

Izgradnja sledilnega sistema za satelit Alphasat

Sebastijan Mrak

Institut Jožef Stefan, Odsek za komunikacijske sisteme, Jamova 39, Ljubljana
E-pošta: sebastijan.mrak@gmail.com

Tracking system design for the Alphasat satellite

Most of communications satellites are located in the geostationary orbit to retain their position with respect to earth observers. Despite being geostationary, there are many factors that have significant influence on satellite's trajectory and cause its planar oscillation. This is seen as oscillation in received signal strength.

The paper presents a solution with an of-the-shelf PAN/TILT tracking system, controlled by a custom PC software.

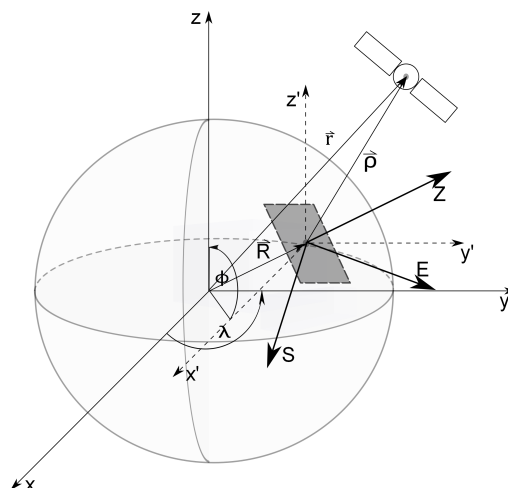
1 Uvod

Večina komunikacijskih satelitov se danes nahaja v geostacionarni ekvatorialni tirnici na oddaljenosti 35786 km nad ekvatorjem [1]. Težnostni vpliv sonca in lune, približek zemeljske težnosti kot težnosti točkastega telesa [1], pritisk sončne svetlobe in trenje satelita z ozračjem Zemlje [2] [3] povzročajo planarno nihanje tirnice satelita. Zaradi tega je potrebno popravljanje položaja satelita z majhnimi raketnimi motorji. Količina goriva za popravljanje tirnice je omejena, zato je od pogostosti popravkov odvisna življenjska doba satelita. Po izteku zalog goriva se prične nenadzorovano iznihavanje satelita, dokler le ta ne pristane v eni od stabilnih točk geostacionarne tirnice. Posledice planarnega nihanja satelitov opazimo pri spremljanju moči sprejetega signala. Posledice so še posebej opazne pri uporabi anten z visoko smernostjo. Tako lahko ob merjenju signala opazimo občutno nihanje moči.

V članku je predstavljena ena od možnih inženirskih rešitev za reševanje opisanega problema.

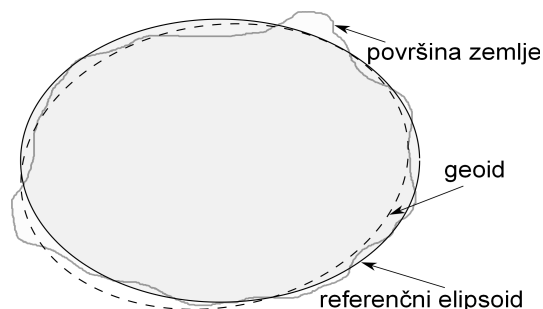
2 Preračun nahajališča satelita

Legu in pozicijo satelita lahko določimo iz podatkovne zbirke TLE (Two-Line Element data set)[4]. Podatki satelitov v TLE formatu so redno posodobljeni in prosto dostopni na svetovnem spletu [5]. TLE je sestavljen iz seta orbitalnih (Keplerjevih) elementov, iz katerih lahko preko poenostavljenih perturbacijskih modelov (SPG, SPG4, SDP4, SPG8 ali SDP8) [6] izračunamo lokacijo in smer satelita v ECI (earth-centered inertial) KS (koordinatni sistem) [7].



Slika 1: Položaj satelita v različnih koordinatnih sistemih

Za preračun lokacije satelita na lokacijo sprejemnika, lociranega na zemeljskem površju, je potrebno predstaviti satelit in zemeljsko postajo v istem KS. Za enoten koordinatni sistem si izberemo ECEF (earth-centered earth-fixed) KS. To je kartezični koordinatni sistem z izhodiščem v središču zemlje, z x osjo pripeto na ničelni poldnevnik (prikazan na sliki 1).



Slika 2: Zemeljsko površje, geoid in referenčni elipsoid

Za preračun pozicije satelita iz ECI v ECEF KS je potreben GST (Greenwich sidereal time) [8], ki je kot zamika med ničelnim poldnevnikom in referenčno osjo x mirujočega koordinatnega sistema. GST določa vrednosti rotacijske matrike za pravilno postavitev ECEF baznih vektorjev [7].

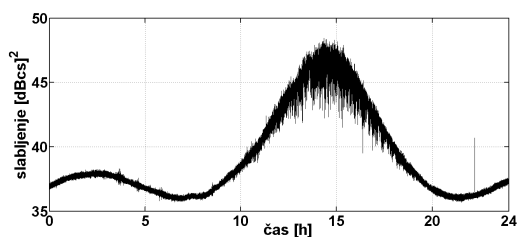
Položaj sprejemnika je običajno podan v zemljepisnem KS (ϕ, λ, h), za izračun položaja satelita je tako potrebna transformacija v ECEF KS. Ko sta oba položaja podana v istem KS naredimo translacijo položaja satelita v točko položaja sprejemnika. Za dokončen izračun kota azimuta in elevacije je potrebna rotacija lokalnega KS [9].

