

Jonosfēra un NASA Saules dinamikas observatorijas misija

Madara Caunite, *University of Latvia*

Kopsavilkums - Kosmiskie laika apstākļi ir iemesls vislielākajiem traucējumiem, ar ko GNSS sistēmas un to lietotāji ir saskārušies. Tie ir viens no vislielākajiem kļūdu avotiem vien-frekvences GNSS uztvērējiem, kā arī nozīmīgi GNSS diferencālajam pielietojumam. Saules procesu pētīšanai it īpaši tās aktivitātes periodā. NASA izstrādāja "Saules Dinamikas Observatorijas" satelītu. Šo misiju izstrādāja un vadīja NASA Goddard Kosmisko lidojumu centrs, Greenbelt, Md. SDO misija ir paredzēta 5 gadiem, bet satelītu aparātūras rūpīgas pārbaudes rezultātā, tā parasti darbojas ievērojami ilgāk.

Atslēgas vārdi - Saules Dinamikas Observatorija, kosmiskie laika apstākļi, jonosfēra, GNSS

I. IEVADS

Apmēram katru 11. gadu Saule ieiet paaugstinātas aktivitātes periodā. Nākošais Saules aktivitātes maksimums sagaidāms 2013. gada maijā.

Šajā periodā Saules spektra tālās ultravioletās daļas starojums pastiprinās, sasniedzot Zemes jonosfēru to padara blīvāku un biezāku. Tiek stipri ietekmēti kosmiskie laika apstākļi, kurus ASV Nacionālā kosmisko laika apstākļu stratēģiskā plāna programmā definē, kā: „apstākļus uz Saules, un Saules vējā, magnetosfērā, jonosfērā un termosfērā, kas var ietekmēt kosmisko un uz zemes bāzēto tehnoloģisko sistēmu darbību un drošumu un var apdraudēt cilvēku dzīvi vai veselību” [3].

Kosmiskie laika apstākļi ir iemesls vislielākajiem traucējumiem, ar ko Globālās Navigācijas Satelītu Sistēmas (GNSS) un to lietotāji ir saskārušies. Tie ir vieni no vislielākajiem kļūdu avotiem vien-frekvences GNSS uztvērējiem, kā arī ir nozīmīgi GNSS diferencālajam pielietojumam.

Labos kosmiskā laika apstākļos GNSS lietotāji var sasniegt augstākus rezultātus.

II. JONOSFĒRA

Zemes atmosfēras visaugstākajā slānī, ultravioleto un rentgena staru starojums, kas nāk no Saules, mijiedarbojas ar gāzes molekulām un atomiem. Šis mijiedarbības rezultātā gāze tiek jonizēta, veidojas liels skaits brīvu negatīvi lādētu elektronu un pozitīvi lādētu atomu un molekulu [1]. Šo atmosfēras slāni sauc par jonosfēru. Tas sniedzas aptuveni no 50 km līdz 1,000 km augstumā vai augstāk. Jonosfēras slāņa augšējā robeža nav skaidri izteikta.

Elektronu blīvums jonosfēras slāņa robežās ir nevienmērīgs; tas mainās līdz ar augstumu. Jonosfēras slānis atbilstoši elektronu blīvumam ir sadalīts apakšslāņos. Šie apakšslāņi ir: D (50-90 km), E (90-140 km), F1 (140-210 km) un F2

(210-1,000 km), kur F2 ir apakšslānis ar maksimālo elektronu blīvumu. Šo apakšslāņu augstums un biezums mainās laikā, Saules radiācijas un Zemes magnētiskā lauka ietekmē. Piemēram, F1 apakšslānis nakts laikā pazūd un ir izteiktāks vasarā nekā ziemā [1].

