

Klasifikacija sprejemnikov GNSS za namene cestnih storitev ITS z eksperimentalno zbranimi podatki

Andrej Štern

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za telekomunikacije, Tržaška 25, Ljubljana
E-pošta: Andrej.Stern@FE.uni-lj.si

GNSS receivers classification for road ITS services based on experimental data

Abstract. Many road services belonging to intelligent transportation systems (ITS) benefit from the global navigation satellite systems (GNSS). The latter are not the only source of position, velocity and time (PVT) as known from autonomous cars with variety of other inertial sensors, still the GNSS might have a big impact on the overall performance, especially due to unpredicted quality of positioning outputs due to changing environmental conditions and the type of on-board GNSS based positioning terminal (GBPT).

This paper presents an overview of measurement campaign performed in frame of the short-term scientific mission (STSM) of the COST action TU-1302: SaPPART at IFSTTAR in Nantes, France. The georeferenced GNSS data was collected across 4 different road scenarios as defined in EN 16803-1 in order to conduct real data analysis from multiple classes of GNSS receivers. The results provide an overview of accuracy and availability that will become a part in future standardization and certification processes of GNSS related ITS applications.

1 Uvod

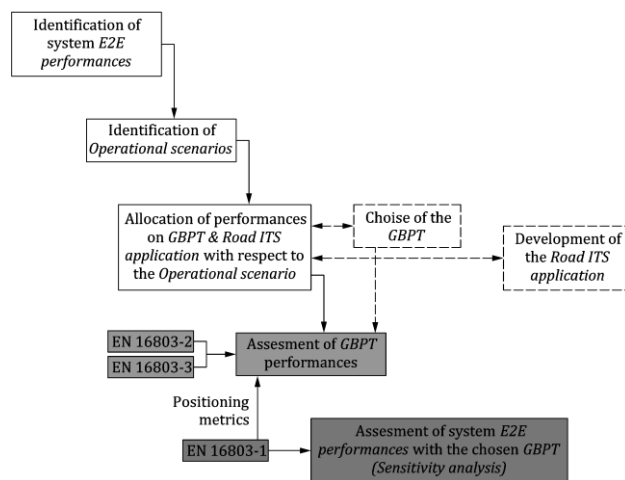
Satelitske navigacijske tehnologije so priljubljene na različnih ravneh sodobnega življenja, od spremljanja prostočasnih in športnih aktivnosti do avtonomnega vodenja sistemov in časovne podpore industriji ter znanosti. Na področju inteligentnih transportnih sistemov (ITS) najdemo paletu storitev z različnimi stopnjami zahtev po satelitski pomoči, kar v navigaciji merimo z izrazi točnost oz. natančnost, razpoložljivost, kontinuiteta in integriteta.

Storitve ITS z najnižjo stopnjo dopustnih odstopanj od pričakovanih poimenujemo kar kritične storitve. V primerih, kjer lahko pride do ogrožanja ljudi, poškodovanja lastnine, onesnaženja okolja oz. odpovedi širšega sistema, se te storitve imenujejo varnostno-kritične (angl. safety-critical). Poleg samodejnih vozil in prevozov nevarnega blaga spadajo sem tudi primeri, kjer odstopanja povzročijo nezmožnost preprečitve ogrožanja oz. nevarnosti, kot je storitev eCall. Druga pomembna skupina lahko utрпи ekonomsko škodo oz. privede do pravnih konfliktov, zato jo poimenujemo kar storitve, povezane z ugotavljanjem odgovornosti (angl. liability-critical), pri katerih so potrebna pravna sredstva, npr. za rekonstruiranje prometnih nesreč,

pristojbine za uporabo cest in zavarovalništvo po meri uporabnika. Postopno s širitvijo nabora uporabniških storitev pa raste tudi pomembnost nadzora njihovega celovitega delovanja (angl. E2E performance) v okviru predpisanih norm.

