



MASTERARBEIT

„Bildbasierte Lageregelung“

Lisa Elsner

Elitestudiengang „Satellite Technology“

Universität Würzburg, 2021

Bildbasierte kooperative Lageregelung

Lisa Elsner hat im Elitestudienprogramm „Satellite Technology“ an der Universität Würzburg studiert. Im Rahmen ihrer Masterarbeit entwickelt sie eine bildbasierte kooperative Lageregelung für die CubeSat Mission TOM, um eine gemeinsame Erdbeobachtung von 3 Satelliten durchführen zu können.

Herausforderungen bei kooperativer Erdbeobachtung

In den letzten Jahren wurden immer mehr Kleinsatellitenformationen für verschiedene Anwendungen gestartet und betrieben, wobei sich die Erdbeobachtung als deren Haupteinsatzgebiet herausgestellt hat. In Erdbeobachtungsmissionen haben die Satelliten eine Kamera für Aufnahmen der Erdoberfläche an Bord. Es werden so kontinuierlich Informationen von einem ausgewählten Teil der Erdoberfläche erfasst. Die durch diese Beobachtung gewonnenen Datensätze werden für Arbeiten in den Bereichen Katastrophen, Energie, Klima, Wetter, Landwirtschaft, Ökologie, Biodiversität und Wasser genutzt.

Um Bilder der Erdoberfläche aus den verschiedenen Perspektiven der Satelliten in Formationen fusionieren zu können, müssen die Satelliten miteinander kommunizieren und sich abstimmen, dass alle die gleichen Ziele zum selben Zeitpunkt beobachten. Speziell bei den Kleinsatelliten, in denen Ressourcen wie Platz und Energie beschränkt sind, stellt dies eine große Herausforderung für das Lageregelungs- und Lagebestimmungssystem dar. Das Lageregelungssystem muss sicherstellen, dass die Ausrichtung der Kamera sehr präzise auf die zu beobachtende Fläche geregelt wird. Die Genauigkeit dieser Ausrichtung hängt wiederum von der Genauigkeit der Lagebestimmungssensoren ab, da diese die Abweichung zur gewünschten Ausrichtung bestimmen und das Lageregelungssystem diese dann entsprechend korrigieren muss. Der Satellit wird so auf einen vorgegebenen Punkt auf der Erde ausgerichtet.

Mit konventionellen Lagebestimmungssensoren wie dem Magnetometer, Gyroskop, Sonnensensor oder Sternsensor ist eine hochpräzise Lageregelung für Kleinsatelliten oft innerhalb deren beschränkten Ressourcen schwer umsetzbar.

Das Magnetometer, Gyroskop und der Sonnensensor allein können oft nicht die Anforderungen der Ausrichtgenauigkeit erfüllen. Der Sternsensor ist zwar ein sehr präziser Lagebestimmungssensor, führt aber bei Kleinsatelliten oft zu Platzproblemen, wodurch die Satelliten größer gebaut werden müssen. Das wiederum führt zu höheren Entwicklungs- und Betriebskosten. Diese Herausforderung einer hochpräzisen synchronisierten Ausrichtung mehrerer Satelliten bei gleichzeitig limitierenden Faktoren wie Platz und Energie eröffnet aber auch neue und interessante Forschungsgebiete.

Zum einen können multifunktionale Systeme entwickelt werden. So ist die Kamera auf der einen Seite zuständig für die Aufnahmen der Erde, kann aber auch als Navigationssensor für die nachfolgende präzise Lageregelung dienen.

Bildbasierte Lageregelung für Kleinsatelliten

Die Arbeit von Lisa Elsner hat das Ziel, eine bildbasierte kooperative Lageregelung für Erdbeobachtungsmissionen zu entwickeln und für Kleinsatellitenanwendungen zu integrieren. Das System soll speziell für die Telematics Earth Observation Mission (TOM) entworfen werden, um dort im Orbit Experimente durchführen zu können und die Leistungsfähigkeit dieses Ansatzes zu charakterisieren. In dieser Mission fliegen drei Satelliten in einer Formation, um synchronisierte Aufnahmen von einer ausgewählten Fläche der Erde von unterschiedlichen Blickwinkeln zu machen. Dadurch können zum Beispiel Aschewolken von Vulkanausbrüchen in allen 3 Dimensionen rekonstruiert werden und so können Aussagen über deren räumliche Verteilung und

Auswirkung auf das Klima abgeleitet werden. Um die präzise und synchronisierte Ausrichtung der Satelliten zu ermöglichen, soll die Kamera an Bord der Satelliten nicht nur für die Aufnahmen, sondern auch für die Lageregelung genutzt werden. Dabei werden Bildverarbeitungsalgorithmen angewendet, um eindeutig unterscheidbare und wiedererkennbare Punkte (sogenannte Features) auf der Erde zu identifizieren. Diese Punkte müssen dann in darauffolgenden Bildern immer wieder gefunden bzw. verfolgt werden, um den gleichen Bildausschnitt in der Kamera zu sehen. Es muss nicht nur sichergestellt werden, dass Features nicht verwechselt werden, sondern alle drei Satelliten müssen auch zur gleichen Zeit die gleichen Features verfolgen. Um einen erfolgreichen Überflug zu realisieren, muss entsprechende Software zur Koordination und Selbstorganisation der 3 Satelliten realisiert werden.

Die Entwicklung dieses Systems umfasst die Bereiche Bildverarbeitungsalgorithmen, Sensordatenfusion, Kommunikation innerhalb und zwischen den Satelliten, Zeitsynchronisation, Orbit- und Formationsdesign. Aufgrund der Komplexität und den vielen verschiedenen Einflussfaktoren werden entsprechende Tests durchgeführt. Zuerst wird das Konzept in einem softwarebasierten Erdbeobachtungssimulator und dann in einer Hardware-in-the-Loop (HiL) Umgebung getestet. Diese HiL-Umgebung nutzt zwei Drehtische als 3-Achsen-Lagesimulatoren (Turntables), auf denen Satelliten mit Kameras montiert sind, während das Beobachtungsziel auf einem mobilen Roboter montiert ist, um die relative Orbitbewegung zu simulieren. Des Weiteren soll untersucht werden, ob konventionelle Lagebestimmungssensoren, wie zum Beispiel ein Sternsensor, in Erdbeobachtungsmissionen ergänzt oder ersetzt werden könnten, welche Ausrichtgenauigkeit auf diese Weise erzielt werden kann und unter welchen Voraussetzungen eine bildbasierte Lageregelung eingesetzt werden kann.



Hardware-in-the-Loop-Umgebung mit dem Drehtisch, verfolgte Features, Beobachtungsziel mit dem Vulkan und beteiligte Partner

© **Universität Würzburg, Zentrum für Telematik**

Mehr zum Elitestudiengang:

🔗 www.elitenetzwerk.bayern.de/satellite-technology

www.uni-wuerzburg.de/satec

www.telematik-zentrum.de/projects/tim-tom