

UDK 629.783:629.052.3:527
Pregledni znanstveni članak

Parametri definiranja performansi navigacijskih sustava

Željko HEĆIMOVIĆ – Zagreb*

SAŽETAK. Prikazani su parametri koji definiraju performanse satelitskih navigacijskih sustava: karakteristike signala, točnost, dostupnost, pokrivenost, pouzdanost, broj određivanja pozicija po jedinici vremena, broj dimenzija i integritet. S obzirom na definirane parametre opisan je radionavigacijski sustav GPS i njegova proširenja NDGPS, WAAS i LAAS. Pomoću osnovnih parametara opisan je i budući europski satelitski radionavigacijski sustav Galileo, te preteča Galilea europski sustav za ae-ro-navigaciju EGNOS.

Ključne riječi: karakteristike signala, točnost, dostupnost, pokrivenost, pouzdanost, integritet, GPS, NDGPS, WAAS, LAAS, EGNOS, Galileo

1. Uvod

Geodetska se mjerenja sve više automatiziraju. Koriste se sofisticirani instrumenti visoke tehnologije pa je, pri mjerenju, funkcija mjernika sve jednostavnija. Na taj se način smanjuje utjecaj pogrešaka prouzrokovanih ljudskim faktorom. Geodetski instrumenti mogu se tretirati kao umreženi senzori koji se nadgledaju i kontroliraju iz središnje jedinice koja odlučuje kada će se koristiti određeni senzor. Da bi središnja jedinica mogla donositi odluke o uporabi senzora, oni se opisuju parametrima koji definiraju njihove performanse. U ovom su članku opisani samo parametri performansi radionavigacijskih sustava i njihovih proširenja. Opisani radionavigacijski sustavi i njihova proširenja uglavnom su još u izradbi, te će oni obilježiti epohu koja dolazi. Kako se radi o navigacijskim sustavima koji su još u izradbi, literatura je oskudna, a česte su i oprečne informacije u literaturi, što je stvaralo dodatne teškoće prilikom pisanja članka.

*Željko Hećimović, dipl.ing., Oikon, Vlade Prekrata 20, 10000 Zagreb.

2. Definiranje parametra performansi navigacijskog sustava

Parametri performansi navigacijskih sustava po prirodi su statističke veličine te se mogu prikazati kao varijacije performansi s obzirom na vrijeme. Performanse radionavigacijskog sustava mogu se opisati parametarima:

- karakteristike signala,
- pokrivenosti (coverage),
- dostupnosti (availability),
- pouzdanosti (reliability),
- točnosti (accuracy),
- broja određivanja pozicija po jedinici vremena (fix rate),
- broja dimenzija (fix dimensions),
- integriteta navigacijskog sustava (integrity).

Karakteristike signala. Signal je karakteriziran nivoom snage, frekvencijom, formatom signala i ponovljivošću signala.

Pokrivenost (coverage). Pokrivenost osigurana radionavigacijskim sustavom je postotak vremena, za specificirani vremenski interval, u kojem će dovoljan broj satelita biti vidljiv iznad specificiranog elevacijskoga kuta i osigurati prihvatljivu geometriju rješenja pozicioniranja za bilo koju točku na Zemlji ili u njezinoj blizini. Pokrivenost je funkcija geometrije sustava, nivoa snage signala, osjetljivosti prijavnika, atmosferskog šuma i drugih faktora. Kod satelitskoga navigacijskog sustava pokrivenost se mijena s vremenom jer izvori signala (sateliti) mijenjaju poziciju s vremenom.

Dostupnost (availability). Dostupnost navigacijskog sustava za zadanu pokrivenost sustava je postotak vremena, za specificirani vremenski interval, u kojem će dovoljan broj satelita emitirati koristan mjerni signal s obzirom na bilo koju točku na Zemlji ili u njezinoj blizini. Dostupnost sustava najčešće podrazumijeva dostupnost signala, koja je izražena postotkom vremena za koje je signal odašlan sa satelita raspoloživ korisnicima. Dostupnost je indikacija sposobnosti sustava da osigura servis na određenom području. Osim sposobnosti odašiljača, na dostupnost mogu djelovati faktori okoliša kao što su atmosferski uvjeti ili interferencija signala.

Pouzdanost (reliability). Pouzdanost navigacijskog sustava za zadanu pokrivenost i dostupnost sustava je postotak vremena, za specificirani vremenski interval, u kojem će predviđena horizontalna pogreška ostati u specificiranim okvirima za bilo koju točku na Zemlji ili u njezinoj blizini. Pouzdanost je funkcija učestalosti nastajanja pogrešaka unutar sustava. To je vjerojatnost da će sustav ispuniti svoju funkciju s obzirom na definirane performanse za specificirano vrijeme. Formalno, pouzdanost je jedan manje vjerojatnost pogreške sustava.

Točnost (accuracy). Točnost navigacijskog sustava za zadanu pokrivenost, dostupnost i pouzdanost je postotak vremena, za specificirani vremenski interval, u kojem postoji razlika između mjerene i realizacije prave pozicije unutar specificirane tolerancije za bilo koju točku na Zemlji ili u njezinoj blizini. Točnost pozicije antene u vremenu je stupanj podudaranja izračunane ili izmjerene pozicije i/ili brzine s realizacijom prave pozicije i/ili brzine.

Tretman pogrešaka je kompliciran jer je totalna pogreška rezultat nestabilnosti odaslanog signala, utjecaja vremenskih prilika i drugih fizikalnih promjena propagacijskog medija, pogrešaka u prijamnoj opremi i pogrešaka prouzrokovanih ljudskim faktorom. Prilikom specifikacije točnosti sustava, pogreške prouzrokovane ljudskim faktorom nisu uzete u razmatranje.

U uporabi su slijedeći tipovi točnosti:

- *Predicirana točnost* je odstupanje mjerenjem dobivene pozicije pomoću radionavigacijskog sustava s obzirom na realizaciju prave pozicije. Predicirana točnost varira s obzirom na interval mjerenja i lokaciju korisnika.
- *Točnost ponavljanja mjerenja* je mjera kojom korisnik može ponovo odrediti koordinate iste točke koristeći isti navigacijski sustav. Točnost ponavljanja mjerenja uglavnom je funkcija vremena među mjerenjima.
- *Relativna točnost* je mjera kojom korisnik može odrediti poziciju u odnosu na drugog korisnika istodobno koristeći isti navigacijski sustav. To je mjera korelacije pogrešaka među pozicijama dobivena uporabom istih satelita u približno istom vremenu.

