

UDK 629.783:528-323:681.586
Pregledni znanstveni članak

Modernizacija GPS-a (GNSS-2)

Mladen ZRINJSKI¹, Željko BAČIĆ², Đuro BARKOVIĆ³ – Zagreb

SAŽETAK. Pregledno su prikazani razvoj i sadašnja koncepcija globalnog sustava pozicioniranja (GPS). Ukratko je opisan osnovni princip rada i glavne karakteristike GPS-a te njegova sadašnja točnost. Dan je pregledni razvoj programa modernizacije GPS-a u idućim godinama. Prikazana je modernizacija pojedinih komponenti GPS-a, pri čemu je najvažnije naglasiti uvođenje dvaju novih signala koji će biti dostupni civilnim korisnicima. Modernizacija je prikazana onako kako je i planirana, po pojedinim fazama, sve do godine 2030. Također je dan osvrt na ostale globalne navigacijske satelitske sustave (GNSS): ruski GLONASS i europski Galileo. Bliža budućnost GPS-a leži u integraciji s Galileom, a dalja u integraciji i s ostalim senzorima za prikupljanje svih vrsta podataka koji služe kreiranju informacija potrebnih za bilo koji aspekt ljudskog života. Na kraju je prikazana procjena i očekivanje porasta broja korisnika GPS-a u budućnosti, u različitim granama ljudskog života, koja dovoljno govori o važnosti i širokoj primjeni GPS-a.

Ključne riječi: modernizacija, GPS, globalni navigacijski satelitski sustavi, GLONASS, Galileo, integracija, senzori, informacije.

1. Uvod

Globalni sustav pozicioniranja (GPS – Global Positioning System) kao jedan od sustava globalnoga satelitskog pozicioniranja, nakon niza godina razvoja i poboljšanja, danas ima vrlo važnu ulogu u svakodnevnom ljudskom životu.

Od početka razvoja GPS-a pa do danas u Republici Hrvatskoj objavljeno je dosta radova s tom tematikom. Ovdje će se dati pregled samo nekih od tih radova.

Prvi rad, Kanajet 1978, u kojem se spominje razvoj novoga satelitskog sustava pod imenom GPS, objavljen je još dok je taj sustav bio u fazi projekta.

¹ Mladen Zrinjski, dipl. ing. geod., Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: mladen.zrinjski@geof.hr

² Prof. dr. sc. Željko Bačić, Državna geodetska uprava, Gruška 20, 10000 Zagreb, e-mail: zeljko.bacic@dgu.hr

³ Doc. dr. sc. Đuro Barković, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: djuro.barkovic@geof.hr

Slijedilo je nekoliko radova u kojima je dan detaljan opis osnova i principa rada GPS-a. Pregledom tih radova i uvidom u obrađenu problematiku, najvažniji od njih objavljeni su kronološki: Bilajbegović i dr. 1989, Bilajbegović i Solarić 1991, Bilajbegović i dr. 1992, Solarić i dr. 1995, Solarić 1995, Solarić 1997, Hećimović 2001.

Svi ti radovi u vrijeme objavljivanja bili su vrlo važni jer se mogao pratiti razvojni put i mogućnosti što ih je donosila i pružala GPS tehnologija.

2. Današnja koncepcija GPS-a

Da bi se postigla današnja koncepcija GPS-a, taj sustav prošao je mnogo razvojnih faza, od kojih su najvažnije ovdje prikazane.

Spajanjem projekata United States Navy i Air Force 1973. godine nastao je projekt pod imenom NAVigation System with Time And Ranging – Global Positioning System (NAVSTAR – GPS), što ga je odobrio Kongres SAD-a.

Prvi GPS satelit lansiran je u orbitu u veljači 1978. godine.

Ministarstvo transporta SAD-a uključuje se u menadžment GPS-a 80-ih godina dvadesetog stoljeća.

Sustav je od početka zamišljen kao vojni, međutim rušenje Boeinga 747 (Korean Airlines 007) od strane sovjetskog lovca 1983. godine uzrokovalo je proširenje GPS tehnologije s vojnog na civilno zrakoplovstvo (Kanajet 1992).

Brzi razvoj konstelacije tog sustava naglo je zaustavljen nakon katastrofe raketa-plana Challenger s ljudskom posadom 28. siječnja 1986. godine.

Nakon pune tri godine, u veljači 1989. godine lansirana je prva raketa Delta II te je time ujedno nastavljen daljnji razvoj konstelacije GPS satelita.

IOC (Initial Operational Capability) GPS-a postignut je 8. prosinca 1993. godine.

FOC (Full Operational Capability) sustava postignut je 25. travnja 1995. godine i do danas se cijelo vrijeme održava na toj razini.

U listopadu 1996. godine startao je AII (Accuracy Improvement Initiative) pod nadzorom američkih zračnih snaga. AII je bila nova tehnika kojoj je svrha bila poboljšanje točnosti apsolutnog pozicioniranja u prvom redu namijenjenog vojsci s tadašnjih 8 m na 4,5 m (URL 22) ili bolje, s tendencijom daljnje modernizacije.

Cilj aktiviranja SA (Selective Availability) 4. srpnja 1991. godine je smanjenje ostvarive navigacijske točnosti s C/A kodom, koja je bila preoptimistična.

A-S (Anti-Spoofing), visoka zaštita signala od prijevare, permanentno je aktiviran od 31. siječnja 1994. godine radi onemogućivanja nepozvanih da manipuliraju GPS signalom, bilo odašiljanjem lažnog signala ili iskrivljavanjem pravog, što bi moglo izazvati konfuziju i uzrokovati krivo pozicioniranje korisnika.

Predsjednik SAD-a Bill Clinton donio je 1996. godine Predsjedničku direktivnu odluku (PDD), koja je definirala sljedeće:

- pojačana je savezna politika i planiranje razvoja GPS-a
- potrebno je pobrinuti se za strategijsku viziju, menadžment i korištenje GPS-a.

Prvo ozbiljnije planiranje modernizacije GPS-a počinje 1997. godine.

Odlukom Predsjednika SAD-a od 2. svibnja 2000. godine ukinut je SA.

Osvrt na osnovne karakteristike i stanje današnje koncepcije GPS-a neće se detaljno opisivati, već će ukratko biti dan prikaz onih informacija o ovom sustavu koje nisu detaljnije objavljene u dosadašnjim radovima.

