

# Zmogljivost satelitskih lokacijskih storitev za cestni promet

Andrej Štern, Janez Bešter

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

## Satellite positioning performance for road transport

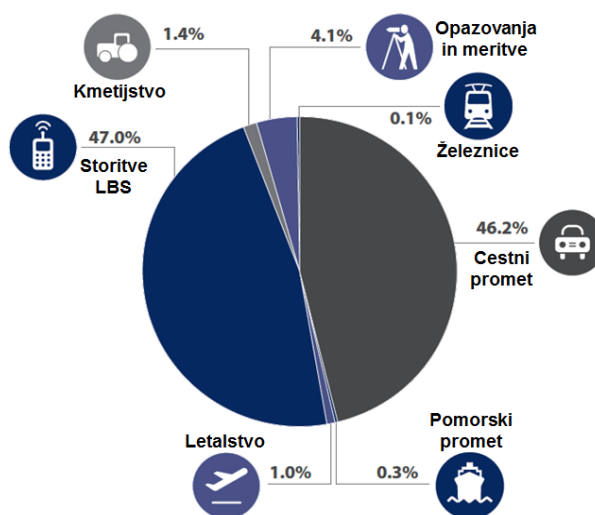
Satellite positioning services using GNSS systems provide the majority of precise outdoor location solutions. The road segment represents here nearly half of GNSS market, that is about to grow significantly during next decade. Mostly ITS services will benefit from enriched multi-constellation signals, pushing the limit of GNSS use far after traditional in-car navigation. These new approaches to traffic efficiency and safety may be considered as critical or liability services since their deviations in expected performance may result in safety, economic or legal negative impacts.

This paper outlines the current approaches to evaluation of GNSS performance tailored to road transport and reflects the author's involvement in EU COST action TU-1302 SaPPART (Satellite Positioning Performance Assessment for Road Transport).

## 1 Uvod

Globalni navigacijski sistemi (GNSS) predstavljajo pomembno tehnološko osnovo storitvam inteligentnih transportnih sistemov (ITS), predvsem na področjih zagotavljanja učinkovitosti prometnih tokov, udobnosti potovanja in ohranjanja varnosti udeležencev v prometu. V naslednjih 10 letih se tako pričakuje 4-kratno povečanje števila aktivnih sprejemnikov GNSS oz. v povprečju 1 na vsakega prebivalca planeta [1]. S širitvijo uporabe pa raste tudi odgovornost o zmogljivosti in zanesljivosti delovanja, zato so v nadaljevanju opisane aktivnosti COST-akcije TU-1302 (SaPPART), ki te izzive naslavlja v smeri ustrezne standardizacije.

Med uporabniki storitev GNSS prednjačita skupini lokacijsko podprtih storitev (LBS) in cestnega prometa, čemur so pridruženi še geodetske službe, kmetijski uporabniki ter prometne veje letalstva, pomorstva in železnice (Slika 1). Razširjenost LBS se večja sorazmerno s priljubljenostjo sodobnih mobilnih naprav, kjer je poznavanje lokacije nujno za izvedbo personaliziranih mobilnih storitev. Na področju cestnega prometa pa je satelitska pomoč v obliki GPS do nedavnega zajemala predvsem storitve navigacije in sledenja voznemu parku. Zaradi odvisnosti od primarno vojaškega ameriškega sistema so druge regije pričele s postopnim razvojem, nadgradnjo in promocijo lastnih navigacijskih rešitev. Tako je v zadnjih generacijah pametnih telefonov že možno hkrati sprejemati tudi ruski GLONASS, na tržišču množičnih nizkocenovnih sprejemnikov GNSS pa bosta kmalu lahko uporabljena



Slika 1: Pričakovana razdelitev tržišča GNSS (2012-2022) [1]

