Napredni navigacijski sustavi

Ljubanović, Bartul

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:075637

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository - Faculty of Maritime Studies - Split - Repository - Faculty of Maritime Studies Split for permanent storage and preservation of digital resources of the institution

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET

BARTUL LJUBANOVIĆ

NAPREDNI NAVIGACIJSKI SUSTAVI

ZAVRŠNI RAD

SPLIT, 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET U SPLITU

STUDIJ: POMORSKA NAUTIKA

NAPREDNI NAVIGACIJSKI SUSTAVI

ZAVRŠNI RAD

MENTOR: **STUDENT:**

Danijel Pušić mag. ing. naut. **Bartul Ljubanović (MB:0171263439)**

SPLIT, 2018.

SAŽETAK

Cilj ovog rada je prikazati povijesni razvoj pomorske navigacije od inercijalnog sustava upravljanja pa do suvremenih satelitskih sustava visoke preciznosti pozicioniranja. U radu su temeljito obrađeni sustavi koji su prethodili današnjim satelitskim sustavima kao i napredni sustavi koji se danas koriste i dalje razvijaju a sve kako bi se povećala brzina prijenosa signala do korisnika te dobivanje što točnije pozicije. U obalnoj navigaciji netočna pozicija može biti vrlo opasna, dok u oceanskoj navigaciji može značiti dodatno vrijeme plovidbe odnosno dodatni utrošak pogonskog goriva Razvojem e-navigacije GPS,GLONASS i GALIEO sustavi su poboljšani korištenjem SBASS sustava (Satellite Based Augmentation System), odnosno WAAS sustava za područje SAD-a, EGNOS sustava za područje Europe i drugih sustava koji danas omogućuju pokrivenost gotovo cijele zemaljske kugle kvalitetnim satelitskim signalom.

Ključne riječi: *satelitska navigacija, GPS, DGPS, GLONASS,GALILEO, SBASS*

ABSTRACT

Goal of this thesis is to present the historical development of maritime navigation, from the inertial navigation system to the modern satellite systems of high precision positioning. The systems that preceded today's satellite systems as well as the advanced systems that are being used today are still being developed, all in order to increase the transmission rate of the signal to the user and to obtain the most accurate positions. In coastal navigation, inaccurate position may be very dangerous, while in ocean navigation may mean additional time of navigation or additional fuel expense. By developing e-navigation, GPS and GLONASS systems have been improved by using the Satellite Based Augmentation System, or more precisely, the WAAS system for the area of US, the EGNOS system for area of Europe and other systems that now allow coverage of all the Earth with high quality satellite signals.

Key words: *satellite navigation, GPS, DGPS, GLONASS, GALILEO SBAS*

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. RAZVOJ NAVIGACIJSKIH SUSTAVA OD POVIJESTI DO DANAS 2

2.1. RADIOGONIOMETAR 2

2.2. HIPERBOLIČNI NAVIGACIJSKI SUSTAVI 2

2.2.1. Sustav DECCA 3

2.2.2. Sustav OMEGA 4

2.2.3. Sustav LORAN – A (*engl. Long Range Navigation*) 4

2.3. RADAR (*ENGL. RADIO DETECTING AND RANGING*) 5

2.4. ŽIROSKOPSKI KOMPAS 7

2.5. INERCIJALNI NAVIGACIJSKI SUSTAVI 8

3. MODERNA NAVIGACIJA 12

3.1. INERCIJALNO VOĐENJE (UPRAVLJANJE) 12

3.1.1. Navigacija s umjetnim zemljinim satelitima 12

3.2. SUSTAVI POZICIONARANJA 19

3.2.1. GPS-Američki globalni navigacijski sustav 19

3.2.2. GLONASS – Ruski globalni navigacijski sustav 20

3.2.3. GALILEO – Europski globalni navigacijski sustav 21

3.3. NAPREDNI RAZVOJ GPS I GLONASS SUSTAVA 22

3.3.1. DGPS – Diferencijalni GPS sustav 23

3.3.2. E-navigacija i GNSS sustavi 25

4. POBOLJŠANJA SATELITSKIH NAVIGACIJSKIH SUSTAVA 27

4.1. SBAS SUSTAV 27

4.2. WAAS SUSTAV 28

4.3. EGNOS SUSTAV 29

4.4. EUROFIX SUSTAV 31

4.5. CROPOS SUSTAV 33

4.5.1. Karakteristike CROPOS sustava 34

4.5.2. Koncept umreženih referentnih stanica 35

4.5.3. Usluge CROPOS sustava 36
5. ZAKLJUČAK 37
6. LITERATURA 38
7. POPIS SLIKA 40

1. UVOD

Posljednjih desetljeća zabilježen je velik razvoj tehnologije unutar područja navigacije, satelitskih i komunikacijskih sustava.

Iako brodovi sada koriste Globalni satelitski navigacijski sustav (GNSS), te će uskoro svi imati pouzdani elektronički prikaz karata i informacijski sustav (ECDIS), njegova upotreba na brodu nije u potpunosti integrirana i usklađena s postojećim sustavima drugih brodova i onima na kopnu.

Prihvaćanje sustava za globalno pozicioniranje u pomorstvu ovisi o strogim sigurnosnim aspektima.

Navigacijski sustav namijenjen pomorstvu mora zadovoljiti više sigurnosnih zahtjeva. Također, njihova preciznost u kritičnim područjima (blizine obale ili kanalima rijeka) je upitna pa je izazov unaprjeđenja današnjih satelitskih sustava upravo povećanje preciznosti u svrhu dobivanja što točnijih podataka.

U ovom radu opisuju se navigacijski sustavi koji su prethodili sustavima koji se koriste danas, kao i suvremeni satelitski navigacijski sustavi u razvoju.

Prvo poglavlje, detaljno obrađuje inercijalnu navigaciju, početke satelitskih sustava (Transit), kao i načela na kojima se temelji i današnja moderna navigacija.

U drugom poglavlju opisuje se modernizacija e-navigacije te principi rada GPS i DGPS sustava, kao I Galileo, najnoviji globalni navigacijski sustav. Treće poglavlje vezano je uz napredak i poboljšanja postojećih sustava što se uglavnom provodi poboljšanjem ili dodavanjem nove satelitske opreme ali i kombiniranjem sa već postojećim zemaljskim sustavima.

2. RAZVOJ NAVIGACIJSKIH SUSTAVA OD POVIJESTI DO DANAS

2.1. RADIOGONIOMETAR

Radio-goniometar je radio-prijemnik koji prima radio signale preko posebne antene i pokazuje smjer iz kojeg dolaze signali.

Za shvaćanje načina na koji radio-goniometar radi bitno je poznavati svojstva radio-valova na odgovarajućoj frekvenciji i prijem signala posebnom antenom koja omogućava određivanje smjera dolazećeg vala. Elektromagnetski valovi koje emitira antena predajnika sastoje se od električnog i magnetskog polja koje se giba kroz prostor i kada dođe na antenu prijemnika, u njoj inducira struju koja se preko pojačala pretvara u odgovarajući oblik za registriranje. Električno polje je u ravnini antene, a magnetsko je okomito na njega. Vertikalna antena isijava vertikalno električno polje i tada se govori o vertikalno polariziranom valu. Postoji i horizontalno polarizirani val, ali svi kružni radio-farovi imaju vertikalne antene i vertikalno polarizirani val.

Antena radio-goniometra je okvir u kojem se nalaze namotane izolirane žice (promjer antene do 1 m). Dijametar antene je znatno manji od dužine vala i u njoj se inducira struja koja je proporcionalna jačini polja. U određenom trenutku u okvirnoj se anteni inducira struja maksimalnog napona, kada ravnina antene leži u pravcu predajnog fara.

Radio-valovi od antene predajnika mogu doći do prijemne antene putem površinskog vala koji slijedi krivinu Zemlje i putem prostornih valova koji su odbijeni od slojeva ionosfere. Odbijanje valova od ionosfere prirodna je pojava i zavisi od frekvencije i ionizacije.

2.2. HIPERBOLIČNI NAVIGACIJSKI SUSTAVI

Hiperbolična navigacija je dio elektronske navigacije, a namijenjena je rješavanju osnovnog zadatka vođenja broda , određivanja pozicije – koristi hiperbolu kao stajnicu. hiperbola kao stajnica je određena razlikom udaljenosti između dvije radio-predajne stanice a u praksi se dobije mjerenjem azimuta, udaljenosti, razlike udaljenosti, razlike faze, razlike frekvencije ili mjerenjem dvaju od navedenih elemenata.

Za određivanje pozicije potrebno je najmanje tri predajne stanice koje daju dvije hiperbole jer jedna hiperbola se u većini slučajeva dobije mjerenjem određenih elemenata od dvije predajne stanice. Za određivanje pozicije na širem području predajnici jednog navigacijskom sistema raspodijele po grupama u lanac koji može imati tri ili više predajnih

stanica. Jedna stanica u lancu ima ulogu glavne stanice i njezina zadaća je sinkroniziranje rada ostalih stanica koje se nazivaju pomoćne. Broj mogućih stanica se dobije tako da se ukupan broj stanica umanji za jedan. Iznimka je sistem Omega koji nema glavnu stanicu i za njega ovo pravilo ne vrijedi.

Hiperbolični navigacijski sistem se može koristiti bez obzira na doba dana i noći i ne ovisi o meteorološkim prilikama što ga bitno razlikuje od terestričke i astronomske navigacije. Domet i točnost sistema ovisi o frekvenciji korištenih elektromagnetskih valova, mjerenom elementu i tehničkom rješenju sistema. Ako su u pitanju niže frekvencije, domet će se povećati a točnost smanjiti i obrnuto.

Osnovni nedostatak hiperboličnih sistema bila je nužnost korištenja posebnih pomorskih karata s ucrtanim hiperbolama ili posebnih tablica prilikom određivanja i crtanja stajnice i pozicije. Upotrebom mikroprocesora skraćeno je vrijeme matematičkog rješavanja pozicije na osnovi izmjerenih elemenata, a time su posebne pomorske karte i tablice postale rezervna pomagala.

2.2.1. Sustav DECCA

Sustav Decca je fazni hiperbolični navigacijski sustav koji omogućava određivanje pozicije broda na srednjim udaljenostima od predajnih stanica s visokom točnošću i zbog toga su lanci sistema postavljeni na područjima Zemlje gdje je gustoća saobraćaja velika.

Kopnena komponenta sistema Decca sastoji se od četiri predajne stanice, glavne stanice i tri pomoćne stanice koje se označavaju bojom jednakom kao i odgovarajuće hiperbole na kartama: crvenom, zelenom i ljubičastom. Glavna stanica smještena je u središtu približno istostraničnog trokuta, a udaljenost glavne i pomoćne stanice je 60 – 120 M. Glavna i svaka pomoćna stanica daju jednu skupinu hiperbola, pa su pomoćne stanice postavljene tako da na većim područjima prekrivenosti jednim lancem omogućavaju određivanje pozicije s tri hiperbole, odnosno tri stajnice koje se međusobno sijeku pod povoljnim kutom. Za masovnu upotrebu ovog sistema zaslužan je povoljan raspored Decca-lanca, velika točnost određivanja pozicije i relativno niska cijena brodskog prijemnika, te se koristi na svim brodovima bez obzira na njihovu veličinu i namjenu. Sistem Decca zauzima prvo mjesto među sistemima hiperbolična navigacije sa 41 operativnim lancem i preko 2 500 prijemnika na brodovima.

2.2.2. Sustav OMEGA

Godine 1940. firma Decca razmatrala je mogućnost realizacije faznog hiperboličnog sistema velikog dometa koji bi koristio frekvenciju koji danas koristi Omega a iznosi 10.2 KHz. Projekt je napušten zbog straha da je ova frekvencija jako niska i da će utjecati na telefonske veze. Godine 1957. počeo je razvoj sistema Omega čija je osnovna ideja slična onog iz 1940. godine.

Sustav Omega s osam predajnih stanica (A – Norveška, B – Liberija, C – Hawaii, D – North Dakota, E – La Reunion, F – Argentina, G – Australija i H – Japan) prekriva čitav svijet i predstavlja globalni navigacijski sistem.

Elektromagnetski valovi frekvencije 10.2 KHz prodiru i u dubine mora (10 – 30 m), pa se koristi i na podmornicama bez potrebe izlaženja antene iznad površine.

Upotreba niske frekvencije omogućila je veliki domet sistema Omega čija je karakteristika da se valovi odbijaju od D sloja ionosfere na visini od oko 80 km iznad površine (za razliku od valova srednjih i visokih frekvencija koji se odbijaju od viših slojeva). Na taj čin gubitak snage je manji. Signali se mogu primati na udaljenosti od 10 000 km od predajnika. Prijem površinskih i prostornih valova moguć je na udaljenosti od 650 do 700 m od predajnika, a na većim udaljenostima je moguć prijem samo prostornih valova. Točnost pozicije na većim udaljenostima od predajnika je veća, za razliku od ostalih navigacijskih sistema.