Broj određivanja pozicija po jedinici vremena (fix rate), broj je neovisnih određivanja pozicija koje sustav omogućava po jedinici vremena.

Broj dimenzija (fix dimensions). Ta karakteristika sustava definira broj dimenzija koje se mogu odrediti sustavom. Sposobnost sustava da odredi četvrtu dimenziju (vrijeme) također je uključena.

Integritet (integrity) je sposobnost sustava da osigura upozorenje korisniku kada sustav nije u mogućnosti da osigura zadane performanse. Ako neka anomalija sustava prouzrokuje nepredvidivu navigacijsku pogrešku sustav bi je morao sam otkriti i upozoriti korisnike. Sa sigurnosne točke gledišta integritet je najvažniji parametar.

Među parametrima performansi navigacijskog sustava postoji međusobna veza. Pokrivenost mora biti određena prije nego što se definira dostupnost, dostupnost se mora odrediti prije pouzdanosti, dok se pouzdanost mora odrediti prije nego što se odredi točnost sustava (1999 Federal Radionavigation Plan).

3. Definiranje performansi GPS-sustava

GPS postaje integralni dio informacijske infrastrukture i s obzirom na politiku razvoja biti će u sve masovnijoj upotrebi. Prema 1999 Federal Radionavigation Plan gotovo svi radionavigacijski sustavi što se službeno koriste u SAD-u početi će se gasiti 2008., a njihovu će ulogu preuzeti GPS, koji pruža puno veće mogućnosti primjene. Međutim, javljaju se tendencije kombinacije postojećega terestičkog radionavigacijskog sustava Loran-C sa satelitskim navigacijskim sustavom za područje Europe (Klinge 2000). Vlada SAD-a je odlučila da do 2006. godine definitivno službeno prestane s korištenjem Selectiv Availability (SA). Odlučeno je da se u Standard Positioning Service (SPS) uvedu dva dodatna signala Coarse/Acquisition (C/A), koji će biti dostupni svim korisnicima. Jedan dodatni C/A-signal biti će dodan na L2-frekvenciju na satelite lansirane od 2005. godine, a treći C/A-signal biti

će dodan na novu L5-frekkvenciju na satelite koji će biti lansirani od 2007. godine (McDonald 1999). Na taj će način civilni korisnici dobiti puno širi spektar mogućnosti korištenja. Korištenje GPS-sustava sve se više kreće od korištenja u naknadnoj obradbi prema korištenju u realnom vremenu.

Ponašanje GPS-a performansi dinamičko je, što je razumljivo jer se koriste sateliti (izvori signala) što stalno mijenjaju poziciju, a i medij širenja signala varijabilan je s obzirom na vrijeme. Performanse GPS-a promatrane su kao funkcija vremena, lokacije korisnika, dizajn-sustava i kao promjena funkcija uvjeta djelovanja, a parametri performansi GPS-a dani su za SPS-servis (Standard Positioning Service). Podaci za PPS-servis (Precise Positioning Service) dani su iznimno.

Karakteristike signala GPS-a. Svaki GPS-ov satelit odašilje 3 različita spektra signala na dvije L-band frekvencije (L1 i L2). Signal GPS-a kružno je polariziran po pravilu desne ruke. Eliptičnost L1 ne prelazi 1,2 dB za kutni iznos od $\pm 14,3^\circ$ u odnosu na os signala (<http://www.navcen.uscg.mil> 1995). Frekvencija je popravljena za relativistički utjecaj. L1 je moduliran s kodovima P Pseudo-Random Noise (PRN) i Coarse/Acquisition (C/A). L2 je moduliran samo s kodom P PRN. Obadvije frekvencije L1 i L2 modulirane su s navigacijskom porukom.

SPS-signal koji primaju korisnici je 2,046 MHz centriran oko L1. Signal L1 odaslan je s dovoljno snage da osigurava minimalnu razinu snage od 160 dBW na površini Zemlje. Cijela se navigacijska poruka ponavlja svakih 12,5 minuta. Unutar tog ciklusa satelitski sat i efemeride odaslane su 25 puta, tako da se ponavljaju svakih 30 sekundi. Navigacijska je poruka nominalno obnovljena svaka dva sata.

Pokrivenost GPS-om. Pokrivenost GPS-sustava je globalna, ali SPS-servis nije dostupan 100% vremena na svakoj točki na Zemlji. Vjerojatnost da će četiri ili više satelita biti 5° iznad horizonta bilo gdje na Zemlji ili u njezinoj blizini u bilo kojem razdoblju od 24 sata, s PDOP-om (Positioning Dilution of Precision) šest ili manje, je 99,9%. Iz toga proizlazi da GPS ne zadovoljava uvjete pokrivenosti definirane SPS-servisom 86 sekundi dnevno. Pokrivenost je računana na osnovi intervala mjerenja od 24 sata, za konstelaciju od 24 satelita, za svaku sekundu. Najlošiji je slučaj nekoliko izoliranih područja s najgorom pokrivenošću od 96,9%. Na pokrivenost GPS-om utječe nekoliko faktora:

- razlika između planirane orbite i realizirane orbite,
- dinamičke varijacije orbite satelita,
- manevriranje satelita da bi održali orbitu.

Pokrivenost GPS-sustava je funkcija i širine snopa signala. To dolazi do izraza kod pokrivenosti GPS signala na većim visinama. Da bi se zadovoljili zahtjevi korisnika za većim nivoom pokrivenosti, GPS-sustav se mora proširiti.

Dostupnost GPS-a. Na osnovi definirane pokrivenosti definira se dostupnost GPS-sustava. Ako uvjet pokrivenosti nije zadovoljen za promatrani vremenski inkrement (sekundu), nije razmatrana ni dostupnost sustava za taj trenutak. Za svaki se vremenski inkrement provjerava da li sateliti ispravno funkcioniraju i je li njihov indikator ispravnosti u navigacijskoj poruci pozitivan. Dostupnost GPS-a varira uglavnom kao funkcija broja i distribucije ispadanja satelita iz upotrebe. Kada dođe do pogreške u satelitu, njezino je trajanje funkcija pokrivenosti monitornih stanica, komunikacije monitornih stanica s Master Control Station (MCS), efikasnosti otkrivanja pogreške u MCS-u, vremena potrebnog da se pogreška popravi ili

prekine neispravan satelitski servis. S obzirom na te faktore, vrijeme reagiranja kontrolnog segmenta ne bi trebalo biti duže od šest sati. Međutim, vrijeme ispravljanja pogreške obično je od 10 do 30 minuta. Prilikom remonta satelita, u normalnim uvjetima, neće biti povučena iz servisa više od tri satelita duže od 24 sata. Na osnovi višegodišnjeg praćenja Blok II- satelita očekuje se da neće doći do više od tri veća poremećaja servisa godišnje. Međutim, pogreška u servisu može rezultirati ekstremno velikim pogreškama pozicije i brzine.

