

Sveučilište u Zadru

Pomorski odjel - Nautički odsjek

Preddiplomski sveučilišni studij Nautike i tehnologije pomorskog prometa (jednopedmetni - redoviti)



**Mišel Gobin**

**Utjecajni faktori na pouzdanost satelitskih pozicijskih sustava**

**Završni rad**

Zadar, 2016.

Sveučilište u Zadru

Pomorski odjel - Nautički odsjek

Preddiplomski sveučilišni studij Nautike i tehnologije pomorskog prometa (jednoprredmetni - redoviti)

## **Utjecajni faktori na pouzdanost satelitskih pozicijskih sustava**

Završni rad

Student/ica:

Mišel Gobin

Mentor/ica:

Izv. prof. dr. sc. Toni Bielić

Zadar, 2016.



## Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Mišel Gobin**, ovime izjavljujem da je moj **završni** rad pod naslovom **Utjecajni faktori na pouzdanost satelitskih pozicijskih sustava** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 15. prosinca 2017.

# Sadržaj

<b>1. Uvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Povijest GPS sustava .....</b>	<b>2</b>
2. 1. Vojna upotreba .....	4
2. 2. Civilna upotreba .....	4
2. 3. Selektivna dostupnost GPS-a .....	5
<b>3. Izvori pogreške GPS-a .....</b>	<b>7</b>
<b>4. Ionosfersko kašnjenje.....</b>	<b>10</b>
<b>5. Magnetske oluje sa Sunca.....</b>	<b>13</b>
<b>6. Pouzdanost satelita u slučaju jačih magnetskih oluja.....</b>	<b>16</b>
<b>7. Ometanje GPS signala .....</b>	<b>16</b>
7. 1. GPS ometač .....	17
<b>8. Podvale kod GPS signala .....</b>	<b>19</b>
<b>9. Rješenja za ometanje i podvale kod GPS-a.....</b>	<b>22</b>
9. 1. Povijest E-Lorana.....	22
9. 2. E-Loran .....	22
<b>10. Zaključak .....</b>	<b>25</b>
<b>11. Literatura.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>12. Popis slika.....</b>	<b>26</b>

## **Sažetak**

U ovom radu dan je pregled razvoja GPS sustava kroz povijest i njegovog poboljšavanja pouzdanosti do današnjih dana, pri čemu je najveći pomak u točnosti pozicije za civilnu upotrebu ostvaren gašenjem namjerno uzrokovane greške „Selektivna dostupnost“, 2000. godine. Zatim se u radu navode preostali izvori greški GPS sustava, među kojima je kao najbitniji ionosfersko kašnjenje. Zatim se u radu raspravlja o pouzdanosti globalnih pozicijskih sustava za vrijeme jačih geomagnetskih oluja. Slijedi rasprava o problemima namjernog ometanja i moguće zloupotrebe tehnologije poput GPS ometanja signala i GPS podvala, i o mogućim rješenjima za te probleme. Pokazuje se se da je uz neka ostala rješenja, kao što je primjerice anti ometanje, najbolje rješenje E-Loran sustav koji bi u budućnosti mogao predstavljati pouzdano alternativno sredstvo za globalno određivanje pozicije na Zemlji.

Ključne riječi: *GPS sustav, Ionosfersko kašnjenje, GPS Jamming, GPS Spofing, eLoran*

## **Abstract**

### **Impact Factors on Reliability of GPS**

This document gives an overview of the development of the GPS system through its history and improve reliability to the present day, with the largest shift in the position accuracy for civilian use recorded shutting down intentionally caused by selective availability error in 2000. Then, the document referred to the remaining sources of error GPS system, including as the most important ionospheric delay. Then, the document discusses the reliability of global positioning system during strong geomagnetic storm. The following discussion of the problems of deliberate interference and possible misuse of technology like GPS jamming and GPS spoofing, and possible solutions to these problems. It is shown that with some other solutions, such as for example anti jamming, the best solution E-Loran system which in the future could represent a reliable alternative means for determining the global position of the Earth.

Keywords: GPS systems, ionospheric delay, GPS Jamming, GPS Spoofing, eloran

## 1. Uvod

GPS (engl. Global Positioning System), je američki globalni navigacijski satelitski sustav. On omogućuje pouzdano pozicioniranje, navigaciju i vremenske usluge korisnicima širom svijeta na kontinuiranoj osnovi u svim vremenskim uvjetima, danju i noću, svugdje na Zemlji ili blizu nje, ondje gdje postoji neometan kontakt s četirima ili više satelita GPS-a.

GPS se sastoji od tri segmenta: svemirski, kontrolni i korisnički. Svemirski segment sastoji se od 24 do 32 satelita u srednjoj Zemljinoj orbiti, a uključuje potisnike potrebne za njihovo lansiranje u orbitu. Kontrolni segment se sastoji od glavne kontrolne stanice, alternativne glavne kontrolne stanice i baze dodijeljenih i zajedničkih zemaljskih antena i monitornih stanica. Korisnički segment se sastoji od stotina tisuća američkih i savezničkih vojnih korisnika sigurne usluge preciznog pozicioniranja GPS-a te desetke milijuna civilnih, komercijalnih i znanstvenih korisnika usluge standardnog pozicioniranja. Sateliti GPS-a emitiraju signale iz svemira koje GPS prijammnici koriste za prikazivanje trodimenzionalne lokacije (latitude, longitude i altitude) i preciznog vremena.

GPS je postao široko korištena pomoć u navigaciji širom svijeta i vrlo koristan alat za izradu karata, zemljišnu izmjeru, trgovinu, znanstvene svrhe, praćenje i nadzor. Osim navedenog, precizna vremenska referencija koristi se u mnogim primjenama uključujući znanstvena istraživanja potresa te kao vremenski sinkronizacijski izvor za protokole mobilnih mreža.

GPS je postao glavno uporište transportnih sustava širom svijeta, osiguravajući navigaciju za avijaciju, kopnene i pomorske operacije. Pomoć u katastrofama i usluge hitnih službi ovise o GPS-u u smislu lokacijskih i vremenskih mogućnosti nužno potrebnih u njihovim misijama spašavanja života. Precizno vrijeme koje pruža GPS olakšava svakodnevne aktivnosti poput bankarstva, funkcioniranja mobilnih telefona pa čak i nadzor nad električnom mrežom. Poljoprivrednici, geodeti, geolozi i nepregledno mnoštvo drugih stručnjaka obavljaju svoj posao učinkovitije, sigurnije, ekonomičnije i preciznije koristeći besplatne i dostupne signale GPS-a.

## 2. Povijest GPS sustava

Prvi satelitski navigacijski sustav, zvao se „Transit“. Koristila ga je ratna mornarica SAD-a, a uspješno je testiran 1960. godine. Koristio je konstelaciju od pet satelita, a mogao je osigurati navigacijski fiks približno jedanput na sat. Tih 5 satelita, nalazilo se u niskim polarnim orbitama, na visini od 1000 km s vremenom ophodnje od 1h i 47 min. Kako bi se uklonio utjecaj atmosfere koristile su se dvije frekvencije od 150 i 400 MHz. Zbog malog broja satelita i ograničene konstelacije sustav je imao ograničenu dostupnost. Pojavljivao se svakih 30 min, a bio je dostupan samo 16 min od kojih je 10-15 trebalo za procesiranje signala.