Značenje, potreba i upotrebna vrijednost Omega sistema nije smanjena zbog manje točnosti u odnosu na druge elektronske navigacijske sisteme zato što Omega sistem omogućuje kontinuirano određivanje pozicije i kontrole kursa što donosi veliku uštedu na prekooceanskim putovanjima. Osim toga, ovaj sustav ne ovisi o vremenskim uvjetima i navigacija je relativno točnije od astronomske ili zbrojene navigacije što pridonosi povećanju sigurnosti plovidbe i uštedu vremena plovljenja.

2.2.3. Sustav LORAN – A (*engl. Long Range Navigation*)

Loran-A je hiperbolični navigacijski sustav velikog dometa. Prvi put je korišten krajem 1942. godine za potrebe RM USA, a koristio se za osiguranje veće navigacijske točnosti borbenih sila na Pacifiku, a uveden je nakon II. svjetskog rata. Godine 1965. tri četvrtine sjeverne hemisfere bilo je prekriveno Loran-A emisijama, a desetine tisuća brodova bilo je opremljeno prijemnicima tog sistema (Slika 1.).



Slika 1. LORAN primač signala [21]

Loran-A ima prednosti, ali i nedostataka. Jedna od slabosti vidljiva je u relativno malom dometu što zahtjeva instaliranje i održavanje velikog broja lanaca, a to je veoma skupo. Zbog toga je počeo razvoj novog sistema Loran-C. On koristi nižu frekvenciju, tako se povećava domet. Zahvaljujući ovom sistemu potreban je manji broj lanaca da bi se pokrila veća površina Zemlje. Osim toga, povećana je i točnost određivanja pozicije. Uz instaliranje lanaca Loran-C, lanci Loran-A su postupno zamijenjeni čak i na onim područjima koja nisu bila prekrivena sistemom Loran-A. Godine 1977. u operativnom radu bilo je 65 lanaca, a sadašnji broj lanaca Loran-A je 11 od čega se najveći broj sastoji od samo jednog para. Ovaj proces zamijene još traje. Namjena Loran-A u početku je bila isključivo za potrebe ratne mornarice USA.

2.3. RADAR (*ENGL. RADIO DETECTING AND RANGING*)

Za sigurnu orijentaciju osobito velik napredak donio je pronalazak radara. To je uređaj za otkrivanje i određivanje položaja objekata (udaljenosti, azimuta i elevacije) na moru i u zraku na temelju odbijanja elektromagnetskih valova. Navigacijski radar je uređaj za navigaciju koji se koristi za otkrivanje objekata, mjerenje kutova i daljina te izbjegavanja sudara na moru. Naziv dolazi od početnih slova engleske rečenice Radio Detection And Ranging, što znači radio-detekcija i mjerenje).

Konstrukcija radara temelji se na radovima:

1. Henricha Herza koji je otkrio da se elektromagnetski valovi odbijaju od prepreka

(1886. godine)

2. Hulsmeyesa koji je otkrio način otkrivanja prepreka (1904. godine)
3. Osobinama elektromagnetskih valova
4. Otkriću katodne cijevi (1931. godine) koja je pomogla u mjerenju kratkih vremenskih intervala. [2]



Slika 2. Radarska slika [22]

Prvi radar postavljen je na brod 1937. godine. Primjenjivao se tijekom II. svjetskog rata, a koristio se u eksperimentalne svrhe. U radu se koristio za vojne svrhe, a nakon rata se počinje koristit za mnoge druge svrhe. U znanosti se koristio za ispitivanje ionosfere, u astronomiji, meteorologiji, za praćenje meteora itd. Koristio se i u pomorstvu (Slika 2.), zračnom i kopnenom prometu. Njegova namjena ostaje i u vojnim svrhama, a služi za otkrivanje ciljeva, navođenje raketnih projektila, upravljanje vatrom i drugo.

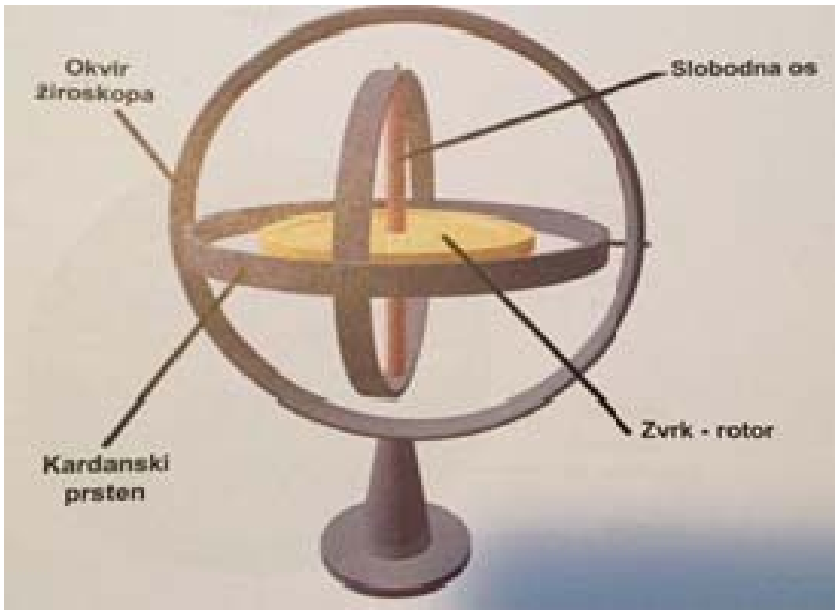
Radar radi na principu elektromagnetnih valova koji se šire pravocrtno, pa se mogu reflektirati od krute, metalne površine. Postoji mnogo frekvencija elektromagnetskih valova, ali za navigacijske radare koriste se valne dužine centimetarskog valnog područja od kojeg su najpogodniji elektromagnetski valovi dužine oko 3 i 10 cm. Valovi male valne dužine (tu spadaju i radarski valovi) šire se pravocrtno, kao i svjetlost. Ako radar ima povoljan oblik antene, elektromagnetski valovi se mogu usmjeriti s obzirom na valnu dužinu elektromagnetskih valova i na dimenzije i oblika antenskog sistema. Odbijanje elektromagnetskih valova nastaje na onim mjestima gdje graniče dvije sredine, a razlikuju se po električnim i magnetskim osobinama. Refleksija se odvija prema zakonima valnog

kretanja, a ovisi o valnog dužini elektromagnetskih valova, o obliku prepreke, o materijalu prepreke, o veličini prepreke, o hrapavosti površine i o upadnom kutu elektromagnetskog vala.

Shvaćanjem osobina elektromagnetskih valova, mogu se lako shvatiti elementi koji su omogućili konstrukciju radara. Zbog osobine refleksije elektromagnetskih valova omogućena je pronalaženje objekata. Velika brzina prostiranja elektromagnetskih valova omogućava mjerenje udaljenosti, a pronalaženje je brzo što pruža mogućnost poduzimanja pravodobnih manevara brodova ili drugih radnji i procesa. Radarski elektromagnetni valovi se šire pravocrtno što omogućuje mjerenje udaljenosti kao najkraćih rastojanja između dviju točaka. Osim toga, radarske elektromagnetne valove je moguće usmjeravati, pa je omogućen relativno veliki domet uz manju snagu i mjerenje kutova.

2.4. ŽIROSKOPSKI KOMPAS

Brodovi koriste posebnu vrstu kompasa, giro-kompas (žirokompas) koji radi na principu žiroskopa s neprekidno rotirajućim zvrkom kome je os rotacije gibljiva samo u horizontalnoj ravnini (Slika 3.). Uslijed rotacije Zemlje os žirokompasa dolazi u položaj usporedan Zemljinoj osi i pri ljuljanju i posrtanju broda zadržava kurs s velikom točnošću (od oko 0,1º). Uređaj je neosjetljiv na magnetske utjecaje željezne mase ili električnih uređaja.



Slika 3. Princip rada žiroskopa [5]

Stabilizirana platforma žiroskopa mora osigurati horizontalan položaj i ranije navedenu orijentaciju akcelerometra. Žiroskop se sastoji od rotora i okvira u kojem se nalazi obješen na

nosačima. Žiroskop ima dva stupnja slobode što znači da se može okretati oko osi x i osi y, dok je os z jako osjetljiva os. Takav žiroskop održava stabilnost platforme nepokretnom u odnosu na os z. U početnom položaj sve osi se poklapaju s horizontskim geografskim osima, zatim djeluje sila u horizontalnoj ravnini okomito na os y i tako nastaje trenutak u kojem se žiroskop nastoji okrenuti oko osi z, a pri tom žiroskop precesira u vertikalnoj ravnini, te se os z otklanja od početnog položaja za određeni kut. Davač kuta, koji je dio žiroskopa, registrira ovaj zakret žiroskopa, te se preko pojačala vodi signal na prateći motor. Motor zakreće stabiliziranu platformu oko osi z što izaziva precesiju žiroskopa u vertikalnog ravnini, pa dolazi do poklapanja položaja z s početnim položajem. Ovako se zasniva održavanje stabilizirane platforme u nepromijenjenom položaju u sve ti osi horizontskog geografskog sustava.

Osim ovakvih žiroskopa postoje i integrirajući žiroskopu u plovku koji su slični prethodnima, ali se sve sile na ovakav žiroskop prenose preko tekućine. Vibracije su ublažene i odstranjenje i prenose se preko nosača. Kod ovih žiroskopa važno je da je stabilizirana radna temperatura.

2.5. INERCIJALNI NAVIGACIJSKI SUSTAVI

Ovaj se sistem zasniva na perfektnom funkcioniranju kompleksnih elektro-mehaničkih naprava, koje točno reagiraju na inercijalne i gravitacijske sile. Dakle, iskorištava se inercija fizičkih tijela. Inerciju možemo objasniti primjerom iz svakodnevnog života. Kada se vozimo autom, pa se naglo zaustavimo, naše tijelo se zanosi prema naprijed, a kod naglog ubrzavanja auta obratno. Iako su principi “inercije“ odavno poznati, isti su u pomorskoj navigaciji prvi put praktično primijenjeni u SAD-u, pararalelno sa razvitkom atomskih podmornica. 1. kolovoza 1958. godine, američka atomska podmornica “Nautilius“ (Slika 4.) zaronila je na pacifičkoj strani Arktičkog oceana, na svom podvodnom putu (ispod leda), preko sjevernog geografskog pola. Na ovoj podmornici bio je instaliran prvi inercijalni navigacijski sustav.



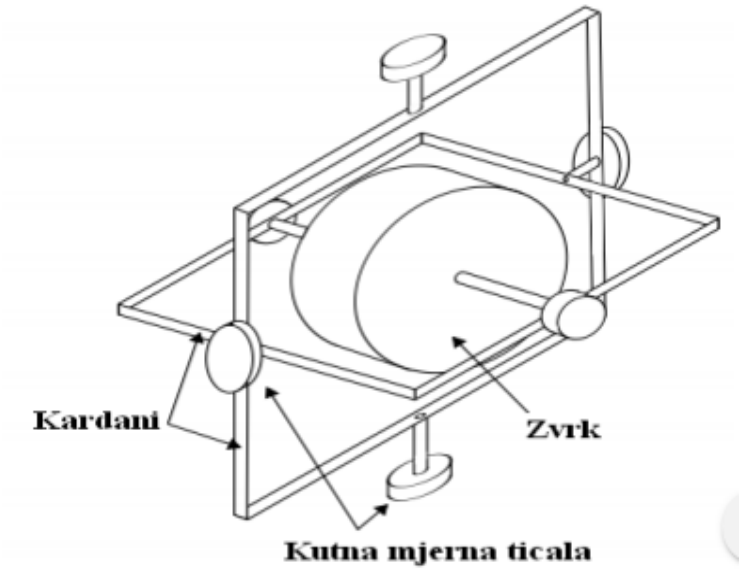
Slika 4. Podmornica Nautilus- Prva podmornica na nuklearni pogon [18]

Kod inercijalnog sustava navigacije nije potrebna nikakva vizualna ili radio veza sa navigacijskim objektima i uređajima na kopnu, a tako onda naravno ni astronomska promatranja. Sustav je imun od ljudskih grešaka i vremenskih neprilika, dakle elemenata koji itekako utječu na točnost metoda klasične navigacije. Nije potrebna nikakva emisija radio signala, a nema ovisnosti o restrikciji korištenja (u ratu) optičkih i radio-svjetionika kao i stanica za hiperboličnu navigaciju. Umjesto toga, ovaj sustav primjenjuje i sferno-trigonometrijska računala.

