

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Hrvoje Svrtnan

**UGRAĐENI NAVIGACIJSKI SUSTAVI CESTOVNIH
VOZILA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2016.

Zagreb, 20. travnja 2016.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Lokacijski i navigacijski sustavi**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 3669

Pristupnik: **Hrvoje Svrtnan (0035184822)**
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Ugrađeni navigacijski sustavi cestovnih vozila**


Opis zadatka:

Opisati satelitske navigacijske sustave koji omogućavaju lociranje i navesti njihove značajke s obzirom na raspoloživost i preciznost. Analizirate metode koje omogućavaju točno određivanje položaja vozila na digitalnoj karti. Objasniti potrebu za integracijom inercijskih sustava ili putomjernih senzora vozila sa satelitskim navigacijskim sustavom. Objasniti način integracije podataka iz više senzora u cilju poboljšanja ukupne točnosti sustava i postizanje što veće autonomije pri pozicioniranju.

Zadatak uručen pristupniku: 23. ožujka 2016.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



doc. dr. sc. Mario Muštra

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**UGRAĐENI NAVIGACIJSKI SUSTAVI CESTOVNIH
VOZILA**

**EMBEDDED NAVIGATION SYSTEMS IN ROAD
VEHICLES**

Mentor: doc. dr. sc. Mario Muštra

Student: Hrvoje Svrtan, 0035184822

Zagreb, rujan, 2016.

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Satelitski navigacijski sustavi.....	2
2.1. Razvoj satelitskih navigacijskih sustava.....	2
2.2. GPS	3
2.3. GLONASS	6
2.4. GALILEO	8
2.5. COMPASS.....	10
2.6. IRNSS	11
2.7. QZSS	11
3. Točnost satelitskih navigacijskih sustava.....	12
4. Određivanje položaja vozila na digitalnoj karti	16
5. Putomjerni senzori u vozilima.....	19
6. Integracija podataka o položaju vozila uz pomoć GNSS-a i putomjernih senzora	25
7. Zaključak	30
8. Literatura	32
Popis slika	34
Popis tablica	35

1. Uvod

Od nastanka svijeta ljudi su tražili razne načine i metode kako bi odredili svoj položaj u prostoru. Točno određivanje položaja je od velike važnosti jer se na osnovu tih podataka ravnaju svi ostali sustavi.

Prvo poglavlje ovog rada opisuje sam razvoj satelitskih navigacijskih sustava te neke od najznačajnijih globalnih satelitskih navigacijskih sustava kao što su GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS, ali i na regionalne satelitske navigacijske sustave kao što su IRNSS i QZSS te će se ukratko objasniti njihove osnovne značajke i karakteristike. Za sam razvoj satelitskih navigacijskih sustava je bitno reći da je počeo u Americi početkom 1960-tih godina.

Drugo poglavlje dati će pregled na točnosti satelitskih navigacijskih sustava. Točnost je bitna zato što predstavlja stupanj poklapanja između procijenjene ili izmjerene pozicije s pravom pozicijom u danom vremenu, a obično se predstavlja kao relativna, predvidljiva i ponovljiva.

Nakon toga, slijedeće poglavlje će govoriti o određivanju položaja vozila na digitalnoj karti pa će se ukratko objasniti funkcije digitalnih karata i njihove osnovne vrste.

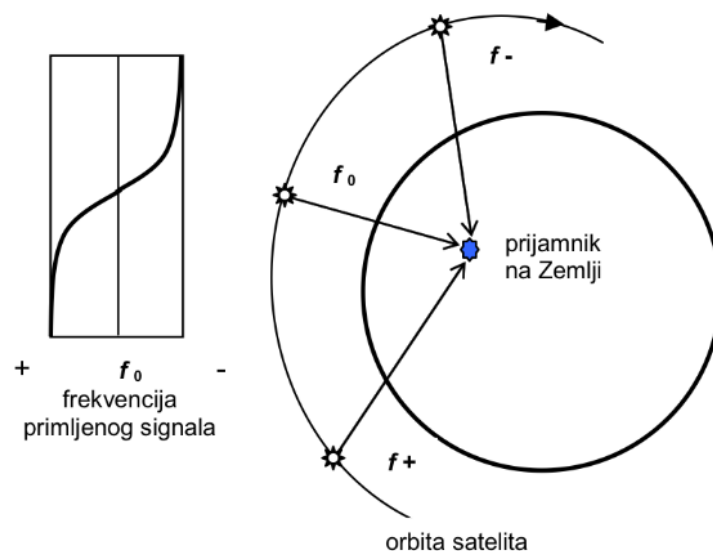
Inercijska navigacija je značajna budući da se radi o procesu mjerenja vremenske ovisnosti vektora akceleracije na samom objektu upravljanja, da bi se integriranjem mjerenih podataka odredili vektori brzine i pozicije objekta upravljanja u odnosu na položaj u trenutku lansiranja, kretanja ili polijetanja pa će se u ovom poglavlju naglasak staviti upravo na inercijski navigacijski sustav te inercijske navigacijske senzore.

Posljednje poglavlje naglasak stavlja na integraciju podataka o položaju vozila uz pomoć GNSS-a i putomjernih senzora. Integracija GPS i INS je započela još 1980. godine, a njome se poboljšavaju karakteristike jednog, odnosno drugog navigacijskog sustava na osnovu komplementarnosti informacija koje omogućavaju, koje su uvjetovane različitim karakterom grešaka u jednom, odnosno drugom navigacijskom sustavu.

2. Satelitski navigacijski sustavi

2.1. Razvoj satelitskih navigacijskih sustava

Početakom 1960-tih godina u Americi je započeo razvoj satelitskog navigacijskog sustava za utvrđivanje pozicije, koji je trebao omogućiti globalno pokrivanje, kontinuirani rad u svim vremenskim uvjetima i visoku preciznost, a prvi satelitski navigacijski sustav nazvan Transit rabi se od 1964. godine [1]. Djelovanje sustava Transita bazirano je na Dopplerovu efektu: sateliti su putovali na poznatim putanjama te su emitirali signale na poznatim frekvencijama. Kod sustava Transit mjerile su se promjene frekvencije odaslanog sustava unutar utvrđenih vremenskih intervala, do čega dolazi zbog promjene udaljenosti odašiljača (satelita) od prijamnika. Na slici 1. vidimo promjenu frekvencije signala uslijed gibanja satelita u odnosu na prijamnik na Zemlji uzrokovanu Dopplerovim efektom.



Slika 1. Dopplerov princip u sustavu Transit [1]

Satelitski navigacijski sustavi omogućuju određivanje položaja, brzina i drugih veličina na temelju radijskih valova primljeni sa satelita, a uobičajeno je da se navigacijski sateliti postavljaju u orbite na visinama od 800 km do 36.000 km kako bi se pokrila što veća površina na Zemlji [1]. Osnovna prednost satelitskih navigacijskih sustava u usporedbi sa zemaljskim je u činjenici da se s relativno malim brojem odašiljača (satelita) može pokriti cijela zemaljska kugla [2].

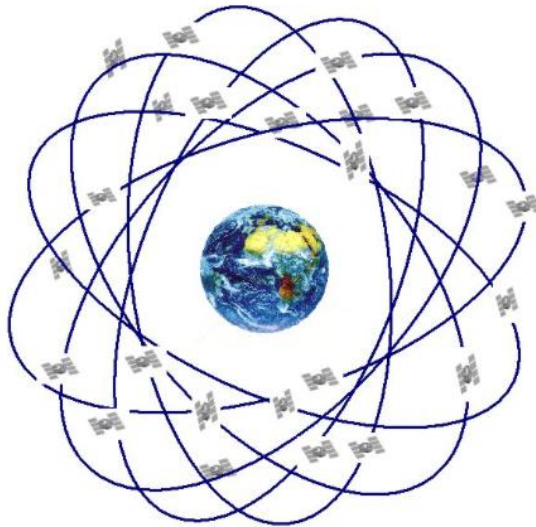
S obzirom na konstelaciju i mali broj satelita u sustavu Transit, dostupnost satelita nije bila velika jer je na njegovu pojavu iznad obzora, ovisno o geografskoj širini, trebalo čekati u prosjeku po 30 minuta, a na bilo kojoj poziciji satelit se mogao pratiti oko 16 minuta. Svako procesiranje signala kako bi se utvrdila pozicija trajalo je 10 do 15 minuta, a ova svojstva su otežavala korištenje sustavom za objekte koji se brzo kreću pa se on uglavnom upotrebljavao u pomorstvu i za geodetska mjerenja. Napušten je 1996. godine, nakon 32 godine neprekidnog rada. [1]

Program DNSS (eng. *Defense Navigation Satellite System*) ustanovljen je 1969. godine i sjedinio je sva istraživanja na usavršavanju satelitske navigacije za vojne svrhe Ratne mornarice i Ratnog zrakoplovstva SAD-a te je nastao koncept NAVSTAR GPS (eng. *NAVigationSatellite Timing And Ranging Global Positioning System*) koji se zasnivao na mjerenjima udaljenosti do satelita, što se svodi na mjerenje vremena potrebnog da signal emitiran sa satelita s poznatom pozicijom stigne do prijamnika. [3]

2.2. GPS

GPS je kratica za *Global Positioning System*, odnosno Sustav za globalno pozicioniranje, a sustav čini mreža od 32 satelita koji kontinuirano šalju kodirane informacije putem vrlo slabih radio signala omogućujući prijamniku precizno određivanje položaja na Zemlji. Sustav GPS omogućuje određivanje trodimenzionalne pozicije prijamnika - geografska širina i duljina te nadmorska visina, točnosti do nekoliko metara, a isto tako omogućuje precizan izračun brzine, ali i vremena uz odstupanje ne veće od par nanosekundi. Sustav je razvijen od strane Ministarstva obrane SAD-a, a prvi GPS satelit je lansiran u orbitu 1978. godine, a 1994. godine je lansiran 24. satelit čime je upotpunjen sustav. [4]

