

UDK 621.396.62.041:621.3-493:629.783:528-323(091)
Pregledni znanstveni članak

Povijesni pregled smanjivanja dimenzija GPS-prijamnika

Miljenko SOLARIĆ – Zagreb*

SAŽETAK. U članku je opisano kako su postupno smanjivane dimenzije GPS-prijamnika i kako su tvrtke Rakon iz Aucklanda u Novom Zelandu i Texas Instruments iz SAD-a izradile najmanje module GPS-prijamnika na svijetu, koji mogu stati na nokat malog djeteta (bebe). Osim toga, Topcon je izradio čip koji može obraditi podatke primljenih radiosignala sa satelita GPS, GLONASS i Galileo.

Ključne riječi: dimenzije, čip, GPS-prijamnik, Rakon, Texas Instruments, Topcon.

1. Uvod

Satelitski Globalni pozicijski sustav (skraćeno GPS) planiran je u SAD-u u 1970-ih godina, ali je zbog velikih financijskih izdataka i tehničkih teškoća kompletno ostvaren tek 1993. godine. Taj satelitski sustav postao je postupno sve točniji i s boljim tehnološkim rješenjima. Tako su i GPS-prijamnici postajali sve točniji i sve manjih dimenzija.

Na samom početku uvođenja GPS-a GPS-mjerenja bila su planirana da se izvode samo s pomoću određivanja pseudoudaljenosti do GPS-satelita (Solarić 1983).

Međutim, već na samom početku epohe GPS-a nametnula se interferometrijska metoda mjerenja s pomoću GPS-satelita svojom velikom kvalitetom, tj. s visokom točnošću određivanja koordinata položaja antene GPS-uređaja.

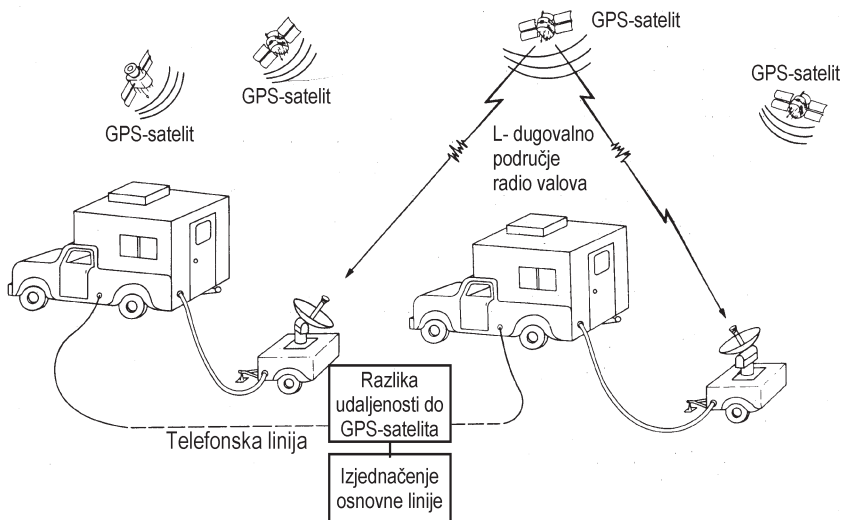
2. Povijesni pregled proizvedenih GPS-prijamnika s posebnim osvrtom na smanjivanje dimenzija

U ovom kratkom povijesnom pregledu izrađenih GPS-prijamnika posebno se naglašava smanjivanje njihovih dimenzija, počevši od najstarijih GPS-prijamnika.

*Dr. sc. Miljenko Solarić, umirovljeni profesor Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: miljenko.solaric@geof.hr.

Mnogobrojne velike američke tvrtke izradile su prve verzije GPS-prijamnika oko 1980. godine. Među njima su najznačajnije:

- *Magnavox* (Torrance, Kalifornija, SAD) bio je oko 20 godina uključen u vojni program izradbi prijamnika za satelitske navigacijske sustave. Na početku su to bili doplerovski uređaji za satelitsku navigaciju s pomoću satelitskog sustava Transit. Prvi njihov GPS-prijamnik koji su oni ponudili na tržištu bio je *Magnavox T-set GPS-Navigator*, s 5 kanala, a radio je na frekvenciji L1 moduliranoj sa C/A kôdom. Samo antena s pretpojačalom imala je masu oko 4,5 kg. Nakon toga bili su izrađeni GPS-prijamnici *MX 1000 GPS Navigator* i *MX4400*, kojemu je masa prijamnika s antenom iznosila 10 kg (Solarić 1983-CSTG) i (Wells 1987). Poznat je i njihov prijamnik *MX-1502*.
- *Canadian Marconi* (Kantana, Ontario, Kanada) bio je također poznati proizvođač doplerovskih prijamnika za satelitski navigacijski sustav Transit. Oni su na početku izradili GPS-prijamnik *CMA-782* (Solarić 1983-CSTG), a poslije i prijamnik *CMA-786* s dva kanala za frekvenciju L1 sa C/A kôdom, koji je imao masu 8 kg (Wells 1987).
- *Stanford Telecommunication Inc. (STI)* (Santa Clara, Kalifornija, SAD) izradio je 1980. godine GPS-prijamnik *STI-5010* za frekvencije L1 i L2 uz korištenje kodova C/A i P. Prijamnik je bio smješten u kutiju dimenzija 30 cm × 30 cm, ali tu treba dodati elektroničko računalo i uređaje za napajanje električnom strujom (Solarić 1983-CSTG). STI je zbog kvalitete prijamnika *STI-5010* dobio ugovor za izradbu GPS-prijamnika *MSR (Monitor Station Receiver)* na monitornim stanicama kontrolnog segmenta. Ti su GPS-prijamnici imali i mogućnost korištenja doplerova efekta. Poslije je STI izradio i GPS-prijamnik *STI-502* (Wells 1987).
- *Jet Propulsion Laboratory* (SAD) proizveo je 1980. godine instrument *SERIES-GPS (Satellite Emission Range Inferred Earth Surveying)*, koji je bio velikih dimenzija, pa je zato bio smješten u autokamp kućicama, a na određivanim točkama postavljene su parabolične antene (promjera oko 1 m) u prikolicama, kao što se vidi na slici 1 (Solarić 1983-CSTG). Taj uređaj primjenjivao je isti princip koji se koristi i kod vrlo dugih bazisnih interferometara (Very Long Basis Interferometry – VLBI). Signali s kvazara kojima se koriste vrlo dugi bazisni interferometri vrlo su slabi, pa zato moraju imati vrlo velike parabolične antene, promjera čak oko 20 m. Međutim, signali s GPS-satelita znatno su jači, pa su zato parabolične antene u uređaju *Series* mogle biti mnogo manjih dimenzija, samo oko 1 m. Međutim, i to nije bilo pogodno za praktičnu uporabu na terenu, pa su se tražila nova, bolja rješenja.
- *ISTAC, Inc.* (Pasadena, Kalifornija, SAD) preuzeo je tehnologiju začetu u Jet Propulsion Laboratory i razvijenu za konfiguraciju "beskodnih" pseudoudaljenosti u 1980. godini (MacDoran et. al. 1985). Prva komercijalna verzija uređaja *Model 1991 Land Surveyor* nazvana je kao *GEO/HYDRO* iz Rockvillea (Maryland), a bila je uvedena u rad 1985. godine. Nakon toga izrađen je za uporabu u relativnom pozicioniranju GPS-prijamnik *ISTATIC-Series GPS-positioner Model 2002*.