Sustav inercijalne navigacije primjenjuje se:

1. Kod pomorske navigacije, za stalno očitavanje "prave pozicije" broda, obzirom na stvarni kurs (kurs preko dna) i stvarni prevaljeni put (put preko dna),
2. Kod automatskog vođenja (upravljanja) u vezi sa žiro-pilotom, to jest (tj.) kad se brod stalno automatski održava na, na karti, ucrtanom kursu.

Dakle ako je brod zanošen (struja, vjetar, valovi), žiro-pilot automatski ispravlja kurs kroz vodu da bi brod stvarno plovio po kursu preko dna, ucrtanom na pomorskoj karti, kako to inače navigator radi, ispravljajući kurs za zanos proračunom (obično procjenom). Ista primjena je i kod automatski dirigiranih balističkih projektila i nosača umjetnih satelita.



Slika 5. Shema inercijalnog navigacijskog sustava [8]

Jedan od vitalnih dijelova ovog uređaja su električni akcelerometri. Radi jasnijeg shvaćanja rada električnog akcelerometra slijedi objašnjenje rada mehaničkog akcelerometra. Mehanički akcelerometar sastoji se od cilindra, u kojem se nalazi jedan uteg na opruzi, koji se u cilindru može slobodno pokretati kao reakcija na svako pokretanje broda (pospješenje ili retardacija), dakle djeluje kao vrlo osjetljivo njihalo (Slika 5.). Opruge moraju izmjeriti i najmanje vrijednosti akceleracije i trenutno se vratiti u početni položaj. Zbog toga danas akcelerometar nema mehaničku nego električnu oprugu sastavljenu od tankih pločica električnog kondenzatora pa se zato i naziva električni akcelerometar. Pošto brod plovi po površini jedne kugle, koja ima svoju gravitacijsku silu prema središtu, a da se spriječi djelovanje te sile teže na akcelerometre, isti moraju stalno biti horizontalni, odnosno okomiti na smjer djelovanja sile teže. Ona je stalno horizontalna bez obzira na valjanje i posrtanje broda, i usmjerena je stalno u N-S pravac. Nalazi se u kardanskom sustavu i u tom horizontalnom položaju održavaju je tri slobodna žiroskopa čije osi leže u trima međusobno okomitim ravninama. Jedan od žiroskopa orijentiran je tako, da mu je osovina stalno paralelna sa osovinom Zemlje, tako da kut između vertikalne osi i osi žiroskopa (zapravo između osi žiroskopa i horizontalne platforme) stalno odgovara geografskoj širini. Kad platforma uslijed gibanja izađe iz svog položaja, žiroskopi aktiviraju servo-motor na osovini prstena kardanskog sustava koja je paralelna s odnosom osi žiroskopa.

Servo-motor zakreće dotično kardansko vratilo u stranu suprotnu gibanju broda. Tako u svim prilikama položaji triju osi platforme ostaju nepromijenjeni u prostoru. SINS uređaju se

dodaje elektronski sat koji okreće osjetilni element prema stabiliziranoj platformi brzinom jednakoj rotaciji Zemlje (360°/ 24), ali u suprotnom smjeru. Time se osjetilni element stalno održava horizontalnim i usmjerenim u meridijan. Međutim, ako brod plovi po meridijanu stabilizirana platforma se zakreće oko osi E-W. U ovom slučaju je potrebno stabiliziranu platformu održavati u horizontalnom položaju, a tu ulogu vrši ϕ-motor.
Uređaj SINS treba pustiti u rad stanovito vrijeme prije upotrebe, radi smirivanja stabilizirane platforme. Akcelerometri se orijentiraju, jedan u N-S pravcu, a drugi u E-W pravcu. Zatim se unesu početni podatci tj. geografske koordinate polazne pozicije broda (P).
Nakon smirivanja stabilizirane platforme svako pokretanje broda registriraju električni akcelerometri (moraju biti vrlo f) po meridijanskoj i širinskoj komponenti. [4] Kombinirani daju brzinu (prevaljeni put) preko dna i kurs preko dna. Ovi elementi (kurs i prevaljeni put) prenose se u računalo gdje se pretvaraju u vrijednosti ϕ i λ, a zatim automatski dodaju koordinatama pozicije (P) i na pokazivaču pokazuju koordinate nove prave pozicije broda. Kod SINS uređaja postoji greška N-S akcelerometra, jer je uređaj konstruiran za Zemlju kao sferu, a ne kao elipsoid. Ona se kompenzira u računalu. Druga greška je uslijed Coriolis-ovog efekta, a nju kompenzira Coriolis-ovo računalo. Nije potrebno naročito naglašavati da rad ovog uređaja ovisi o ispravnosti brodske električne mreže.

3. MODERNA NAVIGACIJA

3.1. INERCIJALNO VOĐENJE (UPRAVLJANJE)

Pod inercijalnim vođenjem podrazumijevamo automatsko dovođenje broda na točno željenu poziciju. Zbog boljeg razumijevanja, zamislimo da brod ne plovi po Zemlji kao kugli, koja se okreće oko svoje osi i koja ima gravitacijsku silu, već da brod plovi po ravnoj plohi koja se ne okreće (dakle, ovdje nećemo uzimati u obzir kompenzacijske efekte).

Da bi uređaj funkcionirao potrebno je jedan akcelerometar "X" usmjeriti na željeni kurs ucrtan na karti ("kurs preko dna" od mjesta A do mjesta B), a drugi akcelerometar "Y" pod 90° prema prvom.

Ako nema nikakvog zanosa broda, odnosno. ako se plovidba vrši po točno ucrtanom "kursu preko dna" (A-B), akcelerometar "X" daje računalu podatke akceleracije u smjeru plovidbe, a ti podaci u svezi sa podatcima sa sata, daju "prevaljeni put preko dna". U ovom slučaju akcelerometar "Y" je na nultom položaju i ne daje nikakve podatke. Ukoliko brod izađe iz ranije određenog (ucrtanog) kursa zbog vanjskih efekata poput struje vjetra i/ili valova akcelerometar "Y" daje električni impuls računalu koji preko žiro-pilota automatski ispravlja kurs, pa će brod ploviti po takvom "kursu kroz vodu", da "kurs preko dna" (A-B) bude stalan i jednak onome ucrtanom u pomorskoj karti.

3.1.1. Navigacija s umjetnim zemljinim satelitima

Od mnogobrojnih umjetnih zemljinih satelita, lansiranih za razne znanstvene i vojne svrhe, četiri od njih koje su lansirali Amerikanci 1964. godine, koristili su se za podmorsku navigaciju, i to za upotrebu vlastitih ratnih brodova (kasnije će se dati dozvola za opću upotrebu). Ovi navigacijski sateliti, kao integralni dio američkog sistema "Transit", odnosno "Mornaričko satelitsko navigacijskog sustava" (engl. N.N.S.S. – *Navy Navigation Satellite System*, odnosno "Satnav" – *The Satellite System of Navigation*) daju podatke za određivanje točne pozicije broda.

Sovjetski Savez lansirao je prvi zemljin umjetni satelit "Sputnik I" 4. listopada 1957. godine. Signali koje je "Sputnik I" emitirao, primljeni su bili i u SAD (Dr. W.H. Guier i Dr. G.C. Weiffenbach na "John Hopkins" sveučilištu). Kroz godinu dana, ovi su signali korišteni za točno praćenje orbitalne staze satelita, pa je Dr. F.T. Mc Clure (sa istog sveučilišta) predložio obrnuti sustav, da se pomorska navigacija koristi radio-signalima sa točno utvrđene putanje umjetnih satelita.

Prvi pokusni navigacijski umjetni satelit, bio je lansiran krajem 1959. godine, ali su rezultati bili nezadovoljavajući. Tek 1964. godine pokusi su zadovoljili. Dakle, zemljini umjetni sateliti koji nadgledaju zemljinu površinu sa velikih visina (Slika 6.), idealno su postavljeni da služe kao releji za prijenos vijesti, televizijske slike, kao i meteorološke stanice i kao navigacijski objekti.



Slika 6. Sputnik 1 - Prvi umjetni satelit [20]

Princip ovog navigacijskog sustava se sastoji u tome, da se na brodu mjeri Dopplerov efekt (promjena u frekvenciji primljenih radio-signala) od jednog ili više umjetnih navigacijskih satelita ovog sustava, čime se određuje udaljenost satelit-brod, odnosno razlike udaljenosti u jednom ciklusu. Stajnica (geometrijsko mjesto broda) je kružnica, odnosno hiperbola.

Mjereći tako Dopplerov efekt primljenog signala, dok se satelit približava, prolazi ili udaljava, pa kombinirajući ove informacije sa položajima satelita, a u vezi sa vlastitim kursom i brzinom dobiva se vrlo pouzdana pozicija broda, po svakom vremenu i u svako vrijeme. Sustav je potpuno automatiziran, a za potrebno ručno postavljanje elemenata data su potrebna uputstva, koja traže samo bazičnu uvježbanost operatera.

Već je spomenuto da je Dopplerov efekt kod radio-valova sličan kao i kod zvučnih ili svjetlosnih valova. Kod primanja radio-signala od satelita, frekvencija se povećava (uz odgovarajuću promjenu valne dužine) ako se satelit približava brodu ili a smanjuje kod udaljavanja. Promjena u frekvenciji ovisi direktno o relativnom položaju broda prema kružećem satelitu. Ako je položaj satelita na njegovoj kružnoj putanji poznat, moguće je

odrediti i položaj broda.

Promjene u frekvenciji nastaju zbog:

1. Kretanja satelita,
2. Kretanja broda,
3. Okretanja zemlje oko svoje osi.

N.N.S.S. prvi američki satelitski sustav iz siječnja 1964. godine temelj je današnjem sustavu satelita GNSS a sastojao se od grupe satelita u orbiti oko Zemlje, na visinama od 600 M (1 075 m). Svaki satelit obilazio je Zemlju za 107 minuta. Visine i vremena obilaženja kod današnjih satelita su puno veća što automatski povećava područje pokriveno satelitskim signalom.

Orbite su polarne, dakle sateliti kruže oko Zemlje od pola do pola, dakle konvergiraju prema polovima, a najveća širina putanja je u pojasu ekvatora. Ove orbite formiraju jedan kavez, u kojem se Zemlja okreće oko svoje osi. Da bi se dobila pozicija broda, satelit je trebao biti nad brodskim horizontom nekoliko minuta. Danas je to vrijeme također skraćeno. Dok je aparatura na brodu uključena, prijemnik hvata signale bilo kojeg od satelita, koji je iznad brodskog horizonta, i daje podatke računalu.

Kompletna brodska aparatura sastoji se iz tri jedinice: antene, prijemnika i računala. Svaki satelit emitira stanovite signale određene frekvencije. Četiri stanice na Zemlji (Maine, Minnesota, Kalifornija, Hawaii; stanica "Point Mugu"-Kalifornija, vrši kontrolu nad cijelim sustavom), primaju ove signale i mjere Dopplerov efekt. Pošto je položaj svih stanica na Zemlji poznat i fiksan, iste mogu stalno određivati momentalne položaje satelita u orbiti (elementi ulaze u računalo, koje unaprijed proračunava položaje satelita). Dobiveni rezultati emitiraju natrag satelitima (svakih 12 sati), koji te informacije zadržavaju kao "pamćenje".

U intervalima od dvije minute, sateliti emitiraju parametre svoje putanje (momentalne, prošle i buduće). Brodovi, opremljeni sa odgovarajućim prijemnikom (Magnavox), primaju ove podatke, kao i standardnu frekvenciju satelita, kako bi se i na brodu mjerio Dopplerov efekt. Ovi elementi, zajedno sa proteklim vremenom, kursom i brzinom broda, ulaze u posebno elektronsko računalo, koje konačno daje poziciju broda (geografska širina i dužina). U vremenskim intervalima od dvije minute, emisija satelita koristi se kao vremenski signal (određivanje točnog Greenwich vremena).

Kod ovog sustava, brod je konstantno (24 sata) u "pokriću", po bilo kakvom vremenu. Rukovanje aparaturom je vrlo prosto, a od operatera se ne zahtijeva neko naročito elektronsko umijeće. Informacije koje se daju računalu (vlastita brzina i kurs) vrše se automatski ili ručno.

Dobivena pozicija odmah se izravno ucrtava u podmorsku kartu (nisu potrebne specijalne karte kao kod Loran-a, Decca-e ili Omege), dakle potpuna automatizacija.

Odlučujući faktori, od kojih ovisi točnost dobivene pozicije broda, su:

1. Točnost podataka orbitalnog položaja satelita,
2. Točnost mjerenja Dopplerovog efekta,
3. Efekti ionosferne refrakcije (sistem to svodi na minimum),
4. Točnost kursa i brzine broda.

Faktori 1, 2, 3 su izvan mogućnosti samog navigatora.

