

Infrastruktura omrežij permanentnih postaj GPS

Klemen Kozmus*, Bojan Stopar**

Povzetek

Pri izgradnji omrežja permanentnih postaj GPS na državnem območju je potrebno postaje primerno organizirati in zagotoviti ustrezno infrastrukturo za prenos podatkov med postajami, upravljavcem sistema in uporabniki. Prispevek predstavlja možne variante povezav, kjer podatki tečejo sproti, v realnem času. Opisani sta dve moderni metodi obravnavanja podatkov opazovanj postaj v omrežju – VRS in FKP.

Uvod

Leta 2001 sta Geodetska uprava Republike Slovenije in Geodetski inštitut Slovenije začela z izgradnjo omrežja stalno delujočih postaj GPS v Sloveniji ter vzpostavitev službe, ki bo zagotavljala operativno delovanje omrežja, t. i. »GPS službo«. Izgradnja omrežja se je začela s postavitvijo prve stalno delujoče postaje v Ljubljani v oktobru 2001. Trenutno je v državno omrežje SIGNAL (SI – Geodezija – NAVigacija - Lokacija) vključenih pet permanentnih postaj. Skupno naj bi na ozemlju Slovenije delovalo 15 postaj, povezanih v t. i. aktivno omrežje permanentnih postaj GPS. Z izgradnjo omrežja in vzpostavitev Službe GPS slovenska geodezija vzpostavlja temeljno državno geodetsko infrastrukturo za potrebe lokacijske opredelitve celotnega državnega ozemlja. Podobna omrežja referenčnih postaj GPS in ustrezne službe za zagotavljanje podpore pri satelitskem določanju položaja so že vzpostavile številne države: Nemčija – SAPOS, Švedska – SWEPOS, Norveška – SATREF, Finska – FinnNet, Švica – AGNES-SWIPOS, Nizozemska – AGRS, Belgija – BEREf, Francija – RGP, Avstrija – DARC-DGPS. Številne države gradijo podobna omrežja.

Evropska omrežja pošiljajo podatke opazovanj izbranih postaj v regionalne analize centre službe EPN (EUREF Permanent Network). EUREF te podatke uporablja za realizacijo referenčnega sistema ETRS (ang. European Terrestrial Reference System), ki predstavlja ogrodje za vse geografske in geodetske projekte na območju Evrope, tako na državni kot na meddržavni ravni. EPN je pomemben tudi za znanstvene aplikacije, kot so geodinamika, spremljanje nivoja morja in napovedovanje vremena (EPN flyer, 2003).

Naloge, ki naj bi jih omrežje opravljalo, so številne (Stopar et al., 2002) in segajo od popolnoma geodetskih do satelitsko podprte navigacije. V okviru aktivnega omrežja postaj GPS je omogočeno določanje položaja v realnem času – v času izvajanja izmere. Omrežje naj bi bilo glede kakovosti položaja sposobno izpolnjevati zahteve vseh potencialnih uporabnikov omrežja in sistema GPS. Tako naj bi izpolnjevalo zahteve določanja položaja od metrske natančnosti v načinu DGPS do centimetske natančnosti v načinu RTK-GPS. Delitev funkcij omrežja na ustrezne kategorije točnosti določanja položaja naj bi sledila že izgrajenim omrežjem v tujini. Predvidoma naj bi omrežje zagotavljalo navigacijsko točnost ($\sigma_p(\text{NAV}) = 1 \text{ m}$), GIS - točnost ($\sigma_p(\text{GIS}) = 1 \text{ dm}$) in geodetsko točnost ($\sigma_p(\text{GEO}) = 1 \text{ cm}$) določanja položaja. Prav tako bo mogoče s podatki, pridobljenimi v okviru omrežja, izvajati naknadno obdelavo opazovanj za pridobivanje položajev enakih razredov natančnosti.