Globalni je prosjek dostupnosti GPS-a od 99,85 % do 99,99%. Prosjek varira s obzirom na to koji je satelit izbačen. Globalna dostupnost od 99,85% dobivena je na dan kad je izbačen satelit koji prouzrokuje najlošiju dostupnost. Dostupnost je računana na osnovi intervala od 24 sata mjerenja, za svaku sekundu, osrednjavajući mjerenja od 30 dana.

Za razne korisničke zahtjeve razlikuje se i tražena dostupnost. Tako je zahtjev na dostupnost navigacijskog sustava za navigaciju na autocesti 99,7%, a za željeznicu je od 99,9% do 100%. Razlog je manji razmak između kolosijeka, te treba s većom točnošću odrediti poziciju za što nam je potreban dostupniji navigacijski sustav.

Pouzdanost GPS-a. Nakon definiranja pokrivenosti i dostupnosti definira se pouzdanost GPS-sustava. Pouzdanost GPS-a je mjera konzistentnosti da će nivo horizontalne pogreške biti držan ispod specificiranog praga. Najveća horizontalna pogreška za SPS-servis, koja se može javiti pod normalnim uvjetima, s PDOP-om šest, aproksimativno je 400 m. Vrijednost od 500 m uzeta je kao granična vrijednost jer je dovoljno izvan GPS SPS-točnosti da bi se izbjegao lažni alarm.

Vjerojatnost da horizontalna točnost pozicioniranja neće prijeći 500 m je 99,97%. Provjerava se je li horizontalna pogreška manja od 500 m za svaki inkrement mjerenja (sekundu). Interval određivanja pouzdanosti je jedna godina osrednjena na osnovi dnevnih vrijednosti preko cijele Zemlje. U slučaju da su dnevni prosjeci računani za najlošiju točku na Zemlji, koristi se vrijednost 99,79%.

Točnost GPS-a. Na osnovi definirane pokrivenosti, dostupnosti i pouzdanosti definira se točnost GPS-sustava. Ako sustav ne zadovoljava uvjete pouzdanosti za promatrani inkrement vremena (sekundu), nije određena ni točnost za taj trenutak. Pogreška pozicije GPS-a mijenja se s vremenom za bilo koju lokaciju. Točnost vertikalne komponente je znatno manja zbog geometrije rješenja pozicioniranja. Performanse točnosti određene su na osnovi karakteristika signala u prostoru i nisu uzete u obzir pogreške prijaimnika. GPS-sustav omogućuje dva servisa za određivanje pozicija: Standard Positioning Service (SPS) i Precise Positioning Service (PPS). SPS-točnost dobivena je na osnovi intervala mjerenja od 24 sata za bilo koju točku na Zemlji.

SPS-točnost:

- Predicirana točnost kada je uključena Selective Availability (SA):
 - horizontalna pogreška ≤ 100 m, 95% vremena ili ≤ 300 m, 99,99% vremena,
 - vertikalna pogreška ≤ 156 m, 95% vremena ili ≤ 500 m, 99,99% vremena,
 - pogreška određivanja brzine $\leq 0,45$ ms⁻¹, 95% vremena,
 - pogreška vremena ≤ 340 ns, 95% vremena.

Pogreška prijenosa vremena je funkcija SPS-pogreške vremena s obzirom na GPS-vrijeme i pogrešku GPS-vremenske skale s obzirom na Universal Coordinated Time (UTC), koje je definirano prema United States Naval Observatory. SPS-pogreška vremena s obzirom na GPS-vrijeme veličine je 75 nanosekundi (uključujući efekte širenja signala). Kontrolni segment GPS-a koordinira GPS-vrijeme s UTC-vremenom bolje od 30 nanosekundi.

- Predicirana točnost kada je isključena SA:
 - horizontalna pogreška $\leq 20-30$ m, 95% vremena,
 - vertikalna pogreška $\leq 30-45$ m, 95% vremena.
 - pogreška određivanja brzine $\leq 0,3 \text{ ms}^{-1}$, 95% vremena,
 - pogreška vremena ≤ 40 ns, 95% vremena.
- Točnost ponavljanja mjerenja:
 - horizontalna pogreška ≤ 141 m, 95% vremena,
 - vertikalna pogreška ≤ 221 m, 95% vremena.

Generalno, pogreška raste s povećanjem vremena između dvaju mjerenja dok interval ne dosegne 4 minute. Nakon 4 minute statistika pogreške ponavljanja u osnovi je neovisna o vremenu među mjerenjima.

- Relativna točnost:
 - horizontalna pogreška $\leq 1,0$ m, 95% vremena,
 - vertikalna pogreška $\leq 1,5$ m, 95% vremena.

Relativna točnost je određena pomoću prijarnika koji koriste iste satelite u približno isto vrijeme, a na različitim mjestima. Razmak prijarnika od 40 km uzet je kao praktični limit razmaka među prijarnicima. Ta je vrijednost uzeta jer je na većim udaljenostima teško realizirati optimalnu geometriju ($\text{PDOP} \leq 6$).

PPS-točnost:

- Predicirana točnost pozicioniranja s dvije frekvencije:
 - horizontalna pogreška ≤ 22 m, 95% vremena,
 - vertikalna pogreška ≤ 27.7 m, 95% vremena,
 - pogreška vremena ≤ 200 ns, 95% vremena.

PPS-standard samo je za autorizirane korisnike i tu je iznimno predočen.

U GPS literaturi (Heister 1996, Diggelan 1998) mogu se naći za pokazatelje točnosti i veličine:

- rms (root mean square) drugi korjen prosječne kvadratne pogreške,
- 2drms (twice distance rms) dvostruka rms za horizontalnu pogrešku,
- CEP (circular error probable) radius kružnice centriran u pravoj poziciji antene, koja sadrži 50% točaka horizontalnog grafa disperzije (točnost horizontalnog pozicioniranja, u odnosu na krug pogrešaka s vjerojatnošću od 50%),
- R95 (horizontal 95% accuracy) radijus kružnice centriran u pravoj poziciji antene koja sadrži 95% točaka u grafu horizontalne disperzije (točnost horizontalnog pozicioniranja),
- SEP (spherical error probable) radijus sfere centriran u pravoj poziciji antene koja sadrži 50% točaka u grafu trodimenzionalne disperzije (točnost prostornog pozicioniranja, polumjer kugle s vjerojatnošću od 50%).

