, tako da emituje diferencijalne korekcije za GPS/GLONASS sistem, koristeći se 100 kHz nosiocem Loran-C lanaca. Eurofix prijemnik spojen na GPS/GLONASS prijemnik dekodira signal diferencijalne korekcije, čime omogućuje poboljšanje tačnosti pozicioniranja [6].

Sistem je počeo sa radom 1997. godine u severnoj Nemačkoj, gde je Loran-C lanac Stylt prilagođen za emitovanje diferencijalnih korekcijskih signala. Taj se signal emituje u području čiji je radijus od 1000 km oko Stylt odašiljača. Kontrolni Eurofix prijemnik bio je postavljen na Delft University, udaljen oko 400 km od odašiljača, kako bi se nadzirala emisija Loran-C lanca i daljinski kontrolisali Eurofix podaci. Tačnost pozicioniranja ovakvog sistema bila je bolja od 3 m za 95% vremena.

Koristeći se postojećom infrastrukturom NELS sistema (Northwest European Loran-C System – zapadnoevropski Loran-C) DGPS uslugom može se sa vrlo velikom tačnošću i pouzdanošću pokriti veliki deo evropskog kontinenta. Četiri odašiljača severnoevropskih Loran-C lanaca emituju Eurofix podatke. Osim Eurofix referentne stanice, koja generiše diferencijalne korekcijske podatke, sistem se služi i stanicom koja neprestalno prati celovitost rada navigacionog sistema. Ova konfiguracija pokriva područje od North Capa u Norveškoj do Pirinejskog poluostrva na jugu (slika 3).



Slika 3 – Pokrivenost NELS sistemom u Evropi [6]

Krajnji cilj je da Eurofix signal pokrije celu evropsku teritoriju, za šta se mogu iskoristiti postojeći Loran-C odašiljači u Italiji i Turskoj, i celokupna infrastruktura ruskog sistema Čajka, koji je sličan Loran-C sistemu [6]. Time bi se postigla potpuna pokrivenost evropskog kontinenta Eurofix signalom.

Najveće poboljšanje pri integraciji Loran-C sistema i GPS može se postići Eurofix signalom i istovremeno kontinuiranom kalibracijom pozicije Loran-C prijemnika pomoću tačnih DGPS pozicija. Za vreme kada satelitski navigacioni signali nisu dostupni zbog zaklonjenosti satelita ili smetnji, kalibrirani Loran prijemnik može dovoljno precizno utvrđivati poziciju korisnika zbog vrlo dobre ponovljivosti određivanja pozicije Loran-C sistema. To znatno poboljšava kontinuitet rada integrisanog navigacionog sistema [6].

Prednosti Eurofix sistema:

- nije potrebna posebna mreža između Eurofix stanica;
- niski troškovi s obzirom na postojeću infrastrukturu;
- dobro rasprostiranje Loran-C signala i dostupnost u urbanim sredinama, šumama i planinama, i

– integrirani DGPS korekzioni podaci i informacija o celovitosti satelitskog navigacionog sistema.

Nedostaci Eurofix sistema:

- nema globalnu pokrivenost, ne pokriva okeane, i
- nema odvojenog merenja grešaka vremena, grešaka efemerida satelita i jonosferskog kašnjenja.

Sistem MSAS

Multifunkcionalni satelitski augmentacioni sistem – MSAS (Multifunctional Transport Satellite Space-Based Augmentation System) jeste SBAS sistem razvijen za područje Japana. Osnovao ga je Ministarstvo zemlje, infrastrukture i transporta Japana i Japanska meteorološka agencija. Sastoji se od multifunkcionalnih satelita MTSAT (Multi-Functional Transport Satellite satelita) koji predstavljaju seriju geostacionarnih satelita za kontrolu vazdušnog transporta i vremena. Upotreba sistema MSAS počela je krajem 2005. godine.

Očekivani razvoj

Ključni značaj sistema Galileo biće mogućnost da ponudi celovitost sistema koja je potrebna za osiguranje kvaliteta usluge i za podršku sigurnosti. Planira se da sistem osigura celovitost za upozoravanje korisnika sa emitovanjem alarma sa satelita kada je satelitski signal izvan specifikacija. Korisnički prijemnik tada može da odbaci signal sa satelita na koji se odnosi alarm i tako smanji uticaj na konačno izračunatu poziciju.