* mag., Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo – Oddelek za geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

** izr.prof.dr., Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo – Oddelek za geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

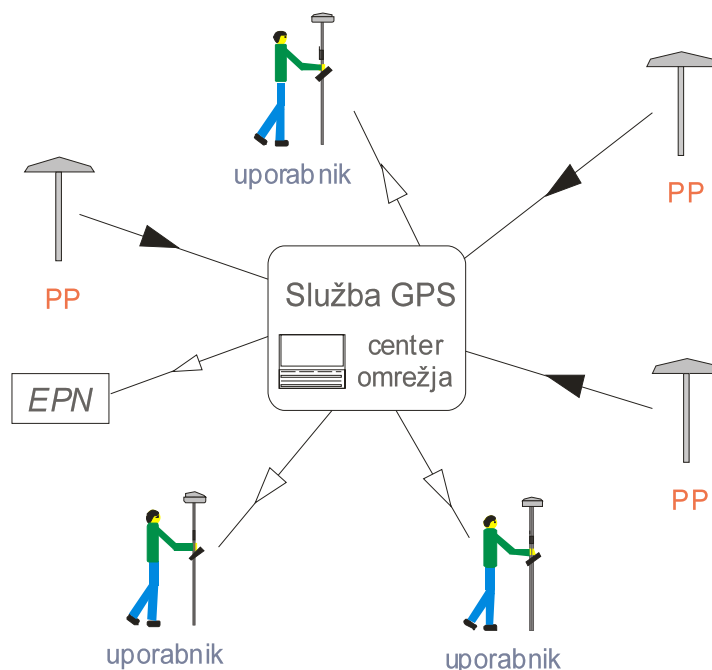
Metoda izmere RTK-GPS je za potrebe geodezije in praktične geodetske izmere ena od najbolj obetavnih metod, ki ima številne prednosti, pa tudi nekaj slabosti. Med slabosti lahko uvrstimo predvsem sistematične vplive troposfere, ionosfere in pogrešek tirnic satelitov na pridobljene položaje točk, katerih natančnost se zmanjšuje z oddaljevanjem od referenčne postaje. To pa pomeni, da je za ustrezno kvalitetno uporabo metode RTK-GPS potrebna dokaj velika gostota referenčnih postaj.

Veliko gostoto referenčnih postaj v nasprotju z zahtevami klasične metode RTK za zagotavljanje centimetrskosti v veliki meri zmanjšujeta dva, v novem času razvita postopka modeliranja omenjenih vplivov na kvaliteto položajev točk. Postopka temeljita na uporabi vseh razpoložljivih podatkov, pridobljenih z opazovanji v omrežju permanentnih postaj GPS. Ta postopka imata oznaki VRS in FKP, njuno bistvo pa je razloženo v nadaljevanju.

Organiziranost omrežja

Omrežje PP je lahko organizirano individualno ali centralno. V prvem primeru vsaka postaja deluje neodvisno od drugih, kot taka pa lahko zadosti zgolj uporabnikom v omejenem območju okoli postaje (do 10-15 km zračne razdalje od postaje). Če bi želela državna služba za GPS pokriti celotno državno območje s samostojnimi postajami, bi bila gostota postaj prevelika, kar bi povzročilo velik investicijski strošek in drago stalno vzdrževanje vseh postaj.

Druga rešitev je centralna z osrednjo službo v t. i. centru omrežja. V tem primeru so posamezne postaje stalno povezane s centrom, kamor se podatki opazovanj stekajo sproti, v realnem času. Na postajah je število naprav poleg obvezne opreme GPS minimalno, običajno je zgolj usmernik, ki podatke s sprejemnika GPS usmerja na podatkovno povezavo postaje s centrom. Tako so zagotovljene velika stabilnost delovanja na posamezni postaji in posledično minimalne vzdrževalne potrebe. Seveda je treba predhodno zagotoviti stabilno delovanje naprav za opazovanje signalov GPS.



Slika 1 – Shema omrežja PP GPS

Glavni razlog za centralno organiziranost omrežja je t. i. mrežna obravnava vseh postaj v omrežju. Postaje niso neodvisne, temveč združeni podatki z različnih postaj omogočajo računsko modeliranje vplivov na opazovanja v celotni mreži. Zaradi tega mrežna obravnava zahteva precej manjšo gostoto postaj kot individualno omrežje PP. Razdalje med postajami v mreži so lahko tudi do 100 km (Wanninger, 2002), medtem ko morajo biti neodvisne postaje precej bolj skupaj, na medsebojni oddaljenosti do 25 km. Omenjene gostote veljajo za zagotovitev geodetske natančnosti določitve položaja točke.

Slovensko omrežje SIGNAL deluje centralno, v času objave prispevka naj bi testno delovali tudi že mrežni koncepti.

