

## **XI Predavanje**

Savremena mjerna tehnika. GNSS metoda. Daljinska detekcija. Bespilotne letilice i LIDAR metoda. Radarsko snimanje terena. Satelitski snimci.

### 11.1 GNSS (Global Navigation Satellite System) metoda

Pojavom tehnologije globalnog pozicioniranja otvoreno je novo poglavlje za primjenu geodezije i proširenje njene primjene u praksi. Osnovni problem koji je postojao u klasičnim primjenama geodezije sastojao se u tome da se obezbijedi međusobno dogledanje tačaka i da se efikasno mjere dužine. Na osnovu izmjerenih pravaca i dužina određivane su koordinate tačaka koje su smatrane finalnim proizvodom geodetskih mjerenja i obrade podataka. Globalni pozicioni sistemi (GPS) riješili su oba problema: tačke više ne moraju da se međusobno dogledaju i koordinate tačaka dobijaju se kao rezultat obrade podataka u samom uređaju. Sistemi za globalno pozicioniranje zahtijevaju druge uslove koji moraju biti ispunjeni a to su: odsustvo prepreka prema satelitima sa kojih se registruje signal i dovoljan broj satelita.

Nedostatak ove metode jeste potreba za otvorenim nebom, pa se tako GPS ne može koristiti u sredinama kao što su tuneli, šume, gradske sredine sa visokim zgradama i slično. Međutim, sa pojavom novih satelitskih sistema (GLONASS, GALILEO, BEIDOU...), čije podatke mogu da primaju i obrađuju svi noviji GPS prijemnici različitih proizvođača, povećeva se i vjerovatnoća da će se na nekom poluotvorenom prostoru dobiti „fiksno rješenje“ tj. mogućnost dobijanja koordinata sa maksimalnom tačnošću za korišćenu metodu na mjerenoj poziciji.

Osim visoke tačnosti GNSS pozicioniranje ima sledeće prednosti:

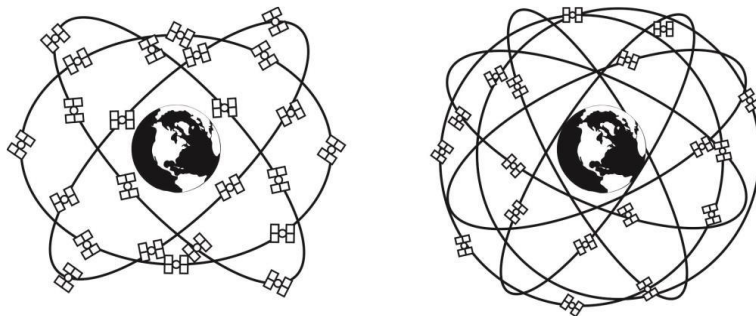
- Položaj je neposredno određen u 3D Kartezijevom koordinatnom sistemu;
- Dogledanje između tačaka na terenu više nije neophodno;
- Svaka tačka je određena posebno pa nema prenosa grešaka;
- Konfiguracija (geometrija) mreže više nije primarna;
- Upotreba GPS uređaja ne zahtijeva posebne vještine;
- Položaj se može odrediti na zemlji, na moru i u vazduhu;
- Mjerenje se može obaviti bez obzira na doba dana i meteorološke uslove.

Koncept satelitskog pozicioniranja započet je lansiranjem prvog vještačkog satelita (SSSR Sputnik) 1957. godine. Zatim, SAD lansira satelit za potrebe navigacije pod nazivom TRANSIT, 1967. godine. Nedostatak je bio dugotrajno opažanje i niska tačnost. Zato je Ministarstvo obrane SAD-a pokrenulo razvoj novog sistema pod nazivom NAVSTAR-GPS. Prvi eksperimentalni GPS satelit lansiran je 1978. godine dok je potpuna operabilnost zvanično postignuta 1995. godine. Od 2000. godine je prekinuta „selektivna dostupnost“ čime je svim (ne samo vojnim) korisnicima omogućen prijem nedegradiranog signala u cijelom svijetu.

Njegova arhitektura se sastoji od 24 operativna satelita ravnomjerno raspoređena u odnosu na Zemlju, (Slika 1) koji se kreću u 6 orbitalnih ravni (po 4 satelita u svakoj)

poluprečnika 26560 km (20200 km udaljenost od Zemljine površine), koje su u odnosu na ekvatorijalnu ravan pod uglom od  $55^\circ$ . Ovakva konstelacija satelita omogućava da se na bilo kojoj tački na Zemlji u bilo kom trenutku mogu „vidjeti“ barem 4 satelita. Ovi sateliti čine takozvani kosmički segment cijelog sistema. Kontrolni segment čini pet zemaljskih stanica koje kontrolišu rad kosmičkog segmenta. Korisnički dio sistema čine prijemnici koji mogu biti zasebni instrumenti ili sastavni dio drugih mjernih uređaja poput fotogrametrijske digitalne kamere ili laserske mjerne glave kao i satova ili mobilnih telefona koji su u svakodnevnoj upotrebi.

GLONASS predstavlja satelitski program koji je tadašnji Sovjetski Savez počeo da razvija 1976. god. takođe za vojne potrebe, a potom nastavila da ga razvija Ruska Federacija. Struktura ovog sistema slična je NAVSTAR-ovoj, s time da kosmički segment obuhvata 24 satelita u 3 orbitalne ravni (po 8 u svakoj od njih) na udaljenosti od 19100 km od Zemlje (Slika 1). Oni obiđu pun krug u okviru svoje orbite za 11 sati i 45 minuta i nalaze se pod uglom od  $65^\circ$  odnosu na ekvatorijalnu ravan. Kontrolni segment čine zemaljske stanice koje su raspoređene na teritoriji današnje Rusije. Za razliku od američkog sistema, GLONASS sistem se značajno kasnije otisnuo u civilni sektor, tj. u komercijalne vode. Posledica toga je da danas u inženjerstvu i drugim granama i dalje u upotrebi jedan broj prijemnika koji nisu podržani od strane GLONASS-a.



Slika 1. Konstelacija satelita; GLONASS (lijevo), NAVSTAR GPS (desno)

Galileo predstavlja projekat Evropske unije i Evropske svemirske agencije čiji je cilj formiranje nezavisnog evropskog servisa za navigaciju. Iako je ideja za uvođenje ovog sistema nastala još devedesetih godina XX vijeka, njegova realizacija je započela poslije 2000. godine. Usled brojnih problema ovaj projekat je daleko od pune operativnosti koja podrazumijeva 30 satelita (27 + 3 rezervna). Sateliti će biti raspoređeni u tri orbitalne ravni (po 9 u svakoj) na udaljenosti 23200 km i biće im potrebno oko 14 sati da obiđu orbitu nalaze se pod uglom od  $56^\circ$  odnosu na ekvatorijalnu ravan. S obzirom na punu interoperabilnost sa sistemom NAVSTAR i GLONASS, Galileo bi trebalo da obezbijedi pokrivenost svake tačke na Zemlji sa velikim brojem satelita.

Pored navedenih sistema koji omogućavaju globalnu pokrivenost Zemlje, postoje i regionalni sistemi koji pokrivaju veća područja Zemlje, odnosno jedne države. U takve sisteme se ubrajaju kineski COMPASS/BEIDOU, zatim indijski IRNSS (skr. Indian Regional Navigation Satellite System) i japanski QZSS (skr. Quasi-Zenith Satellite System). Ovi sistemi su autonomni u odnosu na globalne sisteme i osnovna namjena im je obezbjeđivanje autonomne funkcionalnosti u odnosu na globalne sisteme. Njihova osnovna karakteristika je da kosmički segment čini nekoliko (od 2 do 10) geostacionarnih satelita koji se kreću po kružnim orbitama koje su paralelne ekvatorijalnoj ravni brzinom

koja je identična rotaciji Zemlje. Ovo omogućava da se takvi sateliti uvijek nalaze iznad istog područja na Zemlji, tj. visoko iznad horizonta, tako da u kombinaciji sa satelitima NAVSTAR-a ili GLONASS-a omogućavaju povoljnu konstelaciju i prilikom mjerenja u urbanim područjima.