Certificiranje in homologiranje storitev, povezanih s prometom, poznamo predvsem s področja letalstva, kjer je Mednarodna organizacija za civilno letalstvo med drugim predpisala zahteve sklopa GNSS v različnih pristajalnih fazah [1]. Za podporo evropski aviaciji pri uporabi ameriškega sistema GPS je bil leta 2005 postavljen pomožni satelitski geostacionarni sistem (EGNOS), ki od leta 2011 letalom po Evropi zagotavlja zanesljive podatke o integriteti sistema.

Predpisi na področju cestnega prometa se razvijajo nekoliko počasneje, saj je nabor storitev, scenarijev in uporabnikov precej širši. V pripravi je sklop standardov EN 16803 z naslovom Ugotavljanje položaja z uporabo sistema globalne satelitske navigacije (GNSS) pri inteligentnih transportnih sistemih (ITS) v cestnem prometu. Prvi, objavljeni del, zagotavlja definicije sistemsko-tehničnih postopkov za določanje in ocenjevanje zmožljivosti [2], druga dva dela (EN 16803-2 in 16803-3), s predpisi izvedbe testiranja terminalov in varnostnih zahtev, pa bosta objavljena prvič v začetku leta 2018. Shemo celovitega spremljanja kakovosti delovanja storitev pod okriljem EN 16803 prikazuje naslednja slika.



Slika 1. Shema standarda EN 16803 za cestni promet

Vsebina teh standardov nastaja tudi v okviru evropske akcije COST TU-1302: SaPPART, kjer sta aktivno udeleženi matična Fakulteta za elektrotehniko in Fakulteta za pomorstvo in promet v Portorožu [3].

V okviru COST SaPPART smo v septembru 2016 na sedežu vodje akcije v Nantesu, Francija, izvedli t.i. kratkotrajno znanstveno misijo (STSM, angl. Short-term Scientific Mission) z namenom zbiranja satelitskih navigacijskih podatkov po predpisanih scenarijih z množico satelitskih sprejemnikov in ustrezno zmogljivim geo-referenčnim sistemom. V okviru 3-tedenskega sodelovanja z vrhunskimi znanstveniki laboratorija GeoLoc francoskega nacionalnega inštituta IFSTTAR [4] je bilo opravljenih več merilnih testiranj, katerih delovni rezultati so prikazani v nadaljevanju, v bodoče pa bodo predstavljali tudi sestavni del evropske standardizacije.

2 Eksperimentalno izvajanje meritev

Priprave na eksperimentalno izvajanje meritev so se začele na sestankih akcije COST SaPPART približno leto pred samimi testnimi vožnjami, saj je bilo potrebno s predlogom standarda EN 16803 uskladiti številne podrobnosti, zagotoviti primerno merilno in referenčno opremo ter ustrezno kadrovske podporo. Bistvene priprave na meritve so tako zajemale:

- določitev merilnih okolij (merilna pot),
- pripravo merilne opreme (sprejemniki, računalniki),
- sestavo urnika meritev (trajanja, ponovitve itd.).

2.1 Merilna okolja in scenariji

Okolje, v katerem poteka cestni promet, je zelo razgibano v primerjavi z letalskim prometom, zato primerjava statističnih modelov, npr. Gaussove porazdelitve odstopanj psevdo-razdalj, ni možno enostavno povzemanj. Na kompleksnost sprejema signalov GNSS v cestnem okolju dodatno vpliva kombinacija številnih pojavov degradacije, npr. zastrtost dela vidnega neba zaradi naravnih in umetnih ovir, odboji signalov s širjenjem po več poteh, elektromagnetno okolje z več prisotnimi motnjami RF na določenih odsekih ter drugi, ki poleg znanih ionosferskih in troposferskih vplivov manjšajo točnost določitve lokacije.