Naloga službe v centru omrežja je v splošnem analiza in obdelava podatkov opazovanj posameznih postaj, posredovanje obdelanih podatkov uporabnikom ter arhiviranje surovih in obdelanih podatkov. Dodatna naloga službe v centru je vsakodnevno pošiljanje podatkov izbranih postaj v združenja omrežij PP, kot je EPN.

Tehnologije prenosa podatkov

Kritična točka infrastrukture omrežja PP je sproten tok podatkov s postaj do centra, ki ga zahteva mrežna obravnava. Ta točka pa zaradi silovitega razvoja telekomunikacij v zadnjih letih ni več tako kritična. Obstaja celo več variant tekočega prenosa podatkov:

- najeti vodi,
- brezžična povezava,
- ADSL/internet,
- kabelsko omrežje.

Optimalna rešitev glede kvalitete pretoka je **najem ozkopasovne linije**. Dnevna količina surovih opazovanj znaša okoli 30-40 MB, za kar ni potrebna širokopasovna povezava, ampak zadostuje že dokaj nizka prepustnost voda. Rešitev je optimalna s stališča zanesljivosti in varnosti povezave. Slabost te rešitve je zelo visoka cena vzpostavitve in najema linije, poleg tega je treba v tem primeru vzpostaviti vod do vsake postaje. Kljub visoki ceni prednosti očitno odtehtajo, saj je rešitev z najetimi linijami sprejeta v mnogih državnih omrežjih PP.

Na krajših oddaljenostih je možen **brezžični prenos** podatkov preko radijskih valov. Na sprejemnik PP je vezan radijski oddajnik. Ta oddaja podatke, ki jih nato sprejema radijski sprejemnik v centru. Ob uporabi repetitorjev ali obstoječih radijskih mrež je možen prenos podatkov tudi na večjih razdaljah. Brezžični prenos lahko služi tudi kot dopolnitev povezav odročnih PP, ki so preveč oddaljene od obstoječe komunikacijske infrastrukture. V primeru brezžične povezave je treba pridobiti dovoljenje za uporabo točno določene radijske frekvence s strani države. Dodatni problem je občutljivost na vremenske razmere in morebitna prenasičenost frekvenčnega spektra. Ob vzpostavitvi lastne radijske mreže je začetni strošek nekaj večji, so pa tekoči stroški minimalni.

Podatki se lahko prenašajo preko obstoječih povezav. Zelo očiten primer je telefonska žica, po kateri lahko dostopamo do svetovnega spleta. Klasično impulzno dostopanje seveda ne pride v poštev, prav tako tudi ISDN ni racionalna izbira, povsem drugače pa je z tehnologijo **ADSL**. ADSL na enem kanalu bakrene telefonske žice nudi stalno povezanost v internet. Uporaba linije se plačuje pavšalno, glede na želeno prepustnost. Poleg pavšala za uporabo ADSL je treba npr. v Sloveniji plačevati še mesečno naročnino za ISDN. Velik in nezanemarljiv problem ADSL je doseg, saj zahteva zelo kratko oddaljenost od telefonske centrale. Razdalja več kot 5 km je že lahko nepremostljiva, kar je lahko problematično pri določenih lokacijah PP, saj običajno vse niso postavljene v urbana

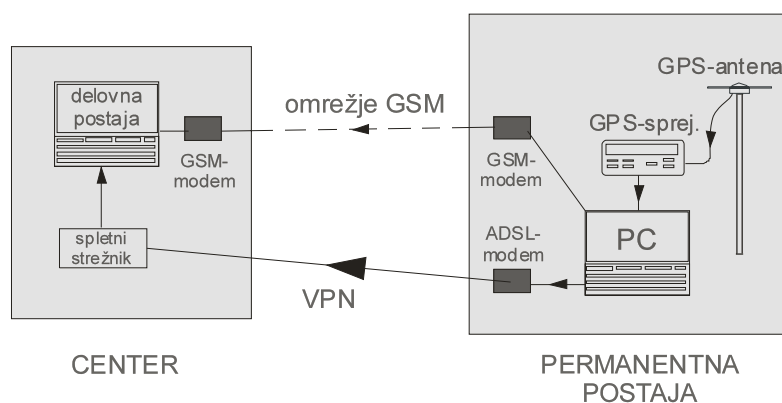
okolja. Problem ADSL je tudi izpostavljenost nevarnostim interneta (npr. trojanski konji, virusi), kar zahteva postavitev požarnega zidu (ang. firewall) ali drugo ustrezno rešitev.

