

Zuordnungsverfahren und Texturierung für den Aufbau von 3D-Gebäudemodellen

John Moré, Dirk Stallmann

BSF Swissphoto GmbH,
Mittelstraße 7, D-12529 Schönefeld
eMail: info@bsf-swissphoto.com
URL: <http://www.bsf-swissphoto.com/>

Zusammenfassung. Ziel des Projektes ORACLE ist der Aufbau eines Sicherheits- und Informationsmanagementsystems. Dazu wurden raumbezogene Raster- und Vektordaten aufbereitet. Um auf diese Daten zugreifen zu können wurden Schnittstellen definiert. Zur Unterstützung des Nutzers werden die ortsbezogenen relevanten Daten vom Informationsmanagementsystem zeitnah bereitgestellt. Außerdem wird ein Abgleich der aufgenommenen Bildinformationen mit den Referenzdaten durch eine Bild-zu-Bild- und eine Bild-zu-Szene-Zuordnung vorgenommen. Diese Zuordnungsverfahren sollen außerdem für den Aufbau von 3D-Gebäudemodellen verwendet werden.

1 Einleitung

Das Projekt ORACLE (Objektschutz in raumbezogenen agenten-basierten Cloudsystemen im lokalen Ereignisraum) hat als Ziel die Entwicklung eines interdisziplinären, georeferenzierten Agenten-Cloud-Systems zur Bereitstellung von Informationen und für die Koordination von Maßnahmen zur Gefahrenabwehr. Zur Erfassung von möglichen Gefahrensituationen wird ein mobiles Endgerät verwendet. Dafür wurde von einem Projektpartner auf einem Smartphone eine Anwendersoftware (App) entwickelt (Abb. 1).

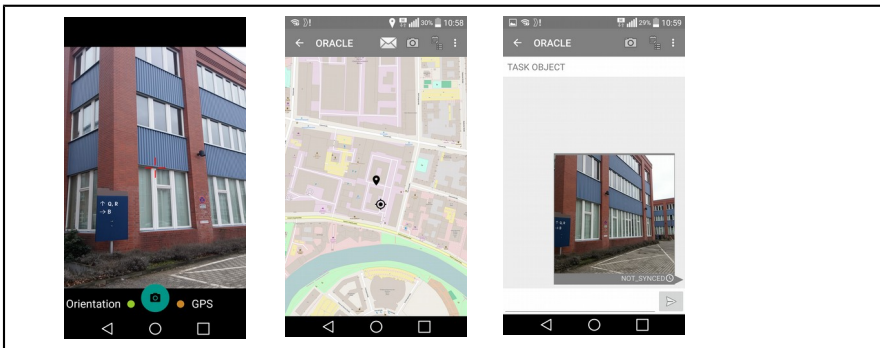


Abb. 1. ORACLE-App auf Smartphone LG Nexus 5

Die Agentensoftware erfasst (Agenten-)Bilder mit einer Digitalkamera. Zusätzlich werden die Aufnahmeposition mit einem GPS-Empfänger, die Aufnahme­richtung mit einem Kompass, die Lage mit Neigungssensoren und Metadaten (Zeitpunkt, etc.) aufgezeichnet. Diese Informationen werden an ein Informations- und Sicherheitsmanagementsystem übermittelt. Auf Grundlage dieser Agentendaten ermittelt das Informations- und Sicherheitsmanagementsystem die relevanten Referenzdaten und stellt diese der Agenten-Software zur Verfügung. Die Referenzdaten bestehen aus georeferenzierten Raster- und Vektordaten.

Das NKF-Kooperationsprojekt hat folgende Projektpartner: DAI-Labor - Distributed Artificial Intelligence Laboratory, TU-Berlin, Gemtec GmbH, Königs Wusterhausen und BSF Swissphoto, Schönefeld. BSF Swissphoto hat folgende Aufgaben:

1. die Bereitstellung von georeferenzierten Raster- und Vektordaten,
2. die Entwicklung eines Systems zur zeitnahen Bereitstellung von Geodaten und
3. die Entwicklung eines Orientierungsprozesses zur genauen Positionierung und Orientierung von Bildern.

2 Bereitstellung von georeferenzierten Raster- und Vektordaten

Die georeferenzierten Raster- und Vektordaten umfassen Nadir- und Schrägluftbilder, digitale Höhenmodelle, Orthobilder und 3D-Gebäudemodelle (CityGML Level of Detail 3 und 4) (Abb. 2). Die Datenbasis kann um 2D-Karten und -Pläne ergänzt werden.

