

Zasnova opozorilnega sistema na odstopanje storitev GNSS

Andrej Štern, Janez Bešter

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

Designing the alerting system for GNSS

During the maximum of solar cycle some harmful events can be observed. Their effects might disrupt normal operation of satellite communications by changing the signal propagation path, causing computer errors and destroying vulnerable hardware. The ongoing research project "Determination and evaluation of irregular solar activities' impact to satellite positioning" (2009-2013, funded by ARRS) has a goal to pin-point those massively used location based services for positioning which might be degraded due to increased solar activities, and, to explain how strong this impact may be. This paper will outline the emerging concept of warning system by introducing its inputs, possible outputs aligned to service classes and the evaluation of threat during the last period since the year 2000.

1 Uvod

Globalni navigacijski satelitski sistemi GNSS (angl. Global Navigation Satellite Systems), kamor spadajo ameriški GPS, ruski GLONASS, evropski Galileo in kitajski COMPASS, omogočajo določanje položaja točk na Zemlji z natančnostjo od nekaj metrov do 2 cm v realnem času. Če meritve opravljamo daljši čas, npr. pri temeljnih geodetskih delih, so naknadno obdelane meritve lahko še natančnejše (pod-centimetrski nivo). To velja ob normalnem stanju vremena v vesolju (angl. space weather), ki je odvisno predvsem od fizikalnih dogajanj na Soncu. Celovitost problema od nastanka Sončevih pojavov do ocene njihovih potencialnih vplivov na področju lokacijsko podprtih storitev obravnava temeljni raziskovalni projekt J2-3625 z naslovom »Določitev in ocena vplivov izrednih Sončevih aktivnosti na satelitsko določanje lokacije« (2009-2013) pod okriljem ARRS.

Potrebe po storitvah sistemov GNSS so v zadnjih 10 letih močno narasle. Zelena knjiga Komisije Evropske skupnosti o satelitskih navigacijskih aplikacijah [1] podaja letno stopnjo rasti trga izdelkov in storitev 25 %, do leta 2020 pa se predvideva delovanje okoli 3 milijard satelitskih navigacijskih sprejemnikov. Največjo vidno vlogo sistemi GNSS trenutno zasedajo pri upravljanju prometa, z neposrednimi učinki na področju varnosti, učinkovitosti in gospodarnosti, ter v drugih sektorjih, tesno povezanimi s kvaliteto življenja, kot so geodetska dejavnost, kmetijstvo, področja zaščite in reševanja, turizem ter znanstvene raziskave.

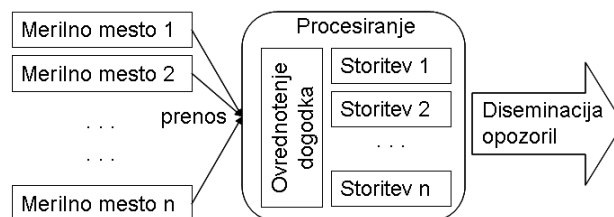
Pri množičnih lokacijsko podprtih storitvah (LBS) se uporabljajo enostavnejši in manj robustni sprejemniki

GNSS, ki morajo vseeno delovati neprekinjeno v vseh okoljskih pogojih. Če je aktivnost Sonca povečana, lahko pride do začasnega izpada storitev in velikih stroškov oz. izgub. Vse več enostavnih sprejemnikov se uporablja tudi na področjih, kjer degradacija meritev položaja pomeni neposredno ogrožanje nacionalne ali osebne varnosti ter ekonomske upravičenosti.

Zato je nujno potrebno te vrste storitev klasificirati glede na dovoljene meje njihovega poslabšanja oz. izpada ter vzpostaviti mehanizme vnaprejšnjega opozarjanja s podajanjem ocene resnosti dogodka.

2 Zasnova opozorilnega sistema

Hipotetični opozorilni sistem zajema tipične sklope od izvajanja meritev, prenosa merilnih rezultatov, procesiranja in ovrednotenja izrednih dogodkov, klasifikacije vplivov po posameznih vrstah storitev do posredovanja opozoril do končnih uporabnikov.