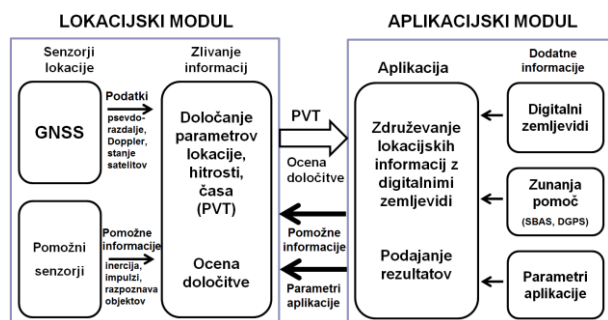
še kitajski BeiDou in evropski sistem v izgradnji, Galileo. Evropska komisija je že leta 2004 ob zgrešeno pričakovanem hitrem zagonu sistema v Direktivi [2] o interoperabilnosti elektronskih cestninskih sistemov v Skupnosti (2004/52/ES) poudarila smiselnost uporabe naprednejših Galileo signalov za cestne telematske storitve, po lastnih ocenah pa bo potrebno na celovitost delovanja Galileo konstelacije počakati še vsaj 5 let.

## 2 Posebnosti storitev v cestnem prometu

Klasičnim konceptom navigacije in sledenja voznemu parku so že danes pridružene naprednejše storitve v obliki satelitskega elektronskega cestninjenja, samodejne aktivacije klica v sili (eCall), zavarovalniških izračunov z upoštevanjem profila vožnje (PHYD, PAYD) ter napredne pomoči vozniku za izogibanje trkom (ADAS). Tem se v zadnjih mesecih pridružujejo tudi uspešno preizkušeni koncepti samodejne vožnje (npr. Googlovo vozilo) in vsesplošne povezanosti med vozili samimi ter okoliško infrastrukturo v obliki kooperativnosti vozil (VANET). Slednje predstavlja zasnovo daljnosežnega cilja popolne avtomatizacije prometa z odpravo prometnih nesreč in drugih negativnih posledic zaradi človeškega faktorja.

Večino teh storitev označujemo kot ekonomsko ali varnostno kritične, saj lahko pri njihčasno odstopanje od pričakovane kvalitete povzroči večje ekonomske izgube ali ogrozi varnost udeležencev v prometu. Zato nekatere storitve v strojno arhitekturo vključujejo dodatne senzorje za zajem in obravnavo fizikalnih veličin, ki v splošnem v tehnologijah GNSS niso zajete

ali pa so podvržene drugačnim statističnim zakonitostim. Ti dopolnilni sistemi lahko zagotavljajo specifične podatke o kinematiki vozila (npr. pospeškometer, žiroskop, merilnik vrtenja koles, elektronski kompas, višinomer) in značilnostih okolice vozila (npr. video kamera, LIDAR, Dopplerjevi senzorji). Poleg lastnih dopolnitev se lahko navigacijska pomoč zagotavlja tudi v obliki od zunaj prejete pomoči preko geostacionarnih satelitov (SBAS), baznih postaj mobilnega omrežja (A-GPS) ali diferencialnega izračuna lokacije s podatki prizemnih referenčnih opazovalnic GNSS (DGPS).



Slika 2: Storitvena arhitektura v vozilu z dopolnilnimi sistemi

Množične storitve v cestnem prometu dopolnilne sisteme večkrat izpuščajo in lokacijsko informacijo pridobivajo zgolj iz satelitskega sprejemnika GNSS z minimalnim naborom dodatkov. Razlogi za samostojno izbiro so predvsem enostavnost izvedbe storitvenega terminala in vgradnje v vozilo, nižja cena zagona in vzdrževanja ter velika stopnja zaupanja sodobnim zmogljivim sprejemnikom z vgrajenimi mehanizmi odkrivanja motilnih signalov. Prav to pa za področje kritičnih cestnih storitev zahteva posebno obravnavo delovanja lokacijskega in aplikacijskega sklopa s podajanjem ocene zmogljivosti oz. kvalitete.