Standard EN 16803-1 razvršča okolja v 6 skupin glede na tipične parametre (npr. zakrivanje oz. maskiranje neba, prisotnost dreves in rastlinja, predori):

1. "Ravno podeželje" ali "Čisto nebo": podeželske ceste na prostranem odprtem podeželju z maskirnimi koti pod 10° , brez gora ali visokih gričev, tipično avtoceste;
2. "Drevesno podeželje": podeželske ceste z drevoredi in drugim visokim rastlinjem na vsaki strani z vidnim vplivom dušenja signalov na sprejemu;
3. "Gorsko": ceste z ostrimi zavoji in okoliškim visokogorjem, tipično gorske doline s številnimi predori in včasih drevesi, maskirni koti med 10° in 80° ;
4. "Primestno evropsko": predmestje ali obvoznice manjših mest, s širokimi cestami in majhnimi do srednjimi stavbami, maskirni koti do 30° ;

5. "Mestno evropsko": standardna evropska prostrana "stara" mesta z relativno ozkimi ulicami, občasno z večjimi drevoredi in obvoznicami, s stavbami srednje do visoke višine, maskirni koti do 60° s pogostim pojavom vidljivosti NLOS (angl. Non-Line Of Sight);

6. "Moderna urbana središča": poslovna središča z zelo visokimi sodobnimi stavbami iz stekla in kovine, široke avenije in številni podvozi, maskiranje kotov pogosto večje od 60° z zelo pogostimi pojavi NLOS.

V Sloveniji se pogosto soočamo z okolji 1-5, ne premoremo pa večjih modernih urbanih središč z zelo visokimi stavbami na območju nekaj kilometrov. Podobno je tudi v mestu Nantes na zahodu Francije, ki izkazuje značaj starejšega mesta, v njegovi okolici pa ob reki Loire prevladujejo vinogradniški griči in številni gradovi. Tako so bili za meritve izbrani le 4 scenariji, razvrščeni po dejanski časovni izvedbi:

1. Obvoznica okoli mesta Nantes (4 - Primestno evropsko okolje), ki obkroža širše mesto v skupni dolžini 40 kilometrov in vključuje visoke mostove, nadvoze in pasove, delno vkopane v okolico;
2. Avtocesta med mesti Nantes, Angers in Cholet (1 - Ravno podeželje) s skupno dolžino trikotnika 210 km, številnimi nadvozi, predorom dolžine 1700 m in predvsem ravninskimi trasami z nižjimi koti maskiranja;
3. Staro mestno središče mesta Nantes (5 - Mestno evropsko okolje) z redkejšimi visokimi nebotičniki in ozkimi mestnimi ulicami, kjer je bila določena razgibana pot dolžine 41 km;
4. Podeželje v JZ okolici mesta Nantes (kombinacija 2 - Drevesno podeželje, 1 - Ravno podeželje in 4 - Primestno evropsko) v skupni dolžini 110 km čez majhne vasi, ruralne proste ceste in številne drevorede.

Naslednja slika prikazuje izris poti z dopisanimi prevoženimi dnevnimi kilometri z več ponovitvami.



Slika 2. Potek tras testiranj po merilnih dneh (zeleno trasa)

2.2 Merilna oprema

Satelitski del merilne opreme zajema skupno 18 sprejemnikov, razvrščenih v 3 funkcionalne skupine:

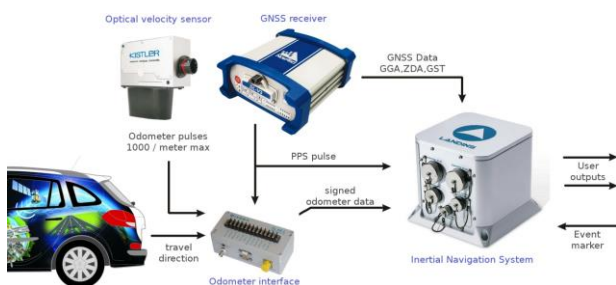
Skupina 1: profesionalni geodetski sprejemniki z večjimi antenami na strehi in z možnostjo dodatnega procesiranja meritev pred izračunom lokacije (PPK);

Skupina 2: nizko-cenovni množični sprejemniki za vgradne namene z manjšimi antenami na strehi vozila;

Skupina 3: sprejemniki GNSS v pametnih telefonih na armaturni plošči vozila.