Slika 1: Splošna shema opozorilnega sistema

Merilna mesta na opazovalnih satelitih in zemeljskem površju zajemajo širok nabor podatkov, s katerim se ustvarja realna slika trenutnega vremena v vesolju. Celotno dogajanje v medplanetarnem prostoru, Zemljini magnetosferi, ionosferi in troposferi lahko tako opišemo v obliki zaporedij prevajalnih funkcij, ki se tekom približevanja Zemlji združujejo v kompleksen model, v katerem se vzročno posledični odnosi prepletajo do praktično nerazpoznavne ločljivosti.

3 Vhodni podatki

Večino elementarnih meritev se izvaja neposredno na Sončevih pojavih. Pogostost in magnituda le-teh sta močno povezana s fazo Sončevega cikla, s tem pa tudi možnost njihovih negativnih posledic, ki pa nujno niso usmerjene v smeri proti Zemlji.

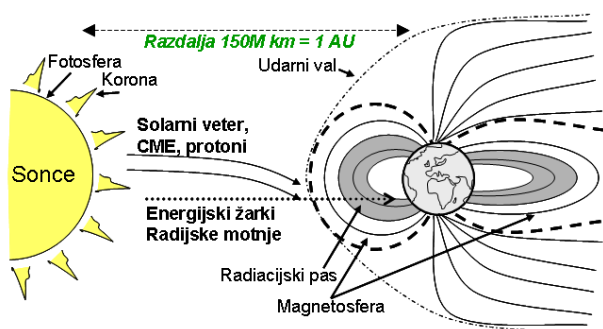
Tabela 1: Pogostost opazovanja pojavov z večjo magnitudo

Tip pojava	Pogostost	Čas potovanja
Sončev veter	stalno	2 - 4 dni
Koron. izbruh	2-5 dnevno	1,5 - 3 dni
Proton. izbruh	1 tedensko	15 min - 6 ur
Radijski izbruh	7 dnevno	8,3 min

V tabeli 1 so predstavljeni tipični Sončevi pojavi s pogostostjo pojavljanja na višku 11-letnega Sončevega cikla. Ocena pogostosti je določena izkustveno glede na postavljeno mejo parametrov pojava, npr. hitrost vetra, masa CME, enote pretoka radijskega izbruha. Osnovne lastnosti pojavov so:

- 1) Sončev veter s počasnimi in hitrimi komponentami pomembno vpliva na propagacijske lastnosti radijskih signalov skozi Zemljino ionosfero,
- 2) koronarni masni izbruhi (CME) povzročajo spremembe oblike magnetosfere in ionizacijo ionosfere ter posledično različne geomagnetne dogodke, kot so izpadi elektroenergetskih omrežij in polarni sij,
- 3) protonske nevihte v obliki hitrega udarnega vala energijskih delcev na fronti CME predstavljajo velike težave elektroničnim satelitom, vesoljskim posadkam in nenadnim spremembam ionosfere,
- 4) Sončevi blišči sprožajo izvore elektromagnetnih valov čez široka frekvenčna območja, od žarkov gamma do radijskega valovanja nizkih frekvenc v obliki močnega radijskega šuma in
- 5) ostale značilke, ki nakazujejo razvoj Sončevega cikla in napovedujejo povečano verjetnost opisanih pojavov, kot so velikost, geografska širina in gručenje Sončevih peg ter spremljanje dinamičnega poteka menjave magnetnih polov Sonca.

Vsi ti opazovani pojavi pa neposredno z učinki na Zemlji niso nujno povezani [2]. Zaradi porazdeljenih izvorov preko različnih geografskih dolžin Sonca je verjetnost, da se nek pojav širi ravno v smeri proti Zemlji, relativno majhna in odvisna tudi od načina širjenja. Energijski ne-masni žarki in radijske motnje SRB (angl. solar radio burst), ki prispejo na Zemljo, se širijo v ravni liniji po zveznici Sonce - Zemlja na ekliptični ravnini. Njihov čas prispetja 8,3 minute zato sovпада z oddaljenostjo od Sonca, to je srednjih 150M kilometrov, označenih kot 1 AU (angl. astronomical unit). Masni pojavi so veliko počasnejši, tipično nekaj 100-1000 km/s z izjemo hitrih protonskih neviht, kjer delci potujejo skladno z njihovo energijo (npr. 1 MeV z 0,046c, 1 GeV z 0,875c). Od hitrosti gibanja je odvisna tudi ukrivljenost njihove poti po Arhimedovi oz. Parkerjevi spirali, kar je prikazano na naslednji sliki.