Pozicioniranje putem GNSS-a bazirano je na trilateracionoj metodi određivanja koordinata, odnosno prostornog lučnog presjeka. Mjerene veličine su rastojanja od tačke na Zemlji čije koordinate određujemo do satelita, koje u ovom slučaju imaju ulogu referentnih tačaka, odnosno tačaka čije koordinate poznajemo. Mjerenje dužina zasniva se na mjerenju vremena prostiranja elektromagnetnih signala između stanice i satelita pomoću dva sinhronizovana časovnika, od kojih se jedan nalazi na stanici, a drugi na satelitu. Kako se dužine dobijaju posrednim putem, odnosno mjerenjem vremena koje je potrebno da signal sa satelita dođe do prijemnika na Zemlji, one se nazivaju pseudodužinama. Klasično rješenje prostornog lučnog preseka za traženu tačku moguće je mjerenjem dužina do tri poznate tačke.

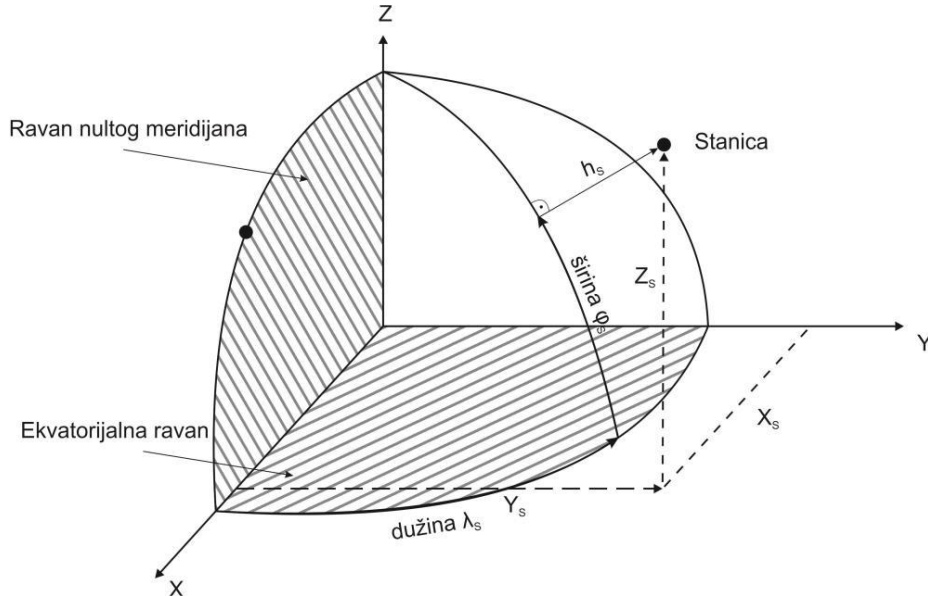
Kako mjerene pseudodužine sadrže istu nepoznatu grešku sinhronizacije časovnika prijemnika na stanici i satelitu, za jedinstveno rješenje neophodno je izmjeriti pseudodužine do najmanje četiri satelita, jer se kao nepoznata veličina pojavljuje i greška sinhronizacije časovnika.

Koordinate tražene tačke A (X,Y,Z) određuje se rješavanjem sistema jednačina:

$$P_i = \sqrt{(X_A - X^{(i)})^2 + (Y_A - Y^{(i)})^2 + (Z_A - Z^{(i)})^2} + u \quad i \geq 4$$

gdje su koordinate sa indeksom  $i$ , koordinate satelita, dok je  $u$  greška sinhronizacije časovnika formulisana u vidu linearne veličine.

Na osnovu mjerenja računaju se X, Y, Z koordinate tačke u odnosu na geocentrični Kartezijanski koordinatni sistem. Tako dobijene koordinate se mogu transformisati u geodetske koordinate: širinu ( $\varphi$ ), dužinu ( $\lambda$ ) i elipsoidnu visinu ( $h$ ) (Slika 2). Takođe, moguće je izvršiti i transformaciju istih koordinata u državni koordinatni sistem kako bi se omogućilo da se koriste za potrebe državnog i inženjerskog premjera.

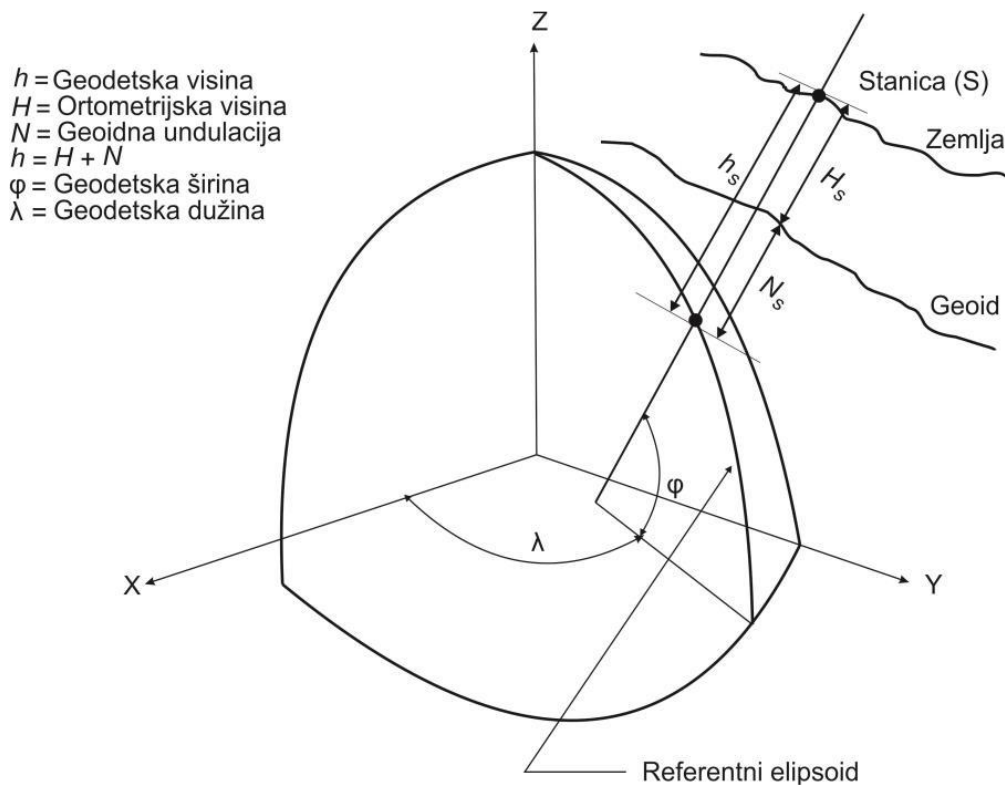


Slika 2. Kartezijanske ( $X_s, Y_s, Z_s$ ) i geodetske ( $\varphi_s, \lambda_s, h_s$ ) koordinate

Tom prilikom posebno treba voditi računa o transformaciji visina. Elipsoidne (geodetske) visine ( $h$ ) koje se dobijaju računanjem, predstavljaju rastojanja od tačke na površi Zemlje duž normale na referentni geocentrični elipsoid, u ovom slučaju to je WGS84 (World Geodetic System 84).

