

DISS. ETH NO. 22870

Automated Registration of Terrestrial Laser Scanner Point Clouds

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

presented by

Pascal Willy Theiler

Master of Science (M.Sc.), ETH Zurich

born on 25.11.1986

citizen of Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Konrad Schindler, examiner
ETH Zurich, Switzerland

Prof. Dr. Jon Mills, co-examiner
Newcastle University, England

2015

Abstract

Recording and modelling our environment is of general interest in various application fields such as geo-sciences or architecture. Terrestrial Laser Scanning (TLS) has thereby evolved as a standard tool to acquire accurate 3D data of objects or areas of interest. Over the last decade, TLS sensors have experienced rapid development, for example regarding measurement speed and accuracy, while at the same time the demands from end-users has increased . To keep face with this evolution, the processing of TLS data needs to be highly efficient.

This thesis addresses the automated registration of 3D point clouds from static terrestrial laser scanners. Due to the line-of-sight measurement principle of TLS, multiple scans from varying viewpoints are necessary e.g. to record complete 3D objects. Registration (or alignment) thus becomes necessary to orient the various, locally defined laser scans within a common coordinate system. The state-of-practice approach to register TLS point clouds is nowadays either to manually place artificial markers within the acquired scene, or to use a semi-automated processing scheme including manual point picking. The overall aim of this thesis is to present new methods for the automated registration of static TLS point clouds. In particular, only the natural scene content and no markers should be exploited, and no assumptions are made about initial orientation of the scanners. Aligning static TLS point clouds is especially demanding because of (*i*) the size of the point clouds, typically with millions of points, (*ii*) the uneven point distribution over the whole scene due to the regular angular measurement principle of TLS sensors, and (*iii*) the typically rather low overlap between scan pairs.

At first, a method to achieve pairwise coarse alignment has been developed. The approach is based on extracting naturally existing planar surfaces. 3D keypoints, generated via plane triplet intersection, are then matched based on a newly developed descriptor as well as geometrical constraints. The method is able to correctly align scans of indoor environments in $\approx 90\%$ of all tests. In a second approach, we have aimed for a more generic coarse registration method. The basic idea is to reduce the large point clouds to derive sparse sets of 3D keypoints. Matching of these keypoints is based only on geometrical information by adapting an efficient four-point matching algorithm. The resulting registration scheme achieves pairwise alignments with success rates of nearly 100% in practical runtimes (seconds to minutes) for a wide range of TLS applications. Remaining failures are typically caused by unambiguous scene content (e.g. symmetric rooms). Finally, the registration scheme was extended to an entire pipeline. The resulting framework includes the previously developed keypoint-based pairwise matching approach and complements it with a generic, global point cloud alignment scheme. The pipeline is completed by state-of-the-art fine registration methods. The framework achieves correct alignment of all scans for a variety of real-world datasets in practical runtimes (e.g. below seven minutes for a fully connected network of eight scans).

Zusammenfassung

Die Erfassung und Modellierung unserer Umwelt ist von allgemeinem Interesse in verschiedensten Anwendungsgebieten wie Geowissenschaften oder Architektur. Terrestrisches Laserscanning (TLS) hat sich dabei als wertvolle Methode zur genauen dreidimensionalen Erfassung von Objekten und Gebieten etabliert. Im Laufe des letzten Jahrzehnts haben TLS Sensoren eine rasante Entwicklung erlebt, insbesondere im Bereich der Datenerfassung, während gleichzeitig die Anforderungen seitens der Endnutzer gestiegen sind. Um mit dieser Entwicklung Schritt zu halten bedarf es effizienter Methoden zur Verarbeitung der TLS-Daten.

Diese Dissertation befasst sich mit der automatischen Registrierung von 3D-Punktwolken aus statischem terrestrischem Laserscanning. Da Laserscanner zur Kategorie der optischen Messinstrumente gehören, braucht es mehrere Scanaufnahmen aus unterschiedlichen Blickwinkeln, um ein Objekt vollständig und lückenlos zu erfassen. Dadurch wird eine Registrierung der einzelnen Scans notwendig, was der Orientierung der Punktwolken in einem gemeinsamen Koordinatensystem entspricht. Dabei werden in der Praxis meist Zielmarken eingesetzt, welche im aufzunehmenden Gebiet platziert werden. Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung von neuen Methoden zur automatischen Registrierung von TLS-Daten unter Verwendung der natürlich vorhandenen Umgebung ohne zusätzliche Zielmarken. Die automatische Registrierung von statischen TLS-Punktwolken wird durch (i) die Scangrösse mit Millionen von Punkten, (ii) die unregelmässige Punktverteilung über das Aufnahmegebiet hinweg und (iii) die häufig gering gewählte Überlappung zwischen Scanpaaren zusätzlich erschwert.

In dieser Arbeit wird zuerst eine neu entwickelte Methode zur groben Ausrichtung von Laser-scans beschrieben. Diese basiert auf dem Matching von 3D Keypoints, welche durch die Verschneidung von jeweils drei aus den Scans extrahierten Ebenen definiert sind. Die Methode ermöglicht in 90% der Fälle eine korrekte Registrierung von Scans eines Innenraumes mit klar definierten Ebenen. In einem zweiten Ansatz wird ein ausschliesslich geometrisches Matching von Keypoints mit Hilfe eines Vier-Punkt-Algorithmus angestrebt. Die Methode ist generisch konzipiert und kann auf beliebige Keypoints angewendet werden. Experimente mit Erfolgsraten von annähernd 100% haben gezeigt, dass die entwickelte Methode für eine breite Palette von TLS-Anwendungen einsetzbar ist. Zum Schluss wurde ein kompletter Arbeitsablauf zur automatischen Registrierung von Laserscans entwickelt, welcher sowohl die Grob- als auch die Feinausrichtung von mehreren Punktwolken beinhaltet. Die zuvor entwickelte Matchingstrategie zur paarweisen Grobausrichtung wird mit einem globalen Verifizierungsschritt ergänzt. Die Feinregistrierung basiert auf Standardmethoden. Mithilfe dieses Registrierungsverfahrens konnten Scans verschiedenster, realer TLS-Datensätzen automatisch und korrekt zueinander orientiert werden.