Broj određivanja pozicija po jedinici vremena pomoću GPS-a. Vrijeme potrebno da se odredi pozicija GPS-om je kontinuirano, ali vrijeme potrebno prijatelju da odredi poziciju je 1 – 20 sekundi, a kod novijih prijatelja pozicija se određuje i nekoliko puta u sekundi. Vrijeme potrebno za određivanje pozicija ovisi o performansama i sposobnosti korisničke opreme.

Broj dimenzija GPS-a. GPS-sustav omogućuje određivanje triju dimenzija i vremena kada su na raspolaganju četiri ili više satelita ili dviju dimenzija kada su na raspolaganju samo tri satelita.

Integritet GPS-a. Nije zajamčeno da GPS-sustav prema specificiranim parametrima funkcionira 100% vremena. Potrebno je znati kada se može koristiti GPS-sustav. Integritet GPS-sustava osigurava korisnike od anomalija i pogrešaka sustava pomoću automatske provjere unutar satelita, na osnovi nadgledanja kontrolnog segmenta i na osnovi procjene signala koju obavlja korisnik.

GPS-ovi sateliti imaju ugrađene mehanizme nadgledanja nekih svojih funkcija. To su pogreške podataka navigacije, selective availability (SA), anti spoofing (AS), te neke vrste pogrešaka satelitskog sata. Ako dođe do otkrivanja neke od tih pogrešaka, satelit će upozoriti korisnika u roku od šest sekundi. Kod satelita Blok II i IIA svakih šest sekundi navigacijski procesor satelita osvježi RAM (random-access memory) podacima iz stalne ROM memorije (read-only memory). Daljnja je zaštita resetiranje procesora svake 24 sekunde i otkriva se ako je address pointer premješten na mjesto pogreške.

GPS-ovi sateliti blok IIR imaju ugrapan Watch Dog Monitor (WDM), sustav koji regulira funkcioniranje procesora i odlučuje kada se procesor mora resetirati. Ako WDM izvede reset, satelit odašilje nestandardni kod dok se automatski ne vrati u standardni hod ili dok Master Control Station (MCS) ne riješi problem.

GPS-ovi sateliti i kontrolni segment GPS-a osiguravaju razinu integriteta koja je zadovoljavajuća za mnoge korisnike GPS-a. On nije zadovoljavajući za potrebe korištenja GPS-a u zrakoplovstvu. MCS prosječno treba 5 – 15 minuta da izbacij iz upotrebe satelit s otkrivenom anomalijom. Međutim, ako satelit nije u vidnom polju ni jedne zemaljske stanice kontrolnog segmenta (zemaljske stanice osiguravaju praćenje satelita samo 92% vremena), anomalija može biti neotkrivena više od 10 minuta prije nego što MCS analizira situaciju i poduzme akciju.

Kada se javlja zahtjev za višim nivoom integriteta razvijaju se GPS-ovi prijatelji koji autonomno određuju integritet sustava. Procedura Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM) ugrađena u GPS-ov prijatelj nadgleda integritet GPS-sustava. To je tehnika u kojoj GPS-ov prijatelj odredi integritet navigacijskog signala GPS-a bez korištenja eksternog sustava. Da bi odredili integritet sustava, GPS-ovi prijatelji mogu koristiti informacije sadržane u navigacijskoj poruci satelita te program za određivanje satelitske geometrije i pratiti konvergiranje internoga navigacijskog rješenja. Korisnik može kontinuirano pratiti procijenjenu razinu pouzdanosti pozicije koja se određuje. RAIM nastoji odgovoriti na dva pitanja: Postoji li greška na GPS-ovu satelitu? Ako postoji, koji je satelit u kvaru? Da bi se odgovorilo na ta pitanja na osnovi mjerenja prijatelja potrebna su redundantna mjerenja najmanje pet satelita kako bi se odredila anomalija satelita i najmanje šest satelita kako bi se izbacio satelit s pogreškom iz određivanja pozicije. Postoji više RAIM-tehnika, koje se mogu podijeliti u dvije kategorije: tehnike koje koriste prošla i trenutna mjerenja s pretpostavkom o pomicanju prijatelja i tehnike koje koriste samo trenutna mjerenja.

4. Definiranje performansi sustava Nation wide DGPS (NDGPS)

GPS-sustav se proširuje kako bi zadovoljio dodatne civilne zahtjeve točnosti, pokrivenosti, dostupnosti i integriteta. Diferencijalne korekcije mogu točnost SPS-a popraviti sa 100 m (2drms) na bolje od 7 m (2drms). Mnoge zemlje razvijaju na nacionalnoj razini mrežu diferencijalnog GPS-a. Uspostavljaju se mreže referentnih stanica GPS-a na nacionalnoj razini koje koriste nosače faza u realnom vremenu. Mreže DGPS-a koje koriste diferencijalno pozicioniranje u realnom vremenu na osnovi nosača faza zahtijeva referentne stanice GPS-a na nekoliko desetaka kilometara. Korištenjem nosača faza može se postići centimetarska točnost na regionalnoj razini, Wide Area Differential GPS (WADGPS)(Bertiger i dr., 1997–98).

NDGPS za područje SAD jedan je od primjera proširenja SPS-standarda GPS-a. Sustav je u izgradnji. Planirano je da 2002. godine počne inicijalna faza korištenja NDGPS-sustava, a 2003. godine sustav bi trebao biti potpuno operativan. U NDGPS-u odašilju se korekcije pseudoudaljenosti.

Karakteristike signala NDGPS-a. Korekcije DGPS-a odašilju se između 285 i 325 kHz. Korekcije DGPS-a u realnom vremenu osigurane su u formatu Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee 104 (RTCM SC-104) i odašiljane svim korisnicima koji mogu primati signal. NDGPS SAD-a ne koristi enkripciju podataka.

Pokrivenost NDGPS-om. Pokrivenost obuhvaća područje SAD-a. U kontinentalnim područjima SAD-a pokrivenost će biti dvostruka, a u drugim područjima jednostruka.

Dostupnost NDGPS-a. Dostupnost će biti 99,9% za područja dvostrukog preklapanja i 99,7% za područja jednostrukog prekrivanja.

