

SATELITSKI SUSTAVI ZA ORIJENTACIJU I NAVIGACIJU OSOBINE I PRIMJENA

NENAD BUZJAK

1. UVOD

Korištenje kompasa, sekstanta, kronometra i geodetskih instrumenata u određivanju položaja na Zemljinoj površini, navigaciji i različitim mjerenjima već su odavno rutinske metode općeprihvaćene u geografiji, geodeziji, pomorstvu i ostalim znanostima i djelatnostima. Unatoč svojoj točnosti, svaka od tih sprava postaje neupotrebljiva u uvjetima koji onemogućuju da se one koriste (loše atmosferske prilike, mrak, naoblaka, jako magnetsko polje i sl.). Time mjerenje gubi preciznost, što dovodi do netočnih rezultata. Postupak je spor jer se i malom promjenom položaja mjerenje mora ponoviti, bilježiti i unositi na kartografsku podlogu. Točnost određivanja položaja i mjerenja jako ovisi i o osposobljenosti korisnika.

Zbog toga je s razvojem tehnologije bilo potrebnije da se stvori sustav koji će u svim uvjetima i na svakom mjestu omogućiti precizno i brzo određivanje položaja. Prvi moderni sustav takve namjene - radar (izumljen 1934. g.) bio je vezan za Zemljinu površinu i prvenstveno korišten u pomorstvu i zrakoplovstvu, najprije u vojne, a kasnije i civilne svrhe. No, i taj je sustav bio prostorno ograničen, skup i lako ga se moglo ometati. Sljedeća je etapa počela lansiranjem umjetnih satelita koji su omogućili da se stvori satelitski sustav za orijentaciju i navigaciju (SSON) s prednostima koje nije imala ni jedna dotad poznata metoda.

2. KRATKI PREGLED RAZVOJA SSON-a

SSON je stvoren za vojne potrebe, a nastao je i razvijao se u uvjetima blokovske podjele Svijeta nakon 2. svjetskog rata. Rad na sustavu počeli su američki stručnjaci, ali pomoću ruske

tehnike. Naime, nakon lansiranja satelita Sputnik I 1957. g., znanstvenici su demonstrirali određivanje njegove orbitalne pozicije praćenjem promjena u radio-uređaju. Ubrzo je utvrđeno da se pomoću orbitalnih parametara satelita može odrediti točan položaj na Zemljinoj površini. Tako je nastala teorijska osnova za razvoj SSON-a, tj. američkog sustava GPS.

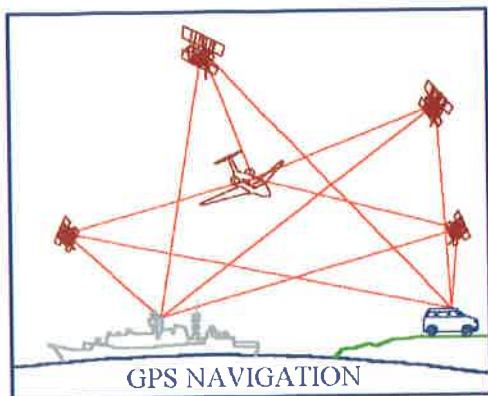
Prvi operativni satelitski navigacijski sustav NAVSAT razvila je Ratna mornarica SAD. Iz njega se razvio sustav Transit. 1960. godine lansirani su američki navigacijski sateliti Transit 1B koji se koristio u vojne svrhe, a od 1967. i na trgovačkim brodovima. Godine 1967. Rusija je lansirala svoj prvi satelit Cosmos 192 iste namjene a 1978. lansirani su prvi GPS sateliti. Odlukom američkih vojnih i civilnih institucija 1983. sustav je postao dostupan i za civilnu uporabu. Operativna uporaba GPS sustava počela je 1989., a 1995. sustav je postao potpuno operativan. Godine 1996. američki je predsjednik Clinton odobrio opsežnu nacionalnu politiku rada i razvoja prema kojoj GPS postaje sastavnim dijelom globalne informacijske infrastrukture. Za 1999. potpredsjednik Gore najavio je modernizaciju sustava koja će ga učiniti još pristupačnijim civilnim korisnicima.

