

Opazovanja GNSS motenj na polarnem območju Antarktike

Matej Bažec¹, Franc Dimc¹, Aljaž Blatnik², Blaž Bertalančič³

¹Fakulteta za pomorstvo in promet, Pot pomorščakov 4, 6320 Portorož

²Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana

³Inštitut Jožef Stefan, Jamova ulica 39, 1000 Ljubljana

E-pošta: matej.bazec@fpp.uni-lj.si

Observation of GNSS interference in the Antarctica polar region

Global Navigation Satellite System (GNSS) interferences pose a significant challenge to positioning reliability, particularly in polar regions where incoming signal geometry can degrade performance. This study presents in situ observations of GNSS signal disturbances recorded aboard the research vessel Laura Bassi operating in the Antarctic region. Using a custom made board using commercially available GNSS receiver components, the interference presence was monitored by various parameters.

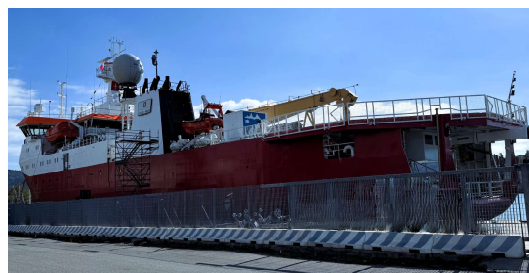
Contrary to the expectations, some interferences were detected. Although those were mostly in expected areas during the journey that were not directly specific to the polar area (like ports and other high density traffic crossings), some of the interferences were observed even on the Antarctica shore. A simple survey of this data is presented and so is the receiver response.

1 Uvod

GNSS sistemi so postali nepogrešljiv del v navigaciji. Brez njih si ne moremo predstavljati pojava avtonomnih plovil, ki delujejo sočasno z raznimi robotskimi platformami[1]. Vzporedno z njihovo uporabo pa se je močno razširilo tudi namerno motenje in potvarjanje. Zaradi šibkih signalov, ki jih tej sistemi oddajajo, so ti zelo občutljivi tudi a nenamerne motnje. Vse te motnje slabšajo oziroma onemogočajo določanje položaja. Še posebej ima lahko pojav motenj negativen vpliv v polarnih območjih, kamor navigacijski sateliti ne sežejo in je določanje položaja že zaradi geometrije postavitve satelitov slabše. Poleg tega so ta območja še posebej izpostavljena ionosferskim vplivom in ekstremnim vremenskim vplivom, ki pogosto vodijo k pojavu ledu na sprejemnih antenah[2]. Večina obstoječe literature se osredotoča bodisi na meritve na fiksnih raziskovalnih postajah[2, 3], ali na simuliranih situacijah z uporabo ionosferskih modelov migotanja (scintilacijskih modelov)[4].

V ta namen smo v sodelovanju z italijanskim nacionalnim inštitutom za oceanografijo in eksperimentalno geofiziko (OGS) postavili na raziskovalno ladjo Laura Bassi sprejemnik GNSS signala. Laura Bassi je ledolomilec tipa PC5 razreda A (slika 1) in je bila poslana na odpravo na Antarktiko med 7. oktobrom 2024 in 24. aprilom 2025. Sprejemnik je bil postavljen nad mostom,

kjer so postavljene tudi druge komunikacijske antene in je tudi najvišji del ladje.



Slika 1: Slika raziskovalne ladje Laura Bassi.

Ladja je izplula iz Trsta, prečkala Atlantski ocean in Panamski prekop. Od tam je plula do Christchurcha na Novi Zelandiji. Dvakrat se je podala do baze Mario Zucchelli na Antarktiki (ladja služi tudi kot oskrbovalna ladja za to raziskovalno bazo) (slika 2). Med eni od teh odprav je hkrati sondirala Rossovo morje primarno zaradi batimetrije morskega dna in odvzemanja morskih vzorcev. Nato se je vrnila ob Ognjeni Zemlji mimo Atlantskega oceana in Sredozemskega morja nazaj do Trsta.



Slika 2: Poti ladje Laura Bassi od Christchurcha (NZ) do Rossovega morja ob Antarktiki.