Slika 1. GPS-uređaji SERIES (*Satellite Emission Range Inferred Earth Surveying*) smješteni u autokamp kućicama i njihove parabolične antene (Solarić 1983-CSTG).

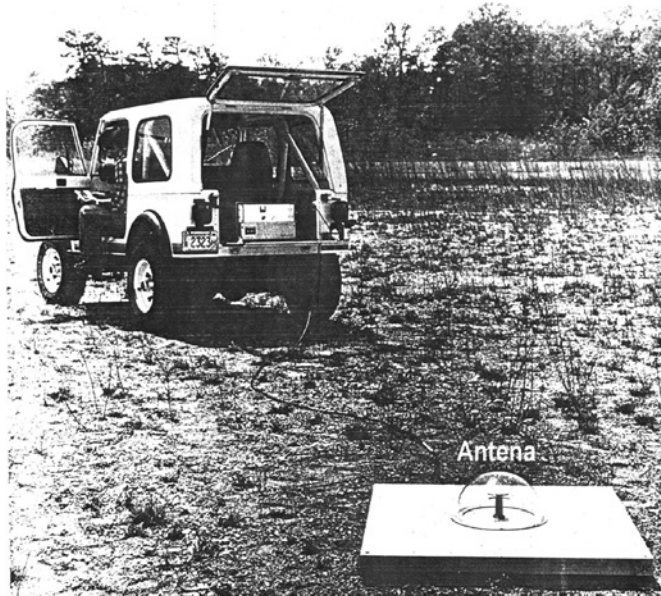
Model 2002 izrađen je u 3 dijela:

- 1) rubidijev (atomski) sat s unutarnjim napajanjem mase 18 kg,
- 2) antena mase 7 kg i
- 3) analizator, zapisivač i elektroničko računalo dimenzija 46 cm × 33 cm × 13 cm i mase 7 kg.

Dakle, ukupno mase 32 kg.

Pritom su bile potrebne vanjske efemeride, a postizala se točnost od 10 cm u 15 minuta opažanja (Wells 1987).

- *Litton Aero Service* (Houston, Texas, SAD) proizveo je 1982. godine prethodnu verziju GPS-prijamnika *Macrometer* (Solarić 1983-CSTG). Nakon 1983. godine izradili su *Macrometer V-1000*, koji je široko primjenjivan za preciznu izmjeru, a u njem je prvi put primijenjena tehnika kvadriranja (Bilajbegović 1991). Taj uređaj imao je dimenzije 58 cm × 56 cm × 64 cm, masu 73 kg, te antenu mase 18 kg, a radio je samo na frekvenciji L1 sa 6 kanala (Wells 1987). Zbog velikih dimenzija i velike mase elektronička se jedinica morala prevoziti džipovima. Antena mu je bila postavljena iznad određivane točke, kojoj su koordinate položaja određivane ili su bile poznate (slika 2). Ta je tvrtka izradila i GPS-prijamnik *Macrometer II* mase oko 27 kg (bez antene) (Wells 1987).
- *Texas Instruments* iz Lewisvillea (Texas) SAD-a proizveo je 1982. godine GPS-prijamnik *TI 4100*. Moglo bi se reći da je on tada bio relativno malih dimenzija 37 cm × 45 cm × 21 cm, a imao je masu prijamnika 24,5 kg, antene 2 kg i dodatnog zapisivača 7 kg, dimenzija 21 cm × 36 cm × 30 cm. Treba naglasiti da je on prvi koristio kodove C/A i P na nosačima frekvencije L1 i L2 (slika 3, a za pogon



Slika 2. GPS-uređaj Macrometar smješten u džip i antena na određivanoj točki (Solarić 1983-CSTG).

su mu trebala dva automobilska akumulatora od 12 V za napajanje električnom strujom. Prema tome imao je donekle ograničenu uporabu na terenu. U.S. National Geodetic Survey sudjelovao je u razvoju GPS-prijamnika TI 4100 i njihovi geodeti C. Goad i B. Remondi izradili su softver za obradbu noseće faze podataka interferometrijskim načinom upotrijebljenim u Massachusetts Institute of Technology.



Slika 3. GPS-prijamnik Texas Instruments TI 4100 s kontrolnom jedinicom i antenom (Solarić 1983-CSTG).

- *Trimble navigation* (Sunnyvale, Kalifornija, SAD) također je vodeći svjetski proizvođač GPS-prijamnika, koji je 1987. godine proizveo GPS-prijamnik *4000SL* dimenzija $48\text{ cm} \times 18,4\text{ cm} \times 50,16\text{ cm}$, mase $14,5\text{ kg}$ i antenu mase $3,17\text{ kg}$ (slika 4), te je mogao kontinuirano pratiti 5 GPS-satelita za statičku i kinematičku izmjeru.



