

DISS. ETH NO. 19094

Texture Mapping and True Orthophoto Generation of 3D Objects

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

Thomas Hanusch

Dipl.-Ing. Geodäsie, Technische Universität Dresden

born

5th of April, 1978

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Armin Grün, examiner
Zurich, Switzerland

Prof. Dr.-Ing. Dieter Fritsch, co-examiner
Stuttgart, Germany

Prof. Dr. Lorenz Hurni, co-examiner
Zurich, Switzerland

2010

Abstract

Photogrammetry provides, in contrast to other surveying methods, a complete coverage of the object or region by image data. For a long time, the main purpose of surveys was to extract geometrical information such as elevation models, distances, or point coordinates from images. Since the first computers became readily available, more prospects have opened to use this data and the photorealistic visualization of the acquired side came into clearer focus. This application was unique and proved a big advantage for photogrammetry in comparison with other surveying techniques. Over many years, the representation of 2.5D data, such as digital elevation models derived from aerial images, was the development goal. With the improvement of the computer systems and the available algorithms, photogrammetry paved the way to acquire 3D objects in aerial photogrammetry and close range applications.

The change from 2.5D to 3D lead to an enormous change in the requirements concerning the algorithms used. Due to the much higher complexity in handling 3D data as compared to 2.5D data, a large number of existing approaches and algorithms were no longer usable. This work was motivated by the need to develop new algorithms to visualize 3D data in combination with the acquired image data. The procedure to do this is called texture mapping. The basic idea behind texture mapping is to attach the image information onto the geometrical data. The result is a photorealistic visualization of the acquired object. Even at the time of the start of this work, a wide range of algorithms were available to perform texture mapping. The problem was that the existing algorithms were developed with the focus on a different data configuration and requirement. Most of the existing texture mapping algorithms, that could handle 3D data were developed for computer vision applications, e.g. real time visualizations. In those applications, the available data is quite different than the data we are focused to handle in this work. For example, one difference is the number of available images. In our applications, an object should be covered with a usefull number of images in a high quality. In contrast, most of the existing approaches use data with low resolution images, acquired using video devices. This work is aimed at analyzing existing approaches concerning their usability to process photogrammetric datasets. Even in the best cases, most of the algorithms had to be adapted to the special needs of the photogrammetric specifications and a number of new algorithms had to be developed for necessary processing steps.

This thesis presents algorithms and software modules covering the workflow for texture mapping from the point of provided images and surface models to the photo-realistic textured 3D model. The completed work results in a wide variety of algorithms of which there are two types of algorithms distinguished:

The first group of algorithms handles geometric issues:

- A vector algebra-based visibility analysis to eliminate the disadvantages of exiting approaches like z-buffer or ray-tracing, and
- a multi-image texture mapping to determine the best possible texture source for every surface element.

The second set of algorithms deals with colour and brightness corrections, and combines different images acquired under different conditions to achieve a seamless textured 3D model. Those algorithms are:

- Vignetting detection and correction to remove natural vignetting.
- Global adjustment of colour or brightness between images.
- An algorithm to remove local colour differences caused by various factors, e.g. flash lights.
- Procedures to detect and eliminate shadows.

The last part of the work deals with the extraction of true ortho-images. After considering the availability of the textured model, the usual process to generate true ortho-images can be reduced to a minimum. The reason for this is that all critical steps, e.g. visibility analysis and a combination of different image sources are conducted during the texture mapping procedure.

The author wishes to thank the Swiss National Science Foundation for their financial support over 3 years of this work.

Zusammenfassung

Im Gegensatz zu anderen Vermessungsmethoden stellt die Photogrammetrie die Möglichkeit bereit, das gesamte Objekt bzw. das aufgenommene Gebiet mit Bildinformationen abzudecken. Für lange Zeit bestand die Hauptaufgabe der Photogrammetrie in der Extrahierung von geometrischen Informationen wie Flächen, Linien oder Punkten. Seit der Entwicklung von Computern und deren Verfügbarkeit, haben sich neue Möglichkeiten eröffnet, die aufgenommenen Daten zu verarbeiten und zu nutzen. Die Darstellung oder besser die realitätsgetreue Darstellung wurde mehr und mehr zum Thema. Diese Anwendung war einzigartig in der Vermessung.