U svakodnevnoj inženjerskoj praksi koriste se takozvane nadmorske visine (u geodeziji se za njih koristi stručni termin ortometrijske visine) koje predstavljaju rastojanje po vertikali od tačke na Zemlji do površi geoida kao referentne površi. Površ geoida aproksimativno predstavlja srednji nivo mora, a u suštini je ekvipotencijalna površ Zemljinog gravitacionog polja. Nepoklapanje površi geoida i referentnog elipsoida, takozvane undulacije geoida ( $N$ ), mogu se kretati u opsegu od +75m (područje Nove Gvineje) do -104m (jug Indije). Ortometrijske visine ( $H$ ) ili kako ih nazivamo „nadmorske visine”, koje se koriste u praksi, mogu se dobiti (Slika 3) po formuli:

$$H = h - N$$



Slika 3. Odnos između geodetske i ortometrijske (nadmorske) visine

Računanje undulacije se vrši osrednjavanjem visinskih razlika dobijenih između elipsoidnih (geodetskih) visina dobijenih GPS mjerenjem i poznatih ortometrijskih visina na istim za traženo područje.

Pozicioniranje na Zemljinoj kori može se izvoditi na tri načina i to: a) apsolutno pozicioniranje, b) diferencijalno pozicioniranje i c) relativno pozicioniranje koje zahtijeva upotrebu dva prijemnika na kojima se simultano opaža.

Apsolutno pozicioniranje podrazumijeva korišćenje samo jednog prijemnika na stanici čije se koordinate dobijaju određivanjem rastojanja do satelita. Apsolutno pozicioniranje se primenjuje obično u navigaciji, dok se u inženjerstvu rijetko primjenjuje, jer obezbjeđuje tačnost od svega nekoliko metara.

Kod diferencijalnog pozicioniranja se korekcije računaju na jednom (referentnom) prijemniku i radio vezom se šalju drugom (pokretnom) prijemniku koji pomoću njih računa svoju poboljšanu poziciju. Ono obezbjeđuje veću tačnost, jer je na osnovu korelacije mjerenja između dva prijemnika moguće eliminisati uticaj sistematskih grešaka.

Kod relativnog pozicioniranja koje daje najbolje rezultate određuje se relativni odnos (vektor ili bazna linija) između dvije tačke, kombinovanjem podataka simultano opažanih na njima.

Danas se kod premjera i određivanja koordinata geodetske osnove primjenjuje nekoliko tehnika mjerenja, ali se one mogu sve svesti na dvije osnovne: a) statička i b) kinematička metoda.

Statičko pozicioniranje (Slika 4) podrazumijeva da prijemnik bude stacionaran na jednom mjestu tokom mjerenja čije vrijeme može da iznosi i nekoliko sati. Ova metoda omogućava centimetarsku tačnost pozicioniranja do  $5\text{mm} + 0,5\text{ppm}$  (skr. parts per million). U slučaju relativnog statičkog pozicioniranja (simultana mjerenja sa dva i više prijemnika), dostiže se tačnost i do  $0,1\text{ ppm}$  (skr. parts per million), odnosno  $0,1\text{ mm/km}$ . Da bi se obezbijedila ta tačnost period mjerenja na stanici može da iznosi od 5 do 20 minuta za baze do  $5\text{km}$ , odnosno 1 do 2 sata za bazna rastojanja do  $20\text{km}$ , što se i preporučuje kod razvijanja operativnih poligona saobraćajnica. Oba prijemnika moraju biti dvofrekvencijska uz postojanje optimalne geometrije satelita.



Slika 4. Statičko pozicioniranje

Kinematička metoda, koja je razvijena devedesetih godina XX vijeka bazirana je na diferencijalnom pozicioniranju. Prve primjene kinematičke metode vezane su upravo za snimanje uzdužnih profila saobraćajnica. Ova metoda omogućava i da rover - prijemnik bude montiran i na vozilu koje je u pokretu (Slika 5). Ona se može primjenjivati u dva režima rada, tako što se korekcije sa bazne stanice mogu procesirati naknadno (engl. post-processing) ili u realnom vremenu (engl. realtime) gdje se korekcije sa bazne stanice očitavaju u toku rada, što podrazumijeva radio-vezu između prijemnika.

Osim inženjerskog premjera centimetarske tačnosti (što odgovara tačnosti klasičnog terestričkog snimanja teodolitom), rad u realnom vremenu omogućava primjenu ove metode i kod obilježavanja objekata.



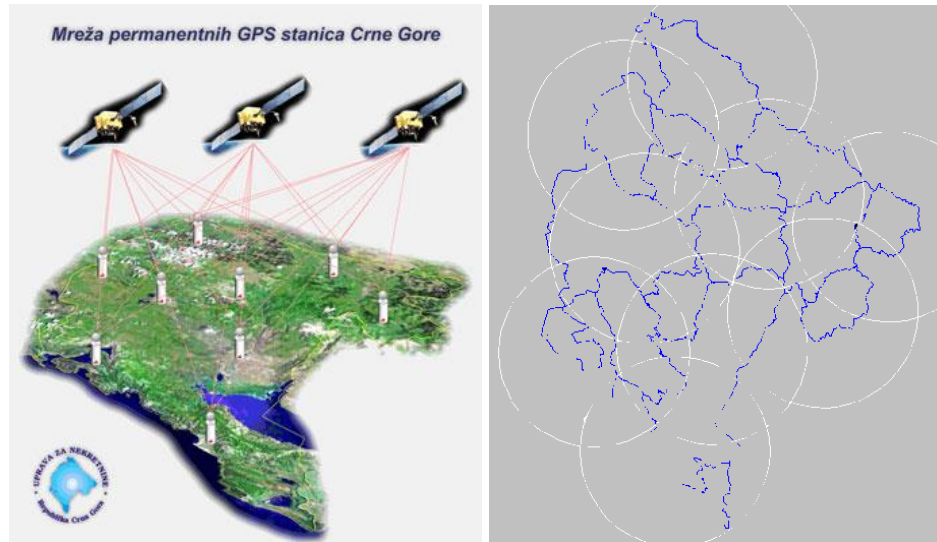
Slika 5. Dinamičko pozicioniranje na vozilu u pokretu

Inače, da bi se geodetske koordinate dobijene GPS metodom transformisale u državni koordinatni sistem potrebno je računanje parametara za transformaciju. Oni se računaju tako što se prijemnik postavlja iznad najmanje tri tačke čije su koordinate poznate u državnom koordinatnom sistemu a nalaze se okolo područja za koje treba odrediti parametre. Kada se odrede GPS (WGS) koordinate ovih tačaka potrebno je sračunati 7 transformacionih parametara (3 rotacije, 3 translacije i faktor razmjere). Oni mogu da se računaju u softveru u samom kontroleru koji je sastavni dio GPS opreme (Slika 6). Sada se pomoću ovih parametara sve tačke koje čije se koordinate određuju na tom području mogu transformisati u državni koordinatni sistem.



Slika 6. GPS oprema

U novije vrijeme, zemlje razvijaju svoju aktivnu geodetsku referentnu mrežu tačaka, na kojima su ugrađeni prijemnici koji stalno primaju signale sa satelita. Direkcija za nekretnine Republike Crne Gore (sadašnja Uprava za nekretnine) je navedeni projekat realizovala 2005. godine pod nazivom MontePos (Slika 7).



Slika 7. MontePos - mreža permanentnih GPS stanica Crne Gore sa njihovim rasporedom

Do razvijanja MontePos mreže permanentnih stanica jedina mogućnost precizne primjene GNSS tehnologije je bila metodom „baza – rover”. Dakle, korisnici su morali da imaju dva GPS prijemnika od kojih bi jedan postavili iznad poznate tačke i on bi radio vezom slao korekcije za dužine roveru koji je određivao koordinate nepoznatih tačaka. Ova mreže permanentnih GPS stanica oslobađa korisnika obaveze da posjeduje najmanje dva prijemnika radi relativnog pozicioniranja jer tačke referentne mreže zamjenjuju bazu.