**Slika 1. :** Transit satelit iz 1960. godine

Izvor: Transit satellite

[https://en.wikipedia.org/wiki/Transit\\_\(satellite\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Transit_(satellite))

Ratna mornarica SAD-a razvila je 1967. godine satelit „Timation“, koji je dokazao mogućnost smještaja preciznih satova u svemiru na čemu se temelji tehnologija GPS-a.

1970-ih godina zasnovan je navigacijski sustav „Omega“ na usporedbi faze transmisije signala s parova stanica. Omega je postao prvi svjetski radijski navigacijski sustav. No ipak, određena ograničenja ovih sustava dovela su do potrebe za univerzalnim navigacijskim rješenjem s većom preciznošću.

Iako su velike potrebe postojale za preciznu navigaciju u vojnom i civilnom sektoru, niti jedna od njih nije bila smatrana opravdanjem za utrošak milijarda dolara u istraživanje, razvoj, implementaciju i funkcioniranje kompleksne konstelacije navigacijskih satelita. Ipak tijekom hladnoratovske utrke, u naoružanju, nuklearna prijetnja samom postojanju Sjedinjenih Država bila je upravo ona potreba koja je u očima Kongresa SAD-a opravdavala ovaj trošak. Stoga je ovaj učinak odvrćanja razlog zašto se krenulo s financiranjem razvoja GPS-a.

Tijekom vikenda za praznik rada 1973. godine održao se sastanak od oko 12 vojnih časnika u Pentagonu koji su raspravljali o stvaranju DNSS-a (engl. *Defense Navigation Satellite System*, hrv. Obrambeni navigacijski satelitski sustav). Upravo je na ovom sastanku "stvoren stvarna sinteza koja se razvila u GPS". Kasnije te godine program DNSS-a, nazvan je Navstar. Budući da su pojedini sateliti bili pridruženi imenu Navstar, počeo se koristiti sveobuhvatni naziv za identifikaciju konstelacije Navstarovih satelita. Ovaj potpuniji naziv bio je Navstar-GPS koji je poslije skraćen jednostavno u GPS.

Nakon što je 1983. oboren let 007 Korean Air Linesa zbog ulaska u zabranjeni zračni prostor SSSR-a, predsjednik Ronald Reagan objavio je direktivu kojom je GPS učinio slobodno dostupnim za civilnu uporabu kao opće dobro. Prvi takav satelit bio je lansiran 1989. godine, a 24. i posljednji 1994. godine.

Do prosinca 1993. godine, GPS je postizao sve bolju inicijalnu operacijsku sposobnost.

U travnju 1995. godine, NAVSTAR objavljuje punu operacijsku sposobnost.

1996. godine, američki predsjednik Bill Clinton prepoznao je važnost GPS-a za civilne korisnike jednako kao i za vojne, Objavio je političku direktivu kojim se GPS deklarira kao sustav dvostruke upotrebe: vojne i civilne. Tada se osnovalo i međuagencijsko izvršno vijeće za GPS, radi upravljanja GPS-om na nacionalnoj razini.



## 2. 1. Vojna upotreba

Vojne primjene GPS-a imaju brojne svrhe:

U navigaciji GPS omogućuje vojnicima pronalazak ciljeva u tami ili na nepoznatom teritoriju, te koordinaciju pokreta trupa i opskrbe. GPS prijammnici koje koriste zapovjednici i vojnici nazivaju se zapovjednički digitalni asistent, odnosno vojnički digitalni asistent.

Kod praćenja mete, različiti vojni oružani sustavi koriste GPS za praćenje potencijalnih kopnenih i zračnih meta prije nego budu označeni neprijateljskima. Ovi oružani sustavi prenose GPS koordinate meta do precizno navođenog streljiva, kako bi mu omogućilo točno pogađanje mete. Vojne letjelice, posebice one korištene u zračno-zemljanim ulogama koriste GPS za pronalazak meta.

Kod navođenja raketa i projektila, GPS omogućuje točno ciljanje različitog vojnog oružja uključujući ICBM-ove, krstareće rakete i precizno navođeno streljivo. Topnički projektili s ugrađenim GPS prijammnicima koji mogu izdržati akceleracije od 12. 000 G ili oko 117. 600 metara/s<sup>2</sup> razvijeni su za uporabu u 155 mm haubicama.

Kod traženja i spašavanja, oboreni piloti mogu se brže locirati ako imaju GPS prijammnik.

Također, vojska koristi GPS u velikom opsegu kao pomoć u kartiranju i izviđanju.

## 2. 2. Civilna upotreba

Mnoge civilne aplikacije imaju koristi od GPS signala, koristeći jednu ili više od triju osnovnih komponenti GPS-a: apsolutnu lokaciju, relativno kretanje i vremenski transfer.

Sposobnost determiniranja apsolutne lokacije prijammnika omogućuje da GPS prijammnici služe kao geodetski alat ili pomoć u navigaciji. Kapacitet determiniranja relativnog kretanja omogućuje prijammniku izračun lokalne brzine i orijentacije što je korisno za plovila ili opservacije Zemlje.

Konačno, GPS omogućuje istraživačima proučavanje Zemljina okoliša uključujući atmosferu, ionosferu i gravitacijsko polje. GPS geodetska oprema revolucionizirala je tektoniku izravnim mjerenjem gibanja rasjeda u potresima.

GPS vodiči također su primjeri civilne uporabe. GPS se ovdje koristi za određivanje trenutka prikazivanja sadržaja. Primjerice, prilikom približavanja spomeniku informirat će nas o njemu.

Danas se GPS koristi skoro svakodnevno, u raznoraznim mobilnim igricama, vremenskim prognozama, putovanjima i slično.

### 2.3. Selektivna dostupnost GPS-a

Selective availability error (hrv. Selektivna dostupnost GPS-a) je svojstvo kojem se dodaju namjerne, vremenski varirajuće pogreške do 100 metara javno dostupnim navigacijskim signalima. Namjera SA je sprečavanje neprijatelja da koristi civilne GPS prijavnike za precizno navođenje oružja.

Pogreške SA su zapravo pseudonasumične, generirane kriptografskim algoritmom iz povjerljivog *sjemenskog* ključa dostupnog samo ovlaštenim korisnicima (američkoj vojsci, njezinim saveznicima i nekolicini drugih korisnika, većinom vladi) sa specijalnim vojnim GPS prijavnikom. Samo posjedovanje prijavnika je nedostatno, jer mu je za rad potreban dobro kontrolirani dnevni ključ.

2. svibnja 2000. godine selektivna dostupnost je prekinuta kao rezultat izvršne odluke iz 1996. godine čime je korisnicima omogućen prijam nedegradiranog signala u cijelom svijetu.

Prije nego što je ugašena selektivna dostupnost, pogreške su iznosile 30 metara okomito i 10 metara vodoravno. Pošto SA utječe na sve GPS prijavnike gotovo jednako na danom području, fiksna stanica s točno poznatom pozicijom može izmjeriti vrijednosti SA pogrešaka i transmitirati ih na lokalne GPS prijavnike tako da oni mogu ispraviti svoje pozicije. To nazivamo Diferencijalnim GPS-om ili DGPS<sup>1</sup>. Taj DGPS ispravlja nekoliko važnih izvora GPS pogrešaka, posebice ionosfersko kašnjenje, tako da se je nastavio i dalje koristiti iako je SA odavno ugašen.

