

STRUKTURNA ANALIZA METODA POZICIONIRANJA NA MORU

Structural Analysis of Positioning Methods at Sea

mr. sc. Zvonimir Lušić

Pomorski fakultet u Splitu
zlusic@pfst.hr

prof. dr. sc. Serđo Kos

Pomorski fakultet u Rijeci
skos@pfri.hr

prof. dr. sc. Srećko Krile

Sveučilište u Dubrovniku
srecko.krile@unidu.hr

UDK 656.61:621.39
527:621.39

Sažetak

U radu se provodi strukturna analiza bitnih elemenata elektroničkih navigacijskih sustava pozicioniranja na moru, prvenstveno onih koji su u uporabi za trgovačke brodove. Obrađuju se satelitski sustavi, hiperbolni sustavi, goniometarski sustavi, sustavi inercijalne navigacije, uključujući i vrlo točne navigacijske sustave malog dometa. S obzirom na to da je oslanjanje na satelitske sustave preveliko (prije svega na GPS), traže se dopune i alternative GPS sustavu, to jest satelitskim sustavima pozicioniranja uopće. Tako, GPS je u cjelini vrlo osjetljiv (moguća ometanja, isključenja i sl.) i pod stalnim je vojnim nadzorom. Na prvomu mjestu misli se na već raspoložive sustave, poput hiperbolnih i inercijskih. Kao dopuna satelitskim sustavima pozicioniranja mogu se iskoristiti i sustavi malog dometa, npr. laserski i hidroakustički sustavi. Također je jedna od zanimljivih alternativa i mreža za mobilnu telefoniju (GSM, CDMA, UMTS...), koja uz mnoštvo usluga nudi i uslugu pozicioniranja. U pokrivanju morskog područja mislimo prije svega na priobalje.

Ključne riječi: Satelitski sustavi, hiperbolni sustavi, inercijski sustavi, sustavi malog dometa, mreža mobilne telefonije.

Summary

This work presents a structural analysis of the essential elements of the electronic navigation systems of the positioning at sea, principally those which have been used in merchant ships. This includes the analysis of the satellite, hyperbolic, radio direction finder, and inertial navigation systems, including very accurate close range navigation systems. As today's navigators rely heavily on the GPS system, and the system itself is generally rather sensitive (jamming, switching off,...) and under military control, enhancements of the GPS and other satellite navigation systems as well as their possible alternatives among available electronic navigation systems have been explored. Firstly, hyperbolic and inertial systems are already available. Secondly, close range navigation systems such as laser and hydro-acoustic systems, can become alternatives. An alternative can also be the use of the wireless telephony networks (GSM, CDMA, UMTS etc.) for obtaining the ship's position, possibly in cost navigation.

Key words: Satellite systems, hyperbolic systems, inertial navigation systems, close range systems, GSM network.

UVOD / Introduction

Od elektroničkih sustava pozicioniranja u pomorskoj navigaciji danas je neusporedivo najzastupljeniji satelitski sustav GPS (*Global Positioning System*). Osnovni je razlog njegova zadovoljavajuća točnost, globalna pokrivenost, jednostavnost uporabe i dostupnost na tržištu. Isto se može utvrditi i za ostale satelitske sustave, s tim da ruski GLONASS nije dostatno komercijaliziran, a europski sustav GALILEO još uvijek nije dovršen. Međutim, satelitski sustavi imaju i određenih nedostataka. Oni su, prije svega, vojni sustavi, što znači da ih zemlje vlasnice mogu po potrebi isključiti ili namjerno ometati (iznimka će biti budući sustav GALILEO). Uz navedene nedostatke, a koji bi se mogli svrstati u skupinu izazvanih političkim, to jest namjernim djelovanjem, postoje i pogreške uzrokovane izvedbom uređaja, načinom širenja elektromagnetskih valova, zbog potrebe sinkronizacije sustava, čovječe pogreške, itd. Preveliko oslanjanje ostalih elektroničkih sustava (npr. AIS, ECDIS, GMDSS) i ostalih navigacijskih uređaja na GPS (kao i na njegovo poboljšanje kroz DGPS) ne možemo smatrati potpuno prihvatljivom praksom [8, 297].

Radi što veće pouzdanosti i točnosti, bez obzira na obalnu ili oceansku plovidbu, današnji način elektroničkog pozicioniranja na moru mora biti poboljšani. To znači da se sustavi satelitske navigacije moraju dopunjavati zemaljskim elektroničkim sustavima pozicioniranja (navigacijski terestrički sustavi). Korištenjem dodatnih referentnim GPS prijamnikom na Zemlji omogućeno je odašiljanje korekcije u smislu ispravljanje pogreške i podizanja točnosti GPS-a, a to je tzv. diferencijski GPS (DGPS). Za potrebe pozicioniranja najbliža alternativa satelitskim sustavima je hiperbolni sustav LORAN-C. Već postoji sustav u kojemu su LORAN-C i GPS sjedinjeni ili se međusobno dopunjuju. Potom slijede inercijski sustavi. Međutim, alternativa mogu biti i sustavi malog dometa, poput laserskih i hidroakustičkih. Kao mogući potencijal u razvoju zemaljskih sustava pozicioniranja možemo smatrati i mobilnu telefoniju, pogotovo u priobalnom području. Trenutno u Europi dominira GSM (*Global System for Mobile Communications*), s tzv. 2G i 2,5 G generacijama. U smislu UMTS-a (*Universal Mobile Telecommunications System*) razvijaju se nove generacije (3G) mreža, naslonjene na sasvim drukčiju prijenosnu koncepciju, bližu američkim mrežama (CDMA). Činjenica je da sve spomenute mreže predviđaju uslugu pozicioniranja - LCS (*Location Service*). To znači da bi mobilne telefonske mreže (ili njihove buduće nadogradnje) znatno pomogle u određivanju pozicije u obalnoj navigaciji.

Ovaj rad obrađuje raspoložive sustave elektroničke navigacije na brodovima trgovačke mornarice; prije svega one koji su danas najviše u uporabi, ali također i one alternativne. Istražuju se elektronički sustavi koji mogu zamijeniti ili dopuniti satelitske sustave pozicioniranja, tj. GPS.

SUSTAVI SATELITSKE NAVIGACIJE / *Satellite Navigation Systems*

Sustavima satelitske navigacije drže se oni koji se za određivanje pozicije koriste umjetnim satelitima postavljenima u Zemljinu orbitu. Signal (elektromagnetski val), uz pomoć kojega se određuje pozicija, upućuje se sa satelita, a na osnovi njega i ostalih podataka prijamnik računa vlastitu poziciju. Poznavajući točno vrijeme predaje i prijama prijamnik računa razliku vremena, to jest udaljenosti od satelita. Uz poznavanje karakteristika elektromagnetskog vala, utjecaja atmosfere i koordinata satelitske putanje (efemeride) prijamnik može proračunati svoju poziciju s velikom točnošću (oko 10 m). Za to mu je potrebna vidljivost najmanje tri satelita. Danas je najpoznatiji satelitski sustav za određivanje pozicije američki GPS, ali postoji i ruski GLONASS, dok Europa razvija GALILEO.

GPS / GPS

Ideja o korištenju satelitima za određivanje brodske pozicije pojavila se odmah nakon lansiranja prvih umjetnih satelita. Prvi službeni program koji je za cilj imao postavljati satelite za potrebe globalnog pozicioniranja, pokrenula je 1964. godine američka vojska (*Navy Navigation Satellite System - NAVSAT*) [11, 136]. Iste godine počinje s radom sustav Transit, prvi satelitski navigacijski sustav, i ostaje u uporabi sve do 1996. godine. Dopuštenje za uporabu u civilne svrhe izdano je 1967. godine. Pozicioniranje ovog sustava temelji se na određivanju udaljenosti do satelita, na principu promjene frekvencije odašlanog signala zbog Dopplerova efekta. Sateliti Transit-sustava nalazili su se u niskim polarnim orbitama, na visini od 1.000 km, s vremenom ophodnje od 1 sata i 47 minuta, kako bi Dopplerova promjena frekvencije bila što veća. Da bi se uklonio utjecaj atmosfere (ionsfersko kašnjenje signala) koristilo se dvjema frekvencijama od 150 i 400 MHz. Zbog ograničenog broja satelita i specifične konstelacije, njihovu dostupnost nije bila velika, i trebalo se čekati na njihovu pojavu iznad obzora u prosjeku oko 30 minuta, ovisno o zemljopisnoj širini opažača, to jest prijarnika Transit-sustava. Nakon pojavljivanja, sateliti bi bili dostupni oko 16 minuta, a za procesiranje signala bilo je potrebno 10 do 15 minuta [7, 192-193].

Ubrzo nakon uvođenja prvoga satelitskog navigacijskog sustava počinju istraživanja i pojavljuju se konkretni programi radi poboljšanja postojećeg sustava i razvoja novih, a za potrebe Ratne mornarice i Ratnog zrakoplovstva SAD-a. Sredinom 70 - tih prošlog stoljeća nastaje koncept NAVSTAR GPS (*Navigation Satellite Timing and Ranging - Global Positioning System*). Taj sustav temelji se na određivanju udaljenosti od satelita tako da se mjeri vrijeme potrebno da signal stigne od satelita do prijarnika. U navigacijskoj poruci emitiraju se dodatni podaci, npr. o

putanjama satelita (efemeride), točnom vremenu. Brzina kretanja signala također je poznata - to je brzina svjetlosti. Iz razlike vremena predaje i prijama signala, te poznate brzine signala prijamnik računa udaljenost. Do pozicije se dolazi određivanjem udaljenosti od više satelita - minimalno tri za dvodimenzionalni (2D fix), ili četiri za trodimenzionalni položaj (zemljopisna širina, zemljopisna dužina i visina), što nazivamo 3D fix. Ona se pretvara u koordinate, a najčešće korišten model oblika Zemljine površine je WGS-84 (*World Geodetic System Reference 1984*) elipsoid. GPS prijarnici često imaju i ugrađene algoritme za preračunavanje iz WGS-84 koordinata u koordinate drugih, lokalnih sustava u kojima su izrađivani zemljovid. WGS-84 elipsoid matematički jednostavno opisan ne razlikuje se od geoida za više od 100 m.

Prva skupina satelita, za testiranje i s limitiranom pokrivenošću, lansirana je vremenu u od 1978. do 1985. godine. Potpuno operativan, za vojne svrhe postaje 1995. godine. Druga skupina satelita, temelj današnjem GPS sustavu, lansirana je u razdoblju od 1989. do 1997. godine [4, 4].

