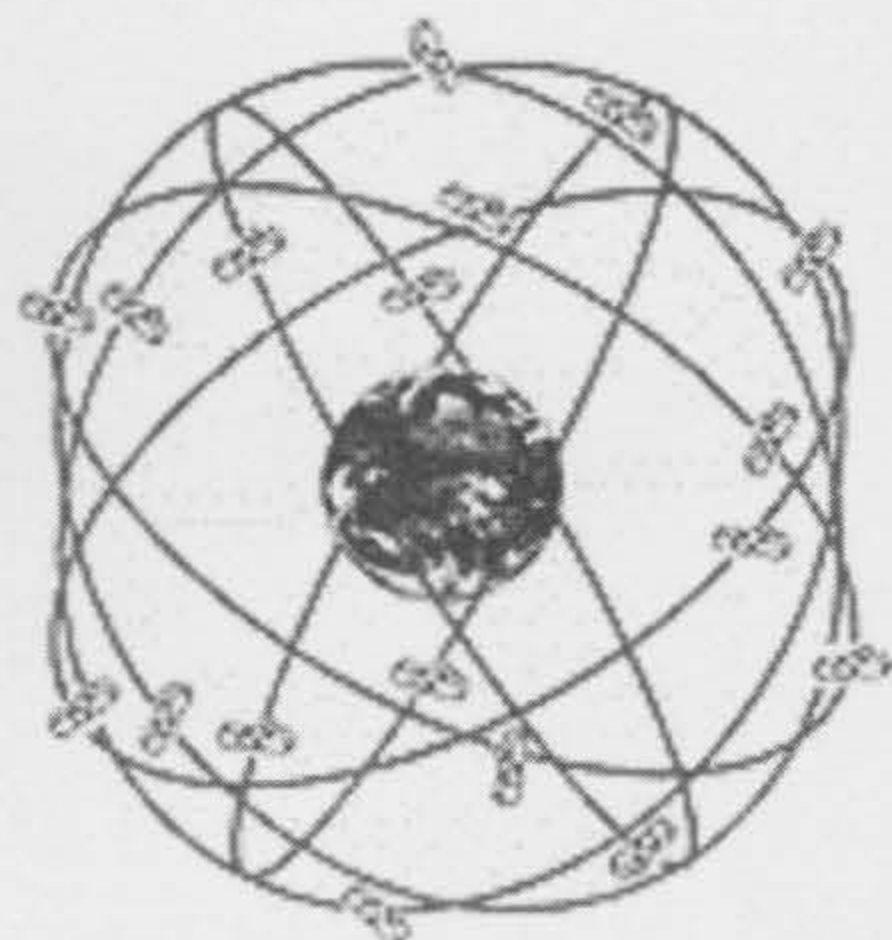


GLOBALNI POZICIJSKI SUSTAV (GPS)

UVOD

Pojavom Globalnog Pozicijskog Sustava (Global Positioning System) mnoge stvari se mijenjaju iz temelja u tehnici, znanosti, nauci, svakodnevnom životu itd. Nas geodete posebno zanima primjena GPS-a u geodetske svrhe s

