

Bildqualität von optischen Fernerkundungsdaten

ANDREAS BRUNN¹, HORST WEICHEL¹ & RALF REULKE²

Zusammenfassung: Photogrammetrie und Fernerkundung bieten eine ganze Reihe unterschiedlicher Verfahren zur Ableitung geometrischer, radiometrischer und thematischer Informationen aus Bilddaten. Zur Erfassung der dafür benötigten Bilddaten stehen eine Vielzahl von Flugzeug- und Weltraumsensoren zur Verfügung.

Digitale Sensoren bieten auf Grund der Möglichkeiten der absoluten geometrischen und radiometrischen Kalibrierung vielversprechende Möglichkeiten zur Schaffung von Mehrwertprodukten wie digitale Höhenmodelle, Landnutzungskarten etc. Solche Kameras kombinieren die hohe geometrische Qualität mit den radiometrischen Standards von Erdbeobachtungssystemen. Für die Qualitätsbewertung optischer Fernerkundungsdaten sind verschiedene Standards und Spezifikationen verfügbar. Bei der Bestimmung der Bildqualität kann dabei zwischen (spektralen) radiometrischen und geometrischen Aspekten unterschieden werden. Normen enthalten verschiedene Messgrößen für Genauigkeitsprobleme (spektrale, radiometrische und geometrische Genauigkeit) sowie für Leistungsparameter wie SNR, MTF. Bildartefakte sind ein weiteres wichtiges Thema.

Der Beitrag führt in die Thematik ein und stellt einen neuen Ansatz zur effizienten radiometrischen Validierung und Kalibrierung operationeller satellitengetragener Fernerkundungssensoren vor.

1 Bestimmung der Bildgüte von Fernerkundungsdaten

Die Bestimmung der Güte von Fernerkundungsdaten lässt sich prinzipiell in spektrale, radiometrische und geometrische Aspekte unterscheiden. Für die Beschreibung lassen sich unterschiedliche Kenngrößen finden, die zum einen Genauigkeitsaspekte (z.B. Wandlung von DN in Strahlungsgrößen, geometrische Punktgenauigkeit wie z.B. CE90) aber auch Performancegrößen (SNR, MTF) betreffen. Hinzu kommen Artefakte und statistische Eigenschaften der Messfehler (Bildfehler).

Solche Bildfehler sind abhängig von

- Rohdaten (z.B. Detektor-Inhomogenitäten, Komprimierung oder Überstrahlung)
- der Vorverarbeitung (geometrische und radiometrische Korrekturen, Pansharpening, etc.)
- Fehler durch Algorithmen und mangelhafte Zusatzdaten (DGM, Atmosphärenparameter)
- Übertragungsfehler, etc.

Die Bestimmung der Güte kann auf unterschiedlichen Verarbeitungsniveaus erfolgen. Dies erfordert eine Vorverarbeitung der Bilddaten zur Herstellung einer vergleichbaren Datenqualität, die Gewinnung, Bereitstellung und Bearbeitung von Referenzdaten und Zusatzinformationen. Die Erfassung der Güte von Fernerkundungsdaten bezogen auf die vorgesehene Anwendung entspricht der Validierung.

¹ Planet Labs Germany GmbH, Kurfürstendamm 22, D-10719 Berlin,
E-Mail: [andreas.brunn, horst.weichel]@planet.com

² Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Informatik, D-10099 Berlin,
E-Mail: reulke@informatik.hu-berlin.de

Neben einer Charakterisierung und dem Vergleich von Fernerkundungssystemen bzw. Bilddaten können mit diesen Verfahren auch der Einfluss von Bildverarbeitungsalgorithmen (Kompression, Bildschärfung) untersucht werden. Für die Bewertung von Bildverarbeitungsalgorithmen sind oft nur vom Algorithmus abhängige spezielle Faktoren von Interesse. Die Untersuchung des Einflusses von Kompressionsalgorithmen kann sich beispielsweise auf die Untersuchung des Auftretens von Bildartefakten beschränken.

Die geometrische und radiometrische Genauigkeit sind ein Teil der Bildqualität und werden im Rahmen der Validierung bestimmt.

Der Beitrag stellt eine Methode zur radiometrischen Validierung und Kalibrierung satellitengetragener Kameras in der operationellen Phase vor, die sich auf Referenzmessungen am Boden stützt.

2 Radiometrische Kalibrierung

Für die meisten thematischen Anwendungen von Fernerkundungsdaten ist eine radiometrische Kalibrierung unerlässlich. Für die radiometrische Kalibrierung gibt es vielfältige wichtige Gründe. Ein Fernerkundungssensor liefert in der Regel Grauwerte, die keinen Bezug zu physikalischen Größen haben (SCHOWENGERDT 2007). Für eine effektive Anwendung der Daten, insbesondere wenn Daten unterschiedlicher Sensoren oder Daten aus unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten verglichen werden sollen, müssen die Daten in vergleichbare physikalische Größen umgerechnet werden. Diese physikalische Größe ist in der Regel die spektrale Strahldichte (radiance) und wird in der Einheit $W/m^2\mu m\ str$ angegeben. Die Bestimmung der Umwandlungskoeffizienten erfolgt durch Methoden der absoluten radiometrischen Kalibrierung.