GPS (*Global Positioning System*) je globalni sustav za vrlo točno i stalno određivanje pozicije, u vlasništvu i pod nadzorom Ministarstva obrane SAD-a. GPS sustav sastoji se od tri dijela: svemirski, nadzorni i korisnički.

Svemirski dio čine 24 satelita raspoređena u 6 orbitalnih ravnina kojima je nagib prema ekvatoru (inklinacija) 55°. Sateliti su postavljeni na visini od 20.183 km, a vrijeme obilaska Zemlje je 11 sati i 58 minuta. Takav razmještaj satelita omogućuje da se s bilo koje točke na Zemlji i u bilo koje vrijeme vide najmanje četiri satelita s povoljnom elevacijom [11, 145].

Rad GPS sustava nadzire se uz pomoć odgovarajućih nadzornih postaja, a čine ih: glavna postaja (nalazi se u SAD-u) i mjerne i zemaljske nadzorne postaje (raspoređene po cijeloj Zemlji). Glavna postaja koordinira rad cijelog sustava, skuplja i analizira podatke, određuje efemeride satelita, korekciju vremena i parametre sustava te ih preko zemaljskih nadzornih postaja prosljeđuje satelitima. Mjerne postaje služe za mjerenje udaljenosti (pseudoudaljenosti¹) do svih satelita na obzoru radi utvrđivanja pogrešaka, te dobivene podatke prosljeđuje glavnoj postaji [7, 193-194] radi povećanja točnosti sustava.

Korisnički dio GPS sustava čine svi korisnici, to jest oni koji imaju prijarnike GPS sustava i s kojih čitaju pozicije (brodovi, zrakoplovi, automobili itd.). Korisnici se općenito mogu podijeliti na autorizirane (američka vojska)

i neautorizirane (civilni korisnici). Za civilne svrhe namijenjeno je tzv. pozicioniranje sa standardnom razinom točnosti (SPS - *Standard Positioning Service*), a temelji se na mjerenju preko jedne radne frekvencije (L1=1575,42 MHz). Točnost SPS pozicioniranja je u 95% vremena bolja od 36 m u horizontalnom i 77 m u vertikalnom smjeru. Američka Ministarstvo obrane može namjerno (dodatno) smanjiti točnost, tzv. selektivnom dostupnošću (SA - *Selective Availability*); tada točnost pozicioniranja u 95% vremena treba biti bolja od 100 m u horizontalnom i 156 m u vertikalnom smjeru [7, 194]. Selektivna dostupnost isključena je uredbom Predsjednika SAD-a 2000. godine [4, 4]. Pozicioniranje s višom razinom točnosti (PPS - *Precise Positioning Service*) namijenjeno je autoriziranim korisnicima i temelji se na mjerenjima preko dvije radne frekvencije (L1=1575,42 MHz i L2=1227,60 MHz). Točnost PPS pozicioniranja je u 95% vremena bolja od 22 m u horizontalnom i 28 m u vertikalnom smjeru. Međutim, za to je pozicioniranje potrebno imati posebne prijarnike i kodove za dekriptiranje. Frekvencija L2 služi za kompenzaciju utjecaja ionosferskog kašnjenja, ali za civilne korisnike nije dostupna. Ministarstvo obrane SAD-a najavilo je da će i ona biti svima dostupna (civilna verzija L2) oko 2011. godine, kao i frekvencija L5 za još bolju točnost (potpuno dostupna oko 2015. godine). S L5 očekuje se dobivanje pozicije s pogreškom od 1 do 5 m [4, 139].

GLONASS / GLONASS

GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) je ruski globalni satelitski sustav pozicioniranja. Njegove značajke, mogućnosti i princip rada velikim su dijelom slični GPS sustavu. Prvi satelit ovog sustava lansiran je 1982. godine [7, 197], a do kraja 2003. godine u orbiti ih je bilo 13 - od toga aktivnih 8. Kad bude dovršen, trebao bi se sastojati od 24 satelita u tri orbitalne ravnine, u svakoj po osam, i na visini od 19.100 km. Orbitalna inklinacija satelita je 64,8°, iz čega se može zaključiti da je GLONASS sustav pogodniji za veće zemljopisne širine [11, 151]. Za GLONASS sustav važna je napomena da se koordinate pozicije ne dobivaju u WGS-84 sustavu (*World Geodetic System*), na kojemu se temelji GPS i većina karata, pa je sukladno tomu potrebno uzeti u obzir korekcije. GLONASS se temelji na sovjetskomu geocentričnom sustavu iz 1985. godine (SGS 85), ili od 1993. godine u novom PZ-90 sustavu koji je sličan WGS-84 [7, 198]. Matematičkim modelima pozicija se može prebacivati iz jednoga sustava u drugi.

GALILEO / GALILEO

Kako bi se prekinula ovisnost o američkom i ruskim satelitskim sustavima, europske zemlje, prije svega Europska unija, pokreću razvoj novoga globalnog satelitskog sustava

¹ Pseudoudaljenost je udaljenost izračunata sukladno razlici vremena predaje i prijama signala, dakle udaljenost koja u sebi sadržava pogreške najvećim dijelom zbog nesinkroniziranosti satova satelita i prijarnika, te utjecaja atmosfere. Te pogreške ispravljaju se, djelomično ili u potpunosti, na temelju podataka iz navigacijske poruke.

pozicioniranja, poznatoga pod nazivom GALILEO. On bi trebao biti neovisan o GPS-u i GLONASS-u, a istovremeno kompatibilan s njima. Nadzor nad sustavom imale bi civilne vlasti. Točnost pozicioniranja trebala bi biti unutar nekoliko metara, znatno točnije od GPS-a i GLONASS-a, dok bi sustav u cjelini bio pouzdaniji i sigurniji od tih postojećih.

GALILEO će se sastojati od 30 satelita (27 radnih i 3 u rezervi) razmještenih u tri orbite na visini 23.616 km i s inklinacijom od 56°. U funkciji bi trebao biti od 2008. godine. GALILEO će pružati sljedeće vrste usluga [11, 156]:

- osnovna usluga (OS - *Open Service*),
- posebna usluga (CS - *Commercial Service*), s ograničenim pristupom,
- javna usluga (PRS - *Public Regulated Service*), ograničena usluga za tijela državne vlasti,
- za potrebe traganja i spašavanja (SoL - *Safety of Life*).

Tablica 1. Značajke GALILEO sustava
Table 1. Characteristics of the Galileo

	OS	CS		PRS		SoL
Pokrivenost	Globalna	Globalna	Lokalna	Globalna	Lokalna	Globalna
Točnost: horizontalna (h) vertikalna (v)	za L1 i L2: h=4 m v=8 m za L1 h=15 m v=35 m	1 m (L1 i L2)	<10 cm (uz lokalne signale za korekciju)	h= 6.5 m v= 12 m	1 m (uz lokalne signale za korekciju)	4-6 m (L1 i L2)
Raspoloživost	99,8%	99,8%		99 do 99,9%		99,8%

Izvor: Admiralty List of Radio Signals Vol 2 (NP 282)-2005/06, UKHO, 2005, str. 156.

Povezivanje satelitskih navigacijskih sustava / Connection of Different Satellite Navigation Systems

Postojeće globalne satelitske navigacijske sustave (GPS i GLONASS) moguće je međusobno povezati u jedan sustav koji će na najbolji mogući način iskoristiti prednosti jednoga i drugog sustava. Načelno, radi se o prijamniku koji može istovremeno primati, obrađivati i međusobno uspoređivati GPS i GLONASS signal. Oba sustava rade na dvije radne frekvencije (L1 i L2), a s obzirom na klasu korisnika brodskog prijamnika pozicioniranje se obavlja s pomoću jedne ili obje frekvencije. Prednosti takva povezivanja mogu se očitovati u povećanju broja dostupnih satelita, povećanju točnosti, bržem vremenu određivanja pozicije, većoj pouzdanosti itd.

ZEMALJSKI ELEKTRONIČKI SUSTAVI POZICIONIRANJA / Electronic Navigation System Based On Earth Surface Wave Propagation

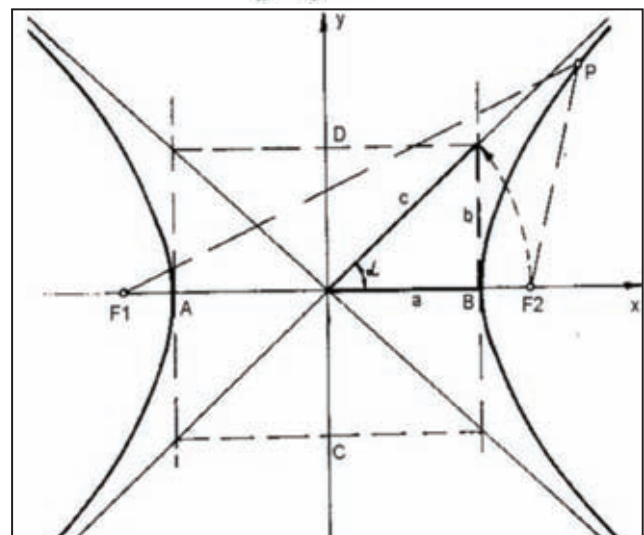
Zemaljski elektronički sustavi pozicioniranja su oni koji se za formiranje stajnica, to jest za određivanje pozicije, koriste rasprostiranjem elektromagnetskih valova uz Zemljinu površinu, dakle ne koriste se satelitima ni rasprostiranjem valova svemirom. Od tih sustava najpoznatiji su hiperbolni navigacijski sustavi. Ostali važniji sustavi su: radarski, laserski, inercijski, goniometarski i hidroakustički sustavi.