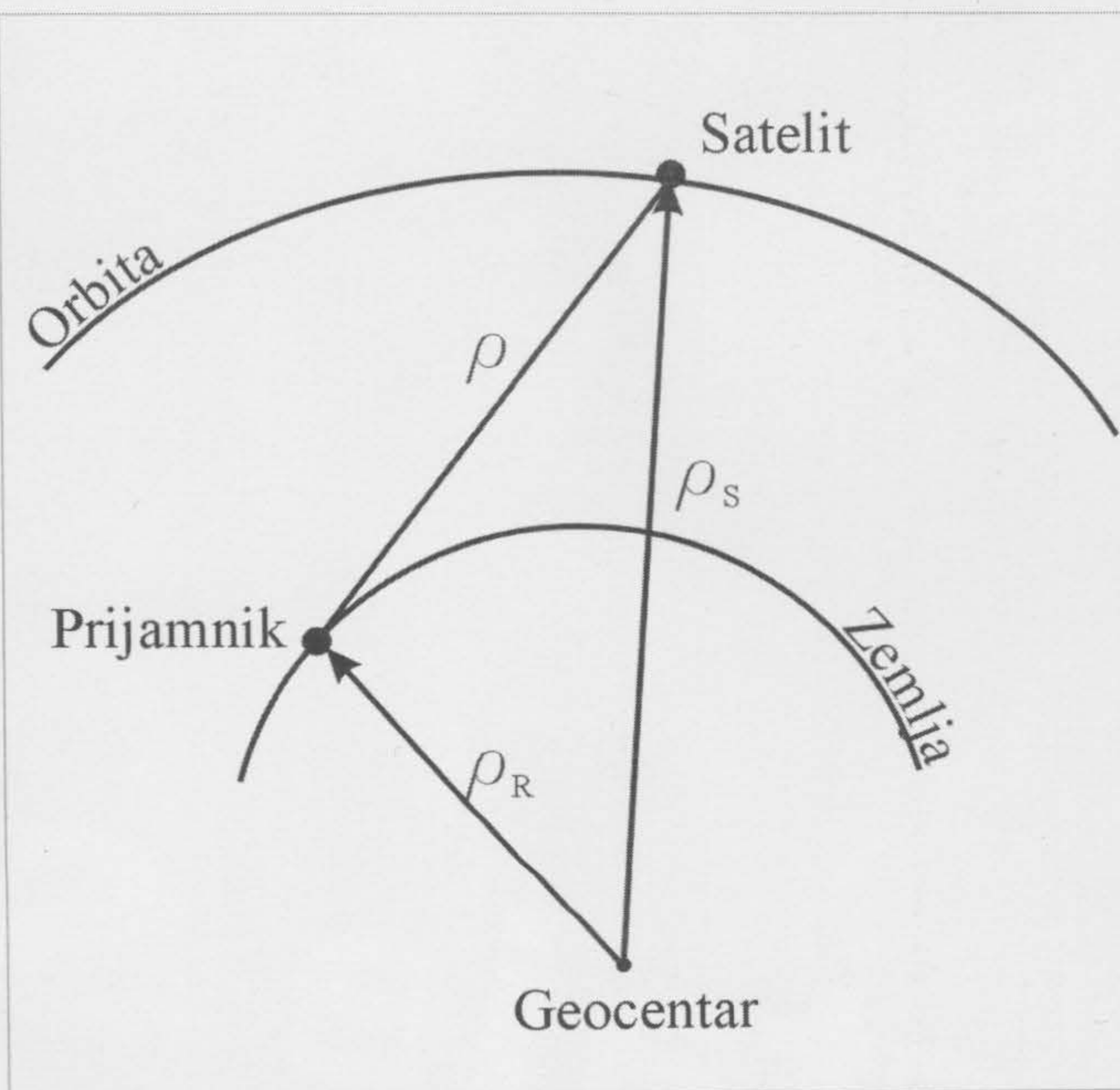


obzirom na visoku točnost koju možemo dobiti korištenjem ove tehnologije. Nemjerljiv je razvoj i napredak geodezije pri uporabi i primjeni ove tehnologije, kako u globalnom tako i u regionalnom pogledu. Možemo reći da je uporabom GPS-a "srušen" osnovni temelj geodetske struke o dogledanju točaka. Zahtjevi postavljeni pred geodetskog stručnjaka rješavaju se brže, jednostavnije i efikasnije. Povezivanje interkontinentalnih datuma, određivanje oblika i dimenzija Zemlje, te postavljanje i izmjera nacionalnih geodetskih mreža, izmjera homogenih polja gradova, premjer terena i mnogi drugi zadaci nezamislivi su bez ove revolucionarne tehnologije. Također, možemo reći da GPS omogućuje da se efikasno, brzo i pouzdano definira cijeli niz prostornih informacija koje prije, iz raznih razloga, nisu bile obuhvaćene geodetskom izmjerom. Ipak, potrebno je naglasiti da GPS nije "svemoguć", da ima svoja ograničenja, ovisno o zadatku, primjeni i točnosti koji je postavljen pred geodetskog stručnjaka. On je i temelj i nadogradnja klasičnim geodetskim metodama. Prepreka, odnosno nedostatak GPS-a je taj što je cijeli sustav kontroliran od Vlade SAD-a koja je u zadnjih 30 godina u ovaj projekt uložila preko 15 milijardi dolara, te civilna uporaba ovog sustava uvelike ovisi o namjerama i volji Ministarstva obrane SAD-a.

POVIJEST GPS-a

Prvi pravi geodetski satelit bio je ANNA-1B lansiran 1962. godine od strane Ministarstva obrane. Prethodnik današnjeg globalnog sustava za pozicioniranje je mornarički navigacijski satelitski sustav *NNSS* (Navy Navigation Satellite System), zvan i *TRANSIT* sustav. Ovaj sustav se sastojao od 6 satelita koji su kružili u svojim orbitama na visini od oko 11 000 km. Bio je razvijen od strane američke vojske, prvenstveno u vojne svrhe s ciljem određivanja položaja ratnih brodova i aviona. Nakon što je dozvoljena

njegova uporaba i za civilne svrhe, našao je široku primjenu u navigaciji i geodetskoj praksi. Točnost utvrđena eksperimentima bila je oko 1m pri opažanju od nekoliko dana. Glavni nedostatak *TRANSIT* sustava bila je nemogućnost dobrog pokrivanja zbog malog broja satelita, kao i mala točnost za precizno pozicioniranje. *Globalni Pozicijski Sustav* (GPS) razvijen je kao zamjena *TRANSIT* sustava zbog njegovih utvrđenih nedostataka. Prema Woodenovoj definiciji: "NAVSTAR GPS je satelitski sustav razvijen od strane Ministarstva obrane SAD-a sa osnovnim ciljem da u bilo kojim vremenskim uvjetima omogućuje vojnim snagama točno određivanje pozicije, brzine i točnog vremena u nekom zajedničkom koordinatnom sustavu i to bilo gdje na površini Zemlje ili u blizini Zemlje" (cit. Hofmann-Wellenhof i dr.). Odgovore daje brzo, točno i jeftino, i to bilo gdje i u bilo koje vrijeme. U razvoju globalnog sustava za pozicioniranje trebalo je osigurati prijem četiri satelita. Sustav od 27 satelita smještena u 6 orbitalnih ravnina čiji je razmak 60° , nagnutih pod kutem inklinacije od 55° prema ravnini ekvatora zadovoljavaju uvjete vidljivosti minimalno četiri satelita.



Slika 1. Princip satelitskog pozicioniranja

Period njihovih orbitalnih ravnina je približno 12 zvjezdanih sati. Cilj GPS satelita prvenstveno je određivanje položaja. Položaj se može izraziti npr. geodetskom širinom ϕ , geodetskom duljinom λ i elipsoidnom visinom h . Određivanje koordinata postiže se jednostavnim presjecanjem korištenjem mjerenih udaljenosti do satelita. Uzmemo li u obzir položaj satelita u određenom trenutku,

prostornu koordinatu r^S možemo izračunati iz efemerida odaslanih od satelita (Slika 1). Ako prijamnik, određen svojom geocentričkom pozicijom r_R , ima precizni sat koji je usklađen sa GPS vremenom, onda prava udaljenost r do satelita može biti točno izmjerena sa registracijom vremena potrebnog da (kodirani) satelitski signal dođe od satelita do prijamnika.

Dakle, korištenjem ovakve tehnike za određivanje položaja potrebna su tri satelita jer imamo tri nepoznanice položaja. Njih možemo odrediti iz jednadžbe udaljenosti:

$$\rho = |\rho^S - \rho_R| \quad (1)$$

Jednadžba (1) naziva se fundamentalna jednadžba satelitske geodezije. GPS prijamnici koriste malo drugačiju tehniku. Oni koriste jeftine kvarcne satove koji su približno podešeni na GPS vrijeme. Sat u prijamniku i sat u satelitu ne pokazuju isto vrijeme. Za vremenski interval t oni daju malu razliku. Zbog te će razlike mjerene udaljenosti biti nešto duže ili kraće u odnosu na pravu udaljenost. Prijamnik prevladava ovaj problem simultanim mjerenjem udaljenosti prema četiri satelita. Te udaljenost su nazvane pseudoudaljenosti, jer se sastoje od prave udaljenosti plus mala (pozitivna ili negativna) korekcija te udaljenosti Δr , koja rezultira iz pogreške sata δ .