2 Metodologija

Sprejemnik (slika 3) je bil razvit v Laboratoriju za sevanje in elektrooptiko FE s strani Aljaža Blatnika (soavtor prispevka). Temelji na čipu U-blox MAX-M10S, ki je enofrekvenčni (L1) večsistemski GNSS sprejemnik. Sprejemnik je bil povezan z zunanjo aktivno generično

anteno, ki je optimizirana za sprejem v omenjenem frekvenčnem pasu. Naprava si je beležila sledeče stavke UBX protokola: NAV-PVT (lega, hitrost in čas), NAV-SAT (stanje satelitov), MON-SPAN (spektralni analizator), MON-RF (radiofrekvenčna diagnostika), RXM-MEASX (pseudorazdalje in fazni podatki) in RXM-RLM (sporočila v sili sistema Galileo). Čeprav lahko sprejemnik v principu sprejema sporočila vseh štirih globalnih sistemov (GPS, Glonass, Galileo in Beidou), smo iz sprejema izpustili Glonass zaradi predhodnih testov, ki so nakazovali na težave s stabilnostjo in statusom satelitov tega sistema. Večina stavkov se je shranjevala s frekvenco 5Hz, razen obeh MON stavkov, ki sta se shranjevala s frekvenco 1Hz. RXM-RLM je seveda izjema in se je shranjeval, ko se je pojavil. Podatki so javno dostopni[5] in so bili nedavno poslani v objavo.



Slika 3: Slika sprejemnika s pripravljenimi režami za SD kartice.

Iz omenjenih stavkov se da razbrati lego, čas, konstelacijo vidnih satelitov in njihovi parametri (elevacija, azimut, CNR razmerje nosilnega signala proti gostoti šuma ...), podatke za fazno določanje lege (pseudorazdalja in fazni podatki), močnostni spekter, vrednost ojačitve na avtomatskem upravljanju ojačitve (AGC), magnituda faznega in kvadraturnega signala, njuna uravnoteženost, nivo šuma, delež potlačitve kontinuiranega vala ...

3 Rezultati

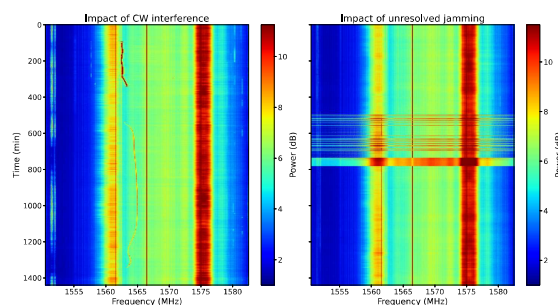
Grob prelet podatkov kaže, da se nekatere motnje pojavijo, vendar jih še nismo uspeli kvantificirati. Nekaj statistike smo vendarle uspeli narediti in sicer na vrednosti ojačitve na AGC. Poznavanje te vrednosti je dober pokazatelj prisotnosti motenj[6, 7], saj se ta mora prilagajati na način, da analogno-digitalni pretvornik (ADC) ne preide v nasičenje. Njeno znižanje tipično pomeni prisotnost motnje. Tabela 1 kaže delež zajemanj z dano vrednostjo ojačitve. Vidimo, da je v veliki večini primerov ta bila 16dB. Majhno odstopanje (navzgor ali navzdol) tipično še ne pomeni motnje. Torej lahko sklepamo z veliko mero gotovosti, da je bila motnja prisotna, ko je ta vrednost bila 8dB ali manj. Skupno se je to zgodilo zgolj v 0,042% vseh zajetih vzorčenj.

Vsaka prisotnost ne predstavlja nujno odpovedi delovanja sprejemnika. Motnje, ki so se pokazale na poti so bile tako take, ki niso onemogočile delovanja, kot take, ki so. Na sliki 4 vidimo primer dveh takih motenj v reprezentaciji vodnega slapa. Narisana sta enodnevna preleta.

Tabela 1: Število vzorčenj z dano vrednostjo ojačitve na AGC in njihov delež.

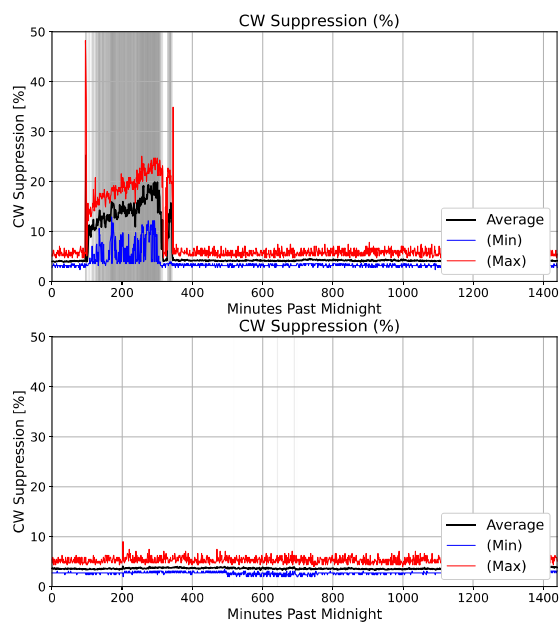
Ojačitev [dB]	Št. vzorčenj	Delež [%]
3	3383	0.0196
5	1527	0.0089
8	2330	0.0135
11	4740	0.0276
13	13282	0.0772
16	17162127	99.78
19	12072	0.0702
Skupaj	17199461	100