Med obstoječe podatkovne povezave se lahko šteje tudi **kabelska omrežja**. Sprva so bila ta namenjena zgolj prenosu televizijskega signala, že nekaj časa pa omogočajo tudi dostop do interneta. Delovanje je podobno kot pri ADSL, za izbrano prepustnost se plačuje pavšal, podatki pa se ne prenašajo preko telefonskega kabla, ampak preko kabelskega sistema. Podobno kot pri ADSL je tudi tu problematičen doseg sistema, saj je razpelnjen le po večjih urbanih območjih. Tudi cenovno gledano je kabelsko omrežje primerljivo z ADSL. Stabilnost kabelskega omrežja je bila še donedavna problematična, saj je večkrat prihajalo do prenasičenosti.

Posebna kategorija pri povezavah so **navidezna zasebna omrežja** (ang. VPN – Virtual Private Network). VPN vzpostavi varne kanale znotraj internetnega omrežja preko obstoječe internetne povezave ali preko lastnega omrežja ponudnika. Gre za direktno povezavo dveh točk - vzpostavi se t. i. tunel - s stalnima naslovoma IP. Na obstoječih povezavah se lahko VPN izvede programsko, obstaja pa tudi strojna rešitev, ki je boljša, a dražja. Izvedba in cena vzpostavitve sta odvisni predvsem od infrastrukture v okolici PP. Glede na zgoraj našteje možne variante vzpostavitve podatkovne povezave med PP in centrom VPN ni potreben v primeru najetih vodov, ker so ti že sami praktično VPN, in v primeru brezžične povezave. Pri povezavah preko interneta, torej preko ADSL ali kabelskega omrežja, je vzpostavitev VPN skoraj obvezna.

Kljub izpopolnjenim tehnologijam lahko pride do izpada povezave. Do izpadov načeloma ne pride le pri najetih linijah, drugje so bolj ali manj pogosti. Če želi služba za GPS zagotavljati stalno povezanost s PP, potem mora poskrbeti za sekundarno povezavo, ki je od osnovne neodvisna, seveda pa ni potrebno, da je stalna. V primeru brezžične povezave ali kabelskega omrežja je najbolj logično drugo povezavo po potrebi vzpostaviti preko interneta z analognimi modemi. V primeru izpada bi sistem v centru avtomatsko vzpostavil povezavo z modemom na PP, ki bi ob znaku modema prevzel funkcijo pošiljanja podatkov sprejemnika GPS.

Pri povezavah preko interneta (ADSL, kabel) se lahko druga povezava vzpostavi preko terminalov GSM. Ob normalnem delovanju so ti v funkciji pripravljenosti, ob izpadu pa modem GSM v centru avtomatsko vzpostavi podatkovno povezavo z modemom na PP. Če so izpadi kratkotrajni, stroški modemske povezave ali povezave GSM niso pretirani.



Slika 2 – Shema povezave PP-center

V Sloveniji, kjer je omrežje PP GPS še v fazi izgradnje, so obstoječe postaje s centrom povezane s stalno povezavo ADSL preko programskega VPN. Delovna postaja v centru je priključena v lokalno mrežo (LAN) s stalnim dostopom do interneta. Predvidena je vzpostavitev sekundarne povezave z GSM-modemi.

Načini obdelave podatkov

Naloga mrežnih konceptov je zagotoviti približno enako natančnost določitve položaja na celotnem območju omrežja in zmanjšati gostoto permanentnih postaj v omrežju. Zadani cilj se lahko doseže zgolj s skupno obravnavo podatkov opazovanj vseh postaj v omrežju. V omrežju, kjer so PP med seboj neodvisne, natančnost določitve položaja pada z oddaljenostjo od postaje. Mrežni koncept omogoča tudi hitrejšo določitev neznank celih začetnih valov.

Trenutno sta v uporabi predvsem dva koncepta:

- ploskovni korekcijski parametri (nem. FKP – Flächenkorrekturparameter) in
- navidezne referenčne postaje (ang. VRS – Virtual Reference Stations).