Jednostavan matematički model za pseudoudaljenosti glasi:

$$R = \rho + \Delta\rho = \rho + c\delta \quad (2)$$

gdje je c brzina svjetlosti.

Razmatrajući fundamentalnu jednadžbu satelitske geodezije (1) možemo zaključiti da pri uporabi jednog prijamnika na točnost određivanja utječu slijedeći faktori:

- o točnost pozicije satelita
- o točnost mjerene pseudoudaljenosti
- o položaj satelita na nebu (geometrija).

Sustavne pogreške u poziciji satelita i eventualna razlika satova može se eliminirati ili

reducirati uporabom dvaju prijamnika tj. mjerenjem pseudoudaljenosti od dvije točke i stvaranjem njihovih razlika, što daje vektor između stajališta.

Od 1987.godine GPS koristi Svjetski geodetski sustav WGS-84 (World Geodetic System) kao referentni.

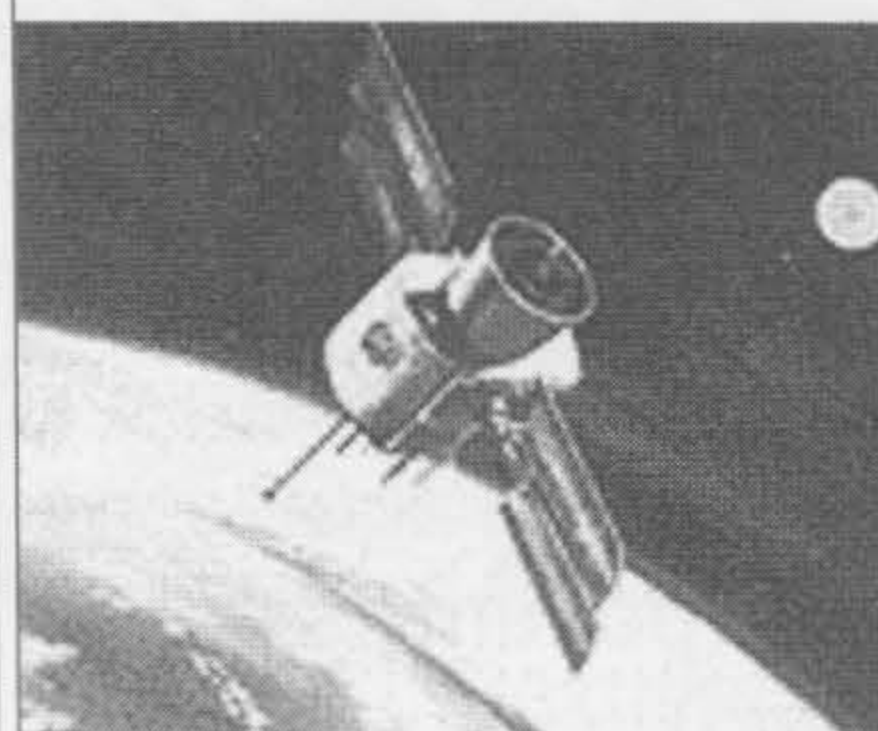
OSNOVNI KONCEPTI GLOBALNOG POZICIJSKOG SUSTAVA

Globalni pozicijski sustav počeo se razvijati 1973. godine u okviru Joint Program Office-a (JPO), pod kontrolom Ministarstva obrane SAD-a s ciljem uspostave razvoja, provjere, povećanja točnosti i korištenja u borbene svrhe prostornog pozicijskog sustava. Kao rezultat početne inicijative razvijen je NAVSTAR GPS sustav u kojem je na temelju poznatih koordinata satelita bilo moguće odrediti položaje točaka na Zemlji, moru i u zraku.

GPS sustav objedinjuje tri segmenta:

- o **Prostorni segment** - čine ga sateliti s emitiranim signalima
- o **Kontrolni segment** - služi za upravljanje cijelim sustavom
- o **Korisnički segment** - čine ga različiti tipovi prijamnika

Prostorni segment

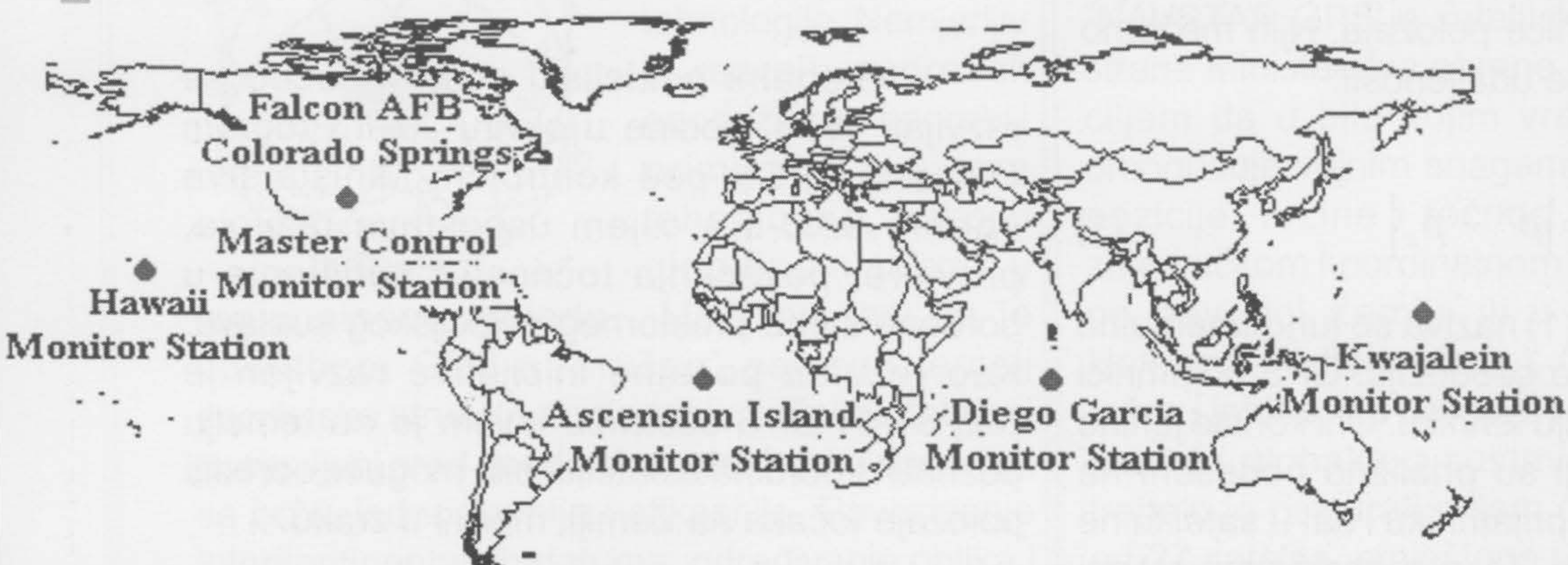


Prostorni segment čine sateliti koji se kreću približno kružnom putanjom na visini od oko 20 200 km iznad Zemlje s periodom od približno 12 zvjezdanih sati. Ovaj

