Mr Miroslav Savanović,
potpukovnik, dipl. inž.
VP 9808 Beograd

SISTEMI ZA GLOBALNO POZICIONIRANJE

– vojne primene –

Uvod

Sistem za globalno pozicioniranje (GPS – Global Positioning System) sigurno je jedan od najkompleksnijih tehničkih sistema ikada instaliranih na Zemlji, a koristi se gotovo podjednako i za civilne i za vojne potrebe. Uveden je u upotrebu 1971. godine, od kada se stalno usavršava i pojeftinjuje, što je kvalitativno uticalo na gotovo svaki oblik vojnih operacija, od orijentacije vojnika na terenu do upravljanja najsavremenijim sistemima oružja. Uz pomoć lakog i jeftinog prijemnika određuje se trenutna pozicija u tri dimenzije, brzina i vreme.

Značaj ovog sistema naročito je porastao u poslednjih nekoliko godina, kada najjače vojske sveta nastoje da njime opreme što veći broj jedinica, platformi, sistema oružja i ubojnih sredstava. Tako, na primer, RM i RV SAD planiraju da do 2006. godine opreme 7 000 platformi ovakvim visokokvalitetnim i robustnim sistemima. Kopnena vojska planira da, za isto vreme, uvede u upotrebu 30 000 GPS, dok će sva tri vida u istom periodu imati oko 500 000 različitih oružja koja će koristiti neku od varijanti vođenja i upravljanja na bazi GPS.

Funkcionisanje GPS

Sistem za globalno pozicioniranje čine tri segmenta:

– *prostorni*, koji se sastoji od formacije od ukupno 24 satelita (21 aktivan i 3 u stalnoj rezervi) tipa NAVSTAR, koji po geostacionarnim putanjama radijusa 26 560 km u 6 orbitalnih ravni kruže iznad Zemlje na visini od 11 000 km. Pri tome neprestano emituju podatke o svom položaju (trenutne koordinate – efemride u svetskom prostornom trodimenzionalnom koordinatnom sistemu WGS84);

– *kontrolni*, koji se sastoji od nekoliko zemaljskih kontrolnih stanica, raspoređenih, uglavnom, u ekvatorijalnom delu Zemlje, od kojih se centralna nalazi u vazduhoplovnoj bazi Falkon u Kolorado Springsu, i koje imaju zadatak da stalno kontrolišu položaje satelita i obavljaju potrebne računske popravke;

– *korisnički*, koji čine najrazličitiji GPS prijemnici (nekoliko stotina vrsta i tipova), u obliku pojedinačnih uređaja, kada su namenjeni za određivanje pozicije i brzine ili su u sastavu drugih složenijih sistema za navigaciju, upravljanje letelicama, vođenje projektila, upravljanje različitim objektima i sl. [2].

Određivanje pozicije (koordinate x , y , z) u osnovi se obavlja poznatom geodetskom metodom presecanja tri dužine, koja zahteva da prijemnik na mestu na kojem se nalazi mora da ima mogućnost prijema signala sa najmanje tri satelita,

tj. da izmeri svoju udaljenost od njih, kako bi mogao da odredi poziciju, ili sa četiri ako treba da odredi i svoju brzinu kojom se kreće. U zavisnosti od toga koja se tačnost merenja želi postići, za merenje udaljenosti primenjuju se različite vrste merenja: kodno, fazno (za najveće tačnosti) i merenje pomaka Doplerove frekvencije. Primena svake od navedenih vrsta merenja zahteva i posedovanje odgovarajućih elektronskih uređaja. Prenošenje koordinata iz svetskog koordinatnog sistema u lokalni predstavlja poseban problem, koji je u osnovi geodetski i matematički (matrice transformacije) [2, 4].

Lansiranje satelita i njihovo postavljanje u orbitu obavlja se pomoću raketa DELTA II. Sateliti danas rade tako što emituju signale na dve frekvencije unutar L-talasnog područja. Signal L_1 , na osnovnoj frekvenciji 1 575,42 MHz, nosi grubi akvizicijski kod (C/A – coarse/acquisition

code) i kod sa vojnom preciznošću (P-code – precision code), dok signal L_2 na osnovnoj frekvenciji 1 227,6 MHz nosi samo P-kod. Komercijalni prijemnici imaju pristup samo C/A kodu, koji se po nalogu Ministarstva odbrane SAD namerno degradira pomoću posebnog procesa za selekciju mogućnosti pristupa (SA – Selective Availability), u čijoj je osnovi degradacija tačnosti efemerida satelita i smanjenje tačnosti časovnika za merenje vremena. Ovaj proces smanjuje tačnost određivanja pozicije, koju običan korisnik može da koristi, na 100 m, dok je SAD i njegovim saveznicima dostupan signal koji obezbeđuje tačnost od oko 10 m u zavisnosti od vremena merenja.