Kada je govoreno o Dopplerovom efektu, tj. o promjeni frekvencije primljenog signala, zbog stalne promjene udaljenosti satelit-brod, mislilo se na logično razumijevanje principa rada. Međutim, u biti, ne mjeri se baš ovaj Dopplerov efekt. Prijemnik (Magnavox) sadrži jedan lokalni oscilator, koji radi na frekvenciji nešto različitoj od one emitirane sa satelita (slično kao kod radara). Primljeni promijenjeni Doppler-ov signal miješa se sa signalom lokalnoga oscilatora, a rezultirajuća frekvencija je ona koja se mjeri i koja je mjerodavna za daljnji postupak, tj. ona je mjerilo za promjenu (razliku) udaljenosti od satelita do broda, na početku i na kraju ciklusa od dvije minute.

Kod ovog sustava, ako se radi sa jednim satelitom (u vrijeme dok je iznad horizonta), isti pređe, u vremenu od 10-15 minuta,određenu udaljenost (2400-3500 M), čime se svake dvije minute stvara podesna bazna linija , odgovarajuća drugim hiperboličnim sustavima. Kod raznih radio-hiperboličnih sustava navigacije, bazna udaljenost fiksnih stanica na kopnu je različita (Decca, 60-100M; Loran, 250-400M; Omega, nekoliko tisuća M). Tako položaj satelita na početku i kraju ciklusa emisije (2 minute) stvara fokuse površine položaja (hiperboloid-hiperbola, ako se okreće oko svoje osi). Presjek ove "površine položaja" sa površinom Zemlje, daje liniju pozicija (stajnicu) na kojoj se brod nalazi.

Naravno, potreban je još jedan ciklus od dvije minute pa se dobiva i druga linija pozicija (stajnica). Pošto su osmatranja izvršena u "vremenskim razmacima" pozicija broda biti će u sjecištu druge stajnice i premještene prve stajnice, za trenutak drugog osmatranja (*engl.running fix*), metoda koja je navigatorima poznata i iz metoda klasične navigacije. Zbog toga je računalu priključen brzinomjer i žiro-kompas (kurs i prevaljeni put), ali taj prevaljeni put je vrlo malen.

Kada je oprema u pogonu, prijemnik stalno prati prolaze satelita i stalno daje rezultate (geografska dužina i širina), bez ikakve intervencije operatera. Kod jedne varijante satelitske navigacije, susrećemo se sa sličnim postupkom kao i kod astronomske navigacije (visinska

metoda), gdje navigator mjeri visinu nebeskog tijela (sekstant, osmatrana visina, Vo), a računa visinu za "zbrojenu" (izabranu) poziciju (računata visina, Vr). Sa azimutom nebeskoga tijela i razlikom ovih visina (ΔV=Vo-Vr), dobiva se "astronomska stajnica".

Kod ove varijante satelitske navigacije, stvar je slična. Navigator daje računalu koordinate "zbrojene" (izabrane) pozicije, a računalo momentalno pokazuje rezultirajuću Doppler-frekvenciju za ovu poziciju. Uspoređuju se rezultati za "zbrojenu" i "pravu" poziciju. Razlika podataka je mjerilo za udaljenost "linije pozicija" na azimutu od "zbrojene pozicije". Sa dvije "linije pozicija" odnosno stajnice dobiva se pozicija broda.

Može se raditi po još jednoj varijanti. Sukcesivno se uzimaju razne izabrane pozicije, dok se ne dođe do razlike nula, između računatog i osmatranog rezultata (Dopplerov efekt za izabranu i pravu poziciju je isti). Brod se nalazi negdje na stajnici koja prolazi kroz zadnju "izabranu" poziciju (postupak je vrlo brz, jer računalo daje rezultat momentalno). Ako se radi sa dva satelita, pa ako se između rezultata zadnje izabrane pozicije i rezultata "prave" pozicije za oba satelita dobije razlika nula, brod se nalazi u zadnjoj izabranoj poziciji.

Sustavi satelitske navigacije mogu se integrirati i sa drugim navigacijskim sustavima, npr. i sa "inercijalnim sustavom", čime bi se postigla apsolutna automatizacija. Zbog vrlo visoke cijene same opreme ovaj sustav ograničen je bio samo za ratne brodove. Trgovački brodovi morali su još duže vremena počekati dok se nije postigla ekonomska cijena i u trgovačkoj mornarici (od 1968. godine).

U koliko se istovremeno radi sa dva ili više satelita, sustavi koji se proučavaju, predviđaju mjerenja:

1. Udaljenost D1 i D2,
2. Udaljenost D1 ili D2 i (D1-D2),
3. Udaljenost D1 ili D2 i (D1+D2),
4. Mjerenje (D1-D2) i (D1+D2).

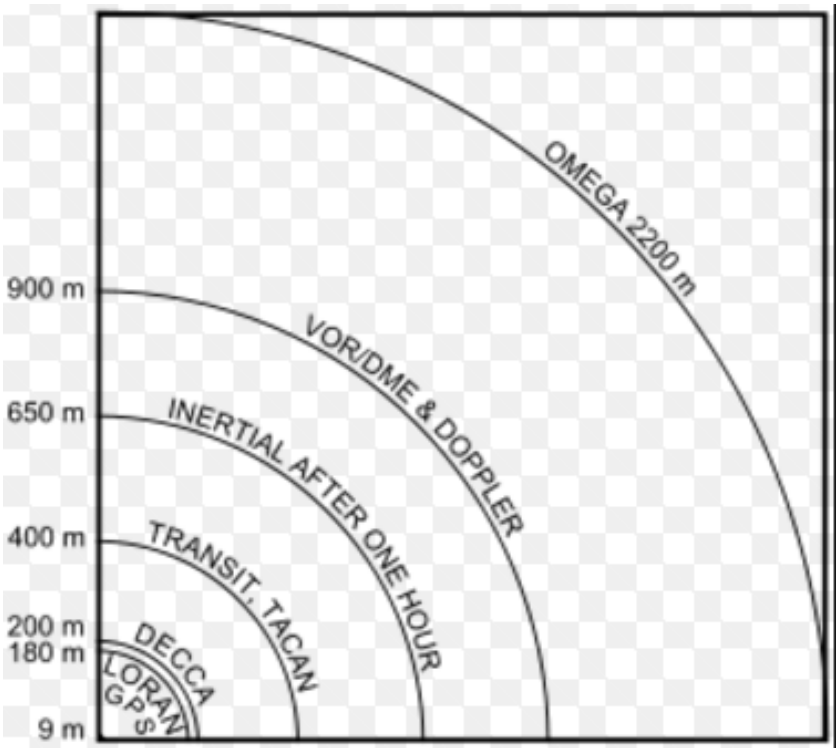
Satelitska navigacija obuhvaća različite metode među kojima su: Transit, Navstar i projekt Dioscures (sa dva geostacionarna satelita za sjeverni Atlantik).

Dva glavna predviđena principa rada:

1. Brod sa vlastitim računalom određuje poziciju,
2. Poziciju broda određuje centralna stanica na kopnu, koju predaje korisniku.

Od svih elektronskih sustava pomorske navigacije, ovaj sustav davao je najtočniju poziciju. Točnost pozicije broda važna je navigatoru i u blizini obale i na otvorenom moru, iako važnost stupnja točnosti pozicije u oba slučaja nije ista.

Nakon mnogih pokusa i isprobanih varijanti, ovdje će se dati kratki opis rada američke aparature "The Magnavox Mx 1102 Sattelite Navigator". Sa ovim sustavom bilo je omogućeno dobivanje točne pozicije broda svakih 90 minuta na cijeloj Zemlji, danju i noću, pod svim vremenskim prilikama.



Slika 7. Točnost pozicije Transit satelitskog sustava [9]

Sustav je automatski, a pozicija broda (ϕ, λ) jednostavno se očitava na ekranu (indikatoru), u stupnjavima, minutama i desetinkama minute (N, S, E, W). Sa automatskim priključenjem žiro-kompasa i električnog brzinomjera (podatci o kursu i brzini), automatski se dobiva i zbrojena pozicija, od očitane zadnje prave pozicije do slijedeće prave pozicije.

Ovaj vojni navigacijski satelitski sustav (obično nazvan Transit) bio je upravljan od strane NAG (*engl. Navy Austronautics Group*), koji se nalazi na Pt. Mugu (Kalifornija), sa još četiri stanice (Maine, Minnesota, Kalifornija i Hawaii). Srednji vremenski interval između registriranih pozicija je od 40 do 100 minuta. Prolaz nad horizontom, u povoljnom kutnom i visinskom sektoru traje od 10-18 minuta (sateliti prevale 4400-7000km).

Pošto Transit-mjerenja nisu trenutna, mora se uzeti u obzir kurs i prevaljeni put broda, za vrijeme prolaza satelita. Pošto su sateliti u konstantnom pokretu prema Zemlji, karte sa linijama pozicija (hiperbole) nije moguće formirati (kao što je to slučaj sa sustavom Loran, Decca, Omega). Zato, satelit daje signal svog položaja u funkciji vremena. Kombinirajući

položaj satelita sa razlikom udaljenosti od broda među ovim položajima (Doppler efekt), te u vezi sa kursom i prevaljenim putom, dobiva se vrlo točna pozicija. Sva se ova računanja vrše automatski (preko računala). Naravno, Transit sustav ne daje stalne kontinuirajuće pozicije (kao Decca i Omega), ali je dobivena pozicija točna (do 0,1 M). (Slika 7.)

Ako je nad horizontom istovremeno dva ili više satelita, ti bi skupni signali štetno djelovali na točnost pozicije, pa su primljeni signali podijeljeni na tri kategorije maksimalne elevacije nad horizontom. Podatci satelita za položaj 10°-70° iznad horizonta su točni, a onih iznad ili ispod ovih vrijednosti manje točni, pa ih prijemnik briše.

Znači, ako imamo istovremeno tri satelita skupa iznad horizonta, primač će raditi samo sa jednim signalom, pa se manje povoljni prijelazi uopće ne registriraju. Čim je prvi satelit prešao povoljni kut i visinu, automatski se uključuje slijedeći u povoljnom kutu i visini.

Sustav tako radi, da skoro potpuno isključuje ljudske pogreške. Već smo rekli da satelit daje i srednje Greenwich vrijeme (Ts), a navigator može tražiti od satelita i vrijeme sljedeće prave pozicije (povoljni prolaz satelita). Početni podatci koji se postavljaju na ekranu (indikatoru) prijemnika (ϕ, λ, Kp, b i visina antene nad morem), nakon kratkog vremena se automatski brišu, a na ekranu se pojavljuju ispravni podatci (ϕ, λ, Kp, b). Sustav daje zbrojene pozicije između dviju pravih (automatsko ili ručno uključenje kursa i brzine). Pretpostavimo da su sve zbrojene pozicije (Pz) NW od prave (Pp), što bi bio znak (pod pretpostavkom da nema drugih grešaka -vjetar,valovi) neke SE struje, a što nam daje mogućnost (poznavajući zanos) za automatsko ispravljanje kursa, to je da se plovi takvim kursom kroz vodu (Kp), da brod slijedi ispravni kurs preko dna (Kp) po karti.

Vidjeli smo da se početni podatci (ϕ, λ, odnosno brojevi hiperbola i pojasa koji odgovaraju početnoj poziciji prije uključenja aparature) postavljaju i kod sustava Decca i Omega, pa u koliko su ovi podatci pogrešni, bit će za isti iznos pogrešni i dobiveni podatci na prijemniku. Kod Transit sustava to se ne događa, primljeni podatci su potpuno točni.

Kao što sa navigacijskim elektronskim računalima rješavamo momentalno razne probleme terestričke i astronomske navigacije, tako isto i kod Transit sustava. Iz podataka (ϕ,λ) polazne i dolazne točke, instrumenti odmah pokazuju Kp, DL, Do, a što se osobito dobro koristi kod ortodromske navigacije (između međutočaka ortodrome).

Uspoređivanjem rada i rezultata sustava Loran, Decca i Omega i satelitskog sustava, dolazi se do zaključka da ovaj zadnji daje točnije rezultate, a rukovanje je jednostavnije. Prednost sustava Decca i Omega je u tome što daju momentalne, kontinuirajuće pozicije, dok se kod Transit sustava daju pozicije u određenim vremenskim intervalima, ali mnogo točnije.