raspored satelita se mijenjao od početna 24 satelita u tri orbitalne ravnine, uz inklinaciju od 63° prema ravnini ekvatora, do današnjih 27 satelita u šest orbitalnih ravnina, uz inklinaciju od 55° prema ekvatoru (u svakoj ravnini su po četiri satelita). GPS sateliti pružaju platformu za radio primopredajnike, atomske satove, kompjutere i različitu dodatnu opremu koja se koristi za vođenje sustava. Kod potpune konstelacije satelita prostorni segment pri elevacijskoj masci od 10° omogućuje globalno pokrivanje sa 4-12 satelita koji se simultano opažaju.

Kontrolni segment

Kontrolni segment uključuje operacijski kontrolni sustav (*Operational Control System*) koji se sastoji od glavne kontrolne stanice, promatračkih stanica rasprostranjenih po svijetu i zemaljskih kontrolnih stanica. Glavne zadaće ovog segmenta su praćenje satelita u svrhu određivanja njihovih orbita, korekcija sata (tzv.



Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

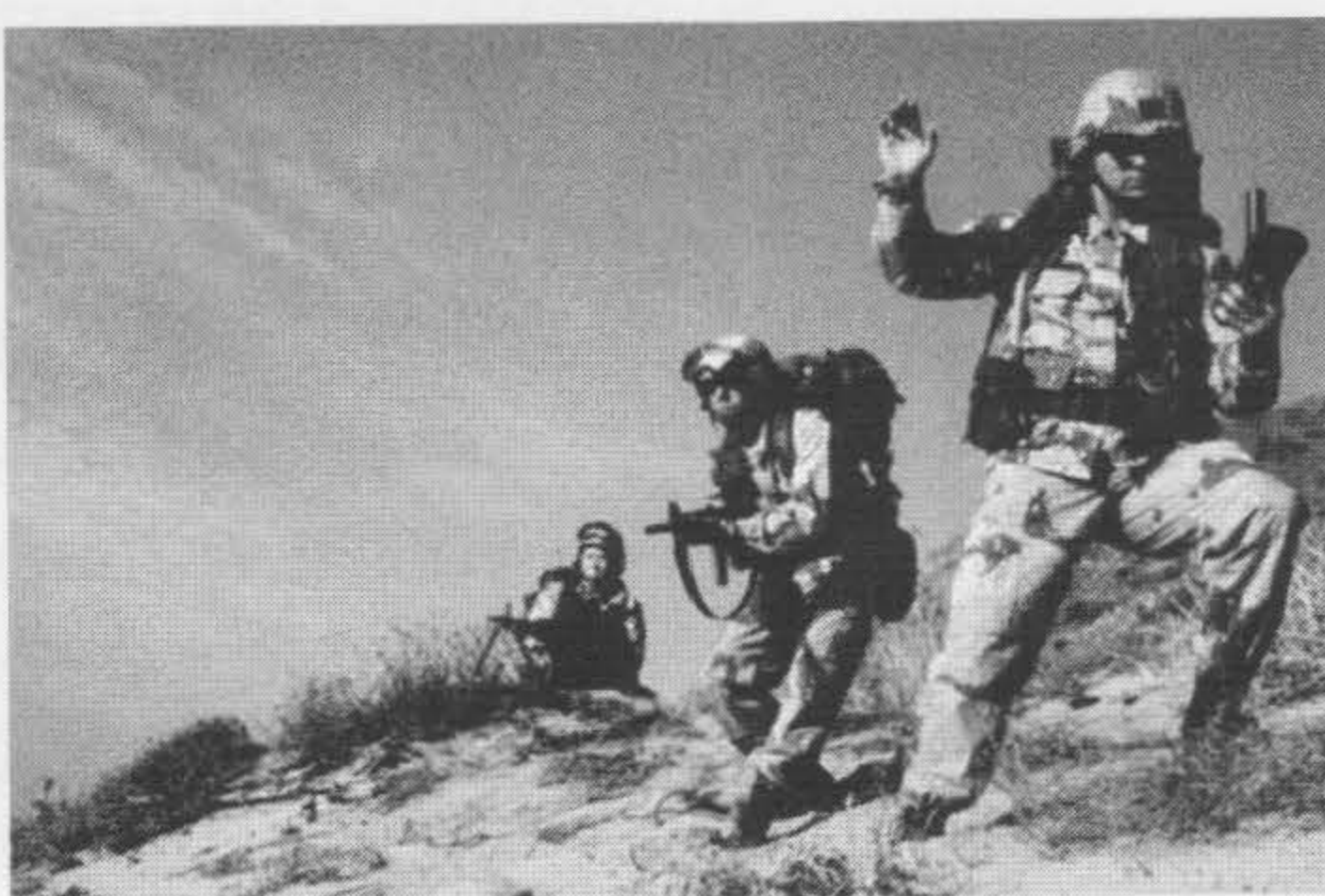
Slika 2. Kontrolni segment GPS-a

predikacijsko modeliranje), sinhronizacija vremena, te konačno slanje poruka prema satelitima. Glavna stanica je Falcon AFB, Colorado Springs, Colorado (skupljanje podataka o satelitima, računanje orbite satelita i parametara satova te kontroliranje stanice). Opažačke stanice su Hawaii, Colorado Springs, Ascension, Diego Garcia, Kwajalein (za određivanje Broadcast efemerida, te kontinuirano mjerenje pseudo-udaljenost svih satelita iznad horizonta), dok su Zemaljske kontrolne stanice Ascension, Diego Garcia i Kwajalein koje su opremljene velikim antenama za slanje poruka satelitima (popuna satelita informacijama jednom dnevno).