Većina današnjih vojnih GPS prijemnika prvo prima signal sa C/A-kodom, a zatim se „prebace“ na signal sa P-kodom. Signal sa P-kodom omogućava punu tačnost, a zaštićen je šifrom uz pomoć zaštitnog algoritma (A-S – Anti-Spoofing) koji

minimalizuje mogućnost da prijemnik bude ometan nekim parazitnim signalom. Kada se dešifruje P-kod je poznat pod imenom Y-kod.

Potpun ekvivalent ovom američkom sistemu, koji koriste i njihovi saveznici, predstavlja ruski sistem GLONASS.

Primena GPS i problemi koji je prate

Osnovna namena GPS je brzo i vrlo tačno određivanje pozicije na bilo kojoj tački Zemljine kugle. Tačno određivanje pozicije od izuzetne je važnosti, kako u orijentaciji vojnika na terenu, tako i u određivanju tačne pozicije vozila, oruđa, plovila, letelice, potencijalnog cilja ili trenutnog položaja projektila ili rakete koji lete prema cilju.

Poslednjih desetak godina GPS se primenjuje u vojne svrhe. Ovi sistemi dobili su poseban značaj u upravljanju letelicama, plovnim objektima, upravljanju vatrom, navođenju različitih raketa velikog dometa, kao što su: krstareće rakete „TOMAHAWK IV“, intervidovske rakete za udare sa distance (TSSAM – Tri-Service Standoff Attack Missile), avio-bombe sa GPS za navođenje za uništavanje duboko ukopanih objekata GAM-113 (GAM – GPS Aided Munition) i slične, kod kojih su prethodno korišćeni isključivo inercijalni sistemi vođenja. Za svaki od ovih zadataka razvijaju se i odgovarajući uređaji sa specifičnim karakteristikama.

Međutim, u svakoj od navedenih primena do punog izražaja dolazi tačnost GPS i njegova podložnost ometanju koja nije tako mala ako se zna da su frekvencije na kojima se signali emituju, kao i metode primenjene za modulaciju signala

svima poznate, a odnos signal/šum vrlo mali. U takvoj situaciji ometači mogu biti vrlo jednostavni, jeftini i svima dostupni. Tako ometač veličine kutije šibica sa napajanjem iz jedne baterije i cenom od oko 500 USD, može da emituje signal snage 1W i na taj način bude efikasan na daljini od oko 70 km. Ovakvi ometači mogu biti manuelno postavljeni na zemljištu ili da lebde u vazdušnom prostoru uz pomoć malih balona. Tako, na primer, ruska firma „Aviakonverzia“ nudi ometače snage 4W mase 8 do 10 kg, a ometači koji su efikasni na daljinama 150 do 200 km koštaju manje od 2 000 USD.

Pored toga, postoje mnogi potencijalni uzroci pojave interferencije različitih signala koji mogu da degradiraju kvalitet signala, naročito u situacijama kada je elektromagnetni spektar prenatrpan signalima najrazličitijeg porekla, kao što su: viši harmonici signala televizijskih predajnika, signali iz mreže mobilnih telefona, sekvence signala koje nastaju kao posledica pokušaja da potencijalni protivnik ostvari pristup GPS-u ili signali nastali interferencijom elektromagnetnih signala ostalih elektronskih uređaja.

Ometanje ili različite forme interferencije signala mogu u uređajima GPS-a izazvati različite unutrašnje efekte. Na primer, prijemnik može odgovoriti aktiviranjem moda za približno određivanje pozicije, a da korisnik nema saznanje o tome da mu je uvid u situaciju degradirao, što ga može dovesti u zabludu pri odlučivanju. Pored toga, činjenica je da vojne operacije postaju sve više „digitalizovane“, a operativni i obaveštajni štabovi sve više se doslovno vezuju za ikone koje se na njihovim ekranima nalaze na određenim mestima. Ako dođe do poremećaja ili ako izgube poverenje u takav način praćenja situacije, neminovno dolazi do

vraćanja na stare – ručne metode. Gubitak uvida u situaciju, posledično, znatno povećava nivo klasičnog radio-saobraćaja glasom, što ima za posledicu još veće zakrčenje raspoloživih komunikacijskih kanala.

Problemu zaštite od ometanja, kao i pouzdanosti i robustnosti GPS-a pridaje se poseban značaj. Mnoge organizacione celine Ministarstva odbrane SAD rade na smanjenju uticaja pojava, bile one namerne ili ne, koje mogu da degradiraju raspoloživost i tačnost informacija izvedenih iz GPS-a. Tako će, na primer, samo u 1999. godini „Centar za svemirske i raketne sisteme“ RV SAD na demonstraciju usavršenog tehnološkog koncepta (ACTD – Advanced Concept Technology Demonstration) u domenu navigacionih borbenih uređaja (NAVWAR – Navigation Warfare) utrošiti 55 miliona USD. Težište aktivnosti ovog centra jeste validacija tehnologija i koncepta operacija, neophodnih da bi se smanjile mogućnosti da protivničke snage upotrebe satelitsku navigaciju (prevencija), i istovremeno obezbede da SAD i njegovi saveznici nesmetano upotrebe GPS (protekcija – zaštita).