### 3 Ocena zmogljivosti lokacijskega sistema

Delovanje satelitskega sprejemnika je lahko moteno zaradi številnih znanih dejavnikov, kjer za področje cestnega prometa izstopajo večpotje signalov, zastiranje vidnosti satelitov z ovirami, neustrezna razporeditev vidnih satelitov s povišanimi faktorji odstopanja natančnosti (DOP) ter ionsferski vplivi na nosilno valovanje kot posledica Sončevih aktivnosti [3]. Ob tem lahko prihaja do degradacije storitev, zato je kvaliteto lokacijske informacije v storitvenem terminalu potrebno ustrezno ovrednotiti in povezati z zahtevami storitev.

Oceno stanja navigacijskega sistema se tipično podaja s štirimi parametri [4], ki izhajajo iz definicij v civilnem letalskem prometu: (1) natančnost, (2) razpoložljivost, (3) kontinuiteta in (4) integriteta.

Natančnost (1) predstavlja stopnjo ujemanja med izmerjeno in dejansko lokacijo opazovanega sprejemnika. Proizvajalci sprejemnikov v programski opremi podajajo pričakovano natančnost v obliki statistične obravnave napake pri poznanih porazdelitvah lokacije z navedbo območja zaupanja (npr. rms, CEP, 95 %).

Razpoložljivost (2) določa odstotek skupnega časa, ko so storitve sistema na voljo in delujejo v zahtevanih okvirih. Želena 100 % razpoložljivost je lahko

zmanjšana zaradi sprememb v konstelaciji satelitov (npr. slaba trenutna razporeditev na nebu, načrtovani servisni posegi, nenadne okvare) ali lokalnih posebnosti, kjer na vidnost satelitov vplivajo naravne ali umetne ovire ter druge motnje [5].

Kontinuiteta [3] podaja verjetnost zagotavljanja ustreznega nivoja storitev čez celoten časovni interval uporabe storitev. Ker so načrtovani servisni posegi v konstelaciji satelitov napovedani, v oceno tveganja niso vštet. K višanju možnosti izgube kontinuitete zato prispevajo predvsem nepredvideni dogodki, kot so odpovedi strojne in programske opreme na satelitih ter vsebinske napake njihovih navigacijskih sporočil.

Integriteta [4] označuje mero zaupanja v pravilnost informacij, sprejetih iz navigacijskega sistema. Ob zaznavi odstopanja lokacijskega sistema od določenih aplikacijskih norm se sproži dogodek izgube integritete, o čemer mora sistem uporabnika nemudoma obvestiti. Poleg zaznave odstopanja v delovanju pa lahko funkcije integritete omogočajo tudi analizo, izolacijo in odpravljanje anomalije, s čimer se mera zaupanja v pravilnost informacij lahko zopet poviša na zadovoljiv nivo.

### 4 Obravnava integritete

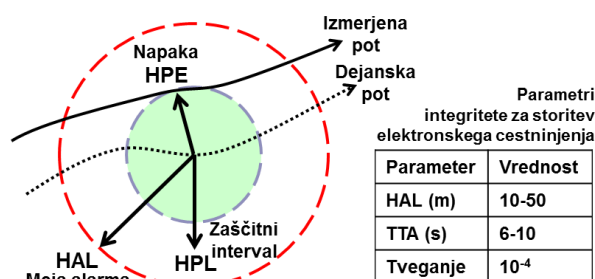
Obravnava integritete je pogojena s štirimi parametri: meja alarma, zahtevan čas odziva, tveganje integritete in zaščitni interval [5].

Meja alarma (AL, angl. Alert limit) predstavlja dopustno številčno mejo odstopanja, nad katero se sproži obveščanje o izgubi integritete. V primeru cestnih storitev se uporablja predvsem horizontalna komponenta meje (HAL), ki se določa za vsako aplikacijo posebej.

Čas obveščanja (TTA, angl. Time-To-Alert) predstavlja najdaljši dovoljeni čas od zaznave izgube integritete do proženja alarma. Zaradi različnih potreb aplikacij po delovanju v realnem času je tudi TTA določljiv za vsako aplikacijo posebej.

Tveganje integritete (angl. Integrity risk) predstavlja verjetnost, da kadar koli napaka v lociranju preseže mejo AL za daljši čas od intervala obveščanja TTA.