Slika 2: Model širjenja Sončevih pojavov

V primeru, da se sprožijo vsi pojavi iz iste regije AR (angl. active region) na Soncu, bo v smeri proti Zemlji potoval le njihov del, od preostanka pa bodo zaznane posledice veliko manjše. Med leti 1996 in 2006 je bilo

zaznanih 11.031 izbruhov CME, od tega pa le 593 (5,37 %) usmerjenih proti Zemlji [3].

Večina meritev Sončevih pojavov se opravlja na opazovalnih satelitih, zbranih v tabeli 2. Na krovu nosijo kompleksen merilni sistem, ki z radijskimi in optičnimi teleskopi merijo posamezne energijske spektre. Sateliti na večjih oddaljenostih, kot je npr. ACE na 0,01 AU oz. 1,5 milijona kilometrov, na Zemljo posredujejo podatke o geomagnetni nevihti že približno 1 uro pred morebitnimi posledicami. Satelita STEREO A in B se po krožnici okoli Sonca na razdalji 1 AU premikata po levi in desni strani proti z Zemlje nevidnemu delu, kar omogoča snemanje aktivnosti Sončevega površja, še preden jih lahko zaznamo iz ravnovesne lege L1 ali okolice Zemlje. Sateliti, ki so bližje Zemlji, časovne prednosti ne morejo zagotavljati, lahko pa bolje ocenijo odvijanje dogodka v neposredni bližini uporabnikov.

Tabela 2: Prikaz satelitov za opazovanje Sončevih pojavov

Naziv satelita	Lokacija satelita	Merjeni pojavi, parametri oz. instrumenti na krovu
WIND	el. okoli Zemlje	plazma, protoni, mag. polje
ACE	ravnovesje L1	plazma, protoni, mag. polje
SOHO	ravnovesje L1	kamere in teleskopi
STEREO	1 AU ob Soncu	kamere in teleskopi
SDO	Geos. 102° W	kamere in teleskopi
Hinode	Sinhr. 600 km	kamere in teleskopi
PICARD	Sinhr. 725 km	kamere in teleskopi
RHESSI	Sinhr. 560 km	kamere in teleskopi

Pregledi zaznanih pojavov so strnjeni v tabelo 3. Dodatne navedbe pri bliščih predstavljajo oceno intenzitete ob nastopu drugega dogodka (npr. radijski ali protonski izbruh) ter datum nastopa blišča, ki je ta sekundarni dogodek povzročil. Navedbe za radijske izbruhe (SRB) izvirajo iz pregleda množice znanstvenih člankov, kjer so ocenjeni opazovani izbruhi na 10,7 cm valovne dolžine oz. na 1415 MHz. Meritve se izvajajo na zemeljskih opazovalnicah radijskih teleskopov (omrežje RSTN). Vrednosti so zelo lokalne, saj radijsko sevanje prizadane bolj tisto območje zemeljske površine, ki je v danem trenutku izpostavljeno Soncu. Navedbe za koronarne masne izbruhe predstavljajo časovno razvrstitev po sproščeni energiji. Ker je verjetni izvor protonskih neviht ravno v širitvi CME in ustvarjanju udarnega vala pred fronto, je pod CME naveden tudi datum izbruha, ki vodi do protonske nevihte. Pri podaji pretoka pfu (angl. Particle Flux Unit) protonskih neviht je upoštevano 5-minutno povprečenje delcev z energijo, višjo od 10 MeV, zato so nekateri dogodki, kljub ogromni energiji posameznih delcev (npr. 20.1.2005: > 100 MeV, 652 pfu), zabrisani.