Na istom fonu nalaze se i planovi Atlantske komande SAD da u 1999. godini izvede vežbe u kojima će koristiti modifikovane verzije postojeće opreme, kao što su: minijturni borbeni GPS prijemnik, ugrađeni GPS inercijalni komplet i ručni laki precizni GPS prijemnik. Svi ovi uređaji imaju ugrađen najnoviji hardver, softver, kao i metode i tehnike od kojih se puno očekuje. Ova demonstracija predstavlja samo početnu fazu znatno većeg, dugoročnog razvojnog programa novih navigacionih borbenih uređaja, koji će istraživati primenu drugih tehnologija za prevenciju i protekciju. Prema planu

„Biroa za zajedničke Navstar GPS programe“ (Navstar GPS Joint Program Office), poboljšanje performansi navedenih uređaja, bilo pojedinačno ili zajednički, biće sprovedeno u oko 30 tehnoloških oblasti. Većina je vezana za povećanje sigurnosti sistema, uključujući i nulovanje antena.

Dinamika ovog plana može se vremenski razgraničiti u tri celine:

- *kratkoročni program*, u naredne dve godine, koji obuhvata zemaljsko ispitivanje „pseudolita“, tj. pseudosatelita koji prenose signale koji imitiraju signale sa NAVSTAR satelita, ispitivanje kontraometačkih filtera i direktne akvizicije dešifrovanog Y-koda;

- *srednjoročni program*, (2 do 5 godina) koji uključuje nove precizne izvore vremena, kao što su atomski satovi male snage, usavršene kontraometačke tehnike i antene za formiranje snopa;

- *dugoročni program*, (5 do 10 godina), koji obuhvata rad na povećanju snage signala, novi L_m -kod sa promenjenom strukturom, pseudolite na letelicama, naprednije kontraometačke implementacije i antene sa digitalnim upravljanjem snopa.

Jedan od puteva za poboljšanje zaštite GPS-a predstavlja i predlog koji se odskoro razmatra. Predlog se odnosi na zamenu sadašnjih signala L_1 i L_2 novim signalom L_c koji bi nosio samo C/A kod sa standardnim navigacionim porukama za civilne korisnike, kao i za vojne korisnike u miru i koji bi zauzimao pojas širine 8 MHz u sredini frekventnog spektra između sadašnjih signala L_1 i L_2 . Specijalni autorizovani korisnici imali bi pristup signalu L_m koji bi zauzimao gornji i donji frekventni odsečak pojasa predviđenog za signal L_c . Signal L_m nosio bi novi vojni kod sa usavršenim navigacio-

nim porukama. Ovakvo odvajanje civilnih i vojnih signala omogućilo bi Ministarstvu odbrane SAD da koncentriše svoje mere za kontraometanje na L_m signal, kao i da poveća napore za poboljšanje ostalih performansi bez uticaja na civilne aktivnosti i potrebe.

Paralelno sa merama u organizaciji korišćenja elektromagnetnog spektra preduzimaju se mere i na području hardvera, prvenstveno u poboljšanju arhitekture prijemnika. To se, pre svega, odnosi na uvođenje modularnog GPS prijemnika (GRAM – GPS Receiver Application Module) i anti-spoofing modula sa selektivnim pristupom (SAASM – Selectively Available Anti-Spoofing Module) koji se često zajedno označavaju kao GRAASM. GRAM koristi otvorenu arhitekturu koja omogućava da različite komponente, uključujući i SAASM, budu dodate, zamenjene ili isključene bez potrebe redizajniranja celog sistema. SAASM predstavlja sledeću generaciju prethodnog modula, poznatog pod imenom servis za precizno pozicioniranje (PPS – Precise Positioning Service). Sastoji se od jednog modula sa više čipova, otpornog na temperaturne promene, koji objedinjuje sve SA, A-S i funkcije sa elektronskim ključevima za PPS opremu domaćina (host). SAASM će štititi sve GPS algoritme, podatke i pomoćni tajming koji se koristi za izračunavanje pozicije, brzine i vremena.

Uvođenje modula GRAM planira se u četiri faze:

- *GRAM-1*, koji omogućava direktnu akviziciju Y-koda, primenu „all-in-view“ operacija, što podrazumeva uzimanje i procesiranje signala sa svih raspoloživih satelita NAVSTAR, obezbeđenje PPS i nadgledanje autonomnog integriteta prijemnika (RAIM – Receiver Auto-

nomous Integrity Monitoring). U ovoj fazi već je uveden modul GRAM koji omogućava direktnu akviziciju Y-koda u vremenu manjem od 6 s sa motorolinim čipom „Sharpshooter“ u kojem su implementirane sve SA/A-S funkcije;

- *GRAM-2*, koji će dodati modul SAASM i operacije sa sistemom za uvećavanje velikih površina (WAAS – Wide Area Augmentation System);

- *GRAM-3*, koji će uvesti modul SAASM za L_m signal;

- *GRAM-4*, koji se predviđa da obezbedi potpunu digitalizaciju primene čitavog sistema.