III. KĀ JONOSFĒRA IETEKMĒ GNSS MĒRĪJUMUS?

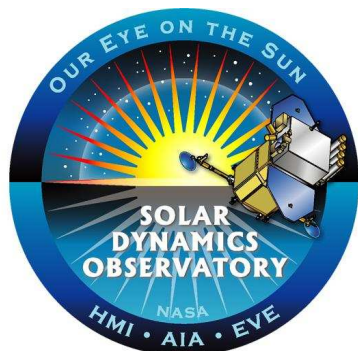
Jonosfēra ir izkļiedējoša vide, tā noliec radio signālu un maina tā ātrumu, ejot cauri dažādiem jonosfēras slāņiem, lai sasniegtu GNSS uztvērēju. GNSS signāla noliekšana rada attāluma kļūdu, it īpaši, ja satelīts ir tuvu horizontam. Izplatīšanās ātruma izmaiņa, rada nozīmīgu attāluma kļūdu un tādēļ to jāņem vērā. Jonosfēra paātrina nesējfrekvences fāzes izplatīšanos, pārsniedzot gaismas ātrumu, savukārt samazinot PRN (*Pseudo Random Noise*) koda ātrumu. Mērījumiem ar nesējfrekvences fāzi uztvērēja-satelīta attālums būs īsāks salīdzinājumā ar faktisko attālumu, un mērījumiem ar kodu - garāks. Jonosfēriskā nokavēšanās ir proporcionāla brīvo elektronu daudzumam visā GNSS signāla ceļa garumā, ko apzīmē ar TEC (*Total Electron Content*). TEC ir atkarīgs no daudziem faktoriem [1]:

1. Diennakts laika. Elektronu blīvums sasniedz dienas maksimumu agrā pēcpusdienā un minimumu pēc pusnakts. Šis jonosfēriskais cikls atspoguļo Zemes diennakts rotāciju.
2. Gadalaika. Elektronu blīvums ziemā ir lielāks nekā vasarā. Šis sezonālais jonosfēriskais cikls atspoguļo gada Zemes rotāciju ap Sauli.
3. 11-gadu Saules cikls. Uzlādētu daļiņu blīvums sasniedz maksimālo vērtību aptuveni ik pēc 11 gadiem, kas atbilst kulminācijai Saules uzliesmojuma aktivitātē. Pēdējo 300 gadu laikā ir novērots un labi dokumentēts fenomens, ka Saules maksimumā uz tās virsmas parādās liels daudzums tumšu plankumu, savukārt, Saules minimumā Saules plankumu skaits ir minimāls.
4. Ģeogrāfiskā izvietojuma. Elektronu blīvums ir viszemākais vidēja platuma grādu reģionos un ļoti nevienmērīgs polārajos, un ekvatoriālajos reģionos.

Tā kā jonosfēra ir izkļiedējoša vide, tā rada no frekvences atkarīgu nokavēšanos. Jo zemāka frekvence, jo lielāka būs nokavēšanās (t. i. L2 jonosfēriskā nokavēšanās būs lielāka par L1). Parasti jonosfēriskā nokavēšanās ir ar kārtu no 5 m līdz 15 m, bet pie ekstrēmas Saules aktivitātes, dienas vidū un tuvu horizontam var sasniegt vairāk par 150 metriem [1].

Kosmisko tehnoloģiju attīstība ir sasniegusi pielietojumu pakāpi, kad kļūst nozīmīga spēja prognozēt kosmiskos laika apstākļus.

IV.SAULES DINAMIKAS OBSERVATORIJAS MISIJA



1. att. Saules Dinamikas Observatorijas logo

http://www.nasa.gov/images/content/421306main_SDO_Logo_flat_full.jpg

Saules procesu pētīšanai it īpaši tās aktivitātes periodā, NASA izstrādāja "Saules Dinamikas Observatorijas" satelītu.

Saules Dinamikas Observatorija (*SDO - The Solar Dynamics Observatory*): ir pirmā misija, kas uzsāk darbību NASA Living With a Star programmā. Šo misiju izstrādāja un vadīs NASA Goddard Kosmisko lidojumu centrs, Greenbelt, Md.

SDO nesējaķeretes pacelšanās notika 2010. gada 11. februārī 10:23 no rīta pēc EST (*North American time zone: Eastern Standard Time*) no Kanaveralas raga Gaisa spēku stacijas palaišanas kompleksa 41, Atlantijas okeāna krastā.

