

Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung
Karlsruher Institut für Technologie

Statistical Fusion of Multi-aspect Synthetic Aperture Radar Data for Automatic Road Extraction

Karin Hedman

Vollständiger Abdruck
der von der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften
des Karlsruher Instituts für Technologie
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:

Univ. Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Franz Nestmann

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Hinz, Karlsruher Institut für Technologie
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Stilla, Technische Universität München
3. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Bähr, Karlsruher Institut für Technologie

Summary

In this dissertation, we have presented a new statistical fusion for automatic road extraction from SAR images taken from different looking angles (i.e. multi-aspect SAR data). The main input to the fusion are extracted line features. The fusion is carried out on decision-level and is based on Bayesian network theory.

The developed fusion fully exploits the capabilities of multi-aspect SAR data. By means of Bayesian network theory a reasoning step could be modeled, which describes the relation between the extracted road, neighboring high objects and the sensor geometry. For instance an extracted road oriented in the looking angle of the sensor (range) is considered as more reliable than other detections closer to azimuth. Furthermore information about neighboring high objects (local context information) could be integrated since these objects could be detected by a bright line extraction. Examples of neighboring high objects are trees and buildings. By incorporating this into the reasoning step, contradicting hypotheses (e.g. detection of a road in the first image, detection of parallel shadow and layover regions caused by neighboring high objects in the second image) could be solved.

An other advantage of integrating local context information is that it enables the fusion to distinguish between different pre-defined types of roads. For instance highways can be differentiated from other roads. The fusion gives also additional information about nearby objects. Hence open roads can be distinguished from roads surrounded by trees.

Information about the scene context (global context information) was obtained by a textural classification of large image regions. In this work the image was classified into built-up areas, forest and fields. This information is incorporated as prior knowledge into the fusion.

The development of the fusion contains the following steps; defining a road model and its local context in multi-aspect SAR data, analyzing the feature extraction (i.e. dark and bright line extraction and textural classification), setting up a Bayesian network structure, learning the fusion, and implementing an association step. Some networks structures of varying complexity are presented and discussed. The learning is carried out by estimations of conditional probability functions and conditional probability tables based on manually collected training data. Each step is described in detail in this work.

Two different fusions were developed and tested; one developed for extracted dark linear features only and one designed for both dark and bright linear features. Both fusions consider the sensor geometry, while the last one is based on a more complex road and local context model. The performance of these two fusions was compared by evaluating the results from a data set of multi-aspect SAR data. In addition the transferability of the fusion concept was also tested on data acquired from a second SAR sensor. In the end a discussion on the behavior of the two fusions follows. Also the advantages and disadvantages of using Bayesian network theory for this application are discussed. Finally some ideas for improving the fusion are presented.

Zusammenfassung

In dieser Dissertation wird ein Ansatz zur Datenfusion für die automatische Extraktion von Straßen aus mehreren SAR-Szenen desselben Gebiets vorgestellt, die aus verschiedenen Einfalls- und Aspektwinkeln aufgenommen wurden (sog. Multi-Aspekt SAR-Daten). Die wichtigste Eingangsinformation bilden aus dem Bild extrahierte Merkmale (Linien). Die Datenfusion findet auf einer symbolischen Ebene (*Decision-level fusion*) statt und basiert auf der Theorie der Bayes'schen Netze.

Die entwickelte Fusion nutzt das Potenzial der Multi-Aspekt SAR-Daten optimal aus. Die Theorie der Bayes'schen Netze ermöglicht statistische Rückschlüsse, die auf den Beziehungen zwischen der extrahierten Straße, benachbarten Objekten und der Sensorgeometrie beruhen. Beispielsweise wird eine extrahierte Straße, die entlang der Entfernungsrichtung des Sensors orientiert ist, als zuverlässiger bewertet als eine extrahierte Straße in Azimutrichtung.

Informationen über benachbarte Objekte (lokales Kontextwissen) können eingebunden werden, indem deren helle Rückstreuung über eine Linienextraktion detektiert wird. Die Berücksichtigung von lokalem Kontextwissen in der Fusion kann widersprüchliche Annahmen auflösen (z.B. wenn eine Straße in einem Bild sichtbar, in einem zweiten aber so verdeckt ist, so dass nur die parallelen Schatten- und Layoverregionen detektiert werden). Darüber hinaus bietet die Einbindung von lokalem Kontextwissen die Möglichkeit, verschiedene Straßenklassen voneinander zu trennen (z.B. Autobahnen, offene Straßen, Straßen mit benachbarter hoher Vegetation, usw.).

Informationen über den Kontext der Aufnahme (globales Kontextwissen) werden über eine Texturklassifikation großräumiger Gebiete extrahiert. In dieser Arbeit wird das Bild in die drei Kategorien Siedlungsgebiete, offene Landschaft und Wald klassifiziert, die als Vorwissen in die Fusion eingeführt werden.

Die Entwicklung der neuen Fusion beinhaltet folgende Schritte: Die Definition eines Straßenmodells und seines lokalen Kontexts, die Analyse der Linienextraktion, den Aufbau der Bayes'schen Netze, den Lernprozess der Fusion und die Zuordnung von extrahierten Merkmalen, die zu derselben Beobachtung gehören (*Association*). Mehrere Netzwerke unterschiedlicher Komplexität werden vorgestellt und diskutiert. Im Lernprozess werden bedingte Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen und Wahrscheinlichkeitstabellen aus Trainingsdaten ermittelt. Alle Schritte werden in der Arbeit ausführlich beschrieben.

Zwei verschiedene Fusionen, eine für dunkle extrahierte Linien und eine für dunkle und helle Linien, wurden entwickelt und getestet. Anhand des Vergleichs der Ergebnisse für Multi-Aspekt SAR-Daten wurde die Effizienz der beiden Fusionen analysiert. Darüber hinaus wurde die Übertragbarkeit des Konzepts auf Daten eines zweiten SAR-Sensors getestet. Am Ende der Arbeit werden die Leistungsfähigkeit der beiden Fusionen sowie die Vor- und Nachteile des Einsatzes der Theorie der Bayes'schen-Netze für diese Anwendung diskutiert und einige Ideen für eine Verbesserung der Fusion präsentiert.