Slika 4. GPS-prijamnik *Trimble navigation 4000SL* (na slici bez antene).

- *Wild Leitz* (Heerbrugg, Švicarska) izradio je u suradnji s *Magnavoxom* iz SAD-a GPS-prijamnik *Wild-Magnavox WM-101* (slika 5) dimenzija $51\text{ cm} \times 39\text{ cm} \times 17\text{ cm}$ i mase $14,4\text{ kg}$, a antenu mase $1,5\text{ kg}$ s mogućnosti kontinuiranog praćenja 9 GPS-satelita na frekvenciji L1 s C/A kôdom. Skupljene podatke mjerenja zapisivao je na kazete s magnetskim vrpcama.



Slika 5. GPS-prijamnik *Wild-Magnavox WM 101*, a u pozadini antena na stativu.

- *Motorola, Institute of Navigation* (Colorado Springs, Colorado SAD) izrađivao je doplerovske uređaje za navigaciju s pomoću satelitskog sustava Transit. Oni su također izradili i GPS-prijamnik *Motorola Eagle Mini Ranger* za statičku i kinematičku primjenu, koji se zbog svoje točnosti mogao uporabiti u statičkoj primjeni u geodetskoj izmjeri, kao i u kinematičkoj izmjeri u zraku i na moru. Imao je tada relativno male dimenzije $19,6 \text{ cm} \times 5,8 \text{ cm} \times 31,5 \text{ cm}$, tj. dimenzije debljeg fascikla za spise (slika 6), a koristio je 4 kanala na frekvenciji L1 s modulacijom C/A koda.

Takav GPS-prijamnik kupio je Državni hidrografski institut (bivši Hidrografski institut JRM) u Splitu 1988. godine. To je bio prvi GPS-prijamnik u Hrvatskoj za hidrografsku izmjeru.



Slika 6. GPS-prijamnik *Motorola Eagle – Mini Ranger*.

Početak 1990-ih godina smanjene su dimenzije geodetskih GPS-prijamnika kao na primjer *Ashtecha*, *Trimbla* i nekih drugih proizvođača, koje su iznosile tek oko $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ i manje. Osim toga njihovi su GPS-prijamnici imali i relativno malu masu (slika 7). Geodetski fakultet kupio je 1990. godine tri dvofrekvencijska geodetska GPS-prijamnika *Ashtech LD-XII* (slika 7) sa C/A kodom i 12 kanala. To su bili prvi geodetski GPS-prijamnici u Hrvatskoj i tadašnjoj bivšoj državi. Sredinom 1990-ih godina veći broj geodetskih tvrtki i Geodetski fakultet u Zagrebu kupili su *Trimbl*ove GPS-prijamnike *4000 SSi* (slika 8).

Ekonomičnost masovne geodetske izmjere postignuta je izradbom GPS-prijamnika koji mogu i radijskim putem primati korekcije s osnovne GPS-stanice. U tu je svrhu na osnovnoj stanici, postavljenoj na točki poznatih koordinata, smješten nepomični GPS-prijamnik koji neprekidno prima signale s GPS-satelita. Osim toga na osnov-



Slika 7. GPS-prijamnik Ashtech LD 12 (na slici bez antene).



Slika 8. GPS-prijamnik Trimble 4000SSi (na slici bez antene).

noj GPS-stanici pokraj GPS-prijamnika nalazi se i radiomodem s antenom za odašiljanje radioporučaka, koji na temelju primljenih podataka s GPS-satelita na osnovnoj GPS-stanici odašilje korekcije drugim pokretnim GPS-prijamnicima (roverima). Trimble je među prvima izradio takve GPS-prijamnike 1993. godine, koji su mogli raditi po podacima tvrtke na udaljenosti do 10 km od osnovne GPS-stanice. (Prema ispitivanju prof. dr. A. Bilajbegovića realni doseg bio bi 3 do 5 km, a u izgrađenom dijelu do 1 km). Nakon toga Ashtech, Leica, Sokkia (slika 9), Topcon i ostale tvrtke počele su proizvoditi takve tipove GPS-prijamnika. Topcon je prije toga kupio poznatu tvrtku Roge (SAD), koja je proizvodila GPS-prijamnike i za ugradnju u satelite.



Slika 9. Sokkia-in pokretni GPS-prijamnik (rover) Radian, dimenzija 233 mm × 112 mm × 57 mm i mase 1,22 kg.

Krajem 1990-tih godina pojavili su se prijamnici koji su mogli primati radiosignale odaslane s GPS-satelita, ali i GLONAS-satelita. U tome je prednjačila tvrtku Ashtech, a poslije i Topcon. Takve su prijamnike oni nazvali GPS+. Pritom se njihove dimenzije nisu povećale unatoč znatnom povećanju mogućnosti. Tako je Topcon proizveo RTK (Real-Time Kinematic) GPS+ prijamnik *HiPer Pro* (slika 10) dimenzija 185,5 mm × 113 mm × 173 mm i mase 1,65 kg, koji može primati radiosignale na čak 20 univerzalnih kanala (s GPS-satelita i GLONASS-satelita).

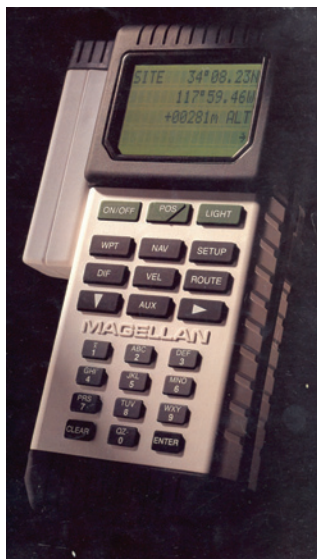


Slika 10. Topconov RTK GPS+ prijamnik *HiPer Pro* za primanje signala s GPS-satelita i GLONAS-satelita.

