

Primjena Inercijalnih navigacijskih sustava u geodeziji

Mario Kranjec¹, Marko Pavasović²

1. Uvod

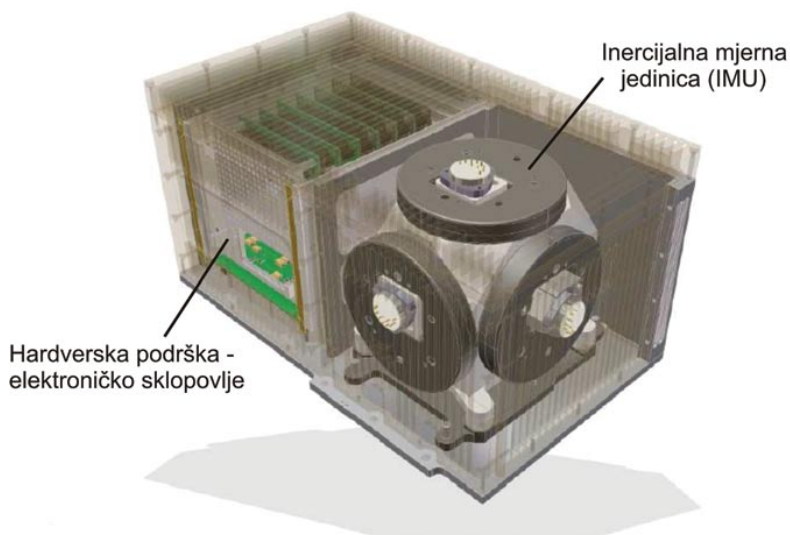
Određivanje položaja (koordinata) jedna je od temeljnih zadaća geodezije. Dvije su potrebe određivanja položaja u geodeziji i to u svrhu pozicioniranja i navigacije. Pod pojmom navigacija podrazumijevamo održavanje zadanog smjera gibanja preko trenutnog određivanja položaja nekog objekta, tj. određivanje trajektorije gibanja nekog objekta. Pozicioniranjem određujemo položaj jedne ili niza konkretnih točaka u prostoru.

Jedan od sustava koji se upotrebljava za određivanje trajektorije gibanja objekta (navigacijsko rješenje) je Inercijalni navigacijski sustav (engl. Inertial Navigation System - INS).

Počeci inercijalne navigacije sežu u dvadesete godine dvadesetog stoljeća. Za vrijeme II. Svjetskog rata u Njemačkoj su razvijeni prvi inercijalni sustavi, koji su upotrebljavani za navođenje projektila. Prvi INS za zrakoplovstvo konstruirao je Charles S. Draper 1950-ih godina na Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Inercijalni sustav (vidi sliku 1.) u osnovi se sastoji od Inercijalne mjerne jedinice (engl. Inertial Measurement Unit - IMU) i elektroničkih sklopova.

Osnovne su komponente inercijalne mjerne jedinice (IMU) (vidi sliku 2.) akcelerometri i žiroskopi. U svrhu

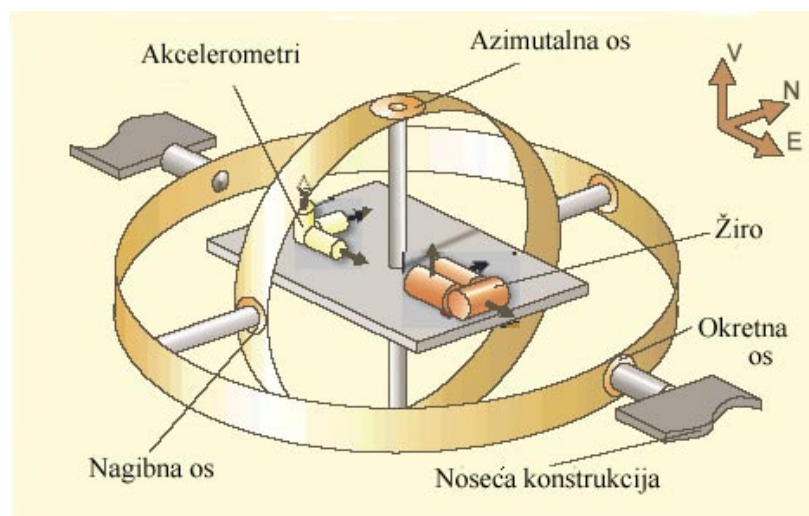


Slika 1: Osnovni dijelovi Inercijalnog sustava

određivanja pozicije i trajektorije gibanja objekta potrebno je poznavati sljedeće veličine: akceleracija, kutna akceleracija, rotacija, smjer, nagib, brzina i dr. Elektronički sklopovi obrađuju i kontroliraju podatke prikupljene inercijalnom mjernom jedinicom (IMU). Točnost sustava u cijelosti je ovisna o točnosti pojedinih komponenti sustava,