Pouzdanost NDGPS-a. Broj pogrešaka po stanici biti će manji od 500 u milijun sati rada.

Točnost NDGPS-a. Predikcija točnosti NDGPS-servisa unutar svih područja pokrivenosti bolja je od 10 m (2drms). Točnost NDGPS-a na svakoj odašiljačkoj točki bolja je od 1 m. Postignuta točnost opada otprilike za 1 m na svakih 150 km udaljenosti od odašiljačke točke. Točnost je dalje degradirana računskim i drugim nepouzdanostima u korisničkoj opremi i sposobnosti korisničke opreme da kompenzira druge izvore pogrešaka kao što su višeznačnost putova signala (multipath) i deformacije širenja valova (utjecaj ionosfere, troposfere i sl.).

Broj određivanja pozicija po jedinici vremena NDGPS-a. Kod DGPS-a javlja se nekonzistentnost zbog vremena potrebnog da odašiljačka stanica izračuna i odašilje korekcije. Zbog toga se pozicioniranje provodi u približno realnom vremenu. DGPS-odašiljačke stanice United State Coast Guard (USCG) odašilju podatke svakih 2,5 sekundi ili češće. Svaki skup podataka uključuje korekcije koje omogućuju virtualno kontinuirano pozicioniranje. GPS-ov prijamnik uobičajeno određuje poziciju svakih 1 – 20 sekundi, a novije tehnologije izrade GPS prijamnika omogućuju određivanje pozicija nekoliko puta u sekundi.

Broj dimenzija NDGPS-a. NDGPS omogućuje trodimenzionalno pozicioniranje i određivanje brzine.

Integritet NDGPS-a. Sustavi izgrađeni na osnovi GPS-a (NDGPS, DGPS-mreže, WAAS, LAAS) mogu na temelju opažanja više permanentnih stanica nadgledati integritet sustava. NDGPS osigurava kontinuiranu provjeru integriteta na temelju ispravnosti satelita. Integritet NDGPS-sustava biti će osiguran na temelju 24-satnog nadgledanja sustava u kontrolnom centru NDGPS-a. Korisnici će biti obaviješteni unutar 6 sekundi u slučaju da se sustav nalazi u stanju izvan granica tolerancije.

5. Definiranje performansi proširenog GPS-sustava na šire područje (Wide Area Augmentation System-WAAS)

WAAS je proširenje SPS-standarda GPS-a. Razvija se za potrebe aeronavigacije zasada na teritoriju SAD-a. Razvija ga U.S. Federal Aviation Administration (FAA). Inicijalna faza korištenja trebala bi početi krajem 2000. godine, a sustav bi trebao biti potpuno operativan 2006. godine. Kako je problem avionavigacije globalni problem, rješenje se nastoji proširiti. FAA je ušla u bilateralni sporazum s Ruskom Federacijom da ispita kombinirani avio-prijamnik GPS/GLONASS. Također Europa razvija za svoje područje avionavigacijski sustav The European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS).

WAAS se sastoji od 25 Wide-area Reference Stations (WRS) na teritoriju SAD-a koje će slati prikupljene podatke u četiri Wide-area Master Stations (WMS). WMS će obraditi podatke i odrediti integritet, diferencijalne korekcije, pogreške i ionsferske korekcije za svaki opažani satelit i generirat će navigacijske parametre koji će biti odaslani geostacionarnim satelitima (Geostationary Earth Orbit- GEO). GEO-sateliti će odaslati podatke korisnicima GPS-a koristeći modulaciju sličnu GPS-u. WAAS će davati tri servisa:

- 1) integritet GPS-a i geostacionarnih (GEO) satelita,
- 2) diferencijalne korekcije za GPS-ove satelite za široko područje,
- 3) dodatne mogućnosti mjerenja.

Osim što će kontrolirati integritet GPS-a, WAAS će kontrolirati i vlastiti integritet. Korisnički prijamnik WAAS-a će određivati:

- 1) integritet kako bi bilo sigurno da su korišteni sateliti ispravni,
- 2) diferencijalne korekcije i ionsferske informacije kako bi se osigurala točnost pozicioniranja,
- 3) mjerenja s jednog ili više GEO satelita kako bi se osigurala dostupnost i kontinuiranost.

Karakteristike signala WAAS-a. Korisnici WAAS-a prikupljati će podatke s GPS i GEO satelita. GEO sateliti odašiljat će poruke WAAS-a, podatke proširenog servisa (integritet i diferencijalne korekcije) i dodatni mjerni signal. GEO sateliti odašilju podatke na frekvenciji identičnoj GPS L1 s modulacijom sličnom GPS-u (Debolt i dr., 1994). Da bi GPS prijamnici mogli primiti GEO poruke WAAS-a moraju biti minimalno modificirani.

Pokrivenost WAAS-om. Potpuni servis WAAS-a definiran je za visinu od 30500 m (100000 stopa) za područje SAD-a. To je područje pokriveno signalom s GEO satelita.

Dostupnost WAAS-a. Dostupnost WAAS-a biti će 99,999%.

Pouzdanost WAAS-a. Pouzdanost signala WAAS-a dosežati će 100%.

Točnost WAAS-a. Točnost WAAS-a trenutačno je zasnovana na zahtjevima avionavigacije. Za nepreciznu fazu leta tražena je horizontalna točnost od 100 m, 95% vremena. Za prvu kategoriju precizne faze leta horizontalna i vertikalna točnost zajamčena je $\leq 7,6$ m, 95% vremena.

Broj određivanja pozicija po jedinici vremena WAAS-a. Sustav WAAS-a osigurava virtualno kontinuirano pozicioniranje.

Broj dimenzija WAAS-a. Trodimenzionalno pozicioniranje i vrlo precizno vrijeme.

Integritet WAAS-a. Zbog većih sigurnosnih zahtjeva, razvijeniji je integritet za aviokorisnike nego za druge korisnike. Zemaljski dio WAAS-a kontinuirano će određivati integritet satelitskog sustava GPS-a, te će određivati integritet i vlastitog sustava. Integritet WAAS-a specificiran je s trima parametrima:

- vjerojatnost grube pogreške (Probability of Hazardously Misleading Information-PHMI),
- vrijeme alarma nakon otkrivanja pogreške (Time to Alarm, TTA),
- ograničenja alarma.

Za nepreciznu fazu leta vrijednosti su:

- PHMI: 10^{-7} po satu,
- vrijeme alarma: 8 sekundi,
- ograničenost alarma: ograničenje zaštite specificirano za svaku fazu leta.