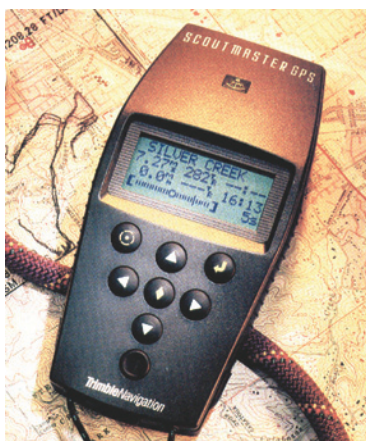
Na kraju 1980-tih godina, odnosno početkom 1990-tih godina proizvedeni su i prvi ručni GPS-prijamnici, na primjer Magellanov *NAV 1000 PRO* (dimenzija 21,5 cm × 9,0 cm × 5,0 cm i mase 0,85 kg) s jednim kanalom (slika 11), a potom su proizvedeni i ručno-džepni GPS-prijamnici još manjih dimenzija. Taj posuđeni ručni GPS-prijamnik koristili smo u Hrvatskoj u veljači 1994. godine za približno lociranje geofizičkih bušotina iznad osi planiranoga željezničkoga tunela Čičarija.

Motorolin (SAD) ručni GPS-prijamnik *Traxar* imao je dimenzije 19 cm × 9,2 cm × 5,2 cm, masu 0,480 kg i šest kanala na frekvenciji L1 sa C/A kôdom.

Trimble navigation izradio je više tipova ručno-džepnih GPS-prijamnika. Spomenimo *Scout Master* (slika 12) dimenzija 8,4 cm × 17,3 cm × 3,3 cm, mase 0,397 kg s tri kanala i C/A kôdom, koji je mogao istodobno primati signale do 8 GPS-satelita. Ovdje se može spomenuti i male šestokanalne Trimbleove GPS-prijamnike s P(Y) kôdom, koje mogu koristiti američki vojnici, a mogu se upotrebljavati i u vodi do dubine od 40 m (Galešić 1994).



Slika 11. *Magellanov ručni GPS-prijamnik NAV 1000 PRO.*



Slika 12. *Trimbleov ručno-džepni GPS-prijamnik Scout Master s tri kanala i C/A kôdom, koji je mogao pratiti do 8*

Garmin (SAD) proizveo je veći broj manjih tipova GPS-prijamnika: *GPS-45, -50, -55, -65, -75, -95, -100, -150* itd. Ta je tvrtka proizvela također više tipova GPS-prijamnika za potrebe navigacije na moru i za ostale namjene. U svojem katalogu za 2003. godinu ponudili su tržištu *NavTalk GSM/GSP*, kombinaciju GSM mobilnog telefona i GPS-prijamnika džepnoga formata dimenzija $133 \text{ mm} \times 51 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$ i mase $0,170 \text{ kg}$ (slika 13).



Slika 13. *Garminov džepni GSM mobilni telefon i GPS-prijamnik NavTalk GSM/GSP.*

Već su prije 2000. godine izrađeni GPS-prijamnici koji služe i za telefonsku komunikaciju preko satelitskoga komunikacijskog sustava ORBKOM, tj. satelita koji kruže oko Zemlje na nižim visinama, oko 800 km iznad površine Zemlje. U tom sustavu kruži u 6 ravnina 28 ORBCOMM-satelita pod nagibom orbite oko 45° , a samo neki pod 70° , odnosno 80° (URL 1). Tako je Magellan izradio svoj ručni GPS-prijamnik *GSM 100*, koji služi i za telekomunikaciju preko satelitskoga telekomunikacijskog sustava ORBCOMM (slika 14).



Slika 14. *Magellanov ručni GPS-prijamnik GSC100, koji služi i za telefonsku komunikaciju preko satelitskog sustava ORBCOMM.*

Krajem XX. stoljeća proizvedeni su već GPS-prijamnici veličine ručnog sata. Tako je tvrtka Casio 1999. godine proizvela GPS-prijamnik (slika 15) u obliku ručnog sata. On je pri tom imao 8 kanala, tj. mogao je istodobno primati signale s osam GPS-satelita.



Slika 15. GPS-prijamnik veličine ručnog sata, koji je izradila tvrtka Casio 1999. godine, a imao je 8 kanala, tj. mogao je primati istodobno radiosignale s osam GPS-satelita.

Danas je nemoguće pobrojiti sve tvrtke koje izrađuju GPS-prijamnike, a posebice ne njihove mnogobrojne tipove. U američkom časopisu “Professional Surveyor” dan je pregled većine GPS-prijamnika koji su već prije 10 godina bili na američkom tržištu. Iz tablice 1 vidi se da je tada u Americi bilo 76 različitih tipova GPS-prijamnika.

Tablica 1. *Lista postojećih GPS-prijamnika u SAD-u i Kanadi u 1996. godini (Preuzeto iz “Professional Surveyor”, July/August 1996, str. 33-40, gdje su dani i tehnički podaci).*

Naziv tvrtke	Broj tipova GPS-prijamnika
Ashtech (SAD)	16
Corvallis Microtechnology Inc. (SAD)	6
CSI (Kanada)	5
Garmin International (SAD)	1
GeoResearch (SAD)	1
Geotronics (SAD)	5
GLB Radio Data Systems (SAD)	1
Leica, Inc. (Švicarska – SAD)	7
Magellan Systems Corporation (SAD)	4
Navtech Systems (SAD)	1
NovAtel Communications Ltd. (Kanada)	2
OMNISTAR, Inc. (SAD)	2
Pacific Creast Corporation (SAD)	1
SOKKIA (SAD-Japan)	8
Topcon America Corporation (SAD)	4
Trimble Navigation (SAD)	12
UKUPNO.....	76

Na žalost u tu tablicu nisu još uneseni svi tipovi GPS-prijamnika, npr. Garmin je sigurno u 1996. godini imao znatno veći broj tipova GPS-prijamnika, a trebalo je svakako spomenuti i poznatu tvrtku Motorolu.