Korisnički segment

Vojni korisnici

Prvobitni korisnik GPS-a je Ministarstvo obrane SAD-a, kojem je ovaj sustav bio dopuna programu nacionalne sigurnosti. Ministarstvo obrane SAD-a nastojalo je opremiti GPS prijammnicima gotovo svaku vojnu jedinicu, bila ona na kopnu, moru ili zraku.



Stvarna i realna primjena došla je do punog izražaja tijekom Zaljevskog rata kada su vojnici SAD-a bili opremljeni i sa ovim uređajima koji su im omogućili nesmetanu koordinaciju i poboljšanje vojnih aktivnosti. To se posebno odnosi na ručne prijammnike koji su se koristili za navigaciju u pustinji. Današnja vojska SAD-a je opremljena GPS prijammnicima gotovo na svim razinama. I ostale države daju velike novčane iznose svojih vojnih budžeta za razvoj i primjenu

GPS-a, bez kojeg je danas jednostavno nezamislivo voditi ratna djelovanja.

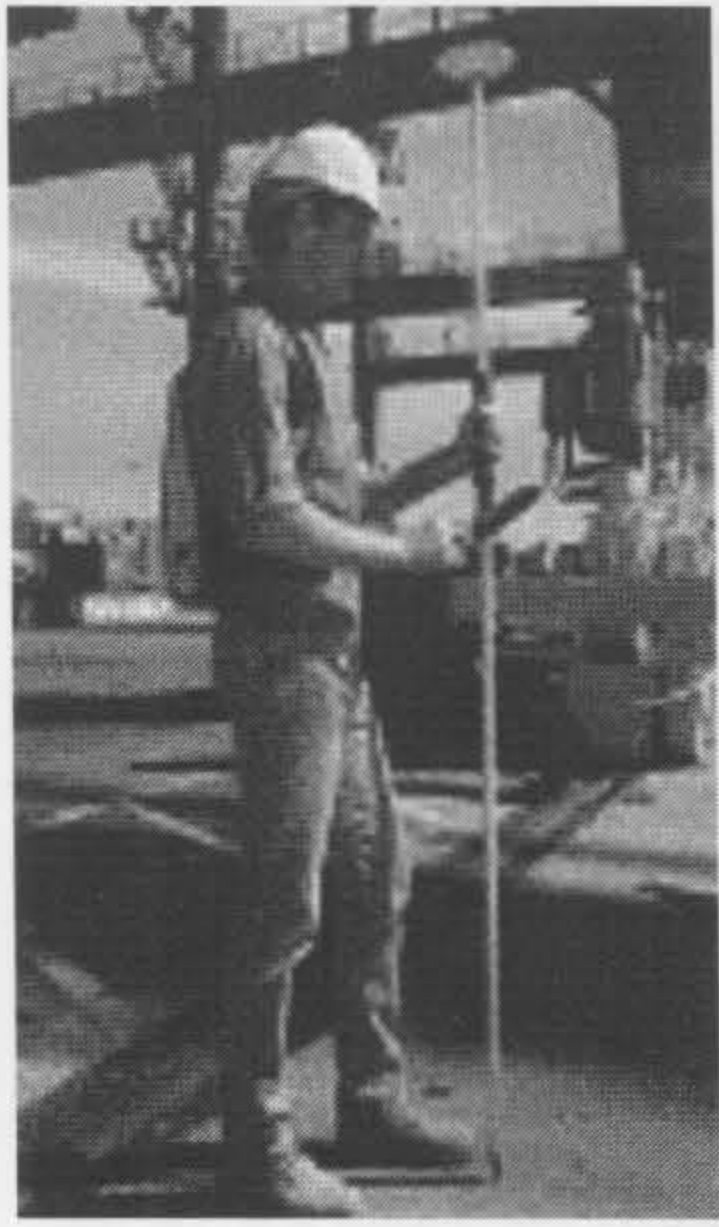
Civilni korisnici

GPS prijammnici se danas koriste za različite geodetske zadaće, te za navigaciju. Geodetski stručnjaci koriste GPS za

postavljanje mreža viših i nižih redova, za izmjeru homogenih polja gradova, za izvođenje različitih detaljnih terenskih premjera) itd.

Svoju veliku primjenu GPS prijammnici pogotovo nalaze kod korisnika kojima točnost određivanja pozicije od nekoliko decimetara, odnosno metara, ne znači prepreku u primjeni ovog sustava. Danas u SAD-u već nekoliko gradova ima opremljene službe hitne pomoći, gdje centralni dispečer u svakom trenutku zna gdje mu se nalazi vozilo. Primjena GPS-a u hitnoj službi se pokazala izuzetno efikasnom, te je poboljšala koordinaciju i efikasnost ovih službi. Auto-industrija se zadnjih nekoliko godina javlja kao veliki korisnik. Pored ugradnje GPS-a u automobile, gdje ovaj sustav služi za lakšu, i u kombinaciji sa RDS-sustavom, bržu navigaciju, GPS sustav nalazi primjenu u pronalaženju ukradenih automobila. GPS se nalazi kao

standardna oprema u preookeanskim brodovima, jahtama i jedrilicama. Avio-industrija rutinski koristi GPS za navigaciju, gdje uporabom ovakvog načina navođenja između ostalog rješava problem slijetanja aviona tijekom loših vremenskih prilika



METODE MJERENJA

Sama GPS mjerenja se izvode jednom ili kombinacijom više metoda opažanja. Koju metodu opažanja izabrati najviše ovisi o vrsti terena i područja koje se opaža, odnosno o zahtjevanoj točnosti.