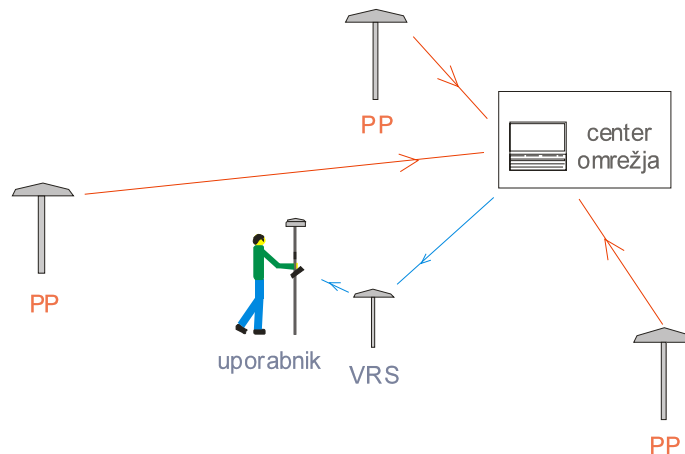
Oba postopka temeljita na podatkih, pridobljenih v omrežju neprekinjeno povezanih permanentnih postaj GPS, kar omogoča dinamično spremljanje stanja v sistemu GPS, vključno s stanjem v Zemljini atmosferi. Na osnovi pridobljenih podatkov ter z uporabo ustreznih modelov vplivov na opazovanja GPS je omogočeno določanje položajev visoke točnosti in zanesljivosti v realnem času. Na osnovi podatkov opazovanj permanentnih postaj se izboljšujejo modeli tirnic satelitov GPS, stanja v ionosferi in troposferi, ki se nato v obliki ustreznih popravkov opazovanj posredujejo uporabnikom, medtem ko ti izvajajo opazovanja z lastnimi sprejemniki GPS. Z uporabo modelov popravkov opazovanj je mogoče dosegati precej višje natančnosti ob manjši gostoti referenčnih postaj, kot velja v primeru običajne metode RTK-GPS (uporaba podatkov, pridobljenih z ene referenčne postaje). Gostota omrežja se v primeru obeh sodobnih konceptov lahko zmanjša tudi za faktor 5-7. Nujen pogoj pa je neprekinjen prenos podatkov opazovanj s postaj v center omrežja.

Princip delovanja koncepta **FKP** (povzeto po Seeber, 2000) je primerjava znanih koordinat referenčnih točk z rezultati opazovanj, vključno z določitvijo neznank celih začetnih valov, za vsak trenutek opazovanj. Izračunana odstopanja na posameznih postajah definirajo ploskev na obravnavanem območju. Popravki za izbrani položaj uporabnikovega sprejemnika (φ , λ) se določijo z enostavnim interpolacijskim algoritmom na osnovi naklonskih parametrov korekcijske ploskve. S pomočjo linearnih kombinacij različnih frekvenc je možno vplive v geometričnem modelu razstaviti na troposferske, orbitalne in ionosferske pogreške.

Parametri FKP so enotni za celotno območje omrežja in so torej za vse uporabnike sistema identični. Interpolacija na izračunani ploskvi se izvaja na uporabnikovi strani. Dobra stran tega koncepta je neomejeno število uporabnikov, ki lahko istočasno izkoriščajo parametre FKP, poleg tega zadostuje enosmerna povezava med centrom omrežja in uporabnikom. Pomanjkljivost je predvsem v obliki oddajanja parametrov, saj so izraženi v neustaljenem formatu. Običajno se prenašajo z ostalimi sporočili RTCM na stavku 59, ki ga podpira najnovejši standard RTCM z oznako 2.3, ki pa ga vsebujejo le najnovejši sprejemniki.

Koncept **VRS** deluje (povzeto po Seeber, 2000) na principu računske določitve navideznih opazovanj, kot bi jih izvajala referenčna postaja v neposredni bližini uporabnika. Program za izračun VRS torej potrebuje približen položaj uporabnika, da lahko zanj izračuna podatke opazovanj VRS. Matematična obravnavo omrežja PP je podobna kot pri FKP – na osnovi opazovanj vseh postaj v omrežju se izračuna ploskev nižjega ali višjih redov, podatki za VRS pa se nato izračunajo z ustrežno metodo interpolacije. Podatki VRS se izračunajo ločeno za vsakega uporabnika, saj je logično vsak na svoji lokaciji. Število simultanih VRS je na strani centra omrežja, ki izvaja preračune, običajno omejeno, in sicer programsko in strojno. Med uporabnikom in centrom mora biti