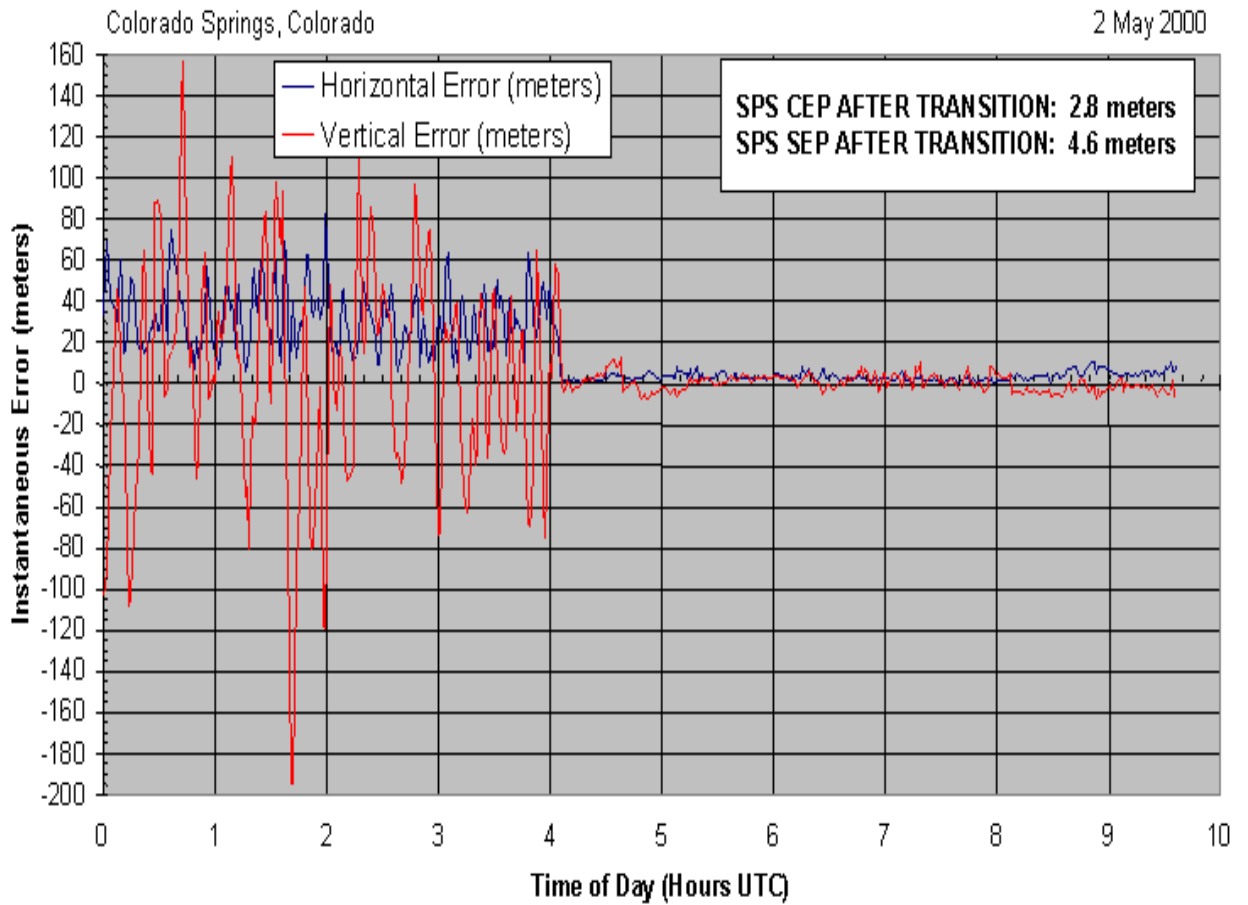
Selektivna dostupnost još je uvijek mogućnost GPS sustava, te bi ta pogreška barem u teoriji mogla biti ponovno uvedena u bilo kojem trenutku. Što se tiče prakse, u pogledu troškova i rizika, to bi utjecalo i na američku i na stranu mornaricu, pa je teško vjerojatno da će se ponovno uvesti, a razne vladine agencije potvrdile su kako ne postoji namjera ponovnog uvođenja.

---

<sup>1</sup> DGPS ili Diferencijalni GPS radi tako da se GPS-prijavnik stavi na već poznati položaj.



# SA Transition -- 2 May 2000



**Slika 2.** : Prikaz selektivne dostupnosti na grafu prije i poslije deaktiviranja 2000.

godine

Izvor: GPS.gov

<http://www.gps.gov/systems/gps/modernization/sa/>

### 3. Izvori pogreške GPS-a

Globalni sustavi za satelitsku navigaciju podložni su pogreškama pri prijenosu signala i njegovoj obradi. Uzroci pogrešaka su ionosfersko i troposfersko kašnjenje signala, pogreške satova satelita i prijarnika, pogreške procjene putanja satelita i višestazno širenje signala. Ionosfersko kašnjenje unosi najveću pogrešku u izračunu vremena širenja signala od satelita do prijarnika.

Iako se globalni sustavi za satelitsku navigaciju GNSS (eng. Global Navigation Satellite System) koriste već tridesetak godina, domena njihove uporabe širi se, a zahtjevi koji se stavljaju pred njih sve su veći. Američki sustav GPS (eng. Global Positioning System) dovršen je i operativan. Korisnicima pruža globalno pokrivanje signalom.

Signali svih GNSS sustava pod utjecajem su mnogih istovrsnih pogrešaka pa se mogu zajednički analizirati. Zbog otvorenosti sustava, dostupnosti prijarnika i signala te velikog broja znanstvenih radova, velik dio objašnjenja ustrojstva GNSS-a, kao i ionosferskih i drugih pogrešaka u ovom radu temelji se na sustavu GPS-a.

Položaj prijarnika u koordinatnom sustavu pojedinog GNSS-a računa se određivanjem udaljenosti između prijarnika i vidljivih satelita. Budući da na izračun te udaljenosti utječu elementi koji unose pogreške, ona se naziva pseudoudaljenost. Pogreške u izračunu pseudoudaljenosti mogu nastati na satelitu, na prijarniku i na putu širenja elektromagnetskog signala.

Postoje nekoliko izvora pogrešaka GPS sustava, a to su:

- Sat satelita
- Sat prijarnika
- Troposfersko kašnjenje
- Višestazno širenje

- Položaj satelita
- Ionosfersko kašnjenje
- Ostale pogreške

#### **A. Pogreške putanje satelita i položaja prijarnika**

Putanja satelita ovisi o djelovanju gravitacijskih sila Zemlje, Mjeseca i Sunca te drugih planeta i objekata, kao i sunčevom zračenju. U glavnoj kontrolnoj postaji GNSS sustava predviđaju se putanje satelita na osnovu podataka o položajima satelita dobivenima iz kontrolnih postaja. Odstupanja od ranije predviđene putanje parametriziraju se i šalju satelitu, koji ih potom kroz korekcijske parametre putanja u navigacijskoj poruci šalje korisnicima. Najtočniji rezultati dobivaju se naknadnom obradom podataka.

#### **B. Pogreške satova satelita i prijarnika**

Kašnjenje signala od  $3,336 \cdot 10^{-9}$  sekundi uzrokuje pogrešku pozicioniranja od 1 m. Zbog toga rubidijevi i cezijevi satovi na satelitima, koji imaju dnevnu pogrešku reda veličine 10-14 sekundi moraju biti pod stalnim nadzorom kontrolnog dijela sustava i svako zabilježeno odstupanje pojedinog satelita prosljeđuje se korisnicima navigacijskom porukom. U novijim generacijama GNSS satelita koriste se sve precizniji satovi, najčešće više njih na jednom satelitu, a srednja vrijednost vremena tih satova koristi se kao vrijeme tog satelita. Satovi na prijarnicima cijenom i veličinom moraju odgovarati prijenosnom karakteru i masovnoj proizvodnji uređaja, što uvjetuje puno manju stabilnost računanja vremena.

