

Diss. ETH No. 17686

Quantitative Endoscopy

A dissertation submitted to the
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences ETH Zürich

presented by
CHRISTIAN WENGERT
Dipl. Ing. Microtechn. EPFL
born November 21th 1977

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Gábor Székely, examiner
Prof. Dr. Hans-Peter Meinzer, co-examiner
Prof. Dr. Philippe Cattin, co-examiner
Dr. Charles Baur, co-examiner

Abstract

Minimally invasive surgery has become an increasingly important surgical technology during the past years. The benefits are reduced pain, trauma and shorter duration of the hospital stay. However, such interventions demand pronounced skills from the surgeon in order to cope with the limited freedom to operate and to compensate the loss of depth perception due the use of monoscopic images. In addition, the strongly limited access to the anatomy is a significant hurdle in gaining direct information about the surgical site. This problem can be relieved by recently developed navigation techniques, providing relevant data about hidden anatomical details intra-operatively.

Surgical navigation usually relies on intra-operatively acquired radiological images. Unfortunately this is only possible at the cost of seriously disrupting the surgical workflow and/or exposing the patient and the surgeon to ionizing radiation. Endoscopes, intrinsical components of any minimally invasive interventional approach, are theoretically much more suitable to provide the necessary intra-operative information, in combination with properly adapted pre-operative imaging data.

The purpose of this project is to turn an endoscope, which is currently used as simple keyhole to look inside the human body, into an optical imaging device. We want to explore the practical applicability of multiple view methods in order to take quantitative measurements. Approaches providing such additional information during endoscopic procedures will be referred to as *Quantitative Endoscopy*.

The main application we envision is endoscopic referencing for navigation purposes. In a first step, we investigated the requirements for a Quantitative Endoscopy system for intra-operative use. A prototype system has then been built based on this analysis while finding the best compromise

between the existing standard instrumentation and the requirements for digital image processing.

Each computer vision system for taking quantitative measurements needs to be accurately calibrated. We developed a method for calibrating the system inside the operating room while maintaining the sterility, the ease-of-use and coping with the space restrictions.

Based on this system, we introduce a new strategy for referencing of vertebrae during spine surgery. An additional clinical application for navigation of small objects inside the surgical scene was developed. It provides the surgeon with additional visual cues in order to compensate the loss of depth perception.

A thorough error analysis and validation is provided for the entire system, allowing to identify the most critical components and to give an estimate of the system's performance to the clinicians.

The results show that endoscopes can be used as an imaging device providing real-time quantitative measurements and augmented visualization to the surgeons.

Zusammenfassung

Minimal invasive Chirurgie hat sich in den letzten Jahrzehnten als operative Behandlungsmethode für eine Vielzahl von Eingriffen etabliert. Die Vorteile sind reduzierte Schmerzen, kleineres Trauma und kürzere Krankenhausaufenthalte. Allerdings verlangt die minimal invasive Chirurgie eine ausgeprägte Geschicklichkeit seitens des Chirurgen, um die geringere Übersichtlichkeit des Operationsfeldes und den Verlust der Tiefenwahrnehmung zu kompensieren. Der limitierte Zugang zum Operationsfeld erschwert auch, direkte Informationen über die Anatomie zu gewinnen. Dieses Problem kann durch den Einsatz von Navigationstechniken kompensiert werden, welche intra-operativ relevante Daten über versteckte anatomische Details bereitstellen.

Der Chirurg ist für die Navigation üblicherweise auf intra-operativ erstellte radiologische Bilder angewiesen. Dies führt jedoch zu einer Beeinträchtigung des Arbeitsablaufs und/oder setzt den Patienten und den Arzt zusätzlicher Strahlung aus. Endoskope sind in Kombination mit aufbereiteten pre-operativen Daten theoretisch besser dazu geeignet, solche Informationen zu liefern.

Dieses Projekt hat zum Ziel, Endoskope, welche bisher vorwiegend als Guckloch in das Innere der Patienten genutzt werden, als ein klinisch relevantes bildgebendes Instrument einzusetzen. Wir wollen die praktische Anwendbarkeit von photogrammetrischen Methoden erforschen, um quantitative Messungen innerhalb des Operationsfeldes durchzuführen. Wir fassen Techniken, die es erlauben, zusätzliche Informationen während endoskopischen Eingriffen zu liefern, unter *quantitativer Endoskopie* zusammen.

Die Hauptanwendung ist das endoskopische Referenzieren für die Navigation minimal invasiver Eingriffe. In einem ersten Schritt haben wir die Anforderungen für die quantitative Endoskopie bestimmt. Daraufhin

wurde ein Prototyp gebaut, wobei der beste Kompromiss zwischen den Anforderungen der digitalen Bildverarbeitung und dem Einsatz bestehender Standardinstrumente gewahrt wurde.

Jedes Bildverarbeitungssystem für quantitative Messungen benötigt eine akkurate Kalibration. Wir haben eine Methode entwickelt, welche es erlaubt, das komplette System unter Beibehaltung der Sterilität innert Minuten innerhalb des Operationssaales zu kalibrieren.

Basierend auf diesem System führen wir eine neue Strategie für das Referenzieren von Halswirbeln ein. Des Weiteren wurde eine Anwendung entwickelt, mit welcher kleine Objekte im Operationsfeld navigiert werden können. Zusätzliche können die Bilder augmentiert dargestellt werden, um den Verlust der Tiefeninformation zu kompensieren.

Eine gründliche Fehleranalyse und Validation für das komplette System wurde durchgeführt, um die kritischen Komponenten zu identifizieren und eine Schätzung der Genauigkeit zu liefern.

Die Resultate zeigen, dass Endoskope als bildgebende Instrumente eingesetzt werden können, um in Echtzeit quantitative Messungen und eine augmentierte Darstellung zu ermöglichen.