Sustav GPS bio je primarno namijenjen za vojne svrhe, ali je američki kongres dopustio i njegovu civilnu uporabu pa se navigacijskim sustavom može koristiti neograničen broj korisnika.[1] Tako je sustav od 1980. godine do danas našao primjenu u brojnim civilnim svrhama poput automobilske navigacije, planinarstva, ribolovstva, biciklizma i mnogim drugima, a svoj najveći razvoj je doživio upravo u posljednjih desetak godina znatnim unaprjeđenjem proizvodnje i dostupnosti GPS prijamnika. [4]

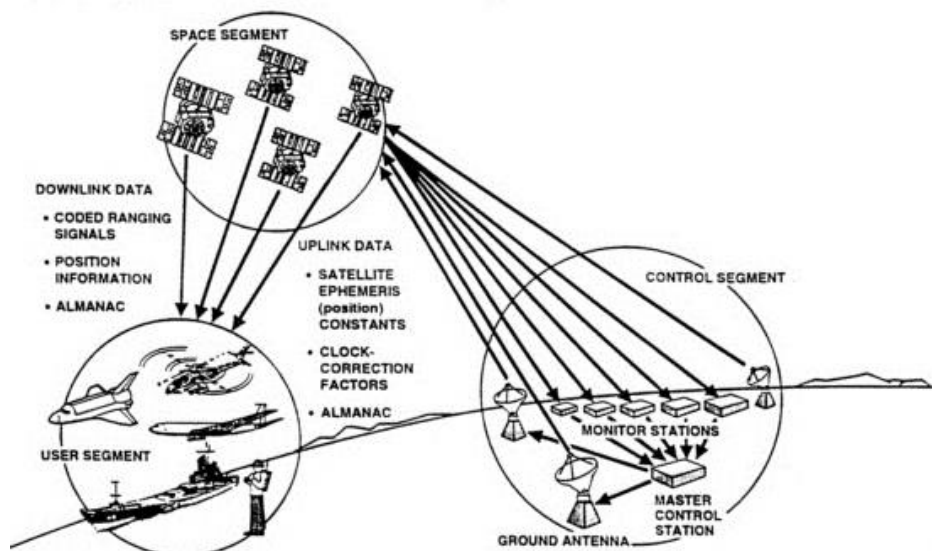


Slika 2. Konstelacija GPS satelita [4]

Sustav GPS se sastoji od triju cjelina:

- a) svemirski segment,
- b) kontrolni segment i
- c) korisnički segment.

Na slici 2. se vidi prikaz konstelacije GPS satelita. Svemirski segment čine sateliti, a oni se gibaju u približno kružnim orbitama oko Zemlje pa su tako 32 satelita raspoređena u 6 orbitalnih ravnina, nagib, odnosno inklinacija, orbitalne ravnine je 55° prema ekvatoru, a visina im je 20.183 km. Treba reći kako vrijeme obilaska satelita iznosi 11 h i 58 min. [1] Satelitski signali odašilju se vrlo malom snagom, od 20 W - 50 W, pa je zato važno da pri upotrebi GPS-a postoji jasan pogled na nebo. Navigacijska poruka (informacija koju satelit šalje prijammniku) sadrži orbitalnu i vremensku informaciju satelita, generalnu sistemsku statusnu poruku i ionosfersku korekciju, a satelitski signali su vremenski upravljani preciznim atomskim satovima. Krajem 2008. godine u Zemljinoj orbiti su se nalazila 32 aktivna satelita, a novcem iz proračuna Ministarstva obrane SAD-a se financira kupnja novih satelita, što ima za cilj održavanje postojećeg sustava, ali i povećanje preciznosti izračuna GPS prijammnika povećanjem broja signala, a raspored satelita po orbitama je uvjetovan poboljšanom pouzdanosti i dostupnosti sustava. [4]



Slika 3. Komponente GPS-a [5]

Na slici 3. vidimo prikaz komponenti GPS-a. Kontrolni segment upravlja cijelim sustavom, on se nadzire s pomoću sustava zemaljskih stanica raspoređenih po cijeloj Zemlji. Obuhvaća Master kontrolnu postaju, monitorske opažачke stanice i zemaljske kontrolne stanice [1]. Kontrolni segment kontrolira GPS satelite, odnosno upravlja njima prateći ih i dajući im ispravljene orbitalne i vremenske informacije. Postoji pet kontrolnih stanica širom svijeta (Hawaii, Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein i Colorado Springs), od kojih su četiri stanice bez ljudi, koje služe za nadgledanje i jedna glavna kontrolna stanica. Četiri prijamne stanice bez ljudi neprekidno primaju podatke od satelita i šalju ih glavnoj kontrolnoj stanici, a glavna kontrolna stanica ispravlja satelitske podatke i šalje ih natrag GPS satelitima. [4]

Što se tiče korisničkog segmenta, njega čine svi korisnici sustava za globalno pozicioniranje i njihovi prijammnici. Dvije su kategorije korisnika: autorizirani i neautorizirani pa tako u autorizirane spadaju američka vojska i posebne državne službe, a u neautorizirane svi ostali civilni korisnici širom svijeta. Što se tiče vojne primjene, GPS prijammnici se rabe u zrakoplovima, brodovima, kopnenim vozilima, raketama pa čak i za pješачke jedinice, dok je civilna uporaba u početku bila samo navigacijska, a poslije se proširila na sve vrste geodetskih i inženjerskih radova, u svim granama djelatnosti vezanim za prostor pa se kao mali prijenosni uređaji za individualne korisnike sve masovnije rabe za sport i rekreaciju, a sve češće se ugrađuju i u osobne automobile kao dio sustava za navigaciju, što treba pridonijeti povećanoj sigurnosti prometa.



Slika 4. GPS - svemirski, kontrolni i korisnički segment [4]

GPS mjerenja su zasnovana na konceptu „jednostrukog puta signala“ uz primjenu dva sata (jedan na satelitu, drugi na prijammniku), a mjerena udaljenost dobiva se iz mjerenja vremena (ili faznih razlika) na temelju usporedbe između primljenog sa satelita i u prijammniku stvorenog signala. Prilikom mjerenja potrebno je uzeti također u obzir i izvore pogrešaka koji će bitno utjecati na točnost rezultata, o tome nešto više u idućem poglavlju.

2.3. GLONASS

Razvoj navigacijskog sustava GLONASS (rus. *Globalnaja Navigacionaja Sputnikovaja Sistema*) počinje 1970. godine, kao nastavak razvoja i uspješnog rada niskoorbitalnog SRNS (Satelitski radionavigacijski sustav) sustava Tscada. Prvi sateliti sustava GLONASS (Cosmos - 1413 - 1414 - 1415) lansirani su u orbitu 1982. godine, a do 1991. godine lansirano je ukupno 12 funkcionalnih satelita, s pomoću kojih se mogla određivati globalna pozicija korisnika, čime je počela druga faza korištenja sustavom, a planirano je da GLONASS postane osnovni navigacijski sustav u Rusiji za sva vozila. [6]

GLONASS-a čini sustav geostacionarnih satelita koji vrteći se oko matičnog planeta metodom trigonometrije definiraju ciljeve na površini Zemlje te prijammniku šalju podatke o njegovoj poziciji, a pokrivenost mu čini Ruska Federacija i države u susjedstvu. Ovaj projekt

je državni, no međutim ruske vlasti u izgradnji ovog sustava traže i sudjelovanje privatnih gospodarskih subjekata.

Sustav GLONASS se neprestano unapređuje i modernizira, a to uključuje modernizaciju zemaljskog sustava nadzora i poboljšanja satelitskog segmenta, da bi im se produžio životni vijek.

Najvažnija razlika između GPS-a i GLONASS-a je planirano vrijeme trajanja satelita pa dok je prva generacija GLONASS-ovih satelita bila predviđena da traje svega dvije godine, prva je generacija GPS-ovih satelita planirana na trajanje 7,5 godina. Druga generacija GPS satelita je lansirana između 1989. i 1997. godine trajala je između deset godina, a predzadnja generacija GLONASS satelita je planirana na trajanje od tri godine. Najnovija generacija GLONASS satelita planirana je za rok trajanja od sedam godina. Tijekom 2004. godine lansirani su prvi sateliti M serije, tako da je krajem te godine u orbitama bilo 13 satelita. [7]

Slično kao i za GPS, u GLONASS se C/A - kôd emitira samo na nositelju L1, a P - kôd na oba nositelja, L1 i L2. Prijamnici za C/A - kôd koriste se samo L1 nositeljem, a prijamnici za P - kôd mogu mjeriti pseudoudaljenost na obje frekvencije, što im omogućuje korekcije ionotransferske refrakcije. Brzina C/A - kôda je 0,511 Mbit/s, a P-kôda 5,11 Mbit/s, a ti su kodovi pseudoslučajne sekvence PRS (eng. *PseudoRandomSequence*). C/A - kôd od 511 bitova ponavlja se svake 1 ms. Sustav GLONASS odašilje dva tipa navigacijske poruke, jednu uz C/A - kôd, a drugu uz P - kôd, a obje poruke se emitiraju brzinom od 5 bit/s. Treba reći da podaci sadrže navigacijsku poruku svakog satelita i cjelokupnu konstelaciju ostalih satelita te raspored kanala. [1]

GLONASS sustav je u 2010. godini (25.01.) imao 18 aktivnih satelita i jedan u pričuvi, a danas ih ima preko 30. 2008. godine je ruska vlada objavila promjenu FDMA (eng. *Frequency Division Multiple Access*) na frekvencijama L1 i L2 pa su tako signali imali binarnu Offset - Carrier strukturu BOC (2,2) sa srednjom frekvencijom od 1.575,42 MHz i BOC (4,4) strukturu na frekvenciji 1.176,45 MHz, a te frekvencije odgovaraju i L1 i L5 frekvencijama GPS-a i približno odgovaraju Galileo-ovim i COMPASS-ovim signalima [8].