#### **C. Troposferska pogreška**

Troposfera je najniži dio Zemljine atmosfere i proteže se do visine od 7 do 14 km, ovisno o točki promatranja. Zenitno kašnjenje signala do kojega dolazi u troposferi ovisi o suhoj i mokroj komponenti. Suha je utjecajnija i čini 90 % troposferske pogreške. Lako se računa jer ovisi isključivo o visini prijarnika, odnosno debljini sloja troposfere iznad njega.

Mokra komponenta ovisi o atmosferskim prilikama, tj. tlaku, vlazi i temperaturi te se stoga može brzo mijenjati. Budući da je lokalnog karaktera, mjerenjem meteoroloških parametara na mjestu prijama moguće ju je kompenzirati. Takva mjerenja nisu praktična pa se za određivanje mokre troposferske komponente koristi Saastamoinenov i Hopfieldov model. Troposfersko kašnjenje najmanje je ako se satelit nalazi u zenitu iznad prijavnika, kada iznosi oko 2, 5 m. Kako se elevacija satelita smanjuje, tako se povećava i troposfersko kašnjenje, koje za elevaciju od 5° može biti i deset puta veće nego zenitno. Funkcije za korekciju koriste se kako bi se iz poznatog zenitnog kašnjenja izračunalo kašnjenje za bilo koju elevaciju satelita.

#### **D. Višestazno širenje signala**

Osim izravne zrake signala LOS (eng. Line-of-Sight) , do prijavnika mogu doći i reflektirane zrake, koje za izravnom zrakom kasne za  $\Delta t$ . Kodnom korelacijom kašnjenja manja od 0, 391 ms, mogu se otkriti i ispraviti, no veće kašnjenje nije moguće otkriti. Zbog toga može doći do pogrešne interpretacije vremena širenja signala od satelita do prijavnika, što za posljedicu ima netočno određivanje udaljenosti prijavnika od satelita. Proizvođači prijavnika koriste vlastite metode ispravljanja pogrešaka višestaznog širenja, od pomičnih korelatora i detekcije prolaska korelatora kroz nulu do rubnih korelatora. Problem višestaznog širenja djelomično se može riješiti i hardverski. Zrake odbijene od tla i površina ispod razine antene nepoželjne su i moguće ih je odbaciti korištenjem antena s prstenastim prigušnicama postavljenima na dno antene. Naknadnom analizom primljenog signala moguće je prepoznati višestazno širenje, što se koristi kada je potrebna milimetarska preciznost, a računanje u stvarnom vremenu nije nužno.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> JOSIP VUKOVIĆ : „Ispravljanje pogrešaka pri određivanju položaja prijavnika u globalnim sustavima za satelitsku navigaciju“

Vrsta pogreške	Visoka preciznost	Standardna preciznost
Sat satelita	3 m	3 m
Sat prijmnika	0, 2 m	1, 5 m
Ionosfersko kašnjenje	2, 3 m	4, 9-9, 8 m
Troposfersko kašnjenje	2 m	2 m
Višestazno širenje	1, 2 m	2, 5 m
Položaj satelita	4, 2 m	4, 2 m
Ostale pogreške	2, 9 m	

Tablica 1. Red veličine pogrešaka GPS-a u metrima

## 4. Ionosfersko kašnjenje

Kao što je već ranije spomenuto, ionosfersko kašnjenje ili ionosferska pogreška je najveća vrsta pogreške u izračunu vremena širenja signala od satelita do prijmnika. Ionosfera je dio Zemljine atmosfere na visini između 50 i 1000 km koji sadrži velik broj slobodnih elektrona i pozitivnih iona. Nastala je kao posljedica Sunčeva zračenja pa i njezino stanje uvelike ovisi o Sunčevoj aktivnosti. Sunce ima razdoblja visoke i razdoblja niske aktivnosti, koja se periodički ponavljaju svakih 11 godina. 24. ciklus od kada postoje mjerenja svoj je vrhunac aktivnosti imao u 2013. godini. Ionosfera ovisi i o dobu dana i zemljopisnoj širini, a česte su i pojave iznenadnih lokalnih promjena razine ioniziranosti, posebno u polarnim i ekvatorijalnim područjima.

Elektroni uzrokuju usporavanje elektromagnetskog vala koji prolazi kroz ionosferu na putu od satelita ka prijmniku. Zato signal do korisnika stiže sa zakašnjenjem. Prolaskom kroz ionosferu faza koda je zakašnjela, a faza nosioca pomaknuta prema naprijed za isti iznos. Ionosfersko kašnjenje izaziva najveću pogrešku u pozicioniranju, iznosa 5-10 m, što se vidi iz tablice 1. To je posebno izraženo za niske elevacije satelita, kada je pogreška veća i do tri puta te iznosi 20-30 m.

Postoje pokazatelji kojima se pojednostavljeno prikazuje trenutno stanje ionosfere koriste se kao ulazni parametri u različite modele ionosfere. Pet važnijih pokazatelja stanja ionosfere su:

**1) Pokazatelj K** je pseudologaritamska vrijednost trosatne geomagnetske aktivnosti u odnosu na mirno geomagnetsko vrijeme. Pokazatelj se računa za svaku promatračku postaju, a može iznositi od 0 do 9.

**2) Pokazatelj K<sub>p</sub>** je trosatna globalna srednja vrijednost pokazatelja K dobivenih na trinaest geomagnetskih promatračkih postaja smještenih između 44. stupnja sjeverne i 60. stupnja južne geomagnetske širine. Pokazatelj K<sub>p</sub> mjeri iznos zračenja solarnih čestica preko njihova magnetizma. Iznos mu može biti između 0 i 9, s korakom od 1/3.

**3) Pokazatelj a<sub>p</sub>** je globalna mjera općeg stupnja geomagnetske aktivnosti za promatrani dan. To je trosatna srednja vrijednost magnetske aktivnosti temeljena na podacima pokazatelja K prikupljenima na jedanaest postaja za nadzor magnetskih aktivnosti, raspoređenima između 46 i 63 stupnja geomagnetske širine.

**4) Pokazatelj A<sub>p</sub>** dobiva se iz osam trosatnih pokazatelja a<sub>p</sub> jednoga dana i predstavlja dnevnu razinu geomagnetske aktivnosti.

**5) Solarno zračenje** s valnom duljinom od 10,7 cm, F10,7 koje najbolje najbolje prikazuje količinu Sunčeva zračenja pristiglog na Zemlju. Mjeri šum nastao zbog Sunčeva zračenja na frekvenciji od 2800 MHz i proporcionalan je broju Sunčevih pjega.

Velika većina GNSS prijamnika današnjice omogućuje prijam signala samo na jednoj frekvenciji, a dvofrekvencijski se prijamnici koriste ponajviše u vojne i znanstvene svrhe. Čak



i kada se dvofrekvencijski počnu masovno ugrađivati u samostalne uređaje za navigaciju i mobilne telefone, postojeći jednofrekvencijski prijamnici ostat će još niz godina u uporabi. Stoga je ispravljanje ionosferskog kašnjenja kod jednofrekvencijskih prijamnika u stalnom fokusu znanstvenih istraživanja.