Osnovne su karakteristike GPS-a:

- potrebna su 24 satelita u orbiti oko Zemlje za potpunu funkcionalnost sustava
- moguće je korištenje sustava u svrhu navigacije, teragacije, orijentacije i određivanja brzine i vremena
- operabilnost sustava je 24 sata na dan, u svim atmosferskim uvjetima
- sustav se može koristiti i za sve druge aplikacije koje trebaju informacije vezane uz položaj i vrijeme.

Današnju konstelaciju čini 28 satelita, od kojih su 4 Blok II, 18 Blok IIA i 6 Blok IIR sateliti (URL 12), što je 4 više od potrebnog broja i služe za rezervu.

National Geodetic Survey (NGS) jedan je od sedam internacionalnih GPS servisa koji sudjeluje u određivanju točnosti GPS orbita. Efemeride satelita predstavljaju jednostavan popis položaja GPS satelita kao funkcija vremena. Ta lista pokazuje gdje će sateliti biti u određeno vrijeme. Male promjene u atomskim satovima satelita mogu prouzročiti velike položajne pogreške.

Postoje tri razine točnosti efemerida (URL 1), ovisno o brzini njihova dobivanja (tablica 1).

Tablica 1. *Tri razine točnosti efemerida.*

Razina točnosti efemerida	Brzina dobivanja	Točnost
Konačne precizne efemeride	zakašnjenje od \approx 13 dana	< 5 cm
Brze efemeride	zakašnjenje od 14 sati	< 10 cm
Ultra brze efemeride	real time	< 20 cm

Položaji i brzine satelita dani su u binarnom *.sp3* formatu (jednom svakih 15 minuta), u važećem okviru ITRFXX (International Terrestrial Reference Frame – međunarodni terestrički referentni okvir) (Hofmann-Wellenhof i dr. 2001) koji je vezan uz godinu realizacije XX. Dosadašnje su godišnje realizacije ITRF-a: ITRF88, ITRF89, ITRF90, ITRF91, ITRF92, ITRF93, ITRF94, ITRF95, ITRF96, ITRF97, ITRF98 i ITRF2000.

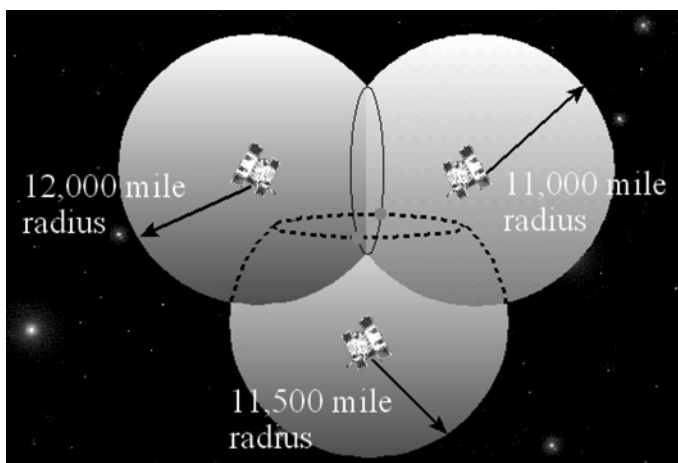
GPS signal putuje do Zemlje približno 0,067 sekundi. Ti su signali emitirani s vrlo malom snagom, oko 300 do 350 W u mikrovalnom spektru.

C/A kod (Coarse Acquisition code – grubo stjecanje) na raspolaganju je civilima kao standardni pozicijski servis (SPS – Standard Positioning Service). Specifikacije za SPS iznova su definirane kada je SA ukinut. Prije nego što je SA ukinut, SPS je bio opremljen tako da se može jamčiti položajna točnost od 100 m horizontalno, 156 m vertikalno i točan prijenos vremena prema UTC-u unutar 340 ns, sve uz razinu vjerojatnosti od 95% (Bačić i Bačić 1999).

Precizni pozicijski servis (PPS – Precise Positioning Service) na raspolaganju je samo vojsci (i drugim autoriziranim korisnicima), jamči točnost preko P-koda od najmanje 22 m horizontalno, 27,7 m vertikalno i točan prijenos vremena prema UTC-u unutar 200 ns, sve uz razinu vjerojatnosti od 95% (Bačić i Bačić 1999).

Jednom kada je izmjerena udaljenost, nastaje osnovni problem geometrije: ako je poznato gdje se nalaze 4 satelita i ako je poznata udaljenost prijavnika od svakog satelita, može se izračunati položaj prijavnika s pomoću *prostorne trilateracije* (URL 5).

Radius sfere, u središte koje je smješten satelit, približno je 12 000 milja (1 milja = 1609 m). Jedno mjerenje ograničuje rješenje problema na površinu sfere. Drugo mjerenje ograničuje rješenje na presjek dviju sfera. Taj je presjek kružnica, pa je rješenje negdje na toj kružnici. Druga sfera ima radius od približno 11 000 milja. Treće mjerenje ograničuje rješenje na samo dvije točke, jer se tri sfere presijecaju u samo dvije točke (slika 1). Obično se može odbaciti jedna od dviju točaka, jer jedna točka ne mora biti nigdje blizu Zemlje. Radius je treće sfere približno 11 500 milja.



Slika 1. Geometrijsko rješenje GPS opažanja s pomoću prostorne trilateracije (URL 5).

Mikroprocesori u prijavnici imaju različite tehnike za razlikovanje dobre točke od nepotrebne točke. Četvrto mjerenje potrebno je za određivanje točne razlike vremena. Sateliti koriste visoko točne atomske satove, koji su preskupi za GPS prijavnike, tako da oni koriste kvarcne satove. Razlika vremena razlika je u sinkronizaciji između sata satelita i sata prijavnika. Četvrto mjerenje koristi se za određivanje upravo te razlike vremena i za pronalaženje ispravne (od dviju mogućih) točke (URL 5).

Trenutačno jamčena točnost GPS apsolutnog pozicioniranja, nakon ukidanja SA, je 10 do 20 m, dok se u praksi pokazuje da je reda veličine 6 do 11 m (tablica 2), pa čak i bolje.