U osnovi, permanentna mreža Republike Crne Gore sastoji se iz:

- GPS segmenta;
- Kontrolnog centra;
- Korisničkog segmenta.

GPS segment čini 9 permanentnih stanica koje su relativno pravilno raspoređene po čitavoj teritoriji Crne Gore, na prosječnom međusobnom rastojanju od oko 70km. Na permanentnim stanicama operišu dvofrekventni GPS prijemnici i antene najviše klase, kao i odgovarajući hardver i softver. Lokacije za postavljanje permanentnih stanica odabrane su u skladu sa zahtjevima za neometanu elektronsku vidljivost svih satelita iznad horizonta. Iz praktičnih razloga bezbjednosti, sve permanentne stanice i pripadajuća oprema smješteni su na objektima katastarsa (područne jedinice Uprave za nekretnine).

Kontrolni centar je mjesto gdje se neprekidno prikupljaju podaci sa permanentnih stanica, koji se onda specijalizovanim softverom i hardverom pripremaju, obrađuju, arhiviraju i isporučuju na zahtjev korisnika. Smješten je iz praktičnih razloga u sjedište Uprave za nekretnine u Podgorici.

Korisnički segment sastoji se od korisnika svih profila, opremljenih GPS prijemnicima i dodatnom opremom, čime je omogućeno pozicioniranje u realnom vremenu sa tačnošću od 2–3cm. Komunikacija korisnika sa Kontrolnim centrom odvija se putem GPRS-a, GSM-a i Interneta.

Permanentne stanice imaju mogućnost da pored popravki za dužine, putem signala GPS prijemnicima odašilju i transformacione parametre za prelaz sa geodetskih na koordinate u državnom koordinatnom sistemu. Naime, Uprava za nekretnine Crne

Gore je 2011. godine odredila jedinstvene transformacione parametre za čitavu teritoriju države koji se putem ovog sistema distribuiraju korisnicima. Potrebno je napomenuti da su ovo samo parametri za horizontalnu transformaciju i da visine dobijene ovim putem nijesu ortometrijske. One nijesu ni elipsoidne već su dobijene u postupku interpolacija i odstupaju od ortometrijskih u vrijenostima do  $\pm 1\text{m}$ . Cjenovnik korišćenje svih servisa MontePos-a nalazi se na sajtu Uprave za nekretnine Crne Gore ([www.uzn.me](http://www.uzn.me)).

Kroz sistem MontePos mogu se koristiti dva modula: MontePos – PPK (Post Processing Kinematic) tehnika i MontePos - RTK (Real Time Kinematic) tehnika. PPK daje visoku tačnost na velikim daljinama tipično za geodetske mreže. Ovo je jedan oblik primjene statičke metode gdje se prijemnik postavlja na tačku s poznatim koordinatama, a drugi se postavlja na tačku nepoznatih koordinata. U ovom slučaju poznata tačka je permanentna stanica. Opažanje traje zavisno od tražene tačnosti a najmanje je (20min + 2min/1km) do nekoliko sati što je neophodno zbog promjene geometrijskog odnosa između prijemnika i satelita. Tim se postupkom postiže tačnost od 5mm + 1ppm.

Ipak, većina mjerenja se danas obavlja korišćenjem RTK metode. Ova metoda omogućava snimanje velikog broja tačaka i njihov prikaz u realnom vremenu, kao i direktno iscrtavanje detalja na terenu, što olakšava naknadnu obradu u kancelariji. Ovim se postupkom postiže tačnost od 1-3cm i 3-4cm u visinskom smislu zavisno od udaljenosti, permanentne stanice, broja i geometrije satelita, vremena opažanja itd. Zbog svojih karakteristika, ova se metoda vrlo efikasno primjenjuje kod novih katastarskih premjera, gdje se snima velika količina detaljnih tačaka na relativno malom području. Takođe, vrlo je zahvalna i pruža dovoljnu tačnost kod „iskolčavanja” tačaka koje se naročito u održavanju katastra, koristi prilikom obilježavanja graničnih linija parcela. Vrlo brzo i efikasno se prikupljaju podaci za diobu parcele, parcelaciju po DUP-u, pa i za knjiženje objekata u kombinaciji sa klasičnom metodom premjera (uspostavi se mreža tačaka oko objekta pa se sa nje nastavi klasično snimanje totalnom stanicom).

Kod projektovanja i izgradnje saobraćajnica, GNSS tehnologija se može primjenjivati pri razvijanju operativnih poligona i to samo u položajnom smislu, kao i pri izradi podloga za projektovanja, u prvom redu snimanja poprečnih profila terena, kao i položajnog obilježavanja osovina i detaljnih tačaka buduće saobraćajnice. Pogodnost primjene ove metode posebno dolazi do izražaja na otvorenim, nezaraslim terenima gdje se postiže veća efikasnost i ušteda u vremenu u poređenju sa klasičnim terestričkim metodama.

## 11.2 Daljinska detekcija

Daljinska detekcija predstavlja tehnologiju masovnog prikupljanja geoprostornih podataka putem sistema koji nisu u direktnom fizičkom kontaktu sa ispitivanom pojavom ili objektom (senzori na avionu, satelitu). Primjenjuje se za potrebe prostornog planiranja, putnih pravaca i željezničkih pruga, dalekovoda, gasovoda, izrade geo-informacionih sistema, za geološka, geofizička, ekološka i razna druga istraživanja.

Tehnologija daljinske detekcije se bazira na registrovanju i interpretaciji elektromagnetnog zračenja koje se odbija od površine objekata a za to moraju biti na raspolaganju različiti senzori. Senzori predstavljaju uređaje za otkrivanje, registraciju i mjerenje zračenja, emitovane i reflektovane elektromagnetne energije. U skladu sa tim



dijele se na: a) aktivne senzore koji emituju sopstvene elektromagnetne talase i registruju ih nakon odbijanja od objekata i na b) pasivne senzore koji registruju energiju koju zrače sami objekti.

Elektromagnetni talasi različitih dužina prolaze kroz atmosferu rasipajući se tom prilikom ili apsorbujući se pri kontaktu sa česticama vodene pare, ugljen dioksida ili ozona. Jedino elektromagnetni talasi iz vidljivog infracrvenog i mikrotalasnog spektra prolaze kroz atmosferu sa malim procentom rasipanja i apsorpcije pa se iz tog razloga najviše koriste u daljinskoj detekciji.

U skladu sa karakteristikama korišćenih senzora, tehnike daljinske detekcije koje se danas koriste u geonaukama i inženjerstvu su:

- Pasivna: fotogrametrija i satelitski snimci;
- Aktivna: LIDAR i radarski snimci.

Zajedničke karakteristike ovih senzora su da koriste djelove spektra koji su manje podložni rasipanju i absorpciji, senzitivni su na različite izvore zračenja i selektuju spektralne opsege energije koji najpodesnije reaguju sa ciljanim površinama.

Finalni proizvod svih tehnika daljinske detekcije je dobijanje karata, kako tematskih tako i topografskih kao i vizuelizacija prostora u 3D formatu. Na osnovu satelitskih snimaka se dobijaju pregledne ortofoto karte. Osnovne karakteristike informacija koje se dobijaju su:

- Sveobuhvatnost preglednog stanja na površi Zemlje (teško se postiže tradicionalnim metodama mjerenja);
- Ponovljivost, što podrazumijeva periodična opažanja koja olakšavaju identifikaciju promjena i lako ažuriranje postojećih podataka;
- Prikupljanje podataka u različitim područjima elektromagnetnih talasa, što omogućava kolekciju kako geometrijskih tako i fizičkih osobina (temperatura, vlažnost itd.) prostora.

