

Satellitengestützte InSAR-Services zur Überwachung von Infrastrukturanlagen

MICHAEL MARES

Auf Basis der Radarinterferometrie können mittels Radarsatellitenaufnahmen Objekt- und Bodenbewegungen mit einer Genauigkeit von wenigen Millimetern pro Jahr detektiert werden. Dies ist sowohl auf Basis von Archivdaten ab dem Jahr 1992 möglich, als auch mittels hochauflösender Radaraufnahmen im Rahmen eines Monitorings. Der folgende Beitrag gibt eine kurze Übersicht zu den Grundlagen des Verfahrens und zeigt exemplarisch ein Projektbeispiel eines InSAR-Monitorings zur baubegleitenden Überwachung von Gebäuden entlang der A7.

1. RADAR-Fernerkundung

Das Auswertungsverfahren der SAR (Synthetic Aperture Radar) Interferometrie beruht auf der Analyse von Radio Detection and Ranging-Satellitenaufnahmen (RADAR). RADAR stellt ein sogenanntes aktives Aufnahmesystem dar, welches im Gegensatz zu passiven Systemen, die zu messende Strahlung selbst erzeugt. Das Verfahren ist somit von der Sonne unabhängig. Weiterhin kann die langwellige Radarstrahlung Wolken fast ungehindert passieren. Diese Eigenschaften ermöglichen es, im Gegensatz zu Luftbildern oder optischen Satellitenaufnahmen, tageszeit- und wetterunabhängig Aufnahmen eines Gebiets zu erstellen. Das System liefert daher mit hoher Zuverlässigkeit Informationen des Untersuchungsgebietes.

2. Synthetic Aperture Radar (SAR)

Klassische RADAR Systeme mit realer Apertur (RAR) unterliegen der Einschränkung, dass die Bodenauflösung abhängig von der Größe der Antenne des Satelliten ist. Ein Satellit würde für eine Bodenauflösung von wenigen Metern eine kilometerlange Antenne benötigen. Da ein solches System im Weltraum nicht stabil zu betreiben ist, bedient man sich der Methode des Radar mit synthetischer Apertur (SAR). Erreicht wird dies durch die Auswertung der Dopplerfrequenzverschiebung des Radar-Echos, welche durch die Mehrfachbeleuchtung jedes Bodenelements während des Überflugs entsteht. Auf eine weitere Beschreibung des Verfahrens wird an dieser Stelle verzichtet.

3. Interferometrie

Beim Empfang, des von der Erdoberfläche reflektierten Radarsignals, erfolgt parallel zur Aufzeichnung der Stärke des Radarechos auch die Aufzeichnung der Phase der elektromagnetischen Strahlung. Die Phase stellt den Schwingungszustand des elektromagnetischen Feldes dar. Dieser Schwingungszustand ist unter anderem von der Entfernung des Satelliten zur Erdoberfläche abhängig, also der Weglänge vom Erdboden bis zur Antenne des Satelliten. Da die Messung jedoch nicht die absolute Entfernung angibt, sondern im Rahmen der Auswertung die relative Weglängenänderung berechnet wird, ist eine umfangreiche Datenauswertung zur Ausweisung von Erdbewegungen notwendig. So muss die Information über die Bodenbewegung im Laufe der Auswertung von anderen Störeinflüssen isoliert werden.

$$\Phi_{Int} = \Phi_{Erdrueummung} + \Phi_{Topographie} + \Phi_{Deformation} + \Phi_{Atmosphaere} + \Phi_{Rauschen} + N * 2\pi$$

Neben der Topographie und Umlaufbahnungenauigkeiten sind dies vor allem Einflüsse der Atmosphäre, welche von dem Radarsignal zweimal durchlaufen wird. Die erfolgreiche Beseitigung dieser Einflüsse ist essentiell zur hochgenauen Auswertung der Oberflächenbewegungen. Es ist zudem zu beachten, dass die Bewegungsmessung in der Schrägsicht des Sensors erfolgt.

4. Persistent Scatterer-Analyse (PSInSAR)

Unter Persistent Scatterer werden Punktstrahler mit einem besonders starken und zeitlich konstanten Rückstreusignal bezeichnet. Diese Punktstrahler befinden sich meist an künstlichen Objekten wie Gebäuden, Brücken, Schienen etc. Sie besitzen eine spezielle Orientierung zum Satelliten, wodurch sie einen Großteil der einfallenden Radarstrahlung zum Sensor zurückstreuen. Der Punktstrahler kann eine Größe von wenigen Dezimetern haben, stellt jedoch für das entsprechende Bildelement (Pixel), welches erheblich größer ist, das dominante Rückstreusignal dar. Phasendifferenzen lassen sich somit auf Bewegungen dieses einzelnen Punktes zurückführen. Die Punktstrahler weisen zudem auch über Jahre hinweg eine hohe Kohärenz (Ähnlichkeit des Rückstreusignals) auf.

Für eine PSInSAR-Auswertung wird eine Zeitreihe mit einem Umfang von mindestens 20 Radaraufnahmen (Aufnahmezeitpunkte) benötigt. Innerhalb dieser Zeitreihe wird für jedes Radarpixel geprüft, ob es sich bei diesem Punkt um einen geeigneten Punktstrahler handelt. Für die Punktstrahler werden dann die Messwerte jedes Aufnahmezeitpunkts miteinander verknüpft und so das Bewegungsprofil erzeugt.

Im Zuge der Auswertung erfolgt eine Atmosphärenkorrektur jeder Aufnahme, so dass die Genauigkeit der Bewegungsanalyse deutlich gesteigert werden kann. So können Genauigkeiten von ca. +/- 1 mm/Jahr bei optimaler zeitlicher Abdeckung mit Radaraufnahmen erreicht werden. Die Bewegungsmessung erfolgt in der Schrägsicht des Sensors.

5. Projektbeispiel

Abbildung 1 zeigt exemplarisch das Ergebnis einer PSInSAR-Analyse entlang einer Baumaßnahme an der A7. Für jeden der farblich markierten Punkte kann das Bewegungsprofil für den Zeitraum der Zeitreihe ausgelesen werden (Ergebnis aus Datenschutzgründen farblich homogenisiert).



Abbildung 1: Beispiel einer PSInSAR-Auswertung entlang einer Baumaßnahme an der A7 in Hamburg (Ergebnis aus Datenschutzgründen farblich homogenisiert)

Die PSI-Auswertung erfolgte für einen 500 m breiten Korridor entlang der Baumaßnahme des Tunnel Stellingen und der Langenfelder Brücke. Innerhalb dieses Bereichs wurden ca. 72.000 PSI-Punkte identifiziert und deren Bewegungsverhalten über den genannten Zeitraum analysiert.

Auf Grundlage der Radarinterferometrie und den hochauflösenden TerraSAR-X-Daten war eine großflächige und räumlich hochauflösende Deformationsüberwachung der Bereiche Tunnel Stellingen und Langenfelder Brücke möglich. Aufgrund der hohen PSI-Punktdichte liegen für die Gebäude eine Vielzahl von Messpunkten vor, so dass anhand der Daten auch Differenzen im Bewegungsverhalten eines einzelnen Gebäudes erkennbar sind.

Kontakt

MICHAEL MARES

Trigis Geoservices
Heidelbergstraße 7
07554 Korbußen
www.trigis.de