vzpostavljena dvosmerna podatkovna povezava, po kateri mora uporabnik na nek način najprej sporočiti svoj približen položaj. Običajno se to avtomatsko izvede preko ustrezne aplikacije tako, da sprejemnik GPS preko vmesnika pošlje sporočilo NMEA, ki vsebuje približen položaj sprejemnika. Če je ta problem rešljiv, je s strani uporabnika VRS bolj prijazen koncept od FKP, saj uporabnikov sprejemnik ne potrebuje nujno najnovejšega standarda RTCM. V primeru **VRS** uporabnik izvaja izmero, kot bi imel referenčno postajo v svoji neposredni bližini. V nasprotju z FKP se večji računski del opravi na delovni postaji v centru omrežja.



Slika 3 – Shema VRS

Posredovanje podatkov uporabnikom

Zadnja in poglobljena naloga centra omrežja je posredovanje podatkov uporabnikom GPS. Uporabnik, ki na terenu opravlja meritve z lastnim sprejemnikom GPS, želi podatke svojih opazovanj združiti s podatki opazovanj najbližje permanentne postaje ali s podatki navidezne postaje. Na ta način bo izdatno izboljšal natančnost svojih opazovanj, saj bo namesto desetmetske dobil centimetrsko natančnost. Uporabnik lahko obdeluje opazovanja med izmero na terenu ali naknadno na računalniku v pisarni. Naknadna obdelava je cenejša, ne omogoča pa takojšnje kontrole kvalitete opravljenih opazovanj.

Center omrežja PP skrbi za distribucijo podatkov za sprotno in naknadno obdelavo. Surova opazovanja posameznih postaj, ki jih sprejema delovna postaja v centru, se pretvori v standardni format RINEX. Podatki opazovanj se shranjujejo v komprimirani obliki, t. i. Compact RINEX, ki ne zmanjšuje uporabnosti datotek, zavzame pa precej manj pomnilnika. Tako tvorjene datoteke se shranjuje na arhivski strežnik, ki je stalno priključen na internet. Uporabniki do arhiviranih datotek dostopajo preko portala službe za GPS, kjer se običajno najprej prijavijo, nato pa izberejo dan, čas in interval opazovanj. Ko želene datoteke uporabnik pretoči v svoj računalnik, jih tam skupaj s podatki lastne izmere obdelava v ustreznem programu.

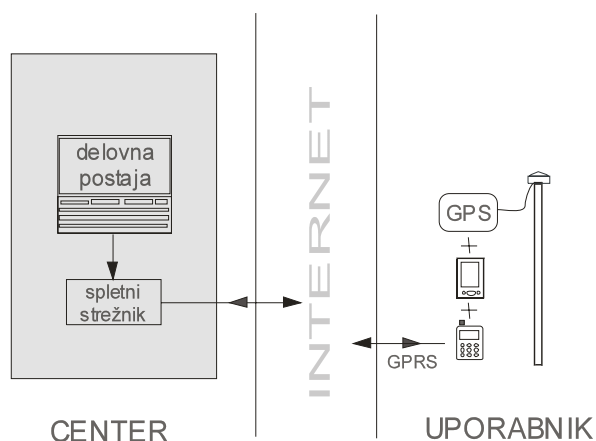
Podatki centra za obdelavo v realnem času (ang. real time) se oddajo takoj po obdelavi v izbranem mrežnem algoritmu (VRS, FKP). Latenca oz. zamik oddaje podatka glede na dejanski zajem podatka ne sme biti prevelika, ker v nasprotnem primeru pride do težav pri obdelavi podatkov na uporabnikovi strani. Podatki opazovanj uporabnika in omrežja PP se tokrat obdelujejo sproti, med samo izmero, direktno na sprejemniku GPS, če to omogoča, ali na terenskem računalniku, ki je priključen na sprejemnik GPS. Podatki centra se uporabnikom posredujejo v standardni obliki, ki jo je določila služba RTCM, standard pa nosi ime RTCM-SC104.

Za potrebe sprotnega pretoka podatkov med centrom omrežja PP in uporabnikom na terenu mora med njima obstajati stalna podatkovna povezava. Glede na razmah mobilne telefonije, dobre pokritosti s signalom GSM in možnosti podatkovnega prenosa se omrežje GSM kaže kot najbolj logična izbira za povezavo uporabnika s centrom. Ponovno je možnih več variant.