prvenstveno akcelerometra i žiroskopa.

Inercijalni sustavi koje upotrebljavamo za potrebe izmjere nazivaju se Inercijalni mjerni sustavi (engl. Inertial Surveying System, ISS) čiji je razvoj započeo početkom 70-ih godina prošlog stoljeća. Veliko poboljšanje ISS-a posljednjih godina posljedica je razvoja postupaka



Slika 2: Osnovne komponente inercijalne mjerne jedinice (IMU)

[1] Mario Kranjec, usmjerenje: Satelitska i fizikalna geodezija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, mkranjec@geof.hr

[2] Marko Pavasović, usmjerenje: Satelitska i fizikalna geodezija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, mpavasovic@geof.hr

obrade podataka i uklanjanja sistematskih pogrešaka pojedinih komponenti sustava.

Danas se Inercijalni navigacijski sustavi uglavnom integriraju s GPS-om, posebno kad se govori o inercijalnim sustavima u geodeziji. Na tu osnovnu integraciju često se dodaju i drugi uređaji kao npr. CCD kamere, 3D skeneri, distometri, odometri, Lidar sustav i dr.

2. Primjene INS-a u geodeziji

Treba naglasiti da se INS bez integracije s drugim geodetskim instrumentima ne primjenjuje u geodeziji. Najčešća je integracija s GPS-om kao dodatna jedinica za područja gdje je GPS signal nedostupan (npr. u šumi, u gradovima, u tunelima, itd.). Integracijom GPS-a i INS-a (vidi sliku 3.) dobivamo neprekidno informacije o položaju bez obzira na vrijeme, mjesto i konfiguraciju terena. Također, tom integracijom se povećava točnost i pouzdanost određivanja trenutne pozicije u svrhu navigacije, što je od posebne važnosti u

geodeziji.

Primjene GPS/INS integracije u inženjerskoj praksi i svakodnevnom životu jesu:

- navođenje strojeva - upotrebljavanje navigacijskog sustava za pozicioniranje i navođenje rudarskih, terestričkih i poljoprivrednih strojeva

- izmjera zemljišta - uključuje većinom katastarsku izmjeru; sustav služi na područjima pokrivenima gustom šumom gdje je izražen efekt višestruke putanje signala (engl. multipath)

- izmjera prometnica - uključuje kontrolu kvalitete kolnika, središnju i rubnu izmjeru kolničke trake s pomoću vozila u pokretu; sustav je potreban za djelove prometnice gdje je GPS signal ometan zgradama ili vegetacijom

- navigacija automobila - omogućuju automatsko navođenje vozila na prometnicama

Primjene su moguće gotovo u svim područjima geodezije, od određivanja pomaka građevina, fotogrametrije, daljinskih istraživanja, kontrole proboja tunela, pod-