Informacije koje dobijamo nastaju kroz tri faze:

- Prikupljanje podataka sa platformi koje se nalaze na letilicama (avioni, baloni, helikopteri...);
- Obrada prikupljenih podataka;
- Analiza i interpretacija izlaznih podataka dobijenih kroz restituciju snimaka, klasifikaciju i kartiranje.

U geodetskim primjenama, daljinska detekcija je orjentisana na prikupljanje prostornih podataka koji se odnose na reljef i topografiju terena, pri čemu se opseg tačnosti prikupljenih podataka kreće od centimetarske (fotogrametrija i LIDAR), pa do metarske i dekametarske tačnosti (satelitski i radarski snimci).

## 11.2 Bepilotne letilice i LIDAR metoda prikupljanja podataka

Sredinom devedestih u industriji koja se bavi prikupljanjem geopodataka pojavljuje se nova tehnologija koja se bazira na primjeni lasera a namijenjena je masovnom prikupljanju geometrijskih podataka visoke tačnosti. U daljem tekstu biće

opisane bespilotne letilice kao nosioci instrumenata za snimanje i LIDAR tehnologija kao vodeća tehnologija tog tipa u savremenom svijetu geodezije.

Zbog sve većeg interesovanja za ažuriranje geopodataka - uglavnom 3D i katastarskih podataka kao osnova za GIS i mapping aplikacije - postoji potražnja za brzu i efikasnu metodu snimanja koja kombinuje akviziciju podataka sa dodatnim informacijama kao što su slike, ortofotografije, 3D-modeli objekata i infrastrukture i model terena. Jedna mogućnost za takvu brzo i efikasno prikupljanje georeferenciranih podataka je upotreba UAV sistema (bespilotne letilice).

Bespilotna letilica (engl. UAV - *Unmanned Aerial Vehicles*) je letilica ili avion bez posade, koja se može nadzirati na daljinu ili letjeti samostalno upotrebom unaprijed programiranog plana leta ili pomoću složenih autonomnih dinamičkih sistema (slika 8). Često se koriste u vojne svrhe za izviđanje i napad na ciljeve kao i za brojne civilne zadatke, kao što su vatrogasni zadaci, policijsko praćenje ili istraživanje terena.



Slika 8. Primjeri bespilotnih letilica

Takođe, koristi se termin UAS - *Unmanned Aircraft System* – sistem zasnovan na bespilotnoj letilici. Da je reč o sistemu kod kojeg je bespilotna letilica samo jedan dio, jasno je kada se pogleda koji su njegovi elementi. Tipičan UAS sastoji se od: bespilotne letilice, kontrolnog računara, radio veze za komunikaciju sa letilicom, softvera za teren i biro i ostalog pribora. Ovi sistemi su idealni za premjer manjih do srednjih površina, suviše velikih za klasičan premjer, ali nedovoljno velikih i ekonomski neopravdanih za klasičan aerofotogrametrijski premjer. Jednostavnost upotrebe i niska cijena, ističu UAV u prvi plan u brojnim inženjerskim oblastima i omogućuju nove, do sada neslućene primjene. Na skali geodetskih metoda prikupljanja podataka, postavljaju se između terestričkih metoda i klasične aerofotogrametrije, obezbjeđujući povećanu produktivnost nedostižnu terestričkim metodama, uz ekonomičnost i jednostavnost koju klasična aerofotogrametrija ne može da postigne.

Ovdje je vrlo važno napomenuti i trenutni izazov potpuno samostalnog leta letilice na kojem vodeće naučne institucije trenutno intenzivno rade. Drugim riječima, kada se letilica nalazi u vazduhu i samostalno izvodi unaprijed planirani let, ona ne

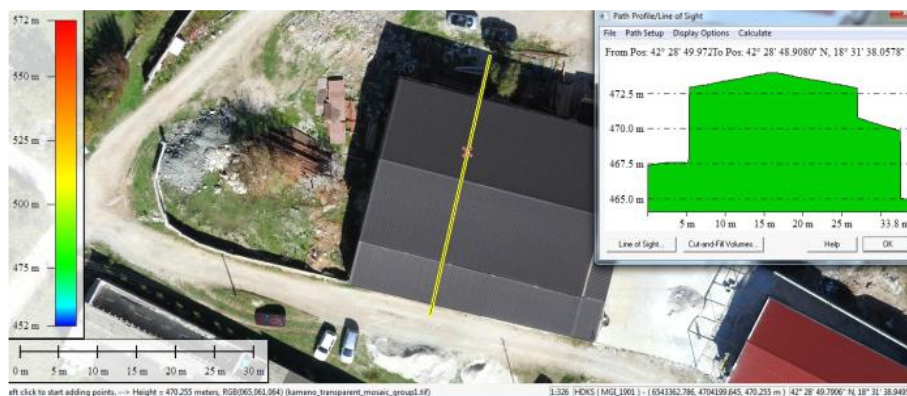
prepoznaje fizičke prepreke ili iznenadne situacije koje joj se mogu naći na putu. Pri tome vrlo je važna uloga operatera da prije samoga izvođenja leta neposredno na terenu planira let uzimajući u obzir sve prepreke koje su u prostoru statične (visoka vegetacija, vodovi dalekovoda, antene kao i razni visoki objekti u urbanim područjima). Tokom izvođenja leta operater ima potpuni nadzor nad letilicom u slučaju iznenadne pojave prepreke (ptice, druge letilice, iznenadne promjene vremenskih prilika) pa na vrijeme preuzima kontrolu nad letilicom. Takođe, ukoliko se pojavi situacija kada letilica izgubi komunikaciju sa zemaljskom upravljačkom stanicom ili kvara na nekom od uređaja u samoj letilici, ona mora biti sposobna trenutno reagovati, obustaviti izvođenje leta i sigurno se spustiti na za to predviđeno mjesto. Zato je trenutni razvoj mikro i mini kategorije bespilotnih letilica usmjeren prema potpuno samostalnom upravljanju letilicom, odnosno uočavanju, prepoznavanju i izbjegavanju fizičkih prepreka koje se mogu pojaviti tokom leta. Bespilotni aerofotogrametrijski sistemi kreiraju dva osnovna rezultata: ortofoto snimak i digitalni model površina.

Ortofoto planovi, digitalni modeli visina i 3D oblaci tačaka kompatibilni su sa najpoznatijim GIS i CAD softverima i predstavljaju univerzalan izvor informacija za stručnjake iz raznih oblasti. Mogu se koristiti za razna mjerenja, proračune i analize. Na njima je moguće i digitalizovati 3D koordinate tačaka, mjeriti dužine na terenu, dimenzije objekata, površine prostora, visine objekata ili nadmorske visine terena, računati zapremine (Slike 9 i 10), itd.

Pogodni su i za kreiranje profilnih linija, izohipsi, linija oticaja, slivnih oblasti, karata osunčanosti, simulacije poplava, analizu vidljivosti iz izabranih pozicija itd.



Slika 9. Računanje profila iz digitalnog modela terena



Slika 10. Računanje profila kroz objekat

Kombinovanjem različitih vrsta snimaka moguće je kreirati tematske karte koje prikazuju indeks vegetacije (NDVI), na osnovu kojeg se mogu analizirati poljoprivredne kulture, zdravlje biljaka, hlorofil, itd. Ovi snimci imaju veliku primjenu u poljoprivredi i šumarstvu.

