

Autonome bildgestützte Zielerkennung und Kollisionsvermeidung für Satelliten-Servicing-Operationen

Motivation

Durch das sogenannte autonome On-Orbit-Servicing (selbstständig durchgeführte Wartungen und Manipulationen an Satelliten im Orbit, siehe Abb. 1) können nicht nur Astronauten entlastet, sondern auch Kosten in erheblichem Maße gesenkt werden.

Verschiedene Raumfahrtorganisationen (darunter ESA und NASA) haben dafür bereits erfolgreich Missionen und Manöver durchgeführt, jedes Mal jedoch mit den Voraussetzungen, dass beide Rendezvous-Partner, also sowohl der Service-Satellit als auch der angeflogene Satellit (Target), auf das Manöver vorbereitet und lagegerecht waren und der Target-Satellit bekannt oder wenigstens zu indirekter Kommunikation fähig war.

Bisher ungelöste Herausforderungen entstehen, wenn

- der Target-Satellit nicht kooperativ ist, evtl. sogar unkontrolliert taumelt,
- Geometrie und Bewegung des Target-Satelliten nicht a priori bekannt sind,
- das Manöver vollständig autonom durchgeführt werden soll und
- nur Kamera-Bilder zur Erkennung des Targets genutzt werden sollen.

Für Rendezvous und Docking-Manöver (RvD-Manöver) mit genau diesen Randbedingungen werden am Institut für Automatisierungstechnik Algorithmen entwickelt, die die Pose und Bewegung sowie die Geometrie des Target-Satelliten bestimmen, um Servicing-Operationen durchführen zu können und eine sichere Kollisionsvermeidung zu gewährleisten.

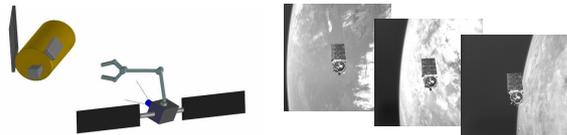


Abb. 1a: Autonomes Servicing

Abb. 1b: Bilder während eines Rendezvous-Manövers der NASA / DARPA

Merkmalsdetektion in Kamerabildern

Da das Ziel als unkooperativ angenommen wird und nicht zwingend mit Erkennungsmerkmalen versehen ist, beruhen alle Informationen darüber allein auf den Bilddaten der On-Board-Kamera. In den einzelnen Bildern lassen sich markante Punkte (Features) finden, die auch in darauf folgenden Bildern wieder erkannt werden können. Dafür wird der SURF-Algorithmus verwendet (Speeded Up Robust Features, [1]). Die SURF-Bildmerkmale werden durch einen Deskriptorvektor beschrieben, der es erlaubt, die Merkmale in anderen Bildern auch dann wieder zu finden, wenn sich ihre Position, Größe oder Orientierung geändert hat (Abb. 2). Die Suche nach korrespondierenden Merkmalen erfolgt über einen Ähnlichkeitsvergleich mit Merkmalen innerhalb eines beschränkten Suchbereichs (region of interest – ROI). Je mehr dieser Bereich durch präzise Vorhersagen eingeschränkt werden kann, umso schneller kann ein passendes Bildmerkmal gefunden werden. Vorhersagen für den Aufenthaltsort eines Merkmals im Bild basieren entweder auf den Bewegungsmustern der Merkmale vorangegangener Bilder oder auf der inzwischen geschätzten 3D-Bewegung der zugehörigen Landmarken.

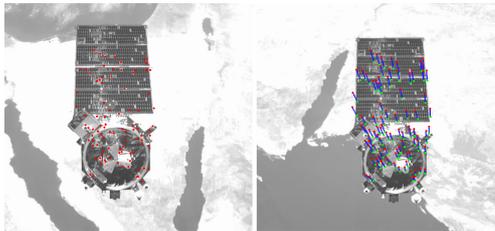


Abb. 2: Die in aufeinander folgenden Bildern wiedergefundenen Merkmale; rot: Merkmale aus erstem Bild; grün: Merkmale aus zweitem Bild; blau: Verschiebungsvektor („Bewegung“) zwischen den Bildern

3D-Rekonstruktion des Ziels

Mit Hilfe eines SLAM-Filters [2] lassen sich aus den jeweiligen Bildkoordinaten korrespondierender Bildmerkmale und der bekannten Bewegung des Service-Satelliten zwischen den Aufnahmezeitpunkten die den Bildmerkmalen entsprechenden Landmarken als dreidimensionale Punkte berechnen. Die entstehende Punktwolke wird nun so ausgewertet, dass ein vollständig beschriebener, geometrischer Körper rekonstruiert werden kann. Alle sichtbaren Oberflächen können geschätzt werden, interessante Einzelheiten müssen schrittweise detailliert werden (Abb. 3).

Besondere Randbedingungen bei der vorliegenden Aufgabenstellung sind:

- Für eine zuverlässige und sichere Kollisionsvermeidung müssen die verwendeten Algorithmen schnell und robust gegenüber Störungen sein.
- Im Vergleich mit anderen Sensordaten (z. B. Laserscanner-Messungen) lassen sich aus den Bilddaten nur Punktwolken mit deutlich geringerer Dichte gewinnen. Trotzdem soll das entstehende 3D-Modell die Geometrie des Target-Satelliten so genau wie möglich wiedergeben.