Od europskih tvrtki koje su na početku GPS-ere dale doprinos izradi GPS-prijamnika treba se spomenuti:

- iz Francuske tvrtku *Sercel-France* s GPS-prijamnikom *TR5S*,
- iz Njemačke tvrtku *Standard Elektrik Lorenz AG (SEL)* s GPS-prijamnikom *SEL GPS Receiver* (Wells 1987).

Poslije su iz Europe svoj doprinos izradbi GPS-prijamnika dale tvrtke:

- *Leica* (Heerbrugg, Švicarska), koja je kupila bivšu poznatu tvrtku Wild do sada je već izradila veliki broj kvalitetnih geodetskih GPS-prijamnika,
- *Zeiss* (Oberkochen, Njemačka) proizveo je GPS-prijamnik *GePoS RS 12*, dimenzija 21 mm × 245 mm × 135 mm i mase 2,8 kg,
- itd.

Danas se osjeća tendencija globalizacije, npr. ujedinjeni su Sercel + Ashtech u Talesu, Leica ugrađuje čipove NovAtecha itd.

Prema podacima na Internetu, najviše su u tendencijama smanjenja dimenzija GPS-prijamnika napredovale tvrtke:

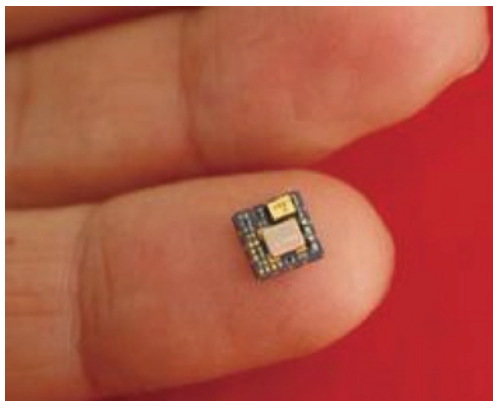
- a) Rakon iz Aucklanda u Novom Zelandu, koja je izradila modul GPS-prijamnika, koji stane na nokat malog djeteta (bebe)
- b) Texas Instruments iz SAD-a, koji je također izradio modul GPS-prijamnika veličine od samo 50 mm², tj. dimenzija 7 mm × 7 mm
- c) Topcon iz SAD-a proizveo je čip Paradigm-G3 za prijamnike koji će moći istodobno primati radiosignale sa satelita GPS, GLONASS i Giove (kratica od *Galileo In-Orbit Validation Element*, a na talijanskom znači *Jupiter*). Naime, tako su nazvani sateliti iz navigacijskog sustava Galileo. Za Topconom nisu zaostale ni Leica i Trimble (sa 48 kanala).

3. Moduli GPS-prijamnika s najmanjim dimenzijama na svijetu

a) Rakonov modul GPS-prijamnika

Prema informacijama objavljenima 15. siječnja 2006. godine na Internetu (URL 2) i (URL 3) novozelandska tvrtka Rakon razvila je svoj modul GPS-prijamnika, jedan od najmanjih na svijetu. On je tako malen da stane na nokat malog djeteta (bebe), kako se to vidi na slici 16.

Inače tvrtka Rakon proizvodi kristale i oscilatore vrlo visoke kvalitete, pa više od polovice svih GPS-prijamnika na svijetu ima ugrađene u sebi Rakonove kristale ili oscilatore. Naime, tvrtka Rakon prva je razvila izradbu temperaturno kontroliranih kristalnih oscilatora, koji su bili malih dimenzija, jeftini i dovoljno precizni pod

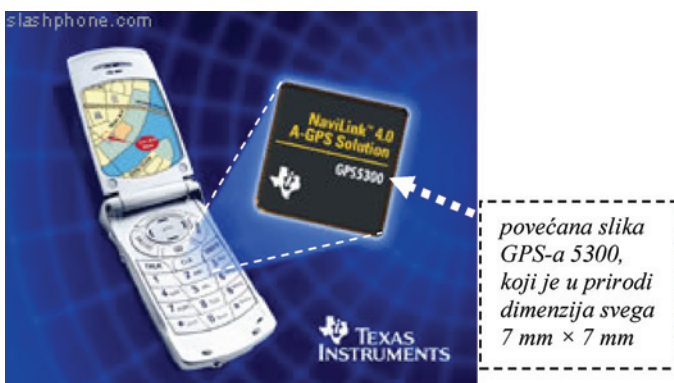


Slika 16. Modul GPS-prijamnika tvrtke Rakon iz Aucklanda u Novom Zelandu.

dinamičkim temperaturnim promjenama. Upravo pod takvim uvjetima na terenu rade GPS-prijamnici.

b) Modul GPS-prijamnika Texas Instrumentsa

Tvrtka Texas Instruments iz SAD-a izradila je svoj prvi mikrokontroler *A-GPS* (Assisted Global Positioning System) koristeći nanotehnološki proces od 90 nm – (nanometara – 1 nanometar je 10^{-9} dio metra) (slika 17). Namijenjen je posebice za mobitele, pa će vjerojatno uskoro postati obavezan pri razvoju 3G mobilne telefonije budući da je danas već postao običaj da se u mobitele ugrađuju digitalne kamere. *A-GPS* rješenje smješteno je na površinu od samo 50 mm^2 , a to znači da je dimenzija $7 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$. Za njega se može naglasiti da ima vrlo nisku razinu potrošnje električne energije, što je posebice značajno pri praktičnoj uporabi mobitela. On će biti pušten u komercijalnu proizvodnju u drugom kvartalu ove godine (URL 5).



Slika 17. Čip GPS5300 NaviLink™ 4.0 (*A-GPS* rješenje) Texas Instrumentsa smješten u mobitel (URL 5).

To znači da će se mobiliteli u budućnosti moći koristiti i za određivanje položaja njegova korisnika s točnošću unutar nekoliko metara.