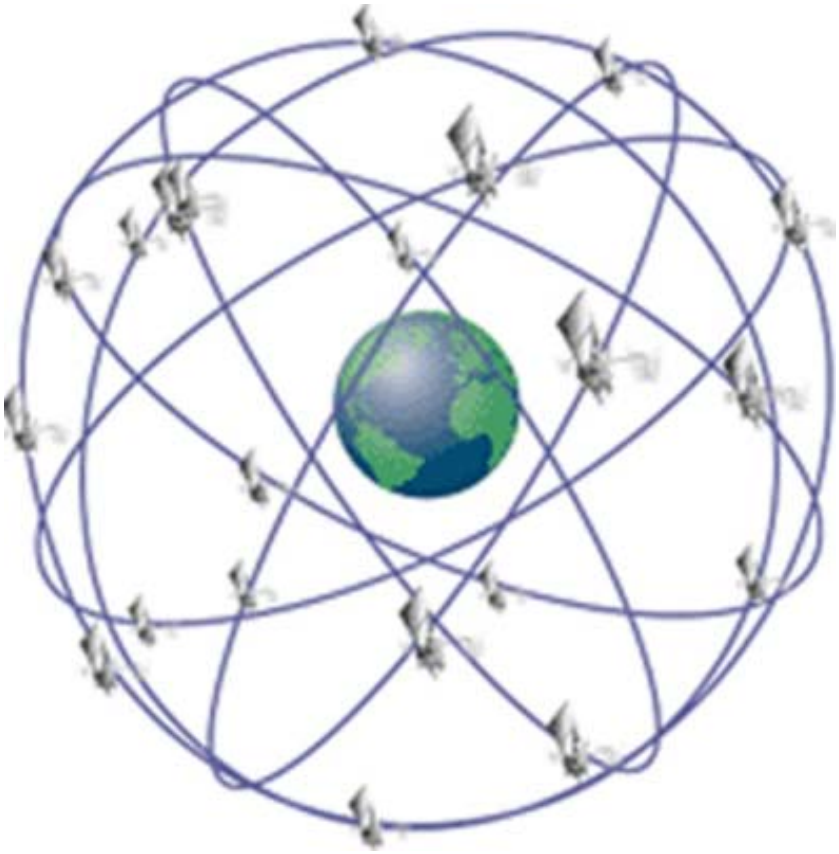
Sastav Transit bio je u uporabi od 1964. do 1996. godine. Nakon 1996. godine, američka mornarica koristi satelite za nadzor ionosferskih sustava (engl. *Navy Ionospheric Monitoring System* - NIMS).

3.2. SUSTAVI POZICIONARANJA

3.2.1. GPS-Američki globalni navigacijski sustav

GPS (*engl.Global Positioning System*) je mreža satelita koja kontinuiranim odašiljanjem kodiranih informacija omogućuje precizno određivanje položaja na Zemlji.

GPS je pod vodstvom Ministarstva obrane SAD-a i u početku je bio primaran za vojnu uporabu. Što se tiče vojnih primjena, GPS-prijemnici pomažu vojnoj navigaciji, rasporedu trupa i artiljerijskoj vatri. 1980.godine dozvoljena je upotreba GPS-a i civilima (Slika 8.).



Slika 8. Sateliti GPS sustava [7]

Niti GPS niti GLONASS (*rus*. *Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*) satelitski navigacijski sustavi ne omogućuju za civilne korisnike dostatan uvid u stanje ispravnosti satelita, pa korisnik ne zna za eventualne probleme s podatcima i pogreške u

podatcima zbog kvara na satelitu Cjelovitost sustava podrazumijeva jamstvo da sve njegove funkcije rade unutar operativnih granica tolerancije [1].

Ako dođe do kvara na transponderu satelita, taj satelit neće emitirati signale i neće moći utjecati na pogreške pozicioniranja. Međutim, ako satelit odašilje signale, ali je došlo do nepravilnosti u radu zbog kojih šalje netočne podatke, to može rezultirati pogreškom pozicioniranja većom od dopuštene. Tu pogrešku zatim bilježi zemaljski kontrolni segment GPS-a i šalje korekciju satelitu, u čijoj je navigacijskoj poruci sadržan podatak o stanju satelita. Taj podatak može biti emitiran s velikim kašnjenjem s obzirom na koncepciju odašiljanja korekcijskih podataka kontrolne postaje prema satelitima, što može biti kobno za brod koji prima te podatke, naročito ako plovi u opasnoj zoni (blizina obale). Zbog toga GPS-sustav bez dodatnih dogradnji ne može biti prihvaćen kao jedini navigacijski sustav koji zadovoljava sve zahtjeve.

Problem cjelovitosti sustava treba razmotriti osobito u situacijama približavanja obali ili zračnoj luci, kad bi upozorenje o ispadu sustava ili nepreciznosti trebalo, radi sigurnosti, javiti za manje od 6 sekunda od nastanka kvara. Koristi se raznim varijantama nadzora, kontrole i dojave cjelovitosti, a time se direktno utječe na usavršavanje tehnologije nadgradnje navigacijskih sustava.

Raspoloživost sustava na poziciji korisnika može se izraziti kao postotak vremena u kojemu je usluga pozicioniranja iskoristiva unutar definiranog vremenskog razdoblja dok se kontinuitet sustava može se definirati kao vjerojatnost da je usluga pozicioniranja podržana za čitavo vrijeme otkad je korisnik započeo neku operaciju do njezina kraja bez prekida.

3.2.2. GLONASS – Ruski globalni navigacijski sustav

GLONASS sustav se sastoji od 4 komponente a to su prostorna, kontrolna (zemaljska), korisnička i prijenosni medij. Kod ovog sustava 24 satelita nalaze se u tri orbitalne ravnine (kod GPS-a ih je 6) na visini od 19100 km i inklinaciji od 64,8° s ciljem da osiguraju pokrivenost satelitima u sjevernim predjelima Rusije. Orbitalni period im je 11 sati 15,8 minuta a orbitalne ravnine su pod kutom od 120° u odnosu jedna na drugu. Sateliti su postavljeni svakih 45° u svakoj orbitalnoj ravnini. Radio sučelje je drugačije u odnosu na GPS, također se koristi FDMA (*engl. Frequency Division Multiple Access*) umjesto CDMA (*engl. Code Division Multiple Access*). U upotrebi su dvije frekvencije L1 i L2 za civilnu i vojnu uporabu. Civilna uporaba je SPS (*engl. Standard Precision Service*), a za vojnu uporabu je HPS (*engl. High Precision Service*). Kako bi se poboljšala kvaliteta GLONASS sustava koriste se GLONASS-M sateliti povećane snage u frekvenciji L2. Sljedeći korak napretka je

korištenje frekvencije L3 kao i kod GPS-a. Zadnji napredak očekuje se upotrebom GLONASS-K i GLONAS-KM satelita gdje GLNASS-K uključuje korištenje i treće frekvencije a u planu je i razvoj kako bi se sustav mogao koristiti uz Galileo sustav.

3.2.3. GALILEO – Europski globalni navigacijski sustav

Galileo je globalni pozicijski satelitski sustav koji razvija Europa kao odgovor na američki GPS i ruski GLONASS. Sastoji se od:

1. OS Opće usluge (*engl. Open Service)* djelatnosti namijenjene aplikacijama na širokom tržištu, a to su ustvari otvoreni i dostupni signali koji se ne naplaćuju.
2. SOL Usluge spašavanja života u opasnosti (*engl. Safety of Life Service)* dopunjuje vjerodostojnost OS sustava a glavno područje upotrebe je kod situacija gdje služi za spašavanje života u opasnosti.
3. CS Trgovačke usluge (*engl. The Commercial Service*) koristi dva dodatna signala koja omogućuju brži prijenos podataka i povećanu točnost sustava. Moguće su dodatne aplikacije uz naplatu.
4. PRS Javno regulirane usluge (*engl. The Public Regulated Service usluge*) omogućuje lokacijske i vremenske usluge vladinim službama, primjerice policiji i carini.
5. SAR Usluge traganja i spašavanja (*engl. The Search and Rescue Service)* je potpora Galileo sustava međunarodnom COSPAS – SARSAT sustavu u području traganja i spašavanja.

Galileo trenutačno koristi tridesetak satelita na srednjim orbitama od 23616 do 23222 km a orbitalni period im je 14 sati i 5 minuta. Postoje tri orbitalne ravnine (kao i kod GLONASA), a svaka od njih sadrži 10 satelit. Predviđena konstelacija sastoji se d 27 satelita i još 3 aktivne rezerve. Zbog veće inklinacije od GPS sustava (56°) Galileo bolje pokriva polarna područja. Distribucija Galileo signala je takva da je šest signala namijenjeno za opću uslugu i uslugu spašavanja života na moru, dva signala su isključivo za trgovačku uslugu, dva signala su za javno regulirane usluge, i jedan signal je za spašavanje života na moru.

Galileo je jedini globalni sustav satelitske navigacije koji se razvija i optimizira isključivo za civilne svrhe. S druge strane, GPS je tek odnedavno otvoren za civilnu uporabu i ostao je ključnim dijelom američkog obrambenog sustava. Dok GPS nudi samo jedan civilni signal, Galileo podržava i otvoreni signal i različite dodatne usluge. Te će usluge uključivati jedan poseban komercijalni signal i jedan poseban navigacijski signal za zračni i pomorski promet s automatskim upozorenjima o pogreškama, sigurnim signalom za javne službe poput policije i pograničnih jedinica te signal za hitne službe. Očito je da Galileo ima veće

operativne mogućnosti nego GPS. [16]

Otvoreni servisi kod Galilea biti će sukladni već postojećim GPS servisima tako će korisnici moći primati signale Galilea i GPS-a, za razliku od GPS-a, otvoreni Galileovi servisi i dalje će se optimizirati, no njihove će bazične usluge biti sukladne.

Tehnički gledano, jedna od glavnih razlika jest da je Galileo značajno poboljšan u smislu točnosti određivanja položaja i pouzdanosti, 1čak i u područjima poput polarnih regija ili gusto naseljenih gradova koja su inače problematična. Galileov signal je pouzdanije točnosti i veće dostupnosti što je važno za aplikacije koje kod kojih je sigurnost kritična, primjerice za zračni promet ili obalnu navigaciju. GPS to ne može omogućiti. U tom pogledu može se reći da se GPS i Galileo nadopunjuju i tako ne predstavljaju međusobnu konkurenciju.

Galileo za sada obuhvaća stotinjak aplikacija, od kojih su u najvećoj uporabi upravljanje cestovnim transportom i pomorskim flotama, zatim pozicijske usluge za individualnu uporabu. Primjer upotrebe u energetskom sektoru je da Galileo može poslužiti za izradu elektroničkih mapa infrastrukture, sinkronizaciju električnih čvorova i generatora ili detekciju problema u električnim čvorovima.

U skorijoj budućnosti će pozicioniranje pomoću satelitske navigacije, osim u pomorskom i zračnom prometu biti nezamjenjiv alat u svakodnevnoj uporabi,. Taj će sustav postati standardno sredstvo koje omogućuje veliko poboljšanje učinkovitosti u upravljanju prometom, primjerice u sustavima naplate cestarine, upravljanju tokovima prometa ili hitnim službama.

Galileo za razliku od GPS-a može ponuditi dodatne usluge pa je stoga moguća njegova sve veća uporaba te prodor na svjetsko tržište. Također, njegov razvoj nije pod upravom vojske (kao kod GPS-a) nego njime osim država Europske unije mogu upravljati i neke države izvan Europe, a i privatni sektor. Baš zbog velikog zanimanja nekih država za sudjelovanje u projektu Galileo, vjeruje se u njegov veliki potencijal na globalnom tržištu. Europska unija je već potpisala sporazume s Kinom i Izraelom, a uskoro će uslijediti i drugi.

3.3. NAPREDNI RAZVOJ GPS I GLONASS SUSTAVA

Postojeći satelitski navigacijski sustavi, američki GPS i ruski GLONASS, ne zadovoljavaju zahtjeve za sve faze plovidbe, a pogotovo ne za precizni prilaz pri slijetanju i za približavanje obali.

Podatci o poziciji dobiveni satelitskim navigacijskim sustavom mogu poslužiti u

zrakoplovstvu tek nakon što se usporede s drugim provjerenim navigacijskim sustavom. I pomorstvo (osobito obalna plovidba) ubrzano zahtijeva sve precizniju navigaciju.

GPS-sustav bio je zamišljen kao globalno dostupan satelitski navigacijski sustav prvenstveno za vojne, a tek poslije i za civilne korisnike. Da bi sustav ispravno radio važno je da sateliti emitiraju točne podatke na temelju kojih prijamnici izračunavaju poziciju.

3.3.1. DGPS – Diferencijalni GPS sustav

Standardna metoda poboljšanja točnosti navigacijskih sustava je postavljanje kontrolnih stanica na točno poznatim pozicijama, koje izračunavaju korekcijske veličine za točnije pozicioniranje i šalju ih korisnicima preko radijskih veza [1].
Preciznost pozicioniranja GPS-usluge standardnog pozicioniranja (*engl. SPS - Standard Positioning Service*) nije dovoljna na svima područjima, pa se zato na nekim područjima koristi diferencijalnim GPS (DGPS) sustavom, kako bi se povećala preciznost određivanja položaja [14]. Sustav radi s pomoćnom zemaljskom postajom za nadzor na točno poznatoj poziciji. Nadzorna postaja prima GPS-signale svih vidljivih satelita, izračunava pogreške izmjerenih pseudoudaljenosti i preko radijskih veza emitira podatke o veličini pogrešaka i potrebne ispravke. S ovakvim ispravcima u krugu od nekoliko stotina kilometara od nadzorne postaje može se postići točnost od 2 m. Za korištenje ove usluge korisnik mora posjedovati prijamnik za DGPS-poruke te program za obradu ispravljenih podataka. Zemaljska postaja može služiti kao "dodatni satelit", i daje dodatni podatak s vrlo točnom pozicijom zbog čega je dugo vremena bio korišten samo u vojne svrhe.