Für die senkrechten Luftbilder (Abb. 3 links) wurde das Kamerasystem Vexcel UltraCam Xp [1] und für die Schrägluftbilder (Abb. 3 rechts) das Kamerasystem AOS (Aerial Oblique System) [2] verwendet. Es wurden zwei Befliegungen mit Schräg- und Senkrechtluftbildern aus geringer Höhe (ca. 800 m) im Jahr 2012 und aus mittlerer Höhe (ca. 1700 m) in 2013 durchgeführt. Die Senkrechtluftbilder haben eine Bodenauflösung von 5 cm und die Schrägluftbilder von 10 cm pro Pixel. Die äußere Orientierung der Bilder wurde direkt mit dem GPS-IMU-System IGI AEROcontrol gemessen.

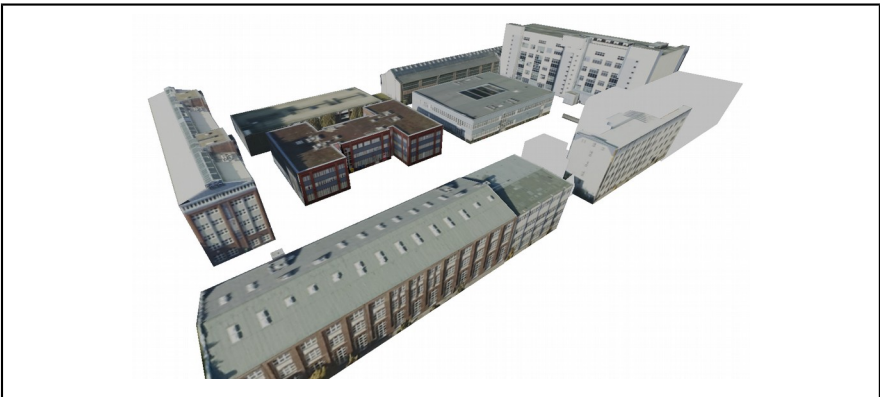


Abb. 2. 3D-Gebäudemodelle



Abb. 3. Senkrechtluftbild aufgenommen mit Vexcel UltraCam Xp (links)
Schrägluftbild aufgenommen mit AOS-Kamera (rechts)

Die Bildorientierung der Senkrechtaufnahmen erfolgte mittels einer GPS-IMU-gestützten Aerotriangulation (AT). Für den Anschluss an das Landeskoordinatensystem wurden sieben Doppelpasspunkte mit einem GPS-Empfänger mit 1 - 2 cm Genauigkeit gemessen.

Für die Orientierung der Schrägluftbildaufnahmen wurde ein Verfahren von Wiedemann und Moré [3] benutzt. Das Verfahren setzt voraus, dass die drei Kameras stabil verbunden sind und die Verbindung zwischen der senkrecht blickenden Kamera und den beiden schräg blickenden Kameras durch einen Verschiebungsvektor und eine räumliche Drehung beschrieben werden können. Das Verfahren arbeitet in zwei Schritten. Im ersten Schritt erfolgt eine normale Aerotriangulation mit den senkrecht blickenden AOS-Bildern. Im zweiten Schritt werden in verschiedenen Bild-Triples Verknüpfungspunkte manuell gemessen. Für diese Verknüpfungspunkte kann ein erweitertes Modell der Kollinearitätsgleichungen aufgestellt werden und die Parameter der räumlichen Drehung in einer Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt werden. Es wird hier vorausgesetzt, dass der Verschiebungsvektor aus der Konstruktion des Kamerasystems bekannt ist und die einzelnen Kameraköpfe kalibriert sind.

Die 3D-Gebäudemodelle wurden photogrammetrisch aus Luftbildern und durch zusätzliche terrestrische Messungen mit einer Totalstation und einer Digitalkamera Fuji S2960 erfasst. Die Digitalkamera wurde im Nahbereichstestfeld von BSF Swisphoto kalibriert. Es wurden die Werte der Kamerakonstante, der Hauptpunktlage und der Objektivverzeichnung nach dem Modell von Luhmann [4] bestimmt.