Senčene oznake v vsakem stolpcu predstavljajo ekstreme, kar omogoča vizualno izbiro zanimivih epoh za nadaljnjo obravnavo. Izstopajoče so okolice (\pm 14 dni) naslednjih datumov: 1.11.2003 (kombinacija več ekstremov), 20.1.2005 (najvišja koncentracija protonov z energijami > 100 MeV) in 6.12.2006 (najvišje zaznane radijske motnje na F10.7 z dokazanimi posledicami).

Tabela 3: Pregled obravnavanih Sončevih pojavov z izstopajočimi veličinami v letih 2000-2011

Datum	Blišč (kategorija)	SRB (SFU)	CME (erg)	Proton (pfu)	Veter (km/s)
15.7.2000	X5 (proton 14.7.)		(proton 14.7.)	24000	
2.4.2001	X20.0				
24.9.2001			6,5E+32		
6.11.2001	X1 (proton 4.11.)		(proton 4.11.)	31700	
21.4.2002	X1 (SRB)	150.000			
28.10.2003	X17	34.000	1,2E+33		
29.10.2003	X10 (proton X17)		3,4E+32	29500	
30.10.2003					1187,7
2.11.2003			9,3E+32		
4.11.2003	X28+		6,1E+32		
27.7.2004					1006,1
7.9.2005	X17				
11.9.2005					985,1
6.12.2006	X6 (SRB)	1.000.000			
13.12.2006	X3 (SRB)	280.000			901,8
14.12.2006	X1 (SRB)	150.000			

4 Nabor obravnavanih storitev

Ugotovitev stopnje kvarnega vpliva Sončevih aktivnosti na uporabniške storitve zahteva poznavanje lastnosti navigacijskih signalov, načinov določanja položaja in posebnosti posameznih storitev. V poročilu Britanske kraljeve akademije za inženirstvo [4] je navedenih 11 skupin storitev, za katere so določene stopnje točnosti za horizontalo, vertikalo, 3D in hitrost. Skupine obravnavanih storitev so: letalski transport, cestni transport, pomorski transport, železniški transport, avtonomna vozila, precizno kmetovanje, ribištvo, proizvodnja nafte in plina, službe nujne pomoči, znanstvene aplikacije in storitve prostega časa. Poleg zahtevane točnosti je za vsako podskupino opredeljeno, ali se za določitev položaja uporabi korekcija (DGPS/RTK), starost uporabljenega podatka za izboljšano določitev položaja (naknadno/v realnem času) in stopnja ogroženosti uporabnika zaradi izpada storitve (da/ne). Med storitvami, katerih izpad ali poslabšanje kvalitete neposredno ogroža uporabnike, so našteje vse aplikacije, povezane z avtomatizacijo letalstva, pomorstva in železnic, cestne aplikacije na področju preprečevanja trkov, določene storitve s področij zaščite in reševanja ter storitve za slepe in slabovidne.

V samem projektu je bil izbran podnabor treh storitev, ki so za projektno skupino (Fakulteta za elektrotehniko, Geodetski inštitut Slovenije in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo) neposredno uporabne. Storitve, vključene v procesiranje in obravnavo, so:

- absolutno pozicioniranje z enofrekvenčnim kodnim GPS-sprejemnikom,
- diferencialno pozicioniranje (DGPS) s profesionalnim geodetskim GPS-sprejemnikom, ki uporablja pomožni sistem EGNOS (SBAS) in
- RTK VRS pozicioniranje z dvofrekvenčnim geodetskim GPS-sprejemnikom, ki uporablja GBAS (SIGNAL).

V prvi skupini množičnih storitev je zahtevana točnost pozicioniranja nizka: pod 10 m. Tipične uporabniške storitve so: prometna navigacija, iskanje in

reševanje v gorah in na morju ter prostočasne aktivnosti s skupnim ocenjenim številom uporabnikov v Sloveniji okoli 25.000 (taksisti, planinci, pohodniki, gorska reševalna služba, gasilci, morski ribiči).

V drugi skupini izbranih profesionalnih storitev je zahtevana točnost pozicioniranja visoka: med 0,1 m in 0,5 m. Tipične uporabniške storitve so: precizno kmetijstvo, vodenje gradbene mehanizacije in zajem podatkov za potrebe GIS-aplikacij (npr. GJI, GERK) s skupnim ocenjenim številom uporabnikov v Sloveniji 1000 (komunalni inženirji, elektroenergetiki, kmetje in inšpektorji za kmetijske subvencije, gozdarji, gradbeniki).

