



Klemen Krejač,
Milan Žvan, Blaž Lešnik, Milan Čoh, Matej Supej

Uporaba novega L1 RTK GNSS sprejemnika na primeru alpskega smučanja

Izvleček

Vsakodnevne uporabe navigacijskih sistemov že skoraj ne opazimo več. Globalni satelitski navigacijski sistem (GNSS) je integriran v številne elektronske naprave, njegovo delovanje pa ni moteče. V športu je uporaba dobrodošla predvsem za spremljanje in analiziranje treningov in tekem ter s tem povezanega napredka. V evropskem prostoru sta najširše uporabljena sistema ameriški GPS in ruski GLONASS. Najučinkovitejša je hkratna uporaba obeh. Sprejemniki so z razvojem tehnologije vse manjši in vse lažji in s tem tudi manj moteči za uporabo. Pri meritvah alpskega smučanja smo uporabljali, novorazviti, enofrekvenčni »Real-Time-Kinematic« (L1 RTK) GNSS-sistem, ki v realnem času, s popravki iz referenčne postaje izboljšuje natančnost merilnega sprejemnika (rover). Iz tako pridobljenih podatkov lahko natančno analiziramo smučarjevo trajektorijo in hitrost. Tak sistem v praksi dosega visoko natančnost, praviloma med 3 in 8 cm v horizontalni ter 6 in 13 cm v vertikalni smeri.

Ključne besede: sprejemnik GNSS, L1 RTK, GNSS, GPS, GLONASS, natančnost, študija primera

Use of the new L1 RTK GNSS receiver in the case of alpine skiing

Abstract

Nowadays we hardly notice the daily use of navigation systems. The Global Navigation Satellite System (GNSS) is being integrated into many electronic devices and its operation is not distracting. In sports, it is popularly used especially for monitoring and analyzing training sessions and competitions. In the European area, the most widely used systems are the American GPS and the Russian GLONASS, and the most effective is the simultaneous use of both. As the technology develops, the receivers are becoming smaller and lighter, and therefore less intrusive in use. In the measurement of alpine skiing, we used the newly developed single-frequency »Real-Time Kinematic« (L1 RTK) GNSS system, which enhances the accuracy of the receiver (rover) in real time using corrections from the reference (base) station. Using the data obtained in this way, we can accurately analyse the trajectory and speed of the skier. Such a system achieves a high accuracy in practice, in most cases between 3 and 8 cm horizontally and between 6 and 13 cm vertically.

Key words: GNSS receiver, L1 RTK, GNSS, GPS, GLONASS, precision, case study

■ Uvod

Globalni satelitski navigacijski sistemi (GNSS) so dandanes nekaj vsakdanjega in se njihove uporabe niti ne zavedamo. Najdemo jih v urah, mobilnih telefonih, avtomobilih in v mnogo drugih elektronskih napravah. Uporaba je vse bolj preprosta in do uporabnikov prijazna. Sistemi GNSS so namenjeni določanju položaja na Zemlji. Položaj določajo s sateliti v zemeljski orbiti, sistem pa sestavljajo vesoljski, kontrolni in uporabniški segment (GNSS, 2021). Kako natančno bomo izmerili naš položaj na Zemlji, je odvisno od uporabe sprejemnika in metode, ki ju uporabljamo. Poznamo naslednje sisteme GNSS: GPS (ZDA), GLONASS (Rusija), Galileo (Evropa), Beidou (Kitajska), itd. Uporabljamo enega ali kombinacijo več sistemov, kar nam z večjim številom vidnih satelitov pomaga predvsem pri določanju položaja in njegovi natančnosti na urbanih

območjih, v bližini stavb, dreves in drugih ovir, ki zastirajo vidljivost satelitov.

Uporaba naprav za sledenje športnikom, ki temeljijo na GNSS, se hitro povečuje. Potrjevanje natančnosti GNSS je pomembno, da se omogoči kakovostna in zanesljiva analiza (Luteberget in Gilgien, 2020). »Real-Time-Kinematic« (RTK) GNSS-sistem je za študij alpskega smučanja zelo uporaben, saj omogoča zajem gibanja na celotni progi, oziroma po celotnem smučišču, hkrati pa je zajemanje več ponovitev razmeroma hitro in preprosto (Supej, 2010).

V naši raziskavi nas je v študiji primera zanimala uporabna vrednost in natančnost enofrekvenčnega L1 RTK GNSS-sprejemnika pri alpskem smučanju.