2.4. GALILEO

Satelitski navigacijski sustav Galileo je europski odgovor na američki sustav poznat pod oznakom GPS, a radi se o sustavu satelita gdje se metodom geometrijske trilateracije definiraju podaci o poziciji prijammnika satelitskih signala na površini Zemlje. Sustav, garantirajući globalnu uslugu pod civilnom kontrolom, ima vojnu namjeru, ali služi i u komercijalne svrhe. Galileo je europski program za satelitsko radio - navigacijsko pozicioniranje, a pokrenut je od strane Europske Komisije i razvijen zajedno sa Europskom svemirskom agencijom, a Europska unija se odlučila na samostalni projekt između ostalog i zato što u slučaju ratnih događanja vlasnik sustava može višestruko djelovati na borbenu gotovost zrakoplovnih snaga na tom području.

Glavne karakteristike sustava Galileo su:

- a) nezavisnost od drugih satelitskih navigacijskih sustava,
- b) interoperabilitet s GPS-om,
- c) postojanje različitih servisa (npr. otvorenog, sigurnosno-kritičkog, reguliranog),
- d) implementiranje servisa integriteta (na području i izvan Europe),
- e) neovisnost servisa integriteta od Galileo kontrolnog sustava (GCS) te
- f) globalni servisi (Search & Rescue, servis navigacijskih podataka),
- g) globalno pozicioniranje i globalna dostupnost skale vremena na osnovi globalne konstelacije satelita,
- h) regionalne komponente sustava (monitoring i up-link stranice),
- i) integracija s regionalnim sustavima npr. s EGNOS-om,
- j) kompatibilnost s UMTS (mrežama mobilnih telefona. [9])

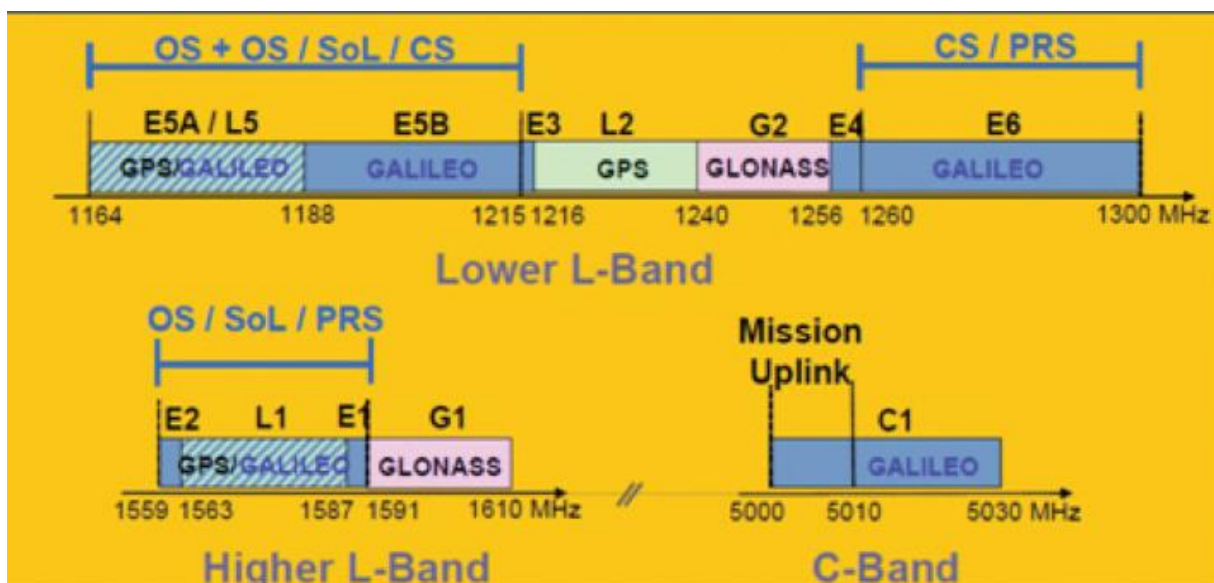
Razvoj infrastrukture sustava planiran je u tri faze:

- a) planiranje i istraživanje (od 2002. do 2005. godine),
- b) razvoj (od 2006. do 2007. godine) te
- c) komercijalna primjena (od 2008. godine.).

Prvi korak u realizaciji projekta bio je osnivanje agencije EGNOS (eng. *European Geostationary Navigation Overlay Service*) koja je organizirana 2004. godine, a usluge koje će Galileo pružati su svrstane u pet grupa:

- 1) Otvorene usluge (OS - Open Service),
- 2) Usluge spašavanja ljudskih života (SoL - Safety of Life Service) ,
- 3) Usluge javne sigurnosti ili PRS usluge (Public Regulated Service),
- 4) Usluge traganja i spašavanja (SAR - Search and Rescue),
- 5) Komercijalne usluge. [10]

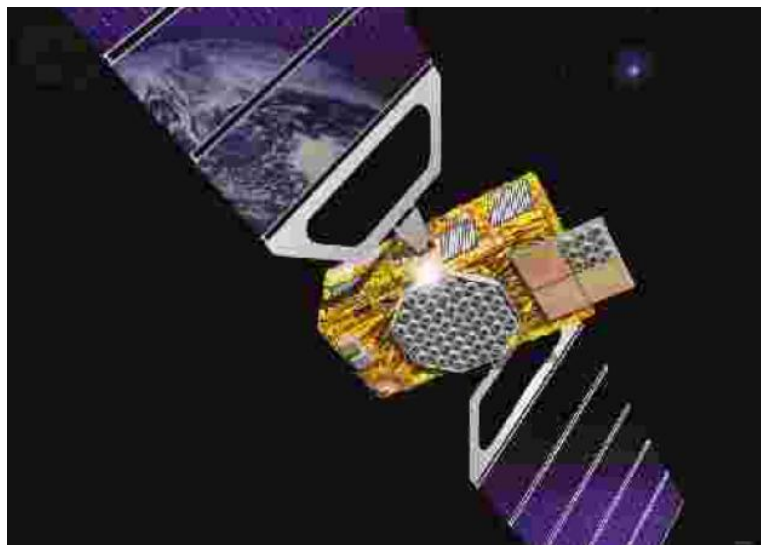
U okviru razvojne faze, prvi Galileo satelit GIOVE-A (eng. *Galileo in Orbit Validation Element*) razvila je tvrtka Survey Satellite Technology Limited (SSTL), a lansiran je 28. prosinca 2005. godine s raketom Sojuz. Satelit ima masu 600 kg s volumenom 1,1*1,3*1,4. Drugi satelit je trebao biti lansiran početkom 2006. godine, a njega je radio prijašnji Galileo Industries, konzorcij koji je imao tehničkih problema s glavnim elementima satelita pa je lansiran tek 26. travnja 2008. godine s višegodišnjim zakašnjenjem. Sredinom prosinca 2009. godine je naručena izgradnja 14 Galileo satelita za 566 milijuna eura kod OHB System AG tvrtke u Bremenu. Značajno je da su dosadašnja opsežna ispitivanja signala i frekvencija Galilea dala inicijativu za modernizaciju GPS-a, GLONASS-a i putokaz za izgradnju COMPASS-a. [8]



Slika 5. Pregled signala i servisa sustava Galileo [8]

Na slici 5 vidi se pregled signala i servisa Galileo-a. Zemaljski segment Galileo-a sastojat će se od Kontrolnog segmenta za upravljanje sustavom, koji ima zadaću određivanja putanje i vremena satova satelita (GSC - eng. *GroundControlSegment*) i segmenta za nadzor integriteta sustava (IDS - eng. *IntegrityDeterminationSystem*).

Galileo će istovremeno biti interoperabilan sa američkim GPS-om i ruskim GLONASS-om, a kada bude u potpunosti u funkciji Galileo će se sastojati od 30 satelita i potrebne infrastrukture na zemlji, bit će precizniji od postojećih sustava (točnost od 1 m), a kao i kod sustava GPS, osnovne funkcije će biti besplatne i svima dostupne.



Slika 6. Planirani izgled satelita sustava Galileo [8]

2.5. COMPASS

Kina je naznačila da namjerava proširiti svoj regionalni navigacijski sustav nazvan Beidou u globalni navigacijski sustav, a kineska službena novinska agencija Xinhua je nazvala ovaj program COMPASS.

COMPASS se sastoji iz dvije komponente:

1. od jednog regionalnog navigacijskog sustava koji služi za komunikaciju i
2. globalnog navigacijskog satelitskog sustava.

U konačnoj verziji sustav bi imao 35 satelita, a Kina je ITU (eng. *Internationalen Telekommunikations Union*) prijavila 27 satelita na srednjoj visini od 21.500 km (MEO-orbit) s kutom inklinacije putanje od 55° , s frekvencijama odašiljanja 1.207,14 MHz, 1.268,52 MHz, 1.561,1 MHz i 1.589,74 MHz s QPSK modulacijom i CDMA tehnologijom koja je interoperabilna s GPS-om i Galileo-om [8].