Lasersko skeniranje, poznato kao ALS (skr. Airborne Laser Scanning) ili LIDAR (skr. Light Detection and Ranging) je lasersko altimetrijski sistem koji određuje 3D tačke na zemljinoj površi (X,Y, Z koordinate), koristeći laser postavljen na helikopter (Slika 7) ili neku drugu letilicu i sakuplja precizne podatke. U zavisnosti od visine, brzine i širine koridora, broj sakupljenih tačaka se kreće od 1.000.000 – 2.500.000 po kilometru. Ovako velika gustina tačaka omogućava tačno i pouzdano 3D pozicioniranje čak i malih detalja u koridoru kao: osnovnih linija objekata, vodova, dalekovodnih stubova, osnovnih linija puta, staza i sl., a u kombinaciji sa ortofoto planovima (rezolucije 4-8cm) i videom kreira realističan model terena. Radi velike učestalosti mjerenja i do 200kHz, u kratkom je vremenu moguće detaljno izmjeriti oblik površine terena i objekata na njoj. Lasersko skeniranje se može vršiti i sa stativa kao i sa vozila u pokretu - terestički skeneri (Slika 11).



Slika 11. Laserski skener montiran na stativ, helikopter i vozilo u pokretu

LIDAR se ne koristi samo za prostorno skeniranje, već i za praćenje fizikalnih procesa u atmosferi jer omogućava vrlo precizno mjerenje brzine, smjera kretanja i gustoće čestica u atmosferi. Ova ograničena područja, posebno strme površine terena, izrada detaljnih modela zgrada i pojedinačnih skulptura i ostalih predmeta, pogodniji su za skeniranje s nepomičnih mjesta snimanja.



Slika 12. Ilustracija Lidar metode

Ova metoda se zasniva na određivanju rastojanja primjenom laserskog snopa (talasne dužine 500nm do 1500nm) svjetlosti. U osnovi ona je bazirana na polarnoj metodi snimanja gdje je stanica mjerna glava sa senzorom, a izmjerena dužina i konstantni ugao između laserskih zraka služi za definisanje ugla do tačke na površini terena od koje se isti taj zrak odbio. Za određivanje prostorne koordinate neophodno je i znati i tačnu poziciju letilice u prostoru i njenu orijentaciju, tj položaj laserskog zraka u odnosu na ose prostornog koordinatnog sistema. Zbog toga je neophodno da mjerna glava ima integrisan GPS i inercijalno navigacioni sistem (INS) kako bi se odredila tačna pozicija i orijentacija izvora za svaki vektor laserskog zraka.

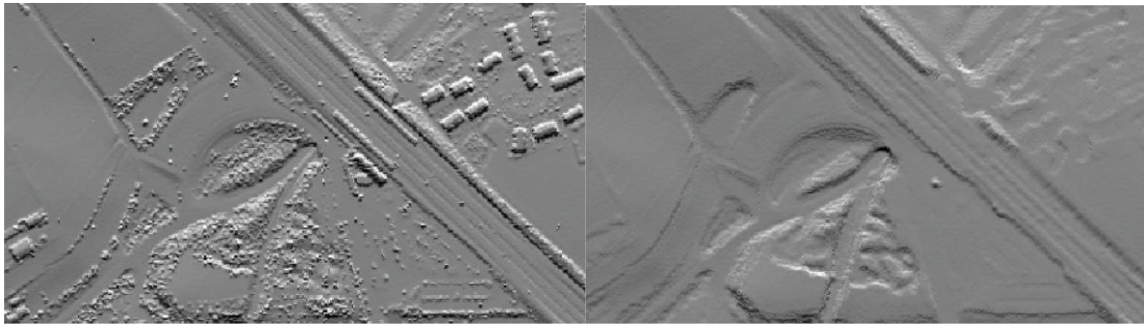
Područje koje je predmet premjera se nadlijeće letilicom koja s donje strane nosi LIDAR. Zavisno od vidnog ugla skenera (engl. *Field of View* - FOV) i visine leta, tokom jednog preleta moguće je izmjeriti pojas na terenu odgovarajuće širine, tj. jedan niz. Cijelo se područje prema potrebi nadlijeće više puta kako bi se snimilo s potrebnim brojem nizova. Da se osigura pokrivanje cjelokupnog područja premjera i izravnane svih nizova u bloku, visinski i položajno, između nizova se ostavlja preklap.

Udaljenost od senzora do mjerene tačke određuje na osnovu mjerenja vremena koje je potrebno da laserski impuls stigne do objekta i reflektuje se nazad. Laserski skener se sastoji od sledećih glavnih dijelova: impulsnog lasera, mehanizma za skeniranje i prijemnog senzora sa sistemom za mjerenje vremena putovanja laserskog impulsa. Impulzni laseri omogućavaju veliku snagu odašlanog impulsa i imaju vrlo dobru usmjerenost i koherenciju. Frekvencije se biraju u području maksimalne propustnosti atmosfere da bi se što više smanjilo prigušenje mjernog signala a talasna dužina se bira bliska IC području zbog toga što ljudsko oko nije osjetljivo na taj dio spektra zračenja. Interesantno je pomenuti da postoji i batimetrijski LIDAR koji koristi frekvenciju koju ne prepušta površina vode a i zrake talasne dužine zelene svjetlosti koji idu do dna. Batimetrijski LIDAR koristi obje frekvencije istovremeno kako bi uz digitalni model dna odredio i nivo vodnog lica i iz njihove razlike direktno odredio dubinu. Laserski se zrak namjerno divergira od 0.3 do 2mrad, kako bi pokrio područje od oko 0.3 do ~2m sa relativne visine leta od 900m (uobičajena visina za skeniranje). Na taj se način omogućava da dio laserskog zraka dopre kroz lišće i granje do terena i da se nazad reflektuje senzoru. Vremenskom klasifikacijom reflektovanog zračenja moguće je odrediti tačku na terenu, iako je zaklonjena nekim rastinjem (ne pregustim).

Kod laserskog skeniranja iz vazduha odašilje se impuls laserskog zračenja ka zemlji. Na tom putu laserski se zrak rasprši na vegetaciji i ostalim objektima i, na kraju, od površine terena. U tom se slučaju energija laserskog zračenja širi u svim smjerovima i jedan mali njen dio se bilježi u senzoru. Količina reflektovanog zračenja, zabilježenog u senzoru zavisi, pored intenziteta izračene energije i od trenutnog ugla skeniranja kao i stepena refleksije trenutno skeniranih objekata. Tamne površine snažno upijaju lasersko zračenje pa se često dešava da na ovim površinama nema izmjerenih podataka.

Tokom leta, ALS prikuplja podatke sa svakog od svojih senzora zasebno, najčešće u tzv. sirovom formatu, kako bi se što više smanjilo vrijeme potrebno za procesiranje i povećala propusnost i kapacitet ALS sistema. Radi objedinjavanja podataka sa svih senzora, izuzetno tačna njihova međusobna vremenska sinhronizacija je od najvećeg značaja za tačnost cjelokupnog sistema. Objedinjavanje mjerenih podataka se stoga radi nakon leta i obuhvaća sljedeće faze: direktno georeferenciranje mjerenih

podataka, izravnanje nizova i kalibracija ALS sistema, segmentacija oblaka tačaka, klasifikacija i filtriranje, i prorjeđivanje podataka (Slika 13). Ne ulazeći u detalje svake od ovih faza ovdje treba staviti akcenat na klasifikaciju i prorjeđivanje podataka. Osnovni problem ALS skupa podataka leži u količini podataka sadržanih u njemu. Time je jako ograničena primjena ovih mjerenja, jer količina podataka nadilazi kapacitet uobičajene računarske i softverske opreme. Standardni CAD softver ne može ni učitati toliku količinu podataka bez dodatnih softverskih rješenja (tzv. *plug-in-ova*). Zato je zadatak prorjeđivanja podataka da se zadrži minimalni skup podataka, koji još uvijek mogu (zavisno od primjene) opisati predmet premjera zadovoljavajućom kvalitetom.