Za preciznu fazu leta vrijednosti su:

- PHMI: 4×10^{-8} po satu,
- vrijeme alarma: 5,2 sekunde,
- ograničenost alarma: kao što je traženo za preciznu fazu leta.

6. Definiranje performansi proširenja navigacijskog sustava na lokalnom području (Local Area Augmentation System-LAAS)

LAAS je FAA proširenja SPS-servisa GPS-a pomoću DGPS-a na lokalnom području. Zasnovan je na proširenju pomoću diferencijalnih korekcija pseudoudaljenosti GPS-a. GPS-sustav proširuje se dodatnom opremom na tlu. LAAS će biti sigurnosni sustav precizne avionavigacije u kritičnim fazama leta i prilikom slijetanja. LAAS će omogućiti tri kategorije (najpreciznije) leta uključujući automatsko slijetanje. Sustav bi trebao biti potpuno operativan 2006.5 godine. DGPS osigurava korekcije pogrešaka koje su iste za prijavnike na tlu i u zrakoplovu. LAAS će uključivati više GPS-ovih prijavnika lociranih unutar zračne luke da primaju i dekodiraju signale GPS-a, WAAS GEO i aerodromske pseudolite (Airport Pseudolites-APL). Aerodromski pseudoliti su odašiljači smješteni na području zračne luke koji odašilju signal sličan GPS-ovim satelitima što se koristi prilikom određivanja pozicije. Njihova je uloga da osiguraju dodatni mjereni signal i da poboljšaju geometriju sustava. Oni znatno poboljšavaju dostupnost signala.

Podaci s aerodromskih prijamnika bit će obrađeni algoritmima za nadgledanje kvalitete signala, nadgledanje kvalitete podataka, nadgledanje kvalitete mjerenja i algoritmom za nadgledanje integriteta sustava.

LAAS-signal u prostoru osigurava:

- 1) diferencijalne korekcije za GPS-ove satelite u lokalnom području, WAAS-sustav, GEO satelite, aerodromske pseudolite,
- 2) parametre integriteta,
- 3) precizan pristup zrakoplova.

Karakteristike signala LAAS-a. LAAS će skupljati GPS, WAAS GEO i APL podatke. LAAS zemaljska infrastruktura u zračnim lukama odrediti će diferencijalne korekcije i korekcije pseudoudaljenosti za GPS, WAAS GEO APL. Oni će biti odaslani korisnicima LAAS-a (zrakoplovu).

Pokrivenost LAAS-om. LAAS-volumen usluga definiran je s obzirom na zračnu luku:

- vertikalno: početak u ishodišnoj točki piste do 37040 m (20 nm) iznad $0,9^\circ$ i ispod 3050 m (10000 stopa),
- horizontalno: 137 m (450 stopa) s objiju strana piste i projicirajući izvan $\pm 35^\circ$ s objiju strana prilaznog puta prema van do 37040 m (20 nm).

Dostupnost LAAS-a ovisi o aerodromskom rješenju opreme na tlu (prijamnika i pseudolita) i varira između 99,9% i 99,999%. Da bi se dosegli zahtijevani uvjeti točnosti, dostupnost signala mora biti 99,9% ili bolja (Graas i dr., 1998).

Pouzdanost LAAS-a. Nije određena.

Točnost LAAS-a definirana je s obzirom na avijacijske zahtjeve točnosti

- Precizne kategorije leta:
 - III. kategorija leta: 4,1 m horizontalna, 0,6 m vertikalna točnost,
 - II. kategorija leta: 6,5 m horizontalna, 1,7 m vertikalna točnost,
 - I. kategorija leta: 18,2 m horizontalna, 7,7 – 4,4 m vertikalna točnost.
- Neprecizna kategorija leta: tražena je točnost 500 m.

LAAS-sustav je u eksperimentalnoj fazi i izvršeno je testiranje LAAS III. kategorije leta (Braff 1997-98).

Broj određivanja pozicija po jedinici vremena LAAS-a. LAAS odašilje korekcije na frekvenciji od 2 Hz.

Broj dimenzija LAAS-a. LAAS će osiguravati trodimenzionalno pozicioniranje i vrlo točne informacije o vremenu.

Integritet LAAS-a. Za LAAS III. kategoriju leta (slijetanje) vjerojatnost neotkrivene sistematske pogreške ne može prijeći 5×10^{-9} . Integritet je specificiran pomoću PHMI, granice vertikalne pogreške i vremena alarma:

- | | |
|--|---------------------------------------|
| I. kategorija | II. i III. kategorija |
| – PHMI: 10^{-7} po satu, | – PHMI: 10^{-9} po satu, |
| – granica vertikalne pogreške: 10,3 m, | – granica vertikalne pogreške: 5,4 m, |
| – vrijeme alarma: 6 sekundi, | – vrijeme alarma: 2 sekunde. |

7. Definiranje performansi sustava The European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS)

Radionavigacijski sustav EGNOS razvijaju European Union, Eurocontrol (trans-europska agencija za kontrolu zračnog prometa) i European Space Agency (ESA) (Breeuwer i dr., 2000). Europa razvija EGNOS od 1994. godine jer je uočeno da GPS i GLONASS ne pružaju zadovoljavajuće performanse za sve korisnike. EGNOS je europski doprinos prvoj generaciji Global Navigation Satellite Systems (GNSS-1). EGNOS bi trebao 2003. godine dosegnuti punu operativnu iskoristivost za Europu (The Council of the European Union 1999). EGNOS će zadovoljavati standarde civilnog avioprometa na regionalnom području, ali se može proširiti i na druga područja.

Dostupnost EGNOS-a. Očekuje se da će dostupnost EGNOS-a biti 99%.

Točnost pozicioniranja EGNOS-a. Točnost EGNOS servisa:

- horizontalna točnost 6m za 95%,
- vertikalna točnost 7,7m za 95%,
- točnost određivanja brzine 0,20 m/s,
- točnost određivanja vremena 100 ns.

Broj dimenzija EGNOS-a. EGNOS-om bi se određivale tri dimenzije i vrijeme.

Integritet EGNOS-a. Integritet EGNOS servisa:

- rizik integriteta $3,5 \times 10^{-7}$ za 150 s,
- vrijeme alarma 6 s,
- granica horizontalnog alarma 11 m,
- granica vertikalnog alarma 20 m.