Ionosfersko kašnjenje ovisno je o frekvenciji signala. Na tom principu temelji se uklanjanje ionosferske pogreške kod dvofrekvencijskih prijamnika, kod kojih se usporedbom kašnjenja signala na dvije frekvencije može odrediti iznos ionosferskog kašnjenja.

Postoje dva bitna modela ionosfere, a to su Klobucharov model i Model NeQuick 2.

### **1) Klobucharov model**

Klobucharov model ionosfere ugrađen je u sustav GPS. Efikasnost ispravljanja ionosferske pogreške iznosi oko 50%. Radi jednostavnosti model pretpostavlja da su svi slobodni elektroni koncentrirani u beskonačno tankom sloju na visini od 350 km. Točka presijecanja ionosfere IPP (eng. Ionosphere Pierce Point) definirana je kao točka u kojoj signal na putu od satelita do prijamnika siječe zamišljeni sloj na visini od 350 km. Ionosfersko kašnjenje prema Klobucharovu modelu preko dana poprima oblik sinusoide s maksimalnom vrijednošću u 14:00 h po lokalnom vremenu prijamnika, a noću je vrijednost kašnjenja konstantna. Nedostatak Klobucharova modela je taj što ne može pratiti brze promjene stanja ionosfere i snažno solarno zračenje. Budući da se radi o globalnom modelu koji mora biti primjenjiv na sve prijamnike, njime nije moguće ispraviti ni poremećaje ionosfere koji su lokalnog ili regionalnog karaktera.

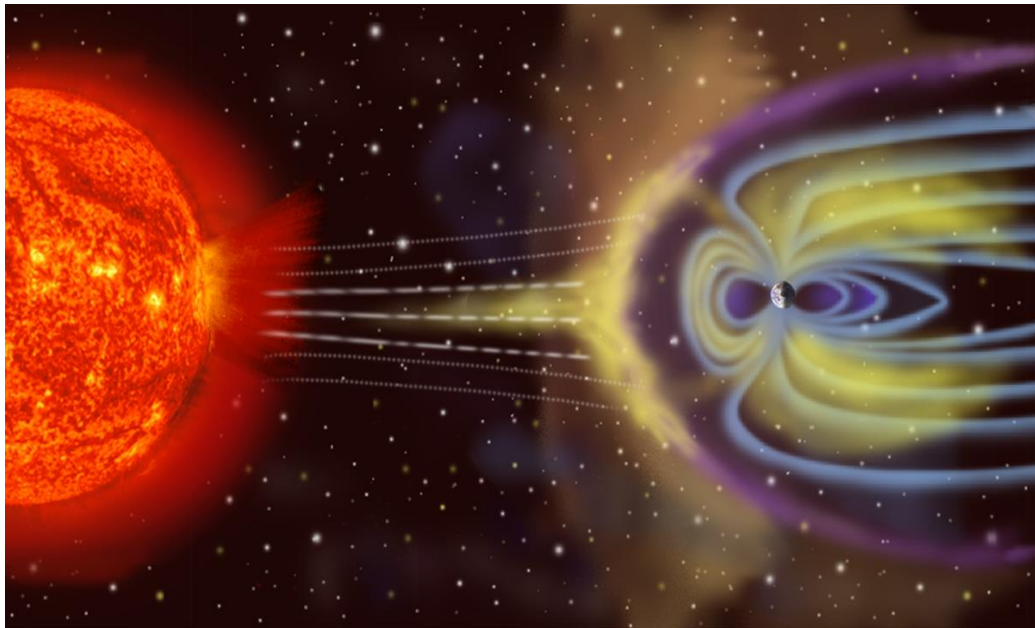
### **2) Model NeQuick 2**

S napretkom u proučavanju ionosfere i sve većom količinom dostupnih podataka razvijeni su novi modeli ionosfere koje ispravljaju neke od pogrešaka u prijašnjim modelima. NeQuick je trodimenzionalni, vremenski ovisan model distribucije elektrona u ionosferi opisan neprekinutom funkcijom, čije su prve prostorne derivacije također neprekinute. Sastoji se od dva dijela: donjega, ispod vršne vrijednosti F2 sloja ionosfere, i gornjega, iznad razine vršne vrijednosti sloja F2. Donji dio opisan je polu-Epsteinovim slojevima E, F1 i F2, a gornja strana je također polu-Epsteinov sloj. Račun se temelji na srednjoj mjesečnoj vrijednosti pokazatelja

F10, 7. Na izlazu model daje gustoću elektrona i TEC između satelita i prijammnika ili bilo koje dvije točke različite visine u prostoru iznad Zemlje. Osim veće točnosti ovog modela, ponajviše horizontalne, poboljšana je i učinkovitosti izračuna, što omogućava lakšu obradu velikih količina podataka.<sup>3</sup>

## 5. Magnetske oluje sa Sunca

Magnetska oluja sa Sunca, ili takozvana geomagnetska oluja, je privremeno ometanje Zemljine magnetosfere, koje uzrokuju Sunčeve aktivnosti, a to su obično udarni val i oblak magnetskog polja Sunčevog vjetra, zajedno sa Sunčevim bakljama i koronalnim izbacivanjem mase, koji zajedno napadaju zemljino magnetsko polje 3 dana nakon Sunčevih aktivnosti. Pritisak Sunčevog vjetra na magnetosferu i magnetsko polje Sunčevog vjetra će se povećavati ili smanjivati, ovisno o Sunčevim aktivnostima. Promjene pritiska Sunčevog vjetra mijenjaju električnu struju u ionosferi, a magnetsko polje Sunčevog vjetra će međusobno djelovati sa Zemljinim magnetskim poljem. Geomagnetske oluje obično traju dan ili dva, ali mogu trajati i danima.



---

<sup>3</sup> Klobucharov model i model NeQuick 2 su dva najvažnija modela kod ionosferskog kašnjenja.

**Slika 3. :** Sunčeve čestice međusobno djeluju sa Zemljinom magnetosferom

Izvor: Geomagnetska oluja

[https://hr.wikipedia.org/wiki/Geomagnetska\\_oluja](https://hr.wikipedia.org/wiki/Geomagnetska_oluja)

Geomagnetske oluje su izrazite neperiodičke promjene elemenata Zemljina magnetskoga polja uzrokovane promjenama intenziteta Sunčeva vjetra. Najveći otkloni intenziteta Zemljina magnetskoga polja u odnosu na razinu neporemećenoga dana iznose oko 5 000 nT, a prosječni 100 do 500 nT. Geomagnetske oluje javljaju se na cijeloj Zemlji, a mogu trajati nekoliko dana. Geomagnetske oluje imaju različite utjecaje u biologiji, komunikacijama, opasnosti radijacije na ljude, cjevovodima, električnim mrežama i dalekovodima, satelitima, i nama najbitnije, utjecaj na navigacijske sisteme. GPS ili LORAN mogu biti ometani za vrijeme geomagnetskih oluja, a samim time avioni i brodovi, koji koriste te signale. Inače, greške u navigaciji za vrijeme geomagnetskih oluja mogu biti i nekoliko kilometara.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> <http://blog.meteo-info.hr/zanimljivosti/sto-su-to-geomagnetske-oluje/>



**Slika 4. :** Složeni snimak koji prikazuje polarnu svjetlost iznad Sjeverne Europe, nastale nakon geomagnetske oluje dana 30. listopada 2003. g.