V tretji skupini profesionalnih storitev je zahtevana točnost pozicioniranja zelo visoka: med 1 mm in 10 cm. Tipične uporabniške storitve so: izmera v zemljiškem katastru, spremljanje premikov v inženirski geodeziji in spremljanje geokinematike z ocenjenim številom domačih uporabnikov 300 (geodeti, geofiziki, seizmologi, arheologi).

5 Načrtovanje postopkov procesiranja

Kot osnovno vodilo pri načrtovanju pristopov k obdelavi podatkov je upoštevan pregled sorodnih opravljenih raziskav. Smiselno je ponoviti nekatere analize, ki so bile izvajane za druga geografska področja, saj vplivi po obli niso enakomerno porazdeljeni.

Ob magnetih polih Zemlje magnetne silnice prebadajo površje in vzdolž njih so predvsem masni visoko energijski delci močno povečani. Zato se severni sij začne v okolici magnetnega pola, ki v letu 2012 sovпада na 85,9° severno in 147,0° zahodno, in se širi na jug skladno z intenziteto Sončevega pojava. Prav tako se lahko nek pojav na osvetljenem delu oble odraža veliko bolj kot na nočni strani, npr. izbruhi radijskega šuma. Nekateri vplivi delujejo globalno, zato so tudi posledice lažje opazovane in merljive na več mestih, npr. vpliv na kakovost določitve tirnic satelitov.

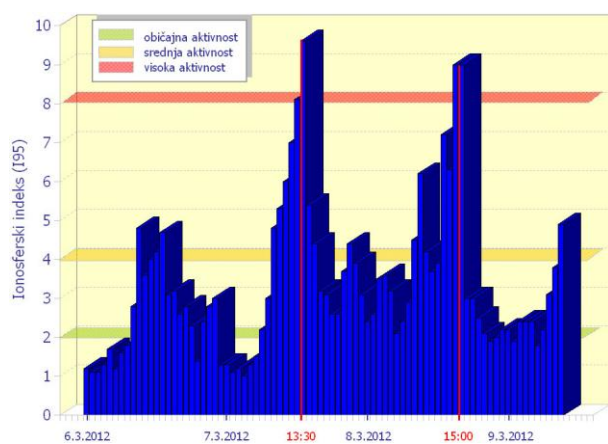
Po izvlečkih relevantnih raziskav je smiselno metodologijo razdeliti na dve ločeni skupini raziskav, povezanimi z dvema ključnima posledicama povečane Sončeve aktivnosti na področju kvarnih vplivov na storitve GNSS:

- ionosferske motnje z vplivi na propagacijo in
- radijski izbruhi z vplivi na razmerje SNR.

Glede na cilj vzpostavitve opozorilnega sistema ob izrednih Sončevih dogodkih v približku realnega časa je treba dostopati do stalnega vira informacij o stanju in motnjah v ionosferi. Na ozemlju Slovenije se ponujata predvsem dva neodvisna vira, ki zagotavljata podatke na podlagi permanentnih opazovanj:

- podatki omrežja SIGNAL in
- podatki geomagnetnega observatorija Sinji vrh.

Ker je slednji trenutno v fazi poizkusnega obratovanja [6], so analize v začetni fazi omejene predvsem na omrežje SIGNAL in ugotavljanje intenzivnosti ionosferskih aktivnosti, pri čemer služi kot ključni podatek indeks I95 kot stranski produkt nadzora delovanja omrežja. Primer vzbujene ionosfere s prikazom ustreznega poteka indeksa I95, je prikazan na naslednji sliki (interno gradivo projektne skupine).