Für viele Jahre war die Darstellung von 2.5D Inhalten das Ziel der Entwickler. Durch die rasche Weiterentwicklung der Computertechnik und Algorithmik bahnte sich die Photogrammetrie den Weg in neue Applikationsbereiche. Die neuen Anwendungen zeichnen sich durch die Notwendigkeit flexibler Aufnahmekonfigurationen und Auswertelgorithmen aus, um Objekte dreidimensional zu erfassen. Der Übergang vom 2.5D zum 3D Raum brachte eine Wende in der Algorithmik mit sich. Auf Grund der wesentlich höheren Komplexität in der Auswertung von 3D Daten war es nicht mehr möglich alle Algorithmen zur Anwendung zu bringen, welche bis dato genutzt wurden. Vielmehr war es notwendig die überwiegende Zahl von Algorithmen zu modifizieren oder sogar neu zu entwickeln.

Die hier präsentierte Arbeit bezieht Ihre Motivation aus eben diesem Punkt. Die Aufgabe ist es, neue Algorithmen bereitzustellen um die gewonnenen Geometriedaten in Kombination mit den entsprechenden Bilddaten anschaulich darstellen zu können. Das Verfahren, welches dies ermöglicht, ist unter dem Namen *Texturierung* oder *Texture Mapping* bekannt. Einfach gesprochen bietet der Algorithmus die Möglichkeit die Farbinformation oder Textur auf das Objekt zu "kleben". Das Resultat ist eine photorealistische Darstellung des Modells.

Selbst zum Beginn dieser Arbeit waren verschiedenste Algorithmen verfügbar, welche die Durchführung einer Texturierung ermöglichten. Das Problem bestand jedoch darin, dass diese Algorithmen mit anderen Zielsetzungen entwickelt worden, als sie im hier vorliegenden Kontext vorherrschen. Unterschiede bestehen zum Beispiel in den verfügbaren Datensätzen und dementsprechend in der Abstimmung der Algorithmen. Die zu dieser Zeit vorhandenen Algorithmen stammen hauptsächlich aus dem Bereich der Computer Vision. Dort werden vorwiegend Bildsequenzen genutzt, welche eine hohe Aufnahme Frequenz aufweisen, jedoch ist die Bildqualität meist beschränkt. Die in dieser Arbeit genutzten Aufnahmen zeigen meist das Gegenteil. Hier wird versucht, das Objekt mit wenigen Aufnahmen zu erfassen. Wobei die Bildqualität von sehr hohem Interesse und somit meist hervorragend ist.

Das Ziel der Arbeit war es, existierende Algorithmen auf ihre Eignung für die Anwendung in photogrammetrischen Projekten hin zu untersuchen. Bei einer eingeschränkten Eignung wurden die Algorithmen auf die neuen Anforderungen angepasst. Falls dies nicht möglich war oder kein nutzbarer Algorithmus vorhanden war bestand die Aufgabe in der Neuentwicklung eines solchen.

Die in dieser Arbeit aufgeführten Algorithmen decken den gesamten Bereich der Texturierung, von den Rohdaten, wie Bildern und Oberflächenmodell, bis hin zum texturierten 3D Modell ab.

In diesem Zusammenhang wurden eine Vielzahl von Algorithmen entwickelt, die in zwei Kategorien eingeteilt werden können. Zum einen sind dies Algorithmen, welche sich mit den geometrischen Verhältnissen befassen.

- Ein vektorbasierter Sichtbarkeitsanalysealgorithmus, welcher nicht die Nachteile existierender Algorithmen wie z-Buffer und Ray-Tracing aufweist.
- Ein Multi-Bild-Texturierungstool, welches es ermöglicht, die jeweils optimale Texturquelle für jedes Oberflächenelement des erfassten Objektes zu bestimmen.

Die zweite Gruppe von Algorithmen befasst sich anschliessend mit der Anpassung bzw. Ausglei-
chung von Farbunterschieden zwischen den einzelnen Bildern um eine homogene Texturierung des
Modells zu ermöglichen. Folgende Punkte wurde hierbei berücksichtigt:

- Ermittlung der Stärke der Vignettierung und Elimination dieser.
- Ein globaler Farb- und Helligkeitsausgleich um globale Farbunterschiede zwischen den Bildern zu eliminieren.
- Ein lokaler Farb- und Helligkeitsausgleich um lokale Effekte wie z.B. Blitzlichtreflexionen zu eliminieren.
- Algorithmen zur Erkennung und Beseitigung von Schattengebieten.

Der letzte Teil der Arbeit befasst sich mit der Generierung von *True Orthophotos*. Unter der Annahme des nun vorhandenen texturierten Modells, kann die True-Orthophoto-Generierung auf einen minimalen Aufwand reduziert werden, da alle notwendigen Schritte wie Sichtbarkeitssanalysen und die Kombination von verschiedenen Bilder bereits im Rahmen der Texturierung durchgeführt worden.

An dieser Stelle möchte sich der Autor beim *Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung* für die 3jährige finanzielle Unterstützung vielmals bedanken.