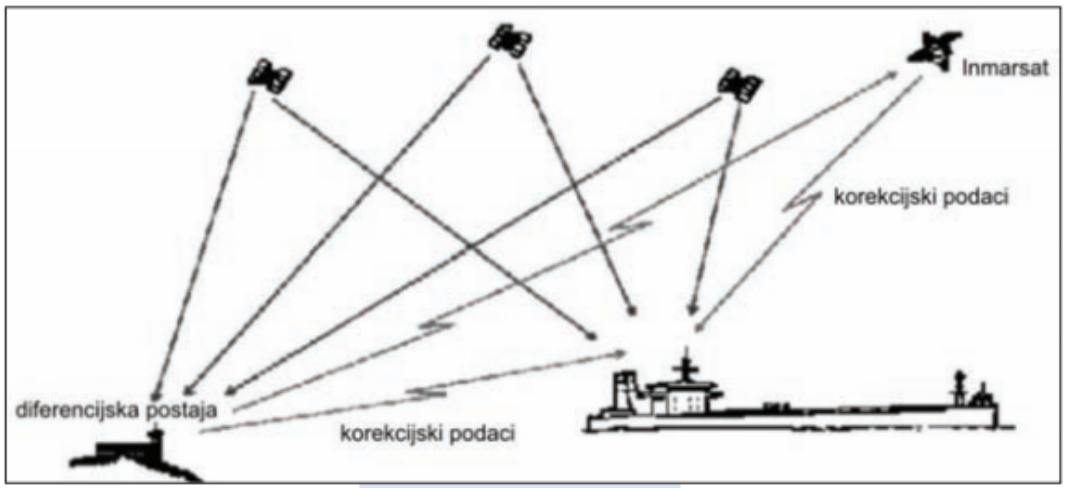
Diferencijalni GPS se temelji na činjenici da su pogreške pozicija dobivene na jednoj lokaciji vrlo slične onima na svim drugim lokacijama unutar bliskog područja. Kod DGPS-sustava referentni prijamnik zemaljske stanice mora primati signale svih dostupnih satelita i oblikovati pojedinačne ispravke pseudoudaljenosti za svaki satelit (Slika 9.). Budući da se u DGPS-prijamniku moraju korigirati sve pojedinačne pseudoudaljenosti, korisnikov GPS-prijamnik mora korigirati pogreške pseudoudaljenosti za iste vidljive satelite kao i referentni prijamnik u zemaljskoj DGPS -postaji, prije nego izračuna poziciju. U Americi rad DGPS-službe kontrolira američka obalna straža.

Za emitiranje diferencijalnih korekcija koristi se frekvencijama postojećih srednjovalnih odašiljača obalnih radiofarova (285 – 325 KHz). Domet ovih odašiljača je približno 500 km. Ovaj sustav koristi se prvenstveno za pomorsku navigaciju u priobalnim područjima. U kopnenom dijelu mogu se vrlo uspješno iskoristiti mreže postojećih UKV-odašiljača za emitiranje diferencijskih ispravaka. Osim vrlo dobre pokrivenosti velika je

prednost uporabe UKV-odašiljača i mogućnost korištenja jednostavnim prijamnicima.

Gotovo svi europski FM-odašiljači emitiraju uz normalne radioprograme i digitalne podatke preko RDS (eng. *Radio Data Service*) sustava. RDS omogućuje automatsku identifikaciju i odabir vrste programa, a osim toga i različite druge obavijesti i prijenos dodatnih informacija. Primjena UKV-odašiljača za prijenos diferencijskih ispravaka može biti otežana samo za zrakoplove kada lete na većim visinama jer odašiljači imaju antene koje su uglavnom orijentirane na niže elevacije.

U današnje vrijeme diferencijski ispravci se korisnicima mogu slati i Internetom. Sustavi poput ovoga, koji mjere ispravke pseudoudaljenosti na lokalnoj razini nazivaju se Diferencijalni globalni pozicijski sustav lokalnog područja (*engl. Local Area Differential Global Postitional System*), a navigacijska rješenja postaju sve nepreciznija što smo više udaljeni od upravljačke stanice. Zbog prostorne dekorelacije dolazi do smanjenja točnosti ali to se može se popraviti uz pomoć sofisticiranih tehnika Diferencijalnog globalog pozicijskog sustava širokog područja (engl. *Wide Area Differential Global Poitional System*) [1], [3].



Slika 9. Diferencijalni GPS sustav [19]

Glavna prednost DGPS-sustava je prije svega povećana točnost pozicioniranja od 2 do 3 metra na prostoru do 1 000 km udaljenosti od stanice za praćenje. Na manjim udaljenostima, do 50 km, može se postići točnost od 1 do 2 metra.

Budući da DGPS, zbog poboljšanja točnosti, bez prestanka kontrolira sve parametre sustava, svaka pogreška u njegovom radu registrira se i trenutno šalje korisnicima. Ova kontrola reagira mnogo brže nego što kontrolni segment GPS-sustava može signalizirati nepravilnosti u radu pojedinog satelita unutar navigacijske poruke i time omogućiti

eliminaciju podataka takva satelita za određivanje pozicije. Zato DGPS-sustav ima vrlo dobru kontrolu cjelovitosti (integriteta) sustava, i smanjeno vrijeme reagiranja a time i dobivanja nove ispravljene pozicije što je vrlo važan činitelj za sigurnost pri uporabi sustava u pomorstvu.

3.3.2. E-navigacija i GNSS sustavi

E-navigacija pravi je veliki izazov za pomorski svijet a bavi se pitanjem kako sigurnost trgovačke plovidbe dovesti na razinu koja je usporediva s razinom sigurnosti komercijalnog zračnog prijevoza civilnog stanovništva.

E-navigacija se razvija od postojećih sustava (Slika 10.) i opreme koji zahtijevaju unaprjeđenje, a odnosi se uglavnom na evoluciju i globalni razvoj informacijskih tehnologija (IT).

Svrha e-navigacije je poboljšati elektroničku razmjenu informacija za:

1. Unaprjeđenje i proširenje komunikacije brod – brod,
2. Pojednostavljenje poboljšanja sigurnosti, osiguranja i okoliša,
3. Olakšavanje i povećanje učinkovitosti pomorske trgovine i prijevoza.

Ciljevi e-navigacije su prije svega minimiziranje navigacijske pogreške, incidenata i nesreća kroz prikaz pozicije sa navigacijskim informacijama u elektroničkim formatima.

Također, to je korištenje ažuriranih elektroničkih karata radi lakšeg planiranja rute, određivanja pozicije i za to potrebnih informacija.

Vizija e-navigacije definirana je u MSC 85/26 aneksu 20 stavku 4 i utvrđuje:

1. Poboljšani, usklađeni i jednostavni dizajn mostova,
2. Sredstva za standardizirano i automatsko izvješćivanje,
3. Poboljšana pouzdanost, otpornost, integritet i oprema te navigacijske informacije,
4. Integracija i grafička prezentacija dostupnih informacija primljenih putem komunikacijske opreme,
5. Poboljšano komuniciranje VTS usluga. [6]



Slika 10. ECDIS- Suvremeni računalni program e-navigacije [10]

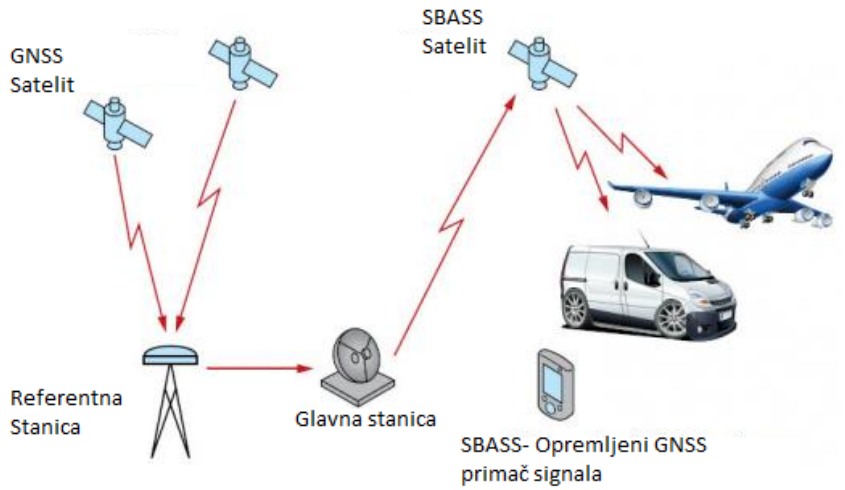
Jedna od temeljnih zadaća e-navigacije je unaprijediti već postojeće navigacijske satelitske sustave (GNSS) kako bi razvijale sljedeće komponente:

1. Točnost – mogućnost sustava da osigura zadovoljavajuću navigacijsku točnost za pojedine faze leta ili plovidbe,
2. Cjelovitost – sigurnost da sve funkcije sustava rade unutar operativnih granica tolerancije uz mogućnost detekcije anomalija signala koje bi mogle izazvati navigacijske pogreške veće od propisanih,
3. Raspoloživost – svojstvo sustava da je upotrebljiv unutar područja pokrivanja i da je navigacijski signal dostupan korisniku,
4. Kontinuitet – mogućnost sustava da osigura funkcionalnost bez prekida u radu, te da sustav funkcionira za cijelo vrijeme trajanja neke operacije.

4. POBOLJŠANJA SATELITSKIH NAVIGACIJSKIH SUSTAVA

4.1. SBAS SUSTAV

SBAS (*engl. Satellite Based Augmentation System*) je naziv za sustave koji s pomoću satelita odašilju korekcijske podatke i podatke o integritetu satelitskih sustava GPS i GLONASS (ruska vojna mreža satelita iste namjene kao i GPS). Svrha im je povećati točnost i pouzdanost određivanja položaja (Slika 11). [7]



Slika 11. Poboljšanje točnosti pozicije preko SBAS satelita [13]

Jedna od mogućih izvedbi poboljšanja i dopune satelitskih navigacijskih sustava izvršava se geostacionarnim satelitima Inmarsat (*engl. International Maritime Satellite System*). Inmarsat-sateliti omogućuju uvođenje diferencijskih usluga satelitskih navigacijskih sustava za široko područje uporabe.

Geostacionarna satelitska nadopuna GPS i GLONASS-sustava za civilnu navigaciju uvedena je kako bi korisnici dobili dodatne podatke koji omogućuju postizanje strogih zahtjeva pouzdanosti i cjelovitosti informacija i navigacijskih podataka. [14]

Dodatni navigacijski signali generiraju se u zemaljskim stanicama i emitiraju uzlaznom (*engl. uplink*) vezom do Inmarsat-3 satelita. Inmarsat-3 sateliti imaju repetitorske kanale koji reemitiraju navigacijskih signala korisnicima.

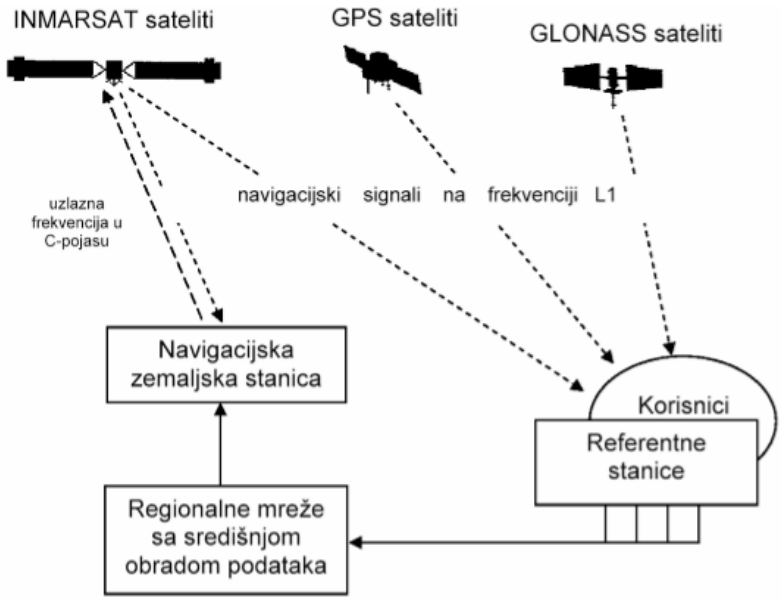
Takva dopuna omogućuje sljedeće usluge:

1. Emitiranje informacija o cjelovitosti i ispravnosti svakog GPS i GLONASS-satelita u realnom vremenu,
2. Emitiranje dodatnih navigacijskih signala radi povećanja dostupnosti GPS-signala a to rezultira povećanjem RAIM (*engl. Receiver Autonomous Integrity Monitoring*) dostupnosti,
3. Emitiranje diferencijskih ispravaka na širokom prostoru za GPS i GLONASS-korisnike, kako bi se povećala točnost civilnih GPS i GLONASS signala. Kombinacija ovih usluga čini WAAS (*engl. Wide Area Augmentation System*) sustav.