Izvor: Geomagnetska oluja

[https://hr.wikipedia.org/wiki/Geomagnetska\\_oluja](https://hr.wikipedia.org/wiki/Geomagnetska_oluja)

Geomagnetske oluje su podijeljene u tri faze:

- Početna faza
- Glavna faza
- Faza oporavka

Početna faza se sastoji od malog povećanja Zemljinog magnetskog polja, nakon čega slijedi veliko smanjenje Zemljinog magnetskog polja, pod nazivom glavna faza, koja traje dan ili dva.

Zatim počinje faza oporavka koja traje nešto malo duže od glavne faze. Tijekom geomagnetske oluje, Zemljino magnetsko polje se može promijeniti za oko 100 do 300 nT od ukupno oko 30 000 nT na Zemlji.

## 6. Pouzdanost satelita u slučaju jačih magnetskih oluja

Suvremeni navigacijski sustavi koji koriste radio valove kroz ionosferu su jako ranjivi za vrijeme jačih magnetskih oluja. Tu je jako ranjiv GPS sustav koji koristi konstelaciju zemljanih satelita u orbiti. Za vrijeme vrlo jakih magnetskih oluja, GPS prijammnik može potpuno izgubiti signal na određenim satelitima, a u konačnici GPS može biti potpuno nesposoban za pružanje bilo kakvog položaja.

## 7. Ometanje GPS signala

Uz razvoj tehnologija pozicioniranja putem globalnih navigacijskih satelitskih sustava (GNSS), razvijale su se i tehnologije ometanja prijema signala odaslanih sa satelita. Tako su nastali ometači (eng. jammer) GNSS signala – radio-frekvencijski odašiljači dizajnirani tako da blokiranjem, prigušivanjem ili drugim načinima ometanja signala djelomično ili u potpunosti onemogućavaju određivanje položaja u prostoru. Iako je u velikom dijelu svijeta ometanje radijskih signala ilegalno, korištenje ometača sve je češće u civilnim i vojnim djelatnostima.

GPS ometači signala su radio-frekvencijski odašiljači koji blokiraju, prigušuju ili na drugi način ometaju GPS signale, najčešće odašiljanjem radiofrekvencijskih valova koji ometaju stvarne signale te sprječavaju uspostavljanje ili kontinuirano opažanje signala u prijammnicima GPS uređaja. Ometanje prijammnika globalnih sustava za pozicioniranje danas je moguće čak i na udaljenostima do 100 kilometara od izvora ometanja pri izlaznoj snazi od samo 1 W. Sateliti sustava emitiraju signale izlaznom snagom od otprilike 30 W, 20200 kilometara iznad površine Zemlje, a kako je udaljenost koju signal mora prijeći razmjerno velika ti signali značajno oslabe

i nije ih teško nadjačati. Svi uređaji koji rade na istim ili sličnim frekvencijama kao i GNSS odašiljači mogu biti prigušivači signala.

## 7. 1. GPS ometač

Uređaji za ometanje signala globalnih sustava za pozicioniranje generiraju i odašilju signale radijskih frekvencija sličnih stvarnim frekvencijama uz pojačani šum što uzrokuje gubitak signala sa satelita, težu interpretaciju signala ili nemogućnost kontinuiranog opažanja u prijammniku. Izravna posljedica je nemogućnost pozicioniranja i navigacije. Većina tehnika ometanja GPS signala svrstava se u tri kategorije na temelju širine raspona frekvencija koje ometač koristi :

- ometanje kontinuiranim valom
- uskopojasno ometanje
- širokopojasno ometanje

Učinkovitost tehnika ometanja kontinuiranim valom i uskopojasnog ometanja je potencijalno veća nego učinkovitost tehnika širokopojasnog ometanja zbog veće spektralne gustoće snage – signali su koncentrirani u rasponu frekvencija. S druge strane, za razliku od širokopojasnog šuma, signali kontinuiranog vala i uskopojasni signali se lakše detektiraju i filtriraju iz GPS signala s ugrađenim tehnikama obrade signala što rezultira samo manjim degradacijama u odnosu signal/šum i navigacijskim funkcijama. Iako širokopojasno ometanje karakterizira mala spektralna gustoća snage, donedavno ga je bilo nemoguće filtrirati, a danas se ublažava specifičnim algoritmima koji se temelje na interpretaciji podataka omjera nosač-šum satelit.

Osim prema frekvencijskom rasponu ometanja, uređaje za ometanje GPS signala možemo podijeliti prema primjeni na ometače signala za civilnu primjenu te ometače signala za vojnu primjenu. Jeftiniji civilni uređaji mogu ometati L1 frekvencije signala, a skuplji mogu ometati L1, L2 i druge frekvencije signala. Iako konkretne specifikacije nisu dostupne javnosti, ometači signala za vojnu primjenu su kompleksniji, imaju veću snagu i značajno su veći.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> M.VIDULIN,M.POLOVINA,M.GRGIĆ : „ Razvoj i primjena uređaja za ometanje signala GNSS satelita“



**Slika 5. :** Profesionalni vojni ometač

Izvor: Spy Tech

<http://www.spytech.rs/spijunska-oprema/ometaci-spijunske-opreme/profesionalni-jammer---ometac-spijunske-opreme>

Ometanje GPS signala događa se namjerno ili nenamjerno. Poznat je slučaj nenamjernog ometanja signala na Newark aerodromu u New Jersey-u 2009. godine kada su u svrhu poboljšanja navigacije, na aerodrom ugrađeni novi GPS prijammnici koji su imali kratke svakodnevne prekide u prijemu signala. Nakon dva mjeseca ispitivanja FAA (Federal Aviation Administration) utvrdila je kako je kratkotrajne prekide primanja signala sa satelita izazivao GPS ometač vozača kamiona koji je svakodnevno prolazio pored aerodroma. Moguće je nabrojati i brojne primjere namjernog ometanja signala - od krađa letjelica i automobila (poznat primjer krađe automobila u Velikoj Britaniji) , pa sve do vojnih vježbi u Sjevernoj Koreji čijim je ometanjem zahvaćeno više od 300 civilnih zrakoplova i 250 brodova.

Potrebno je spomenuti kako se u današnje vrijeme ometanje GPS signala sve više koristi u piratstvu.

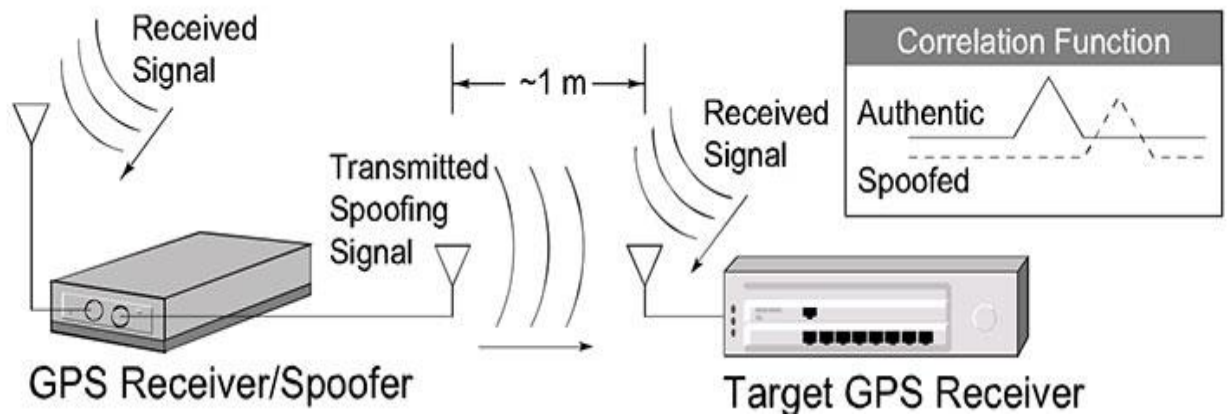


**Slika 6. :** Prikaz klasičnog ometača signala

## 8. Podvale kod GPS signala

Podvala kod GPS-a (engl. GPS spoofing), napredna je tehnika ometanja GNSS signala koja se temelji na emitiranju signala strukturom identičnih GNSS signalima koji nadjačavaju izvorne signale te kontinuiranim, unaprijed isplaniranim, malim pomacima GNSS prijarnike navode na željene koordinate. Tehnika podvale kod ometanja signala vrlo je zahtjevna jer je za ometanje potrebno znati točne satelite s kojih konkretni prijarnik prima signal što uglavnom pretpostavlja da je ometač pokretan i na maloj udaljenosti od prijarnika.