V skupino 1 se uvrščata dva sprejemnika, ki sta že sestavni del merilne opreme vozila za eksperimentalno raziskovanje trajektorij VERT (angl. Vehicle for Experimental Research on Trajectories): Novatel DL-V3 in Septentrio AsterRX3. Slednji je snemal dva toka podatkov: surove za namene PPK (angl. Post-Processing Kinematic) in klasične stavke NMEA, kot večina drugih cenejših sprejemnikov. Anteni NOV-702GGL in G5Ant-52AT1 sta bili nameščeni na konzolah na točno določenih referenčnih mestih strehe.

Novatelov sprejemnik je bil povezan v vrhunski sistem za natančno določitev referenčne trajektorije RTMeS (angl. Reference Trajectory Measurement System), ki v realnem času izvaja spajanje podatkov iz triosnega pospeškometra, optičnega žiroskopa in senzorja na zadnjih kolesih vozila [5].

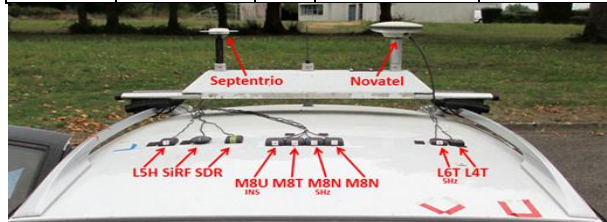


Slika 3. Shema sistema RTMeS v vozilu VERT za pridobitev natančne referenčne trajektorije

Skupino 2 sestavlja 8 nizko cenovnih sprejemnikov, za katere se predvideva masovna raba v cestnih storitvah. Za primerjavo je bilo uporabljenih nekaj sprejemnikov starejših generacij in več iz zadnje serije proizvajalca uBlox. Vsi so imeli antene porazdeljene po strehi vozila, podatke pa so pošiljali v obliki stavkov NMEA. Nekateri so dostavili tudi surove (angl. Raw) meritve, s katerimi je mogoče signale analizirati še bolj podrobno.

Tabela 1. Lastnosti uporabljenih nizkocenovnih masovnih sprejemnikov GNSS z anteno na strehi

| Proizv. | Model | Hz | Konstelacije | Dodatki |
|---------|---------|----|--------------|----------|
| uBlox | LEA-4T | 1 | GPS | Ne |
| uBlox | LEA-5H | 1 | GPS | Ne |
| uBlox | LEA-6T | 5 | GPS | Raw |
| uBlox | NEO-M8N | 1 | GPS+GLO | Raw |
| uBlox | NEO-M8N | 5 | GPS | Ne |
| uBlox | NEO-M8U | 1 | GPS+GLO | Raw, INS |
| uBlox | NEO-M8T | 1 | GPS+GLO | Raw |
| SiRF IV | BU-353 | 1 | GPS | Ne |



Slika 4. Postavitev anten na strehi vozila

Skupino 3 sestavlja zbirka 6 pametnih telefonov in enega modularnega sprejemnika z vgrajeno anteno in Bluetooth povezavo. Vsi so bili postavljeni na armaturno ploščo pod vetrobransko steklo, kot prikazuje naslednja slika.



Slika 5. Postavitev pametnih telefonov in modula Bluetooth pod vetrobransko steklo

Tabela 2. Lastnosti uporabljenih pametnih telefonov

| Proizvajalec | Model | Konstelacije | Dodatki |
|--------------|-------------|--------------|----------|
| Samsung | S4 mini | GPS+GLO | Senzorji |
| HTC | One mini | GPS+GLO | Senzorji |
| Huawei | P8 | GPS+GLO | Ne |
| Acer | Liquid Jade | GPS | Ne |
| Wiko | Fever | GPS | Ne |
| Samsung | Gal. Note 4 | GPS+GLO | Ne |
| WinTec | WBT-202G | GPS | Ne |

2.3 Urniki in zahteve meritev

Scenariji za zbiranje podatkov so bili postavljeni po zahtevah EN 16803-1. Najpomembnejša pravila za izvedbo meritev so bila:

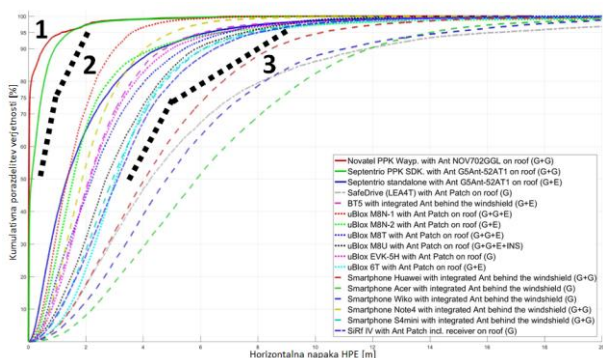
1. Hitrost vožnje: vožnja po vnaprej določeni poti, pri standardni hitrosti, ob upoštevanju omejitev hitrosti, prometnih znakov in vseh varnostnih pogojev;
2. Minimalna hitrost: ker pri nizkih hitrostih premikanja (pod 2 km/h) prihaja do večjih odstopanj lokacije, morajo biti vse točke, kjer hitrost ne presega te meje, odstranjene iz nadaljnjih statističnih analiz natančnosti, vožnja pa mora trajati toliko dlje, da se pokrije celoten časovni interval meritev z veljavnimi podatki;
3. Trajanje: trajanje ene meritve mora preseči 2 uri v enem kosu, kratkotrajni postanki se ne štejejo v to kvoto;
4. Ponovitve: meritve se morajo izvesti vsaj 3-krat po isti poti s časovnim zamikom vsaj 2 uri, da sprejemniki opazujejo različne postavitve satelitov na nebu (konstelacije);
5. Pogostost merilnih vzorcev: izhodna frekvenca podatkov iz sprejemnikov naj bo večja ali enaka od 1 Hz, da se zbere dovolj podatkov tudi v hitro spreminjajočih se okoljih oz. pri hitrejši vožnji.

Po teh kriterijih je bilo skupaj zbranih 29 ur meritev na 1605 kilometrih. Zaradi določenih težav (npr. predčasno samovoljno varčevanje pametnih telefonov z energijo) je prišlo do občasnih izgub posameznih zapisov. Od predvidenih 216 posameznih meritev v 4 dneh, razdeljenih na 3 dnevne meritve, jih je bilo uspešno in v celoti sprejetih 207 oz. 95,8 %.

3 Rezultati meritev

Analiza zajetih podatkov za potrebe klasifikacije sprejemnikov GNSS po natančnosti in razpoložljivosti je potekala v programskem okolju Python (osnovna preverjanja) in Matlab (numerične analize in prikazi).

Natančnost je določena kot razlika med izmerjeno točko v 2D-prostoru in referenčno točko, določeno s sistemom RTMeS, zato je poimenovana kot horizontalna napaka lokacije oz. HPE (angl. Horizontal Positioning Error). Statistično ovrednotenje s parametri srednjih vrednosti, standardnega odklona in podobnih bi bilo smiselno le v primeru, če je porazdelitvena funkcija HPE dobro znana. Za razliko od letalskega sveta, kjer je večina napak Gaussovega oz. v 2D Hi-kvadrat značaja, je vpliv lokalnih virov motenj na cesti vnaprej nepoznan, npr. vplivna večpotja signalov, lokalna dušenja signalov, različni lomi in interference. Zato je statistično ovrednotenje sprejemnikov potekalo s pomočjo funkcije kumulativne porazdelitve verjetnosti CDF (angl. Cumulative Distribution Function) s karakterističnimi točkami pri 50 %, 75 % in 95 %. Primer dnevnega poteka CDF v mestnem okolju, kjer prihaja do največjih napak, prikazuje naslednja slika.