3. VRSTE SSON-a

Danas postoje dvije vrste SSON-a: američki sustav GPS, koji je u punoj uporabi, i ruski sustav GLONASS koji se zbog slabog održavanja i time uzrokovanih grešaka rijetko koristi.

3.1. GPS

Američki sustav GPS (Global Positioning Sistem) je izradilo i kontrolira ga Ministarstvo



Sl. 1. Mogućnosti korištenja GPS sustava
Izvor: Dana, 1998a

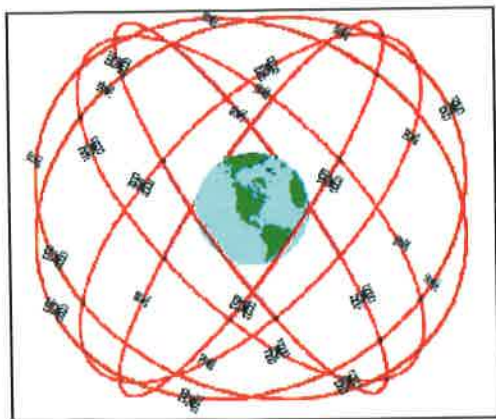
obrane SAD-a. Iako se danas njime koristi tisuće korisnika širom svijeta, sustav je stvoren prvenstveno za potrebe Oružanih snaga SAD-a.

Sustav pomoću satelitskih signala, koji se obrađuju u korisnikovu GPS prijemniku, omogućuje precizno određivanje položaja, brzine i točnog vremena (sl. 1).

GPS čine tri glavne komponente: svemirska, kontrolna i korisnička.

3.1.1. SVEMIRSKA KOMPONENTA

GPS se temelji na korištenju sustava navigacijskih satelita NAVSTAR (Navigation System using Time and Ranging) koji iz svemira šalju radio-signale potrebne za određivanje položaja. Sustav čini 24 satelita. Oni rotiraju oko Zemlje po eliptičnoj orbiti na visini od oko



Sl. 2. Orbite GPS satelita
Izvor: Dana, 1998a

20 200 km. Visina orbite je takva da sateliti ponavljaju iste trase i konfiguracije iznad svake točke približno svaka 24 sata. Postoji 6 stalnih orbita (sa po 4 satelita na svakoj) koje se sijeku i jednako su udaljene jedna od druge (60°), s nagibom od 55° u odnosu prema ekvatoru (sl. 2). Ti parametri omogućuju da su prijemniku u svakom trenutku i na gotovo svakoj točki na Zemljinoj površini najčešće vidljiva 5-8 satelita.

3.1.1.1. GPS sateliti – osnovna obilježja

Postoje dva tipa satelita koja se koriste u sustavu: Block 1 i Block 2. Na četvrtastom aluminijskom kućištu nalaze se dvije bočne ploče pokrivene solarnim jedinicama koje osiguravaju satelitu potrebnu električnu energiju (sl. 3). Njihov se navigacijski sustav sastoji od računala, 4 precizna atomska sata i 2 radio-uređaja koji emitiraju satelitske signale.

3.1.1.2. Osobine satelitskih signala

Da bi postigli što veću točnost, sateliti emitiraju signale na dvije frekvencije:

L1 (1575,42 MHz) sadrži navigacijske podatke o satelitu i podatke za standardne korisnike;

L2 (1227,6 MHz) se koristi za mjerenje greške zbog prolaska signala kroz ionosferu (dostupan samo odabranim korisnicima).

Signal se sastoji od tri koda (potfrekvencije): **C/A**, **P** i **NM**, koji se razlikuju po svom sadržaju i dostupnosti za različite korisnike.