Um eine möglichst wirklichkeitsnahe Darstellung der Gebäude zu erreichen, wurden die Gebäudemodelle mit Texturen versehen. Wodurch der Informationsgehalt erheblich erhöht wurde. Die Texturen wurden aus Nadir- und Schrägluftbildern und den terrestrischen Bildern entnommen. Die Auswahl der Texturen geschah automatisch auf Grund einer Sichtbarkeitsanalyse.

3 Zeitnahe Bereitstellung von Geodaten

Das mit der ORACLE-App aufgenommene Agentenbild (Abb. 4 links) wird an einen

DAI-Server übermittelt und in das Meldungssystem von WotanX von Gemtec verarbeitet. Zusätzlich wird das Bild im JPEG-Format mit einem modifizierten EXIF-Header an eine vordefinierte Stelle im Dateisystem auf dem DAI-Server kopiert. Sobald dort ein Bild abgelegt wurde, erkennt das der Server und startet die bsf-Programme zur Auswahl der Geodaten. Die Auswahl der Geodaten erfolgt durch eine Sichtbarkeitsanalyse der Gebäudeoberflächen. Das Ergebnis, z. B. ein oder mehrere Referenzbilder (Abb. 4 rechts) wird in dem Dateisystem gespeichert, vom DAI-Server registriert und als Meldung weiterverarbeitet.



Abb. 4. Agentenbild (links) und AOS-Referenzbild (rechts)

4 Orientierungsprozess

Mit dem mobilen Endgerät (Smartphone) kann die Orientierung der Bilder (Aufnahmeposition und Aufnahmerrichtung) nicht mit der notwendigen Genauigkeit und Zuverlässigkeit ermittelt werden. Daher wurden zwei Orientierungsprozesse implementiert, die versuchen die Orientierung der Agentenbilder mittels eines Zuordnungsverfahrens gegenüber den Referenzdaten zu bestimmen. Da die Referenzdaten als 2D-Bilder und als 3D-Szene (Gebäudemodell) vorliegen, wurde eine Bild-zu-Bild- und eine Bild-zu-Szene-Zuordnung versucht.

4.1 Bild-zu-Bild-Zuordnung

Die Bild-zu-Bild-Zuordnung verwendet zur Merkmalsextraktion den SURF-Algorithmus, der geometrische Zusammenhang wird mit der projektiven Geometrie hergestellt und zur Parameterschätzung das RANSAC-Verfahren eingesetzt. Die Zuordnung erfolgt in sechs Schritten:

1. Vorverarbeitung:
 - a) geometrische Anpassung
 - b) radiometrische Verbesserung durch lokale adaptive Kontrastanpassung

2. Bestimmung von Keypoints mit dem SURF-Detektor
3. Bestimmung von Merkmalsvektoren für die Keypoints
4. Matching der Merkmalsvektoren mit FLANN (Fast Approximate Nearest Neighbor)
5. Robuste Bestimmung der Transformationsparameter
6. Plausibilitätstest

Das Verfahren verwendet die Bibliothek OpenCV [5] für Bildverarbeitung. Die Vorverarbeitungsschritte sind optional und wurden versuchsweise eingeführt.

Für die Transformation zwischen den beiden Bildern wird eine projektive Transformation (Homographie) verwendet. Die Voraussetzung dafür ist, dass beide Bilder durch eine projektive Abbildung entstanden sind. Die zugehörigen 9 Transformationsparameter werden mit der Methode Random Sample Consensus (RANSAC) bestimmt.

Die RANSAC-Methode liefert, sofern ausreichend Daten vorhanden sind und die maximale Anzahl von Versuchen nicht erreicht ist, eine Lösung für die Transformationsparameter. Daher ist es notwendig die ermittelten 9 Transformationsparameter auf Plausibilität zu prüfen. Zur Prüfung werden aus den Transformationsparametern, Drehung und Maßstab zwischen beiden Bildern berechnet. Ist die Drehung größer als $\pm 10^\circ$ oder der Maßstabsfaktor kleiner als 0,5 oder größer als 2,0 gilt die Zuordnung zwischen beiden Bildern als nicht nachvollziehbar.