Außerdem werden auch Methoden wie die Cross Kalibrierung verschiedener Sensoren oder das destripping von Zeilensensoren als radiometrische Kalibrierung bezeichnet. Diese Methoden werden hier aber nicht betrachtet.

Absolut radiometrische Kalibrierung beginnt für satellitengetragene Sensoren bereits vor dem Start in die Umlaufbahn am Boden im Labor. Dabei wird die spektrale Empfindlichkeit jedes Sensorelements in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke gemessen und das Verhalten z.B. in Abhängigkeit von der Temperatur charakterisiert. Da die spektrale Empfindlichkeit gängiger Sensoren nicht stabil ist, sich insbesondere durch die Einflüsse wie Erschütterung und Temperaturunterschieden des Starts und in der frühen Orbitphase durch Ausgasung teilweise signifikant verändert, ist auch in der operationellen Phase des Instrumentes in der Umlaufbahn eine ständige Überwachung und ggf. erneute Kalibrierung erforderlich, wenn die radiometrische Genauigkeit erhalten bleiben soll. Während im Labor die Strahldichten am Detektor direkt bestimmt werden können, bedient man sich für die On-orbit Überwachung und Kalibrierung entweder auf der Erde befindliche Referenzflächen in Kombination mit Methoden zur Simulation und Entfernung atmosphärischer Einflüsse, oder Objekten, die sich außerhalb der Erdatmosphäre befinden.

2.1 Methoden der absoluten Kalibrierung

Einige Sensoren haben eingebaute Referenzquellen wie Lampen oder Sonnendiffusoren, die zur absoluten Kalibrierung genutzt werden können. Da diese sich normalerweise nicht im selben optischen Pfad wie die eigentlichen Ziele befinden und außerdem selbst gewissen Degradationen unterworfen sind, sind auch für solche Instrumente alternative Methoden von Vorteil.

Als solche alternativen Methoden haben sich die Kalibrierung anhand von Sternen und vor allem des Mondes sowie von homogenen Flächen am Boden (radiance based vicarious calibration) etabliert.

Für den Mond sind mittlerweile Modelle erstellt worden, mit denen sich die Irradianz des Mondes mit einer relativen Genauigkeit von ungefähr einem Prozent (BARNES et al. 2004; STONE & KIEFFER 2004) vorhersagen lässt. Für die Kalibrierung werden dann mit dem Sensor Bilder des Mondes aufgenommen und die so erzeugten Messwerte mit aus den Modellen der Mond Irradianz abgeleiteten Referenzwerten verglichen.

Für die Nutzung homogener Flächen am Boden werden gleichzeitig zur Aufnahme der Fläche mit der Fernerkundungskamera vom Orbit aus Referenzmessungen von Reflektanz und Irradianz am Boden aufgezeichnet. Aus diesen Referenzmessungen werden durch Modelle zum Strahlungstransfer durch die Atmosphäre, wie MODTRAN oder 6S, die am Sensor erwarteten Radianzen simuliert und mit den tatsächlichen Messwerten verglichen.

2.2 RadCaTS und RadCalNet

Ideal für die radiometrische Kalibrierung sind Flächen, die räumlich homogen, zeitlich invariant und atmosphärisch stabil, ohne große Wasserdampf- und Aerosolanteile sind. Eine solche Fläche ist z.B. Railroad Valley, das seit 1999 für die absolute Kalibrierung von Weltraumsensoren genutzt wird (THOME et al. 2003). Diese Testfläche wurde seitdem kontinuierlich als **Radiometric Calibration Test Site** (RadCaTS) weiterentwickelt, auf dem heute auch automatisiert Referenzmessungen der Boden Reflektanz und Irradianz im Wellenlängenbereich zwischen 400 und 2500nm durchgeführt werden (CZAPLA-MYERS et al. 2010).

RadCaTS ist Teil von RadCalNet welches als Initiative vom **Committee on Earth Observation Satellites** (CEOS) vier global verteilte automatisierte Sites zusammenfasst und die Daten derer gesammelt auf einem Internetportal zur Verfügung stellt. Neben Railroad Valley beinhaltet RadCalNet außerdem die Sites La Crau (Südfrankreich), Baotou (Innere Mongolei, China) und Gobabeb (Namibia). Das System ist derzeit noch im Testbetrieb und für Betatester auf Antrag zugänglich. Die operationelle Phase soll im zweiten Quartal 2017 beginnen. Instrumentierung und Messungen des RadCalNet sind dabei vereinheitlicht für alle Flächen identisch. Eine Zusammenfassung der verfügbaren Testgebiete findet sich in Tab. 1.