Tablica 2. *Prikaz najvažnijih GPS pogrešaka i njihov utjecaj na mjerenje (Bilajbegović 2004).*

Vrsta pogreške	Iznos pogreške [m]
Utjecaj ionosfere (najbolji model)	1 – 2
Utjecaj ionosfere (prosječni model)	5 – 10
Utjecaj ionosfere (loš model)	10 – 50
Utjecaj troposfere (model)	0,1
Multipath	1 – 2
Šum mjerenja	0,2 – 1
Hardverska zaostajanja signala	0,1 – 1
Pogreška faznog centra antene	0,001 – 0,01
Projekcija pogreške koordinata satelita na spojnicu satelit – prijamnik	1 – 2
Drhtanje sata satelita	1 – 2
Ukupno s prosječnim modelom ionosfere	5,3 – 10,7

Računanje ukupnog standardnog odstupanja prema tablici 2:

$$\sigma_{\text{donja granica}} = \sqrt{(5^2 + 0,1^2 + 1^2 + 0,2^2 + 0,1^2 + 0,001^2 + 1^2 + 1^2)} = 5,3 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{gornja granica}} = \sqrt{(10^2 + 0,1^2 + 2^2 + 1^2 + 1^2 + 0,01^2 + 2^2 + 2^2)} = 10,7 \text{ m.}$$

DOP (Dilution of Precision) vrijednost je geometrijska veličina koja se odnosi na nesigurnost određivanja pozicije kinematičkim načinom rada, a prikazuje se izrazom (Bilajbegović i dr. 1991):

$$DOP = \sqrt{\text{trag}(A^T A)^{-1}}, \quad (1)$$

gdje je *A* design matrica sustava jednadžbi koja ovisi o geometriji satelita i prijarnika.

PDOP je približno obrnuto proporcionalan volumenu tetraedra što ga formiraju jedinični vektori usmjereni od faznog centra antene k pojedinom satelitu, odnosno:

$$PDOP \approx \frac{1}{V_{\text{tetraedra}}}. \quad (2)$$

Niska DOP vrijednost reprezentira dobru konfiguraciju satelita, dok visoka DOP vrijednost lošu konfiguraciju.

GDOP (Geometric Dilution of Precision) bezdimenzionalni je broj i označava mjeru kvalitete konfiguracije satelita te upućuje gdje su sateliti relativno u odnosu na druge satelite. Geometrija satelita utječe na točnost GPS pozicioniranja.

PDOP (Position Dilution of Precision) pozicijska je DOP vrijednost i najčešće se koristi, umjesto GDOP-a, kao mjera za geometriju satelita.

PDOP vrijednosti mogu se prema kvaliteti podijeliti u razrede:

- PDOP ≤ 4 – izvrsno
- PDOP 5–8 – prihvatljivo
- PDOP ≥ 9 – loše.

PDOP je manja jedinica mjere koja upućuje na kvalitetu horizontalnih (latituda, longituda) i vertikalnih (altituda) mjerenja. Na prijamniku se može podesiti parametar poznat kao PDOP maska, koji ignorira konstelacije koje imaju PDOP veći od granične vrijednosti koja se specificira.

Kod GDOP-a se razlikuju: HDOP (Horizontal Dilution of Precision) i VDOP (Vertical Dilution of Precision).

TDOP (Time Dilution of Precision) upućuje na odstupanje sata.

GDOP upućuje na rješenje triju položajnih koordinata plus odstupanje sata (4 nepoznanice) i može se prikazati izrazom:

$$GDOP^2 = PDOP^2 + TDOP^2. \quad (3)$$

PDOP se može prikazati i izrazom:

$$PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2. \quad (4)$$

Nove tehnologije što ih je razvila vojska omogućuju SAD-u degradaciju GPS signala na regionalnoj osnovi zbog nacionalne sigurnosti, dok je degradacija signala na svjetskoj razini nepotrebna.

3. Razlozi modernizacije GPS-a

Nakon pokretanja projekta Galileo Europske svemirske agencije (ESA – European Space Agency) 1999. godine, Ministarstvo obrane SAD-a počinje uviđati da bi GPS mogao s vremenom izgubiti mjesto jedinog pravoga globalnog sustava za pozicioniranje i navigaciju, što ga uspješno drži više od dva desetljeća.

Galileo je od početka zamišljen kao sustav pod kontrolom civilne zajednice, za razliku od GPS-a, koji je pod nadzorom Ministarstva obrane SAD-a, te je samim time uvijek ograničavao puni prijam signala civilnim korisnicima, i to jednosmjernim odlukama na koje civilni dio zajednice nije mogao utjecati.

Moguća restrukturiranja unutar GPS-a krenula su upravo onda kada je Europska unija zauzela ozbiljan stav o startanju sustava Galileo.

Nakon što je stručni tim Galilea najavio namjeru da PRS (Public Regulated Service) leži na američkom vojnom M-kodu (URL 4), zbog implikacija koje bi iz toga pro-

izašle za američku vojsku bile bi velike, američko Ministarstvo obrane ubrzalo je odluku o pokretanju GPS III programa.

Još jedan, ne manje važan razlog da započne modernizacija GPS-a je taj što će Galileo biti financiran u najvećoj mjeri od privatnog sektora i ovisit će o poslovnoj sposobnosti, pa će zbog toga njegovi signali i servisi biti bolji nego kod GPS-a.

Izjava predsjednika SAD-a Billa Clintona iz 2000. godine: "Odluka o prekidu Selective Availability je zadnja mjera u nastojanju da GPS bude dostupan civilima i komercijalnim korisnicima širom svijeta. Taj porast u točnosti omogućit će pojavljivanje novih GPS aplikacija i nastavit će se poboljšanje života ljudi širom svijeta" (URL 5), nije proizašla iz brige za dostupnošću GPS-a svim korisnicima već iz čvrstog stava Europske unije da razvije Galileo. Nakon te izjave uslijedili su i konkretni koraci u modernizaciji GPS-a, a danas se politika SAD-a prema GPS-u temelji na paralelnom praćenju razvoja sustava Galileo.