2.6. IRNSS

Ovaj indijski regionalni satelitski sustav je u razvoju od 2006. godine od strane Indijske svemirske agencije (ISRO). IRNSS (eng. *Indian Regional Navigational Satellite System*) bi se sastojao od konstelacije od 7 navigacijskih satelita, a svih 7 satelita bit će postavljeno u geostacionarnu orbitu (GEO) kako bi signal imao jači trag, a manji broj satelita bio dovoljan za stavljanje regije na kartu. Tri satelita bi imala geostacionarnu putanju, a preostala četiri bi imala geosinkronizirane putanje s nagibom putanja od 29° .

Namjera je da se pruži točnost apsolutne pozicije na manje od 20 m širom Indije te unutar regije prostirući se približno 2.000 km oko nje.

2.7. QZSS

QZSS je japanski Kvazizenitni satelitski sustav (eng. *Quasi-Zenith Satellite System*) koji je predloženi trisatelitski regionalni vremenski transferni sustav te poboljšanje za GPS koji pokriva Japan.

On s kombinacijom GPS satelita treba omogućiti opažanja na točkama sa zaklonom horizonta u japanskim gradovima i brdima. Taj sustav se sastoji od tri kvazi geostacionarna satelita sa geosinkroniziranim putanjama, a lansiranje prvog satelita planirano je u 2009. godini. Vertikalni kut jednog od tri satelita biti će uvijek veći od 70° na južnom području Japana, a u japanskim gradovima uvjet za GPS satelite u 60 % slučajeva je da je faktor PDOP < 6, a kombinacijom GPS + QZSS sustava ovaj podatak se mijenja i iznosi oko 90 % [8].

Tako će QZSS sateliti na frekvenciji L1 imati novi kod L1C, a slati će signale i na frekvencijama L2, L5 i E5/E6.

3. Točnost satelitskih navigacijskih sustava

Navigacijski sustav mora zadovoljiti više sigurnosnih zahtjeva, a to su točnost, cjelovitost, raspoloživost i kontinuitet. Točnost (eng. *accuracy*) predstavlja stupanj poklapanja između procijenjene ili izmjerene pozicije s pravom pozicijom u danom vremenu. Radionavigacijska točnost se obično prikazuje kao :

- a) Predvidiva - točnost pozicije u odnosu na geodetske ili geografske koordinate Zemlje,
- b) Ponovljiva - točnost s kojom se korisnik može vratiti na poziciju koordinata izmjerenih s istim navigacijskim sustavom prije toga,
- c) Relativna - točnost kojom korisnik može utvrditi jednu poziciju relativno u odnosu na drugu bez obzira na pogrešku stvarne pozicije. [8]

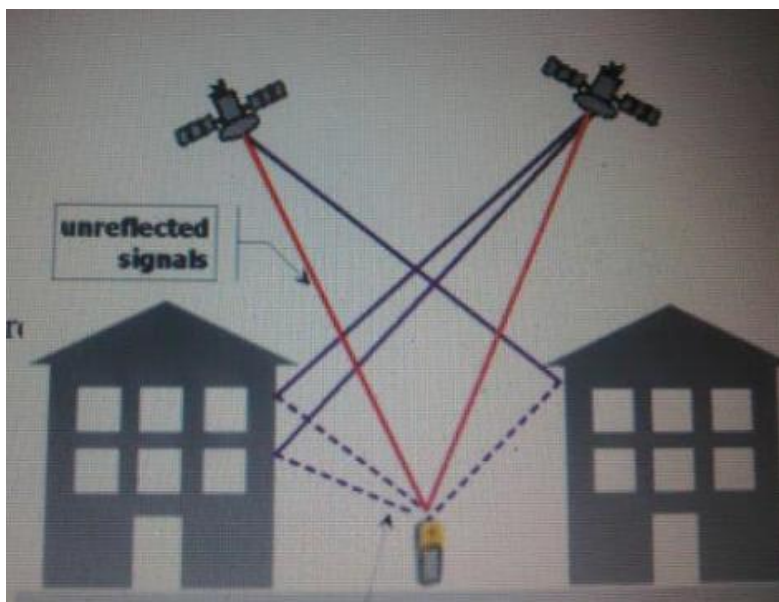
Točnost s kojom GPS prijamnik određuje poziciju ili brzinu korisnika, zavisi od složenog utjecaja različitih faktora. Općenito, ona zavisi od kvaliteta pseudoslučajnog mjerenja daljine i podataka dobivenih na osnovu satelitskog ephemerisa. Posebno je važna točnost kompenzacije ostalih grešaka koje nastaju na liniji satelit - prijamnik. Sistemske greške nastaju u kontrolnom segmentu, satelitu i korisničkom segmentu. Točnost GPS-a kao veličina koja zavisi od točnosti pseudoslučajne udaljenosti, izražava se na osnovi ekvivalentne greške mjerenja daljine. Obično se pojedinačne komponente ukupne greške razmatraju neovisno. Točnost GPS rješenja pozicije/vremena izražava se kao proizvod „faktora geometrije“ (položaj GPS satelita u odnosu na prijamnik) i faktora pseudoslučajne greške mjerenja udaljenosti, odnosno greška GPS rješenja pozicije prijemnika, može se procijeniti pomoću jednadžbe ;

[11]

Satelitska navigacija je disciplina elektroničke navigacije koja se bavi problemom vođenja pokretnog objekta najkraćim, najsigurnijim i najekonomičnijim putem temeljem prijema i procesiranja signala odašiljanih putem satelita. Određivanje položaja u zajedničkom koordinatnom sustavu temelji se na mjerenju vremena potrebnog da satelitski signal prijeđe udaljenost od satelitske do antene korisničkog prijemnika. Također, određivanje položaja

satelitskim sustavima temelji se na vremenu propagacije (širenja) satelitskog signala od satelitske odašiljačke antene do antene korisničkog prijammnika. Mjerenje vremena je evkivalentno mjerenju udaljenosti od pojedinog satelita do korisničke antene - trilateracija. GPS prijammnik s obzirom na primljene poruke određuje vrijeme, prema tome i trenutni položaj satelita. Središtem glavne sfere smatra se položaj satelita, na čijoj se površini nalazi prijammnik, blizu ili na samom sjecištu četiri takve sfere. Položaj je određen uporabom trilateracije, a točan položaj prijammnika za objekte koji se nalaze na zemlji jest onaj najniži u odnosu na četvrti satelit. Vrijeme putovanja signala, vremenski uvjeti, odbijanje signala od površine zemlje, greške na unutarnjem satu prijammnika, loša pozicija satelita te promjena same putanje, otežavaju određivanje pozicije.

Odbijanje signala o površine se događa najčešće u gradovima sa visokim zgradama ili planinskim područjima. Naime, unutarnji sat GPS prijammnika i GNSS satelita s kojim komunicira značajno prouzrokuju greške. Sateliti sadrže atomske satove koji u sebi imaju vrlo malo kašnjenje, dok GNSS prijammnici jeftiniji za široku prodaju nemaju precizne satove te su samim time osjetljivi na pseudo domet (procijenjeni položaj satelita u određenom trenutku). Time je potrebno iskoristiti četvrti satelit, kako bi se njegovim položajem ispravila nastala greška.



Slika 7. Ilustracija pogreške zbog odbijanja signala (izvor : www.web.cecs.pdx.edu,2014)

Na položaj satelita znatno utječe i točnost mjerenja pa tako primjerice, ukoliko se isti nalaze veoma blizu jedan drugoga, povećava se područje njihovih sjecišta te mogućeg položaja tražene pozicije, a taj se problem naziva „satelitska geometrija“. Greške satelitske geometrije

ne smanjuju točnost same po sebi, već umnožavaju greške drugih faktora, a to dovodi do stvaranja DOP greške pa zbog iste možemo imati i do 150 m greške u određivanju položaja [12].

DOP greške možemo podijeliti na:

- 1) GDOP – geometrijske greške, utječu na točnost, koordinate u prostoru te vrijeme,
- 2) PDOP – pozicijske greške, utječu na koordinate u prostoru,
- 3) HDOP – horizontalne greške, utječu na horizontalnoj ravnini,
- 4) VDOP – vertikalne greške, utječu na visinu,
- 5) TDOP – vremenske greške, utječu na vrijeme.



Slika 8. Prikaz različitih geometrijskih satelita (izvor: www.kowoma.de, 2014)

Na slici 8. se vidi prikaz različitih geometrijskih satelita. Moguće pozicije se nalaze unutar sivih kružnica, odnosno njihova točnija pozicija se nalazi na sjecištu tih dviju kružnica. Promatrajući drugi slučaj, može se uočiti da se sateliti nalaze u liniji s gledišta prijamnika, a to doprinosi većoj pogrešci pri izračunavanju pozicije. Mjesec i Sunce mijenjaju predodređene putanje satelita, a oni se stalno prate te se ispravci vrše pri promjenama putanje, kako ne bi uzrokovali velike greške (najčešće do 2 m).

Kako bi se postigla točnost manja od 20 m, koriste se različiti dodatni sustavi. Diferencijski GPS (DGPS) i Wide Area Augmentation System (WAAS) su najčešći. Diferencijski GPS se sastoji od postaje čiji je položaj točno određen, a usporedbom njenog položaja i položaja određenog u GPS prijamniku moguće je ispraviti grešku na maksimalnih 5 m. WAAS sustav ima bolju pokrivenost od DGPS-a, iako ona otpada što se korisnik nalazi sjevernije zbog

činjenica da je geostacionarna orbita iznad ekvatora. To je američka varijanta sustava, a sastoji se od prijemnika na kopnu koji primaju podatke sa GPS satelita te referentnih stanica koje sve te podatke obrađuju, ispravljajući greške na satu, greške u putanji i greške ionosfere.