4.2. WAAS SUSTAV

WAAS je SBAS razvijen za područje Sjeverne Amerike. Sastoji se od mreže od 25 stanica na Zemlji i dva geostacionarna satelita koji pokrivaju područje cijelog SAD-a i dio Kanade i Meksika. Postavila ih je Federalna zrakoplovna uprava SAD-a (*engl. Federal Aviation Administration*) i Ministarsvo prometa (*engl. Department of Transportation*) s namjerom da se GPS upotrijebi prilikom preciznog navođenja zrakoplova. [7]

WAAS sustav je dostupan za civilnu upotrebu (njegova upotreba svrhovita je na području za koje je i predviđen, tj. Sjevernu Ameriku). Standardna točnost određivanja položaja korištenjem WAAS-a iznosi manje od 3 metra.



Slika 12. – WAAS sustav [14]

Načelo rada WAAS-sustava prikazano je na slici 12. S obzirom na to da su geostacionarni Inmarsat-sateliti sastavni dio sustava, i za njih se obrađuju precizne orbitalne informacije. Integrirana ispravljena poruka potom se prosljeđuje do navigacijske zemaljske stanice.

U navigacijskoj stanici se navigacijski signal proširenog spektra precizno sinkronizira s referentnim vremenom i modulira s podacima o cjelovitosti i ispravnosti sustava, te diferencijskim ispravcima. Taj signal emitira se prema geostacionarnom satelitu na uzlaznoj frekvenciji (uplink) u C-pojasu.

Na Inmarsat-satelitu navigacijski signal se frekvencijski transponira i emitira korisnicima na frekvenciji L1 i do navigacijskih zemaljskih stanica u C-pojasu.

Taj signal u C-pojasu služi za vrlo precizno vremensko usklađivanje takt-signala u zatvorenoj petlji povratne veze, kako bi se signal mogao tretirati kao da je generiran na satelitu kao signal za određivanje udaljenosti. WAAS-signal je tako napravljen da za postizanje kompatibilnosti nisu potrebne velike modifikacije sklopova GPS-prijamnika. Kao WAAS-nositelj koristi se samo frekvencija L1 i modulacijski postupci kao u GPS-u, koji uključuju i C/A pseudoslučajni PRN-kod. Faza koda je sinkronizirana s GPS-vremenom, kako bi se oponašao GPS-satelit s mogućnošću određivanja udaljenosti.

Brzina podataka i format modulacijskih podataka proširenog spektra drugačiji su nego u GPS-signalu.

Unutar signala je čitavo mnoštvo poruka koje generira WAAS-operater i namijenjene su kompatibilnim GPS-prijamnicima za informiranje o cjelovitosti funkcioniranja satelitskoga navigacijskog sustava.

Poruke sadržavaju i informacije o ispravcima ionosferskog kašnjenja kojima se koristi za poboljšanje preciznosti i točnosti pozicioniranja. Simboli poruke prenose se brzinom od 500 simbola/s. Ako bismo se željeli koristiti prednostima WAAS -sustava globalno bilo gdje na Zemlji, potpuno kompatibilni kontrolni sustavi moraju biti postavljeni i izvan SAD-a, širom svijeta.

U Europi je razvijena verzija WAAS-sustava pod nazivom EGNOS.

4.3. EGNOS SUSTAV

EGNOS (*engl. European Geostationary Navigation Overlay Service*) je SBAS koji se razvija za područje Europe (Slika 13.). Sastoji se od 34 zemaljske stanice i 3 geostacionarna satelita. Razvile su ga ESA europska svemirska agencija (*engl. European Space Agency*),

Europska komisija i EUROCONTROL (*hrv. Europska organizacija za sigurnost zračne navigacije*). [7]

EGNOS omogućuje povećanje točnosti i za GPS i za GLONASS. Iako je predviđena točnost određivanja položaja EGNOS-om bila oko 5 metara, testovi pokazuju da se ona kreće ispod 2 metra. Europski planovi razvoja sustava za globalnu navigaciju predviđaju razvoj u nekoliko faza [14]. U prvoj fazi koristilo bi se infrastrukturom GPS i GLONASS-sustava uz neovisan sustav za kontrolu i praćenje.

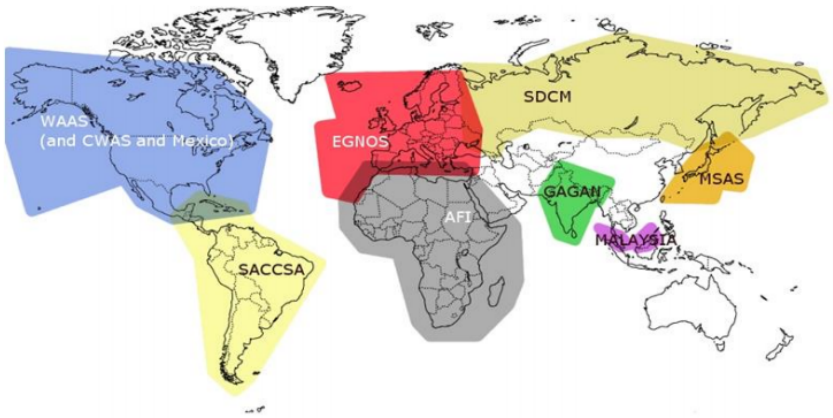
Kontrolni sustav sastoji se od glavne kontrolne postaje, nekoliko nadzornih postaja za praćenje cjelovitosti sustava raspoređenih na Islandu, u sjevernoj Skandinaviji, na istočnom Mediteranu i Kanarskim otocima, te navigacijske zemaljske stanice uz geostacionarne satelite s navigacijskim transponderima koji trebaju osigurati dodatno mjerenje pseudoudaljenosti. Sustav treba osigurati WADGPS (*engl. Wide Area DGPS*) uslugu za cijeli europski kontinent u realnom vremenu.

Rad sustava je vrlo sličan WAAS-sustavu u Americi. Podaci i formati podataka su identični. [1]

Postoji mogućnost da se smetnje u radu sustava pojave u najsjevernijim dijelovima kontinenta, gdje su geostacionarni sateliti nisko iznad horizonta s vrlo malom elevacijom, pa može biti lošiji prijam signala. Na geografskim širinama gdje je elevacija veća od 80° , geostacionarni sateliti su ispod horizonta. Da se izbjegne problem zaklonjenosti geostacionarnih satelita koji emitiraju EGNOS-signale, od veljače 2002.g. ESA nudi mogućnost pristupa EGNOS-signalima i preko Interneta korištenjem SISNet (*engl*. *Signal In Space over Internet*) tehnologije. Tako svaki korisnik sa pristupom na Internet može pristupiti EGNOS-sustavu s pomoću SISNet-platforme i to potpuno neovisno o signalima geostacionarnih satelita.

Pokrivenost svijeta SBAS – (Satellite – based augmentation systems) sustavima

WAAS- Wide Area Augmentation System, CWAS- Center Weather Advisory System (zračni promet) , AFI – African-Indian Ocean Region (zračni sustav), SACCSA – Solucion de Aumentacion para Caribe -Centro y Sudamerica (zračni promet), SDCM – System for Differential Corrections and Monitoring – Ruski SBAS – GLONASS Rusija, GAGAN – GPS aided Geo-augmented navigation –Indija , MSAS – Multifunctional satellite Augmentation System – Japanski SBAS



Slika 13. Pokrivenost svijeta SBAS sustavom [15]

Prednosti EGNOS-sustava su:

1. Emitiranje signala geostacionarnog satelita pokriva veliki teritorij,
2. Kombinacija EGNOS,WAAS te SBAS sustava može osigurati gotovo globalnu pokrivenost,
3. Praćenje pogrešaka ionosferskog kašnjenja, efemerida satelita i pogrešaka u vremenu.

Nedostaci EGNOS-sustava su:

1. Velika i skupa zemaljska infrastruktura mreže,
2. Potencijalno ometena vidljivost geostacionarnih satelita na velikim geografskim širinama i u polarnim krajevima,
3. Slaba vidljivost satelita u urbanim i planinskim krajevima i u šumama,
4. Geostacionarni sateliti emitiraju slične signale kao i navigacijski sateliti, pa su podložni istim smetnjama i ispadima.

4.4. EUROFIX SUSTAV

Jedna od mogućnosti dopune satelitskih navigacijskih sustava je kombinacija sa zemaljskim navigacijskim sustavima, što omogućuje da se poveća pouzdanost i dostupnost usluga pozicioniranja korisnicima.

Sve primjene sa strogim sigurnosnim zahtjevima mogle bi se osnivati na satelitskom navigacijskom sustavu GPS, GLONASS, Galileo te hiperbolnom navigacijskom sustavu kao

zemaljskoj komponenti. Karakteristika rasprostiranja Loran-C- signala na frekvenciji 100 MHz potpuno je drugačija od satelitskih navigacijskih signala, a pouzdanost sustava je vrlo dobra zbog kontrole cjelovitosti Loran-lanaca [3]. Oba sustava, GPS i Loran-C, mogu se kombinirati zajedno radi poboljšanja dostupnosti i pouzdanosti, ali takva zajednička integracija neće neminovno dovesti do bolje preciznosti pozicioniranja i cjelovitosti rada navigacijskih sustava.

Osnovna točnost pozicioniranja kod Loran-C sustava ne može poboljšati SPS-uslugu GPS sustava, ali, kako infrastruktura već postoji, a uz relativno mala ulaganja, mogli bi se postojeći Loran-C lanci prilagoditi za emitiranje diferencijskih korekcija za DGPS-uslugu. Kao temeljna dopuna sustava za poboljšanje točnosti može poslužiti sustav Eurofix.

Sustav Eurofix spaja zemaljski i satelitski navigacijski sustav tako da emitira diferencijalne korekcije za GPS/GLONASS sustav, koristeći se 100 kHz-valom nositeljem Loran-C-lanaca. Eurofix-prijamnik spojen na GPS/GLONASS-prijamnik dekodira signal diferencijske korekcije, čime omogućuje poboljšanu točnost pozicioniranja [11].

Sustav je proradio početkom 1997. godine u sjevernoj Njemačkoj, gdje je Loran-C-lanac Stylt prilagođen za emitiranje diferencijskih korekcijskih signala. Taj se signal emitirao u području s radiusom od 1000 km oko Stylt odašiljača. Kontrolni Eurofix-prijamnik bio je postavljen na sveučilištu Delft University, udaljenom oko 400 km od odašiljača, kako bi se nadzirala emisija Loran-C-lanca i daljinski kontrolirali Eurofix-podaci. Točnost kod pozicioniranja koju je pokazao ovaj sustav bila je bolja od 3 m u 95% slučajeva. Koristeći se postojećom infrastrukturom NELS (Northwest European Loran-C System) uz DGPS-uslugu, moguće je, s vrlo velikom točnošću i pouzdanošću pokriti veliki dio europskog kontinenta.

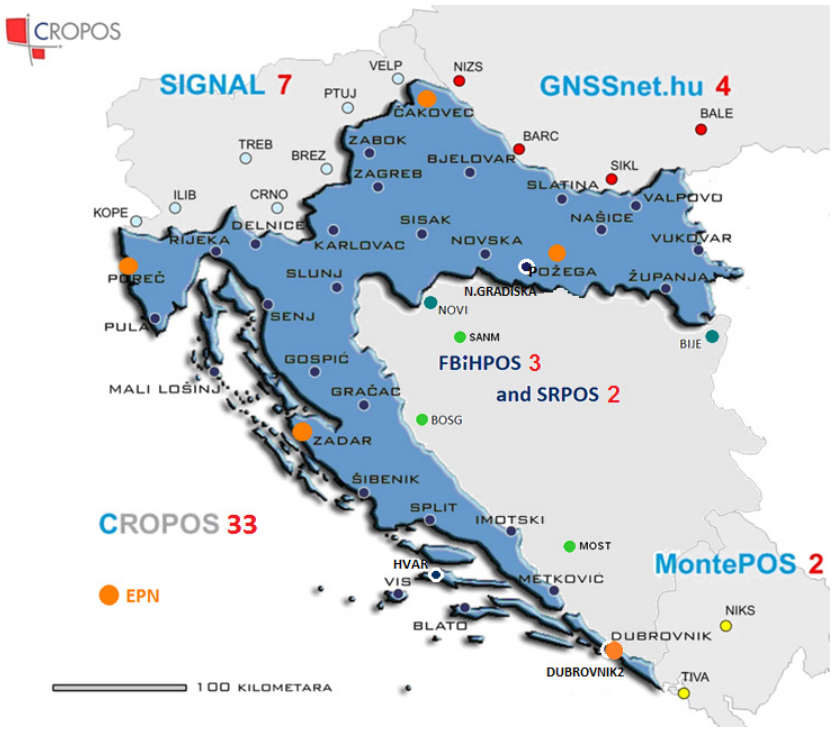
U današnje vrijeme već četiri odašiljača sjevernoeuropskih Loran-C lanaca emitiraju Eurofix-podatke. Osim Eurofix referentne stanice koja generira diferencijske korekcijske podatke sustav koristi i postaju koja neprestano prati cjelovitost rada navigacijskog sustava. Ova konfiguracija pokriva područje od North Capa u Norveškoj do pirenejskog poluotoka na jugu (Slika 14).