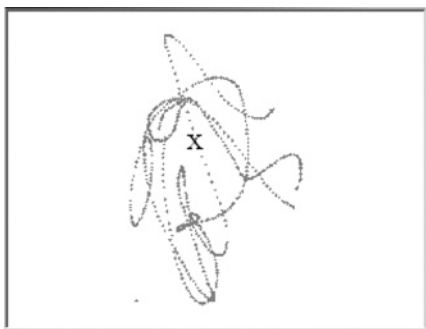
4. Program modernizacije GPS-a

4.1. Ukidanje SA

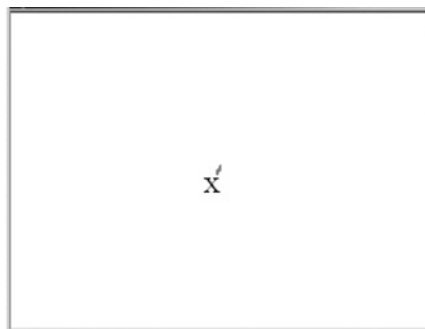
Nakon niza godina planiranja, prvi i najvažniji korak u poboljšanju točnosti GPS-a svakako je bila odluka američkog predsjednika Clintona o ukidanju Selective Availability 2. svibnja 2000. godine. Strogo gledano, taj se korak ne bi mogao ubrojiti u modernizaciju GPS-a, međutim razmotrit će se ovdje jer je konačno napravljen veliki pomak glede točnosti GPS-a za civilni dio zajednice.

Jamčena točnost apsolutnog pozicioniranja odmah je povećana s tadašnjih 30 do 100 m na oko 10 do 20 m.

Slika 2 prikazuje apsolutno opažanje od jednog sata (prikupljanje podataka svakih 5 s) prije i nakon što je SA isključen. Oznaka x na svakoj slici prikazuje pravi položaj bazne točke.



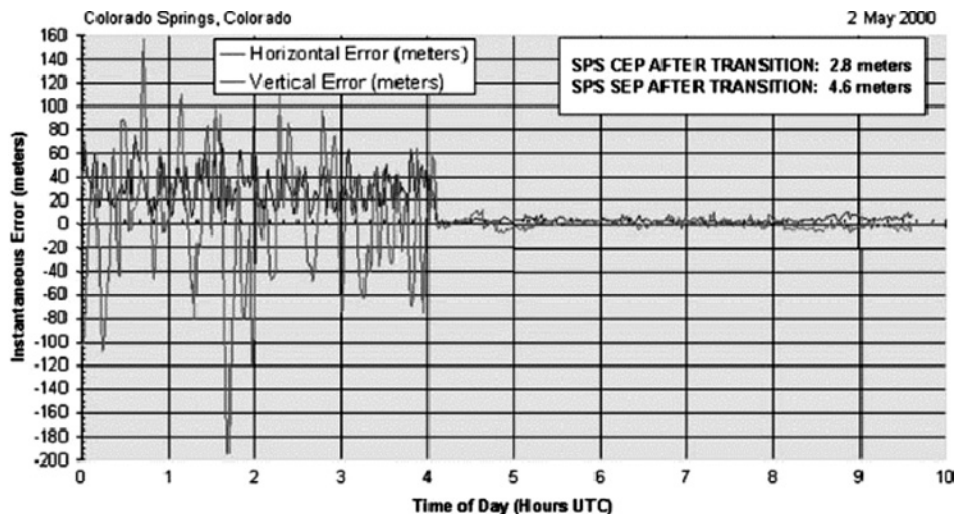
a) SA uključen: točnost 100 m



b) SA isključen: točnost 3 m

Slika 2. Točnost apsolutnog opažanja prije i nakon ukidanja Selective Availability (URL 5).

Slika 3 prikazuje trenutačni utjecaj ukidanja SA 2. svibnja 2000. godine na horizontalnu i vertikalnu točnost.



Slika 3. *Trenutačni utjecaj ukidanja Selective Availability (Shaw i dr. 2000).*

Cilj je modernizacije GPS-a, nakon ukidanja SA, daljnje poboljšanje točnosti pozicioniranja, navigacije, teragacije, orijentacije, određivanja brzine i vremena za civilne i vojne korisnike širom svijeta.

4.2. Modernizacija satelita

Trenutačno je do sada modernizirano 12 Blok IIR satelita u Blok IIR-M (M = military: vojni) satelite (URL 5), zbog brže dostupnosti vojnog M-koda na frekvencijama L1 i L2 i civilnog koda na frekvenciji L1. Unatoč tome, nemoguće je dodati frekvenciju L5 na te modernizirane satelite (URL 16), pa se teži rješenju tog problema.

Blok IIF (F = follow on: slijediti) sateliti trebali bi biti peta generacija GPS satelita i kod njih će se nastaviti s civilnim signalom na L1. Također će se pojačati i vojni M-kod na frekvencijama L1 i L2 radi boljeg prijama vojnog signala. Civilima će najprije biti dostupan novi signal na L2, a poslije će biti dodan i novi civilni kod na frekvenciju L5 (URL 14). Prva lansiranja tih satelita planirana su za 2005. godinu, iako je pitanje hoće li baš tada startati.

Blok IIF sateliti sadržavat će daljnja poboljšanja, koja će omogućiti još veću autonomnost satelita, kao i dodatne mogućnosti odašiljanja signala (URL 14).

Prednosti nove generacije satelita bit će sljedeće (Bačić i Bašić 1999):

- navigacijska točnost moći će se zadržati 6 mjeseci bez podrške sa Zemlje, a time su bojazni o ometanju komunikacija kontrolnih stanica sa satelitima minimalizirane

- sateliti će biti opremljeni opremom koja će omogućiti prijenos podataka između satelita radi povećanja samostalnosti sustava
- samo jedno osvježavanje informacijama svakog satelita mjesečno umjesto više puta dnevno
- reducirat će se potreba za prekomorskim kontrolnim stanicama
- postići će se povećana navigacijska točnost.

Blok III sateliti trebali bi biti najnovija generacija GPS satelita, a njihovo bi lansiranje trebalo početi najranije 2010. (URL 18), a realnija je opcija 2012. godina (URL 17).