Slika 13. Originalni i filtrirani podaci ALS

Istraživanja su pokazala da je poziciona tačnost 2 do 5 puta manja nego visinska tačnost. Visinska tačnost DMT-a dobijenog LIDAR tehnologijom odgovara tačnosti DMT-a dobijenog fotogrametrijskim mjerenjima za razmjere snimanja 1:7000 do 1:10000. Na nagibima terena manjim od 30% LIDAR tehnologija daje bolje rezultate. Zanemarujući uticaj nagiba terena očekivana tačnost mjerenja laserima je od 5cm do 20cm. Zbog mogućnosti prodiranja laserskih snopova kroz vegetaciju ova tehnologija ima prednosti nad fotogrametrijom. Dobijena tačnost za DMT tačke u šumovitim terenima se može izraziti formulom:

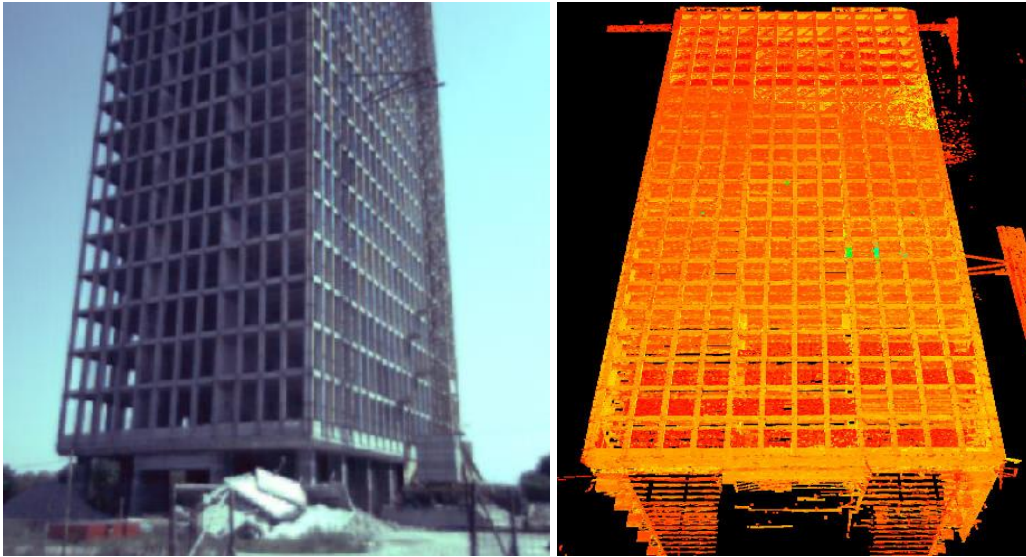
$$\sigma_z (cm) = \pm \sqrt{18 + 120 * \tan S}$$

gdje je S nagib terena izražen u stepenima.

Napretkom tehnologije ALS-a proširilo se područje primjene i danas uglavnom obuhvaća prostorno modeliranje, prostornu vizualizaciju i detekciju promjena. Najčešći zadaci ALS-a su:

- topografski premjer,
- određivanje visine vegetacije i količine biomase,
- premjer obalnih područja,
- praćenje erozije, zaštita od lavina,
- premjer lednika,
- digitalni modeli gradova,
- praćenje ugroženosti dalekovoda vegetacijom,
- praćenje kubatura kod otvorenih kopova i deponija otpada.

Na Slici 14 se vidi proizvod dobijen skeniranjem zgrade današnjeg poslovnog centra “Ušće” u Beogradu.



Slika 14. Proizvod laserskog skeniranja

### 11.3 Radarsko snimanje terena

Naziv radar je akronim riječi "Radio Detection And Ranging" i u slobodnom prevodu znači otkrivanje i mjerenje udaljenosti objekata putem radio talasa. Ovaj uređaj je proizveden 1941. godine za potrebe vojske SAD-a i njegova prvobitna namjena je bila lociranje određenih objekata. Tokom sedam decenija radari su evoluirali i tada je otkrivena nova mogućnost „slikanja“ terena i objekata pomoću njih.

Postoje brojne prednosti korišćenja radara za daljinsku detekciju. Za razliku od mnogih optičkih sistema, radarski sistemi mogu da se koriste i danju i noću, odnosno na ovaj sistem ne utiču vremenski uslovi prilikom snimanja terena. Zbog dugih talasnih dužina, ovi talasi mogu da prođu kroz oblake, maglu, pijesak, lišće, zgrade, zemljište i druge materijale. Ova tehnologija može sa visokom tačnošću da odredi rastojanje do nekog objekta korišćenjem radio-talasa.

Princip rada je sličan onom koji se koristi primjenom lasera samo što se ovdje koriste zračenja koja pripadaju širem opsegu elektromagnetnog spektra sa dužim talasnim dužinama. Kao i kod LIDAR tehnologije, SAR (Skr. Synthetic Aperture Radar) tehnologija koristi aktivne senzore koji emituju radio-talase i registruju odbijene talase.

Radar proizvodi mikrotalasno zračenje, usmjerava ga antenom ka objektu i registruje reflektovanu energiju iz istog pravca u kom je poslat signal. Ovaj povratni signal se naziva eho. Intenzitet eha za jedan tip radara zavisi od svojstava objekta. Udaljenost objekta se određuje mjerenjem perioda između prenosa radarskog impulsa i prijema refleksije. U većini radarskih sistema ovaj vremenski period je veoma kratak, jer elektromagnetni talasi putuju brzinom zvuka. Proces detekcije kod radara je nezavisan od sunčeve energije, te se, kao što je već navedeno, podjednako uspešno primjenjuje i danju i noću.

Osnovne karakteristike SAR tehnologije su:

- Rezolucija SAR slike nezavisna je od udaljenosti senzora od terena;

- Tačnost koordinata SAR piksela ne zavisi od tačnosti određivanja položaja platforme sa senzorom;

- Geometrijska tačnost SAR slike ne zavisi od rastojanja između senzora i terena;

- Prikupljanje podataka SAR snimaka se može vršiti i noću i ne ometaju ga oblaci.

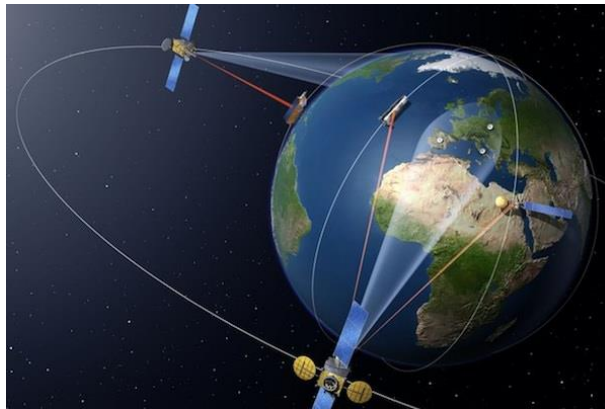
DMT dobijen SAR tehnologijom ima nivo detaljnosti i tačnosti koja odgovara kartama razmjere 1:5000 do 1:50000. Iako je SAR metoda po tačnosti nižeg ranga od LIDAR (metarska tačnost naspram decimetarske), ona je znatno ekonomičnija posebno za velike prostorne zahvate.

Neki SAR sistemi pod idealnim uslovima mogu da pokriju područje od 30000km<sup>2</sup> za samo jedan dan snimanja. Posebno je interesantno da mjerenja radarskom tehnologijom mogu da se obavljaju u pravilnim rasterima, tako da gridni DMT dobijen na ovakav način je praktično rezultat integracije mjerenih podataka bez interpolacije. Ova tehnologija nudi mogućnost korišćenja širokog dijapazona letilica, za razliku od laserske tehnologije tako da je NASA ovu tehnologiju prikupljanja podataka o terenu primijenila na misijama u svemiru već 1999. godine.