Položaj mobilitera u prostoru može se odrediti i s pomoću tzv. *položajno vezane usluge* (engleski *Location Based Service – LBS*) s točnosti oko 50 do 100 m (Rapačić 2004). Takav način određivanja položaja mobilitera od interesa je posebice za ministarstvo unutarnjih poslova, jer se može odrediti položaj mobilitera i bez znanja njegova vlasnika.

To smanjenje dimenzija modula GPS-prijamnika na veličinu nokta malog djeteta više je nego fantastično s obzirom na to što sve treba učiniti i izračunati tako mali modul.

c) Topconov čip za G3-prijamnike

Topcon je vodeća tvrtka za izradbu prijamnika koji primaju signale s GPS-satelita, ali i GLONASS-satelita. Međutim, oni su sada objavili da su razvili 3G-tehnologiju, kojom su osigurali praćenje svih triju satelitskih navigacijskih sustava: GPS (američkog), GLONASS (ruskog) i Galileo (europskog). U takav prijamnik koji su označili kao GPS + ugradit će čip *Paradigm-G3* (slika 18), a imat će mogućnost primanja signala sa:

- GPS-satelita na nosačima frekvencije L1, L2 i L5 s kodovima C/A, L1P, L2P, L2C,
- GLONASS-satelita na frekvencijama L1 i L2 s kodovima L1C/A, L2C/A, L1P i L2P i
- Giove-satelita (Galileo-sustav) na frekvencijama E2-L2-E1, E5, E6. (Prvi satelit sustava Galileo Giove-A izbačen je u orbitu 28.12.2005, a dobio je naziv od *Galileo In Orbit Validation Element*).



Slika 18. Topconov čip *Paradigm-G3* (URL 6).

Novi čip bit će osnova za novu generaciju Topconovih prijamnika GPS+, koji primaju signale sa satelita svih triju satelitskih navigacijskih sustava, a imat će 72 univerzalna kanala za praćenje, pa će tako biti:

- povećana točnost položajnih određivanja,
- smanjene dimenzije za 75% i
- niska potrošnja električne energije (URL 6).

Na upit tvrtki Topcon dobilo se odgovor da njihov prijamnik sa 72 kanala može primati signale s 12 GPS-satelita na L1 i L2, 12 GLONASS-satelita na L1 i L2, kao i 12 Galileovih satelita na L1 i L2.

Za Topconom ne zaostaje ni tvrtka Trimble, koja je u veljači 2006. godine izradila prijamnik R8 GNSS-sustava sa 48 kanala. Ti su prijamnici nazvani GNSS-prijamnici (prema *Global Navigation Satellite Systems*), a može primati signale sa satelita GPS-a i GLONASS-a). Također i tvrtka Leica izradila je krajem ožujka 2006. godine GNSS-prijamnik *GX1230 GG* sa 72 kanala.

Ovdje treba naglasiti da GNSS-prijamnici na 72 kanala ne primaju signale sa 72 satelita već približno s 25 satelita. (Pojašnjenje o tom problemu može se naći u knjizi "*Grundlage der Sensorik*" od autora Schlemmera, na str. 510, sl. 5.98, gdje se može vidjeti funkcija kanala kod GPS-uređaja.)

d) Tendencije smanjenja dimenzija čipova

Danas se elektronički čipovi izrađuju najsvremenijim tehnološkim procesom, tj. nanotehnologijom. Ta se tehnologija svakim danom sve više poboljšava i usavršava, pa se zato izrađuju čipovi s upotrebom procesne tehnologije sa sve manje nanometara. Za razliku od tvrtke Texas Instruments, koja je proizvela čip s pomoću 90-nanometarskoga tehnološkog procesa, Intel je sada proizveo memorijski čip pomoću 45-nanometarskoga tehnološkog procesa. Znači s dvostruko manjim, finijim jedinicama. To je Intelova nadolazeća generacija serijske proizvodnje poluvodičkih sklopova.

Intelov 45-nanometarski tehnološki proces omogućit će proizvodnju čipova s više od pet puta manjom potrošnjom električne energije od današnjih, a sadržavat će na disku promjera 300 mm više od milijarde tranzistora (URL 7) i (Vjesnik 2006b).

Dakle, postoje tehničke mogućnosti da se u budućnosti s pomoću nanotehnoloških procesa izrade čipovi za GPS-prijamnike još manjih dimenzija, i to s novim, sve boljim svojstvima, ali i mogućnostima.

4. Koje sve operacije treba učiniti GPS-prijamnik

Naime, pristigle elektromagnetske valove primljene na anteni GPS-uređaja, koji su odaslani s GPS-satelita, modul GPS-uređaja mora sveobuhvatno obraditi. Pritom modul u GPS-uređaju ima zadaću:

- da od svih primljenih elektromagnetskih valova izabere samo one koji dolaze s određenih GPS-satelita,
- kako su svi primljeni GPS-signali jednake frekvencije, ali kodirani s pomoću PRN kôda (Pseudo Random Coda), uređaj mora prepoznati s kojega GPS-satelita dolaze signali,
- primljene signale, odaslane s GPS-satelita, uređaj mora dekodirati i tako odrediti parametre gibanja GPS-satelita i njihove korekturne članove,
- nakon toga mora s pomoću njih odrediti koordinate položaja GPS-satelita u orbitalnom koordinatnom sustavu i potom u konvencijalnom terestričkom sustavu (Solarić 2000 i Bauer 1997),
- odrediti vrijeme primanja radiosignala odaslanih s GPS-satelita.