Hiperbolni i kružni navigacijski sustavi / Hyperbolic And Circular Navigation Systems

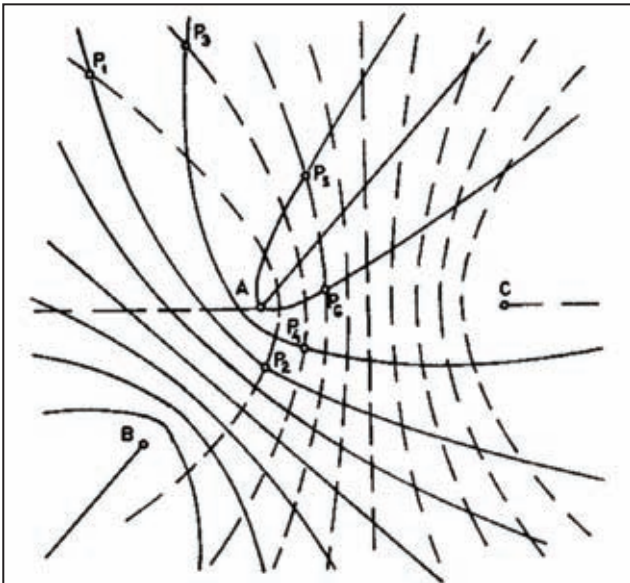
Hiperbolni navigacijski sustavi u određivanju brodske pozicije koriste se hiperbolom kao stajnicom. Hiperbola (slika 1. a) je geometrijsko mjesto točaka u ravnini koje imaju jednaku razliku udaljenosti između dva žarišta (fokusa). Bolje rečeno, karakteristika neke točke na hiperboli (npr. brodski položaj) je razlika udaljenosti

od dvaju žarišta, a to je, zapravo, konstanta. Definicija hiperbole je po sljedećoj jednadžbi:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$



Slika 1. a) Hiperbola
Figure 1. a) Hiperbole



Slika 1. b) Hiperbolni lanac
Figure 1. b) Hyperbolic chain

Izvor: Benković, F. i ostali, *Terestrička i elektronska navigacija*, Split, 1986., str. 687, 692.

Da bi se u praksi dobila hiperbola kao stajnica, potrebno je imati dvije radiopostaje koje emitiraju signale i prijamnik koji mjeri razliku vremena dolaska signala do mjesta mjerenja. Dobivena razlika vremena prijama signala pretvara se u razliku udaljenosti (s obzirom na to da je brzina signala poznata, to jest jednaka je brzini svjetlosti).

To znači da se na brodu mjeri razlika udaljenosti od glavne (*master*) i od pomoćne (*slave*) radiopostaje. Njihovo emitiranje mora biti sinkronizirano na pravilan način da bi time bila otklonjena dvoznačnost mjerenja, jer je hiperbola simetrična funkcija, to jest ima dvije grane. Zapravo, pomoćna postaja mora kasniti s emisijom za glavnom uz određen vremenski pomak. Jedino se u tom slučaju može otkloniti dvoznačnost. Bitno je to što prijamna postaja ne treba biti s njima u sinkronizaciji, dakle je izbjegnuta vremenska sinkronizacija predajnika i prijamnika. U suprotnomu bi to znatno zakompliciralo i poskupilo sustav pozicioniranja.

$$\Delta d = d_1 - d_2 = (t - t_1) \cdot c - (t - t_2) \cdot c$$

Kako je već rečeno, određenoj razlici udaljenosti od radiopostaja pripada neka hiperbola, to jest samo ona grana hiperbole bliža predajnoj postaji od koje je signal prije primljen. Da se dobije pozicija, potrebno je imati minimalno dvije hiperbole (od dva para postaja) koje se sijeku pod povoljnim kutom, što čini poziciju (*fix*). U praksi se to izvodi s jednom glavnom i dvije ili više pomoćnih postaja, što tvori tzv. lanac. Postaje lanca raspoređene su tako da omogućuju pozicioniranje uz pomoć samo tog lanca, što ne znači da se, po potrebi, ne može koristiti postajama drugih lanaca

istog sustava. Slika 1. b) prikazuje jedan lanac i moguće pozicije broda. S obzirom na to da dvije hiperbole mogu imati dva presjecišta (P1 i P2, P3 i P4), to u praksi najčešće ne stvara problem jer su dobivene pozicije međusobno na većim udaljenostima, to jest uzima se ona koja je bliža zbrojenoj poziciji (*dead reckoning*), koja se na brodu u pravilu kontinuirano vodi. Ako ipak dođe do nedoumica (P5 i P6), problem se može riješiti usporedbom promjene položaja stajnica s promjenom brodskog kursa [1, 686-692].

Hiperbolni navigacijski sustavi s obzirom na način rada mogu biti:

- impulsni, mjere razliku vremena prijama dvaju impulsa (npr. Loran A),
- fazni, mjere razliku u fazi prijama signala (npr. Decca, Omega),
- azimutalni, mjere smjer na radiopredajnik (npr. Consol),
- frekvencijski, mjere razliku u frekvenciji primljenih signala (npr. Transit),
- kombinirani, najčešće impulsno-fazni (npr. Loran C).

Hiperbolni navigacijski sustavi razvijeni su nakon Drugoga svjetskog rata i sve do razvoja satelitskih sustava pozicioniranja bili su gotovo jedina alternativa klasičnim metodama astronomske i terestričke navigacije. Od sustava koji su najviše bili zastupljeni u pomorskoj navigaciji (Consol, Loran A, Loran C, Decca, Omega) danas se zadržao jedino Loran C [7, 190].

Posebna su vrsta kružni navigacijski sustavi. Oni rade na principu poznavanja apsolutnog vremena predaje i prijama signala, na temelju čega se određuje udaljenost. Dakle, potrebna je potpuna vremenska sinkronizacija predajnih i prijamnih postaja, što je vrlo zahtjevno i skupo. Slično ovom načelu radi i satelitski sustav GPS. Znači, postoje i zemaljski kružni navigacijski sustavi, ali su oni malog dometa i nemaju veće značenje u određivanju pozicije broda na moru. Rabe ih prije svega znanstvenoistraživačke i slične institucije za potrebe vrlo točnog pozicioniranja. Njihova je uporaba sve rjeđa s obzirom na to da ostali sustavi pozicioniranja postaju sve točnije.

Azimutalni radiosustav / Angle of Arrival Radio System

Azimutalni radiosustav načelno je onaj sustav kojim se može odrediti smjer izvora radio-signala, to jest smjer dolazećega elektromagnetskog vala. Za to je potrebno imati radiofar (posebna vrsta radioodašiljača) i radiogoniometar, uređaj koji može odrediti smjer radiovalova emitiranih od nekog radiofara ili bilo kojega radioodašiljača, pod uvjetom da rade na istoj radnoj frekvenciji [3, 51].

a) Radiofar / *Radiobeacon*

Radiofar je posebna vrsta radiopostaje koja u pravilnim vremenskim razmacima odašilje radiosignale za potrebe smjeranja ili pozicioniranja. Rabi se u pomorskoj i zračnoj navigaciji, a može biti: kružni, usmjereni, rotirajući, zvučni ili za potrebe pozicioniranja na zahtjev - QTG [1, 603]. Da bi se odredio smjer, potrebno je imati radiogoniometar koji se može namjestiti na frekvenciju radiofara.

- Kružni radiofar (RBn - *Radio-beacon ili RC Circular radio-beacon*) u točno određenim vremenskim intervalima odašilje radiosignale s kružnom karakteristikom i istom jakošću u svim smjerovima.
- Usmjereni radiofar (RD - *Directional radio-beacon*) odašilje usmjerene radiosignale u jednom ili više smjerova, ili sektora (raspon kuta u stupnjevim). Prijamom signala utvrđuje se je li brod u pravom smjeru (azimutu), ili sektoru.
- Rotirajući radiofar (RW - *Rotating radio-beacon*) također je usmjeren radiofar koji s pomoću rotirajuće antene emitira vrlo uzak snop zračenja. To omogućuje određivanje smjera preko običnog radioprijamnika, pod uvjetom da se može namjestiti na frekvenciju radiofara.
- Zvučni radiofar je usmjeren radiofar sinkroniziran s izvorom zvučnog signala.
- QTG služba podrazumijeva emitiranje signala za potrebe određivanja stajnice radiogoniometrom, na zahtjev korisnika usluge. Uz tu službu postoje još i radiogoniometarske postaje koje određuju brodsku poziciju, a potom je dostavljaju samom brodu, tzv. QTF služba. Ako se brodu predaju samo radioazimuti, tad se radi o QTE službi. Za korištenje usluga QTF i QTE nije potrebno na brodu imati radiogoniometar.

b) Radiogoniometar / *Radio direction finder*

Radiogoniometar (RDF - *Radio direction finder*) omogućuje određivanje smjera iz kojega dolaze radiovalovi. Brodski i obalni radiogoniometri, dakle oni kojima se koristi u pomorskoj navigaciji, rade u frekvencijskom opsegu od 175 do 3800 kHz, ali isključuju pojas radiodifuzije od 525 do 1605 kHz [3, 52]. Domet može varirati ovisno o snazi predajnika, osjetljivosti prijamnika, uvjetima rasprostiranja kroz atmosferu itd. U povoljnim uvjetima za emitiranje snagom od 10 kW domet je oko 500 M (nautičkih milja) [11, 2], a točnost je azimuta od 2° do 3° za udaljenost do 150 M [2, 162]. Uporaba radiogoniometra relativno je jednostavna; dostatno je odabrati povoljan radiofar ili odašiljač radiosignala, ugoditi frekvenciju (podaci u nautičkim publikacijama) i nakon prijama signala očitati azimut. Međutim, radioazimut koji se očitava podložan je dosta velikim pogreškama koje uzrokuje više čimbenika [3, 55-56]:

- nedostatna osjetljivost prijamnika, posebno antenskog dijela,
- obalna refrakcija, to jest skretanje elektromagnetskih valova s pravocrtnog puta zbog različite električne provodnosti površina iznad kojih prolazi (kopno-more-kopno),
- noćni efekt, koji se pojavljuje jedan sat prije zalaska Sunca do jedan sat poslije izlaska, zbog toga što se uz površinski val javlja i prostorni val; pogreška može ići i do +/- 90°, međutim u praksi rijetko prelazi 10°; veće pogreške nastaju na udaljenostima većima od 150M, to jest kad se prima samo prostorni val [1, 615],
- radiodevijacija, djelovanje sekundarne emisije elektromagnetskih valova, a koje uzrokuju pojedini brodski dijelovi kad elektromagnetski val prolazi preko njih,
- polukonvergencija meridijana, zbog toga što se mjeri ortodromski azimut (najkraći put od antene radiofara do antene radiogoniometra), a da bi se ucrtao na Mercatorovu kartu, potrebno ga je pretvoriti u loksodromski azimut,
- povećanje pogreške, to jest veći pomak stajnice kako se udaljava od predajnika,
- ostale pogreške (pogreške uređaja, utjecaj atmosfere, pogreške očitavanja, itd.).

Određivanjem minimalno dva radioazimuta (ispravljena za vrijednost devijacije radiogoniometra koja se svakodnevno kontrolira i polukonvergencije meridijana) dolazi se do presjecišta dvaju pravaca, dakle do brodske pozicije. Preporuka je da se uvijek, ako se može, određuju minimalno tri stajnice. Zbog izrazito velike pogreške u određivanju pozicije u odnosu prema satelitskim i hiperbolnim sustavima, više se ne rabe na trgovačkim brodovima. Upotrebljavaju se u VTS sustavima (*Vessel/Traffic System*) za nadzor pomorskog pometa, a samo kao pomoćno sredstvo za određivanje položaja plovila.