Zaščitni interval (PL, angl. Protection level) predstavlja polmer kroga s središčem na pravi lokaciji, ki vsebuje z meritvijo določeno točko s podano verjetnostjo lažnega alarma oz. zaznave. V kritičnih cestnih aplikacijah se horizontalni PL kontinuirano primerja s HAL, v primeru presegevanja meje alarma pa se le-ta sproži.



Slika 3: Ponazoritev parametrov integritete z navedenim primerom določenih vrednosti za storitev satelitskega elektronskega cestninjenja [7]

Ker postajajo mehanizmi določevanja integritete zahteva za vse kritične lokacijske storitve, obstaja že nekaj razširjenih arhitektur, ki vsebujejo ustrezne mehanizme za zaznavo in opozarjanje na napake. Razdelimo jih lahko v (1) satelitske, (2) prizemne in (3) avtonomne.

Satelitski sistem (1) je osnovan na pomoči geostacionarnih satelitov SBAS (angl. Satellite-Based Augmentation System), ki nadzirajo delovanje sistema GPS. Iz te družine deluje v Evropi sistem EGNOS (angl. European Geostationary Navigation Overlay Service) kot predhodnik pravega civilnega navigacijskega sistema GALILEO. EGNOS sateliti na nosilcu GPS L1 oddajajo navigacijska sporočila z diferencialnimi popravki satelitskih tirnic, ur in stanja ionosfere ter troposfere. S pomočjo signalov GIC (angl. GNSS/Ground Integrity Channel) zagotavljajo podatke o integriteti sistemov GNSS, kar je še posebej pomembno za področje letalstva in kritične ter ekonomsko občutljive cestne storitve [8].

Prizemni sistem (2) je osnovan na arhitekturi GBAS (angl. Ground-Based Augmentation System), ki zagotavlja pomoč iz sistemov v bližini storitvenega področja, npr. na območju letališč. Sistemi GBAS se za množične storitve cestnega prometa še ne uporabljajo, saj mobilni operaterji med svojimi storitvami še ne ponujajo dostave informacij v razpršenem načinu. Hkrati pa raba GBAS narekuje tudi kompleksno strojno opremo vzdolž cestnega omrežja in s tem povezane slabosti.

Če primerjamo uporabnost pristopov SBAS in GBAS glede na vrsto ponujene pomoči, lahko povzamemo, da SBAS zagotavljajo predvsem globalne popravke, ki veljajo za vse uporabnike na območju pokrivanja sistema (npr. Evropa). Obravnavo pojavov v lokalni okolici lahko prevzamejo sistemi GBAS, vseeno pa lahko na sprejemnik vplivajo tudi nekateri pojavi, ki so lastni posameznemu sprejemniku na določeni lokaciji (npr. večpotje signala, motnje v neposredni bližini antene). Zato avtonomna arhitektura (3) omogoča oceno integritete znotraj storitvenega terminala kar brez potrebe po zunanji pomoči. Določitev lahko v tem primeru poteka s pomočjo pridružitve lastnih pomožnih senzorjev (na sliki 2) ali pa avtonomno zgolj s podatki iz sprejemnika GNSS. Slednje področje je v raziskavah poznano pod akronimom RAIM (angl. Receiver Autonomous Integrity Monitoring).

## 5 Avtonomno določanje integritete

Avtonomno določanje integritete RAIM zaradi možnosti izvedljivosti v samem terminalu postaja temeljna zahteva za vse pomembne ekonomske in varnostno kritične storitve. Podatek o integriteti lokacijskega sistema je potreben, saj lahko rezultatu storitve zaupamo le, če je navigacijski sistem deloval v skladu s postavljenimi normami.

Pregled strokovne in znanstvene literature kaže na razvoj algoritmov, osnovanih na statističnih analizah izmerjenih psevdo-razdalj med navigacijskimi sateliti in sprejemnikom na zemeljskem površju. Sprejemnik s pomočjo predpostavk o distribuciji šuma satelitskega signala in z uporabo naprednega (npr. Kalmanovega)

filtriranja določi oceno lokacije, od katere se posamezne psevdo-razdalje razlikujejo za določen ostanek.