Bez obzira na aspekt posmatranja (podela elektromagnetnog spektra, softver, hardver, fizička zaštita i sl.) svi naponi mogu se svesti na zadatak osiguranja što višeg nivoa bezbednosti sistema, koji će već sutra biti utkan u sve pore civilnih i vojnih aktivnosti i čija će bezbednost biti od vitalnog značaja za zemlje zapadne alijanse.

Na tom zadatku slične studije sproveli su najprestižniji američki timovi: firme „RAND Corporation“, tim „Air Force Scientific Advisory Board“ i tim časopisa „GPS Modernization Independent Review“, i svi su došli do sličnih zaključaka, a to su:

- glavna upravljačka stanica GPS u Vazduhoplovnoj bazi u mestu Schriever (bivši Falcon) u Koloradu dobro je zaštićena, a velika visina na kojoj kruže sateliti NAVSTAR pruža im dobru zaštitu od napada protivnika antisatelitskim oružjima;

- u proteklom vremenu glavnu pretnju predstavljalo je nepostojanje, tj. prekid signala, bili oni namerni ili nenaamerni;

- u kopnenim operacijama ometanje je najčešće lokalnog karaktera;

– sama konfiguracija terena i objekti na njemu mogu da blokiraju ometački signal, pa čak i telo operatora GPS-a koje se nađe između ometača i ručnog prijemnika može da bude dovoljna mera kojom se eliminiše ometački signal, a u nedostatku drugih sredstava vojnik može da iskopa rupu u koju će da smesti prijemnik i dobije dobar signal sa satelita;

– ometači koji se nalaze na letelicama mogu da pokriju veliku površinu i njihov signal do prijemnika dolazi približno iz istog smera odakle i korisni GPS signal sa satelita. Međutim, zadržavanje takve letelice na dobrom mestu i dovoljno dugo čini je vrlo ranjivom na dejstvo različitih PA oružja.

Na planu ostvarivanja potrebne sigurnosti GPS-a u strukturu signala ugrađena je određena otpornost na ometanje, ali ona nije dovoljna da zaštiti prijemnik od planiranih mera ometanja. Tehnikama kao što su upravljanje snopa i adaptivno nulovanje, navedeni problemi mogu da se prevaziđu, ali su one vrlo teške za implementaciju i mogu da budu neprihvatljivo skupe. Ipak, neke firme, kao što je npr. mala američka kompanija „Electro-Radiation Inc.“ razvila je uređaj za suzbijanje interferencije koji koristi adaptivnu tehnologiju poništavanja (adaptive cancellation technology) koja obezbeđuje potiskivanje (slabljenje) od najmanje 35 dB kontinualnog signala u odnosu na tonski signal P(Y)-koda ili 25 dB u odnosu na širokopojasni šum. Cena ovog uređaja u serijskoj proizvodnji biće manja od 2 000 USD.

Od svih borbenih sistema oružja vazduh-zemlja spadaju u grupu koja je izuzetno osetljiva na ometanje, naročito u situaciji kada napadaju na objekte od velikog značaja koji su dobro čuvani, kao što su komandna mesta i centri veze.

Protivnik zna da su takva mesta i njihove instalacije vrlo ranjivi, pa u njihovoj blizini raspoređuje različite ometače. Da bi se doskočilo ovim ometačkim merama vršena je serija istraživanja u okviru razvojnih programa za poboljšanje kontraometačkih performansi oružja koja sadrže GPS prijemnike.

U okviru programa za razvoj kontraometačkih tehnologija za taktičke GPS (TGAT – Tactical GPS Anti-jam Technology), koji je završen 1992. godine, razvijen je adaptivni GPS filter i antena koji simultano vrše razdvajanje ometača u vremenu i prostoru. Primenom faziranja i otežavanja signala razvijena oprema omogućava specijalno razdvajanje korisnog signala od energije ometača primljene sa nekoliko pomoćnih antenskih elemenata, pomoću kojih se izvodi i korektno nulovanje. Kratkotrajno razdvajanje faziranjem i otežavanjem (pojačavanjem) segmenata kompozitnog GPS signala primljenog preko antene, vrši se propuštanjem kroz liniju za kašnjenje, čime se ostvaruje njihovo kašnjenje.

U okviru narednog programa taktičkih GPS sistema vođenja, sa visokim kontraometačkim performansama (THAGG – Tactical High Anti-jam GPS Guidance), kontraometačke tehnike su integrisane u GPS prijemnicima čvrsto spregnutim sa inercionim sistemima koji na taj način čine jedinstven sistem vođenja. Ovaj program završen je u junu 1995. godine isporukom dva sistema za vođenje oružja (WGS – Weapon Guidance System). WGS se sastoji od rešetkaste antene sastavljene od četiri sinhronizovana elementa podržana sa kontraometačkom elektronikom i robustnim GPS prijemnikom čvrsto spregnutim preko Kalmanovog filtera sa inercijalnim sistemom sa driftom, brzine od samo 1 °/h.