Inercijski sustavi pozicioniranja / *Inertial Navigation Systems*

Inercijska navigacija oslanja se samo na interne brodske senzore s pomoću kojih se ispravljaju elemente zbrojene pozicije (*dead reckoning*). U takvoj navigaciji nema nikakva opažanja vanjskih objekata (vizualnoga, zvučnog, elektroničkog ili nekoga drugog), kao što su objekti na obali (terestrička navigacija), nebeska tijela (astronomska navigacija), izvori elektromagnetskih valova i slično.

Ako brod iz poznate pozicije krene u nekom kursu konstantnom brzinom, nakon nekog vremena pozicija se uvijek može procijeniti tako da se na kurs (početna pozicija) nanese prijedeni put koji je jednak umnošku brzine i pripadajuće razlike vremena. To je temelj navigaciji

zbrojenom pozicijom. Zbrojena pozicija nije nikada točna jer na brod uvijek djeluju vanjske sile (struja, vjetar, valovi itd.), ali i one uzrokovane od samoga broda (neodređen izboj broskog vijka, netočno kormilarenje itd.), koje ga često ubrzavaju ili usporavaju, zanose lijevo ili desno. Kad brod mijenja brzinu ili kurs, uvijek se pojavljuje određena akceleracija i ona postoji sve dok ne prestane takva promjena brzine plovidbe. Tako, kad brod smanjuje ili povećava brzinu pojavljuje se akceleracija u smjeru plovidbe broda (usporavanje ili ubrzavanje) i traje sve dok se brzina ne ustali. Ako se na brod postave senzori koji mogu bilježiti takva odstupanja od početnih parametara, moguće je ispraviti zbrojenu poziciju za određen iznos. U tu svrhu služe akcelerometri koji upravo bilježe ubrzanja, i ona se potom pretvaraju u korekcije brzine i kursa broda, to jest s pomoću njih se ispravlja zbrojena pozicija broda.

Za potrebe određivanja brodske pozicije dostatna su dva akcelerometra, jedan koji mjeri akceleraciju u smjeru meridijana, a drugi okomito na njega (u smjeru paralele). Cijeli sustav mora biti stabiliziran, prema meridijanu i prema horizontalnoj ravnini, a to se postiže sustavom žiroskopa (tri). Točnost je pokazivanja uređaja od ± 1 do $\pm 3\%$ prevaljenog puta [3, 41]. Ta pogreška nije zanemariva i inercijski sustavi navigacije moraju se dopunjavati nekim drugim načinom pozicioniranja, iako suvremene izvedbe inercijskih uređaja namjenjenih prije svega vojnoj uporabi mogu postići znatno veću točnost.

Inercijski sustavi navigacije ne mogu biti primarni izvor za brodsku poziciju, što proizlazi iz samog načina rada. Međutim, njihov je velik doprinos u povećanju pouzdanosti u okviru nekoga drugog načina pozicioniranja. Upravo u sprezi s ostalim načinima pozicioniranja, inercijski sustavi navigacije opravdavaju svoju uporabu.

Sustavi inercijske navigacije zasad se rabe pretežno na vojnim brodovima. U civilnoj primjeni mogu se susresti u sustavu dinamičkog pozicioniranja kao dopuna ostalim načinima, te u zračnoj navigaciji kao dopuna satelitskim sustavima pozicioniranja.

Sustavi pozicioniranja na ograničenom dometu / *Close Range Navigation Systems*

Sustavi pozicioniranja na ograničenom dometu, najčešće do granica optičke vidljivosti, redovito su vrlo točni sustavi i služe za vojne ili specijalne svrhe (hidrografske premjere, polaganje kabela i cjevovoda, gradnja objekata, nadzor plovidbe i sl.). Najčešće su to kružni, hiperbolni sustavi ili njihove kombinacije. Sustavi dinamičkog pozicioniranja oslanjaju se upravo na takve sustave. Neki od tih sustava mogli bi naći i širu uporabu, kao dopuna postojećim glavnim sustavima pozicioniranja brodova. U tom smislu izdvajamo sljedeće sustave: laserske, radarske i hidroakustične.

a) Laserski sustavi / *Laser systems*

Lasere u navigaciji upotrebljava za određivanje udaljenosti. Laserskim sustavima usmjeravanja i pozicioniranja također se koristi pri dinamičkom pozicioniranju. Na temelju poznavanja točne pozicije referentnog objekta, a koji je opremljen odgovarajućim primopredajnikom (laserski snop koji rotira i reflektor), može se vrlo točno određivati pozicija nekog objekta (pogreška relativnog azimuta manja od $0,02^\circ$, a pogreška udaljenosti gotovo zanemariva). Teoretski bi sustav mogao raditi na dometu do otprilike 30 km [12]. Za širu uporabu u obalnoj navigaciji nije pogodan. Da se odredi udaljenost od objekta poznate pozicije s pomoću lasera, potreban je odgovarajući reflektor da bi se signal vratio na mjesto predaje, što mobilni objekti rijetko imaju. Drugo je rješenje vremenska sinkronizacija cijelog sustava, što je vrlo složeno, a uz to zahtijeva minimalno dva referentna objekta za dobivanje pozicije. Izglednija metoda je kad pozicija broda nastaje smjeranjem dvaju objekata, tzv. "laserskih svjetionika", kojima je pozicija poznata. Uvjet je da laserski svjetionik emitira laserski snop za različite kutove, redom od 0 do 360° . Na snopu mogu biti namodulirani podaci, npr. njegova pozicija i obilježja laserskog snopa. Time bi se mogle odrediti dvije stajnice (pravci) i njihovo presjecište (*fix*).

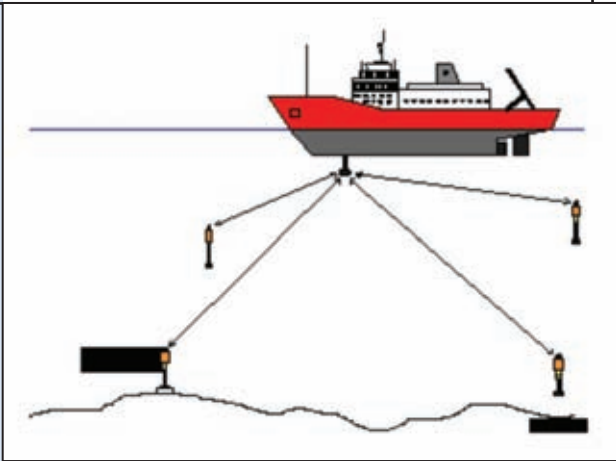
b) Radarski sustavi / *Radar navigation systems*

Radari kojima se koristi na klasičnim trgovačkim brodovima omogućuju određivanje udaljenosti i azimuta (pravog i relativnog) od fiksnih ili plutajućih objekata. Određivanje pozicije mjerenjem udaljenosti i azimuta (pramčanih kutova) od referentnih objekata ubraja se u klasične metode terestričke navigacije. Međutim, postoje i takvi radari koji u sprezi s referentnom fiksnom postajom kojoj je pozicija poznata, mogu odrediti apsolutnu poziciju broda. Jedan od takvih sustava je i "Artemis", kojim se koristi u dinamičkom pozicioniranju. Sustav je vrlo točan (pogreška je mjerenja udaljenosti $\pm 1,5$ m, a pogreška azimuta $\pm 0,033^\circ$) [12]. Radarski princip u sustavim pozicioniranja poprilično je raširen, ali im je uporaba ograničena na brodove specijalnih namjena i na ratne brodove. Posebno mjesto tu zauzimaju laserski radari; oni su u stanju dati gotovo fotografski prikaz morskog područja koje se pretražuje (*scanning*).

c) Hidroakustični sustavi / *Hydro-acoustic systems*

Hidroakustičnim sustavima može odrediti pozicija broda mjerenjem udaljenosti i smjera od referentnih odgovarača postavljenih na morsko dno. Različite su izvedbe uređaja na ovom principu, a načelno se rabe u sustavima dinamičkog pozicioniranja.

POMORSKA NAVIGACIJA



Slika 2. Hidroakustični sustav pozicioniranja
Figure 2. Hydro-acoustic position system

Izvor: Kongsberg Maritime-SDP Basic Operator Course - CD version

POVEZIVANJE SATELITSKIH I ZEMALJSKIH SUSTAVA POZICIONIRANJA / Connection of the Satellite Navigation Systems and the Navigation Systems Based on the Earth Surface Radio Waves Propagation

Od postojećih sustava koji kombiniraju rad satelitskih i zemaljskih sustava najpoznatiji su diferencijski sustavi, kombinacija satelitskih i hiperbolnih sustava te kombinacija satelitskih i inercijskih. Također, vrlo važno mjesto zauzimaju i dinamički sustavi pozicioniranja u koje su uključeni satelitski, diferencijski, ali i ostali sustavi malog dometa, poput radarskih, laserskih, hidroakustičnih itd.

Diferencijski GPS / Differential GPS

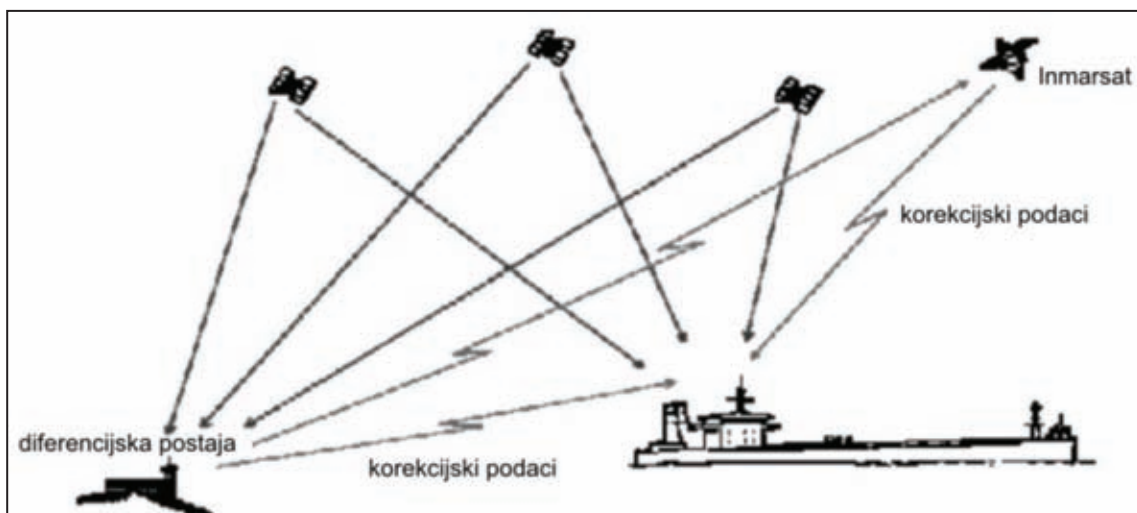
Diferencijskim GPS (DGPS) dadu se ispravljati pogreške GPS-a (najvećim dijelom one koje nastaju zbog utjecaja

atmosfere na širenje elektromagnetskih valova). Referentna postaja na zemlji (diferencijska postaja; vidi sliku 3.) opremljena je specijalnim GPS prijemnikom koji uspoređuje vlastitu (točnu) poziciju s izmjerenu pozicijom i tako utvrđuje pogrešku vlastite GPS pozicije. To je pogreška pseudoudaljenosti prema svakom satelitu vidljivom na tom području. Te će pogreške biti slične i na ostalim lokacijama u blizini, a važna je pretpostavka da prijamnici vide iste GPS satelite. Pogreška tako izmjerene pozicije (pogreška pseudoudaljenosti) dostavlja se DGPS prijemnicima da bi je oni mogli otkloniti. Razlikujemo sustave za lokalno područje pokrivanja (u radijusu do nekoliko stotina km) – LADGPS (*Local Area DGPS*), od onih za široko područje pokrivanja – WADGPS (*Wide Area DGPS*), kao što su sustavi za pokrivanje čitavih kontinenata.