Podaci koji su dobijeni ovom tehnologijom snimanja imaju široku primjenu u različitim naučno istraživačkim oblastima. Pravovremene informacije dobijene ovom tehnologijom mogu biti od velikog značaja kod sprječavanja nekih negativnih posledica (npr. zaštita od šumskih požara). Kao i ostale tehnologije, tako je i ova tehnologija u stalnom razvoju. Razvoj ove tehnologije se ogleda u poboljšanju rezolucije (prvobitna rezolucija bila 25m sada je do na 3m), smanjenju vremenske isporuke snimaka i dr.

## 11.4 Satelitski snimci

Za korišćenje ove metode prikupljanja podataka potrebno je da digitalna kamera bude montirana na satelitu (Slika 15).



Slika 15. Sateliti za snimanje

Pojam koji se najčešće koristi za specifikaciju satelitskih snimaka je njihova rezolucija. Rezolucija je termin koji se obično koristi za opis broja piksela koji se mogu prikazati na snimku, ili područja na Zemlji koje reprezentuje piksel na snimku, što bi odgovaralo prostornoj rezoluciji.



Senzori kamere osjetljivi su na različite spektre elektromagnetnih talasa. Spektralna rezolucija se odnosi na specifične intervale talasne dužine koje sensor može da registruje. Satelitski snimci se na osnovu broja i širine spektralnih opsega dijele na:

- Panhromatske (koji mjere energiju refleksije u jednom širokom dijelu elektromagnetnog spektra);
- Multispektralne (mjeri se refleksija u velikom broju opsega - desetine do stotine kanala);
- Hiperspektralne (mjeri se refleksija u više pojedinačnih opsega – stotine i hiljade kanala);
- Ultraspektralne – još su u razvoju.

Geometrijska (prostorna) rezolucija (Engl. Ground Sampling Distance - GSD) je dimenzija najmanjeg objekta koji senzor može da detektuje, ili površina Zemlje obuhvaćena pikselom. Što je rezolucija finija to je dimenzija manja. Na primjer prostorna rezolucija od 50m je grublja od prostorne rezolucije od 10m. Za prostornu rezoluciju od 0,5m se kaže da je visoka a za prostornu rezoluciju od 90m da je niska. Najnovije generacije satelita imaju optičke senzore koji daju snimke rezolucije od 1m i niže (za vojne potrebe u putanji oko Zemlje se nalaze sateliti sa kamerama koje omogućuju da se na snimcima raspoznaju detalji veličine 50cm).



Slika 16. Satelitski snimci

Satelitski snimci sa niskom rezolucijom (1km do nekoliko stotina metara) su dobijeni isključivo u multispektralnom režimu uključujući vidljivi i infracrveni dio optičkog spektra. Pogodni su za kartiranje u razmjerama od oko 1:1 000 000. Primjena ovih snimaka je kod globalnog i kontinentalnog kartiranja, monitoringa vegetacije, procjene prinosa usjeva, praćenje katastrofa itd.

Veličina piksela kod satelitskih snimaka sa srednjom i visokom rezolucijom je nekoliko desetina metara. Ovi podaci dobijeni su često istovremeno u panhromatskom i multispektralnom režimu. Neki sateliti prikupljaju podatke isključivo u redovnim misijama u ciklusima od nekoliko nedjelja. Ostali sateliti su u stanju da prikupljaju podatke prema zahtjevu korisnika. Ovi snimci su pogodni za kartiranje ili ažuriranje karata u opsegu razmjere 1: 100 000 – 1:25 000. Imaju upotrebu u regionalnom kartiranju za potrebe izrade regionalnih planova, praćenje urbanog razvoja, praćenje promjena i monitoring vegetacije, geološko i geomorfološko kartiranje. Najpoznatiji satelitski snimci

iz ove kategorije su Landsatovi snimci čija arhiva datira još iz 1972. godine i imaju svoj kontinuitet.

Satelitski snimci sa veoma visokom rezolucijom odnose se na prostorne rezolucije od 1m. Ovi podaci se mogu dobiti samo u panhromatskom režimu, češće u kombinaciji panhromatskog i multispektralnog opsega. Danas je to najprogresivniji domen daljinske detekcije. Snimci su pogodni za kartiranje ili ažuriranje karata u opsegu razmjere 1:25 000 do 1:50 000. Njihova standardna primjena obuhvata kartiranje detalja, urbanističke studije i modele gradova, kontrolu poljoprivrednih aktivnosti, planiranje i projektovanje infrastrukture, monitoring kopova, zaštita zemljišta od erozije, izradu digitalnih modela terena itd.

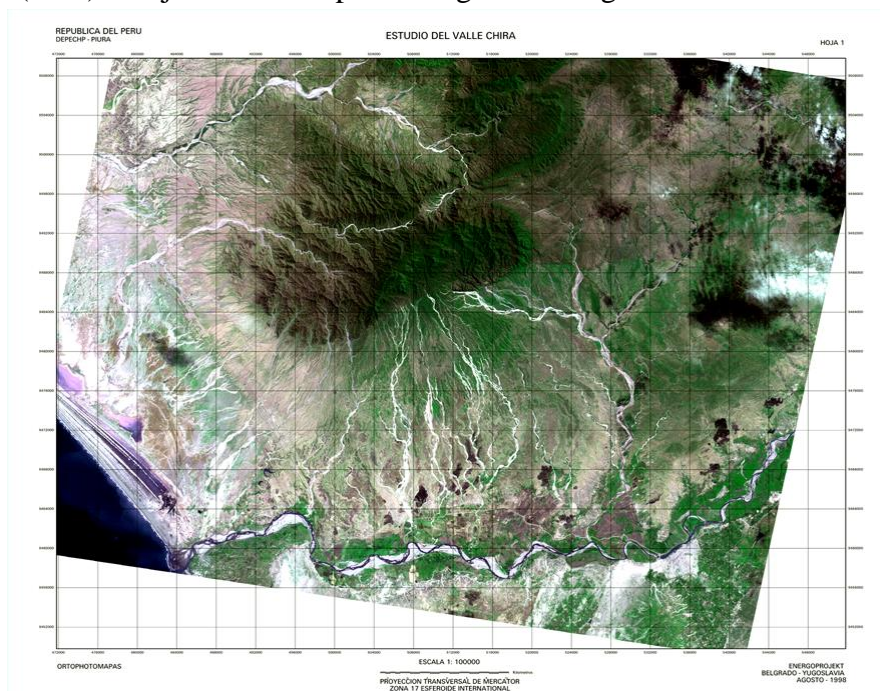
Produkti dobijeni na osnovu satelitskih snimaka takođe se koriste u projektovanju saobraćajnica:

- Razne vrste tematskih karata;
- Digitalni modeli terena;
- Ortofoto karte srednje i sitnije rezolucije itd.

Izbor snimaka u zavisnosti od njihovih karakteristika zavisiće od njihove krajnje namjene. Osnovne informacije koje se dobijaju iz njih mogu se podijeliti na:

- Geometrijske informacije: koordinate tačaka, dužine linija, površine figura;
- Dodatne informacije: analiziranjem nijansi sive boje (crno-bijeli snimak) ili nijansi boja (kolor, infracrveni, falš kolor snimak) mogu se dobiti različite informacije – stanje usjeva, pojava bolesti, vodoležna područja, različiti tipovi zemljišta, rudna bogatstva ispod površine zemlje, itd ...

Na Slici 17 se vidi digitalna ortofoto karta razmjere 1:100000 doline rijeke CHIRA (Peru) dobijena iz multispektralnog satelitskog snimka SPOT 4.



Slika 17. Orto foto karta R 1:100 000 dobijena iz satelitskog snimka

Na Slici 18 se vidi digitalna Ortofoto karta razmere 1:5000 grada Nikozija na Kipru dobijena iz satelitskog snimka IKONOS 1 rezolucije 1m.



Slika 18. Orto foto karta R 1:5 000 dobijena iz satelitskog snimka