

Matthias Baumhauer

Dr. sc. hum.

**Real-Time Compensation of Organ Motion for
Augmented Reality in Laparoscopic Surgery**

Geboren am 28.09.1980 in Illertissen

Diplom der Technischen Informatik am 11.02.2005 an der Hochschule Ulm

Promotionsfach: Medizinische Informatik (DKFZ)

Doktorvater: Prof. Dr. sc. hum. habil. Hans-Peter Meinzer

Trotz fortschreitender Entwicklungen in den Bereichen medizinische Bildgebung, medizinische Bildverarbeitung und Medizin-Robotik ist die Verwendung von computergestützten Systemen bei medizinischen Vorgängen zumeist auf die Diagnostik, Therapieplanung und Unterstützung von Eingriffen an rigiden Strukturen beschränkt. Für die Etablierung eines übergreifenden, computergestützten Arbeitsablaufs von der Diagnose über die Therapie bis hin zur Nachsorge wurden in den letzten Jahren vermehrt Forschungsarbeiten im Bereich der computerassistierten Therapie bei Weichgewebeeingriffen vorgestellt. Mit Hilfe verschiedener prä- und intraoperativer Informationsquellen, wie etwa der computergestützten Operationsplanung, der intraoperativen Bildgebung, sowie moderner Trackingsysteme versucht die computerassistierte Chirurgie den Operateur bei der Auffindung anatomischer Zielstrukturen, der Überwachung von Risikostrukturen und der optimalen Schonung von gesundem Gewebe zu unterstützen. Insbesondere konzentriert sich dabei die gegenwärtige Forschung auf das Problem der Organverschieblichkeit während eines Eingriffs, sowie auf die Kommunikation zwischen der Computerassistenz und dem Operateur.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden neue Methoden zur Schaffung von Computerassistenzsystemen für Eingriffe an Weichgewebeorganen konzeptionell entworfen, implementiert und evaluiert. Die Entwicklung konzentrierte sich auf endoskopische Eingriffe an Thorax und Abdomen, da die minimal-invasive Chirurgie der Computerassistenz aufgrund einer eingeschränkten Wahrnehmung des Operateurs einen besonders hohen Nutzen in Aussicht stellt. Eine Hauptidee der Arbeit ist der Einsatz von intraoperativer Bildgebung in Verbindung mit einer eigens konstruierten Navigationshilfe. Durch Einsatz voll-automatisierter Methoden zur Verarbeitung der gewonnen Bilddaten und durch eine Echtzeitverarbeitung der endoskopischen Videobilder wird das Endoskop fortlaufend mit der gegenwärtigen Patientenanatomie registriert. Hierdurch kann eine Augmented Reality

Überlagerung verdeckter anatomischer Strukturen in das Live-Videobild des Endoskops vorgenommen werden. Diese Visualisierungshilfe kann beispielsweise bei kritischen Präparationsphasen der Tumorchirurgie eingesetzt werden um die Lage eines Tumors im Organinneren und umliegende Risikostrukturen beurteilen zu können. Besonderes Merkmal des vorgestellten Konzepts ist der Verzicht auf externe Trackingsysteme, wodurch eine schnelle und einfache Handhabung im Operationssaal sichergestellt ist. Darüber hinaus kann die Gültigkeit und Genauigkeit der Visualisierung durch die Computerassistenz direkt durch den Operateur verifiziert werden.

Die vorgestellten Methoden wurden in zahlreichen in-silico, in-vitro und in-vivo Experimenten und Heilversuchen validiert, welche in enger Zusammenarbeit mit klinischen Partnern durchgeführt wurden.

Despite rapid developments in the research areas of medical imaging, medical image processing, and robotics, the use of computer assistance in surgical routine is still limited to diagnostics, surgical planning, and interventions on mostly rigid structures. In order to establish a computer aided workflow from diagnosis to surgical treatment and follow-up, several proposals for computer assisted soft tissue interventions have been made in recent years. By means of different pre- and intraoperative information sources, like surgical planning, intraoperative imaging, and tracking devices, surgical navigation systems aim at supporting surgeons in localizing anatomical targets, observing critical structures, and sparing healthy tissue. Current research particularly addresses the problem of organ shift and tissue deformation, as well as obstacles in communication between navigation system and surgeon.

In this thesis, new methods for computer assisted soft tissue surgery have been developed, implemented, and evaluated. This thesis focuses on approaches which can be applied in endoscopic thoracic and abdominal surgery, as endoscopic surgery has special needs for image guidance due to limitations in perception. One main idea is the combined use of intraoperative imaging and a custom-developed navigation aid. By means of automatic methods for image processing and a real-time processing of endoscopic video images, the endoscope is registered continuously with the present patient anatomy. This allows for the augmented reality superimposition of occluded anatomic structures in the live video images of the endoscope. This visualization aid can, for instance, support the surgeon during critical preparation steps in the assessment of the spatial location of a tumor and surrounding risk structures. A specific characteristic of the proposed concept is the elimination of external tracking systems, which ensures easy and fast handling in the operation room. Moreover, the validity and accuracy of the visualization of the navigation system can be intuitively verified by the surgeon during use.

The proposed methods have been extensively evaluated in close cooperation with medical partners. The system validity could be assessed during various in-silico, in-vitro, and in-vivo experiments and preliminary treatment trials.