Slika 3: Prikaz poteka indeksa I95 6.-9.3.2012

Metodologija raziskav motenj v obliki radijskega šuma temelji na analizi datotek RINEX arhiva omrežja SIGNAL in iskanju korelacije med izrednimi dogodki na Soncu, ko so bili zaznani močnejši radijski izbruhi (na frekvencah blizu L1 in L2). Raziskave vplivov SRB temeljijo predvsem na:

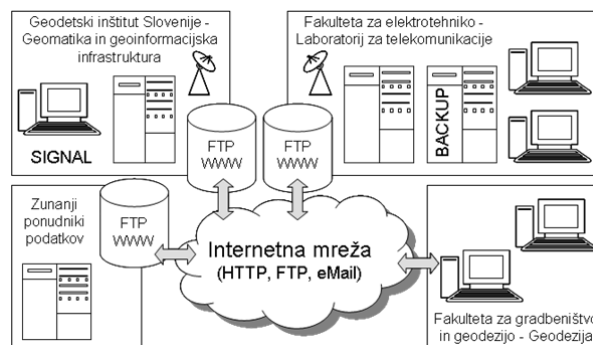
- ugotavljanju izgub podatka o številu celih valov faznega valovanja (angl. cycle slip),
- statistiki spremljanja signalov z ugotavljanjem začasne izgube signalov (angl. data dropout) in
- statistiki kvalitete signalov v obliki razmerja signal/šum (SNR).

6 Sklep

Aktivnosti projekta J2-3625 v letu 2012 obsegajo predvsem obdelavo podatkov posledic Sončevih pojavov. Raziskovanje degradacije kvalitete lokacijskih in lokacijsko podprtih storitev poteka z metodologijami, določenimi za ciljne skupine storitev, za katere med uporabo veljajo določeni kriteriji sprejemljivosti. Največ podatkov Sončeve aktivnosti je na voljo v obliki spletnih repozitorijev različnih organizacij, npr. CODE,

GSFC, INTERMAGNET, NGDC, SPIDR, SWPC in UCSD, na domačem področju pa omrežje SIGNAL z arhivom datotek RINEX po letu 2000.

V fazi sistematičnega pristopa k obdelavi podatkov je bilo določeno raziskovalno okolje, ki vsebuje orodja za analizo, procesiranje in podajanje rezultatov ter sistem shranjevanja teh podatkov z namenom lažje diseminacije in zaščite proti izgubi podatkov.



Slika 4: Postavitev in razporeditev raziskovalnega okolja

Do trenutka nastajanja prispevka je bilo izbranih in pregledanih 32,5 GB različnih podatkov v 23 imenikih. Vsak imenik vsebuje najmanj en tip meritve, v nekaterih zapisih pa se nahaja množica parametrov za obdobje od 2000 naprej. Do zaključka projekta v letu 2013 bo izvedena še množica korelacij, s katerimi bo projektna skupina skušala postaviti osnovno orodje za zajem, procesiranje in avtomatsko diseminacijo opozoril, kar bo v svetovnem merilu dobrodošla informacija, saj za našo geografsko okolico takšen sistem še ne obstaja.

Zahvala

Znanstveno-raziskovalno delo je bilo sofinancirano s strani Ministrstva za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo Republike Slovenije.

Literatura

- [1] Komisija Evropske skupnosti: Zelena knjiga o satelitskih navigacijskih aplikacijah, COM(2006) 769, december 2006. Dosegljivo na: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/sl/com/2006/com2006_0769sl01.pdf
- [2] A. Štern, J. Guna, J. Bešter: Nastanek in vpliv Sončevih aktivnosti. Zbornik A 18. mednarodne elektrotehniške in računalniške konference ERK 2009, september 2009.
- [3] Seznam CME v letih 1996-2006, Dosegljivo na: <http://spacemath.gsfc.nasa.gov/Data/CMEdata.xls>
- [4] The Royal Academy of Engineering: GNSS: reliance and vulnerabilities, marec 2011. Dosegljivo na: http://www.raeng.org.uk/news/publications/list/reports/RAoE_Global_Navigation_Systems_Report.pdf
- [5] O. Sterle, P. P. Prešeren, B. Stopar: Vplivi dogajanj na Soncu na določitev položaja z enofrekvenčnimi kodnimi GNSS - instrumenti : priprava na vrh 24. Sončevega cikla. Zbornik 17. strokovnega srečanja Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, januar 2012.
- [6] R. Čop, D. Deželjin: Poizkusno obratovanje geomagnetnega observatorija Sinji vrh. Zbornik 17. strokovnega srečanja Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, januar 2012.