8. Definiranje performansi radionavigacijskog sustava Galileo

European Union (EU) i European Space Agency (ESA) ispituju mogućnost realizacije europskog radionavigacijskog sustava Galileo (Wellenhof, 2000). On će davati svoje usluge globalno. U ovom radu su predložene karakteristike Galileo sustava koje su još uvijek predmetom diskusija i promjena, te može doći do promjena u konačnom rješenju. Za razliku od GPS-a i GLONASS-a Galileo bi bio pod civilnom kontrolom. Galileo će biti samostalno operativan, ali među operativan s GPS-om (<http://www.galileosworld.com> 2000). Galileo će imati neovisan sustav za određivanje integriteta.

Sustav bi se sastojao od četiriju segmenata:

- 1) *Prostornog segmenta*, koji se sastoji od satelita što osiguravaju navigacijski signal i od kontrolnih stanica koje su odgovorne za nadgledanje i kontroliranje satelita. Postoje dva prijedloga prostornog segmenta. Prvi bi se trebao sastojati od MEO (medium Earth orbit) satelita i drugi od kombinacije MEO i GEO (geostationary Earth orbit) satelita. Najvjerojatnije će se koristiti konstelacija od trideset MEO satelita u tri ravnine putanja satelita s inklinacijom od 56 stupnjeva na visini od 32222 km koji će osiguravati točnost od 5m bez potrebe za proširivanjem sustava.

- 2) *Segmenta misije*, koji uključuje razne aplikacije i sustave potrebne za funkcioniranje i kontrolu sustava. Oni definiraju osnovne parametre koje će sustav koristiti kao što su vrijeme, parametri sinkronizacije, almanah i sl.
- 3) *Korisničkog segmenta*, koji uključuje korisnike.
- 4) *Komunikacijskog segmenta*, koji uključuje komunikacijsku vezu između prostornog segmenta i segmenta misije.

Galileo bi trebao biti razvijen od 2001 do 2008. godine. Galileom bi se određivala trodimenzionalna pozicija, brzina i vrijeme. On bi trebao osiguravati tri vrste servisa (Eissfeller i dr., 2000):

- 1) *servis slobodnog pristupa* (open access service – OAS), sličan GPS SPS-u, koji će se primjenjivati masovno bez naplaćivanja naknade,
- 2) *servis kontroliranog pristupa broj 1* (Controlled Access Service 1 – CAS1), kojim će se služiti u profesionalne i komercijalne svrhe,
- 3) *servis kontroliranog pristupa broj 2* (Controlled Access Service 2 – CAS2), koji će biti korišten za probleme zaštite života i vladine potrebe koje nemogu tolerirati prekid ili poremećaj performansi sustava.

Karakteristika signala. Za sada postoji više planova frekvencija Galilea, a konačna odluka će se donijeti na osnovu rezultata pregovora s SAD-om i Rusijom koji svojim satelitskim sustavima (GPS i GLONASS) zauzimaju veliki dio spektra. Za Galileo sustav preostale su mogućnosti upotrebe E1/E2/E5/E6/C područja frekvencija.

Ovdje je iznesen jedan od mogućih scenarija (Volath i dr., 1999). Osnovni civilni Galileov servis trebao bi davati usluge barem na nivou GPS SPS-a nakon modernizacije. Signali mogu biti odaslan na tri L-band noseće frekvencije (v. Tablicu 1) što će poboljšati performanse i točnost pozicioniranja u odnosu na sadašnji GPS i GLONASS sustav.

U Tablici 1 je dan chiping/rate, tj. broj chipova po sekundi, a chip je duljina vremena potrebna da se pošalje “0” ili “1” u binarnom puls modu. Dva nosača faza imaju malu razliku faza kako bi omogućili konstrukciju dugačke valne kombinacije (wide-lane). Na osnovi triju frekvencija mogu se formirati sljedeće widelane kombinacije nosača faza (Vollath i dr., 1999):

- dugački widelane E1 – E2, s valnom duljinom od 10,5 m,
- widelane E1 – E4, s valnom duljinom od 0,899 m,
- widelane E2 – E4, s valnom duljinom od 0,984 m.

Tablica 1. *Karakteristike signala.*

Ime	Frekvencija [MHz]	Valna duljina [m]	Chipping/rate [Mchips / s]
E1	1589,742	0,189	3,069
E2	1561,098	0,192	3,069
E4	1256,244	0,239	3,069

Faze su birane tako da se mogu jednostavno dobiti fazne višeznačnosti za sve faze nosača valova. Tri faze omogućit će bolju eliminaciju ionosferskih utjecaja. Očekuju se i manje pogreške efemerida u realnom vremenu nego što je kod GPS-a. Mjerenja će se sastojati od kodnih faza i faza nosača valova.

Pokrivenost Galileom. Pokrivenost je globalna.

Dostupnost Galilea. Dostupnost sustava biti će 99,9%.

Točnost pozicioniranja s Galileom ovisiti će o pojedinom servisu.

Točnost OAS servisa za dvije frekvencije:

- horizontalna točnost 6m za 95%,
- vertikalna točnost (za širinu 75°J-75°S) 12m za 95%,
- vertikalna točnost (za širinu 90°J-90°S) 15m za 95%,
- točnost određivanja brzine 0,20 m/s,
- točnost određivanja vremena <0,1s.

Točnost CAS1-G servisa za dvije frekvencije:

- horizontalna točnost 6m za 95%,
- vertikalna točnost (za širinu 75°J-75°S) 12m za 95%,
- vertikalna točnost (za širinu 90°J-90°S) 15m za 95%,
- točnost određivanja brzine <0,20 m/s,
- točnost određivanja vremena <100 ns.

Točnost CAS2-SAS servisa:

- horizontalna točnost 4m za 95%,
- vertikalna točnost (za širinu 75°J-75°S) 6m za 95%,
- vertikalna točnost (za širinu 90°J-90°S) 10m za 95%,
- točnost određivanja brzine <0,20 m/s,
- točnost određivanja vremena 100 ns.

Broj određivanja pozicija po jedinici vremena Galilea. Sustavom će se moći odrediti tri dimenzije, vrijeme i brzina.

Integritet Galilea ovisit će o pojedinom servisu.

Integritet OAS servisa će se određivati samo na osnovu opažanja prijammikom (RAIM).

Integritet CAS1-G servisa:

- rizik integriteta 10^{-7} po satu,
- vrijeme alarma 10 s,
- granica horizontalnog alarma 20 m,
- granica vertikalnog alarma (za širinu 75°J-75°S) 35m,
- granica vertikalnog alarma (za širinu 90°J-90°S) 45m.