Nepopolna oblika zemlje (slika 2) otežuje natančen preračun lokacije. Dober približek predstavlja referenčni elipsoid WSG84 [10], ki je analitično zapisljiv in ga upoštevamo pri pretvorbi iz ECEF v lokalni AER (azimuth, elevation, range) KS.

3 Sledenje satelitu Alphasat

Komunikacijski geostacionarni satelit Alphasat je bil uspešno izstreljen 25. julija 2013 pod okriljem ESA (European Space Agency) in je lociran 25° vzhodno. Satelit med drugim vsebuje eksperimentalni oddajnik na Q frekvenčnem pasu (svetilnik na 39,402 GHz). Oddajnik je namenjen raziskavam razširjanja radijskega signala skozi atmosfero.

V ta namen teče projekt¹ izgradnje sprejemnika za omenjen svetilnik. Zaradi močnega slabljenja signala na poti skozi ozračje je za sprejemnik potrebna antena z visokim dobitkom, kar posledično pomeni visoko smernost in ozek snop smernega diagrama. Antene na tem pasu imajo širino 3dB snopa pod 1° , kar pomeni pomembno ciljanje satelita. Pri tako ozkem snopu pa ni oteženo samo ciljanje satelita, pač pa tu pride do izraza pogrešek stacionarnosti satelita. Pomemben del projekta je tako sledenje satelitu v izogib nihanju sprejete moči signala zaradi nihanja satelita (slika 3).



Slika 3: Nihanje sprejete moči na sprejemniku 20 GHz svetilnika iz satelita Alphasat

3.1 Delni rezultati

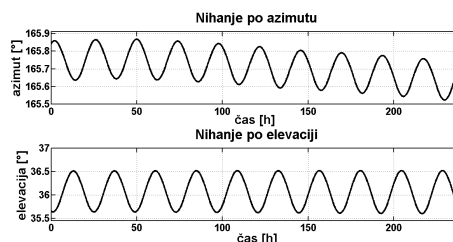
Dobljeni rezultati nihanja satelita Alphasat za obdobje med 19.6.2014 in 28.6.2014 so prikazani na sliki 4. Satelit niha po azimutu za $0,3434^\circ$ in za $0,9176^\circ$ po elevaciji.

Na podlagi dobljenih rezultatov in napovedi iznihanja satelita je potrebna pravilna izbira sledilnega sistema, ki mora imeti primerno resolucijo koraka, zagotavljati stabilnost za obremenitev in biti odporna na vse zunanje dejavnike. Iz napovedi in izračunov o iznihanju satelita Alphasat je bil izbran PT2002 sledilni sistem, katerega natančnost znaša 0.0065° po azimutu in 0.004° po

¹SatProSi, financiran iz strani ESA

²Jakost v enotah dB / jasno nebo

elevaciji ob tovoru mase največ 15 kg. Sistem se upravlja preko RS-485 povezave z osebnim računalnikom, na katerem teče namensko napisana programska oprema.



Slika 4: Nihanje tirnice satelita Alphasat v enem tednu

4 Zaključek

V članku so bili opisani razlogi za potrebo po izgradnji sistema za sledenje satelitu Alphasat. Opisano je bilo matematično ogrodje za pripravo podatkov za krmiljenje sledilnega sistema. V nadaljevanju je potrebna implementacija postopka v programski opremi in testiranje delovanja sistema.

Literatura

- [1] B. Batagelj: "Satelitske komunikacije", 2013, dosegljivo na: http://antena.fe.uni-lj.si/studij/skn_vs/zapiski_skn_vs.php
- [2] Bhatnagar, K. B, Khan, A, Saha, L. M: "Non-linear planar oscillation of a satellite in elliptical orbit under the influence of solar radiation pressure", Astronomical Society of India, 1994
- [3] Mehra, V. K, Bhatnagar, K.B: "Planar oscillation of satellite in an elliptical orbit under the influence of solar radiation pressure and third torque", Indian J. pure applied Math., 26(7): 725-742, julij 1995
- [4] Definicija TLE, julij 2014. Dosegljivo na: http://spaceflight.nasa.gov/realdta/sightings/SSApplication/Post/JavaSSOP/SSOP_Help/tle_def.html/
- [5] Spletna stran Celestrak, julij 2014. Dosegljivo na: <https://celestrak.com/>
- [6] Spletna objava "Spacetrack report no.3", julij 2014. Dosegljivo na: <http://www.celestrak.com/NORAD/documentation/spacetrk.pdf>
- [7] L.K. Herman: "The history, definition and peculiarities of the Earth centered inertial (ECI) coordinate frame and the scales that measure time", Aerospace Applications Conference: 233 - 263, 1995
- [8] Frederick H. Lutze: "Astromechanics: Time Considerations - Local Sidereal Time", julij 2014. Dosegljivo na: <http://www.dept.aoe.vt.edu/lutze/AOE4134/13LocalSiderealTime.pdf>
- [9] George H. Born: "Computation of Azimuth and Elevation", julij 2014. Dostopno na: http://www.learningace.com/doc/3071221/28e7159911092d6cddec5f4a04da20d8/comp_of_azimuth_ele
- [10] NIMA: "Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systemss", julij 2014. Dosegljivo na: <http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/wgs84fin.pdf>
- [11] Radio Frequency Systems, <http://www.rfsworld.com/>
- [12] Security systems, <http://www.2bsecurity.com/>