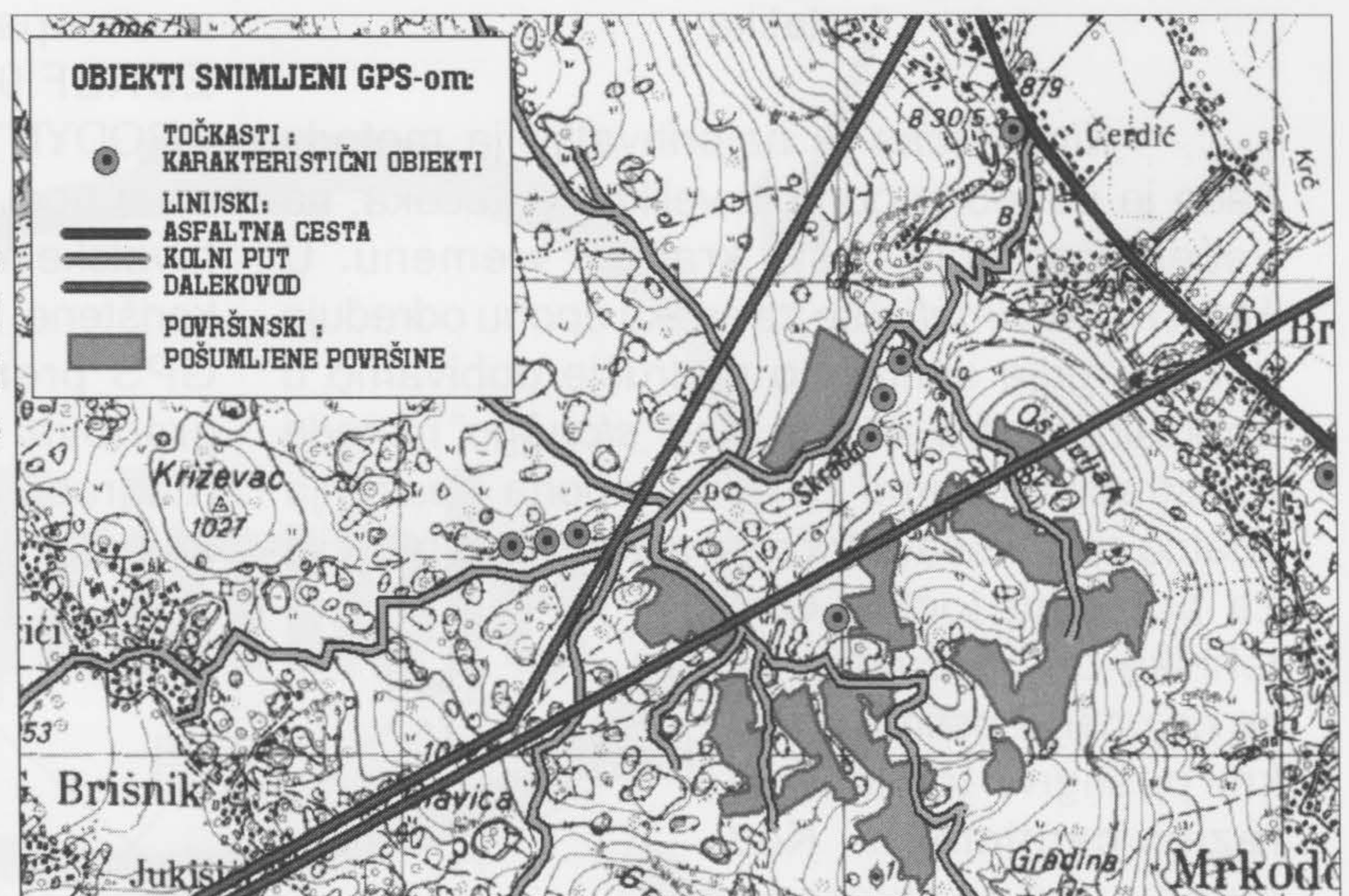
Općenito možemo reći da postoje dvije osnovne metode, apsolutno i relativno pozicioniranje.

Pod apsolutnim pozicioniranjem podrazumjevamo određivanje koordinata točke uporabom jednog prijamnika na temelju kodnih mjerenja, dok pod relativnim pozicioniranjem podrazumjevamo korištenje minimalno dva prijamnika koji istovremeno primaju iste satelite. Bilo da su apsolutne ili relativne, razlikujemo sljedeće metode: DGPS (diferencijalni GPS), statičko (statika i brza statika) i kinematičko relativno pozicioniranje (klasična kinematika i stop&go metoda).