Da bi to sve učinio, GPS-modul mora:

- izračunati *vremensku razliku* između vremena opažanja i referentnog vremena u kojem su dani parametri gibanja GPS-satelita,
- odrediti *srednju kutnu brzinu gibanja satelita* (srednje gibanje) u trenutku opažanja iz velike poluosi orbite satelita i popravke za srednju kutnu brzinu,
- izračunati *srednju anomaliju* u trenutku opažanja iz srednje anomalije za referentno vrijeme u kojem su dani parametri gibanja satelita i produkta srednje kutne brzine i vremenske razlike,
- odrediti *ekscentričnu anomaliju satelita* u trenutku opažanja iz srednje anomalije s pomoću iteracije iz Keplerove jednadžbe, jer je to transcendentna jednadžba,
- izračunati *istinitu anomaliju satelita* u trenutku opažanja iz ekscentrične anomalije i numeričkog ekscentriciteta orbite satelita,
- odrediti *argument širine satelita* u trenutku opažanja iz istinite anomalije, argumenta perigeja i popravaka za argument širine,
- izračunati *duljinu radijus-vektora položaja satelita* u trenutku opažanja iz velike poluosi orbite satelita, numeričkog ekscentriciteta, ekscentrične anomalije i članova popravaka za duljinu radijus-vektora,
- odrediti *pravokutne koordinate položaja satelita u orbitalnom koordinatnom sustavu (koordinatnom sustavu čvorova)* iz duljine radijus-vektora položaja orbite satelita i njezina argumenta širine,
- izračunati *duljinu uzlaznog čvora* orbite satelita u trenutku opažanja u terestričkom koordinatnom sustavu iz rektascenzije orbite satelita, linearne promjene rektascenzije satelita i brzine rotacije Zemlje,
- odrediti *nagib orbite satelita* u trenutku opažanja iz nagiba orbite danog u poruci, linearne promjene nagiba orbite i popravaka za nagib orbite,
- *transformirati koordinate* položaja satelita iz orbitalnog koordinatnog sustava (sustava čvorova) u konvencionalni terestrički sustav s pomoću koordinata danih u sustavu linije čvorova, duljine uzlaznog čvora i nagiba orbite (Solarić 2000 i Bauer 1997),
- izračunati udaljenost GPS-satelita od GPS-prijamnika za što je potrebno vrlo točno vrijeme primanja signala s GPS-satelita na anteni GPS-prijamnika i vrijeme odašiljanja signala sa satelita,
- lučnim presjekom naprijed s poznatih položaja GPS-satelita izračunati pravokutne koordinate točke antene GPS-prijamnika u konvencionalnom koordinatnom sustavu Zemlje iz izračunanih pseudoudaljenosti GPS-satelita (osim toga izračunat će i korekciju sata u GPS-prijamniku i izjednačiti sva mjerenja ako su registrirani signali od najmanje 5 ili više GPS-satelita),
- ako se žele izraziti koordinate položaja GPS-prijamnika (antene) s pomoću kutova geografske širine i duljine (kao što se to obično izražava u manjim GPS-prijamnicima), prethodno izračunane pravokutne koordinate treba pretvoriti u kutne veličine φ , λ i elipsoidnu visinu,
- poslati na ekran rezultate pozicijskih određivanja.

Nije li to fantastično da tako mali moduli GPS-prijamnika od tvrtke Rakona, odnosno Texas Instrumentsa izvode tako velik broj operacija i da to sve stane u module, velike tek poput nokta malog djeteta? Uostalom, u tom ne zaostaje ni Topconov čip *Paradigm G3*, koji istodobno izvodi te radnje na 72 kanala za čak 36 satelita od svih triju satelitskih navigacijskih sustava. Pritom se treba spomenuti da su prvi GPS-prijamnici bili tako velikih dimenzija da je za njihov transport trebala autokamp kućica, odnosno džip.

5. Zaključak

U Zagrebu je za vrijeme održavanja jesenskog velesajma 1976. godine održan seminar o korištenju umjetnih Zemljinih satelita (Bazjanac 1977). Predavanja su držali najveći američki i neki domaći stručnjaci. Tom je prigodom jedan od američkih eksperata rekao da će se u budućnosti do 2000. godine povećati točnost položajnih određivanja točaka na Zemlji i da će dimenzije tih uređaja biti tako male da će se na prijamniku veličine ručnog sata moći očitati koordinate točke na kojoj se nalazi čovjek. Pritom će se znatno smanjiti i dimenzije antena, koje će biti samo malo istaknute iz "ručnog sata".

Svi koji su znali da su u to doba dimenzije doplerovskih uređaja za određivanje položaja točaka doplerovskim navigacijskim sustavom s pomoću satelitskog sustava Transit bile oko $1 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$, a i veće, nisu mogli vjerovati u te proročanske riječi američkog stručnjaka. Osim toga i dimenzije antene tih doplerovskih uređaja bile su oko 1,5 m. Tada je Globalni pozicijski sustav (GPS) bio tek samo čuvan u tajnim projektima.

Te proročanske riječi američkog stručnjaka, što se tiče dimenzija uređaja za određivanje položaja točaka na Zemlji, ostvarile su se, a sada se ide još i dalje pa će se najmanji moduli GPS-prijamnika na svijetu ugrađivati i u mobitele. Na taj će način biti osigurana dobra telefonska komunikacija, ali će se i točno znati gdje se čovjek nalazi u bilo kojem trenutku gdje je dostupan radiosignal s GPS-satelita.

Osim toga, taj je američki stručnjak tada rekao da će se u budućnosti uz pomoć umjetnih Zemljinih satelita znati i gdje se nalazi pismo koje je poslano poštom. Naime, da bi se to ostvarilo prema njegovim riječima u budućnosti će se umjesto klasičnih poštanskih maraka koristiti posebne naljepnice koje bi to omogućavale. To bi se moglo i ostvariti nakon izradbe modula GPS-prijamnika minijturnih dimenzija što su ih izradili Rakon, Texas Instruments i Topcon. Međutim, za ostvarenje te ideje o marki na pismu trebalo bi na neki način osigurati i pristup radiosignala s GPS-satelita u zatvorenom prostoru, ali i osigurati odašiljanje radiosignala o položaju pisma do nekog središta. Zbog toga razloga te druge proročanske riječi američkog stručnjaka nisu se mogle ostvariti do danas, a da li će se i kada u potpunosti ostvariti, teško je reći.