U lokalnom području podaci o pogreškama mogu se dostavljati na različite načine, što ovisi o sustavu koji je izgrađen (npr. u određenim lukama, morskim prolazima i sl.). Najčešće se to radi radiovezom, npr. radiofarovima (do 200 M dometa), VHF/UHF-om (do otprilike 50 M) i hiperbolnim sustavom Loran-C.

Treba reći da se pogreška nikad ne dadu u potpunosti otkloniti jer položaj satelita prema diferencijskoj i brodskoj (mobilnoj) postaji nije nikad isti; što se prijemnik više odmiče, pogreška je veća. Korisnici unutar 100 M od diferencijske postaje mogu očekivati pogrešku ne veću od 1 do 3 m. Za daljnjih 100 M pogreška se povećava za 1 m [2, 171]. U najlošijem slučaju pogreška DGPS pozicije ne bi trebala biti veća od 10 m u 95% vremena.

Danas je neusporedivo najrašireniji standard za DGPS (format prenošenih korekcija) RTCM SC-104 (*Radio Technical Commission for Maritime Services, Special Committee-104*), koji je prvenstveno namijenjen uporabi u stvarnom vremenu i pokriva širok spektar različitih vrsta DGPS mjerenja.



Slika 3. Diferencijski GPS
Figure 3. Differential GPS

U WADGPS-u emitiranje korekcijskih podataka ostvaruje se preko satelita ili Internetom. Točnost pozicije GPS ili GLONASS sustava može se dodatno povećati prije spomenutim načinom, a korekcijski se podaci GPS/GLONASS prijateljima dostavljaju preko geostacionarnih satelita. To nazivamo SBAS sustavom (*Satellite Based Augmentation System*). Sustav se sastoji od mreže diferencijskih postaja koje obavljaju stalna mjerenja i potom ih razlažu na komponente pogrešaka za svaki GPS satelit. Sateliti (npr. Inmarsat) emitiraju korekcijske podatke na široko područje uz ključnu pretpostavku da prijatelji na različitim lokacijama ne vide iste GPS satelite. To je i glavni razlog što je točnost nešto lošija od LADGPS sustava.

U različitim fazama razvoja tri su glavne komponente SBAS sustava [11, 155-156]:

- EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) pokriva područje Europe s tri geostacionarna satelita za prijatelje GPS-a i GLONASS-a. Omogućuje dobivanje pozicije točnosti unutar 5 m.
- WAAS (*American Wide Area Augmentation System*) pokriva područje SAD-a, s dva geostacionarna satelita. GPS prijatelji na američkom tržištu već imaju opcije za uključivanje ove usluge. Točnost pozicije nešto je manja od diferencijskog GPS-a, ali također nije veća od 5 m.
- MSAS (*Japanese Multi-functional Transport Satellite*) pokriva azijsko pacifičko područje i omogućuje dobivanje pozicije unutar 5 m.

EUROFIX / EUROFIX

EUROFIX je integrirani radionavigacijski i komunikacijski sustav koji kombinira Loran-C i DGPS. Bolje rečeno, Loran-C sustav je nadograđen kako bi emitirao DGPS i DGLONASS podatke. EUROFIX prijatelj se spaja na GPS/GLONASS prijatelj, dekodira signal diferencijske korekcije i time povećava točnost pozicioniranja.

Sustav je namijenjen za pokrivanje područja Europe, i to unutar dometa Loran-C postaja, to jest do 1000 M. U slučaju kvara jednog sustava taj drugi preuzima funkciju pozicioniranja, dakle se kao izvor pozicije može rabiti ili GPS ili Loran-C. U ovom sustavu Loran-C ostaje potpuno neovisan u smislu pozicioniranja. Izostankom satelitske navigacije (ispadom satelita ili npr. u tunelu) dolazi do izražaja raspoloživost, kontinuitet i integritet Loran-C sustava (vrlo dobra ponovljivost određivanja pozicije). DGPS otklanja pogrešku rasprostiranja koja može biti znatna, ali je za određeno područje stalna.

Kad EUROFIX bude dovršen, na području pokrivanja Loran-C odašiljača točnost bi trebala biti unutar 5 m [11, 170], ili oko 10 m (95%) u nedostatku satelitskog signala za vrijeme od nekoliko sati [6, 186].

Satelitski i inercijski sustavi / *Satellite and Inertial Systems*

Klasične metode terestričke i astronomske navigacije, kao i većina elektroničkih sustava pozicioniranja, ne mogu omogućiti stalno određivanje pozicije. Iako satelitski sustavi pružaju gotovo neprekidan rad, ipak se pojavljuju nemogućnosti pozicioniranja (očekivani ili izvanredni ispadi). Ako nema mogućnosti određivanja nove pozicije, plovidba se nastavlja na temelju metode zbrojene pozicije. U tim uvjetima pozicija se može dopunjati samo inercijskim sustavima.

Znači, inercijski sustav posebno je pogodan u oceanskoj plovidbi kao dopuna metodama astronomske navigacije ili sustavima satelitske navigacije. U obalnoj navigaciji također može biti od pomoći za premošćivanje kraćih vremenskih intervala između pozicija dobivenih ostalim metodama. Inercijski sustav zasad ima veliku prednost, a to je da ne zahtijeva nikakva ulaganja osim u opremu broda i da na globalnoj razini može povećati učinkovitost satelitskog pozicioniranja. Mjere za poboljšanje sustava satelitskog pozicioniranja u zračnoj navigaciji već su usmjerene prema stvaranju sustava koji ujedinjuju satelitsku i inercijsku navigaciju, i neki su već u uporabi² [9, 248].

UPORABA MREŽE MOBILNE TELEFONIJE U POZICIONIRANJU / *Positioning Using the Mobile Phone Network*

Jedna od alternativa sustavima satelitske navigacije u priobalnoj navigaciji mogli bi biti sustavi javne mobilne telefonije – PLMN (*Public Land Mobile Network*), ili mreže koje se temelje na ćelijskoj koncepciji (*cellular networks*). U takvoj se mreži fiksni odašiljači (primopredajnici) nazivaju bazne postaje – BTS (*Base Transceiver Station*) a mobilni telefoni – MS (*Mobile Station*). Danas je mobilna telefonija u Europi najčešće zastupljena GSM sustavom (*Global System for Mobile Communications*). Ipak, dolaskom novih generacija GSM-a i razvojem u smjeru UMTS-a gotovo će svu opremu na strani BTS-ova trebati mijenjati ili barem znatno nadograđivati. Rijetke su zemlje koje u potpunosti ne pokrivaju svoj teritorij ovim mrežama. U urbanim područjima ćelije su manje (idu u promjeru od najmanjih 500 m pa naviše), to jest potrebna je vrlo gusta mreža BTS-ova. U ruralnim područjima ćelije su znatno rjeđe, a time i veće (većeg dometa). Slično je i s priobaljem, gdje smo limitirani mogućim smještajem BTS-ova (npr. na otocima gdje ih ima) i s maskimalnim dometom od 30 do 35 km.

Razmješteni BTS-ovi mogu se iskoristiti za dobivanje usluge pozicioniranja – LCS (*Location Service*). Sličnost s hiperbolnim navigacijskim sustavima je u tome što bazne postaje (BTS) mogu poslužiti kao izvori signala za određivanje

² GPADIRS - *Global Positioning Air Data Inertial Reference System*, u uporabi za najveće Airbus-letjelice.

pozicije (slično satelitima u GPS-u). U tome bitno razlikujemo kad mreža određuje poziciju mobilnog korisnika (*network-based MS-assisted*) od onoga kad se ta mjerenja i izračun oslanjaju uglavnom na mobilni uređaj (*network-assisted MS-based*). U drugom slučaju veće je jamstvo za privatnost korisnika.

Za pomorstvo je posebno zanimljiv ovaj drugi pristup jer se na moru teže osloniti na mrežu i na velik broj predajnika (BTS-ova). Da se dobije pozicija, potrebno je imati odgovarajući prijamnik (MS) koji je sposoban izračunati svoju poziciju. Za starije sustave ne bi trebala veća nadogradnja na strani BTS, dok je u novijim generacijama GSM-a LCS funkcionalnost već predviđena. Mogućnost takva određivanja pozicije ostala bi u području pokrivanja mobilne mreže, dakle do 30 km.

Mogući načini određivanja stajnice uz pomoć mobilnih mreža (npr. GSM) su:

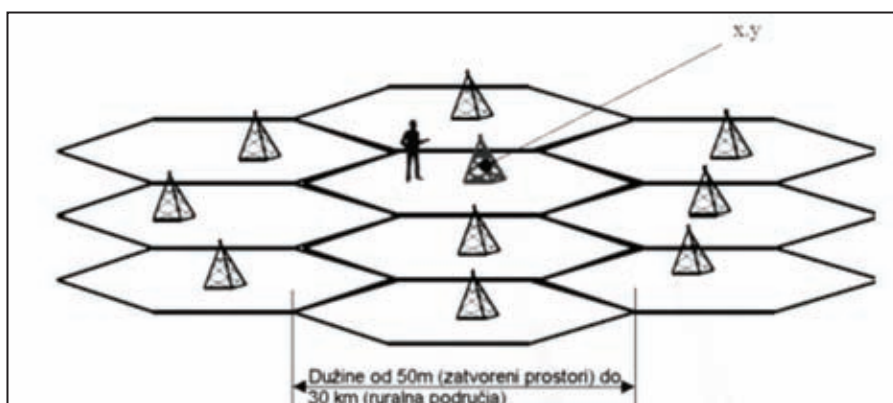
- indentifikacija odašiljača (BTS), to jest ćelije u kojoj se ona nalazi, i dodatnim mjerenjem snage signala na mjestu prijama,
- određivanje kuta pod kojim se nalazi bazna postaja (azimutni način),
- određivanje udaljenosti,
- kombinirani način.