Prototip ovog sistema zauzima zapreminu od 3,7 litara, ima masu 6 kg i cenu od 29 000 USD. Ispitivanja su pokazala da su prototipi sposobni da obavljaju brzu direktnu akviziciju P(Y)-koda u okruženju sa jakim ometanjem, pa čak i sa satelita izloženih ometanju kada je odnos ometačkog i korisnog signala nivoa 80 dB. THAGG sistemi su projektovani da rade pri brzinama rotacije do 1 000 °/S, dok se nulovanje antena obavlja u vremenu od nekoliko desetina mikrosekundi.

Iskustva stečena u ovim programima koriste se i u programu kontraometačkih GPS tehnologija za testiranje leta (AGTFT – Antijam GPS Technology Flight Test) koji traga za jeftinijim rešenjem za ranjivost taktičkih oružja sa inercijalnim vođenjem uz pomoć GPS sistema. Na ovom programu radi firma Phantom Works iz sastava Boeinga. Takvo oružje je upravo Boingova zajednička municija za direktne udare (JDAM – Joint Direct Attack Munition). Tehnologija AGTFT kombinuje sledeće podsisteme: Harrisov kontraometački elektronski modul, blok za vođenje koji je razvio Boeing, ugrađeni Collinsonov GPS prijemnik koji je čvrsto spregnut sa Honeywellovim inercijalnim navigacionim sistemom i kontraometačku GPS antenu sastavljenu od četiri elementa. Municija JDAM koja nosi ovako modifikovanu opremu umesto standardne koja se sastojala od antene sastavljene od samo jednog elementa, potpuno je otporna na ometanje, što su potvrdila dva uzastopna testa izvedena na poligonu u Novom Meksiku.

Prvi test se sastojao od ispuštanja bombe sa visine od 13 500 m, uz ometanje signalom male snage, pri čemu je GPS prijemnik bombe direktno primio vojni GPS kod u vremenu od 12 s. Bomba se

zatim spuštala kroz ometanu sredinu, uz vetar brzine 170 km/h, kontinuirano pratila GPS satelite i pala na površinu udaljenu 3 m od cilja.

Drugi test se sastojao od ispuštanja bombe sa iste visine u sredinu ometanu signalom velike snage, uz vetar brzine 175 km/h. Akvizicija GPS signala ostvarena je u vremenu od 8 s, a bomba je pala na površinu udaljenu 6 m od cilja.

Cena kompleta AGTFT u serijskoj proizvodnji trebalo bi da bude manja od 3 000 USD.

Na razvoju što robustnijih uređaja neprekidno rade različite firme. Tako je 1996. godine firma Hughes Aircraft, koja je sada ušla u sastav Raytheona, započela rad koji je trajao 51 mesec, na programu tehnologije usavršene GPS inercijalne navigacije (AGINT – Advanced GPS Inertial Navigation Technology) i programu navigacije sa integrisanim GPS vođenjem (IGGN – Integrated GPS Guidance Navigation). Ovaj poslednji program karakterističan je po tome što treba da iskoristi efekat senke koju stvara telo projektila, kako bi se zaštitio GPS sistem od ometača lociranih na zemlji. Problem zahteva potpuno poznavanje kompleksne interakcije između oblika tela projektila, korišćenog materijala i antene sa upravljivim prijemom uzoraka (CRPA – controlled-reception-pattern antenna). Ova dva programa, zajedno sa programom usavršenih taktičkih inercijalnih jedinica (ATIMU – Advanced Tactical IMU), predstavljaju osnovu za razvoj novih minijaturnih i jeftinih usavršenih taktičkih oružnih sistema za vođenje (ATWGS – Advanced Tactical Weapon Guidance System), koji obezbeđuju visoku pouzdanost i tačnost. Suština ovih sistema je u brzom prvom zahvatu GPS signala, akviziciji osnovnih podataka u što kraćem vremenu i moguć-

nosti da se odupru ometačkim signalima nivoa 120 dB koji dolaze iz više izvora različitog tipa. Realizacija ovakvog sistema sastojala bi se od minijaturnih antenskih rešetki i elektronike za inteligentno formiranje snopa i nulo vanje antene, integrisane sa „all-in-view“ GPS prijemnikom koji je, preko Kalmanovog filtera, čvrsto spregnut sa inercijalnom jedinicom taktičkog nivoa.

Primer realizacije kontraometačkog prijemnika je Collinsov uređaj GAJE (GPS Anti-Jam Electronics), koji kombinuje savremeni dizajn antene sa inercijalnim uređajem, što mu obezbeđuje da zadrži punu navigacionu tačnost na udaljenosti od 3 km od ometača snage 100 W. Uređaj GAJE automatski izvodi nulo vanje antene u pravcu ometača. Kada radi protiv jednog ometača sa kontinualnim talasom može da generiše nulu sa signalom nivoa većeg od 40 dB za manje od 20 ms.