Kadar sprejemamo zadostno število satelitov, je možno posamezne meritve ustrezno ovrednotiti in določene označiti kot kvarne. Le-te v ponovnem izračunu ocene lokacije niso upoštevane, zato bo povprečen odklik izmerjenih razdalj od določene točke manjši. Tak pristop se imenuje postopek zaznave in izločanja FDE (angl. Fault Detection and Exclusion) oz. MRA (angl. Measurement Rejection Approach) [8]. Pri izločanju lahko pri manjšem številu sprejemanih satelitov naletimo na težavo pomanjkanja satelitov, saj je za zaznavo napake potrebnih najmanj 5, za izolacijo napačnega pa 6 različnih signalov [9]. Zato je v takih primerih smiselno integriteto obravnavati brez izločanja posameznih meritev, z upoštevanjem dodatnih vstopnih parametrov in razširjene obravnave [10].

Prav tako uporaba postopkov FDE ni primerna za uporabo pri množičnih nizkocenovnih sprejemnikih brez dostopa do absolutnih psevdo-razdalj, Dopplerjevih premikov in možnosti ponovnega preračuna rezultata. Aplikacija se tu lahko nanaša le na določitev integritete iz izhodnega niza podatkov, ki se podaja v formatu NMEA-0183. Primer razširjenega nabora stavkov NMEA iz sprejemnika uBlox 6 prikazuje Slika 4.

```
$GPRMC,060516.00,A,4657.04639,N,01526.89297,E,41.960,328.90,090714,,A*5E
$GPVTG,328.90,T,M,41.960,N,77.752,K,A*37
$GPGGA,060516.00,4657.04639,N,01526.89297,E,1,09,0.95,332.3,M,42.4,M,,*5B
$GPGSA,A,3,26,28,30,05,07,08,10,19,15,,1.55,0.95,1.23*05
$GPGSV,4,1,14,03,04,026,19,05,43,216,33,07,19,068,23,08,38,059,28*70
$GPGSV,4,2,14,09,59,056,34,10,10,174,19,15,31,301,35,17,01,142,*73
$GPGSV,4,3,14,19,08,033,19,21,03,316,22,24,00,256,,26,70,309,38*72
$GPGSV,4,4,14,28,64,114,31,30,48,062,29*72
$GPRGS,060516.00,1,0,0,-3.0,7.1,0.5,-1.6,1.3,-4.6,-9.3,0.2,,,*6B
$GPGST,060516.00,38,,,,4.2,3.8,6.5*56 Razširjen nabor stavkov NMEA
$GPGBS,060516.00,4.2,3.8,6.5,,,,*4B (opis vsebine pod sliko)
```

Slika 4: Primer razširjenega nabora stavkov NMEA-0183

Prvi stavki RMC, VTG in GGA podajajo osnovni nabor informacij o času, določeni lokaciji, višini geoida, hitrosti in smeri gibanja ter oceni trenutne konstelacije satelitov (DOP). Stavka GSA in GSV prikazujeta podatke o vidnih satelitih z navedbo njihove identifikacije, višinskega kota, ravninskega kota, razmerja C/N0 in vključenosti v končni izračun. Zaradi omejitve prostora GSA prikazuje le omejen nabor podatkov (do največ 12 satelitov) z dodanimi odstopanji konstelacije DOP v vertikalni in horizontalni smeri ter 3-D kombinaciji (PDOP).

Označeni stavki GRS, GST in GBS predstavljajo razširjen nabor informacij, ki je sicer standardiziran, a v množičnih sprejemnikih dosegljiv le ponekod. V večini se proizvajalci končnih naprav, npr. GPS-snemalnik, osredotočajo zgolj na zajem in shranjevanje informacij o lokaciji, hitrosti in času (PVT). Razlogi so večkrat v ozkem grlu, ki ga predstavlja serijska povezava nižjih hitrosti (9600 bit/s), v razpoložljivi velikosti pomnilnika za shranjevanje, kjer 1 ura snemanja brez sprotnega zgoščevanja zajetega besedila zasede do 1,5 MB prostora. Stavka GRS podaja ostanke psevdo-razdalj po izračunu lokacije, za vsakega od 9 satelitov, zajetih v stavku GSA.