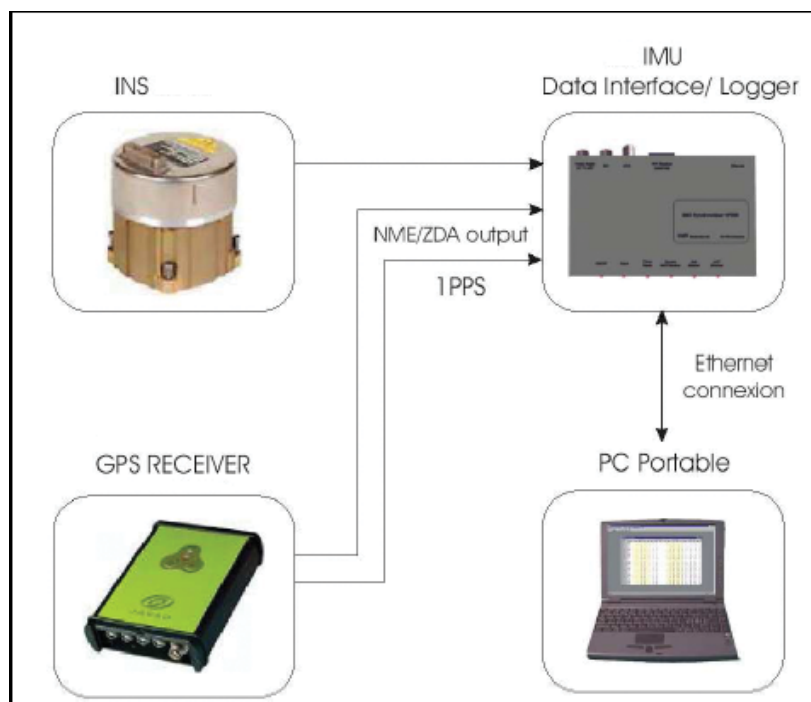
Slika 4: Auto s uređajem za izmjeru cesta

vodne izmjere, sve do gravimetrije. Danas se u geodeziji INS najviše upotrebljava kod prikupljanja podataka za potrebe GIS i mobilnog kartiranja (engl. mobile mapping). Mobilno kartiranje razvijeno je u svrhu bržeg i točnijeg prikupljanja podataka cestovne i željezničke infrastrukture. U svrhu izrade GIS-a moguće su primjene različitih senzora (uređaja), ovisno o načinu prikupljanja i vrsti podataka koji se prikupljaju. Podaci se najčešće prikupljaju pomoću kopnenih, pomorskih ili zračnih vozila. Na vozilima su osim INS-a instalirane CCD kamere, laserski skeneri (LIDAR), DGPS prijarnici i programska podrška.

2.1 Mobilno kartiranje (Mobile mapping)

Za potrebe izmjere cesta i željeznica, INS integriramo s GPS-om, kao i u većini drugih slučajeva. Često se tim komponentama dodaju i kamere, ovisno o namjeni prikupljanja podataka. Kamera dobivamo bogatije informacije o cestovnoj ili željezničkoj infrastrukturi. Uređaji se postavljaju na automobile (vidi sliku 4.), željeznička vozila (vidi sliku 5.), avione ili helikoptere.

Prednost mobilnog kartiranja jest mogućnost prikupljanja velikog broja detalja i informacija o transportnim mrežama (ceste i željeznice). Također, važna karakteristika mobilnog kartiranja je brzo prikupljanje podata-



Slika 3: Integracija GPS i INS jedinice – protok podataka



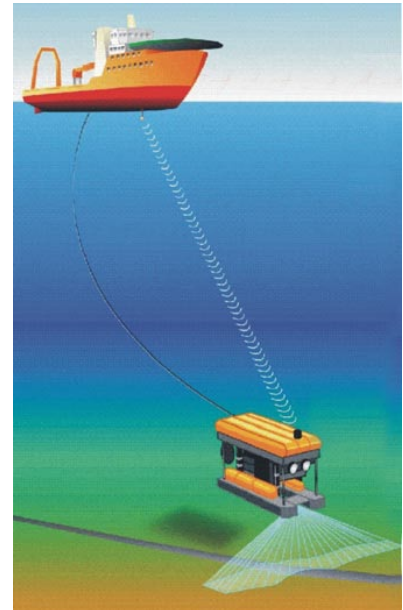
Slika 5: Željezničko vozilo opremljeno sustavom za izmjeru željeznica

ka uz malu cijenu, s obzirom na tradicionalno prikupljanje podataka. Ilustracije radi, integracijom INS-a, GPS-a i nekoliko kamera mogu se prikupiti podaci o 3000 km cesta u samo mjesec dana.

GPS i INS omogućuju dobivanje točne pozicije projekcijskog središta kamera. Na temelju dviju snimaka (stereo par) fotogrametrijskom triangulacijom određuju se koordinata objekata s mjernih snimaka. Određivanje koordinate mogu biti u globalnom i lokalnom sustavu ili u projekciji (npr. Gauss-Krugerova projekcija), ovisno u kojem su sustavu ili projekciji određene koordinate projekcijskih središta kamera. Pomoću te integracije možemo izraditi GIS prometnica i infrastrukture što je od velike važnosti za navigaciju cestovnim prometom. Od velike je važnosti i za tvrtke koje saniraju štete na cestama ili postavljaju prometne znakove. Često snimcima dobivenim ovim sustavom u kombinaciji s avio-snimcima imamo veći broj podataka ovisno o potražnji naručitelja.