Radi pružanja tačnijih i pouzdanijih informacija korisnicima širom sveta Evropska unija i ESA pridaju veliku važnost komplementarnosti i ujedno interoperabilnoj vezi između dva sistema. Od 2004. godine usluge EGNOS su dostupne. Četiri godine kasnije, uključanjem Galilea u globalni satelitski navigacioni sistem, njegova infrastruktura se udvostručila. Galileo sistem je u potpunosti kompatibilan sa postojećim GPS sistemom. Poboljšanje kvaliteta usluga, povećanje broja potencijalnih korisnika i njihova primena biće ostvareni tako što će biti dostupne dve ili više konstelacija i više nego dvostruki broj satelita na nebu.

Integritet i servisne garancije verovatno su najvažnija poboljšanja koja sistem Galileo može omogućiti, naročito kada su u pitanju strateški aspekti i sigurnost. Postojanje dva satelitska navigaciona sistema jeste prednost za korisnike, jer će moći da koriste isti prijemnik za prijem GPS i Galileo signala.

Dodatani trošak za integrisanje oba sistema u GPS ili Galileo prijemnik je manji od 5% od ukupne cene, što predstavlja neznan iznos u poređenju sa znatnim tehnološkim i tržišnim prednostima koje ovaj integrisani sistem nudi.

Galileo je osmišljen tako da korisnicima pruži prednosti oba sistema, što znači povećanje dostupnosti signala u urbanim područjima. U tako zahtevnim uslovima kombinacija Galileo i GPS rezultuje dostupnošću signala preko 95%.

Vrlo veliki potencijal za poboljšanje tačnosti i celovitosti navigacionih sistema jeste u hibridnim tehnologijama prijemnika, gde se kombinuju globalni satelitski navigacioni sistemi, Loran-C i Eurofix [6] i [7]. Strategija integriranih prijemnika ima veliki značaj i važnost radi povećane pouzdanosti u osnovi različitih navigacionih sistema. Ovakva kombinacija primene satelitske i zemaljske navigacije prihvatljivija je od upotrebe dva ili više satelitskih navigacionih sistema koji imaju u osnovi iste nedostatke i ograničenja.

Očekivana šira primena GPS prijemnika, bilo kao samostalnih uređaja ili kao delova složenijih sistema, svakako poboljšava kvalitet života dela stanovništva koje ih koristi.

Takođe, očekuje se dalje širenje primene satelitskih navigacionih sistema u bežičnoj komunikaciji, GIS, višenamenskom digitalnom katastru, sistemima baziranim na internet protokolu, kod LAN i WAN mreža, kod sistema za daljinska istraživanja, u gradiometriji, altimetriji, u kombinaciji sa inercijalnim sistemima CCD kamerama, odometrima, drugim sensorima, itd. [8].

Istovremeno se otvaraju široke mogućnosti dodatnih aktivnosti, dodatnog razvoja i unapređenja sistema, kao i primene u području naprednih tehnologija.

Zaključak

Razvoj i primena satelitskih navigacionih sistema dostigao je toliki stepen da zadire u sve sfere privrede i ekonomije razvijenih zemalja, postajući jedan od najvećih zamajaca njihovog razvoja. Ovi sistemi osiguraće veću sigurnost i efikasnost u svim vrstama transporta, omogućiće povećanje ekonomskog prosperiteta, napredak u industriji i opšte poboljšanje kvaliteta življenja. Raspon mogućih primena satelitskih navigacionih sistema je neizmerno širok.