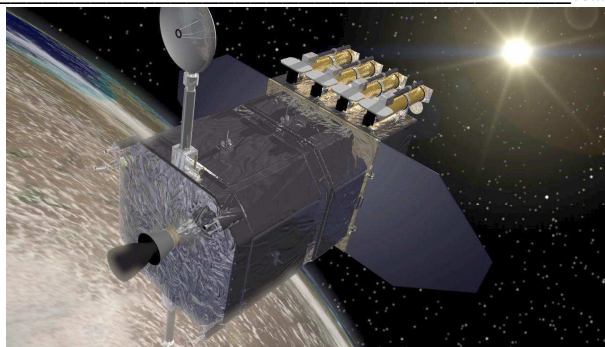
Sākotnēji SDO satelīts riņķos pa izstieptu orbītu pārsniedzot 21,000 jūdžu (33,796 km) augstumu. Vēlāk tas pāries ģeocentriskā orbītā un sasniegs aptuveni 22,300 jūdzes (35,888 km). SDO ģeocentriskā orbīta tika izvēlēta, lai satelīta instrumenti, kas vērsti uz Sauli, varētu veikt gandrīz nepārtrauktus Saules novērojumus un lai vienkāršotu to iegūto, unikāli lielo datu apjomu pārraidīšanu (datu pārraides ātrums ir 130 Megabiti sekundē), uz speciāli ierīkotu zemes staciju, kas atrodas White Sands Kompleksā Ņūmeksikā.

V.SPECIFIKĀCIJA

Satelīta uz Sauli vērsts ass kopējais garums ir 4,5 m - 2,22 m uz katru pusi.

Satelīta platums ar pagarinātiem Saules paneļiem ir 6,25 m.

Kopējā satelīta masa palaišanas brīdī ir 3,100 kg, derīgā krava 290 kg; degviela 1,450 kg.



2.att. Saules Dinamikas Observatorijas satelīts

http://www.nasa.gov/images/content/421359main_226837main_SDOconcept2_HI_full.jpg

VI.SDO MISIJAS ZINĀTNISKIE MĒRĶI

1. Kādi mehānismi rada Saules aktivitātes kvazi-periodisko 11 gadu ciklu?
2. Kā ir sintezētas, koncentrētas un izkliedētas aktīvā reģiona magnētiskās plūsmas uz Saules virsmas?
3. Kā magnētiskā lauka atjaunošanās mazos mērogos pārmaina liela mēroga laika topoloģiju un esošās sistēmas, un cik nozīmīgi tas ir Saules vainaga uzkaršanās un Saules vēja paātrināšanā?
4. Kur rodas novērotās izmaiņas Saules ekstrēmā ultravioletajā (*EUV - extreme ultraviolet*) spektrālajā starojumā, un kā tās saistītas ar magnētiskās aktivitātes cikliem?
5. Kādas magnētiskā lauka konfigurācijas rada koronālos izvirdumus, smalkas struktūras izvirdumus, un uzliesmojumus, kas rada enerģētisko daļiņu plūsmu un radiāciju?
6. Vai Saules vēja struktūru un dinamiku Zemes tuvumā var noteikt no magnētiskā lauka konfigurācijas un atmosfēras struktūras, kas atrodas tuvu Saules virsmai?
7. Kad notiks Saules aktivitāte, un vai ir iespējams veikt precīzas un drošas izplatījuma laika apstākļu un klimata prognozes [2].