Možda će se to ipak moći ostvariti kombinacijom satelitske tehnologije i mobilnih telekomunikacija. Međutim, treba spomenuti da već sada neki GPS-prijamnici posjeduju mogućnost primanja GPS-signala na mjestima gdje nije čist horizont, a što postižu pomoću korelatora, ali sa smanjenom točnošću. Također i planirani satelitski navigacijski sustav Galileo ima u planu i takozvani dugi kod, koji bi se mogao primati i u zatvorenim prostorima, ali naravno također s manjom točnošću.

Za ostvarenje ideje o novoj vrsti poštanske marke trebalo bi riješiti i pitanje napajanja električnom energijom. Kako bi riješila taj problem japanska tvrtka NEC razvila je lagane, savitljive baterije koje su tanje od milimetra i mogu se napuniti za pola minute. Ta baterija je nazvana organska radikalna baterija (ORB – Organic Radical Battery), a izrađena je od plastike u želatinoznom stanju. Taj gel omogućava bateriji ekstremnu savitljivost s debljinom od samo 300 mikrometara (0,3 mm). ORB-baterije mogu se ugraditi u uređaje kao što su pametne kartice, odjeća s ugrađenim računalom ili inteligentni papir (Vjesnik 2006a). Tvrtka Hitachi (Japan) također je izradila čip koji može biti ugrađen u papir kako bi pratio poštanske pošiljke ili se može koristiti za izradbu dokumenata za identifikaciju. Taj čip nazvali su IC (Integrated Circuits) a sićušan je poput čestice prašine, s dimenzijama 0,15 mm × 0,15 mm i tanak samo 7,5 mikrometara. Energiju može primiti preko mikrovalova koristeći vanjsku antenu. Čip bi se također mogao koristiti za omatanje poštanskih pošiljki, tako da bi one mogle biti praćene do krajnjeg odredišta (Vjesnik 2006c). Sigurno je da su stvorene velike predispozicije za ostvarenje nove ideje o praćenju pismonosnih pošiljaka. Naime, kada je riječ o tehnici nikad se ne može sa sigurnošću reći da je nešto neostvarivo, jer se već toliko puta dogodilo da je u tehnici ostvareno ono što se nekad smatralo apsolutno nemogućim. Uostalom, to dokazuje i primjer smanjivanja GPS-prijamnika, jer nitko, osim pojedinih velikih eksperata – vizionara – iz 1970-ih godina, nije mogao očekivati da će se moći toliko smanjiti dimenzije GPS-prijamnika.

Zahvala. Najsrdačnije zahvaljujem prof. dr. Asimu Bilajbegoviću, kao prvo imenovanom recenzentu, što mi je pomogao svojim korisnim primjedbama i savjetima. Također zahvaljujem i prof. dr. Bošku Pribičeviću na njegovim korisnim savjetima u cilju poboljšanja teksta članka.

Literatura

- Bauer, M. (1997): Vermessung und Ortung mit Satelliten, 4. izdanje, Wichmann, Heidelberg.
- Bazjanac, D. (1977): Seminar; sateliti – pomoć iz svemira, Zagreb, 13. – 17. 09. 1976. godine, Sveučilišna naklada Liber, Zagreb.
- Bilajbegović, A. (1991): Osnovni geodetski radovi – suvremene metode GPS, Tehnička knjiga, Zagreb.
- Galešić, D., Parizoski, M. (1994): GPS – diferencijalna navigacija, Hrvatski vojnik, str. 42 – 44.
- Hoffman-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J. (1994): GPS Theory and Practice, (treće izdanje) Springer-Verlag Wien, New York.
- MacDoran, P. R., Miller, R. B., Buennagel, L. A., Whitcomb, J. H. (1985): Codeless systems for positioning with NAVSTAR-GPS, Proceedings of the First International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, Rockville, MD, April, Vol. I, pp. 181 – 190.
- Professional (1996): Professional Surveyor, July/August, str. 33 – 40.
- Rapaić, M. (2004): Položajno vezane usluge, Geodetski list, br. 3, str. 219 – 234.

- Solarić, M. (1983): Budući razvoj satelitske geodezije s posebnim osvrtom na Globalni pozicijski sustav GPS, predavanje održano na 2. doplerovskoj školi Hvar (seminar) – podaci preuzeti iz CSTG Bulletina (International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamic).
- Solarić, M. (2000): Računanje koordinata položaja GPS-satelita iz primljenih poruka odaslanih s GPS-satelita, u rukopisu str. 1 – 6.
- Vjesnik (2006a): Savitljive tanke baterije, Vjesnik 14. i 15. siječnja.
- Vjesnik (2006b): Temelji novih računala, 45-nm čipovi iz Intela, Vjesnik, 1.02.2006., str. 37.
- Vjesnik (2006c): Najmanji mikroprocesor na svijetu, Vjesnik, 15.02.2006., str. 37.
- Wells, D. (1987): Guide to GPS Positioning, Canadian GPS Associates.
- URL 1: <http://www.satphonestore.com/servprod/orbcomm/GSC100.htm> (22.2.2006.).
- URL 2: <http://www.stuff.co.nz/stuff/0,2106,3535373a28,00.html> (14.1.2006.).
- URL 3: <http://www.rakon.com/> (14.1.2006.).
- URL 4: http://www.rakon.com/whatsnew/dispay?article_id=-80&template=news (14.1.2006.).
- URL 5: <http://www.rlocman.ru/comp/more.html?di=4170> (21.1.2006.).
- URL 6: <http://www.topconpositioning.com/index.html/screen/Feature/> (24.2.2006.).
- URL 7: http://www.intel.com/technology/silicon/new_45nm_silicon.htm (3.2.2006.).

Survey of Decrease Dimensions of GPS-Receiver

ABSTRACT. In this paper is described how dimensions of GPS-receivers are successive decreased and how now company Rakon from Auckland (New Zealand) and Texas Instruments (from USA) produced the smallest modules of GPS-receivers. These devices it is possible to put on baby's fingernail. Topcon produced also small chip with possibility to process received radio-signal from satellites emitted from satellites GPS, GLONASS and GALILEO (Giove).

Key words: dimension, GPS-receiver, chip, Rakon, Texas Instruments, Topcon.

Prihvaćeno: 2006-06-29