Integritet CAS2 servisa:

- rizik integriteta 10^{-7} po satu,
- vrijeme alarma 6 s,
- granica horizontalnog alarma 13 m,
- granica vertikalnog alarma (za širinu 75°J-75°S) 16m,
- granica vertikalnog alarma (za širinu 90°J-90°S) 32m.

Integritet Galileo sustava će nadgledati terestička mreža, te će se poruka o integritetu sustava slati satelitima koji će tu vrstu informacija uključiti u navigacijsku po-

ruku (Benedicti i dr., 2000). Korisnik će uvijek moći primiti poruku o integritetu sustava s najmanje dva satelita.

Osim WAAS i EGNOS proširenja GPS-a, postoji i japansko proširenje Multi-functional Transport Satellite (MTSAT)-based Satellite Augmentation System (MSAS) (<http://www.navcen.uscg.mil> 1998), koji treba biti operativan oko 2002. godine. Ti sustavi tvore prvu generaciju GNSS-1 (Ashkenazi, 2000).

9. Zaključak

U novije doba razvijaju se mreže za radionavigaciju na nacionalnoj, regionalnoj i globalnoj razini uglavnom za veće korisnike i za masovnu upotrebu, te je potrebno znati njihove performanse. Također se i navigacijski sustavi i njihova proširenja dizajniraju tako da zadovolje performanse koje zadovoljavaju određenu skupinu korisnika, kao što je to slučaj s zrakoplovstvom. Zrakoplovstvo postavlja veliki zahtjev prema sigurnosti putnika, te ima veće zahtjeve prema integritetu radionavigacijskog sustava. Specijalizirani korisnici radionavigacijskih sustava, kao što je geodezija, koja ima prvenstveno najveći zahtjev prema točnosti, morati će razvijati svoje mreže po istim ili sličnim kriterijima. Također će se razvijati lokalne mreže za manje korisnike uporabom iste ili slične parametre performansi. Pojavom radionavigacijskog sustava Galileo znatno će se poboljšati navigacijska infrastruktura koja će biti dostupna sve većem broju korisnika, a donijeti će i nove standarde primjene radionavigacije u geodeziji.

Literatura:

- Ashkenazi, V. (2000): Galileo Challenge and Opportunity, *Galileo's World*, 42–44, winter 2000.
- Benedicti, J., Dinwiddy, S., Gatti, G., Lucas, R., Lugert, M. (2000): ESA's Proposal Galileo Sat, *Galileo's World*, 28–37, autumn 2000.
- Bertiger, W.I., Bar-Sever, Y.E., Haines, B.J., Iijima, B.A., Lichten, S.M., Lindqwister, U.J., Mannucci, A.J., Muellerschoen, R.J., Munson, T.N., Moore, A.W., Romans, L.J., Wilson, B.D., Wu, S.C., Yunck, T.P., Piensinger, G., Whitehead, M. (1997–98): A Real-Time Wide Area Differential GPS System, *Navigation*, Vol.44, No.4, 433–447, winter 1997–98.
- Braff, R. (1997–98): Description of the FAA's Local Area Augmentation System (LAAS), *Navigation*, Vol.44, No.4, 411–432, winter 1997–98.
- Breeuwer, E., Farnworth, R., Humphereys, P., McGregor, A., Michel, P., Secretan, H., Leighton, S.J., Ashton, J.K. (2000): Flying EGNOS: The GNSS-1 Testbed, *Galileo's World*, 10–20, winter 2000.
- Debolt, R.Q., Dalke, R.A., Ketchum, R.L., Hufford, G.A., Teradam, M., Rust, W.R. (1994): Technical Report to the Secretary of Transportation on a National Approach to Augmented GPS Service, NTIA Special Publication 94–30, U.S. Department of Commerce.
- Diggelán, F. (1998): GPS Accuracy: Lies, Damm Lies, and Statistics. *GPS World*, 41–44.
- Eissfeller, B., Hein, G.W., Winkel, J. (2000): Galileo Signal Options, *Galileo's World*, 24–31, summer 2000.

- Graas, F., Diggle, D.W., Uijt de Haag, M., Skidmore, T.A., Dibenedetto, M.F., Wullschleger, V., Velez, R. (1998): Ohio University/FAA Flight Test Demonstration of Local Area Augmentation System (LAAS), Navigation, Vol. 45, No.2, 129-135, summer 1998.
- Hahn, J., Tavella, P. (2000): Time for Galileo, Galileo's World, 36-41, spring 2000.
- Heister, H.(1996): GPS Fehleraushalt-Zur Genauigkeit der Positionsbestimmung mit GPS. VDV- Schriftenreihe, Band 13, 106-135, Wiesbaden 1996.
- Hofmann-Wellenhof, B.(2000): On the Way to a New GNSS, Galileo's World, 42-47, spring 2000.
- <http://www.galileosworld.com> (2000): Galileo Definition Phase, 36 str.
- <http://www.navcen.uscg.mil> (1995): GPS Standard Positioning Service Signal Specification, 2nd edition.
- <http://www.navcen.uscg.mil> (1998): Joint Statement by the Government of the United States of America and the Government of Japan on Cooperation in the Use of the Global Positioning System, The White House.
- Klinge, U. (2000): Loran-C/Eurofix, Galileo's World, 22-25, winter 2000.
- Langley, R.B. (1999): The Integrity of GPS, GPS World, 60-63, March 1999.
- McDonald, K. (1999): Will GPS Modernization Open Doors? GPS World, 36-46, September 1999.
- The Council of the European Union (1999): Council Resolution of 19 July 1999, 1-3.
- U.S.Department of Transportation, U.S.Department of Defense (1999): 1999 Federal Radionavigation Plan.
- Vollath, U., Birnbach, S., Landau, H., Fraile-Ordonez, J.M., Martin-Neira, M. (1999): Analysis of Three-Carrier Ambiguity Resolution Technique for Precise Relative Positioning in GNSS-2, Navigation, Vol.46, No.1, 13-23, spring 2000.

Navigation systems performance parameters

ABSTRACT. Definition of navigation satellite systems performance parameters: signal characteristic, coverage, availability, reliability, accuracy, fix rate, fix dimensions and integrity is introduced. Performances of GPS radio navigation system and its augmentations NDGPS, WAAS and LAAS are presented. With performance parameters are also described new European navigation system Galileo and European navigation system for aero navigation EGNOS.

Key words: Signal characteristic, coverage, availability, reliability, accuracy, fix rate, fix dimensions, integrity, GPS, NDGPS, WAAS, LAAS, EGNOS, Galileo

Primljeno: 2000-09-28