Slika 14. Pokrivenost Eurofix sustavom [14]

4.5. CROPOS SUSTAV

CROPOS (*engl. Croatian positioning system*) je državna mreža referentnih GNSS stanica Republike Hrvatske koja omogućuje određivanje položaja u realnom vremenu s točnošću od 2 cm u horizontalnom te 4 cm u vertikalnom smislu na čitavom području države. U svrhu povećanja kvalitete i pouzdanosti podataka u pograničnim područjima država sredinom 2009. godine uspostavljena je razmjena podataka pograničnih stanica sa Republikom Mađarskom, Republikom Slovenijom i Crnom Gorom, tako da su u umreženo rješenje i računanje korekcijskih parametara trenutno uključuje 43 referentne GNSS stanice. (Slika 15). [17]



Slika 15. CROPOS referentne stanice [17]

Sustav CROPOS se sastoji od 33 referentne GNSS stanice koje su udaljene 70 km jedna od druge a raspoređene su tako da prekrivaju cijelo područje Republike Hrvatske. Glavna svrha im je prikupljanje podataka satelitskih mjerenja i računanja ispravaka. Ispravci su tada dostupni korisnicima putem mobilnog Interneta (GPRS/GSM).

4.5.1. Karakteristike CROPOS sustava

Prikupljanje podataka 33 referentne GNSS stanice:

1. Razmjena podataka, mjerenja referentnih, GNSS stanica sa susjednim zemljama u realnom vremenu,
2. Umrežavanje i računanje korekcijskih parametara u realnom vremenu,
3. Distribucija podataka mjerenja i korekcijskih parametara korisnicima u realnom vremenu,
4. Distribucija podataka mjerenja korisnicima za post-processing obradu,
5. Praćenje rada sustava i podrška korisnicima,
6. Dostupnost sustava 24 h / 7 dana.

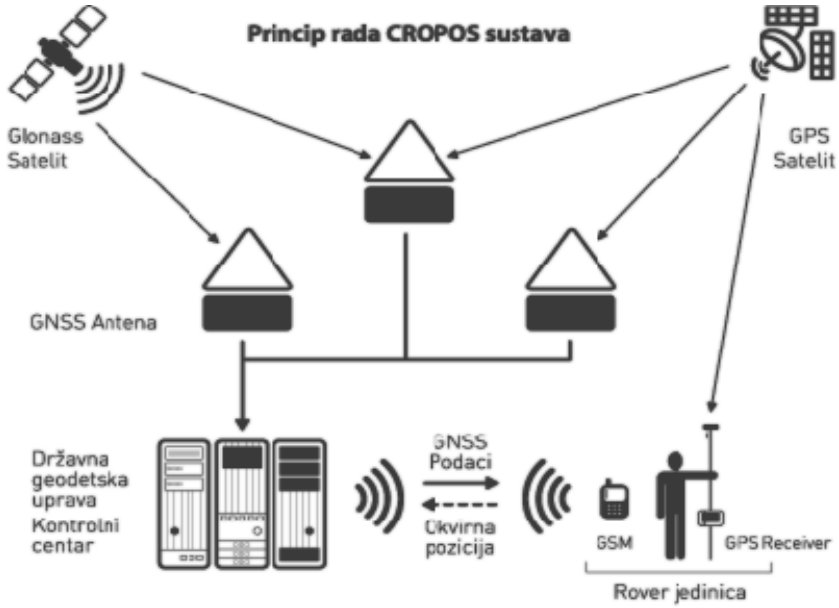
Državna geodetska uprava je 2011. godine predložila 5 CROPOS stanica za uključenje u EPN mrežu i nakon perioda kontrole i analize svih 5 stanica uspješno je uključeno u europsku permanentnu mrežu. CROPOS je 16. lipnja 2013. Godine dobio posljednju (petu) stacionarnu GNSS stanicu, pa od taka postoje CAKO (Čakovec), DUB2 (Dubrovnik), PORE

(Poreč), POZE (Požega) i ZADA (Zadar). Sve stanice uključene su u referentnu mrežu imena EPN. U EPN centrima se konstantno kontrolira kvaliteta pristiglih GNSS signala (opažanja) te dostupnost i konzistentnost podataka. Uspostavom sve većeg broja permanentnih GNSS mreža na području cijele Europe stvorena je kvalitetnija EPN osnova koja se po potrebi povećava.

Uz stalne GNSS stanice, uspostavljeni su i kontrolni računalni centri te lokalni i regionalni centri za obradu i analizu podataka opažanja. Podaci sa stalnih stanica koriste se za izračun i analize koordinata i brzina stanica u realnom vremenu i naknadnoj obradi te za različita znanstvena istraživanja (geodinamika, računanje referentnih okvira, praćenje potresa i drugo).

4.5.2. Koncept umreženih referentnih stanica

Sustav GNSS razvio je geodetske djelatnosti nizom promjena i novosti. Pojam referentni GNSS sustavi podrazumijeva GPS koji je američki sustav pozicioniranja, GLONASS koji je ruski, te europski sustav GALILEO koji je u fazi razvoja i uspostave. U navigacijskoj, kao i geodetskoj i zračnoj praksi, oduvijek se teži što većoj točnosti i pouzdanosti podataka uz minimalne materijalne izdatke. Do danas najbolji odgovor na te težnje daje koncept umreženih referentnih GNSS stanica.



Slika 16. Princip rada CROPOS sustava [17]

Uz pomoć umreženih referentnih stanica moguće je kontinuirana GNSS mjerenje (CORS – *engl. Continuosly Operating Reference Station*) te prijenos podataka (Slika 16) tih mjerenja u kontrolni centar iz kojeg je moguće daljinski upravljati referentnim stanicama. Na temelju primljenih podataka mjerenja računaju se korekcijski parametri za mjerenja različitih razina točnosti u realnom vremenu te izvorni podaci mjerenja za dodatnu obradu kod najviših zahtjeva točnosti. [17]

4.5.3. Usluge CROPOS sustava

Tri usluge CROPOS sustava međusobno se razlikuju po metodi rješenja, točnosti, načinu prijenosa podataka i formatu podataka a te usluge su:

1. DPS je diferencijalni pozicijski servis u realnom vremenu koji je namijenjen za primjenu u geoinformacijskim sustavima, preciznoj navigaciji, poljoprivredi, šumarstvu i slično.
2. VPPS je visoko precizni pozicijski servis u realnom vremenu koji je namijenjen za primjenu u katastru, inženjerskoj geodeziji, izmjeri državne granice, hidrografiji i slično.
3. GPPS je geodetski precizni pozicijski servis koji je namijenjen za primjenu u osnovnim geodetskim radovima, znanstvenim i geodinamičkim istraživanjima i slično.

5. ZAKLJUČAK

Kvalitetno određivanje pozicije je oduvijek imalo ogroman značaj u pomorstvu i zbog toga su takvi sustavi, naročito satelitski ostvarili veliki napredak, od povećanja točnosti do brzine prijenosa signala.

Povijesni razvitak satelitske navigacije započeo je početkom GPS navigacijskog sustava 60-ih godina u SAD-u a nastavio se ruskim GLONASS-om te europskim Galileom. Svi sustavi su se paralelno proširivali lansiranjem novih satelita i razvijanjem zemaljske opreme.

U samim počecima razvoja, ovi sustavi su bili puno manje točni i pouzdani nego u današnje vrijeme kada je uz pomoć dodatnih satelita i zemaljskih stanica (kao kod diferencijalnog GPS-a i SBAS sustava) moguće odrediti poziciju sa greškom od svega 1 do 2 metra.

Sa integracijom satelitskog sustava u ostale navigacijske sustave osim veće preciznosti kod određivanja pozicije, proširenjem spektra informacija povećana je opća sigurnost plovidbe. Današnja i buduća e-navigacija razvija se na temelju sve strožih sigurnosnih zahtjeva.

6. LITERATURA

[1] E. D. Kaplan, Understanding GPS Principles and Applications, Artech House Publishers 1996

[2] Benković, F, et al. *Terestrička i elektronska navigacija*, Hidrografski institut ratne mornarice, Split, 1986.

[3] G. Abwerzger, J. Beyer, K. Legat, M. Maurer, D. Meinhard, J. Pfister, D. van Willigen, GLORIA Integrating GNSS and Loran-C for High- -Requirement Applications, Galileo's World, Autumn 2001, pp. 10-16

[4] Eugen, M.: *Navigacijska automatizacija*, diplomski rad, Viša pomorska škola, Split, 1979.

[5] Kos,Serđo; Zorović,Dinko; Vranić,Duško: *Terestrička i elektronička navigacija*, skripta, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2010.

[6] International Maritime Organization (IMO). Maritime Safety Committee 85th session , cirkularno pismo, MSC 85/26 19. prosinca 2008. , London.

[7] http://www.kartografija.hr/old_hkd/obrazovanje/prirucnici/gpspoc/gpspoc.htm (pristupljeno 05.06.2018.)

[8] http://repozitorij.fsb.hr/1148/1/30_11_2010_Kucic_Alen-Diplomski_rad.pdf (pristupljeno 11.7.2018.)

[9] https://hr.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System (pristupljeno 07.06.2018.)

[10] http://www.furuno.com/en/merchant/ecdis/carriage/ (pristupljeno 04.06.2018.)

[11] http://www.nels.org/Source/eurofix_service.htm (pristupljeno 06.06.2018.)

[12] http://www.senecav.uk/pbn-training/principles-of-gps/ (pristupljeno 06.06.2018.)

[13] https://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-5-resolving-errors/satellite-based-augmentation-systems/ (pristupljeno 07.06.2018.)

[14] https://www.researchgate.net/publication/27193673_POBOLJSANJE_SUSTAVA_SATELITSKE_NAVIGACIJE (pristupljeno 07.06.2018.)

[15] http://www.navipedia.net/index.php/SBAS_Systems (pristupljeno 07.06.208.)

[16] http://www.sapmag.com.hr/show_article.php?id=152 (pristupljeno 06.06.2018.)

[17] http://www.cropos.hr/ (pristupljeno 05.06.2018.)

[18] http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=43128 (pristupljeno 07.06.2018.)

[19] https://bib.irb.hr/datoteka/362839.2_lusic_kos_krile2.pdf (pristupljeno 07.06.2018.)

[20] https://en.wikipedia.org/wiki/Sputnik_1 (pristupljeno 04.06.2018.)

[21] https://en.wikipedia.org/wiki/Loran-C (pristupljeno 08.06.2018.)

[22] https://dobarzivot.net/vise/nautika/kompletan-vodic-voditelj-brodice-od-a-do-z/ (pristupljen 08.06.2018.)

[23] https://hr.wikipedia.org/wiki/%C5%BDiroskop#/media/File:3D_Gyroscope.png (pristupljeno 08.06.2018.)

7. POPIS SLIKA

Slika 1. LORAN primač signala 5
Slika 2. Radarska slika 6
Slika 3. Princip rada žiroskopa 7
Slika 4. Podmornica Nautilus- Prva podmornica na nuklearni pogon 9
Slika 5. Shema Inercijalnog navigacijskog sustava 10
Slika 6. Sputnik 1 - Prvi umjetni satelit 13
Slika 7. Transit- Prvi navigacijski satelitski sustav 17
Slika 8. Sateliti GPS sustava 19
Slika 9. Diferencijalni GPS sustav 24
Slika 10. ECDIS- Suvremeni računalni program e-navigacije 26
Slika 11. Poboljšanje točnosti pozicije preko SBAS satelita 27
Slika 12. WAAS sustav 28
Slika 13. Pokrivenost svijeta SBAS sustava 31
Slika 14. Pokrivenost Eurofix sustavom 33
Slika 15. CROPOS referentne stanice 34
Slika 16. Princip rada CROPOS sustava 35