RTK-metoda določanja položaja je tehnika relativnega pozicioniranja, ki v realnem času meri položaj dveh anten oziroma spreje-



mnikov GNSS med seboj. Ena antena oziroma sprejemnik je nameščen na statični točki s stalnimi koordinatami in je znan kot bazna postaja. Druga antena in sprejemnik pa sta pri alpskem smučanju nameščena na smučarjevem hrbtu v višini ramen in jo imenujemo rover. Natančnost določanja položaja z RTK se zmanjšuje, ko se razdalja med bazno postajo in roverjem povečuje. L1 v tem primeru pomeni frekvenco signala, ki jo zajemata antena in sprejemnik.

Izmerki sistemov GNSS so običajno zapisani v obliki stavkov NMEA (National Marine Electronics Association). Namen protokola NMEA je uporabnikom opreme dati možnost mešanja in usklajevanja strojne in programske opreme. Podatki GNSS, oblikovani v NMEA, razvijalcem programske opreme olajšajo tudi pisanje programske opreme za najrazličnejše sprejemnike GNSS, namesto da bi morali pisati vmesnik po meri za vsak sprejemnik ločeno (Gakstatter, 2015).

Metode

Pri meritvah je bil uporabljen L1 RTK GNSS-sistem (jedro navigacijskega sistema je od proizvajalca Ublox), ki lahko svoje podatke v realnem času pošilja v tablice oziroma telefone Android. Sistem podatke zajema s frekvenco 5 Hz. Programsko okolje SentexGNSS v sistemu Android omogoča v telefonu zajem podatkov (datalogger) in izkoriščanje v tablici oziroma telefonu vgrajenih inercialnih senzorjev, ki se jih sinhronizirano zajema. Najpomembnejši so signali GNSS in tisti iz inercialnih senzorjev. Najprimernejši (čim manjša velikost oziroma teža, avtonomija baterije, berljivost na soncu itd.) za te potrebe so pametni telefoni z vgrajenimi ustreznimi inercialnimi senzorji, prenosom podatkov in najmanj zmožnostjo povezovanja z brezžično povezavo BT 4.0 LE.

Merjenci so nosili štartno številko z biomehansko merilno opremo, torej L1 RTK GNSS-rover. Ta visoko ločljiv in visoko natančen rover hkrati sledi ameriške satelite GPS in ruske GLONASS ob dobri

vidljivosti oziroma razpoložljivosti satelitov in določa položaj z nekajcentimetrsko natančnostjo. S povezavo »bluetooth« je povezan s pametnim telefonom (v primeru te študije Huawei P30 LITE), ki ima vgrajen triosni pospeškometer in triosni žiroskop. Vsi senzorji in oprema so zadoščali najvišjim standardom biomehanskih raziskav in niso povzročali nikakršnega škodljivega vpliva na zdravje ali počutje. Merilni instrumenti niso ovirali smučarjev pri izvajanju dejavnosti. Meritve so bile popolnoma anonimne. Poleg GNSS-sistema, ki so ga nosili merjenci, je bila na prelomnici smučišča postavljena tudi referenčna postaja (baza). Ta je bila ves čas z radijsko zvezo povezana z roverjem na merjencu. Prav ta bazna postaja omogoča RTK-korekcije in s tem višjo natančnost GNSS-sistema.

Omenjene meritve smo izvedli na smučišču Rogla, natančneje na progi Košuta. Merjenec je bil izbran naključno, večinoma je šlo za študente Fakultete za šport (Univerza v Ljubljani) in druge smučarje različnih starostnih in kakovostnih skupin. Merjenci so preizkušali različne pare smuči, ki so se razlikovale v stranskem loku in dolžini. Z merilnim sistemom smo izmerili položaj (trajektorijo smučanja), hitrost in pospeške. Z biomehanskim modeliranjem pa lahko izračunamo tudi druge biomehanske parametre. Z izbranimi spremenljivkami in omenjenimi podatki smo želeli preveriti natančnost L1 RTK GNSS-sistema v različnih pogojih.

Merjenec je pred začetkom vsakega spusta naredil tri globoke počepi, da smo lahko na podlagi vertikalnega premikanja antene v podatkih določili njegov štart. Smučalo se je poljubno od začetka do konca smučišča. Če je bilo varno, je bilo treba spust opraviti brez ustavljanja. Vsi spusti so posneti z videokamero, da lahko odstopanje podatkov preverimo s sliko. Videoposnetki so bili posneti tako, da so se videli trije počepi pred spustom, kar je omogočalo ročno sinhronizacijo podatkov za lažjo analizo. Pred spustom in po njem smo preverili opremo, da smo zagotovili delovanje telefona in navigacijskega sistema.