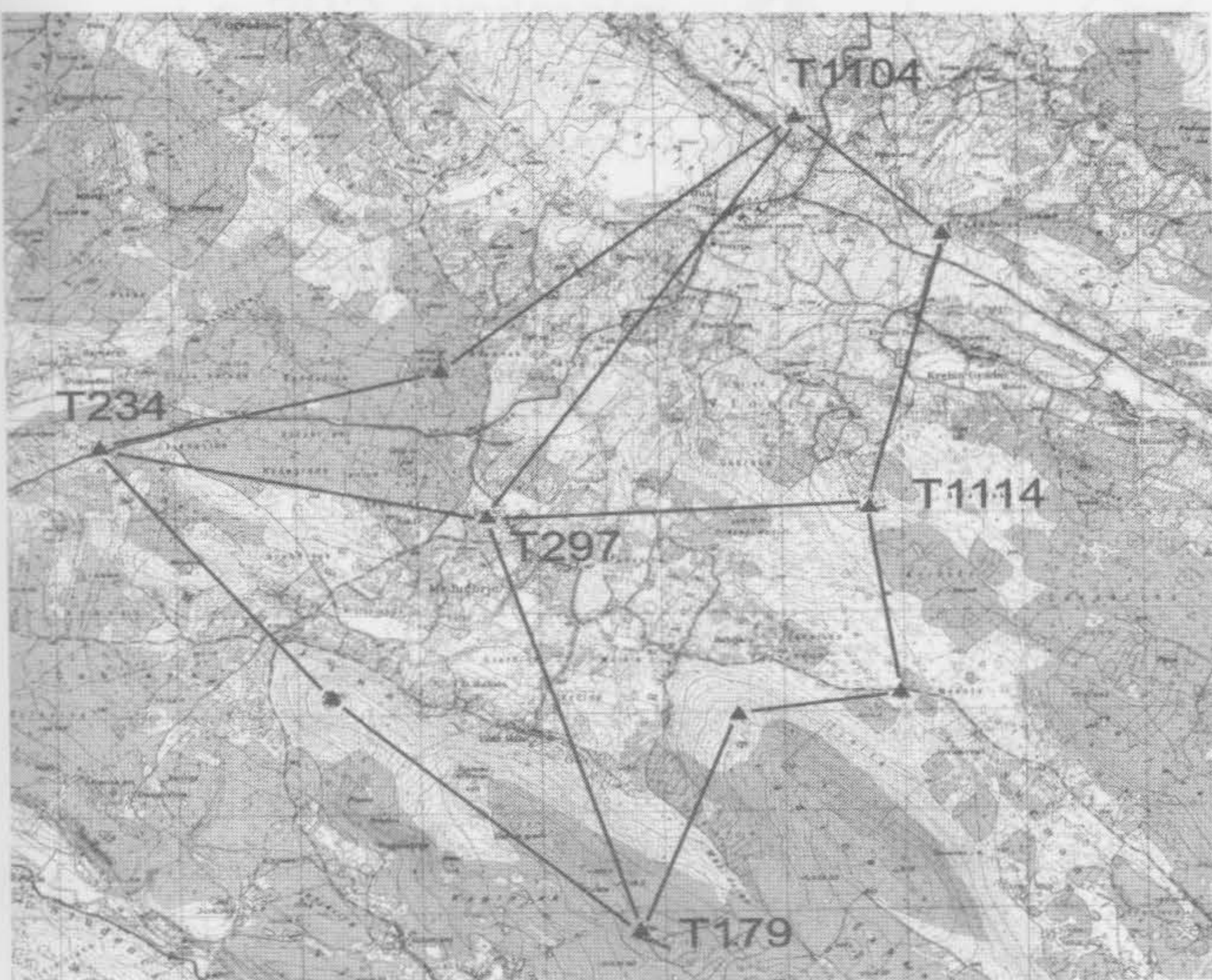


Slika 3. Primjena GPS-a u graditeljstvu, autoindustriji i poljoprivredi

(magla i sl.). Graditeljstvo, poljoprivreda, zaštita okoliša, šumarstvo, navigacija i pozicioniranje na moru, komunalni informacijski sustavi, geografski informacijski sustavi samo su neke od grana gdje se koristi GPS.



Slika 4. Izmjera temeljne mreže opažane GPS-om



Slika 5. Rezultat GPS izmjere u šumarstvu

Diferencijalni GPS se temelji na primjeni minimalno dva prijamnika gdje je jedan stacionaran (bazni) s poznatim koordinatama, a drugi je u pokretu. Potrebno je da prijamnici istovremeno opažaju minimalno četiri ista satelite. Pozicija baznog prijamnika koristi se za računanje korekcija mjerenih pseudoudaljenosti u odnosu na geometrijske udaljenosti dobivene iz koordinata. Ove korekcije se prenose do pokretnog prijamnika radijskim vezama, koji je tada u mogućnosti znatno točnije od apsolutnog pozicioniranja sračunati svoju poziciju (tzv. navigacijski mod).

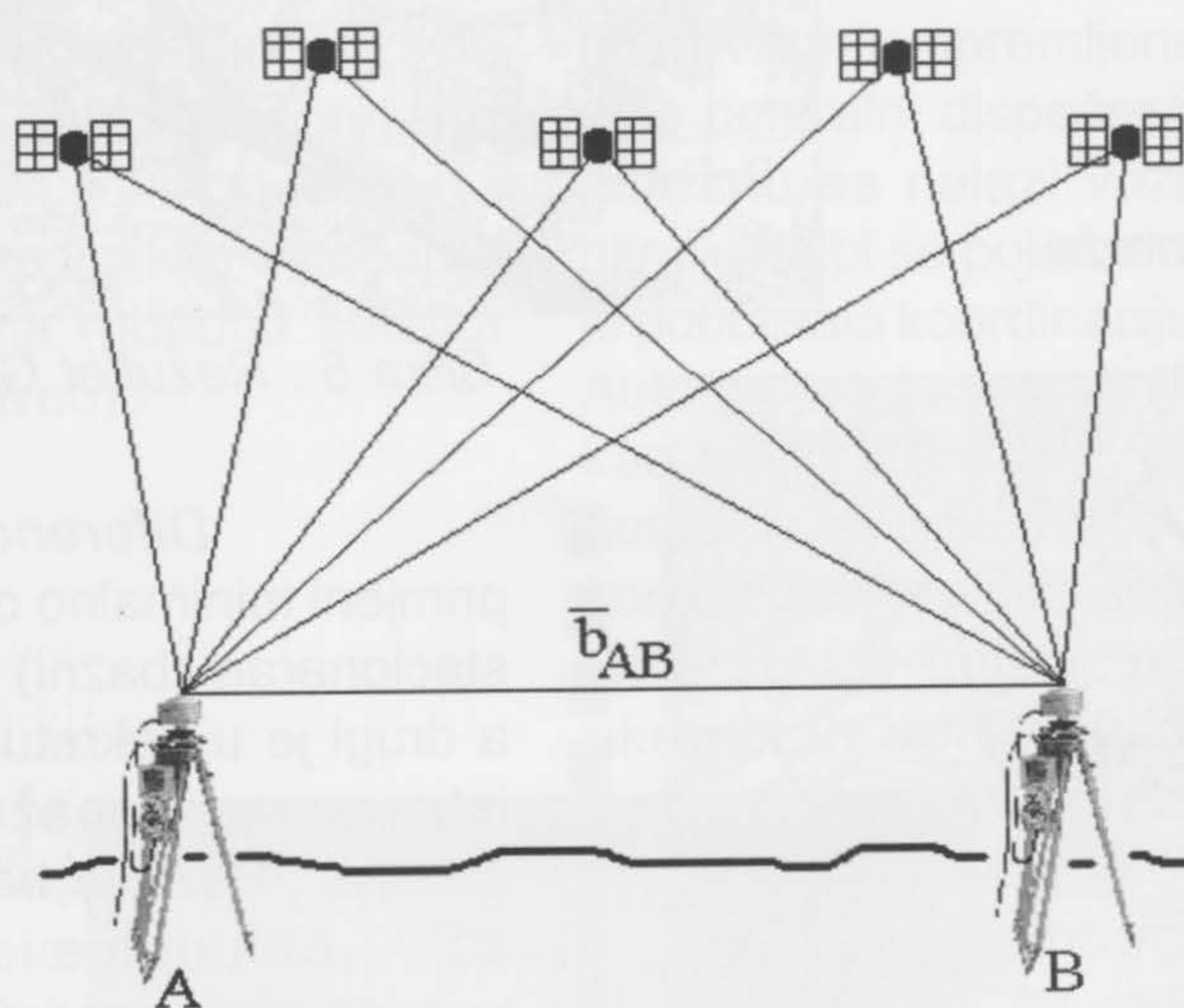
Statička metoda je jedna od najraširenijih i najtočnijih metoda. Ovom metodom se ostvaruju relativne točnosti od 0.1 ppm do 1 ppm. Vrijeme opažanja ovisi o duljini vektora između dviju opažanih točaka.