Satelitska navigacija postaće zanimljiva inovacija u svim sferama života, istraživanja, organizaciji transporta, monitoringu struktura i različitih tipova automatizacije. Sistem će uveliko olakšati organizaciju vazdušnog, pomorskog, putnog i železničkog transporta. Kontrola transporta zahteva visoku tačnost određivanja položaja, pouzdanost i integritet te informacije. Ti zahtevi biće ostvarivi pomoću složenog sistema za pozicioniranje koji će se sastojati od kombinacije globalnog satelitskog navigacionog sistema sa drugim sensorima. Efikasnost, sigurnost, kontinuitet i pristupačnost morskog transporta je od velike važnosti. Sistemi će se koristiti u svim fazama pomorske navigacije: na moru, kopnu, pri pristajanju i manevrisanju brodova u luci u svim vremenskim uslovima. Takođe, predstavljaće temeljno oruđe pri uvođenju inovacija i u druge pomorske aktivnosti, kao što su okeanografija, istraživanja nalazišta nafte i gasa i ribolov.

Vazdušni transport je svakog dana sve gušći, a vazdušni prostor sve manji, što predstavlja poteškoće pri upravljanju vazdušnim transportom. Pomoću sistema piloti i kontrolori leta moći će dovoljno tačno i pouzdano da odrede položaj vazduhoplova, što će omogućiti gušći i sigurniji vazdušni transport i jednostavnost pri sletanju i poletanju.

Globalni satelitski navigacioni sistemi omogućiće praćenje kretanja opasnih materija (radioaktivnog otpada, nafte i dr.) i unaprediće mnoge specijalizovane službe (spasilačke službe).

Iako se zemaljski hiperbolni navigacioni sistemi sa pojavom satelitskih navigacionih sistema sve manje koriste, postoji potreba za dopunom satelitske navigacije zemaljskim navigacionim sistemima. Satelitska navigacija omogućila je veliki broj novih primena, ali su uočena i mnoga ograničenja. Za primene u kojima se traži vrlo velika sigurnost, osnovni satelitski navigacioni sistemi ne mogu zadovoljiti zahteve za tačnost i dostupnost. Problem dostupnosti navigacionih signala pojavljuje se u urbanim sredinama kao rezultat zasenjenosti satelitskih signala raznovrsnim preprekama. Dodatni problem jeste da su satelitski sistemi pod vojnim nadzorom, tako da zbog strateških razloga američka i ruska vojska mogu u bilo kojem trenutku onemogućiti korišćenje sistema.

U vazduhoplovstvu će sofisticirana primena satelitskih navigacionih sistema, zajedno sa inercijalnim sistemima i drugim elektronskim uređajima, omogućiti navigaciju tokom leta, prilaz i sletanje aviona, izbegavanje sudara i rano upozoravanje posade u slučaju skretanja sa kursa.

Izvođenje vojnih operacija velikih sila postalo je nezamislivo bez asistencije satelitskih navigacionih sistema, dovodeći sve ratove na prekretnicu, primenom novih tehnologija. Narodi i države koji nisu bili svesni ovog značaja bili su surovo poraženi i kažnjeni. Prioritet u razvoju i reorganizaciji vojske bio bi pravilna i kvalitetna edukacija profesionalnog sastava vojske u skladu sa novim tehnologijama i opremanjem svih jedinica (rodova) vojske prijemnicima. Takođe, sveobuhvatnom integracijom ovih prijemnika u borbenne sisteme na taktičkom nivou omogućilo bi se formiranje visokoprecizne slike bojišta, kao ispomoć komandantima u procesu donošenja odluke.

Literatura

- [1] Tirnanić, S., Bursać, S., *Satelitska radio-navigacija letelica*, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 2001.
- [2] ERD: <http://www.gps.oma.be>, decembar 2008.
- [3] ERD: <http://www.esa.int>, decembar 2008.
- [4] ERD: <http://www.navcen.uscg.gov/gps>, decembar 2008.
- [5] ERD: <http://www.gps.faa.gov>, decembar 2008.
- [6] ERD: <http://www.loran.org>, decembar 2008.
- [7] Ćurčić, J., Šoškić, S., *Pozicioni satelitski sistemi*, Vojna akademija, radni materijal, Beograd, 2005.
- [8] Sekulović, D., Gigović, Lj., *Geografski informacioni sistemi u komandnim i kontrolnim informacionim sistemima*, SYM-OP-IS 2008, Zbornik radova, Beograd, 2008.