NM-kod sadrži podatke o orbiti satelita, točnosti satova, trenutni položaj i odstupanje od putanje (efemeride), a ponavlja se svakih 30 sekundi. Ti se podaci koriste za određivanje položaja GPS prijemnika. Osim podataka o vlastitu stanju, svaki satelit šalje orbitalne podatke i za sve ostale satelite koji se zovu almanah. Ti su podaci izuzetno važni jer omogućuju GPS prijemniku da pri određivanju položaja uzme u obzir kašnjenje signala izazvano atmosferskim utjecajima. Budući da su promjene međusobnog položaja satelita stalne, almanah pohranjen u memoriji GPS prijemnika se u normalnim uvjetima obnavlja svaki sat. Ako se podaci zbog bilo kojeg razloga ne mogu obnoviti, prijemnik može koristiti podatke stare do 4 sata bez opasnosti da će to

izazvati veću grešku u određivanju položaja. No, ako se prijemnik ne koristi dulje vrijeme (npr. više mjeseci), prijemnik će nakon uključivanja automatski prikupiti nove podatke o položajima satelita za almanah, što traje oko 10 minuta.

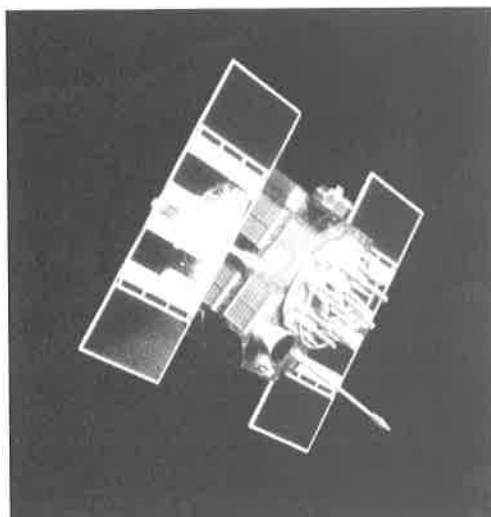
Druga dva koda razlikuju se po dostupnosti za različite korisnike.

C/A-kod označava signale dostupne svim korisnicima. To je tzv. PRN (Pseudo Range Noise Code) frekvencije 1 MHz koji se ponavlja svake milisekunde. Za svaki satelit taj kod je drugačiji, pa se sateliti prema njemu mogu identificirati.

P-kod (precizni kod) je dostupan samo onim korisnicima koji imaju ključ za njegovo dešifriranje. Njega uglavnom koriste američke vojne i vladine službe. To je vrlo dugi PRN više frekvencije koji koristi i L1 i L2 frekvenciju. U slučaju potrebe P-kod može biti šifriran u Y-kod.

3.1.2. KONTROLNA KOMPONENTA

Ova komponenta sustava sastoji se od zemaljskih kontrolnih postaja razmještenih širom svijeta (sl. 4). Kontrolne postaje prate signale satelita i prikupljene podatke šalju u Glavnu kontrolnu postaju. Ona je smještena u Zrakoplovnoj bazi Schriever u Coloradu (SAD). Tu se za svaki satelit određuju precizni podaci o njegovu položaju i kontrolira rad



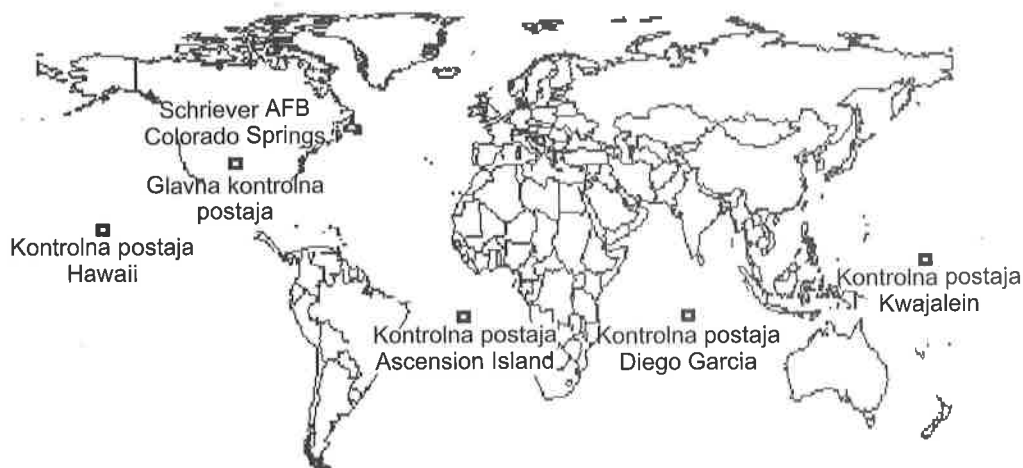
Sl. 3. GPS satelit

Izvor: Dana, 1998.

uređaja. Nakon obrade, svi se potrebni podaci redovito unose u računalo satelita koje ih koristi za slanje vlastitih signala GPS prijemnicima (sl. 5).