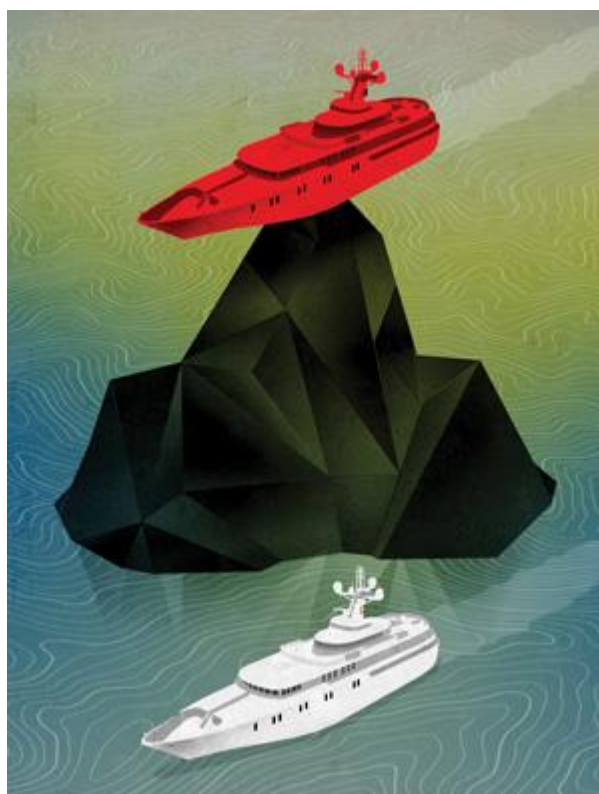


**Slika 7. :** Ilustracija napada podvalom kod GPS-a

Izvor: GPS World

<http://gpsworld.com/defensesecurity-surveillanceassessing-spoofing-threat-3171/>

Sve veći broj bežičnih aplikacija oslanjaju se na GPS signal za lokalizaciju, navigaciju i sinkronizaciju . Međutim, poznato je da su GPS signali osjetljivi na napade podvale (engl. Spoofing attacks) , što znači da GPS prijammnici, u takvim situacijama, pokazuju pogrešnu lokaciju, a ne onu stvarnu. GPS spoofing napad vara GPS prijammnik emitiranjem malo jačeg signala od onog pravog. Kao i kod GPS ometanja, i GPS podvale se također sve više zloupotrebljavaju u piratstvu.<sup>6</sup>



**Slika 8. :** Prikaz podvale kos GPS-a

Izvor : Spectrum

<http://spectrum.ieee.org/telecom/security/protecting-gps-from-spoofers-is-critical-to-the-future-of-navigation>

---

<sup>6</sup> <http://spectrum.ieee.org/telecom/security/protecting-gps-from-spoofers-is-critical-to-the-future-of-navigation> : „Protecting GPS from spoofers is a crtical to the future of navigation“

## 9. Rješenja za ometanje i podvale kod GPS-a

Postupci zaštite signala sustava za navigaciju mogu se objediniti engleskim nazivom anti-jam. Oni uključuju razvoj mreža za detekciju ometača signala, softverske i hardverske nadogradnje prijarnika i antena sustava te zaštitu signala poslanog sa satelita. Konzorcij Gaardian u SAD-u razvio je sustav koji pruža informacije o pouzdanosti GPS-a na aerodromima i drugim značajnim lokacijama koristeći mrežu senzora (URL-6) koji kontinuirano opažaju signale GPS i eLoran sustava koji je unapređenje Loran sustava, terestričkog radio-navigacijskog sustava prvi put korištenog za Američku i Britansku mornaricu tijekom Drugog svjetskog rata koji emitira signale na niskim frekvencijama od 90 do 110 kHz. Takvi senzori pomoću malih atomskih satova detektiraju smetnje i klasificiraju vrste smetnji ovisno o tome jesu li smetnje prirodne ili umjetno stvorene.

### 9. 1. Povijest eLorana

Preteča eLorana je bila Loran-C, koji je održavao točnost pozicioniranja od 460 metara, uglavnom za pomorce koji plovo u priobalnim i oceanskim vodama. Kada se je 1980-ih godina pojavio GPS sustav s točnošću pozicioniranja od nekoliko desetaka metara, mnogi su počeli doživljavati Loran-C nevažnim. Međutim, pokazati će se u budućnosti kako je on, tj sada poboljšani eLoran, osnovni izvor položaja i vremena kada GPS nije pouzdan iz različitih, već nabrojanih razloga. U Rujnu 2001. godine, nakon terorističkog napada, američka vlada je počela temeljiti svoje kritične infrastrukture općenito na GNSS. Kada je dokazana ranjivost GPS-a i ostalih sličnih sustava, radi namjernih ili nenamjernih smetnji, rješenje problema se je vidjelo u Loranu-C. To je privuklo interes u cijelome svijetu, i dalo poticaj moderniziranja Loran C sustava. I tako dolazimo do poboljšanog eLoran sustava.

### 9. 2. eLoran

eLoran je internacionalno-standardizirano pozicioniranje, navigacija i PNT služba, koji se upotrebljava u mnogim načina prijevoza. On zadovoljava točnost, dostupnost, integritet i kontinuiranu izvedbu zahtjeva za neprecizne instrumente u avionu, ulaz u pomorske luke, manevre, navigaciju na zemlji i usluge temeljene na lokaciji, te je precizan izvor vremena i frekvencije za aplikacije kao što su telekomunikacije. eLoran je neovisan, različit, ali ipak i dopuna globalnim pozicijskim sustavima. On omogućuje GPS korisnicima da zadrže sigurnost čak i kad su im satelitske usluge poremećene.

eLoran zadovoljava skup svjetskih standarda i djeluje posve neovisno o GPS-u, GLONASS-u, Galielu, ili bilo kojem budućem GNSS sustavu. eLoran prijemnik svakog korisnika će djelovati u svim regijama u kojima je pružena eLoran usluga. Prijamnici će raditi automatski, s minimalnim unosom korisnika.