Brza statička metoda se razvila u smislu skraćivanja vremena opažanja (fast-static ili rapid-static). Vrijeme opažanja ovom metodom skraćuje se povećanjem broja kontinuirano opažanih satelita. U tablici 1. dane su standardne duljine sesija (prema Hofmann-Wellenhof i dr. 1997.) za statiku i brzu statiku, uz uvjet da su kontinuirano vidljiva četiri satelita, da je njihova geometrija dobra i da su uvjeti u atmosferi normalni.

Prijamnik	Statika	Brza statika
L1	30 minuta + 3 minute/km	20 minuta + 2 minute/km
L1 + L2	20 minuta + 2 minute/km	10 minuta + 1 minuta/km

Tablica 1. Duljina opažanja statike i brze-statike

Kinematika je najprihvatljivija metoda kada je potrebno odrediti veliki broj točaka, na većem području u što kraćem vremenu. U *klasičnoj kinematici* se za svaku epohu određuje pozicija gdje snimljeno područje dobivamo u obliku linijske trajektorije. Kod "stop&go" metode registracijom samo nekoliko epoha opažanja znatno se povećava točnost određivanja pozicije za pojedinu točku. Ove tehnike omogućavaju da se na udaljenostima do 20 km postigne točnost na razini centimetra. Kod *kinematike u stvarnom vremenu* (RTK-Real Time Kinematic) podaci mjerenja jednog prijamnika radio-vezom se prebacuju do drugog prijamnika koji svojim programskim paketom trenutno računa poziciju pokretnog prijamnika. *Pseudokinematika* je metoda kod koje se skraćuje interval opažanja po pojedinoj točki, ali svaka točka treba biti mjerena dva puta.



GPS U HRVATSKOJ

Preustrojem i uvođenjem novog nastavnog plana na Geodetskom fakultetu, poseban naglasak dan je satelitskim tehnologijama. Uvode se novi kolegiji kojima se nastavni plan temelji na GPS-u, a poseban naglasak je dan i u poslijediplomskom studiju, gdje nekoliko kolegija u svom nastavnom planu i programu obuhvaća GPS. Geodetski fakultet, prateći razvoj i primjenu ove tehnologije u smislu što boljeg obrazovanja studenata, nabavio je tri dvofrekventna Trimble i dva dvofrekventna Leica GPS prijamnika sa pripadajućim softverima.

Kako je u domovinskom ratu mnogo geodetskih točaka uništeno, bila je neminovna primjena GPS tehnologije u realizaciji i rješavanju novonastalih geodetskih problema. Republika Hrvatska već nekoliko godina, u geodetskom smislu, rabi ovaj sustav za realizaciju najzahtjevnijih zadataka. Početak primjene

od strane naše države bilježimo uključivanjem u europske GPS-kampanje kao što su EUREF'94-CRODYN'94, CROREF'96-CRODYN'96, EUVN'97, CROREF'98 itd., koje su omogućile postavljanje temeljnih točaka hrvatske nacionalne GPS mreže, a one su dalje korištene kao osloničke točke pri progušćenju GPS premjera naše domovine. Veliki broj gradova ima svoja GPS-homogena polja (Zagreb, Varaždin, Krapina, Sisak, Križevci, Samobor, Vrbovec, Našice, Osijek, Đakovo, Split, Čakovec itd.).

Određivanje orijentacijskih točaka pri aero-triangulaciji, primjena u katastarskoj izmjeri, interakcija GPS-a i GIS-a, primjena u šumarstvu, samo su neki od realiziranih i kontinuiranih GPS projekata. Uprava kontrole leta, kao dio Ministarstva pomorstva, prometa i veza, napravila je veliki pomak u

objedinjavanju i povezivanju hrvatskih i europskih zračnih luka GPS izmjerom 11 civilnih zračnih luka, pod kontrolom "Eurocontrol-a", europske

organizacije zadužene za zračne puteve. Povezivanjem Republike Hrvatske u europske integracije dolazi do potrebe osposobljavanja plovnih puteva rijeka Save i Drave. Postavljanjem permanentnih GPS stanica i izmjerom ovih plovnih puteva Hrvatska je dala svoj doprinos integracijom u Europu na tom polju primjenom upravo ove tehnologije. Trenutno u Hrvatskoj postoji nekoliko permanentnih GPS stanica, bilo u probnoj ili radnoj fazi. One će biti temelj permanentne GPS-mreže koja bi trebala u budućnosti prekriti cijelu Hrvatsku. To bi dovelo do toga da će zainteresiranim korisnicima biti dovoljno nabaviti minimalno jedan GPS prijamnik s kojim će snimati zahtjevano područje, dok će

umjesto "svoje" bazne stanice, koristiti podatke odaslane sa permanentne stanice. Mnoge geodetske tvrtke te Uredi za katastar imaju u svojoj opremi GPS prijamnike kojima rješavaju najzahtjevnije zadatke postavljene pred njih. Za očekivati je da će u budućnosti cijena jedno- i dvofrekventnih prijamnika "pasti" što bi omogućilo još veći broj korisnika ove tehnologije. Zato je od velike važnosti da studenti Geodetskog fakulteta steknu i ovladaju GPS-om gdje će njihovo znanje omogućiti da, kao pojedinci i struka, budu korak ispred ostalih u poznavanju i primjeni ove tehnologije.



www.geoteha.nav.to



GeoTeha

M. Matošeca 3, 10090 Zagreb tel./fax 01/3735-178
tel. 01/3730-036 geoteha@zg.tel.hr