Tablica 1. Greške u određivanju položaja [2]

Greške u brzini C/A šifriranog signala	± 3 m
Greške u brzini P/Y šifriranog signala	±0,3 m
Greške u ionosferi	±5 m
Greške u satelitskoj putanji	±2,5 m
Greške sata	±2 m
Greške zbog odbijanja signala	±1 m
Greške u troposferi	±0,5 m
Greške u računanju i zaokruživanju	±1 m

Tablica 2. Red veličine pogrešaka u GPS-u [2]

VRSTA POGREŠKE	IZNOS POGREŠKE (m)	
	<i>Visoka preciznost</i>	<i>Standardna preciznost</i>
Sat satelita	3	3
Sat prijamnika	0,2	1,5
Ionosfersko kašnjenje	2,3	4,9-9,8
Troposfersko kašnjenje	2	2
Višestazno širenje	1,2	2,5
Položaj satelita	4,2	4,2
Ostale pogreške	2,9	2,9

Primjerice radio signal putuje brzinom svjetlosti u svemiru te nešto sporije u atmosferi, a zbog svog vremena putovanja može se također stvoriti greška koja zavisi o vrsti šifriranja signala, te iznosi između 30 cm i 3 m.

4. Određivanje položaja vozila na digitalnoj karti

Prije mnogo godina pojavio se sustav za praćenje vozila, no tek je u posljednjih nekoliko godina dobio na važnosti i interesu. Cilj ovog sustava jest zaštititi vozača, teret i vozilo od provala i krađa, pratiti i registrirati putni pravac radi osiguranja i statistike te intervencije u slučaju pojedinih tehničkih problema s vozilom ili zdravstvenog stanja vozača. Ova tehnologija je značajna jer omogućuje da se vozilo lokalizira sa dosad nezamislivom točnošću. U okviru sustava za praćenje vozila obično se nalaze tri komponente: on - board kompjuter, prijamnik satelitskog signala (GPS) i komunikacijski modul. [12]

Od upravljačkih softvera kod ove vrste telematskih sustava se obično koristi softver za mape, a skoro svaka od ovih elektronskih mapa ide u paketu sa veoma atraktivnim i korisnim alatima kao što su zumiranje, pronalaženje određene lokacije i planiranje prijevoznih puteva te je veoma važno da je softver jednostavan za korištenje.

Digitalna karta sadržava osim svih državnih, županijskih, regionalnih i lokalnih cestovnih pravaca i mnogobrojne druge važne i interesantne točke kao što su granični prijelazi, benzinske crpke, trajektna pristaništa, marine, veleposlanstva, bolnice, crkve te važne državne institucije. Svrha je njome omogućiti građanima i svim ostalim stranim posjetiteljima kvalitetnu cestovnu kartu na kojoj će biti moguća navigacija i orijentacija.

Osnovna dva tipa mapa korištena u sustavima telematike su rasterske mape i vektorske mape.

Rasterske mape se sastoje od putova i tematskih putova predstavljenih u boji, a jednostavne su za korištenje i očitavanje te su relativno i jeftine. Na slici 9. možemo vidjeti prikaz rasterske mape.

Vektorske mape su sastavljene od podataka iz baze podataka, uključujući imena ulica, nazive i oznake putova, te koordinate križanja s geografskom širinom i dužinom. Podaci koji su dostupni su o lokacijama autobusnih stajališta, prepreka, depoa, niskih nadvožnjaka, a najbolje su rješenje ukoliko je potrebna visoka preciznost lociranja vozila (slika 10.).

Tipične zaštite koje nudi ovaj sustav su :

- 1) dugme alarma koje daje mogućnost vozaču da signalizira svojoj autobazi odmah i diskretno u slučaju ozbiljnog problema vezanog za osobnu sigurnost i sigurnost robe,
- 2) svako zaustavljanje vozila se može daljinski utvrditi na osnovu promjene uvjeta rada vozila, npr. brzine, prijevoznog puta, vremena putovanja,
- 3) svako otvaranje vrata može biti zabilježeno i praćeno informacijama o vremenu i lokaciji na kojoj je do toga došlo,
- 4) praćenje ukradenog vozila, na način što se sistemi za praćenje detektiraju u slučaju da se vozilo kreće izvan određenog voznog parka za vrijeme obavljanja prijevoznog procesa,
- 5) uređaji za identifikaciju vozača, sprječavaju pokretanje vozila od strane nepoznatog lica i na taj način u velikoj mjeri otežavaju krađu vozila.

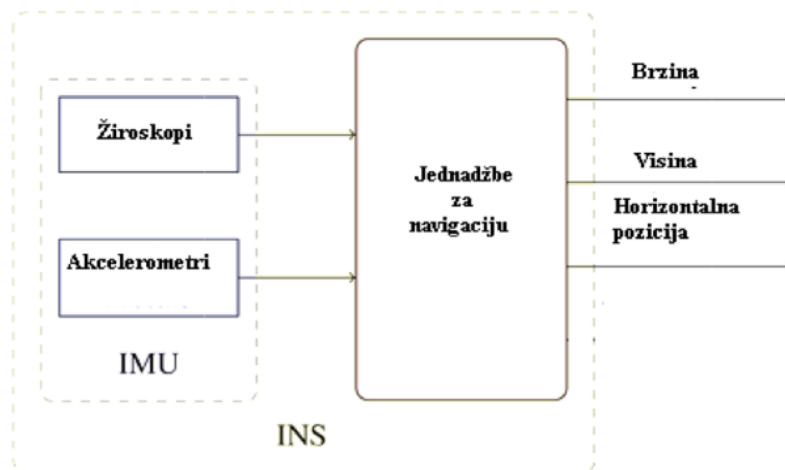
5. Putomjerni senzori u vozilima

Inercijska navigacija je proces mjerenja vremenske ovisnosti vektora akceleracije na samom objektu upravljanja, da bi se integriranjem mjerenih podataka odredili vektori brzine i pozicije objekta upravljanja u odnosu na položaj u trenutku lansiranja, kretanja ili polijetanja. Oni su sastavljeni od osjetilnih komponenti (senzora), centralne upravljačke jedinice, cjelina za prijenos podataka te pravila (algoritama) određivanja potrebnih veličina.

Inercijski sustav je sustav za navigaciju koji koristi akcelerometre i žiroskope u cilju kontinualnog računanja pozicije, orijentacije i brzine, a koristi se na vozilima, letjelicama i krstarećim raketama.

Akcelerometri prvenstveno služe za mjerenje lineranih akceleracija, pomoću kojih kasnije, računskim putem obradom podataka, dolazimo do prijednog puta. Akcelerometri se koriste za mjerenje akceleracije kao vektora koji je određen iznosom, smjerom i orijentacijom. Zbog toga se koriste žiroskopi da bi se zadržala orijentacija akcelerometra fiksna u odnosu na neki ne rotirajući koordinatni sustav. Senzori se ugrađuju na platforme koje zajedno sa ostalim uređajima potrebnim za izračunavanje koordinatnih razlika između dvije točke, tvore inercijske navigacijske sustave (INS) [14].

Svaki se inercijski navigacijski sustav sastoji od senzora koje nazivamo inercijskim mjernim uređajima (IMU - eng. *Inertial Measurement Units*) te uređaja koji omogućavaju pretvorbu dobivenih podataka sa senzora u potrebne informacije (slika 11.). Gibanja koja promatramo u navigaciji jesu translacijska i rotacijska pa prema tome koristimo dvije vrste inercijskih mjernih uređaja, akcelerometre i žiroskope.



Slika 11. Shema inerscijskog navigacijskog sustava [15]

Postoji nekoliko vrsta žiroskopa koji se danas upotrebljavaju , a najčešće korišteni su :

- 1) mehanički,
- 2) žiroskop s jednim stupnjem slobode gibanja,
- 3) žiroskop s dva stupnja slobode gibanja,
- 4) interdiferenzijski optički žiroskop (IFOG - eng. *Interferometric Fiber-Optic Gyro*),
- 5) laserski žiroskop (RLG - eng. *Ring Laser Gyro*),
- 6) Mikro obrađeni elektro mehanički žiroskopi (MEMS - eng. *Micromachined Electro Mechanical System*). [15]

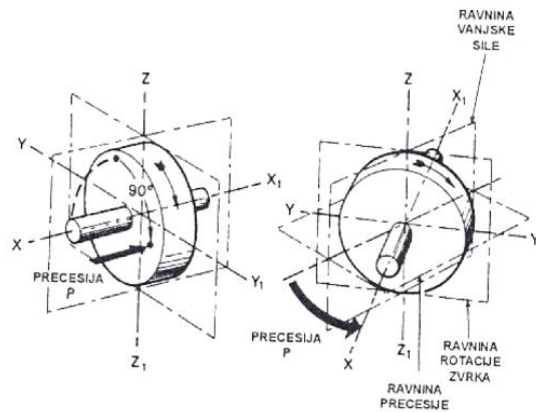
Mehanički i optički žiroskopi imaju potrebu za dijelovima koji omogućavaju visoku preciznost te kompliciranu tehniku sklapanja, a rezultat toga je njihova visoka cijena. Suprotno njima, MEMS senzori se izrađuju kao mikroelektroničke poluvodičke komponente što rezultira manjim brojem dijelova (žiroskop može imati tri dijela) i relativno niskom cijenom. MEMS žiroskopi sadrže vibrirajuće elemente za mjerenje Coriolisovog efekta. Postoje mnoge geometrije vibrirajućeg elementa, a najjednostavnija se sastoji od mase koja vibrira oko pogonske osi. [17]

Prednosti MEMS žiroskopa u odnosu na mehanički su :

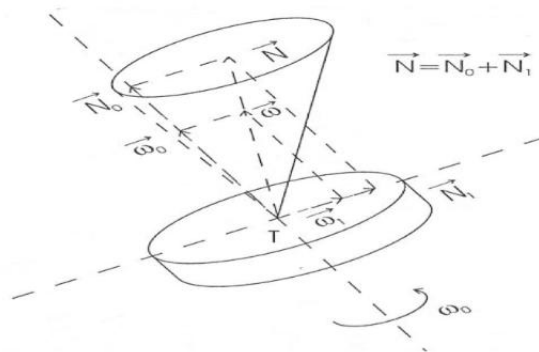
- a) male dimenzije,
- b) mala masa,
- c) kruta konstrukcija,
- d) niska potrošnja energije,
- e) kratko vrijeme pokretanja,
- f) visoka pouzdanost,
- g) niski troškovi održavanja.