Identifikacija bazne postaje i mjerenje snage signala / *Cell Identification and Signal Strength Measurement*

Pozicioniranje indentifikacijom bazne postaje (BTS) u određenoj ćeliji (Cell ID) i mjerenjem snage signala (*signal strength*) na prijarniku već je djelomično dostupno na

postojećim mobilnim telefonima. Naime, na ekranu mobilnog telefona dostupan je podatak o nazivu bazne postaje s kojom se komunicira, a kako je njezina pozicija poznata, lako se može odrediti krug procjene pozicije. Ovisno o broju instaliranih odašiljača, njihovoj snazi, konfiguraciji terena itd., krug procjene može varirati od 500 m (urbana područja s manjim promjerom ćelija), pa do nekoliko desetaka kilometara (ruralna, kao što je priobalje) [17]. Problem je i mogućnost da bazna postaja s kojom je ostvarena veza ne mora biti nužno i najbliža bazna postaja [5, 243]. Zbog tih nedostataka ova metoda nije za praktičnu uporabu na moru, i može poslužiti kao dopuna ostalim načinima određivanja pozicije.

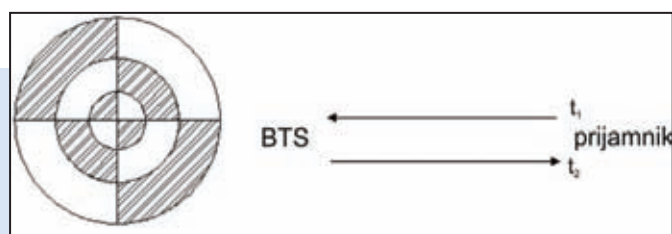
Točnost položaja unutar ćelije daje se povećati postupkom mjerenja snage signala bazne postaje, koji je također dostupan na postojećim prijarnicima. Taj se podatak inače mjeri za potrebe prelaska na BTS bolje čujnosti (*handover*). Međutim, ni taj podatak ne može zadovoljiti potrebe pozicioniranja zbog pogrešaka koje uzrokuju: prijarnici različite osjetljivosti, odašiljači različitih snaga, utjecaj konfiguracija terena, položaj BTS-ova itd. Uz odgovarajuću dodatnu opremu, prije svega softversku podršku, u postojećim mobilnim uređajima točnost pozicioniranja može se nešto poboljšati. Dosadašnji eksperimenti na postojećim GSM mrežama, a koje nisu nadograđivane, pokazali su da pogreška u određenim uvjetima može biti manja od nekoliko stotina metara [14]. Mjerenja su rađena u urbanim područjima gdje je refleksija signala izrazita (velike ravne površine). Ipak, u slabo naseljenim područjima i priobalju broj raspoloživih baznih postaja bio bi neusporedivo manji.



Izvor: www.cs.huji.ac.il

Slika 4. Pozicioniranje indentifikacijom bazne postaje
Figure 4. Cell ID positioning

Slika 5. Pozicioniranje indentifikacijom bazne postaje sektorske) uz mjerenje vremenskog pomaka signala (TA)
Figure 5. Cell ID identification (directional) and timing advance (TA)



S obzirom na postojeću strukturu mreža (uglavnom GSM-a) i njihove instalirane kapacitete, metoda identifikacije baznih postaja i metoda određivanja snage prijemnog signala zasad se ne mogu smatrati pouzdanim metodama. Ta usluga je danas na raspolaganju gotovo svakom korisniku mobilne telefonije. Ipak, njihova točnost nije zadovoljavajuća niti je jednaka u različitim uvjetima. Treba reći da je uz ovu metodu sve više u primjeni i dodatno poboljšanje preko mjerenja *Timing Advance* (TA). TA je vremenska varijabla proporcionalna udaljenosti između bazne postaje i mobilnoga uređaja. To je značajan parametar u GSM mreži i njegovo određivanje služi za bolju sinkronizaciju *burstova*, dakle za bolje namještanje prijamno/predajnog vremenskog odsječka u tijeku razgovora. Time se otklanja problem kašnjenja signala u komunikaciji na veće udaljenosti do BTS, son se može javiti npr. u pokrivanju priobalja gdje su ćelije i najveće.

Instaliranjem većeg broja baznih postaja, standardiziranjem opreme i usavršavanjem prijamnika mogu se postići određena poboljšanja, ali postoje druge metode veće točnosti.

Određivanje kuta dolaznog signala / *Angle of Arrival Measurement*

Uporaba mobilne telefonske mreže za pozicioniranje tako da se određuje smjer (azimut) dolaznog signala emitiran od dviju i više baznih postaja, temelji se na istim principima kao već opisani azimutni, ili goniometarski sustav – AOA (*angle of arrival*).

Da se odredi azimut na izvor signala, bez obzira na to nadograđivao se cijeli GSM sustav ili ne, svakako je potreban poseban uređaj na mjestu prijama signala, to jest vrsta goniometra. Pri određivanju azimuta na baznu postaju cijeli je niz poteškoća koje uzrokuju ugrađene pogreške, ali se ipak može izdvojiti pomak stajnice zbog srednje kvadratne pogreške mjerenja azimuta (veća udaljenost od bazne postaje, veća pogreška stajnice - npr. pogreška azimuta od 1° na 30 M od bazne postaje izaziva pomak stajnice od 3 kabela (desetina nautičke milje). Problem je i odbijanje signala od drugih objekata, pa bi trebalo osigurati optičku vidljivost između predajnika i prijamnika.

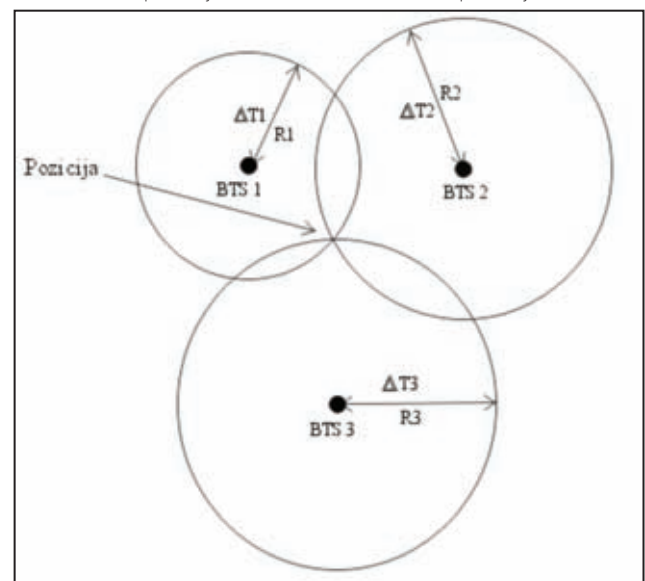
Za ovu metodu potrebno je imati minimalno dvije bazne postaje ili može poslužiti u kombinaciji s drugim metodama kako bi se samo od jedne bazne postaje došlo do pozicije prijamnika. Za postizanje točnosti pozicije od 200 m i bolje od toga potrebno je imati na raspolaganju minimalno tri bazne postaje [16]. Zbog potrebe ugradnje usmjerenih antena (antenskih nizova) mjerenje nije moguće provesti na strani mobilna telefona. Dugoročno se na ovu metodu ozbiljno i ne računa.

Određivanje udaljenosti / *Distance Measurement*

Udaljenost unutar GSM-a načelno se određuje na dva načina: mjereći vrijeme potrebno da signal stigne od bazne postaje do mobilnog prijamnika (ili obratno) – TOA (*Time on Arrival*) ili mjereći vremensku razliku prijama (faze) istog signala od više baznih postaja - TDOA (*Time Difference on Arrival*). Taj zadnji način načelno se upotrebljava pri određivanju lokacije mobilnog uređaja (za potrebe traganja i spašavanja, otkrivanje kriminalnih radnja, nadzor, itd.), međutim to ne znači da ne može poslužiti i obratno, to jest da mobilni uređaj određuje vlastitu poziciju.

a) Mjerenje vremena dolaska signala (TOA) / *Time of arrival measurement*

Ako je poznato apsolutno vrijeme kad je signal poslan i kad je primljen, udaljenost se dobiva iz umnoška razlike vremenâ i brzine svjetlosti. Ova metoda vrlo je jednostavna i dosta raširena (GPS, radar, daljinomjer itd.), ali za potrebe pozicioniranja unutar GSM mreže zasad ostaje nedostupna. Za dobiti točnu razliku vremena potrebno je točno vrijeme koje se može sinkronizirati preciznim satovima (atomski), što znači i znatna ulaganja u postojeću mrežu. Zbog mjerenja pozicije nuždan je i gubitak privatnosti. Također je prijeko potrebno imati signale najmanje tri bazne postaje da bi se odredila pozicija. Na slici 6. pozicija je u sjecištu triju kružnica pripadajućeg radijusa (R). Podaci govore da operateri nisu skloni takvu rješenju. Potreba uspoređivanja mjerenja prema tri BTS-a zove se triangulacija ili trilateracija. Istina, ova metoda ne zahtijeva nadogradnju postojećih mobilnih uređaja (telefona). Treba reći da metoda ne omogućuje da mobilna postaja sama odredi vlastitu poziciju.