Mit den AOS-Schrägluftbildern war keine Bild-zu-Bild-Zuordnung möglich. Daher wurden zusätzliche Referenzbilder mit der Digitalkamera Fuji S2960 von den Gebäudefassaden aufgenommen. Abb. 5 zeigt eine erfolgreiche Bild-Bild-Zuordnung: das Verkehrsschild im Agentenbild (Abb. 5 links) kann im Referenzbild (Abb. 5 mitte) gefunden werden. Zur Visualisierung (Abb. 5 rechts) wird der Umriss des Agentenbildes in das Referenzbild projiziert (grünes Rechteck). Bei Versuchen zur Bild-zu-Bild-Zuordnungen waren von 15 Zuordnungen nur 6 erfolgreich. Die Anwendung der Vorverarbeitungsschritte zeigte keinen Vorteil.



Abb. 5. Agentenbild (links), Referenzbild (mitte), Visualisierung der Zuordnung (rechts).

4.2 Bild-zu-Szene-Zuordnung

Aufgrund der unbefriedigende Ergebnisse der Bild-zu-Bild-Zuordnung wurde eine Bild-zu-Szene-Zuordnung versucht. Dabei wird versucht die Position und Orientierung der Bilder (äußere Orientierung) mittels Passpunkten zu bestimmen. Das Verfahren wird als räumlicher Rückwärtsschnitt bezeichnet. Zur Lösung des Problems wurden mehrere Verfahren veröffentlicht, z. B. von Abdel-Aziz/Karara [6], Müller/Killian [7], Grafarend [8] oder Fischler/Bolles [9].

Das hier verwendete Verfahren benutzt das photogrammetrische Abbildungsmodell. Dabei wird die Beziehung zwischen dem Bild (Bildkoordinaten) und der Szene (Objektpunktkoordinaten) durch die Kollinearitätsgleichungen [10] hergestellt. Voraussetzung für die Anwendung ist eine bekannte innere Orientierung (Bestimmung in einer Kamerakalibrierung) und gute Näherungswerte für die äußere Orientierung (Koordinaten des Projektionszentrums und die Orientierung (Ausrichtung) des Bildes). Als Optimierungsverfahren wurde die Ausgleichung vermittelnder Beobachtungen nach der Methode der Kleinsten-Quadrate und adaptiver Gewichtung der Beobachtungen gewählt.

Die Parametrisierung der räumlichen Ausrichtung (Drehung) erfolgt mit einem Einheitsquaternion. Das Einheitsquaternion hat den Vorteil, gegenüber den üblichen Parametrisierungen der Drehmatrix mit 3 Parametern, dass keine singulären Fälle auftreten können. Jedoch besteht zwischen den 4 Komponenten des Einheitsquaternion die Bedingung, dass das Quaternion die Länge 1 haben muss. Die Bedingung kann in der Ausgleichung entweder als Bedingungsgleichung [11] oder alternativ als zusätzliche Beobachtungsgleichung mit hohem Gewicht berücksichtigt werden. Beide Verfahren liefern praktisch identische Ergebnisse.

Das Verfahren hat folgende Vorteile:

- Nur 6 Orientierungsparameter statt 9 (Homographie) oder 11 (DLT).
- Durch die Anwendung der Varianz-Fortpflanzung können Genauigkeitsmaße abgeleitet werden.

Und folgende Nachteile:

- Für die Parameter sind gute Näherungswerte erforderlich.
- Die Parameter der inneren Orientierung müssen, vorab in einer Kamerakalibrierung, bestimmt werden.

Da die beobachteten Bildkoordinaten Ausreißer bzw. grobe Fehler enthalten können, wird eine adaptive Gewichtung [4, 12] vorgenommen. Dabei wird in jedem Iterationsschritt der Ausgleichung der gewichtete Mittelwert und die Varianz der Verbesserungen der Bildkoordinaten (Residuen) berechnet. Unter der Annahme, dass die Verbesserungen normal-verteilt sind, kann die Wahrscheinlichkeitsdichte berechnet werden. Die Wahrscheinlichkeitsdichte ist wiederum ein direktes Maß für die Gewichte der beobachteten Bildkoordinaten. Zu Beginn der Iterationen haben alle Beobachtungen dieselbe Genauigkeit bzw. dasselbe Gewicht. In jedem Iterationsschritt wird eine neue Gewichtung der Beobachtungen vorgenommen. Bei der Merkmalsextraktion mit den SIFT- oder SURF-Detektor werden Keypoints ausgewählt, die oft nicht den Merkmalen der Szene (Ecken und Kanten des 3D-Gebäudemodells) entsprechen. Daher werden zur Auswahl der Keypoints der Harris- oder Förstner-Detektor verwendet.