4.3. Modernizacija signala

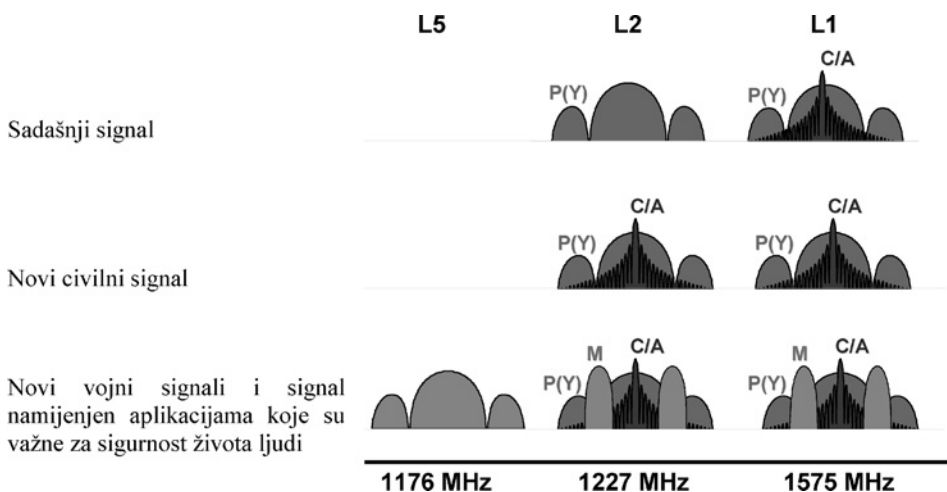
Daljnji važan korak u modernizaciji GPS-a uključuje uvođenje *dvaju novih civilnih signala* (Shaw i dr. 2000). Drugi civilni signal, L2 = 1227.60 MHz, predviđen je za implementaciju na Blok IIF satelite, koji su bili lansirani 2003. godine. Za drugi civilni signal koji će biti smješten uz sadašnji vojni signal, IOC će biti dosegnut vjerojatno 2008., a FOC do 2010. godine (URL 12).

Treći civilni signal bit će smješten unutar dijela spektra koji je internacionalno dodijeljen za aeronautičke radionavigacijske servise, tj. L5 = 1176,45 MHz (Shaw i dr. 2000), a prvo lansiranje satelita s ugrađenim tim signalom predviđeno je za 2005. godinu. Taj civilni signal bit će podesan za potrebe aplikacija koje su važne za sigurnost života ljudi, kao što je civilno zrakoplovstvo (URL 10).

Za novi civilni signal na L5, IOC sustava bit će postignut do 2012., a FOC do 2015. godine (URL 12).

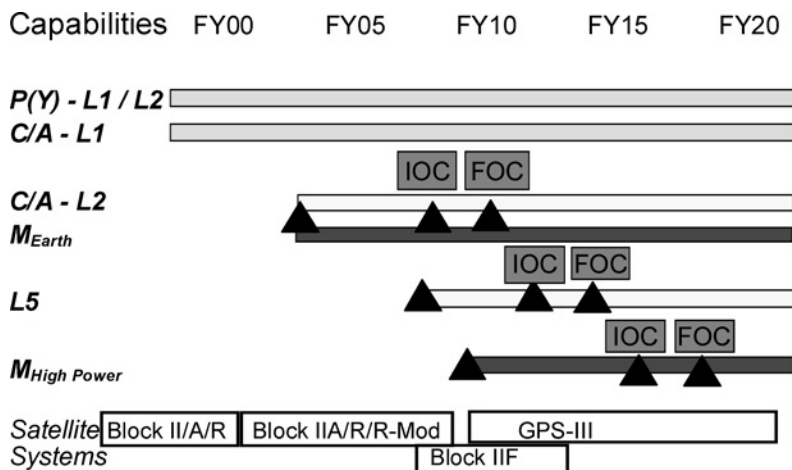
Također će biti uvedena i dva nova koda na frekvenciju L5: I5 (I – in-phase) i Q5 (Q – quadrature) (URL 7).

Na slici 4 prikazana je struktura sadašnjeg i moderniziranog GPS signala.



Slika 4. Struktura sadašnjeg i moderniziranog GPS signala (Shaw i dr. 2000).

Slika 5 prikazuje razvoj GPS signala i satelita po pojedinim fazama, za razdoblje od 2000. do 2020. godine.



Slika 5. Razvoj GPS signala i satelita po pojedinim fazama (URL 8).

Uvođenjem nove frekvencije L5, modernizirani GPS signal imat će sljedeću strukturu (URL 3):

- L1: C/A; P/Y; M
- L2: C/A; P/Y; M
- L5: 2 nova koda.

Pritom će civilni signali biti (URL 3):

- L1: C/A
- L2: C/A
- L5: novi kod.

Kada budu kombinirani sa sadašnjim civilnim signalom na 1575,42 MHz, novi signali znatno će poboljšati robusnost i pouzdanost GPS-a za civilne korisnike i omogućit će besprijekorno real-time određivanje visoke položajne točnosti bilo gdje na Zemlji.

4.4. Modernizacija kontrolnog segmenta

Modernizacija kontrolnog segmenta također će se postići postavljanjem novih opažачkih stanica i dodavanjem novih tehnika procesiranja kako bi se reducirale pogreške vezane uz određivanje položaja i vremena. Također će se povećati točnost određivanja orbita samih satelita, što će u krajnjoj mjeri dovesti i do povećanja točnosti određivanja bilo koje komponente GPS-a.

Realizirat će se dodatno postavljanje velike antene, kombinirane s promjenama nužnima u operacionalizaciji kontrolnog segmenta (URL 15).

4.5. Poboljšanje prijamnika

Rezolucija prijamnika poboljšat će se na 0,1% valne duljine, ili bolje (Hofmann-Wellenhof i dr. 2001). Proizvodnja multikanalnih prijamnika s 36 i više kanala (mjerenje svih kombinacija opažanja L1 i L2) postat će rutinski posao.

Problemi multipatha znatno će se reducirati konstrukcijom prijamnika s različitim zaštitama kako bi utjecaj multipatha bio sveden na najmanju moguću mjeru. Masa i veličina prijamnika u znatnoj će se mjeri smanjiti, a poboljšat će se svojstva svih komponenti: smanjiti antene, poboljšati radiofrekvencijski (RF) dio, bežično komuniciranje korisnika s prijamnikom putem daljinskog upravljača i dr. (Bačić i Bašić 1999). Veličina prijamnika također će biti reducirana na optimalnu veličinu što će imati za posljedicu praktičniju primjenu.

Nije nevažno spomenuti kako u budućnosti cijena GPS prijamnika može imati samo stalni trend pada.

4.6. Poboljšanje programa

Doći će do daljnjeg ubrzanja obradbe mjerenja. To će se postići korištenjem sve bržih mikroprocesora, kao i optimiranjem algoritama u programskim paketima. Najveći prostor za poboljšanje kvalitete rada programa je u daljnjem razvijanju tehnika uklanjanja cycle slipa i određivanja ambiguiteta (Bačić i Bašić 1999).

U budućnosti se može očekivati trend, s obzirom na navedeno i širenje primjene RTK (Real Time Kinematic) sustava, da će se vektori svih tipova mjerenja obrađivati u realnom vremenu, na licu mjesta u prijamniku (processing softver) (Hofmann-Wellenhof i dr. 2001). Gledano iz praktičnih i ekonomskih razloga to je svakako najoptimalnije rješenje obradbe, barem za većinu mjerenja.

