



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Ingenieurfacultät Bau Geo Umwelt
Photogrammetrie und Fernerkundung

Reconstruction of building objects from point clouds of
built environment and construction sites

Yusheng Xu

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.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Vorname Nachname
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Vorname Nachname
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Vorname Nachname
Universität XYZ
3. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Vorname Nachname
Technische Universität XYZ

Die Dissertation wurde am DD.MM.JJJJ bei der Technischen Universität München eingereicht
und durch die Ingenieurfacultät Bau Geo Umwelt am DD.MM.JJJJ angenommen.

Abstract

Point clouds acquired via laser scanning and stereo matching of images are becoming popular dataset used in a wide variety of applications, proved to be one of the most suitable sources for the mapping the urban scene. The measured 3D points naturally equipped with spatial coordinates of geometric surfaces, which can significantly simplify the surface modeling and geometric reconstruction processes. However, raw point clouds usually contain no semantic, geometric, nor topological information of objects, which are deemed counterproductive to further applications. Thus, it is mandatory to transform those 3D measurements into a high-level, semantically rich representation. Here, the reconstruction of 3D objects in the scene of man-made infrastructure recovering the geometry of objects and labeling the reconstructed facilities is one of the solutions to solve this task.

The principal goal of this thesis is to discuss and analyze the use of 3D point clouds in the reconstruction of building elements from construction sites and urban scenes, with proposed algorithms and methods in the fields of segmentation, classification, and modeling presented. The contribution lies on three major aspects, including the development and use of voxel-based data structures, the featuring engineering for representing the local geometry of points, and the application of local and global graphical models for optimization problems.

First, the voxel structure is introduced to organize the entire point cloud, involving voxel grid-based filtering, octree-based voxelization, and over-segmented supervoxelization. The voxel structure enables indexing the unorganized point cloud with regular cubic structure. As down-sampling, it simplifies the dataset and suppresses the outliers and uneven density of points with grid-based representations, and defines neighborhood relations of voxels as well as points within them. While the over-segmented supervoxelization provides clusters of points with the preservation of boundaries of objects, determining appropriate neighborhoods for points. Second, the robust estimator and detrending strategy are introduced to create a linear feature enhance shape descriptor and a feature extraction method for estimating the unary features representing the local geometry for classification purpose. Besides, the adoption of perceptual grouping laws for assessing binary features to identify the connections between basic elements (i.e., voxels or supervoxels), enabling a purely geometric and unsupervised solution for segmentation, is also proposed. At last, both local and global graphical models are designed and applied to the segmentation and classification tasks, which encapsulate the contextual information and the interaction between the object and its neighborhoods. By optimizing the weighted graphical model, we can provide robust segmentation of points and refine the classification results with initial soft labels.

Experimental results reveal that our proposed framework combining the voxel-based data structures, designed features, and the optimization of graphical models can provide efficient and effective segmentation of points acquired from complex urban scenes and show considerable improvement to the classification results, which facilitate the further geometric modeling of objects and indicate satisfying and promising results.

Kurzfassung

Punktwolken, die durch Laserscanning und Stereoabgleich von Bildern erfasst werden, werden zu einem beliebigen Datensatz, der in einer Vielzahl von Anwendungen zum Einsatz kommt, und erwies sich als eine der geeignetsten Quellen für die Kartierung der städtischen Szene. Die gemessenen 3D-Punkte sind natürlich mit räumlichen Koordinaten von geometrischen Flächen ausgestattet, was die Oberflächenmodellierung und die geometrischen Rekonstruktionsprozesse erheblich vereinfachen kann. Rohe Punktwolken enthalten jedoch in der Regel keine semantischen, geometrischen oder topologischen Informationen über Objekte, die für weitere Anwendungen als kontraproduktiv gelten. Daher ist es zwingend erforderlich, diese 3D-Messungen in eine semantisch reichhaltige Darstellung auf hoher Ebene umzuwandeln. Die Rekonstruktion von 3D-Objekten in der Szene einer künstlichen Infrastruktur, bei der die Geometrie von Objekten wiederhergestellt und die rekonstruierten Einrichtungen gekennzeichnet werden, ist eine der Lösungen, um diese Aufgabe zu lösen.

Das Hauptziel dieser Arbeit ist es, die Verwendung von Punktwolken bei der Rekonstruktion von Bauelementen von Baustellen und urbanen Szenen zu diskutieren und zu analysieren. Dabei werden Algorithmen und Methoden in den Bereichen Segmentierung, Klassifizierung und Modellierung vorgestellt. Der Beitrag bezieht sich auf drei Hauptaspekte: die Entwicklung und Verwendung von Voxel-basierten Datenstrukturen, das Feature-Engineering zur Darstellung der lokalen Geometrie von Punkten und die Anwendung lokaler und globaler grafischer Modelle für Optimierungsprobleme. Erstens wird die Voxelstruktur eingeführt, um die gesamte Punktwolke zu organisieren, einschliesslich Voxelgitter-basierter Filterung, Octree-basierter Voxelisierung und übersegmentierter Supervoxelisierung. Die Voxel-Struktur ermöglicht die Indizierung unorganisierter Punkte mit regelmässiger kubischer Struktur. Beim Downsampling vereinfacht es das Dataset, unterdrückt Ausreisser und ungleichmässige Punktdichten mit gitterbasierten Darstellungen und definiert Nachbarschaftsbeziehungen von Voxeln sowie Punkte innerhalb von ihnen. Während die übersegmentierte Supervoxelisierung Punktclustern mit der Beibehaltung der Objektgrenzen zur Verfügung stellt, werden geeignete Nachbarschaften für Punkte festgelegt. Zweitens werden der robuste Schätzer und die Detrending-Strategie eingeführt, um einen linearen Feature-Deskriptor und ein Feature-Extraktionsverfahren zu erstellen, das die unären Features der lokalen Geometrie für Klassifizierungszwecke schätzt. Ausserdem wird die Annahme von perzeptuellen Gruppierungsgesetzen zur Bewertung binärer Merkmale zur Identifizierung der Verbindungen zwischen Voxeln oder Supervoxeln vorgeschlagen, wodurch eine rein geometrische und nicht überwachte Lösung für die Segmentierung ermöglicht wird. Zum Schluss werden sowohl lokale als auch globale grafische Modelle entworfen und auf die Segmentierungs- und Klassifizierungsaufgaben angewendet, die die kontextuellen Informationen und die Interaktion zwischen dem Objekt und seinen Nachbarn kapseln. Durch die Optimierung des gewichteten grafischen Modells können wir eine robuste Segmentierung von Punkten bereitstellen und die Klassifizierungsergebnisse mit anfänglichen Softlabels verfeinern.

Die experimentellen Ergebnisse zeigen, dass unser vorgeschlagenes Framework, das die Voxel-basierten Datenstrukturen, die entworfenen Merkmale und die Optimierung grafischer Modelle kombiniert, eine effiziente und effektive Segmentierung von Punkten ermöglicht, die aus komplexen städtischen Szenen gewonnen wurden, und eine deutliche Verbesserung der Klassifikationsergebnisse zeigt, die das weitere Vorgehen erleichtern geometrische Modellierung von Objekten und zeigt zufriedenstellende und vielversprechende Ergebnisse.