Svojstva žiroskopa su žiroskopska inercija, precesija, nutacija te žiroskopski reakcijski moment. Žiroskopska inercija karakterizira suprotstavljanje svim vanjskim silama koje nastoje zaokrenuti os rotacije kotača, a fizikalno je opisana veličinom momenta količine gibanja ili zamahom, koji je to veći što je veća masa kotača, brzina vrtnje i polumjer rotacije, tj. udaljenost mase zvrka od središta rotacije.

Ograničavajući čimbenici pri nastojanjima povećanja brzine jesu trenje u ležajevima te mehanička naprezanja ovjesa, dok je mogućnost povećanja polumjera rotacije ograničena dimenzijama samog instrumenta. Precesija je svojstvo kotača da se pri nasilnoj promjeni orijentacije osnovne osi vrtnje zakreće u smjeru rotacije kotača, a javlja se kao posljedica djelovanja vanjske sile i prestaje nakon prestanka njezina djelovanja. Na slici 12. vidimo prikaz žiroskopske precesije. Nutacija je svojstvo gibanja uravnoteženog slobodnog kotača oko bilo koje osi, osim oko glavne osi rotacije, pri čemu os simetrije kotača razmjerno velikom brzinom opisuje tzv. stožac ili čunj nutacije u odnosu na pravac progresije. Kut opisanog stošca je malih dimenzija, a samo nutacijsko gibanje u praksi se vrlo brzo prigušuje u samom žiroskopskom sustavu. Na slici 13. možemo vidjeti prikaz žiroskopske nutacije. [16]

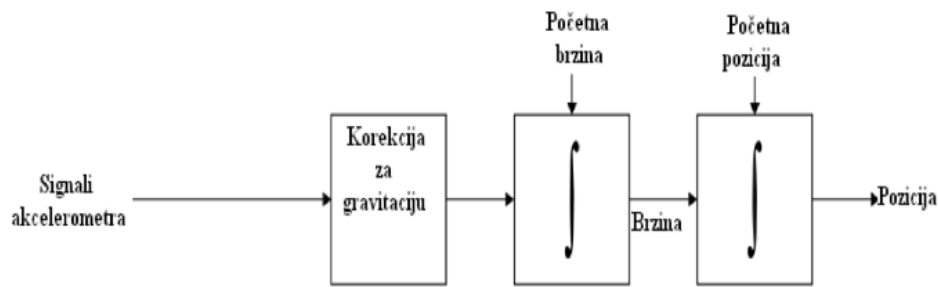


Slika 12. Žiroskopska precesija [15]



Slika 13. Žiroskopska nutacija [15]

Što se akcelerometra tiče, najčešće postoje dva akcelerometra u sustavu koja mjere akceleraciju u smjeru N-S i W-E. Suštinski, akcelerometar je njihalo. Signal s uređaja nosi informaciju o tome koliko se to njihalo pomaknulo u odnosu na ravnotežni položaj. Signal se s uređaja obrađuje elektronički i zatim se vraća u akcelerometar u njegov motor koji generira zakretni moment. Pomoću tog generiranog zakretnog momenta, njihalo se vraća u nulti položaj. Negativna povratna veza je veza koja dovodi dio izlazne veličine na ulaz tako da smanji ulaznu veličinu i preko nje, završnu vrijednost izlazne veličine, a da bi se ovo postiglo, dio izlazne veličine mora biti invertiran. Iznos signala koji se koristi za vraćanje njihala u nulti položaj je funkcija akceleracije kojoj je uređaj podvrgnut, a signali se s pojačala također šalju u integrator iz kojeg se dobivaju brzine te položaj. [14]



Slika 14. Dijagram toka podataka sa akcelerometra [9]

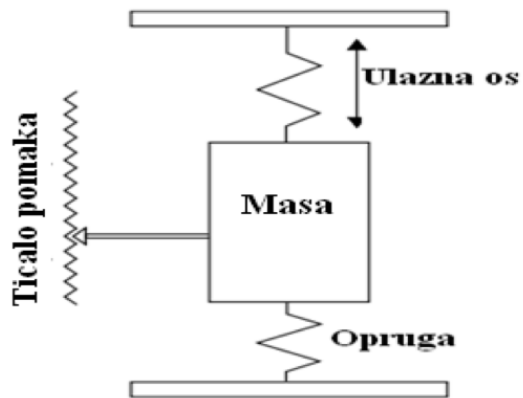
Treba reći da je jedno od svojstava akcelerometara da oni ne mjere ubrzanje Zemljine gravitacije, već da mjere inercijsku akceleraciju. Za ukupnu akceleraciju, inercijskoj je potrebno dodati Zemljino gravitacijsko ubrzanje, a da bi se umanjio ovaj nedostatak akcelerometara, nepohodno je dodavati utjecaj gravitacije na bazi gravitacijskog modela.

Računalo koristi ovaj model za izračunavanje gravitacije u funkciji od pozicije objekta upravljanja, koja se dobiva dvostrukom integracijom mjerenog ubrzanja objekta upravljanja. Većina gravitacijskih modela uzima u obzir geografsku širinu i duljinu te visinu objekata upravljanja u računanju promjene gravitacije.

Za većinu navigacijskih potreba, ovaj eliptični model je zadovoljavajući, ali sustavi visoke točnosti moraju uzimati u obzir i gravitacijske anomalije, odstupanja od opisanog jednostavnog modela.

Akcelerometri se mogu podijeliti općenito na mehaničke i poluvodičke (krute). Mehanički se akcelerometar sastoji od mase koja je pričvršćena za okvir elastičnim vezama, pojednostavljeno oprugama. [16]

Akcelerometar je u suštini tijelo određene inercije vezano elastičnom vezom za referentnu podlogu. Mehanički i MEMS akcelerometri kao najznačajniju razliku imaju razliku u dimenzijama. Tako su MEMS akcelerometri minijaturni u odnosu na mehaničke, zbog čega im je princip izrade i dinamika različita.



Slika 15. Princip akcelerometra [15]

Na slici 15. vidi se kako se pomak mase mjeri na ticalu za pomak što daje signal koji je proporcionalan inercijalnoj sili F . Zatim se koristi II. Newtonov zakon za dobivanje akceleracije.

Poluvodički (Solid-State) akcelerometri se mogu podijeliti u više podgrupa. Jedan od primjera takvih akcelerometara je akcelerometar koji koristi površinski zvučni val (SAW - eng. *Surface Acoustic Wave*), a on se sastoji od izbočene grede na koju su postavljeni prijemnik i predajnik površinskog akustičnog vala. [16]

6. Integracija podataka o položaju vozila uz pomoć GNSS-a i putomjernih senzora

Integracijom INS i GPS se poboljšavaju karakteristike jednog, odnosno drugog navigacijskog sustava na osnovu komplementarnosti informacija koje omogućavaju, a koje su uvjetovane različitim karakterom grešaka u jednom, odnosno drugom navigacijskom sustavu. Tako je za vrijeme rada oba sustava, greška integriranog INS / GPS ograničena točnošću GPS rješenja. Pri tome se navigacijska rješenja sistema inercijske navigacije neprekidno uspoređuju sa GPS navigacijskim rješenjem i ovisno od modela integracije, omogućavaju korekciju parametara modela grešaka INS. U slučaju da iz bilo kojeg razloga ne postoji GPS navigacijska informacija, navigacijski sustav koristi informacije od sustava INS i prelazi u režim prediktivnog rada, a navigacijska informacija koja se pri tome dobiva od INS se korigira na osnovu modela grešaka INS. [11]

Integracija GPS i inercijskog navigacijskog sustava je započela još 1980. godine, a do sada je razvijeno više metoda integracije koje se razlikuju po tipu podataka koji se razmjenjuju između nezavisnih navigacijskih sustava. U praksi su poznate četiri metode koje se primjenjuju u integraciji INS-a i GPS-a, a to su: nevezana (eng. *uncoupled*), slabo vezana (eng. *looselycoupled*), čvrsto vezana (eng. *tightlycoupled*) i veoma čvrsto vezana (eng. *ultra - tightlycoupled*).

Metoda nevezane integracije podrazumijeva da nema razmjene podataka između nezavisnih navigacijskih sustava u cilju međusobnog prigušenja grešaka i poboljšanja određivanja navigacijskog rješenja, a suprotno od toga, kod veoma čvrsto vezane integracije, nezavisni senzori se tretiraju kao jedinstveni navigacijski sustav koji generira više različitih tipova podataka koji se paralelno procesiraju s ciljem poboljšanja funkcija pojedinih senzora. Kod slabo vezane integracije postoji mogućnost prosljeđivanja podataka iz jednog u drugi navigacijski sustav radi prigušenja grešaka nezavisnih navigacijskih sustava, pri čemu i jedan i drugi navigacijski sustav zadržavaju nezavisnu obradu podataka.