Prirodni izvori smetnji GPS-a

Pored različitih izvora smetnji GPS-a koji se aktiviraju nenamerno ili namerno, na njegov rad mogu, u velikoj meri, da utiču i promene u jonosferi. Za praćenje i prognoziranje promena u jonosferi, koje utiču na kvalitet komunikacija, u Americi je zadužena Direkcija za operativno testiranje i ocenjivanje (DOTE – Director of Operational Test & Evaluation). Na osnovu višegodišnjeg iskustva njihov zaključak je da se merenja i prognoza ponašanja jonosfere poklapaju u samo 50% slučajeva, i da ne ispunjavaju očekivanja zbog kojih se i rade. Naravno, pojava diskontinuiteta u jonosferi može prouzrokovati brzu fluktuaciju (scintilaciju – treperenje) satelitskih signala u blizini po-

vršine Zemlje. Ovaj fenomen je najintenzivniji noću, unutar pojasa širine 40° oko magnetnog ekvatora. Međutim, ovaj pojas zahvata površinu veću od jedne trećine ukupne površine Zemljine kugle. Scintilacija može ponekad da prouzrokuje pojavu fedinga (iščezavanja signala) ili da rezultira pojavom brzih promena faze koje prevazilaze mogućnosti prijemnika da zadrži zahvat satelitskog signala. U tom slučaju, kod statičkih GPS, ovaj problem postaje više pitanje raspoloživosti nego tačnosti. Međutim, kod diferencijalnih GPS, ovaj problem se mora analizirati u sferi tačnosti, jer ona može biti narušena zbog različitih mernih rezultata referentne stanice i navigacionog prijemnika koji snimaju različite greške u jonosferi.

Najnoviji naponi, usmereni na poboljšanje performansi GPS, uključuju upotrebu senzora koji se nalaze na zemlji, kao i korišćenje posebne mreže za pomoć pri odlučivanju u uslovima scintilacije (SCINDA – Scintillation Network Decision Aid) koja je razvijena za Svemirsku komandu američkog RV. SCINDA je kompjuterski program koji obaveštava korisnike u realnom vremenu o tome kada, gde i s kojom verovatnoćom će doći do pojave scintilacije. Za sada su u operativnoj upotrebi stanice u Južnoj Americi i jugoistočnoj Aziji, a stanica na Srednjem istoku biće stavljena u funkciju u prvoj polovini 1999. godine. Stanice rade tako što merna oprema na isturenim mestima meri i sprema podatke o scintilaciji i brzini klizanja (drifta) jonosfere. Glavna komanda preuzima te podatke svakih 15 minuta i kompajlira ih, tako da dobija jednostavne trobojne mape smetnji koje se prostiru preko ekvatora zajedno sa odgovarajućim površinama verovatnih komunikacijskih prekida. Ove

mape pomažu naučnicima da shvate kako se razvijaju scintilacijske strukture, a operatorima omogućavaju da odrede praktične strategije za održavanje pouzdanih komunikacija. Takođe, SCINDA omogućava da operator pronađe željeni komunikacijski link koji sadrži koordinate zemaljske stanice, sopstvenu radio-frekvenciju i sažete datoteke satelita koje se dnevno ažuriraju. Nakon toga, kompjuterski model SCINDA u boji prikazuje komunikacijske trase između zemaljskih stanica i satelita. Zeleno obojene trase su prohodne, a crvene su blokirane.

Scintilacija nije u potpunosti razjašnjena pojava. U praksi, vojni korisnici GPS-a imaju tendenciju da scintilaciju razmatraju kao interferenciju ili ometanje. Oni veruju da ako je neki prijemnik u stanju da se odupre određenom nivou ometanja, tada je dovoljno robustan da se uspešno suprotstavi istom stepenu fedinga. Takav rezon je varljiv zbog toga što ometač dodaje šum na signal, dok scintilacija smanjuje snagu signala. Istraživanja pokazuju da dalje detaljno rešavanje problema scintilacije zahteva izradu modela efekata scintilacije na čitav skup satelita vidljivih sa jednog određenog prijemnika. Međutim, scintilacija retko pokriva čitavo nebo, tako da gubitak prijema sa jednog satelita, kao posledica dubokog fedinga, ne znači gubitak prijema i sa ostalih satelita, što omogućava da se prijem signala uvek ostvari sa dovoljnog broja satelita.