Na levi strani je prikazan pojav kontinuiranega vala (z rahlo drsečo frekvenco) v bližini obale Antarktike. Ta ni bistveno motil sprejemnika, saj se je motnja pojavila v območju spektra, ki je že izven območja oddajanja satelitov. Zaradi tega lahko sklepamo, da je ta motnja zelo verjetno nenamerna. Po drugi strani pa na desni strani vidimo motnjo, ki je onemogočila sprejem. Ta se je pojavila v pristanišču Lyttelton v Christchurchu.

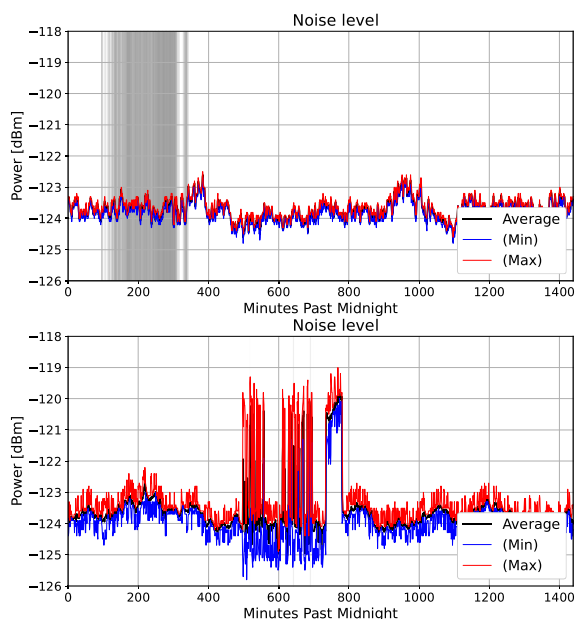


Slika 4: Upodobitev vodnega slapa za primera motnje, ki ne onemogoči sprejemnika (levo), in tiste, ki ga (desno). Obe sliki prikazujeta stanje enega dne. Vrednosti močnostnega spektra so povprečene na eno minuto.

Vpliv na sprejemnik lahko razberemo tudi iz radiofrekvenčnih podatkov sprejemnika. Na sliki 5 vidimo, kako je sprejemnik zadušil neželen zvezni val. V obeh primerih je bila prisotna motnja, vendar je v zgornjem primeru sprejemnik zadušil moteči zvezni val, ki je bil zadosti izven območja GNSS signalov, medtem ko v spodnjem primeru tega ni mogel narediti. Da je bila motnja zares prisotna, lahko sklepamo npr. iz nivoja šuma (slika 6 spodaj), kjer se lepo vidi znatno povečanje šuma med približno 500-to in 800-to minuto po polnoči. V primeru uspešne ublažitve se je to poznalo na nivoju šuma (slika 6), magnitudi sofazne komponente (slika 7) in na neuravnoteženosti istega signala (slika 8). V primeru uspešne ublažitve je šum ostal v mejah normalnega delovanja, v neuspešnem primeru pa se je znatno povečal. Prav tako vidimo, da se v primeru uspešne ublažitve neuravnoteženost in magnituda sofazne komponente ne spremenita pri uspešnem blaženju, medtem ko se v primeru neuspešnega dušenja ta znatno povečata.



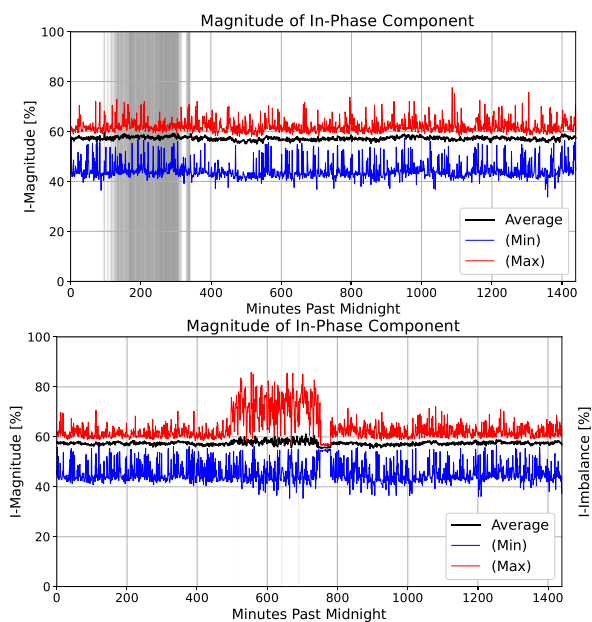
Slika 5: Dušenje zveznega vala. Zgoraj v primeru uspešnega sprejema, spodaj v primeru neuspešnega sprejema (med sicer uspešnimi sprejemi). Zasenčeno območje označuje območje, kjer je sprejemnik zaznal in uspešno ublažil motnjo. Podatki so povprečeni na minuto. Poleg tega so narisani še minimumi in maksimumi.