Tabela 1: Prikaz ostankov psevido-razdalj za podan primer

ID	26	28	30	05	07	08	10	19	15
$\delta_{PR}$	0,0	-3,0	7,1	0,5	-1,6	1,3	-4,6	-9,3	0,2

Vsota kvadratov ostankov psevido-razdalj  $\delta_{PR}$  znaša v podanem primeru  $171,6 \text{ m}^2$ , kar se v literaturi označuje kot SES (angl. Sum of Squares of Errors). Ker lahko integriteto ocenimo šele pri številu satelitov  $n > 4$ , se pri  $n = 9$  soočamo z  $(n - m = 5)$  prostostnih stopenj. Utežena napaka se torej določi kot  $\sigma' = \text{SQRT}(\text{SSE}/5) = 5,85 \text{ m}$ . Po [11] mejna vrednost odstopanja pri 9 satelitih in pričakovano verjetnostjo napačnega proženja alarma  $P_{FA} = 10^{-7}$  znaša  $\sigma_T = 17,15 \text{ m}$ . Ker je  $\sigma'$  v podanem primeru manjša od določene mejne vrednosti  $\sigma_T$ , lahko sklepamo, da vsi sateliti delujejo skladno s pričakovanji in integriteta ni ogrožena [11].

Stavek GST podaja statistiko določitve lokacije v obliki standardnega odklona v smereh zemljepisne širine, širine in višine. Stavek GBS odraža delovanje algoritma RAIM v samem sprejemniku, če je le-ta podprt in omogočen. V splošnem se uporaba te funkcije brez poglobljenega premisleka odsvetuje, saj lahko z eliminacijo kvarnih meritev znižamo število satelitov na nivo, ki ne zadošča več lociranju ( $n < 4$ ).

## 6 Akcija COST SaPPART

Akcija COST SaPPART [12] s slovenskim naslovom »Ocenjevanje učinkov delovanja satelitskega lociranja na cestni promet« predstavlja iskanje odgovorov na številna odprta vprašanja, ki danes ovirajo procese standardizacije in certificiranja opreme za rabo satelitskega določanja lokacije v storitvah cestnega prometa. Skozi skupno delo v letih 2013-2017 bomo eksperti s področij GNSS, ITS in mobilnosti skušali zagotoviti poenoteno storitveno ogrodje za ocenjevanje možnega vpliva segmenta GNSS na lokacijske storitve. Glavni izziv pri določevanju ključnega indikatorja zmogljivosti storitev (KPI) predstavlja odvisnost med lokacijskim in aplikacijskim sklopom s poudarkom na različnih okoljskih in dinamičnih scenarijih. Zato je izvedbeni del akcije razdeljen v dve glavni delovni skupini (WG) in dve dodatni ekipi za opravila (TF).

WG1	WG2	TF1	TF2
Pregled stanja & analiza zahtev aplikacij	Metodologija ocenjevanja zmogljivosti	Podpora standardizaciji in certifikaciji	Diseminacija
Pričakovani rezultati	Pričakovani rezultati	Pričakovani rezultati	Pričakovani rezultati
- Bela knjiga o uporabi lociranja GNSS v storitvah ITS - Metodologija povezovanja zmogljivosti GNSS s KPI aplikacij	- Pregled EU-stanja - Navodila za generične testne procedure - Nabor podatkov iz simulacij in realnih voženj	- Pregled standardov - Akcijski načrt - Podpora akciji	- Spletna stran - Novice in katalogi - Izdaja publikacij - Izvedba delavnic - Izobraževanja

Slika 5: Sestava in pričakovani rezultati akcije SaPPART [12]