2.2 Podvodna izmjera (Underwater survey)

Podvodna izmjera obuhvaća izmjeru dna mora i jezera. Osnovni instrumenti za podvodnu izmjeru (određivanje dubine) su sonari i dubinomjeri. Sonari i dubinomjeri mogu biti postavljeni na brod, na vozilo koje se s broda spušta u more ili na autonomno vozilo. U sva tri slučaja potrebna je precizna pozicija sonara i dubinomjera da bi mogli odrediti dubinu. Kada je sonar ili dubinomjer instaliran na brod, za određivanje njegove pozicije uglavnom se koristi GPS. Međutim, kada se izmjera podmorja obavlja s vozila spuštenog u more, jedna od mogućnosti određivanja precizne pozicije vozila je INS sustav (vidi sliku 6.). Postoje i moderne izmjere podmorja autonomnim podvodnim vozilima (engl. Autonomous Underwater Vehicle - AUV) koja se upotrebljavaju za izmjeru na velikim dubinama (vidi sliku 7.). AUV sustavi su složeni i konstrukcijski zahtjevni jer su namijenjeni izmjeri na velikim dubinama i izloženi visokom tlaku.



Slika 6: INS za navigaciju podvodnog vozila

2.3 Zračna gravimetrija (Airborne gravimetry)

Određivanje Zemaljskog oblika, jedne od najvažnijih zadaća geodezije, jest problem povezan s modeliranjem Zemljinog polja ubrzanja sile teže (geoida). Određivanjem Zemljinog polja ubrzanja sile teže dobiva se informacija o rasporedu masa unutar Zemlje. Gravitacijski signal (ubrzanje sile teže) mjerimo gravimetrima.

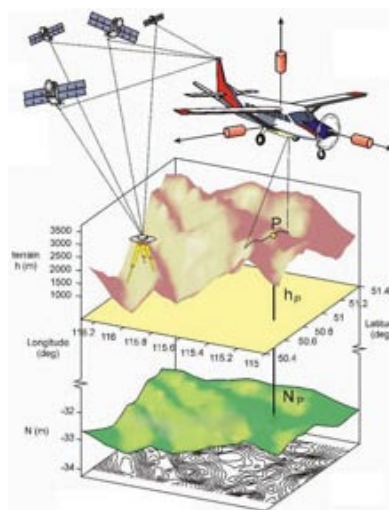
Razvojem satelitskih tehnologija moguće je odrediti gravitacijsko polje pomoću satelitskih opažanja odnosno satelitske altimetrije, gravimetrije i gradiometrije. Satelitskim opažanjima se mogu odrediti dugovalni gravitacijski signali, dok se kod srednjovalnih i kratkovalnih



Slika 7: Samostalno podvodno vozilo

signala javlja problem u razvijanju globalnih modela. Zato je zračna gravimetrija (vidi sliku 8.) idealna za mjerenje srednjevalnih signala koji se kasnije mogu modelirati (npr. remove-restore postupak – metoda kolokacije).

Da bi se INS sustavi mogli primijeniti u zračne gravimetrije, važno je odvajanje gravitacijskog ubrzanja od kinematičkog ubrzanja aviona i sistematskih pogrešaka. Kinematičko ubrzanje može se odvojiti upotrebom dodatnog senzora, kao što je GPS. Alternativan način određivanja kinematičke pozicije i brzine jest primjena INS-a i gravitacijskog gradiometra. Gradiometar je veoma skup stoga ova kombinacija nije rentabilna. Kod kombinacije GPS-a i INS-a vrlo su važni algoritmi za obradu podataka i određivanje ambiguiteta i o njima ovisi točnost određivanja gravitacijskog polja. Točnost takvih sustava može biti čak i $\pm 3\text{-}5$ mGal-a za horizontalnu i vertikalnu komponentu. Osim INS-a i



Slika 8: Princip zračne gravimetrije

GPS-a moguće je integrirati i fotogrametrijske kamere (vidi sliku 9.).