3.1.2.1. Vrste usluga GPS sustava

Prema Federalnom navigacijskom planu SAD, dvije su osnovne vrste usluga koje se mogu dobiti korištenjem GPS sustava: usluga preciznog (Precise Positioning Service – PPS) i standardnog (Standard Positioning Service – SPS) određivanja položaja.



Sl. 4. Kontrolne postaje GPS sustava

Izvor: Dana, 1998.

Sustav PPS se temelji na P-kodu i mogu ga koristiti samo autorizirani korisnici sa specijalnim prijemnicima koji imaju opremu za dešifriranje signala. To mogu biti samo vojska i određene agencije Vlade SAD-a (i njihovi saveznici), te odabrani civilni korisnici koji dopuštenje moraju dobiti izravno od Vlade SAD-a.

Sustav SPS se temelji na C/A-kodu. Može ga koristiti svatko bez naplate i ograničenja jer svaki prijemnik može primati i koristiti SPS signal. No, zbog zaštite od zlouporabe taj se sustav namjerno ometa korištenjem selektivne dostupnosti. Selektivna dostupnost (Selective Availability – SA) je sustav namjernog ometanja (iskrivljavanja) SPS satelitskog signala u određenim vremenskim razmacima. Kontrolira ga Ministarstvo obrane SAD-a kako bi ograničilo točnost za strane vojske i državne organizacije. Na taj je način moguća točnost određivanja položaja korištenjem C/A-koda s 30 metara smanjena na oko 100 metara u 95% vremena. Budući da je SA iskrivljenje u svakom satelitskom signalu drukčije, proračunati položaj na Zemlji je funkcija kombiniranih SA ometanja sa svih satelita čiji su signali korišteni za njegovo određivanje.

Očekivana točnost PPS i SPS sustava prikazana je u tablici 1.

Pojedini neodgovorni proizvođači GPS prijemnika u navođenju tehničkih osobina svojih uređaja umanjuju značenje greške u točnosti izazvane primjenom selektivne dostupnosti, pa ih na taj način proglašavaju preciznijim od uređaja svojih konkurenata.

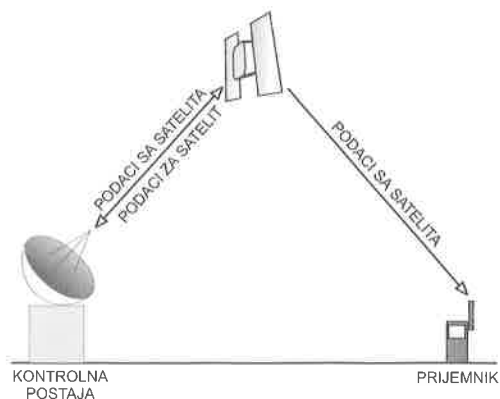
3.1.3. KORISNIČKA KOMPONENTA

Osnovu korisničke komponente čine GPS prijemnici, te njihovi vlasnici i korisnici. Prijemnici iz podataka koje dobivaju od satelita određuju svoj položaj, brzinu i točno vrijeme.

Tab.1 Očekivana točnost PPS i SPS sustava (1994. god.)

SUSTAV	HORIZONTALNA TOČNOST	VERTIKALNA TOČNOST	VREMENSKA TOČNOST
PPS	22 m	27,2 m	100 ns
SPS	100 m	156 m	340 ns

Izvor: Dana, 1998a



Sl. 5. Sustav komunikacije u GPS sustavu

Ti se podaci koriste u navigaciji i različitim istraživanjima.

3.1.3.1. GPS prijemnici – osnovne osobine

Danas se na tržištu može naći velik broj GPS prijemnika čija cijena, ovisno o mogućnostima i kvaliteti varira od 100 do nekoliko desetaka tisuća USD.