Jezgra eLoran sustava sastoji se od moderniziranih kontrolnih centara, prijenosne stanice i praćenja lokacije. eLoran prijenosi su sinkronizirani na prepoznatljive, jasno ovjerene, izvore po koordiniranom univerzalno vremenu (UTC) . Temeljna razlika između eLorana i Lorana-C je dodatak podatkovnog kanala na odaslani signal.

eLoran usluge garantiraju sigurnost između korisnika i centra tako da:

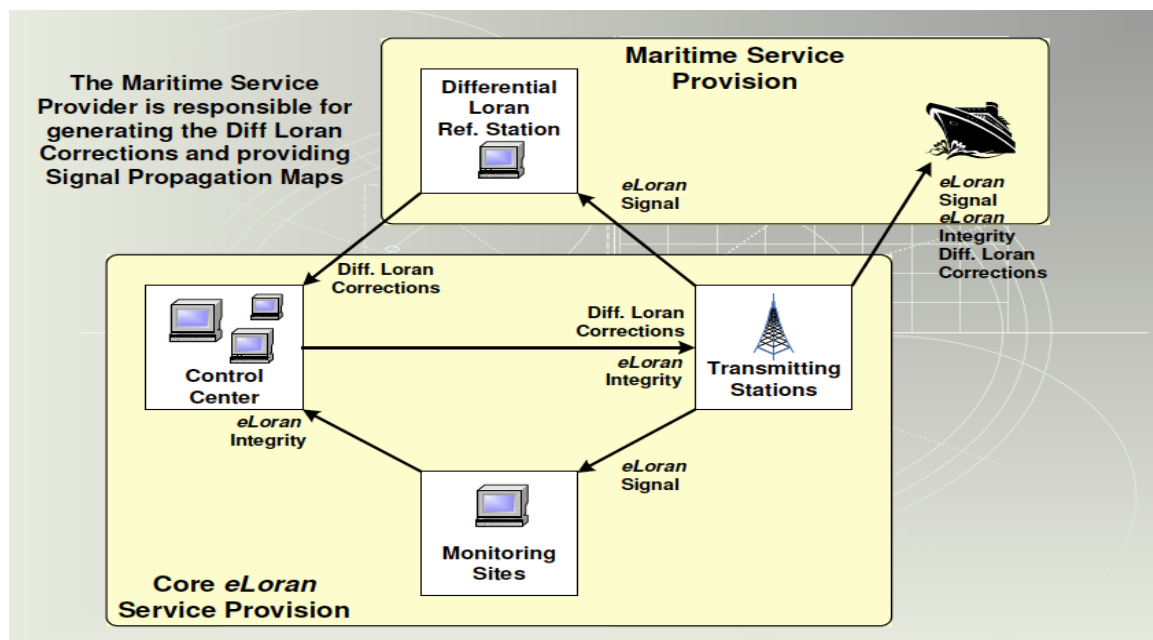
- podržava operacije zrakoplova tijekom svih faza leta
- omogućava pomorsku e-navigaciju, uključujući stalne izmjene opasnih voda
- održava usklađene žične i bežične telekomunikacije.

eLoran ima mogućnost da kopira GPS signal neprimjetno, ako su satelitski signali izgubljeni, čime omogućuje korisnicima da nastave sa radom i održavanjem komunikacije. Dakle, eLoran može ublažiti poremećaj GPS sustava, štoviše, on može djelovati kao statični kompas na moru, što GPS sustav ne može.

Samim time što je dosad spomenuto, eLoran je najbolje rješenje za ometanje i podvale kod GPS-a.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> [www.loran.org](http://www.loran.org) : „International Loran Association“



**Slika 9. :** Primjer jedne odredbe eLoran usluge za pomorske korisnike

Izvor: Inside GNSS

<http://www.insidegnss.com/node/3769>

Potrebno je još spomenuti zašto je uopće GPS signal jednostavnije ometati od eLorana. eLoran sustav radi na niskim frekvencijama i dugog je dometa za navigaciju.

GPS-sustav su vrlo nepouzdana za vrijeme oluja sa Sunca, ili jakih geomagnetskih oluja.

Što se tiče ometanja samoga signala, GPS je puno lakše ometati, jer eLoran sustav radi s tri odašiljača u dobroj geometriji, dovoljno dobro da bude koprimaryno PNT rješenje za GPS sustav. Ti odašiljači se nalaze "pri ruci", znači vrlo blizu, i mogu se lako podesiti ukoliko je to potrebno. Što je još važnije, eLoran se nalazi u potpunosti pod atmosferom i zato nudi višu otpornost na bilo kakve pokušaje ometanja.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> <http://gpsworld.com/innovation-enhanced-loran/> : „GPS World“

## 10. Zaključak

U svijetu brodarska industrija doživljava snažan rast, što se očekuje da će se i nastaviti. Brodovi su sve veći i brži, u morskim putevima su sve veće gužve, samim time i piratstvo, a posade se sve više oslanjaju na elektronske navigacijske sustave za rad.

Kada pričamo o točnosti, sigurnosti i pouzdanosti globalnih pozicijskih sustava, velika prekretnica se dogodila 2000-te godine, kada je ukinuta selektivna dostupnost, a GPS sustav postaje jednako točan i za vojne i za civilne svrhe.

Što se tiče pouzdanosti GPS sustava, tu ima puno utjecajnih faktora, tzv. Izvori pogrešaka GPS-a, među kojima je najbitnija pogreška ionosferskog kašnjenja. No postoje dva modela, koja i taj problem donekle rješavaju. A to su Klobucharov model i Model NeQuick 2.

Dokazalo se je da i za vrijeme jakih geomagnetskih oluja, GPS sustav može potpuno izgubiti signal za rad na određenim satelitima, ali isto tako on može biti potpuno nesposoban za dati bilo kakav položaj.

I na kraju, ometanje i podvale kod GPS-a su tehnike koje se sve više koriste u piratstvu, i tu se javlja važnost eLoran sistema, koji je najbolja obrana, uz GNSS sustave, za piratstvo. Znači, spoj GPS-a i eLorana je najbolja kombinacija za zaštitu od piratstva. Dobra je stvar što oni djeluju potpuno neovisno jedan o drugom, a daju kombinirani izlazni tok podataka.

Točnost eLorana iznosi 10 metara ili 95 posto. Korištenjem eLorana, brodovi postižu iznimnu točnost potrebnu za sigurnu plovidbu u ograničenim i opasnim plovnim putevima.

## 11. Literatura

1. GPS world.com /innovation-enhanced-loran /
2. [www.gps.gov](http://www.gps.gov).
3. spectrum.ieee.org.
4. [www.usanav.com](http://www.usanav.com)
5. meteo-info.hr
6. JOSIP VUKOVIĆ : „Ispravljanje pogrešaka pri određivanju položaja prijavnika u globalnim sustavima za satelitsku navigaciju“, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
7. [www.spy.tech.rs](http://www.spy.tech.rs)
8. [www.emlc.com.hr](http://www.emlc.com.hr)
9. RENATO FILJAR : „Elektronička navigacija“, Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci
10. M.VIDULIN, M.POLOVINA,M.GRGIĆ : „Razvoj i primjena uređaja za ometanje signala GNSS satelita
11. [www.loran.org](http://www.loran.org)

## 12. Popis slika

Slika 1. : Transit satelit iz 1960. godine, str. 2.

Slika 2. : Prikaz selektivne dostupnosti na grafu prije i poslije deaktiviranja 2000. godine, str. 6.

Slika 3. : Sunčeve čestice međusobno djeluju sa Zemljinom magnetosferom, str. 13.

Slika 4. : Složeni snimak koji prikazuje polarnu svjetlost iznad Sjeverne Europe, nastale nakon geomagnetske oluje dana 30. listopada, str. 14.

Slika 5. : Profesionalni vojni ometač, str. 17.

Slika 6. : Prikaz klasičnog ometača, str. 18.

Slika 7. : Ilustracija napada podvalom kod GPS-a, str. 19.

Slika 8. : Prikaz podvale kod GPS-a , str. 20.

Slika 9. : Primjer jedne odredbe eLoran usluge za pomorske korisnike, str. 23.