

SWEETS

Forecasting space weather effects on low Earth orbiting satellites

Programm / Ausschreibung	ASAP, ASAP, ASAP 16. Ausschreibung (2019)	Status	abgeschlossen
Projektstart	01.07.2020	Projektende	31.07.2022
Zeitraum	2020 - 2022	Projektlaufzeit	25 Monate
Keywords	space weather;esa-ssa;low Earth orbiting satellites;kinematic orbits;forecasting orbit decay;		

Projektbeschreibung

Der Begriff „Weltraumwetter“ bezeichnet veränderliche Zustände des interplanetaren Raumes, hervorgerufen durch Vorgänge auf der Sonne. Hauptauslöser für Veränderungen des Weltraumwetters sind sogenannte koronale Massenauswürfe (CMEs). Diese CMEs bestehen aus riesigen Plasmawolken samt eingeschlossenem Magnetfeld und können eine Störung von elektrischen Systemen verursachen. Handelt es sich dabei um erdgerichtete CMEs, kann eine massive Beeinträchtigung der technischen Infrastruktur sowohl auf der Erde (Quebec 1989, Malmö 2003) als auch im Weltraum (Satelliten) erfolgen. Aus diesem Grund ist es in unserer heutigen, modernen Gesellschaft, mit der immer weiter fortschreitenden Technologisierung eminent wichtig, diese vom Weltraumwetter ausgehende Gefahr zu erkennen und sich ihr zu stellen.

Ziel des Projektes SWEETS ist es, einen wertvollen Beitrag zur Erforschung des Weltraumwetters zu leisten. Innerhalb des Projektes soll ein innovatives Vorhersagemodell für die durch CMEs hervorgerufenen Störungen auf Satelliten entwickelt werden das eminente Wichtigkeit für Satellitenbetreiber (LOI) darstellt. Basierend auf dieser Studie soll das Model im ESA space situational awareness (SSA) Programm zum Einsatz kommen. Durch die Expertise am Institut für Geodäsie, hinsichtlich der Orbitbestimmung von Satelliten, können Synergien geschaffen werden, um Sonnensturm induzierte Änderungen der Atmosphärendichte zu bestimmen. Bis dato wurden Auswirkungen von Sonnenstürmen beinahe ausschließlich anhand von Beschleunigungssensoren an Bord einzelner Satellitenmission (CHAMP, GRACE) abgeschätzt. Zum aktuellen Zeitpunkt befindet sich jedoch nur eine einzige Satellitenmission (GRACE-FO) im Orbit, welche mit geeigneten Akzelerometern ausgestattet ist. Aus diesem Grund sollen im Projekt SWEETS zum ersten Mal eine kombinierte Analyse basierend auf einer großen Bandbreite von Satellitenmissionen (u.a. SWARM A-C, TerraSAR-X, Tandem-X, CHAMP, GRACE, GRACE-FO, Cryosat-2, Sentinel 1-2, ...) durchgeführt werden. Die Grundlage dafür bilden Atmosphärendichten, abgeleitet aus kinematischen Orbits und, wenn vorhanden, in-situ Messungen von Beschleunigungssensoren an Board einiger Satelliten. Da sich diese Vielzahl von Satelliten in unterschiedlichen Flughöhen (300-800km) befinden, kann dadurch zusätzlich eine Tomographie der oberen Erdatmosphäre erfolgen und schlussendlich der Einfluss eines Sonnensturms auf die Atmosphäre in Abhängigkeit der Satellitenhöhe abgeschätzt werden.