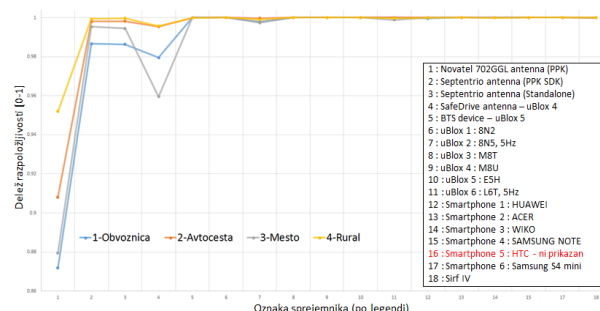
Slika 6. Kumulativna porazdelitev horizontalne napake

Dejansko se na sliki 6 vidijo 3 skupine porazdelitev, ločene z debelejšo ločnico: v prvo sta uvrščena le profesionalna sprejemnika z dobrimi antenami, v drugi so v ospredju GPS+GLONASS sprejemniki najnovejše generacije z anteno na strehi, tem sledijo novejši pametni telefoni z GPS+GLONASS sprejemom in na koncu še starejše generacije strešnih sprejemnikov, v zadnjo, tretjo skupino, pa so uvrščeni le slabši telefoni s sprejemom samo GPS in podobni starejši z anteno na strehi. S pomočjo vseh 4 dni meritev je nastal zadnji predlog v tabeli 3, ki upošteva predvsem cestno uporabo. Zato so razredi klasifikacije natančnosti določeni glede na zahtevano natančnost pri cestni rabi, torej glede na vozne pasove.

Podobna analiza je bila izvedena tudi za področje razpoložljivosti dostave informacij PVT. Za analizo je bil določen kriterij T, ki označuje časovni interval, v katerem mora sprejemnik zagotoviti vsaj eno pravilno informacijo, zaradi različnih zahtev storitev pa je lahko to 1T (vsako sekundo), 10T (vsaj vsakih 10 sekund) itd.

Tabela 3. Predlog razredov natančnosti

| Razred | Naziv | 50% | 75% | 95% |
|--------|--------------|--------|--------|---------|
| 1 | Znotraj pasu | 0,1 m | 0,15 m | 0,25 m |
| 2 | Vozni pas | 0,4 m | 0,6 m | 1 m |
| 3 | Vozišče | 4 m | 6 m | 10 m |
| 4 | Območje | 40 m | 60 m | 100 m |
| 5 | Ostalo | > 40 m | > 60 m | > 100 m |



Slika 7. Stopnja razpoložljivosti posameznih sprejemnikov

4 Zaključek

Znanstveno izvajanje meritev v okviru STSM je podalo edinstven in izjemno zaželen nabor podatkov, s katerimi znanstveniki in drugi strokovnjaki širom Evrope poskušajo določiti lastnosti različnih oblik in generacij satelitskih navigacijskih sprejemnikov. Opravljenih je bilo kar nekaj analiz, s pomočjo katerih se približujemo končnim rezultatom klasifikacije. Ker se skupna evropska akcija COST SaPPART jeseni 2017 izteka, so pred nami še zadnji meseci, preden bodo rezultati predani naprej v standardizacijske postopke.

Zahvala

Avtor se za izkazano podporo pri meritvah in pripravi prispevka zahvaljuje matičnemu Laboratoriju za telekomunikacije na Fakulteti za elektrotehniko, ekipi laboratorija GeoLoc, IFSTTAR, Nantes, za odlično sodelovanje v okviru akcije COST SaPPART ter Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS) za omogočitev sodelovanja v akciji.

Literatura

- [1] J. Speidel et al. Integrity for Aviation: Comparing Future Concepts, InsideGNSS, julij/avgust 2013, dosegljivo na: <http://www.insidegnss.com/node/3625>
- [2] Standard SIST EN 16803-1:2016. Vesolje - Ugotavljanje položaja z uporabo sistema globalne satelitske navigacije (GNSS) pri inteligentnih transportnih sistemih (ITS) v cestnem prometu - 1. del: Definicije in sistemsko-tehnični postopki za določanje in ocenjevanje zmožljivosti
- [3] Spletna stran evropske akcije COST SaPPART, dosegljivo na: <http://www.sappart.net/>
- [4] Spletna stran laboratorija GeoLoc inštituta IFSTTAR: <http://www.ifsttar-geoloc.fr/index.php/en/equipment>
- [5] Spletna predstavitev VERT in RTMeS: <http://www.ifsttar-geoloc.fr/index.php/en/equipment/52-vert>