Razvoj elektronike i tehnologije dovest će do stalnog razvoja sve bržih i kvalitetnijih softvera.

4.7. Povećanje točnosti

Krajnjega korisnika zanima koliko će modernizacija GPS-a utjecati na točnost pozicioniranja, navigacije, teragacije, orijentacije te određivanja brzine i vremena.

Prikazan je utjecaj modernizacije GPS-a u budućnosti na horizontalnu točnost apsolutnog pozicioniranja (Shaw i dr. 2000) (tablica 3) i kinematike u realnom vremenu.

Tablica 3. Horizontalna točnost apsolutnog pozicioniranja za servise SPS i PPS.

Razina servisa	Horizontalna točnost apsolutnog pozicioniranja, 95% [m]
SPS sa 2 ili više kodirana civilna signala – C/A-kod na L2 i/ili L5	8,5
SPS i PPS s Accuracy Improvement Initiative	6,0

Točnost kinematike u realnom vremenu – procjena za sutra (URL 6):

- L1 kod i nosač
- L2 kod i nosač
- L5 kod i nosač
- radioveza za podatke
- mogućnost rada do udaljenosti 100 i više km
- točnost 2 cm i bolja
- brže pronalaženje prekinutih signala (npr. ispod mostova, u gradovima i dr.).

Točnost određivanja visina bit će na razini nekoliko *cm* ili bolja (URL 1).

5. GPS III

GPS III najnovija je (treća) generacija modernizacije GPS-a, koja je po odobrenju Kongresa SAD-a startala 2000. godine.

Njezine su karakteristike (URL 1):

- u svako doba u orbiti će biti 30 do 32 satelita dostupna korisnicima
- imat će implementiran M-kod na frekvencije L1 i L2 s jačom snagom nego što je to sada
- druga civilna frekvencija (L2: C/A) bit će na raspolaganju počevši sa GPS Blok IIF satelitima, koji su bili lansirani u 2003. godini
- treća frekvencija, koja sadrži civilni signal L5, bit će implementirana na GPS Blok IIF satelite, koji će početi s lansiranjem 2005. godine
- prijenos signala bit će mnogo jači
- povećat će se real-time točnost na 1 m
- početna lansiranja Blok IIF satelita započet će ≈ 2005. godine
- prva lansiranja GPS Blok III satelita početak će oko 2010. godine
- IOC sustava bit će postignut do ≈ 2016. godine
- očekuje se da će FOC sustava biti postignut do 2018. godine.

Sadašnja modernizacija GPS-a nastojat će zadržati konstelaciju do približno 2010. godine (URL 9). Nova generacija satelita i nova zemaljska kontrolna svojstva bit će razvijeni za korištenje nakon 2010. do najmanje 2030. godine (URL 13).

Predloženi cilj razina točnosti GPS III i dostupnost signala pronađen je u poboljšanjima koja je moguće izvesti potpunom modernizacijom Blok II konstelacije i kontrolnog segmenta.

Poboljšane performanse komponenata sustava mogu se postići kroz mnogo robusnije centre operacionalizacije kao i kroz mnogo sigurnije veze Zemlja-svemir i svemir-svemir.

Predloženi program kasni nekoliko godina, tako da se realizacija pojedinih faza modernizacije pomiče u budućnost, a glavni su razlozi tomu neočekivano dugi vijek trajanja GPS satelita i nedostatak novčanih sredstava.

Najnovija verzija modernizacije GPS-a govori o njegovu planiranju, razvoju i stalnom poboljšanju do čak 2060. godine (URL 1), ali bez konkretnih pojedinosti.

6. Budućnost GNSS-a

Osim GPS-a postoje još dva globalna navigacijska satelitska sustava (GNSS – Global Navigation Satellite System) GLONASS i Galileo.

Aktualni status ruskog GLONASS (GLObal'naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) sustava na dan 11. travnja 2005. godine čini 13 aktivnih satelita, od čega su čak 3 satelita lansirana 26. prosinca 2004. Od službenih predstavnika je u rujnu 2004. godine priopćena vijest o potpunoj izgradnji ovog sustava u idućim godinama. Za pokrivanje teritorija Rusije potrebno je 18 satelita, a za pokrivanje cijelog svijeta potrebna su 24 operativna satelita. Vodeći čovjek Ruske svemirske agencije (Roskosmos) Anatoli Perminov izjavio je u studenome 2004. da će Rusija postići minimum od 18 satelita najranije 2007. godine.

Galileo je europski doprinos sljedećoj generaciji globalnoga navigacijskog satelitskog sustava.

Za razliku od GPS-a, koji je osigurao novčana sredstva od javnog sektora i kojim upravljaju američke zračne snage, Galileo će biti sustav kontroliran od strane civila koji će nastojati privući novce od javnog i privatnog sektora.

U listopadu 2003. godine Kina je potpisala sporazum s Europskom unijom o uključivanju u satelitski sustav Galileo (URL 19). Time bi Kina trebala uložiti 230 milijuna američkih dolara u Galileo, čime bi razvoj tog sustava samo dobio na kontinuitetu, brzini i kvaliteti.

Sustav Galileo bit će slobodan za korištenje (URL 11), ali s nizom servisa koji će se plaćati te s dodatnim karakteristikama koje će biti ponuđene. Te dodatne karakteristike uključivat će poboljšanje prijama, točnosti i iskorištenja (URL 15).

Dizajn sustava Galileo sada je finaliziran i stavljanje u pogon početnih servisa u planu je za 2006. godinu, dok bi se prvi eksperimentalni satelit trebao lansirati u 2005. godini, inače Galileo gubi licencu za već dobivene frekvencije.

Kada sustav Galileo bude u potpunosti finaliziran, predstavljat će pravu alternativu trenutačno monopolskoj situaciji koju ima američki GPS.

Najvažnije prednosti Galilea u odnosu na GPS:

- osmišljen je kao civilni sustav uza sve potrebne mjere zaštite
- tehnološki je osmišljen kao i GPS te će omogućiti dobivanje veće točnosti zahvaljujući odabranoj konstelaciji satelita i Zemaljskih kontrolnih stanica
- moći će se obavljati opažanja i na područjima velikih geografskih širina
- kvalitetniji prijam signala u urbanim sredinama i zatvorenim prostorima
- Galileo je kreiran tako da će se prijamnik moći koristiti u svrhu pozicioniranja ili u kombinaciji s komunikacijskim sustavima kao što su GSM, GPRS i UMTS
- predstavlja pravu civilnu službu i kao takav jamči kontinuitet za određene aplikacije, za razliku od GPS signala koji su posljednjih nekoliko godina bili nedostupni iz planiranih ili neplaniranih razloga, a ponekad i bez najave.