Die Grundlage für das Vorhersagemodell bilden Echtzeitmessungen des Sonnenwindplasmas und des Magnetfelds (ACE, DSCOVR, Wind) im Lagrange Punkt L1 – in 1.5 Millionen Kilometer Entfernung von der Erde. In Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des jeweiligen CMEs ergibt sich daraus eine mittlere Vorlaufzeit von ungefähr 45 Minuten. Zur

Unterstützung und zeitlichen Ausdehnung der Vorhersage - auf ungefähr 2 Stunden - werden zusätzlich Prädiktionen von geomagnetischen und solaren Indizes eingearbeitet. Die Analyse und Beurteilung wird mehrere hundert CMEs, beginnend mit dem Jahr 2000, umfassen und auf einem zu entwickelnden, (semi-) automatischen Algorithmus basieren. Durch die Bestimmung von lokalen Minima respektive Maxima und der Berechnung von Gradienten kann auch eine Aussage über den Aufbau jedes einzelnen CMEs (shock-sheath region, magnetic structure) erfolgen. Zur Speicherung der gewonnenen Daten wird in weiterer Folge eine Event-Datenbank erstellt, die sowohl als Grundlage für das Vorhersagemodell dient, als auch bei Post-Prozessierungen Anwendung finden kann. Die im Projekt gewonnen Erkenntnisse werden abschließend der Öffentlichkeit und somit auch anderen Forschungsdisziplinen in Form eines real-time Demonstrators frei zugänglich gemacht.

Abstract

The term "space weather" deals with the dynamic conditions in the Earth's outer space environment including physical processes on the Sun. The strongest disturbances of the space environment are primarily caused by coronal mass ejections (CMEs). CMEs are huge clouds of magnetized plasma and may lead to perturbations of electronic devices. If the CME is Earth-directed, it may result in severe disruptions of the technical infrastructure on Earth and in space (satellites). CMEs can interrupt navigation and communication services or even be the trigger for the loss of complete electricity grids (Quebec 1989, Malmö 2003). In today's modern society, with steadily increasing technology, it is of utmost importance to recognize and face up to the space weather threat.

Hence, the goal of the project SWEETS is to make a sustainable contribution to the subject of space weather. For this reason, it is proposed to develop a forecasting model in order to estimate the expected impact of CMEs on satellites, which is highly relevant for satellite operators (LOI). Based on this study the tool shall be applied in the ESA space situational awareness (SSA) program. Due to the extensive knowledge of the Institute of Geodesy in the field of kinematic orbit determination, the unique possibility arises to estimate solar storm induced density variations. So far, the influence of extreme solar events on the atmosphere is almost exclusively estimated based on accelerometer observations of single satellite missions (CHAMP, GRACE). However, at the time of writing, only one satellite mission (GRACE-FO) equipped with suitable accelerometers is orbiting the Earth. Hence, within the project SWEETS, a combined analysis based on a wide variety of satellites (e.g. SWARM A-C, TerraSAR-X, Tandem-X, CHAMP, GRACE, GRACE-FO, Cryosat-2, Sentinel 1-2, ...) shall be realized for the first time. The analysis will be based on neutral mass densities deduced from kinematic orbit information and, if existing, in-situ measurements of on-board accelerometer. Since all these satellites are orbiting at different altitudes between 300-800km, a tomography of the upper Earth's atmosphere is feasible and the impact of a solar event on a satellite can be estimated as a function of its orbital altitude.

The basis on which the forecasting model will estimate the expected influences, are real-time measurements of solar wind plasma and magnetic field data from satellites at the Lagrange point L1 (ACE, Wind, DSCOVR). Because of the distance between the Lagrange point L1 and the Earth (1.5 million kilometres) we can estimate incoming, and for satellites potentially hazardous, thermospheric density increases with an average lead time of 45 minutes - depending on the velocity of the CME. For the support and temporal expansion of the forecast, to approximately 2 hours, predictions of geomagnetic and solar indices will be additionally incorporated. For the analysis and evaluation of the several hundred CMEs since 2000 a semi-automatic algorithm will be developed. The estimation of local/relative maxima or minima and the elaboration of various gradients (impulsive versus gradual variations) will additionally provide information about the structure (shock-sheath, magnetic structure) of the individual CMEs. To store the resulting data a solar event database will be set up, which also serves as a basis for the forecasting model. The results elaborated during the project will be openly available to the

public and other research areas by means of a real-time demonstrator.

Projektkoordinator

- Technische Universität Graz

Projektpartner

- Universität Graz