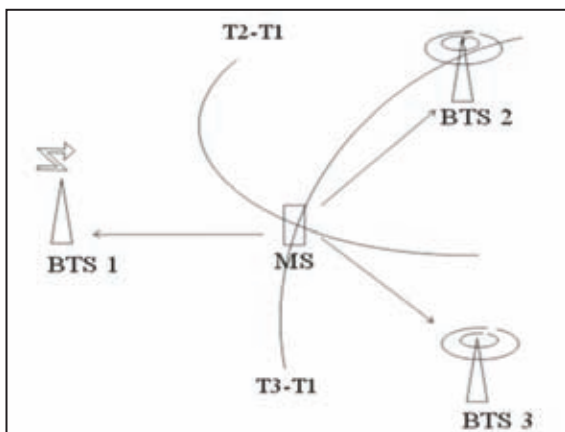
Slika 6. Određivanje udaljenosti mjereći vrijeme dolaska signala

Figure 6. Distance based on time of arrival measurement

b) Mjerenje razlike vremena/faze dolaska signala od koje odašilje više baznih postaja (TDOA) / Time difference/ phase measurement from more base stations

Mjerenje ili opažanje vremenske razlike prijama signalâ od više odašiljača opće je prihvaćena metoda kad lokaciju mobilnog prijamnika određuje mreža s terminom TDOA i OTDOA (*Observed TDOA*). Ako je mobilnom prijamniku na raspolaganju više baznih postaja, određujuća postaja može, a na temelju vremenske razlike prijama signala od svake bazne postaje, odrediti lokaciju mobilne postaje. Razlika vremena prijama signala od dvije postaje definira hiperbolu kao stajnicu. Kako se pozicija može odrediti u presjeku već dviju hiperbola, minimalan broj baznih postaja za ovu metodu je tri - vidi sliku 7. Točnost pozicije kreće se od 100 do 200 m [17]. Ipak, treba u svakom BTS-u ugraditi posebnu jedinicu - LMU (*Location Measurement Unit*), što je skup pothvat za TK operatera.

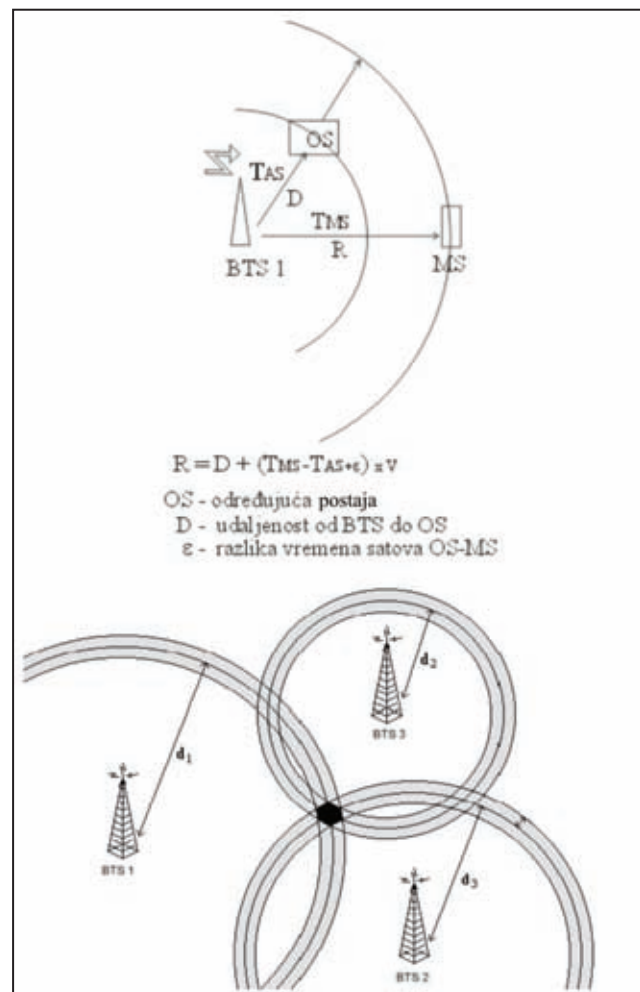
Slično načelo pozicioniranja ima i CDMA mreža u okviru UTRAN-a, to jest mobilna postaja može odrediti vlastitu poziciju samostalno ili uz pomoć BTS-a. Uporabom silaznog smjera komunikacije - IPDL (*Idle Period Down Link*) moguće je dobiti podatke za točniju poziciju. Svaki 150-i vremenski dio (*slot*) služi za osluškivanje udaljenih BTS-ova, na osnovi čega se računa udaljenost. Uz mjerenje u MS-u trebalo bi obaviti i složen izračun koji se temelji na rješavanju sustava jednadžba s više nepoznanica. U MS-u je potreban softver koji triangulacijskom kalkulacijom određuje poziciju, ali i da određeni podaci budu spremljeni u SIM kartici. U nekim verzijama proračun se provodi u BTS-u, a pozicija se dostavlja MS-u. Radi postizanja veće točnosti sustav se proširuje na veći broj baznih postaja, čime se i rješenje komplicira. Uz to, kao i za metodu mjerenja snage (*signal strength*) podrazumijeva se da jačina signala uniformno opada s udaljenošću, po poznatom zakonu rasprostiranja EM valova. Ipak, problemi postoje jer se u praksi često vidi manji broj BTS-ova, i oni se nalaze na bitno različitim visinama itd.



Slika 7. Određivanje vremenske razlike dolaska signala
Figure 7. Time difference on arrival

- Poboľšano određivanje razlike vremena dolaska signala (E-OTD - Enhanced Observed Time Difference)

Metoda je slična već navedenoj TDOA, s tim da mobilna postaja aktivno sudjeluje u određivanju vremenske razlike prijama signala, dakle vremensku razliku primljenih signala određuje mobilna postaja, dok određujuća postaja, jedna od baznih, određuje vremensku razliku predaje signala baznih postaja radi potrebe sinkronizacije. Napominjemo da je osnovni problem to što emitirani signali od BTS-ova moraju biti u određenom vremenskom pomaku. Jedino tad mjerenje na strani MS-a može biti jednoznačno (kad bi BTS emitirali istovremeno, pojavljivala bi se dvoznačnost jer simetričnost hiperbole daje dva rješenja [13]). Problem je što su odabrani BTS svaki put drugi, a to znači da se vremenski pomak njihova emitiranja mora svaki put mijenjati u skladu s radom MS-a. To je osnovni preduvjet ispravnomu mjerenju. Da bi se odredila pozicija mobilne postaje potrebne su minimalno tri bazne postaje.



Slika 8. Poboľšano određivanje vremenske razlike dolaska signala - kružnica kao stajnica

Figure 8. Enhanced Observed Time Difference, circle as position line

Izvor: www.cs.huji.ac.il, www.3gpp.org

Stajnice su obično hiperbole, iako mogu biti i kružnice. Kružnica se može dobiti ako se mjeri razlika točnog vremena prijama mobilne postaje u odnosu prema određujućoj postaji kojoj je pozicija poznata. Pri tome je uvjet da su satovi određujuće i mobilne postaje sinkronizirani, to jest da je poznata točna međusobna vremenska razlika. Drugim riječima, riječ je o kombinaciji TOA i TDOA metode (slika 8). Točnost E-OTD metode pozicioniranja je od 50 do 200 m [17]. Treba napomenuti da se ova metoda susreće samo kod GSM-a. Prednost nad TDOA je u tomu što se LMU jedinica ne mora ugraditi u svaki BTS. U mobilnom je uređaju potreban softver koji triangulacijskom kalkulacijom određuje poziciju, te da određeni podaci budu spremjeni u SIM kartici. Privatnost je zagarantirana samo ako se proračun pozicije ostvaruje u MS-u [20]. Starije generacije MS uređaje ne podržavaju takvu mogućnost.

- **Određivanje pozicije na temelju računanja udaljenosti gdje razlikujemo AFLT (*Advanced Forward Link Trilateration*) i EFLT (*Enhanced Forward Link Trilateration*)**

U ovim metodama se na temelju razlike vremena (faze) prijama signala, a koju određuje mobilna postaja, računa njezina udaljenost od svake bazne postaje. Cijeli sustav mora biti sinkroniziran, a MS mora imati mogućnost istovremenog prijama signala od BTS-ova. Baš zbog toga ova je metoda pogodna za CDMA mrežu (*Code Division Multiple Access* - Višestruki pristup dodijeljenim kodom) [19]. Za razliku od starijih sustava koji se koriste TDMA tehnologijom (*Time Division Multiple Access* - Višestruki pristup u vremenskoj podjeli), a na čemu je utemeljen i GSM, CDMA tehnologija ne dodjeljuje svakom korisniku određeni frekvencijski pojas, već se svaki kanal koristi cijelim raspoloživim spektrom [18]. To je i uzrok znatno većoj brzini prijenosa. Pojedinačni razgovori kodirani su pseudoslučajnim digitalnim nizovima (kodovi) i tako se odvajaju i razlikuju.

U ovoj metodi pozicioniranja mobilna postaja mjeri vrijeme dolaska pseudoslučajnog koda s većeg broja baznih postaja i šalje vremenske razlike u mrežni lokacijski procesor za determiniranje lokacije s pomoću triangulacije. Zastupljenost vremenske sinkronizacija BTS-ova preko GPS-a ne zahtijeva postavljanje LMU-a u svaki BTS. Moguća je pritom dogradnja sustavom AOA radi povećanja točnosti.

Da se odredi pozicija, potrebne su minimalno tri bazne postaje, a točnost je 50 do 200 m za AFLT i 250 do 350 m za EFLT [17]. EFLT u odnosu prema AFLT-u je metoda za starije mobilne uređaje koji nisu u stanju dostatno točno mjeriti vremensku razliku, to jest komunikacijski standard ne podržava tu metodu.

U Europi je Europski telekomunikacijski institut za standardizaciju (ETSI) zajedno s organizacijom 3G Partnership Project - 3GPP odgovoran za standardizaciju lokacijskih servisa i lokacijskih tehnologija za mreže 3. generacije (UMTS). Postoje tri standardizirane tehnike pozicioniranja koje je preporučio 3GPP i poduprio od *UMTS Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN). To je identifikacija ćelije (*Cell-ID*), OTDOA s opcijom *Idle Period DownLink* (IPDL) i potpomognuti GPS (A-GPS).

Treba reći da je A-GPS (*Assisted GPS*) metoda vrlo velike točnosti (3-50 m) jer se u biti koristi GPS pozicioniranjem. Mana joj je veća složenost sustava i, naravno, potrebne su mobilne postaje nove generacije s ugrađenim GPS-om.

Bit ove metode je u tomu što mreža dostavlja MS-u potrebne podatke za izračun GPS pozicije umjesto da ih on sam pribavlja sa satelita. Time je postupak mjerenja mnogostuko brži. Sam postupak mjerenja udaljenosti i izračuna obavlja se u MS-a, ali se potrebni podaci (npr. popis vidljivih satelita i njihove efemeride) šalju GPRS metodom prijenosa od BTS-a. Time se eliminiraju neki od problema koje nameće uporaba GPS-a u mobilnom uređaju (npr. to omogućuje MS-u duži vijek trajanja baterije). Najveći je doprinos u reduciranju kašnjenja u izračunu pozicije. Također dopušta korisniku određenu razinu nadzora nad uporabom usluge i veću razinu privatnosti.