Najčešće se koriste prijenosni prijemnici koji se za vrijeme rada drže u ruci (sl. 6). Veći i skuplji prijemnici omogućuju korištenje dodatne opreme koja im povećava mogućnosti, a mogu se ugraditi i u različita prijevozna sredstva (automobil, brod, zrakoplov).

Svaki prijemnik u svom tehničkom sklopu ima novu generaciju višekanalnih procesora. Prijemnici imaju sve veći kapacitet, pa istovremeno mogu primati signale i sa 12 satelita. Svi podaci prikazani su na LCD ekranu (sl. 7). Za upis podataka i programiranje uređaja koristi se ugrađena tipkovnica. Prijem signala se obavlja pomoću antene koja može biti ugrađena u kućište, uz kućište ili se pomoću priključnog kabla može koristiti posebna antena čime se poboljšava kvaliteta prijema. Za napajanje uređaja mogu se koristiti baterije, akumulator vozila ili električna mreža. Radi obrade podataka i korištenja GIS-a, mnogi prijemnici se mogu priključiti na osobno računalo i s njime izmjenjivati podatke. U prijemnike najnovije generacije mogu se unositi digitalizirani zemljovid, što omogućuje bržu orijentaciju.

Osnovne mogućnosti prijenosnih prijemnika:

- praćenje i prikaz položaja satelita,

- određivanje geografskih koordinata i nadmorske visine,
- određivanje točnog vremena,
- kreiranje i memoriranje trase kretanja,
- određivanje brzine kretanja, vremena i udaljenosti do odredišta.

3.1.4. PRINCIP RADA GPS SUSTAVA

Za određivanje položaja, prijemnik koristi signale sa satelita. Za precizno određivanje položaja i drugih parametara (3D način rada) potrebni su podaci s barem 4 satelita, no moguće je koristiti i 3 satelita, što smanjuje preciznost (2D način rada).

Signal satelita (*Navigation Message*) sastoji se od podataka o satu, orbiti i drugim parametrima (efemeride i almanah). U podatke su uključeni i ionosferski modeli koji se koriste za određivanje kašnjenja signala zbog prolaska kroz ionosferu na bilo kojem mjestu i u bilo koje vrijeme. Dio signala je i podatak o tome koliko GPS vrijeme odstupa od UTC-vremena čime je omogućeno da prijemnik odredi vrijeme s točnošću od 100 ns.

Položaj prijemnika određuje se u nekoliko faza.

U 1. fazi prijemnik mora otkriti signal. Pomoću posebnoga generatora prijemnik proizvodi kopije C/A i P-koda (PRN-kod) i ponavlja ih svake milisekunde. Svaki je od njih jedinstvena serija podataka (bitova) prethodno definirana za satelitske identifikacijske brojeve. Kada se neki od tako definiranih kodova poklopi s kodom iz satelitskog signala, prijemnik detektira satelitski signal. Trenutak potpunog poklapanja prijemnikova koda s kodom satelitskoga signala je vrijeme dolaska koda satelita u prijemnik. Na osnovi razlike između vremena odašiljanja satelitskoga signala (GPS-vremena) i trenutnoga vremena prijemnika u trenutku dolaska signala u prijemnik, određuje se udaljenost do satelita (pseudo-range).

Ako je poznata udaljenost do najmanje tri satelita i ako oko njih opišemo zamišljene sfere



Sl. 6. Prijenosni GPS prijemnici

čiji su polumjeri jednaki udaljenosti od prijemnika do satelita, položaj prijemnika će biti na njihovu presjeku (slika 8). U tijeku postupka računalo prijemnika računa 4 jednadžbe s 4 nepoznanice: tri daju udaljenosti na osnovi izmjerenog vremena koje je potrebno signalu da stigne do prijemnika, a jedna jednadžba daje korekciju vremena.

Na taj način određeni položaj prijemnik će na ekranu prikazati kao geografsku širinu, dužinu i visinu nad elipsoidom. Geografske koordinate su prikazane u geodetskom datumu¹ WGS-84 na kojem se GPS temelji. No, prijemnik se najčešće može programirati da potrebne podatke prikaže u bilo kojem od stotinjak geodetskih datuma ili koordinatnih sustava koji se koriste u svijetu. Korištenje pogrešnoga geodetskoga datuma može izazvati grešku u stotinama metara.