Na stanje u jonosferi u velikoj meri utiče i solarna aktivnost. Snažne erupcije na Suncu dovode do pojave geomagnetnih oluja. U vreme ili blizu maksimuma solarne aktivnosti, do koje dolazi približno svakih 11 godina, jonosfera dobija oblik površine sa brojnim naborima koja na prostiranje signala može da utiče na nepredvidiv način. To posebno može da bude fatalno za signale nekih određenih frekvencija. U toku je razvoj sistema za vizuelno predstavljanje sunčane aktivno-

sti (SMEI – solar mass ejection imager) koji bi trebalo da bude instaliran na satelitu čije se postavljanje u orbitu planira pre sledećeg solarnog maksimuma predviđenog za 2001. godinu. Planirano je da sistem ima mogućnost da jedan do tri dana ranije upozori na predstojeću geomagnetnu oluju. Pored toga, radi se i na razvoju alternativnog metoda za predviđanje solarnog maksimuma koji se zasniva na merenju emisije jona gvožđa Fe XIV u sunčevom prstenu. Obavljena merenja ove vrste pokazuju da bi se maksimum sunčeve aktivnosti mogao dogoditi već u periodu januar-novembar 1999. godine, dakle znatno ranije nego što se očekuje na osnovu rezultata drugih metoda.

Razvoj i uvođenje novih uređaja na bazi GPS-a

Imajući u vidu sve rezultate istraživanja na planu suzbijanja prirodnih uzroka slabijeg prijema signala sa GPS satelita, kao i borbe protiv organizovanih mera ometanja, iz dana u dan se razvijaju i uvode nova rešenja koja omogućavaju proizvodnju sve pouzdanijih i tačnijih GPS koji se koriste u orijentaciji, navigaciji, vođenju, itd.

Na pomolu su nove generacije GPS prijemnika različitih proizvođača, koje će imati implementirane različite kontraometne tehnike i tehnologije. Na tom polju posebno se ističu firme „Litton Guidance & Control Systems“ i „Raytheon“.

Jedan od najobimnijih poslova razvoja bloka za GPS vođenje (GGP – GPS Guidance Package) dobila je upravo firma „Litton Guidance & Control Systems“. Po ugovoru sa „Avijacijskom i raketnom komandom američke Kopnene vojske“ (US Army's Aviation and Missile Command), ona ima obavezu da sredinom 1999. godine isporuči 8 proizvodnih jedinica za opitovanje (testiranje i ocenji-

vanje) ovih blokova. Kopnena vojska SAD utvrdila je svoje potrebe za GPS na nivou od 100 000 jedinica za ugradnju u rakete i 6 000 jedinica za ugradnju na različita vozila. Očekuje se da će i ostali vidovi vojske usvojiti iste blokove.

Konstrukciju GGP karakterišu tri čvrsto spregnute jedinice. To su: 10-kanalni GPS prijemnik, inercijalna merna jedinica (IMU – inertial measurement unit) i navigacijski kompjuter sa tačnošću od 0,8 nm/h. Čitav uređaj konstrukciono je smešten u jedan blok mase 3,2 kg, koja zauzima zapreminu oko 1,65 litara. Prethodna faza ovog programa rađena je pod pokroviteljstvom „Agencije za napredne istraživačke projekte u oblasti odbrane“ (DARPA – Defense Advanced Research Projects Agency) i „Komande za sisteme mornaričke avijacije“ (NAVAIR – Naval Air Systems Command). Njome su bila obuhvaćena i ispitivanja ovog bloka montiranog na lovac F/A-18. Ispitivanja su obavljena krajem 1996. godine u uslovima manevra sa preopterećenjem od 7,5 g i uz prisustvo ometačkog signala.

Firma „Raytheon“ stekla je visok ugled na ovom polju razvojem i proizvodnjom kontraometačkog GPS prijemnika (AGR – Anti-jam GPS Receiver), koji je deo programa Block IV a ugrađen je na krstareće rakete „TOMAHAWK“. Ovaj prijemnik ispitan je u više od 1 000 probnih letova, i dodatnih 20 letova sa visokom dinamikom na raketama TSSAM. Prijemnik funkcioniše sa antenom tipa CRPA, koja se sastoji od 5 elemenata, od kojih nisu odvojene upravljačke jedinice i elektronika antene. Prijemnik koristi postkorelacione tehnike nulovanja sa istovremenim upravljanjem snopa.

Pored opremanja sa GGP, u skoroj budućnosti američka vojska planira i druge nabavke koje obuhvataju:

- prijemnik MAGR 2000 (raniji naziv MAGR-FO) koji će u potpunosti zadržati raniji oblik, opremu i interfejs sa

nosećom platformom, ali će imati nove karakteristike kao GRAM;

- GPS VME karticu prijemnika, koja će zameniti prijemnik Receiver 3S kao deo mornaričkog interfejsa za sistem navigacijskih senzora (NAVSSI – USN's Navigation Sensor System Interface) za ugradnju na brodove i podmornice;

- usavršeni vojni GPS prijemnik (DAGR – Defense Advanced GPS Receiver), koji treba da zameni precizni laki GPS prijemnik firme „Collins“ (PLGR – Precise Lightweight GPS Receiver). Ministarstvo odbrane SAD planira da tokom 7 godina kupi oko 190 000 ovakvih GPS prijemnika čija isporuka treba da započne u novembru 2000. godine. PLGR je isporučivan i u varijanti koja se montirala u vozila. Ovaj GPS prijemnik bio je izuzetno jeftin, obezbeđivao je podatak o azimutu sa tačnošću od 3 mrad za 5 minuta od postavljanja. Zbog ovakvih karakteristika u velikom broju je izvožen i u druge države.