5 Texturierung von Gebäudemodellen

Die Bild-zu-Szene-Zuordnung kann auch zur nachträglichen Texturierung der Gebäudemodelle verwendet werden. Die manuelle Texturierung der Gebäudemodelle ist sehr aufwändig. Für eine gute Texturierung ist die Wahl der Aufnahmeplattform bzw. des Aufnahmestandpunktes von Bedeutung. Die typischen Nadir-Luftbilder bieten ausreichend Bildinformation für die Dach- und offenen Geländeflächen, aber zu wenig für die Texturierung von Fassaden. Es ist daher notwendig die mangelhafte Bildinformation durch andere Plattformen bzw. Aufnahmestandpunkte bereitzustellen. So können Schrägluftbilder zur Texturierung der Fassade dienen. Die terrestrische Bildaufnahme kann gezielt mit hoher Auflösung erfolgen, jedoch ist die Wahl des Aufnahmestandpunktes eingeschränkt. Daher ist eine Kombination von verschiedenen Aufnahmetechniken notwendig, um eine gute Texturierung zu erreichen.

6 Fazit und Ausblick

Die vom Smartphone gemessene äußere Orientierung erwies sich als sehr unzuverlässig. So ist die aus GPS-Messungen bestimmte Höhe meist nicht verwendbar und unterliegt extremen Schwankungen. Problematisch ist auch die Messung des Azimutwinkels mit dem Magnetometer. Auch hier ergaben sich große Ungenauigkeiten, insbesondere in der Nähe von elektrischen Einrichtungen (Magnetfeldern). Dadurch ist eine anschließende Bild-zu-Bild-oder Bild-zu-Szene-Zuordnung nicht möglich. Selbst unter günstigen Bedingungen (hohe Bildauflösung, ähnliche Beleuchtungsverhältnisse und gute Bildqualität) war die Bild-zu-Bild-Zuordnung oft nicht erfolgreich. Ob die Bild-zu-Szene-Zuordnung gegenüber der Bild-zu-Bild-Zuordnung Vorteile bietet muss noch durch praktische Versuche überprüft werden.

7 Dank

Das Projekt wurde durch das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

Literatur

1. ... Alexander Wiechert, Michael Gruber, Martin Ponticelli, Ultracam: The New Super-Large Format Digital Aerial Camera, ASPRS 2011 Annual Conference, Milwaukee, Wisconsin May 1 – 5, 2011, 2011.
2. ... Albert Wiedemann, Photogrammetrische Schrägluftbilder mit dem Aerial Oblique System AOS, Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung DGPF-Jahrestagung Jena 2009, Band 18.
3. ... Albert Wiedemann, John Moré, Orientation Strategies for Aerial Oblique Images, ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIX-B1, Melbourne 2012, p. 185 – 189.
4. ... Thomas Luhmann, Nahbereichsphotogrammetrie, Grundlagen, Methoden und Anwendungen, 3. Auflage, Wichmann Verlag, Heidelberg, 2010.
5. ... OpenCV, <http://opencv.org/>

6. ... Y. I. Abdel-Aziz, H. M. Karara, Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry, IAP Vol. 62, 1971, Proceedings of the ASP Symposium on Close-Range Photogrammetry, Urbana, Illinois, p. 1 – 18.
7. Karl Kraus, Karl, Photogrammetrie, Band 2, 3. Auflage, 1996, Dümmler Verlag, Bonn.
8. ... E. W. Grafarend, P. Lohse, B. Schaffrin, Dreidimensionaler Rückwärtsschnitt, ZfV Vol. 114, 1989, Seiten 61 – 67, 127 – 137, 172 – 175, 225 – 234, 278 – 287.
9. ... M. A. Fischler, R. C. Bolles. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography, Communications of the ACM, 24(6):381 – 393, June 1981.
10. ... Karl Kraus, Photogrammetrie, Band 1, Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen, 7. Auflage, 2004, Walter de Gruyter, Berlin, New York.
11. ... Walter Höpcke, Fehlerlehre und Ausgleichsrechnung, 1980, Walter de Gruyter, Berlin, New York.
12. ... K. Voss, H. Süße, Adaptive Ausgleichsrechnung und Ausreißerproblematik für die digitale Bildverarbeitung, Mustererkennung 1993, 15. DAGM-Symposium Lübeck.