U metodi slabo vezane integracije, razmjena informacija između GNSS prijarnika i komponenti drugog sustava je jednosmjerna a navigacijsko rješenje (položaj, brzina) od dva podsustava je pomiješano. Općenito, informacije osigurane od strane GNSS prijarnika se koriste za pomoć komponentama drugih sustava, iako je moguće i obrnuto. [17]

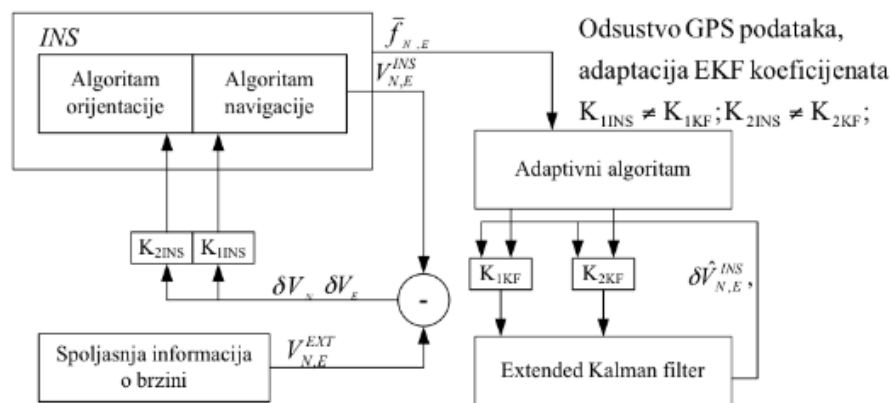
Dvije osnovne sheme integracije multisenzorskog navigacijskog sustava mogu biti centralizirana (zatvorena) shema integracije INS/GPS i kaskadna (otvorena) shema integracije INS/GPS. Centralizirana shema integracije se najčešće primjenjuje kod čvrsto vezanih metoda integracije, a ovo rješenje podrazumijeva formiranje zajedničkog navigacijskog algoritma za inercijski i satelitski sustav navigacije, u okviru jednog procesora. Kaskadna shema osigurava samo korekciju navigacijske informacije na izlazu sustava inercijske navigacije, a na osnovi izmjerenih veličina navigacijskih parametara od strane GPS prijavnika, bez izmjene navigacijskih algoritama obrade informacija dobivenih od inercijskog i satelitskog sustava.

Kaskadna shema integracije, kao tip slabo vezane metode, veoma je česta u upotrebi. Kod kaskadne sheme integracije model sustava je definiran na osnovu modela grešaka INS sustava, a procjena navigacijskih podataka, integriranog navigacijskog sustava se vrši na osnovu razlike izmjerenih veličina INS i GPS prijavnika. Kada iz bilo kojih razloga ne postoje GPS mjerenja, procjenitelj radi u modu predviđanja na osnovi modela grešaka INS. Najvažniju prednost slabo vezane konfiguracije predstavlja njezina fleksibilnost i univerzalnost u odnosu na različite tipove GPS prijavnika jer algoritam izračunavanja nije povezan sa obradom GPS signala već kao ulazne podatke koristi krajnja rješenja na izlazu GPS prijavnika. [15]

U integriranom INS/GPS navigacijskom sustavu, moguće je pored GPS-a koristiti i mjerenja koja se dobivaju od nekih drugih vanjskih senzora, a prisutstvo dodatnog vanjskog mjerenja poboljšava ukupne performanse cjelokupnog integriranog navigacijskog sustava, posebno u trenucima odsutnosti GPS podataka. Prisutnost dodatne vanjske informacije u značajnoj mjeri povećava kompleksnost određivanja navigacijskog rješenja, budući da je skup jednažbi kojima su pojedina mjerenja opisana, veći.

Pored INS/GPS-a, u formiranju navigacijskog rješenja sudjeluju magnetometar, koji se upotrebljava za poboljšanje određivanja parametara orijentacije i baro - visinomjer, koji se upotrebljava za stabilizaciju vertikalnog kanala integriranog navigacijskog sustava. Prisutnost dodatnog vanjskog mjerenja baro - visinomjera poboljšava ukupne performanse cjelokupnog integriranog navigacijskog sustava, posebno u trenucima odsutnosti GPS navigacijske informacije. Određivanje brzine i pozicije u višesenzorskom integriranom navigacijskom sustavu se može promatrati nezavisno kroz horizontalni i vertikalni kanal integriranog navigacijskog sustava.

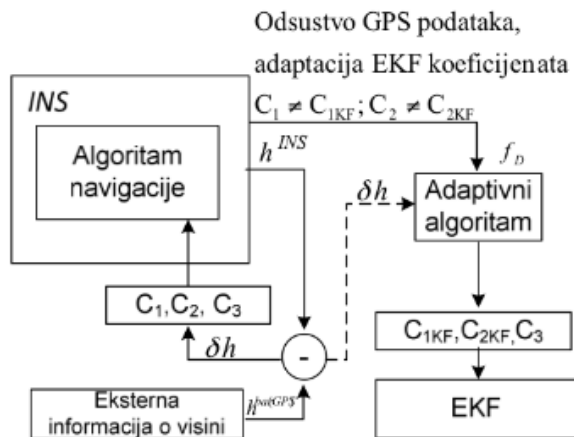
Navigacijsko rješenje horizontalnog kanala integriranog navigacijskog sustava se zasniva na jednadžbama za određivanje brzine i pozicije INS-a. Prigušenje grešaka horizontalnog kanala se zasniva na određivanju koeficijenata K_1 , K_2 , a optimalan izbor tih koeficijenata se bazira na kompromisu između veličine statičke greške i širine propusnog opsega sustava. Izbor velikih vrijednosti K_1 , K_2 osigurava malu statičku grešku, ali u ovom slučaju će sustav imati širok propusni opseg, što će omogućiti prolazak visoko-frekvencijskih komponenta šuma.



Slika 16. Shema adaptacije koeficijenata u integriranom INS/GPS navigacijskom sustavu [11]

Na slici 16. vidimo shemu primjene adaptivnih koeficijenata u integriranom INS/GPS navigacijskom sustavu, a u cilju smanjenja veličine greške procjene u intervalima odsutnosti GPS navigacijske informacije, vrši se adaptacija koeficijenta K_{1KF} , K_{2KF} , a izmjena tih koeficijenata se vrši u skladu s izmjenom kinetičkih parametara koje mjere inercijski senzori.

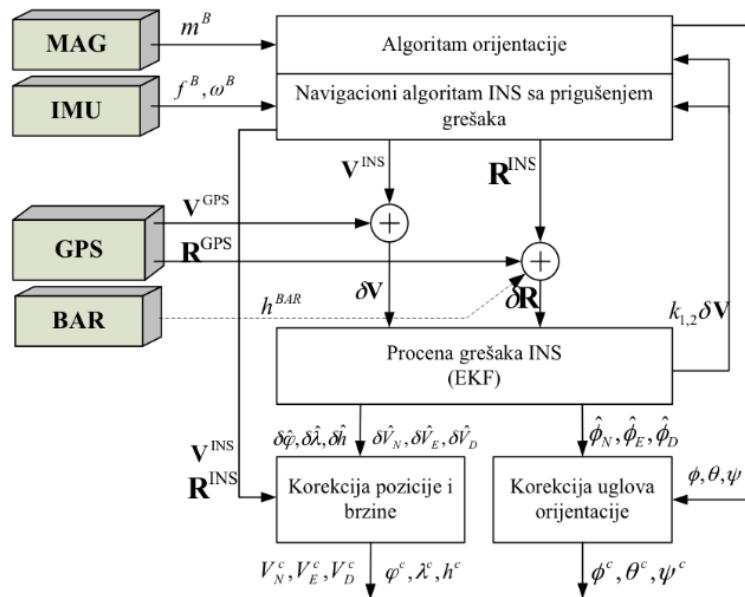
Kod inercijskih navigacijskih sustava, greška vertikalnog kanala divergira eksponencijalno te je, u cilju prigušenja grešaka vertikalnog kanala, neophodan dodatni izvor informacija o visini, kao što je baro-visinomjer.



Slika 17. Shema razdvajanja koeficijena za prigušenje grešaka vertikalnog kanala [11]

Iz slike 17. proizlazi da se određivanjem koeficijena C_1, C_2, C_3 definira i ponašanje sustava u cjelosti, a velika vrijednost koeficijena omogućit će brži odaziv, ali i širok propusni opseg sustava, što omogućava veće prisutstvo šuma. Također, veće vrijednosti koeficijena mogu dovesti do nestabilnosti sustava. I ovdje je, kao i u slučaju horizontalnog kanala izvršeno razdvajanje koeficijena uvođenjem C_1, C_2, C_3 kao koeficijena za prigušenje grešaka u INS i $C_{1KF}, C_{2KF}, C_{3KF}$ za potrebe implementacije u EKF. Ukoliko ne postoji valjana GPS informacija o vertikalnoj komponenti brzine i visini, EKF radi u modu predviđanja, a u tom periodu, prigušenje grešaka se vrši na osnovu tekućih mjerenja INS i vanjskog senzora (baro-visinomjera), što zahtjeva veće vrijednosti koeficijenta prigušenja. Iz tog razloga adaptacija koeficijenta prigušenja C_{1KF}, C_{2KF} se vrši samo u odsutnosti GPS informacija u skladu sa tekućim mjerenjima INS, odnosno kada EKF radi u modu predviđanja.

Integracija navigacijskog sistema je temeljena na prethodno prikazanim metodama, a uzimajući u obzir sve prednosti i nedostatke slabo spregnute konfiguracije u otvorenoj petlji, a zbog činjenice da su na izlazu korištenog GPS prijammika dostupna mjerenja o poziciji i brzini, upravo ovakva konfiguracija je izabrana za praktičnu realizaciju. S obzirom na to da je korištenje standardnog navigacijskog algoritma u jednoj takvoj integraciji ograničeno kvalitetom inercijskih senzora unutar IMU, to se u predloženoj shemi koristi navigacijski algoritam sa prigušenjem grešaka senzora, a blok shema integracije INS/GPS/Magnetometar/Baro - visinomjer je prikazana na slijedećoj slici 18.



