



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Ingenieurfacultät Bau Geo Umwelt
Photogrammetrie und Fernerkundung

Context-based classification of urban structure types
using spaceborne InSAR images

Tessio Novack

Vollständiger Abdruck der von der Ingenieurfacultät Bau Geo Umwelt der
Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzende: Univ.-Prof. -Dr.-Ing. Liqiu Meng
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Stilla
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Sörgel
Technische Universität Darmstadt

Die Dissertation wurde am 13.11.2015 bei der Technischen Universität München eingereicht
und durch die Ingenieurfacultät Bau Geo Umwelt am 27.01.2016 angenommen.

Gedruckt bzw. veröffentlicht mit Unterstützung des
Deutschen Akademischen Austauschdienstes.

Abstract

The uncontrolled growth of urban areas has social and ecological consequences that may lead to various problems. Aiming to mitigate and avoid these problems, many planning tasks and geosciences studies are undertaken based on detailed geometric information of individual urban objects and their changes. However, several other of such tasks and studies rely not directly on the geometry of single objects, but rather on the semantic interpretation of larger aggregated areas, which are usually any of the city's administrative plots. This is the case with the mapping of so-called urban structure types (USTs). USTs classes are always assigned to spatial aggregates based on their social functionality and cultural value or, as is more often the case, on their environmental characteristics as well as the structure and spatial disposition of the objects that compose them.

This thesis proposes an approach to map USTs through context-based classification of high-resolution radar satellite images. The USTs are classified at the level of urban blocks, which are the areas enclosed by streets, railroad tracks and rivers. Two classification methods are applied to attain that goal, namely, Random Forest and a Minimum-Distance algorithm based on the relative entropy metric. As a way to increase the classification accuracy, contextual interactions between pairs of neighboring blocks are established using the framework of probabilistic graphical models. Different graph structures and parameterization of these models are described and compared.

The experiments were undertaken using four images from the TerraSAR-X satellite consisting of two interferometric image pairs obtained at the satellite's ascending and descending orbits. The images cover the central area of the city of Munich in Germany. The performance of the two classification methods as well as the influence of the different graph structures and model parameterizations are evaluated and compared based on different sets of training samples and considering five representative USTs classes.

It is shown that more accurate classifications are obtained when these are performed with attributes extracted from the images from both satellite orbits. The choice of the classification method, i.e. Random Forest or Minimum-Distance, has no significant influence on the accuracy of the results. By considering the contextual interaction between pairs of neighboring blocks, the classification accuracies could be increased to the extent of up to 10%, whereas the best context-based classification achieved the overall accuracy of 78%. In the final considerations, the limitations and advantages of automatically mapping USTs through the classification of remote sensing images are discussed.

Kurzfassung

Das unkontrollierte Wachstum der städtischen Bebauung hat verschiedene soziale und ökologische Folgen, die zu Problemen führen können. Die Erfassung urbaner Strukturen und ihre Veränderung sind zur Bereitstellung von Basisinformationen für Monitoring und Planung in den verschiedensten Bereichen, wie Stadtplanung oder Geo- und Umweltwissenschaften, von hohem Interesse. Für bestimmte Aufgabenstellungen steht jedoch nicht die detaillierte geometrische Beschreibung urbaner Objekte im Vordergrund, sondern es sind vielmehr semantische Interpretationen von aggregierten Bereichen gefragt, wie beispielsweise bei der Kartierung von Stadtstrukturtypen. Dabei erschließt sich häufig ein spezieller Stadtstrukturtyp eines Bereiches nicht nur aus den Oberflächeneigenschaften der Objekte selbst, sondern erst aus ihrem Kontext oder ihrer funktionellen Bedeutung.

Ziel der Arbeit ist es, aus hochaufgelösten Radarsatellitenbildern eine Kartierung von Stadtstrukturtypen durch kontextbasierte Klassifikation abzuleiten und deren Leistungsfähigkeit zu untersuchen. Dazu werden Stadtstrukturtypen auf Ebene von Blöcken klassifiziert, die durch Verkehrswege wie Straßen, Schienen und Flüsse eingegrenzt sind. Als Klassifikationsmethoden werden die Verfahren "Random Forest" und "Minimum-Distance" auf Basis von relativer Entropie eingesetzt. Zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Klassifikation wird die Berücksichtigung von kontextuellen Zusammenhängen über die Nachbarschaft vorgeschlagen, welche durch probabilistische graphische Modelle beschrieben werden. Dazu werden unterschiedliche Graphenstrukturen gegenübergestellt und die Parametrisierung der Modelle beschrieben.

Für die Experimente werden vier TerraSAR-X Satellitenbilder herangezogen, die aus zwei interferometrischen Bildpaaren der aufsteigenden und absteigenden Bahn bestehen. Die Bilder decken den zentralen Teil der Stadt München in Deutschland ab. Die Untersuchung wird auf Basis der Klassifikation von fünf repräsentativen Klassen mit verschiedenen Trainingsdatensätzen durchgeführt. Es werden die Leistungsfähigkeit der Klassifikationsmethoden, sowie der Einfluss der Modellparameter und der Graphenstrukturen verglichen.

Es zeigt sich, dass die gemeinsame Verwendung der Bilder von beiden Bahnen bei der Extraktion von Attributen der Blöcke zu besseren Klassifikationsergebnissen führt. Die Wahl des Klassifikationsverfahrens ("Random Forest" oder "Minimum-Distance") hat keinen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse. Durch die Berücksichtigung von kontextuellen Zusammenhängen zwischen benachbarten Blöcken wird die Genauigkeit der Klassifikation bis zu 10% erhöht, wobei die beste kontextbasierte Klassifikation eine Genauigkeit von 78% erreicht. In der Schlussbetrachtung werden die Grenzen der automatischen Ableitung von Stadtstrukturtypen aus Fernerkundungsdaten diskutiert.