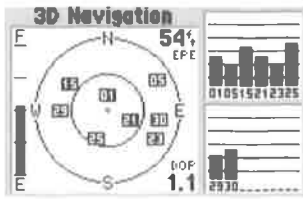
Za računanje brzine prijemnik mjeri Dopplerov efekt² i promjenu položaja u vremenu.

3.1.5. IZVORI GREŠAKA PRILIKOM RADA S GPS SUSTAVOM

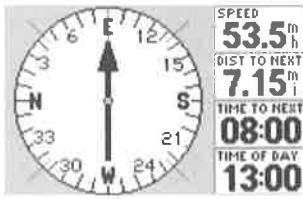
Postoji 5 osnovnih izvora grešaka koje mogu utjecati na točnost rada u GPS sustavu:

¹ Geodetski datum definira veličinu i oblik Zemlje, te osobine koordinatnog sustava koji se koristi pri izradi geografske karte.

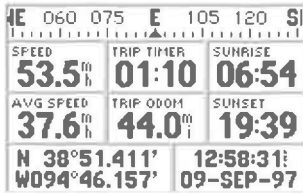
² Dopplerov efekt je pojava promjene frekvencije radio-valova koja nastaje zbog promjene razmaka između odašiljača (satelita) i prijemnika.



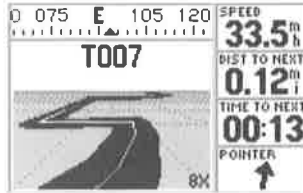
A



B



C



D

Sl. 7. Izgled ekrana GPS prijemnika (A-status satelita; B-kompas; C-podaci o smjeru, trajanju i brzini kretanja, prevaljenom putu, vremenu izlaska i zalaska Sunca, položaju i nadmorskoj visini; D-prikaz trase kretanja)

atmosferski utjecaji, neusklađenost satova satelita i prijemnika, refleksija signala, utjecaj geometrije satelita, ljudske i tehničke greške i selektivna dostupnost.

3.1.5.1. Atmosferski utjecaji

Prolazak signala kroz atmosferu izaziva usporavanje i kašnjenje signala. Najveći je utjecaj troposfere (zbog naglih i čestih promjena temperature, tlaka i vlage zraka) i ionosfere (zbog ioniziranog zraka). Rezultat kašnjenja signala je pogreška u računanju udaljenosti satelita i položaja prijemnika. Zbog toga prijemnik u računanju koristi matematičke modele, čime se ovaj utjecaj smanjuje. Kod dvofrekvencijskih prijemnika (zbog visoke cijene nedostupnih običnim korisnicima) uspoređuju se brzine kretanja signala na različitim frekvencijama, što uvelike smanjuje grešku.

3.1.5.2. Neusklađenost satova satelita i prijemnika

Ova greška također utječe na pogrešno računanje udaljenosti do satelita, jer se ona mjeri na osnovi brzine svjetlosti i vremena koje je potrebno da signal stigne do prijemnika.

3.1.5.3. Refleksija signala

Refleksija signala je greška određena uvjetima rada na terenu. Osim signala koji dolaze sa

satelita, do prijemnika dolaze i signali nastali odbijanjem od različitih objekata (vozila, zgrada, stijena i sl.). Tu je grešku teško otkriti i vrlo teško izbjeći.

3.1.5.4. Utjecaj geometrije satelita

Utjecaj geometrije satelita očituje se u loše određenoj točki presjeka sfera na kojoj bi se trebao nalaziti prijemnik. To je posljedica korištenja signala s previše bliskih satelita.

3.1.5.5. Ljudske i tehničke greške

U ovu skupinu spadaju problemi izazvani kompjutorskim ili ljudskim greškama u zemaljskoj kontroli, kad korisnik prijemnika koristi pogrešan geodetski datum i problemi izazvani kvarom na prijemniku.