Slika 18. Blok shema integracije INS/GPS/Magnetometar/Baro-visinomjer [11]

Treba spomenuti da se integracija sustava inercijalne navigacije i sustava satelitske navigacije ostvaruje korištenjem Kalmanovog filtra. Nju je proslavio 1960. godine Dr. R. E. Kalman, a to je zapravo statistička tehnika koja kombinira poznavanje statističke prirode grešaka sustava sa poznavanjem dinamike sustava, koji se predstavlja modelom u prostoru stanja. Na osnovi poznavanja dinamičkog modela stanja sustava i modela šuma sustava vrši se procjena njegovih stanja. [11]

U slučaju navigacijskih sustava procjenjuju se minimalno dva stanja sustava (pozicija i brzina), ali nije neobično da se vrši filtriranje za model sustava sa vektorom stanja čije su dimenzije od 6 do 60. Procijenjeno stanje se dobiva na osnovu težinske funkcije, tzv. Kalmanovog pojačanja, koje je optimizirano za dobivanje minimalne varijante greške. [13]

Kalmanov filtar predstavlja rekurzivni algoritam, koji je dizajniran za izračunavanje korekcija u sustavu baziranom na vanjskim mjerenjima, a veličina korekcije odgovara tekućoj procjeni filtra, koja je u funkciji statističke greške sustava.

7. Zaključak

Iako je još od davnina poznato kako je orijentacija i snalaženje u prostoru vrlo bitan čimbenik, tek pojavom, ali i usavršavanjem praćenja ona postaje potpuna. Navigacija je nužna kako bi se promet, ali i ostale operacije odvijale nesmetano i na što je moguće brži način.

Od satelitskih navigacijskih sustava, prvi na tržištu i najpopularniji jest američki GPS, koji je karakterističan po svojoj pokrivenosti, ali i točnosti. On sadrži dva koda, odnosno dvije razine točnosti, a primjenjuje se na svim područjima gdje je potrebno pozicioniranje. Uz GPS, na tržištu također postoji i ruski navigacijski sustav pod imenom GLONASS, a on ima gotovo isti princip rada kao i američki GPS. Jedna od bitnih razlika jest u konstelaciji satelita i drugim frekvencijama emitiranja signala i pristupu navigacijskoj poruci. GALILEO je sustav koji razvija Europska unija, a njegova potpuna funkcionalnost još nije postignuta te se ne koristi u komercijalne svrhe.

Točnost s kojom GPS prijamnik određuje poziciju ili brzinu korisnika, zavisi od složenog utjecaja različitih faktora. Općenito, ona zavisi od kvaliteta pseudoslučajnog mjerenja daljine i podataka dobivenih na osnovi satelitskog ephemerisa, a posebno je važna točnost kompenzacije ostalih grešaka koje nastaju na liniji satelit - prijamnik.

Osnovna dva tipa mapa korištena u sustavima telematike su rasterske mape i vektorske mape. Rasterske mape se sastoje od putova i tematskih putova predstavljenih u boji te su jednostavne su za korištenje i očitavanje, a vektorske mape su sastavljene od podataka iz baze podataka, uključujući imena ulica, nazive i oznake putova te koordinate križanja s geografskom širinom i dužinom.

Inercijska navigacija je proces mjerenja vremenske ovisnosti vektora akceleracije na samom objektu upravljanja kako bi se integriranjem mjerenih podataka odredili vektori brzine i pozicije objekta upravljanja u odnosu na položaj u trenutku početka gibanja, a oni su sastavljeni od osjetilnih komponenti, odnosno senzora, centralne upravljačke jedinice, cjelina za prijenos podataka te pravila, tj. algoritama, određivanja potrebnih veličina.

Integracijom INS-a i GPS-a poboljšavaju se karakteristike jednog, odnosno drugog navigacijskog sustava na osnovi komplementarnosti informacija koje omogućavaju, a koje su uvjetovane različitim karakterom grešaka u jednom, odnosno drugom navigacijskom sustavu pa je tako za vrijeme rada oba sustava, greška integriranog INS / GPS ograničena točnošću

GPS rješenja. Pri tome se navigacijska rješenja sustava inercijske navigacije neprekidno uspoređuju sa GPS navigacijskim rješenjem i ovisno od modela integracije, omogućavaju korekciju parametara modela grešaka INS.

8. Literatura

1. Kos, T., Grgić, M., Hiperbolni i satelitski sustavi za navigaciju, pregledni članak, Naše more: znanstveni časopis za more i pomorstvo (0469-6255) 51 (2004), 5-6; 189-199
2. W. Blanchard, Frin, The Air Pilot's Guide to Satellite Positioning Systems, AirLife Publishing Ltd, 1995.
3. Kaplan, E. D., Understanding GPS Principles and Applications, Artech House Publishers, 1996.
4. <http://docbook.rasip.fer.hr/ddb/res/45/Ch2.html>
5. Ngah, N., E., GPS Technology, Optimising car navigation, 2006.
6. U.S. Department of Transportation, United States Coast Guard, Specification of the Transmitted Loran-C Signal, COMDTINST M16562.4A, 1994.
7. http://www.unizd.hr/portals/1/nasmat/elektronicka/predavanje_6.pdf
8. Bilajbegović, A., Status i perspektive postojećih i planiranih satelitskih i navigacijskih sustava, Ekscentar, br.12., 2010.
9. Weber, T., Trautenberg, H. L., Schafer, Chr., Galileo system Architecture -Status and Concepts, Proceedings ION GPS 2001, Salt Lake City, 2001.
10. http://www.unizd.hr/Portals/1/nasmat/Elektronicka/Predavanje_9.PDF
11. Sokolović, V., Integracija GPS prijemnika i senzora niže klase tačnosti u cilju preciznije navigacije objekata u prostoru, Doktorska disertacija, Beograd, 2015.
12. Bošković, R., Primjena satelitske navigacije u sustavu za upravljanje voznim parkom, Diplomski rad, Rijeka, rujan 2014.
13. Kanižai, A., Primjena telematike u vozilima, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2013.
14. Lawrence, A., Modern Inertial Technology (Second Edition), New York, Springer-Verlag, 1998.
15. Kučić, A., Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010.
16. Titterton, D., Weston, J., Strapdown Inertial Navigation, The institution of Electrical Engineers, London, 2004.
17. Skog, I., Handel, P., In-Car Positioning and Navigation Technologies – A Survey, 2009.
18. Parkinson, B.W., Stanisell, T., Beard, R., Gromov, K., A History of Satellite Navigation, NAVIGATION, Journal of the Institute of Navigation, Volume 42, Number 1, 1995.

19. Salychev, O.S., Applied Inertial Navigation: Problems and Solutions, The Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 2004.
20. Solarić, M., Japan's Quasi-Zenith Communication and Position Satellite System, 2007.

Popis slika:

Slika 1. Dopplerov princip u Transit-sustavu[8]	2
Slika 2. GPS mreža satelita [3].....	4
Slika 3. Komponente GPS-a [11]	5
Slika 4. GPS – svemirski, kontrolni i korisnički segment [3]	6
Slika 5. Pregled signala i servisa Galilea [1].....	9
Slika 6. Planirani izgled satelita sustava Galileo [1]	10
Slika 7. Ilustracija pogreške zbog odbijanja signala (izvor : www.web.cecs.pdx.edu ,2014) .	13
Slika 8. Prikaz različitih geometrijskih satelita (izvor: www.kowoma.de , 2014).....	14
Slika 9. Rasterska mapa	17
Slika 10. Vektorska mapa.....	17
Slika 11. Shema inercijalnog navigacijskog sustava [9]	20
Slika 12. Žiroskopska procesija [9].....	22
Slika 13. Žiroskopska nutacija [9].....	22
Slika 14. Dijagram toka podataka sa akcelerometra [9].....	23
Slika 15. Princip akcelerometra [9].....	24
Slika 16. Shema adaptacije koeficijenata u integriranom INS/GPS navigacijskom sustavu [15]	27
Slika 17. Shema razdvajanja koeficijenata za prigušenje grešaka vertikalnog kanala [15]	28
Slika 18. Blok shema integracije INS/GPS/Magnetometar/Baro-visinomjer [15]	29

Popis tablica:

Tablica 1. Greške u određivanju položaja [2]	15
Tablica 2. Red veličine pogrešaka u GPS-u [2]	15

METAPODACI

Naslov rada: UGRAĐENI NAVIGACIJSKI SUSTAVI CESTOVNIH VOZILA

Student: Hrvoje Svrtnan

Mentor: doc. dr. sc. Mario Muštra

Naslov na drugom jeziku (engleski): EMBEDDED NAVIGATION SYSTEMS IN ROAD VEHICLES

Povjerenstvo za obranu:

- prof. dr. sc. Sadko Mandžuka predsjednik
- doc. dr. sc. Mario Muštra mentor
- mr. sc. Goran Jurković član
- izv. prof. dr. sc. Tonči Carić zamjena

Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: Zavod za inteligentne transportne sustave

Vrsta studija: Preddiplomski

Studij: ITS i logistika

Datum obrane završnog rada: 12. 9. 2016.

Napomena: pod datum obrane završnog rada navodi se prvi definirani datum roka obrane.



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ završnog rada
pod naslovom **UGRAĐENI NAVIGACIJSKI SUSTAVI CESTOVNIH VOZILA**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 5.9.2016

Student/ica:

Hrvoje Sudić
(potpis)