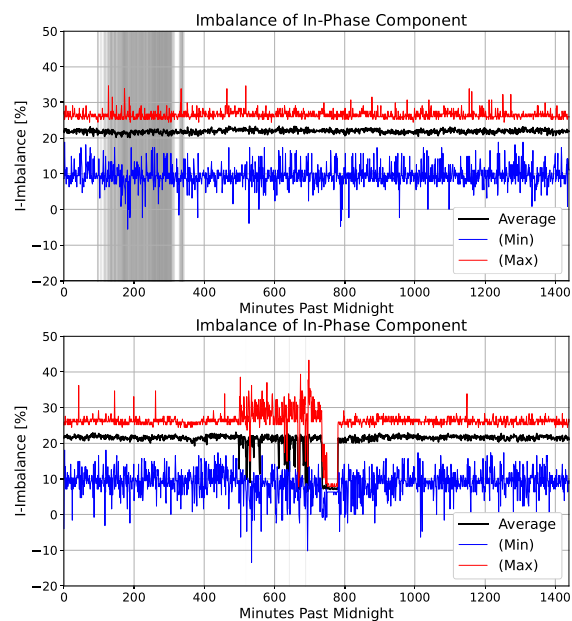
Slika 6: Nivo šuma za ista primera kot na sliki 5. Tudi podatki so obdelani in prikazani na isti način.

4 Zaključek

Podatki zbrani na misiji ladje Laura Bassi na območje Antarktike predstavljajo neprecenljivo vrednost za raziskovanje ne samo prisotnosti motenj, temveč tudi za izzive povezane z določitvijo lege na področjih izven neposrednega preleta navigacijskih satelitov. V obeh smereh nameravamo nadaljevati začeto delo. Zaradi obsežne



Slika 7: Magnituda sofazne komponente za ista primera kot na sliki 5. Tudi podatki so obdelani in prikazani na isti način.



Slika 8: Neuravnoteženost sofazne komponente za ista primera kot na sliki 5. Tudi podatki so obdelani in prikazani na isti način.

vsebine podatkov je njihova obdelava zamudna saj predstavlja velik zalogaj tudi za strojno obdelavo.

Prvi korak predstavlja kvantifikacija prisotnosti motenj predvsem v smislu (ne pa zgolj v njem) obdelave, ki smo jo že opravili v prejšnjih raziskavah [8]. Na podlagi tega bomo lahko naredili analizo prisotnosti motenj pri navigaciji tako v običajnih območjih, kot tudi na polarnih.

Drugi del obdelave podatkov pa bi slonel na analizi določanja položaja pri zahtevnih geometrijskih pogojih, ki jih predstavlja polarno območje.

Literatura

- [1] A. Felski, K. Zwolak: The ocean-going autonomous ship—challenges and threats, *J. marine science engineering* 8, 41 (2020)
- [2] Y. Shen in *drugi: Accuracy analysis of GNSS global broadcast ionospheric models in the polar region*. *Adv. Space Res.* (2025)
- [3] E. Buchta in *drugi: Advancing geodynamic research in antarctica: Reprocessing gnss data to infer consistent coordinate time series (giant-regain)*. *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* 2024, 1–31 (2024)
- [4] F. Tang in *drugi: Drifting ionospheric scintillation simulation for L-band geosynchronous SAR*. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote. Sens.* 17, 842–854
- [5] GNSS tools and databases, <https://github.com/aljazblatnik/GNSS>, dostopno 30. 8. 2025
- [6] L. Strizic in *drugi: Crowdsourcing GNSS Jammer Detection and Localization*, *Proceedings of the 2018 International Technical Meeting of The Institute of Navigation*
- [7] G. Baldini in *drugi: Trapping the jammer: The Slovenian experiment*, *Coordinates* 2016, 12, pp. 12–18
- [8] M. Bažec in *drugi: GNSS signal interference in the port of Koper*, *Extended Abstracts of 17th Baška GNSS Conference*, 2025