Najbolj elegantna rešitev je **spletni strežnik** GSM v centru omrežja. Spletni strežnik je običajno opcijsko vključen v programske pakete za mrežno obdelavo. Uporabnik se na spletni strežnik priklupi preko terminala GSM, na katerega je priključen dlančnik oz. terenski računalnik, kajti uporabnik mora za prijavo pognati aplikacijo na računalniku. V tem primeru uporabnik sam izbere najbolj ugodno varianto – ponudnika in način prenosa podatkov (paketno GPRS ali klasično podatkovno). Število uporabnikov, ki so istočasno priključeni na strežnik, načeloma ni omejeno.

Služba za GPS lahko svoje podatke posreduje na strežnik izbranega ponudnika storitev GSM. Uporabniki do podatkov dostopajo preko **vstopne točke** na strežniku. V tem primeru uporabniki nimajo več tako proste izbire, saj bo verjetno najcenejši ponudnik ravno ta, ki je lastnik strežnika, pa tudi način dostopa je običajno določen. Število uporabnikov, podobno kot pri spletnem strežniku, ni omejeno, lahko pa ga omeji operater GSM.

Zgolj zasilna rešitev so **modemi** GSM. Na delovno postajo v centru je priključeno omejeno število modemov, na katere kličejo uporabniki. Število uporabnikov, ki istočasno dostopajo do sistema, je torej omejeno s številom modemov v centru. Poleg tega ima služba za GPS redne stroške z modemi.



Slika 4 – Shema povezave center-uporabnik

Alternativa povezavi preko omrežja GSM je **brezžična povezava**. Podobno kot pri povezavi PP-center lahko radijski valovi služijo tudi za povezavo center-uporabnik za distribucijo podatkov omrežja uporabnikom. V primerjavi z omrežjem GSM je takšna povezava cenejša, saj je potreben samo začetni strošek za nabavo ustrezne opreme (radio-modem), sam pretok podatkov pa je načeloma brezplačen. Uporaba GSM omrežja se plačuje glede na čas priklopa ali glede na količino pretočenih podatkov (v primeru GPRS). Brezžična povezava je kritična predvsem s stališča dosega signala. Brez uporabe ojačevalcev in repetitorjev signala je doseg zelo omejen, odvisen pa je tudi od fizičnih ovir med oddajnikom in sprejemnikom. Uporaba omrežja GSM je pogojena z dosegom in kvaliteto signala GSM, ki je vsaj v urbanih okoljih zadovoljiva.

Uporabniki omrežja SIGNAL naj bi do podatkov za sprotno obdelavo po popolni vzpostavitvi programske opreme v centru dostopali preko spletnega strežnika Službe za GPS.

Literatura in viri

Berk, S., Bilc, A., Radovan, D., Stopar, B.: *Tehnična podpora in razvoj osnovnega geodetskega sistema (OGS): tehnično poročilo*. Ljubljana, 2001.

EPN flyer: EUREF, 2003 (www.epncb.oma.be/epnflyer.pdf).

Fotopoulos, G.: *Parameterization of DGPS Carrier Phase Errors Over a Regional Network of Reference Stations* : magistrska naloga. University of Calgary, 2000.

Lachapelle, G., Alves, P.: *Multiple Reference Station Approach: Overview and Current Research*. Journal of GPS, 2002.

Radovan, D., Berk, S., Kozmus, K., Stopar, B., Trajkovska, H.: *Operativno delovanje službe za GPS : končno poročilo*. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, 2002.

Radovan, D., Mišković, D., Berk, S., Stopar, B., Bilc, A.: *Osnutek strategije osnovnega geodetskega sistema za področje slovenskega omrežja permanentnih postaj GPS*. Ljubljana, 2001.

Retscher, G.: *Accuracy Performance of VRS Networks*. Journal of GPS, 2002.

Seeber, G.: *Real-Time Satellite Positioning on the Centimeter Level in the 21st Century using Permanent Reference Stations*. University Hannover, 2000.

Stopar, B., Radovan, D., Berk, S., Bilc, A.: *Projekt izgradnje slovenskega omrežja permanentnih GPS-postaj in vzpostavitve GPS-službe*. SZGG – Raziskave s področja geodezije in geofizike 2002. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2002.

Wanninger, L.: *Virtual Reference Stations for Centimeter-Level Kinematic Positioning*. ION 2002.

www.leica-geosystems.com

www.trimble.com