Tablica 2. Usporedba različitih metoda pozicioniranja
Table 2. Comparison of different positioning methods

Standardi mobilnih mreža	Metode pozicioniranja	Točnost
GSM	TOA AOA E-OTD A-GPS	- - 50-200 m 5-30 m
CDMA: ANSI/TIA/EIA-95 cdma2000	A-GPS A-FLT	5-30 m 50-200 m
TDMA: ETSI/TIA/EIA-136	A-GPS	5-30 m
3GPP (ETSI)	A-GPS TDOA sa IPDL	5-30 m 100-200 m
3GPP2 (ANSI)	A-GPS A-FLT	5-30 m 50-200 m

GSM pozicioniranje na moru / GSM Positioning at Sea

Od svih nabrojanih metoda za lociranje mobilnoga telefonskog uređaja (koji obavlja mreža), najzastupljenije su metode E-OTD za GSM, AFLT za CDMA, te oslanjanje na GPS sustav (A-GPS), pri čemu je zadnja najtočnija. S obzirom na to da u ovom članku istražujemo alternative

GPS sustavu u obalnoj navigaciji, prve dvije metode (E-OTD i AFLT) najbliže su široj primjeni, ali uz odgovarajuću nadogradnju mreže; relativno su točne i ne zahtijevaju veća ulaganja. Pozicija se određuje mjereći vremensku razliku prijama signala od više baznih postaja. Zatim dolaze manje točne metode, to jest indentifikacija bazne postaje/sektora (*Cell ID*) i mjerenje snage prijamnog signala (*signal strength*). Prednost tih metoda je u minimalnoj potrebi nadogradnje sustava, ali im je velik nedostatak što zahtijevaju istovremenu dostupnost većeg broja baznih postaja, najčešće tri i više. U urbanim sredinama to i nije problem, ali je izrazit u slabo naseljenim područjima, u koje se može svrstati i širi obalni pojas.

Veća uporaba mobilne telefonije u pozicioniranju MS-a mogla bi se postići razvojem sustava koji kombiniraju određivanje azimuta (smjera) i udaljenosti. Udaljenost se vrlo točno daje odrediti mjereći vremensku razliku između predaje i prijama signala, uz uvjet da je sustav sinkroniziran i da su predajna i prijamna postaja optički vidljive. Ako je dostupan signal više baznih postaja (BTS), tad se može primijeniti i vremenska razlika između prijama njihovih signala. Za određivanje smjera prijamnog signala mobilna postaja bi trebala biti znatno nadograđena, s time da nije realno očekivati izrazito veliku točnost stajnice zbog već opisanih nedostataka azimutnih sustava pozicioniranja. Azimutni način mogao bi biti i dopuna kružnim navigacijskim sustavima pozicioniranju, kad je raspoloživa samo jedna bazna postaja. Kombinacijom određivanja azimuta i udaljenosti dodatno bi se povećala točnost i pouzdanost pozicioniranja, a istovremeno bi se i proširilo područje uporabe sustava. Međutim, razmještaj BTS-ova trebao bi biti takav da svaki dio obalnoga ili međuotočnog dijela ima nesmetan pogled na jedan od odašiljača, dakle da su mobilna postaja i odabrani BTS (ili više njih) optički vidljivi. Taj bi se nedostatak mogao izbjeći pozornim postavljanjem BTS-ova na izbočene dijelove kopna prema moru, na manje otoke ili na plutajuće platforme.

ZAKLJUČAK / Conclusion

Pomorski prijevoz nosi sa sobom cijelo mnoštvo rizika. Brodska posada zato mora biti svjesna svih rizika koje nosi putovanje i sukladno tomu primijeniti sve raspoložive metode i sredstva kako bi se na siguran način, skupa s brodom i teretom, stiglo do odredišta. Elektronički uređaji i pomagala pri tome ostaju samo pomoćno sredstvo za pozicioniranje, što znači da se prije svega rabe klasične metode pozicioniranja, to jest terestričke i astronomske navigacije, a potom i

sve ostale metode. Kako su nam metode terestričke navigacije dostupne za vrijeme plovidbe uz obalu (vrlo pouzdane i gotovo stalno raspoložive), možemo ustanoviti da bi one svakako trebale biti na prvomu mjestu za pozicioniranje uz obalu ili u njezinoj blizini. Njihova alternativa trebali bi biti satelitski sustavi pozicioniranja - prije svega GPS/DGPS. Na otvorenomu moru, metode astronomske navigacije zbog svojih ograničenja u dostupnosti ne mogu zadovoljiti potrebe suvremenoga pomorskog prijevoza, i u tom bi smislu prednost trebalo dati sustavima satelitske navigacije. Prema sadašnjoj opremljenosti trgovačkih brodova i raspoloživosti načina pozicioniranja takav koncept pozicioniranja nije idealan.

Satelitski sustavi pozicioniranja nisu savršeni. Najveća im je mana njihova iznimna osjetljivost, dakle mogućnost da se namjerno izazove pogreška u sustavu, ili da se sustav u potpunosti isključi. Zato bi trebalo izbjeći da satelitski sustavi pozicioniranja, prije svega GPS, budu jedini raspoloživi sustavi u uporabi. Posebno na to upućuje činjenica koliko GPS danas utječe na mnoge druge sustave za pozicioniranje, sinkronizaciju vremena itd. Najbliža alternativa GPS sustavu danas je hiperbolni sustav, Loran-C, koji na zadovoljavajući način može pokriti udaljenosti do 1000 M. Veće udaljenosti od obale uspješno pokrivaju inercijski sustavi. Razvoj EUROFIX mreže ujedinjuje Lorac-C i satelitske sustave, pri čemu se pozicija može odrediti i bez satelita.

Pozicioniranje u obalnoj plovidbi mogu poboljšati radarski, laserski i goniometarski sustavi, ili sustavi koji se oslanjaju na mreže mobilne telefonije (GSM, CDMA, UMTS i sl.). Inercijski sustavi (u kombinaciji s prije navedenima) također su od velike koristi u obalnoj plovidbi. Cilj je dakle ići na ujedinjavanje više različitih sustava pozicioniranja, izbjegavajući samostalne (*stand-alone*) sustave. Potvrda da je budućnost upravo u takvim sustavima može se naći u postojećim sustavima i njihovu razvoju. Tako, satelitski se sustavi GPS i GLONASS mogu međusobno povezati. Isto će vrijediti i za sustav GALILEO, koji Europa ubrzano razvija. S druge strane, različite verzije DGPS-a poboljšavaju točnost satelitske navigacije distribucijom signala korekcije. Njima možemo znatno poboljšati navigaciju uz obalu i na najvažnijim plovidbenim putovima koji su njima pokriveni. Tendencija je da se takva područja što više prošire.

Dinamički sustavi pozicioniranja sjedinjuju gotovo sve raspoložive sustave (satelitske, diferencijske, radarske, laserske, hidroakustične itd.). Dakle, budućnost pozicioniranja ide prema stvaranju za općega globalnog sustava koji će činiti više samostalnih, ali međusobno povezanih podsustava za pozicioniranje.

LITERATURA / References

- [1] Benković, F., Piškorec, M., Lako, Lj., Čepelak, K., Stajić, D.: *Terestrička i elektronska navigacija*, Hidrografski Institut Ratne mornarice, Split, 1986.
- [2] Bowditch, N.: *The American Practical Navigator*, National Imagery Mapping Agency, Maryland, 2002
- [3] Simović, A.: *Elektronička navigacija*, Školska knjiga, Zagreb, 2000.
- [4] Sweet, R. J.: *GPS for mariners, International Marine*, McGraw-Hill, Camden, 2003,
- [5] Beatty, C.: „Location-Based Services: Navigation for the Masses, At Last!“, *The Journal of Navigation* (2002), Vol 55, No 2, The Royal Institute of Navigation, United Kingdom, 2002, str. 241-248.
- [6] Kjerstad, N.: „The Role of Loran-C in Present and Future Navigation: from a Norwegian Nautical Perspective“, *The Journal of Navigation* (2002), Vol 55, No 2, The Royal Institute of Navigation, United Kingdom, 2002, str. 185-195.
- [7] Kos, T. Grgić, M. Krile, S.: „Hiperbolni i satelitski sustavi za navigaciju“, *Naše more*, 51 (5-6), Sveučilište u Dubrovniku, Dubrovnik, 2004, str. 189-199.
- [8] Spaans, J. A.: GPS: „The Holly Grail?“, *The Journal of Navigation* (2000), Vol 53, No 2, The Royal Institute of Navigation, United Kingdom, 2000, str. 293-297.
- [9] Strachan, V. F.: „Inertial Measurement Technology in the Satellite Navigation Environment“, *The Journal of Navigation* (2000), Vol 53, No 2, The Royal Institute of Navigation, United Kingdom, 2000, str. 247-260.
- [10] Filjar, R. Kos, S., Kos, T.: „GPS Positioning Accuracy in Severe Space Weather Conditions in Croatia“ *The Navigational Conference NAV 07*, Proceedings, London, UK, 2007
- [11] Admiralty List of Radio Signals Vol 2 (NP 282)-2005/06, UKHO, 2005
- [12] Kongsberg Maritime-SDP *Basic Operator Course-CD version*
- [13] <http://3gpp.org>, rujan 2007 (Overview of 2G LCS Technologies and Standards)
- [14] http://developer.openwave.com/omtdtdocs/location_studio_sdk/pdf/Intro_to_Location_Technologies.pdf, lipanj 2007 (Practical Metropolitan-Scale Positioning for GSM Phones)
- [15] <http://www.cs.huji.ac.il>, kolovoz 2007 (Location Based Services for Mobile Devices)
- [16] <http://www.epcos.com>, kolovoz 2007 (Positioning Determining Entity Types - Network Based and Telephone Based)
- [17] <http://www.fcc.gov/pshs/911/enhanced911/releases/aerial.pdf>, kolovoz 2007 (Overview of Location Technologies)
- [18] <http://www.sonyericsson.com>, kolovoz 2007 (Digitalne mreže).
- [19] <http://www.unstrung.com>, kolovoz 2007 (Methods of position location capabilities being built into cellular networks)
- [20] <http://www.foi.hr/studiji/pds/mps/magistarski/index.html> (Bosilj N., Potencijali lokacijskih servisa zasnovanih na tehnologiji mobilnih komunikacija, magistarski rad, FOI, Varaždin, 2006.)

Rukopis primljen: 22. 1. 2008.