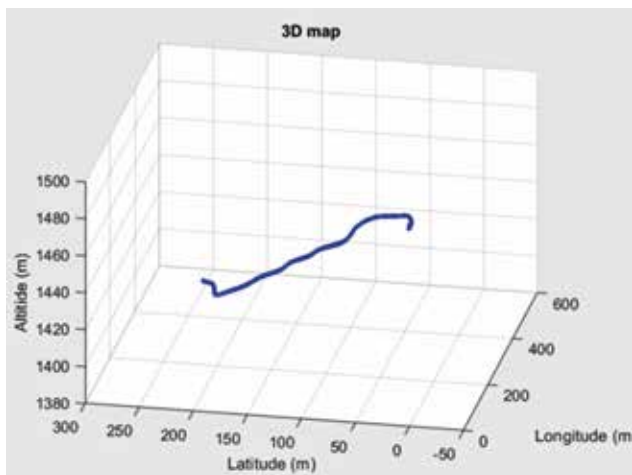
Surove podatke smo obdelali v programskem okolju MATLAB (verzija R2020a, The Math Works, Inc., Velika Britanija). V programu smo uporabili ustrezno zaporedje ukazov, ki nam je podatke, pridobljene neposredno iz sistema GNSS in telefona, združilo ter ustvarilo ustrezne grafe in izpise. V nadaljevanju smo pridobljene podatke uredili v programu Microsoft Excel (verzija 2019, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, ZDA), kjer smo preverili morebitne napake in ustrezno ujemanje.

Rezultati in razprava

Pri obdelavi podatkov, v programskem okolju MATLAB, smo lahko analizirali več zanimivih grafov. Najbolj zanimivi so grafi, ki prikazujejo natančnost L1 RTK GNSS-sistema, vidimo pa lahko tudi hitrosti in trajektorije smučarja.

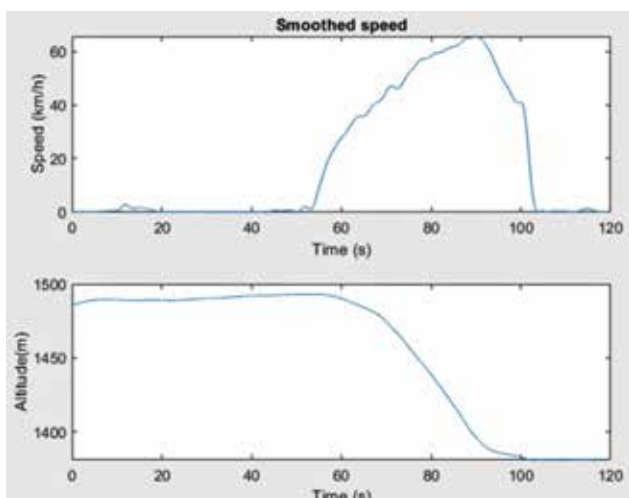
Na Sliki 1 je v 3D-modelu predstavljena trajektorija smučanja. Narisana je glede na spremembo položaja smučarja v času in razliko od izhodiščnega položaja. Imamo tri parametre: zemljepisno širino, zemljepisno dolžino in nadmorsko višino (os x, y in z). Vidimo, da je smučar smučal z daljšimi in bolj odprtimi zavoji.

Dodatno lahko na Sliki 2 vidimo, kako se, glede na čas, spreminjata nadmorska višina smučarja in njegova hitrost. V prvi minuti merjenja opazimo stalno vrednost, kar pomeni, da je smučar stal na mestu in čakal na znak za začetek smučanja. V cilju znova opazimo stalno vrednost, saj so smučarji čakali, da smo preverili navigacijski sistem. Iz grafa lahko razberemo, da je bila največja izmerjena hi-