Prvi avtor pričujočega prispevka je kot nacionalni predstavnik aktivno udeležen v skupinah WG2 in TF2 z začrtanimi cilji na področju analize lokacijskih terminalov in izvajanju diseminacije. V letu 2014 v WG2 potekajo analize konfiguracij in arhitektur terminalov GNSS s poudarkom na hibridizaciji postopkov lociranja z dopolnilnimi sistemi, prikazanimi na sliki 2. V nadaljevanju izvajanja akcije bodo za

referenčno arhitekturo določeni nabori izhodnih podatkov in metrike določanja zmogljivosti, podani pa bodo tudi predlogi za uvedbo storitvenih razredov, skladno s poznavanjem razpoložljivosti, natančnosti, integritete in odpornosti na varnostna tveganja.

## 7 Sklep

Opisano področje spremljanja in ocenjevanja zmogljivosti satelitskih lokacijskih storitev za cestni promet predstavlja v evropskem prostoru velik raziskovalni in povezovalni izziv. Na eni strani razvijalci ustvarjajo nove koristne aplikacije ITS, katerih kvaliteta delovanja je močno povezana z zmogljivostmi satelitskega sistema, na drugi strani pa standardizacija znotraj ETSI ne zmore predpisati ustreznih norm, ki bi zagotovile ustrezen storitveni nivo.

Zato je v teku akcija COST SaPPART, ki ima za glavno nalogo ravno povezati ponudnike storitev in akterje na področjih standardizacije s podajanjem generične storitvene arhitekture ter metrike za njeno ocenjevanje. Z njenimi rezultati bo omogočeno hitrejše uvajanje sedanjih in bodočih storitev na področju cestnega prometa in širših inteligentnih transportnih sistemov z visokimi stopnjami zaupanja in razpoložljivosti.

## Literatura

- [1] C. des Dorides, "October 2013 GNSS Market Report – Issue 3", European GNSS Agency, oktober 2013.
- [2] Uradni list EU, Direktiva 2004/52/ES, april 2004. Dosegljivo na: [http://www.dars.si/Dokumenti/1\\_temeljni\\_dokumenti/Direktiva\\_2004\\_52\\_ES.pdf](http://www.dars.si/Dokumenti/1_temeljni_dokumenti/Direktiva_2004_52_ES.pdf)
- [3] A. Štern, J. Bešter, "Zasnova opozorilnega sistema na odstopanje storitev GNSS," Zbornik 21. mednarodne konference ERK 2012, zvezek A, str. 57–60.
- [4] W. J. H. T. Center, "Global Positioning System (GPS) Standard Positioning Service (SPS) Performance Analysis Report," Marec. FAA, str. 1–61, 2014.
- [5] D. Borio et al, "GNSS Jammers: Effects and counter-measures," 6th ESA Workshop (Navitec 2012), 2012.
- [6] C. Salós, "Integrity monitoring applied to the reception of GNSS signals in urban environments," Doktorska disertacija, Univerza v Toulousu, 2012.
- [7] G. Gargiulo et al, "GNSS Integrity and protection level computation for vehicular applications". Proceedings of 16th Ka and broadband communications. Januar 2010.
- [8] J. Cosmen-Schortmann et al, "Integrity in urban and road environments and its use in liability critical applications," 2008 IEEE/ION Position, Locat. Navig. Symp., 2008.
- [9] I. Skog, P. Handel, "In-Car Positioning and Navigation Technologies - A Survey," IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 10, no. 1, str. 4–21, 2009.
- [10] X. Lin et al, "Research on the Method of Eliminating Gross Error of GPS Output," 4th Intern. Conference on Information and Computing, str. 46–49, 2011.
- [11] E. Wang et al, "GPS Receiver Autonomous Integrity Monitoring Approach Based on Pseudorange Residual Message," in Software Engineering and Knowledge Engineering, vol. 162, str. 755–762, Springer, 2012.
- [12] Spletna stran COST akcije SaPPART. Dosegljivo na: [http://www.cost.eu/domains\\_actions/tud/Actions/TU1302](http://www.cost.eu/domains_actions/tud/Actions/TU1302)