VII. SDO INSTRUMENTI

SDO sastāv no instrumentu kopas, kas nodrošinās novērojumus, lai apstrādājot, analizējot un arhivējot datus iegūtu pilnīgākas zināšanas par Saules dinamiku, kas izsauc izmaiņas Zemes apkārtējā vidē. Šo instrumentu (*Helioseismiskuma un magnētisma attēlošanas iekārta (HMI - Helioseismic and Magnetic Imager)*), Saules atmosfēras attēlu reģistrēšanas iekārta (*AIA - Atmospheric Imaging Assembly*) un Ekstrēmā ultravioletā starojuma izmaiņas eksperiments (*EVE- Extreme Ultraviolet Variability Experiment*)), kopums:

1. Mērīs Saules ekstrēmo ultravioletā starojuma spektru īsā laika posmā; *EVE* mērīs spektru katru 10. sekundi, 24 stundas dienā, septiņas dienas nedēļā. Šie mērījumi ļaus paredzēt EUV daudzumu, kas nāk Zemes virzienā jebkurā laikā, balstoties uz Saules magnētiskā lauka aktivitāti.
2. Mērīs Doplera nobīdes, kas rodas oscilāciju dažādu ātrumu rezultātā, aptverot visu Saules redzamo disku;
3. Veiks magnētiskā lauka longitudinālās un vektora augstas izšķirtspējas mērījumus aptverot visu Saules redzamo disku; *HMI* mērīs Saules konvekcijas zonas radītās Saules svārstības ierobežotā apgabalā un magnētisko lauku, tā stiprumu un virzienu, kas rodas uz Saules redzamās virsmas (fotosfēras), izmantojot dažādas krāsas vai viļņu garumus. Ar šādām iespējām *HMI* palīdzēs atklāt mehānismus, kas rada Saules 11-gadu aktivitātes ciklu. *HMI* mērīs skaņas viļņus, kas atbalsojas Saules dziļākos slāņos, un to izmantos, lai radītu Saules dziļāko slāņu attēlus, kurus nevar novērot no Zemes.
4. Iegūs hromosfēras un Saules vainaga attēlus dažādās temperatūrās īsā laika periodā; *AIA* veiks attēlu reģistrēšanu Saules atmosfēras ārējā slānī, Saules vainagu, plašā temperatūras diapazonā, sākot no 20 tūkstošiem līdz 20 miljoniem K grādu. Ar augstu laika izšķirtspēju un attēlu, kas aptver visu redzamo Saules puslodi, pirmo reizi sekos visai Saules enerģētisko procesu attīstībai – sākot ar mikro nestabilitātēm, ieskaitot miljardiem tonnu vielas izsviešanu starplanētū telpā, līdz spožiem uzliesmojumiem Saules vainagā, kas ir lielākās eksplozijas Saules sistēmā. Astoņus pilnas-Saules attēlu uzņēmumus katru 10. sekundi, divdesmit četrstundas dienā, septiņas dienas nedēļā, nodrošinās četri teleskopi katrs ar diviem diapazona pārsegumiem. Saules atmosfēras attēli tiks veikti vairākos viļņu garumos, lai sasaistītu Saules virsmas un iekšienes izmaiņas.
5. Veiks šos mērījumus Saulei raksturīgos ciklos [2].

VIII. ATTĒLU IZŠKIRTSPĒJAS SALĪDZINĀJUMS

Attēls 3. parāda ar SOHO, STEREO un SDO satelītiem iegūstamās attēlu izšķirtspējas. SDO AIA instrumentam (attēls pa labi) būs par 1/2 lielāka attēla izšķirtspēja kā STEREO (vidējais attēls) un par 3/4 lielāka attēla izšķirtspēja kā SOHO (attēls pa kreisi). Šo attēlu iegūšanas laika intervāls ir dažāds: SDO uzņem attēlus katru 10. sekundi, STEREO labākajā gadījumā uzņem 1 attēlu katru 3. minūti un SOHO uzņem 1 attēlu katru 12. minūti [2].