3. Zaključak

Princip inercijalne navigacije poznat je već nekoliko stoljeća kao i instrumentarij (žiroskop), ali usprkos tomu primjena u geodeziji nije bila moguća sve do prije 30-ak godina. Danas primjenom modernih tehnologija INS sustavi su vrlo zastupljeni u geodeziji. Ti sustavi mnoge probleme u geodeziji

pojednostavljaju ili rješavaju. U svijetu se neprestano razvijaju nove primjene INS sustava u geodeziji tako da možemo reći da INS sustavi još nisu doživjeli svoj vrhunac.

Primjena gore navedenih integracija u Hrvatskoj je uglavnom nepoznanica i rijetki su ljudi koji su imali priliku susresti se tom tehnologijom. Jedan od razloga takvu stanju je zasigurno i visoka cijena uređaja - nekoliko stotina tisuća eura. Danas je u svijetu trend uspostava različitih GIS sustava, a INS uređaji u kombinaciji s GPS-om su idealni za prikupljanje raznovrsnih podataka. Osim primjene za GIS, INS sustavi upotrebljavaju se kao što je prethodno opisano i u drugim područjima geodezije, što govori da je potencijal ogroman. Nadalje, današnja je INS tehnologija složena i zahtjevna, stoga je potrebna i primjerena edukacija geodetskih stručnjaka. Da bi se tehnologija INS-a mogla primijeniti i uspješno upotrebljavati, potrebna su prije svega teorijska znanja, kao i znanja o integraciji s drugim uređajima.

Literatura

Jekeli, C.: Inertial Navigation Systems With Geodetic Application

Bačić, Ž.: Integrirani sustavi u navigaciji (1998. god.)

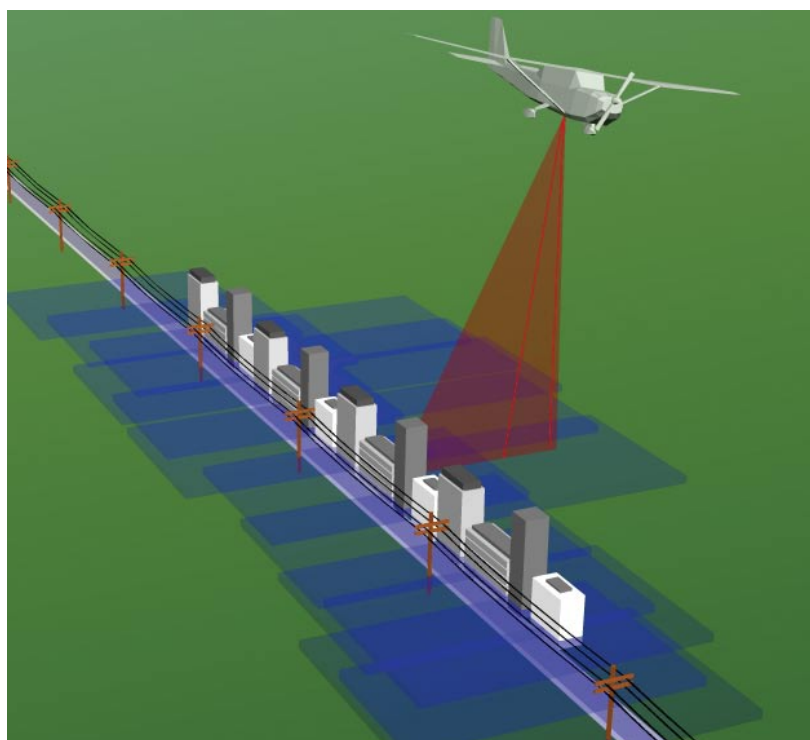
URL 1: www.applanix.com

URL2: www.imar-navigati-on.de

URL 3: www.ixsea.com

URL 4: Klemen Kozmus: Inercijalni sistemi v geodeziji, www.fgg.unilj.si/~mkuhar/Zalozba

URL 5: Jay Hyoun Kwon: Airborne Vector Gravimetry using GPS/INS, www.ceegs.ohio-state.edu/greports/reports ■



Slika 9: Fotogrametrija i zračna gravimetrija