SpecTrackular

Teleskopsysteme für die hochpräzise Bahnbestimmung und spektroskopische Analyse von Weltraumschrott

Programm / Ausschreibung	Weltraum, Weltraum, ASAP Ausschreibung 2023	**Status**	laufend
Projektstart	01.10.2024	**Projektende**	30.09.2027
Zeitraum	2024 - 2027	**Projektlaufzeit**	36 Monate
Keywords	space debris; spectroscopy; space surveillance and tracking; telescope system; space situational awareness		

Projektbeschreibung

Die steigende Anzahl von Weltraumschrottobjekten in erdnahen Umlaufbahnen stellt eine zusehends akute Gefahr für die Satelliteninfrastruktur dar. Deswegen ist es notwendig die Bahnen dieser Objekte zu erfassen und mittels Modellrechnungen vorherzusagen. Dies ermöglicht die Prädiktion von Kollisionen und damit die Planung von Ausweichmanövern aktiver Satelliten. Mit genaueren Bahndaten lassen sich diese Ausweichmanöver auf ein Minimum reduzieren, was Treibstoff am Satelliten spart und somit dessen Lebensdauer verlängert.

Moderne, bodengebundene Systeme zur Weltraumschrottuntersuchung verwenden typischerweise Radar (Low Earth Orbits) und optische Teleskopsysteme (Medium bis Geostationary Earth Orbits) zur Detektion und genaueren Charakterisierung. Ausgehend von bereits detektierten Objekten, erfassen optische Teleskopsysteme zur Bahndatenvermessung die Objektposition (Winkel) relativ zu den Sternen im Hintergrund, bzw. die Distanz von der Station zum Objekt mittels Satellite Laser Ranging und pflegen diese in internationale Kataloge ein. Beide Messprinzipien benötigen präzise, im Bereich weniger Bogensekunden, nachgeführte Teleskope, um das verfolgte Objekt klar erfassen zu können. Verbesserungen der Nachführung wirken sich somit direkt auf die Qualität der Bahndaten aus.

Ziel von SpecTrackular ist die Entwicklung eines schnell positionierenden Teleskopsystems für die gezielte, hochpräzise Bahnbestimmung von Weltraumschrottobjekten und die spektroskopische Charakterisierung dieser Objekte. Dies wird durch die Weiterentwicklung und Verbesserung der drei Kernkomponenten eines jeden optischen Weltraumschrottbeobachtungsystems erreicht: Der Teleskopnachführung zur schnellen und präzisen Verfolgung mit einem Nachführfehler deutlich unter einer Bogensekunde bei Geschwindigkeiten bis zu 10°/s, des Pointing-Modells mit einem absoluten RMS Fehler von unter 2 Bogensekunden über 5 Minuten und der verwendeten Bahndaten. Neben fortschrittlichen regelungstechnischen Methoden für die Nachführung lassen sich Machine Learning und iterativ lernender Ansätze zum Einsatz bringen. Machine Learning ermöglicht die laufende und systematische Verbesserung des Pointing-Modells des Teleskops unter Berücksichtigung einer Vielzahl an Einflussgrößen, während iterativ lernende Methoden Bahnunsicherheiten minimieren. Dies ermöglicht spektroskopische Messungen, welche zusätzliche Rückschlüsse auf z.B. Material, Lage und Rotation ermöglicht und dadurch eine höhere Qualität der resultierenden Bahndaten erlaubt. Durch die strengen

Anforderungen der vorgesehenen Spektrometer ist eine besonders exakte Nachführung mit einem absoluten Nachführfehler unter 5 Bogensekunden notwendig, die wiederum durch das verbesserte Pointing-Modell und moderne regelungstechnische Methoden ermöglicht wird. Die Demonstration der spektroskopischen Messung erfolgt durch die Vermessung von Satelliten mit bekannten Oberflächenmaterialien, wobei die Verbesserung der Spektroskopie durch Maximierung der nutzbaren Belichtungszeit auf Grund der verringerten Ungenauigkeiten in der Nachführung in realer Umgebung gezeigt wird.

Zusätzlich kommen die gewonnenen Erkenntnisse und Methoden nicht nur der Weltraumschrottbeobachtung zugute, sondern lassen sich auch im Bereich der optischen Satellitenkommunikation und bei der Vermessung erdnaher Objekte (NEOs) anwenden.

Abstract

The increasing amount of space debris in Earth orbits poses a significant threat to our modern society's satellite infrastructure. Therefore, is necessary to have high quality ephemerides of the space debris objects. This provides the possibility to predict their movements and thus, enable collision avoidance maneuvers of active satellites. Higher quality ephemerides allow a more accurate collision prediction, which reduces the number of avoidance maneuvers saving valuable fuel/energy at the satellite and therefore, increasing its operational lifetime.

Modern, ground-based systems for space debris detection and observation (space surveillance and tracking) typically use radar (in low Earth orbits) and optical systems (medium Earth to geostationary orbits). Detected objects are often analyzed in depth using optical telescope systems, measuring the position of the object with respect to the star background (angles) and the distance from the telescope to the object using satellite laser ranging. Recorded angles and distances are used to refine the ephemerides and improve international space debris catalogs. As both measurements require precise tracking of the object, within single arcseconds, an improvement of the tracking capabilities of a telescope system directly improves the quality of the ephemerides.

Goal of this project is the development and implementation of a fast-moving, high-precision telescope system for the orbit determination of space debris and the spectral characterization of these objects. SpecTrackular addresses this goal by optimizing all three main influence factors for optical telescope systems used for space debris monitoring: Telescope mount tracking precision for fast positioning precise tracking with a servo error significantly below one arcsecond up to 10°/s, improvement of the pointing model to achieve an absolute RMS error below 2 arcseconds over 5 minutes and increased quality of the ephemerides. Next to advanced control methods to improve servo tracking precision, methods based on machine learning and iterative learning control are used for improvement of pointing and ephemerides accuracy, respectively. Machine learning is applied to systematically generate up-to-date pointing models from a large number of input variables while iterative learning control aims to minimize uncertainties of ephemerides. The spectral analysis of space debris objects provides additional, essential information such as material, pose and rotation, which allows further improvement of the ephemerides. Due to the challenging requirements of the used spectrometers an even higher tracking precision, with an absolute error below 5 arcseconds of the system is necessary. This is achieved by the dynamic pointing-model, modern control methods and improved ephemerides. Machine learning is used to combine multiple spectral measurements and reduce the influence of varying atmospheric conditions. The proof of concept is verified using active satellites with known spectral properties/surface materials, which allows the demonstration of the improved spectral measurements in a representative environment.

In addition to the goals of SpecTrackular the developed methods and achieved results may be applied to other applications using telescope systems such as free-space optical satellite communication and surveillance of near-Earth objects (NEOs).

Projektkoordinator

- Technische Universität Wien

Projektpartner

- ASA Astrosysteme GmbH