Potencijalni razvoj GNSS-a za razdoblje od 2005.–2011. godine uključuje modernizaciju GPS-a, koja se sastoji u lansiranju novih satelita, najprije Blok IIF, a poslije i Blok III te startanje Galilea.

Gledano dugoročno, budućnost je GNSS-a u potpunoj integraciji GPS-a s Galileom kada će ovaj biti u punoj funkcionalnosti.

Stanje koje će se time postići imat će niz prednosti (URL 20, URL 21):

- 60 i više satelita u orbiti
- druga i treća civilna frekvencija – GPS
- neće biti kodiranja signala – Galileo
- integritet i servisne garancije
- korištenje istog prijamnika za primanje GPS i Galileo signala
- dodatan trošak za integriranje obaju sustava u GPS ili Galileo prijamnik najvjerojatnije će biti manji od 5% od ukupne cijene prijamnika
- povećanje dostupnosti signala u urbanim područjima, ispod mostova, itd.
- mnogo jači prijenos signala
- povećanje real-time točnosti apsolutnog pozicioniranja na 1 m ili bolje
- kombinacija GPS-a i Galileo sustava rezultirat će dostupnošću signala preko 95%, što nikako ne bi bilo ostvarivo sa samo jednim sustavom.

Kina je 2002. godine zatražila dozvolu za frekvencije za svoj GNSS, pod imenom "COMPASS".

Indija radi na svom sustavu pokrenutim pod imenom "INDSAT" i također je zatražila dozvolu za frekvencije.

7. Zaključak

Kao što je danas teško zamisliti život bez organizacije vremena, tako će u budućnosti biti imperativ poznavanje preciznog položaja na Zemlji.

Najvažniji koraci u modernizaciji GPS-a svakako su ukidanje SA, te uvođenje dvaju novih civilnih signala.

Neposredno širenje primjene GPS-a očekuje se u navigaciji na moru, kopnu i u zraku (osobito nakon uvođenja L5), gdje će uspostava brojnih DGPS mreža omogućiti pouzdanu navigaciju uz primjenu jednostavnih i jeftinih GPS prijamnika, gdje će najskuplji dio biti veza.

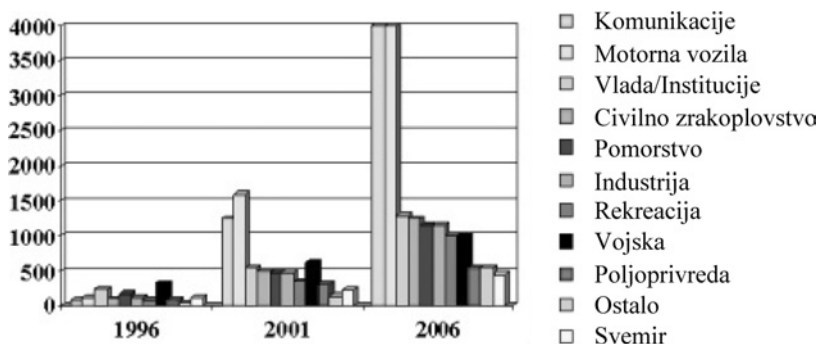
Pogotovo će u zrakoplovstvu sofisticirana primjena GPS-a zajedno s IS-om (Inertial System: inercijalni sustav) i drugim elektronskim uređajima (ILS – Integrated Location System) omogućiti navigaciju tijekom leta, prilaz i slijetanje zrakoplova, izbjegavanje sudara i rano upozoravanje posade u slučaju skretanja s kursa (Bačić i Bačić 1999). Očekuje se da će svi budući sateliti biti opremljeni GPS prijamnicima, što će njima i njihovim mjernim rezultatima omogućiti novu kvalitetu.

Danas GPS ima važnu ulogu – kao globalni mrežni sat – za definiranje točnog vremena, tj. za sinkronizaciju vremena za milijune računala širom svijeta pri razmjeni informacija.

GPS će u budućnosti još više proširiti svoju primjenu u različitim aspektima ljudskog života kao što su: geodezija, geodinamika, navigacija, svemirska istraživanja, vojne potrebe, geofizika, poljoprivreda, šumarstvo, hidrologija, ekologija, meteorologija, arheologija, biologija, geologija i dr. (Bačić 1998).

Očekuje se također daljnje širenje primjene GPS-a u bežičnoj komunikaciji, geografskim informacijskim sustavima (GIS), višenamjenskom digitalnom katastru, sustavima baziranim na Internet protokolu, kod LAN i WAN mreža, kod sustava za daljinska istraživanja, u gradiometriji, altimetriji, u kombinaciji s inercijalnim sustavima, CCD kamerama, odoimetrima (Bačić 1998, Bašić i Bačić 1999), drugim senzorima i daleko šire.

Sve te nove mogućnosti, a i one koje se još ne mogu sagledati, poticat će razvoj novih aplikacija za GPS te daljnje širenje brzo rastućeg tržišta za GPS opremu i servise širom svijeta.



Slika 6. Procjena i očekivanje porasta broja GPS korisnika – u milijunima \$ (URL 1).

Na slici 6 prikazana je realna procjena i očekivanje porasta broja GPS korisnika u različitim granama ljudskog života za razdoblje od 1996. do 2006. godine, izražena u milijunima \$.

U 21. stoljeću, informacija će se tražiti odmah i na licu mjesta, a pritom će biti ključna integracija GPS-a s pojedinim od ovih sustava, ili s više njih, a zašto ne jednog dana i sa svima zajedno.

Sve to vrijedit će i za Galileo sustav, međutim za to treba pričekati nekoliko godina, dok ovaj sustav ne postigne svoju punu funkcionalnost.

Na kraju se može zaključiti da se već u bliskoj budućnosti ljudski život neće moći zamisliti bez GPS-a i Galilea.

Literatura

Bačić, Ž. (1998): Satelitska geodezija III, interna skripta, Geodetski fakultet, Zagreb.

Bačić, Ž., Bašić, T. (1999): Satelitska geodezija II, interna skripta, Geodetski fakultet, Zagreb.