Tab. 1: Testflächen des RadCalNet (RADCALNET 2016)

| Testfläche | Lat | Lon | Grösse |
|-----------------|-----------------------|----------|-------------|
| Railroad Valley | 38.497 | -115.690 | 1km x 1 km |
| Baotou | 40.851 | 109.628 | 100m * 100m |
| La Crau | 43.558 | 4.864 | 30m radius |
| Gobabeb | Noch nicht in Betrieb | | |

Auf jeder RadCalNet Testfläche werden täglich zwischen 9:00 und 15:00 Uhr Ortszeit Messungen im 30 Minuten Intervall gemacht. Gemessen wird dabei die Bodenreflektanz und die Sonneneinstrahlung aus der diverse atmosphärische Faktoren abgeleitet werden die wiederum dazu benutzt werden, um aus den gemessenen Bodenreflektanzwerten Reflektanzwerte über der Atmosphäre abzuleiten.

Das Datenpaket beinhaltet folgende Parameter: Reflektanz über der Atmosphäre (10 nm spektrale Auflösung), Reflektanz am Boden (10 nm spektrale Auflösung), Temperatur, Wasserdampf, Optische Dicke bei 550 nm und Angström Koeffizient. Für bis zu 13 wolkenfreie Messungen pro Tag. Diese Messungen können direkt mit simultan angefertigten kalibrierten Satellitenaufnahmen der jeweiligen Testfläche verglichen und dadurch die Genauigkeit der bisherigen Sensorkalibrierung abgeleitet und verbessert werden.

Bei Planet (früher BalckBridge AG) wird das Railroad Valley bereits seit 2009 als Kalibrierfläche für die RapidEye Sensoren genutzt. Zunächst ausschließlich mit manuell durchgeführten Messungen, später dann auch mit den atomatisierten RadCats Daten. Die Validierungen anhand von RapidEye Daten haben gezeigt, dass mit Hilfe der vicarious calibration Kalibrierengenauigkeiten mit einem Fehler von weniger als 4% möglich sind (BRUNN et al. 2016). Derzeit wird die Methode auf das gesamte RadCalNet Netzwerk und die gesamte Flotte von Planet Satelliten ausgebaut.

3 Fazit & Ausblick

In dem Beitrag wurde ein neuer Ansatz zur Kalibrierung von Fernerkundungssensoren gegeben. Durch Nutzung der automatisiert gewonnenen Referenzdaten von den RadCalNet Flächen steht eine zeitlich wesentlich höherfrequente Referenz zur Verfügung, die es erlaubt radiometrische Validierungen in wesentlich kürzeren Zeiträumen durchzuführen. Wir erwarten daraus eine Verbesserung der Genauigkeit sowie auch eine wesentliche Steigerung der Effizienz der Kalibrierprozesse. Außerdem wird durch die gemeinsame Nutzung derselben Flächen durch unterschiedliche Sensorbetreiber die Interoperabilität der Fernerkundungsdaten deutlich erhöht.

4 Literaturverzeichnis

- BARNES, R., EPLEE, R., PATT, F., KIEFFER, H., STONE, T., MEISTER, G., BUTLER, J. & MCCLAIN, C., 2004: Comparison of SeaWiFS measurements of the Moon with the U.S. Geological Survey lunar model. *Applied Optics* **43**(31), 5838-5854.
- BRUNN, A., WEICHEL, H., BAHLOUL, S., 2016: Absolute Calibration of a 5 Satellite Constellation Using Vicarious Calibration – 7 Years of Operational Experience. Conference on Characterization and Radiometric Calibration for Remote Sensing, Logan/Utah, Aug. 2016.
- CZAPLA-MYERS, J.S., THOME, K.J. & LEISSO, N.P., 2010: Radiometric calibration of earth-observing sensors using an automated test site at Railroad Valley, Nevada. *Canadian Journal of Remote Sensing* **36**(5), 474-487.
- SCHOWENGERDT, R., 2007: *Remote Sensing, Models and Methods for Image Processing*, Academic Press.
- RadCalNet, 2016: RadCalNet Quick Start Guide, https://www.radcalnet.org/resources/RadCalNetQuickstartGuide_20160915.pdf, last access on 19.01.2017
- STONE, T. & KIEFFER, H., 2004: Assessment of uncertainty in ROLO lunar irradiance for on-orbit calibration. SPIE 49th Annual Meeting on Optical Science and Technology, 300-310.
- THOME, K.J., BIGGAR, S.F. & WISNIEWSKI, W., 2003: Cross Comparison of EO-1 Sensors and Other Earth Resources Sensors to Landsat-7 ETM+ Using Railroad Valley Playa. *IEEE TGARS* **41**(6), 1180-1188.