Madara Caunite. Ionosphere and NASA Solar Dynamics Observatory Mission

The next maximum of solar activity is expected on May 2013. During this period the far ultraviolet portion of the solar spectrum intensifies, reaching Earth's ionosphere making it thicker and denser. Space weather is significantly influenced. The definition of space weather in U.S. National Space Weather Program Strategic plan is following: "conditions on the sun and in the solar wind, magnetosphere, ionosphere, and thermosphere that can influence the performance and



3. att. satelītu SOHO, STEREO un SDO iegūto attēlu izšķirtspējas salīdzinājums

http://sdo.gsfc.nasa.gov/assets/img/site/resolution_comparison.jpg

IX. SECINĀJUMI

SDO misija ir paredzēta uz 5 gadiem, bet satelītu aparatūras rūpīgas pārbaudes rezultātā, tā parasti darbojas ievērojami ilgāk. SDO satelīta izstrāde un tā palaišana ir ievērojams sasniegums pasaules zinātnē. SDO veiks padziļinātus, kompleksus Saules pētījumus, kas pirmo reizi ļautu izprast joprojām neskaidros procesus, lai veiktu kosmisko laika apstākļu prognozes. Sagaidāms, ka iegūtie dati būs pieejami ne tikai NASA, bet arī zinātniekiem visā pasaulē, tajā skaitā GNSS pielietojumiem ģeodēzijā.



Madara Caunite, M.Sc., researcher, University of Latvia, Institute of Geodesy and geoinformation, Raina blv. 19, room 407, Riga, darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”.

This paper has been supported by the European Social Fund within the project „Support for the implementation of doctoral studies at Riga Technical University”.

Madara Caunite, researcher, M.sc., RTU doctoral student, Institute of Geodesy and Geoinformation of the University of Latvia, 19 Blvd. Rainis, Riga LV-1586, Latvia LV-1586, Latvia; Phone: +371 67034436; e-mail: madaracaunite@yahoo.com

LITERATŪRA

1. **Ahmed El-Rabbany** *Introduction to GPS: The Global Positioning System*. Second edition, 2006 Artech House, INC
2. http://www.nasa.gov/mission_pages/sdo/main/index.html
3. *Inside GNSS, Engineering solutions from the Global Navigation Satellite System community* November/ December 2007 Volume 2, Number 8; p 30-31;

reliability of space-borne and ground-based technological systems and can endanger human life or health". The space weather is one of the main sources of errors experienced by GNSS systems and their users. It is one of the major sources of errors for single-frequency GNSS receivers, as well as for differential GNSS applications. The development of space technology has reached an application level, where the ability to predict space weather becomes significant. NASA has developed a Solar Dynamics Observatory satellite to study processes on the Sun, especially during the period of solar activity. Mission will be managed by NASA Goddard Space Flight Centre, Greenbelt, Md. SDO mission is scheduled for 5 years, however as a result of satellite apparatus thorough tests, usually it can operate considerably longer. SDO will perform extended and complex studies of the Sun, which for the first time would allow to understand yet uncertain processes, to make the space weather forecasts.

Мадара Цауните. Ионосфера и миссия НАСА «Обсерватория Динамики Солнца».

Следующий максимум активности Солнца ожидается в мае 2013 года. В этот период усиливается излучение дальней ультрафиолетовой части спектра Солнца, достигая ионосферы Земли? уплотня и утолщая ее. Сильное влияние сказывается на условия космической погоды. В национальной программе США по стратегическому плану условий космической погоды, они определены, как «условия на Солнце и солнечном ветру, в магнитосфере, ионосфере и термосфере, которые могут влиять на функционирование и надежность космических и наземных технологических систем и могут угрожать жизни и здоровью людей. Космические погодные условия являются причиной наибольших угроз, с которыми системы ГНСС и их пользователи встречались. Данные условия один из крупнейших источников ошибок у однофазовых приемников ГНСС, а также существенны при дифференциальном использовании ГНСС. Развитие космических технологий достигло степени при которой появляется возможность прогнозировать космические погодные условия. При исследовании процессов на Солнце, особенно в период ее активности, НАСА разработала спутник «Обсерватория Динамики Солнца». Эта миссия создана и будет управляется НАСА с Центра космических полетов в Goddard, Greenbelt, Md. Миссия спутника предусмотрена на 5 лет, но в результате тщательной проверки спутников, миссия обычно продлевается значительно дольше. Спутник проведет более детальное, комплексное исследование Солнца, и это позволит впервые понять до сих пор неясные процессы для прогнозов космических погодных условий.