Bilajbegović, A. (2004): Vorlesungsunterlagen Satellitengeodäsie an University of Applied Sciences Dresden, Dresden.

Bilajbegović, A., Solarić, M., Bačić, Ž., Hećimović, Ž. (1989): Globalno pozicijsko određivanje – osnova i primjena, Geodetski list, 7-9, 231-254.

- Bilajbegović, A., Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. (1991): Osnovni geodetski radovi – suvremene metode – GPS, Tehnička knjiga, Zagreb.
- Bilajbegović, A., Solarić, M. (1991): Mogućnosti i stanje GPS-tehnologije te rezultati ispitivanja prijemnika ASHTECH na kalibracijskoj bazi Geodetskog fakulteta u Zagrebu, Geodetski list, 1-3, 25-33.
- Bilajbegović, A., Solarić, M., Bačić, Ž., Ambroš, F., Barković, Đ., Kuhar, M., Cigrovski-Detelić, B., Stepan, V., Stopar, B., Ivković, M., Džapo, M. (1992): Preliminarni rezultati GPS mreže "Zagorje '92" i ispitivanje kvalitete dijela postojeće triangulacijske mreže prvog reda, Geodetski list, 4, 413-426.
- Hećimović, Ž. (2001): Parametri definiranja performansi navigacijskih sustava, Geodetski list, 1, 33-48.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J. (2001): Global Positioning System – Theory and Practice, Springer-Verlag, New York.
- Kanajet, B. (1978): Uređaj za terestričku navigaciju, Nafta, 7-8, 355-357.
- Kanajet, B. (1992): Određivanje položaja na globusu – Global Positioning System (GPS), Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 4, 163-165.
- Shaw, M., Sandhoo, K., Turner, D. (2000): Modernization of the Global Positioning System, GPS World, 9, 36-44.
- Solarić, M., Bilajbegović, A., Capek, B., Podunavac, B. (1995): Analiza ovisnosti "vidljivosti" GPS satelita o geografskoj širini mjesta mjerenja, Geodetski list, 1, 5-13.
- Solarić, M. (1995): Određivanje položaja točaka na Zemlji pomoću satelita – principi GPS mjerenja, Mehanizacija šumarstva, 20(2), 85-94.
- Solarić, M. (1997): Globalni pozicijski sustav – način rada i primjena, Građevni godišnjak, 481-513.
- URL 1: National Geodetic Survey, <http://www.ngs.noaa.gov>, (19.02.2004.).
- URL 2: Center for Advanced Aviation System Development, <http://www.mitrecaasd.org/proj/satnav/gps.cfm>, (19.02.2004.).
- URL 3: Navtech – GPS, <http://www.navtechgps.com/>, (20.02.2004.).
- URL 4: The University of South Wales, <http://www.gmat.unsw.edu.au>, (20.02.2004.).
- URL 5: MSU Global Positioning System (GPS) Laboratory, <http://www.montana.edu/places/gps/>, (23.02.2004.).
- URL 6: Global Positioning System – Spectrum Issues, <http://ntiacsd.ntia.doc.gov/gps/>, (23.02.2004.).
- URL 7: United States Coast Guard – Navigation Center, <http://www.navcen.uscg.gov/gps/modernization/industryday.htm>, (27.02.2004.).
- URL 8: Interagency GPS Executive Board, <http://www.igeb.gov/>, (01.03.2004.).
- URL 9: Federal Aviation Administration – Satellite Navigation Product Teams, <http://gps.faa.gov>, (02.03.2004.).
- URL 10: GPSoft LLC, <http://www.gpssoftnav.com>, (02.03.2004.).
- URL 11: Office for Outer Space Affairs – United Nations Office at Vienna, <http://www.oosa.unvienna.org/SAP/gnss/>, (04.03.2004.).
- URL 12: Royal Observatory of Belgium, <http://www.astro.oma.be>, (04.03.2004.).
- URL 13: Chung Cheng Institute of Technology, http://www.ccit.edu.tw/e_www/index.html, (05.03.2004.).

- URL 14: Poly-Electronic, <http://www.poly-electronic.ch>, (08.03.2004.).
- URL 15: The Aerospace Corporation, <http://www.aero.org/publications/crosslink/>, (08.03.2004.).
- URL 16: National Telecommunications and Information Administration, <http://www.ntia.doc.gov>, (09.03.2004.).
- URL 17: GPS World – GPS III, Modernization Face Budget Cuts, <http://www.gpsworld.com/gpsworld/article/articleDetail.jsp?id=21892>, (09.03.2004.).
- URL 18: The Gadgets weblog GIZMODO, <http://www.gizmodo.com/archives/008432.php>, (15.03.2004.).
- URL 19: Scientific American, <http://www.sciam.com/article.cfm?articleID=00001004-9FF8-1F46-B0B980A841890-000>, (15.03.2004.).
- URL 20: ESA- Satellite Applications, http://www.esa.int/export/esaSA/GGGMX650NDC_navigation_0.html, (11.03.2004.).
- URL 21: EUROPA – Important legal notice, <http://europa.eu.int/geninfo/query/engine/search/query.pl>, (15.03.2004.).
- URL 22: U.S. AIR FORCE AND LOCKHEED MARTIN CELEBRATE, <http://www.missionsystems.lockheedmartin.com/announce/releases/ocs1.html>, (16.03.2004.).

Modernization of GPS (GNSS-2)

ABSTRACT. The development and the present concept of the global positioning system (GPS) are presented clearly. There is also a short description of the basic operation principle and of the main GPS characteristics given, as well as its present accuracy. The paper gives a clear overview of the development of GPS modernization program in the years to come. It also presents the modernization of signal GPS components where it should be pointed out that two new signals are being introduced that will be available for civil users. The modernization is presented as it has also been planned following individual phases, up to the year 2030. Other global navigation satellite systems (GNSS): Russian GLONASS and the European Galileo have also been discussed. Near future of GPS can be observed in the integration with Galileo, and further in the integration with other sensors as well that are used for collecting all kinds of data serving in the creation of information necessary for any aspect of human life. At the end there is also an assessment given, as well as the expectations that the number of users of GSP will rise in the future in various fields of human life, which says more than enough about how important and how broadly GPS is applied.

Keywords: modernization, GPS, global navigation satellite systems, GLONASS, Galileo, integration, sensors, information.

Prihvaćeno: 2005-02-09