Najnoviji rezultati istraživanja, koja je obavila firma „American Nucleonics Corp“, rezultirali su proizvodnjom mini-jaturnog GPS sistema za ugradnju u vođene projekte povećanog dometa EX-171 (ERGM – Extended Range Guided Munition) koji za RM SAD proizvodi firma „Raytheon“. Ovaj minijaturni GPS sistem ima ugrađene karakteristike koje mu omogućavaju suzbijanje smetnji zbog pojava interferencije. Oblikom je podešen za ugradnju u vrh projektila. Masa mu je samo 31 g, a konstruisan je da izdrži preopterećenja zbog ubrzanja od 13 500 g pri ispaljenju projektila iz artiljerijske cevi. Tipično vreme odgovora mu je samo 100 μ s, a obezbeđuje i potiskivanje širokopojasnog šuma od 30 dB i kontinualnog signala od 52 dB. Čitav GPS smešten je na štampanoj pločici debljine 7 mm, ima potrošnju energije od 4,3 W, a može da funkcioniše na visinama do 31 000 m.

Iako je dominacija američkih firmi na području GPS-a očigledna, u poslednje vreme se pojavljuju i manje ruske firme koje na principu licence nude hardverska i softverska rešenja za GPS prijemnike koji su kompatibilni sa američkim GPS i ruskim sistemom GLONASS. Jedna od takvih firmi je „Spirit Corp“ iz Moskve koja je svoj softver već isporučivala firmama kao što su: Furuno, NEC, Nortel, Samsung, Sony, Toshiba i sl. Ova firma nudi kompaktni, jeftin, „all-in-view“ GPS prijemnik sa 24 kanala (12 za GPS i 12 za GLONASS), koji obezbeđuje tačnost određivanja pozicije od 15 do 20 m i brzine od 0,02 m/s, uz korišćenje samo signala L_1 . Prijemnik može da očita poziciju za 40 s nakon uključenja, ili za 30 s ako je ranije uključen. Sadrži RAIM performanse.

Drugi model je 16-kanalni prijemnik GPS/GLONASS, uz korišćenje oba signala L_1 i L_2 . Svih 16 koreliranih kanala smešteni su u jednočipni digitalni signal-procesor TMS320C62001 firme Texas Instruments.

Zaključak

Od 1971. godine sistem za globalno pozicioniranje, postao je nezaobilazno sredstvo u domenu pozicioniranja i navigacije. Međutim, malo ko je očekivao da će tako brzo, za manje od 10 godina, pretrpeti toliku minijaturizaciju, usavršavanje i kombinovanje sa drugim sistemima, i uolikoj meri proširiti svoje područje primene da se danas iole složeniji tehnički vojni sistem teško može zamisliti bez nekog od oblika ovog sistema. Go-

tovo sva precizna oružja većeg dometa imaju ga u svom sastavu ili će ga ubrzo dobiti. Sistemi za vođenje i upravljanje raketa i artiljerijskih projektila visoke preciznosti i velikog dometa i sistemi za upravljanje vatrom postali su oblasti u kojima se GPS potpuno odomaćio, naročito u kombinaciji sa inercijalnim sistemima koji su do skoro bili nezamenjivi. Značajno mesto u skoroj budućnosti GPS će dobiti i u oblasti softvera za upravljanje borbenim operacijama različitih nivoa (od nivoa čete do nivoa brigade), koji će biti instalirani na robustnim prenosnim kompjuterima na čijem razvoju zapadne zemlje intenzivno rade.

Planirane promene frekvencije signala nosilaca, radi striktnog odvajanja vojne komponente od civilne i promene u strukturi koda, koje će omogućiti prenos većeg broja informacija, još više će proširiti primenu i ubrzati razvoj obe komponente. U razvoj softvera, prijemnika i komponenata sistema vođenja već su uključene i manje firme, što će razvoju različitih sistema na osnovu GPS dati još veći zamah. U toj oblasti nije nebitno ostvariti tehnološki priključak, što kod nas do sada nije učinjeno iz više razloga. Nabavkom određenog broja GPS prijemnika i angažovanjem UA Sektora KoV i VGI načinjeni su prvi koraci.

Literatura:

- [1] Jane's International Defense Review, 09/1998., 12/1998., 02/1999.
- [2] Božić, B.: Neki problemi u primeni GPS u našim uslovima, VTG br. 3, 1997.
- [3] Leick, A.: GPS Satellite Surveying, John Wiley & Sons Inc. New York, 1990.
- [4] Vojnotehnički glasnik br. 6, 1991.