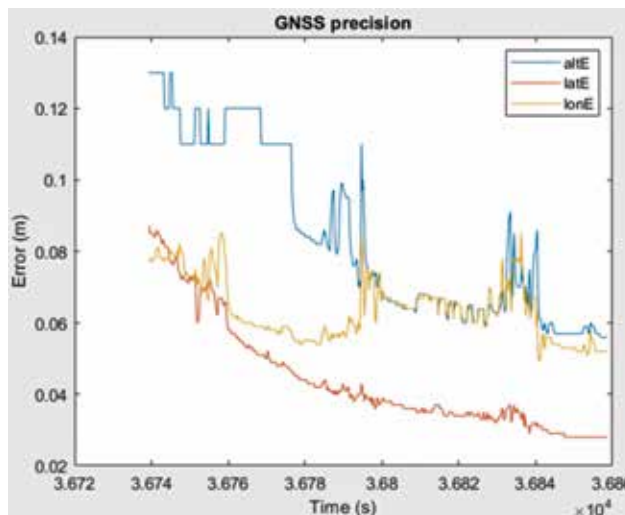
Slika 1. Sled smučanja v 3D-prostoru

trost dobrih 65 km/h. Smučar je stopnjeval hitrost, na koncu pa se je v kratkem času ustavil. Iz krivulje nadmorske višine vidimo, da je začel smučar na 1492 metrih nadmorske višine, končal pa na 1381 metrih nadmorske višine. Padec krivulje je v srednjem delu razmeroma enakomeren, hitrost se giblje med 55 in 65 km/h (razmeroma stalna), iz česar lahko sklepamo, da je tudi naklonina v tem delu razmeroma enakomerna.



Slika 2. Hitrost in nadmorska višina smučanja

Na Sliki 3 lahko, z vidika te študije, spremljamo enega najpomembnejših grafov, to je graf natančnosti sprejemnika GNSS oziroma signala. Graf prikazuje vrednosti, ki jih tak napreden L1 RTK GNSS-sprejemnik ob določitvi položaja generira samostojno. Na natančnost določanja položaja lahko vpliva več dejavnikov, eden pomembnejših je postavitve bazne postaje čim bolj na odprtem (brez okoliških dreves, stavb in podobnih objektov, ki bi motili sprejem signalov iz satelitov) in na kraj, ki omogoča vidno povezavo med bazo in roverjem (zagotavljanje dobre medsebojne radijske zveze). Pri analiziranem smučarju vidimo visoko natančnost, ki se je med meritvijo še povečevala. Na grafu lahko vidimo tri različne barvne krivulje, ki predstavljajo natančnost nadmorske višine, zemljepisne širine in zemljepisne dolžine. Vrednosti so se gibale okoli 6 cm, najboljša vrednost je bila celo manj kot 3 cm. Kot običajno je pri GNSS-sistemih nadmorska višina najslabše določena.



Slika 3. Natančnost GNSS-sprejemnika

Zaključek

Študija primera je bila izvedena uspešno. Pokazala nam je kaj z L1 RTK GNSS-sistemom neposredno izmerimo pri smučanju: trajektorijo gibanja, hitrost smučanja, nadmorsko višino in natančnost določanja položaja za vsako koordinatno os posebej. Mogoče pa je izračunati tudi druge parametre, kot so radij zavijanja, dolžine poti, približek velikosti sile reakcije podlage, itn. Iz prikazanega primera se lepo vidi, da se natančnost določanja položaja med smučanjem spreminja, kar je odvisno od številnih dejavnikov. V našem primeru se je horizontalna natančnost gibala med 3 in 8 cm, vertikalna pa med 6 in 13 cm. Paziti moramo, da meritve izvajamo na odprtem in da so zaradi boljše natančnosti radijske postaje med seboj vidne. Celoten sistem je kompakten in enostaven za uporabo, vendar potrebujemo ustrezno programsko opremo. Na telefonu lahko podatke spremljamo v realnem času, kar uporabo zelo olajša in omogoča takojšnjo analizo kakovosti zajemanja. Za dodatno analizo smučanja je podatke treba obdelati. Izvedli smo jo v programskem okolju MATLAB. Sistem vidimo kot zelo uporaben za analizo in spremljanje športov na prostem. Strojna oprema je majhna in lahka ter omogoča uporabo tudi v zelo dinamičnih športih in v daljšem časovnem obdobju.

Literatura

- Gakstatter, E. (2015). *What Exactly Is GPS NMEA Data?*
- GNSS. (2021). Pridobljeno s <https://gu-signal.si/gnss/>
- Luteberget, L. S. in Gilgjen, M. (2020). Validation methods for global and local positioning-based athlete monitoring systems in team sports: a scoping review. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 6(1), e000794. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2020-000794>
- Supej, M. (2010). 3D Measurements of alpine skiing with an inertial sensor motion capture suit and GNSS RTK system. *Journal of Sports Sciences*, 28(7), 759–769.

Klemen Krejač, mag. kin.
Raziskovalec na Fakulteti za šport
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
klemen.krejac@fsp.uni-lj.si