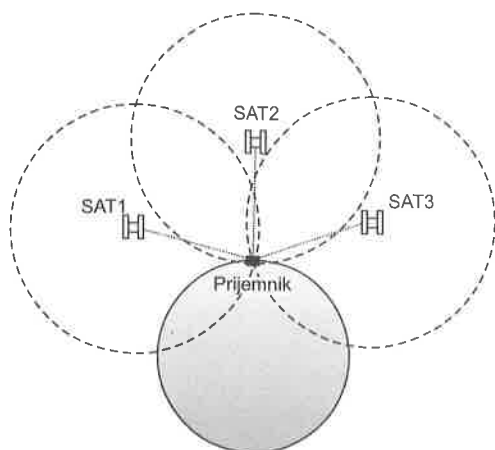
3.1.6. DIFERENCIJALNI GPS

Da bi se izbjegli i smanjili spomenuti izvori grešaka, primjenjuje se mjerenje s dva prijemnika. Postupak se naziva diferencijalni GPS. Metoda se temelji na ideji da se greške na traženoj lokaciji eliminiraju određivanjem greške na lokaciji s poznatim položajem.

Jedan se prijemnik (bazni) postavlja na mjesto s poznatim koordinatama (bazu), a drugi (pokretni) na mjesto kojem želimo odrediti položaj. Ako su oba prijemnika dovoljno blizu, pretpostavlja se da primaju signale s istih satelita, te da oba trpe isti utjecaj grešaka. Budući da je položaj baznog prijemnika poznat, uspoređivanjem izmjerenih vrijednosti može se izračunati greška koja se koristi za određivanje ispravaka mjerenja. Ovi se podaci šalju u pokretni prijemnik koji ih koristi za ispravljanje greške.

Ako se za prijenos podataka koristi radioveza, ispravci se mogu unositi na terenu. No, prijemnici mogu raditi i autonomno (bez međusobne komunikacije), pa se greške mogu ispravljati usporedbom podataka nakon povratka s terena.

4. ZAKLJUČAK



Sl. 8. Princip određivanja položaja prijemnika

3.2. Sustav GLONASS

Sustav GLONASS razvila je Rusija kao protutežu američkom sustavu GPS. I taj je sustav pod nadzorom Ministarstva obrane, te je djelomično dostupan civilnim korisnicima. No, zbog neurednog održavanja GLONASS ima niz nedostataka. Problem su i prijemnici koji su teško dostupni i vrlo skupi.

Sustav predviđa korištenje 24 satelita, no prema dostupnim podacima sada ima 17 raspoloživih satelita, od kojih je 13 operativno. Razdoblje u kojem su svi sateliti bili aktivni trajao je samo 40 dana. Sateliti emitiraju signale na frekvencijama koje je Međunarodna telekomunikacijska udruga (ITU) dodijelila drugim korisnicima, što zahtijeva lansiranje novih satelita. No, s obzirom na velike financijske zahtjeve, to je vrlo upitno.

Zbog slabe zemaljske kontrole (čije su postaje locirane samo na području bivšeg SSSR-a) u više je slučajeva otkriveno da su sateliti satima emitirali pogrešne informacije jer neispravni sateliti nisu označeni kao takvi. Signali su ponekad nepotpuni ili su podaci o vremenu pogrešni.

Teoretski je dobro što postoje dva SSON-a jer bi se tako mogao vrlo precizno određivati položaj. Zato je nekoliko proizvođača GPS prijemnika razvilo napredne uređaje koji uspoređuju podatke sa satelita obaju sustava. No, korisnici su često nezadovoljni rezultatima što je posljedica navedenih nedostataka sustava GLONASS.