Das Ziel der Auswertung ist letztendlich die semantische Beschreibung des Target-Satelliten: bestimmte Bereiche des Zieles werden klassifiziert, spezielle mechanische Komponenten werden identifiziert und robuste Strukturen erkannt. Das vereinfachte 3D-Modell aus geometrischen Primitiven ermöglicht bei gleichzeitig geringeren Rechenzeiten eine sicherere Kollisionsvermeidung als bei ausschließlicher Betrachtung der ursprünglichen Punktwolke.

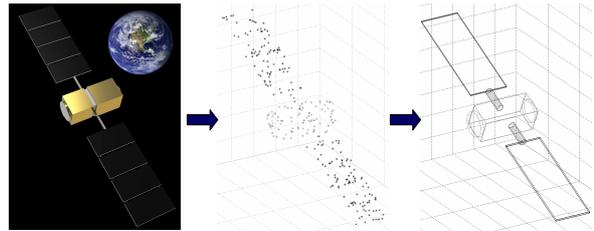


Abb. 3: 3D-Rekonstruktion des Target-Satelliten: Aus Bildserien lassen sich die Positionen von im Bild gefundenen Landmarken bestimmen. Aus der entstehenden Punktwolke können geometrische Primitive rekonstruiert werden.

Demonstrator

Zur Verifizierung der entwickelten Algorithmen sind reale bzw. realitätsnahe Bildsequenzen und zugehörige wahre Werte (Ground Truth) von RvD-Manövern notwendig. Zu dem wenigen vorhandenen Bildmaterial abgeschlossener Satellitenmissionen sind jedoch keine wahren Werte bezüglich der relativen Pose und Bewegung zwischen Target und Service-Satellit verfügbar.

Entsprechende Bilddaten von RvD-Manövern können aufwendig mit Hilfe von Raytracing-Software generiert oder in realen Demonstratoren simuliert werden. Derartige Simulatoren existieren bereits und werden u. a. von ESA und NASA genutzt (z. B. EPOS-Anlage (DLR, [3]) und RPHS-Anlage (MD Robotics, [4])). Mit diesen Anlagen können auch Hardware in the Loop Tests für echte Satellitensysteme durchgeführt werden.

Am Institut für Automatisierungstechnik wird der Simulator MiPOS entwickelt, der allein für die Softwareverifizierung eingesetzt werden soll [2]. Mit diesem Labor-demonstrator (Abb. 4) können Rendezvous-Manöver unter realitätsnahen Bedingungen simuliert werden. Der Service-Satellit wird durch eine Kamera-Einheit repräsentiert, die in drei Achsen translatorisch und in drei Achsen rotatorisch bewegt werden kann. Der Target-Satellit wird durch ein maßstabsgerecht skaliertes Modell nachgebildet, das selbst auch in drei Achsen rotatorisch bewegt werden kann. Mit Hilfe von Positionssensoren kann die reale relative Pose des Zielsatelliten jederzeit bestimmt und zur Prüfung herangezogen werden. Für eine realitätsgetreue Beleuchtung während der Simulation werden sowohl die direkte Sonneneinstrahlung als auch die diffuse Reflektion von der Erde berücksichtigt.

Zusätzlich zu Satelliten-Servicing-Szenarios lassen sich mit dem Demonstrator auch Erkundungsflüge bei Asteroidenmissionen oder Landungen auf Planetenoberflächen simulieren.



Abb. 4: Der am Institut für Automatisierungstechnik entwickelte Simulator MiPOS

Referenzen

- [1] H. Bay, T. Tuytelaars, L. V. Gool: "Surf: Speeded Up Robust Features". European Conference on Computer Vision, 1:404-417, 2006.
- [2] F. Schnitzer, A. Sonnenburg, K. Janschek, G. Willich: "SLAM-based 3D Shape Estimation for Rendezvous with Uncooperative and Unknown Target Spacecraft". 8th International ESA Conference on Guidance and Navigation Control Systems - ESA GNC 2011, 5 - 10 June 2011, Carlsbad, Czech Republic.
- [3] T. Boge; et al.: "Hardware in the Loop Simulator von Rendezvous und Docking Manövern", German Aerospace Congress of DGLR, Aachen, Germany, 8-10 September, 2009
- [4] P. Newhook: "A Robotic Simulator for Satellite Operations". I-SAIRAS 2001

Kontakt

Technische Universität Dresden
Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
Lehrstuhl für Automatisierungstechnik
Prof. Dr. techn. Klaus Janschek
01062 Dresden
www.et.tu-dresden.de/ffa

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Frank Schnitzer
Telefon: +49 351 463 32097
Telefax: +49 351 463 37039
E-Mail: frank.schnitzer@tu-dresden.de
Besuchsadresse: Barkhausen-Bau, Georg-Schumann-Str. 11, Zi. S83