Primjena satelitskih sustava za orijentaciju i navigaciju donijela je revoluciju u geoznanostima i svim ljudskim djelatnostima u kojima je potrebno točno utvrditi položaj na Zemljinoj površini. Iako je, kao i većina najnovijih tehnologija, razvijen za vojne potrebe (svoju vrijednost pokazao je u tijeku Zaljevskog rata), GPS sustavom danas se koristi tisuće korisnika širom svijeta. Precizno određivanje položaja koristi se u raznim daljinskim istraživanjima. Primjeri su geodetska mjerenja, prikupljanje podataka za izradu različitih tematskih karata, mjerenje kretanja litosfernih ploča i ostalih pomaka Zemljine kore. Precizno mjerenje vremena i rasprostiranje frekvencija signala koriste se kao standardi u astronomskim laboratorijima, razvoju i istraživanju telekomunikacija, istraživanjima atmosfere. Nakon ovih specijalnih primjena slijedi širenje na obične korisnike (u prometu i svakodnevnom životu). GPS prijemnik danas ima svako veće plovilo, a sve se češće ugrađuje u luksuzne automobile. Vjerojatno je samo pitanje vremena kada će ti uređaji postati dijelom standardne opreme svakoga prijevoznog sredstva.

Zahvaljujući sve većoj primjeni u različitim djelatnostima danas postoji brojna literatura o njegovim osobinama i primjeni (što je najzanimljivije širokom krugu korisnika). U našim se knjižarama i knjižnicama takvi naslovi izuzetno rijetko mogu naći, pa je osnovni način da se nabave kupnja u inozemstvu ili Internet. Međutim, često (pre)visoka cijena za kvalitetna izdanja i rizik kupovanja knjige koja se ne može prolistati prije kupnje odvraća od ovakvog načina nabavljanja literature. No, na Internetu se danas može pronaći više adresa koje svojim sadržajem mogu zadovoljiti svakoga sadašnjeg i potencijalnog korisnika GPS sustava. Slijedi kratak pregled nekih od njih.

<http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/gps/gps.html>

Global Positioning System Overview – stranice Petera H. Dane (University of Texas, Austin). Na ovoj se stranici mogu naći osnovni podaci o osobinama GPS sustava s izvrsnim ilustracijama i popisom osnovne literature.

Osim toga, obrađene su i teme o geodetskim datumima i kartografskim projekcijama. Izvršno za prvo upoznavanje s GPS-om.

<http://www.navcen.uscg.mil/gps/default.htm>

USCG Navigation Center GPS Page – stranice Navigacijskog centra Obalne straže SAD. Sadrži sve bitne podatke za početnike i iskusne korisnike (od osnova do podataka o signalima, stanju satelita, različitim tečajevima i sl.). Tu se može naći i izvrstan besplatni priručnik “NAVSTAR GPS User Equipment Introduction” sa svim tehničkim podacima o GPS sustavu i pregled sustava GLONASS (na adresi <http://www.navcen.uscg.mil/gps/geninfo/gpsdocuments/Default.htm>).

<http://www.laafb.af.mil/SMC/CZ/homepage>

Navstar GPS – službene stranice s različitim podacima o GPS sustavu.

<http://joe.mehaffey.com>

Joe Mehaffey and Jack Yeazel’s GPS Information – možda najkorisnije stranice za sve korisnike GPS-a i one koji će to postati jer osim osnovnih informacija sadrži opise i međusobne usporedbe prijemnika, digitalnih zemljovida i različite opreme, savjete za kupnju, te bezbroj linkova na slične stranice, stranice proizvođača i prodavača opreme.

LITERATURA

- Dana, P. H. 1998a: Global Positioning System Overview. 1-12, The Geographer’s Craft Project, Dept. of Geography, The University of Texas, Austin
(<http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/gps/gps.html>)
- Dana, P. H. 1998: Geodetic datum. 1-6, The Geographer’s Craft Project, Dept. of Geography, The University of Texas, Austin
(<http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/gps/gps.html>)
- Dopplerov efekt. Pomorski leksikon, 180, Zagreb, 1990
- Filjar, R. 1997: Satelitska navigacija i GPS. Priroda, 842, 10-15
- Filjar, R. 1998: GPS među prijateljima prirode. Priroda, 855-856, 39-41
- Filjar, R. 1999: Koliko je točan GPS?. Priroda, 865-867, 18-19
- Navigacijski sateliti. Pomorski leksikon, 713, JLZ, Zagreb, 1990
- Navstar. Pomorski leksikon, 515, JLZ, Zagreb, 1990
- NAVSTAR GPS User Equipment Introduction. US Coast Guard Navigation Center, 1996
- Sharpe, M.R. 1997: NAVSTAR. Grolier Multiactive Encyclopedia