

**10. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
29. bis 30. März 2012 in Aachen**



„Entwicklung und Aufbau eines modularen optischen 3D-Digitalisiersystems für die computergestützte Chirurgie“

Thomas Kerstein, Jürgen Wahrburg
Interdisziplinäres Zentrum für Sensorsysteme, Lehrstuhl für Regelungs- und
Steuerungstechnik, Universität Siegen, Siegen, Deutschland
E-Mail: Kerstein@zess.uni-siegen.de

Copyright: VDI Verlag GmbH
Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 286 „Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin“
Editors: Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt, Prof. Dr.-Ing. Dirk Abel, Prof. Dr.-
Ing. Klaus Radermacher, Christian Brendle, Henry Arenbeck, Kurt Gerlach-
Hahn, Kirska Dannenberg
ISBN: 978-3-18-328617-1
Pages: 44-45

Entwicklung und Aufbau eines modularen optischen 3D-Digitalisiersystems für die computergestützte Chirurgie

Thomas Kerstein¹ und Jürgen Wahrburg¹

¹Interdisziplinäres Zentrum für Sensorsysteme (ZESS), Lehrstuhl für Regelungs- und Steuerungstechnik, Universität Siegen, Siegen, Deutschland

Kontakt: Kerstein@zess.uni-siegen.de

Einleitung

Im Bereich der computerunterstützten Chirurgie (CAS) bilden optische 3D-Navigationssysteme als zuverlässige Navigationslösungen mittlerweile den Stand der Technik. Sie arbeiten berührungs- und kabellos, sind robust gegenüber einer Vielzahl von Störeinflüssen und bieten im Allgemeinen eine ausreichend hohe Lokalisiergenauigkeit. Beispiele für derartige Systeme sind „Ortho Pilot®“ [1] von der Firma *Aesculap* und „VectorVision®“ von der Firma *BrainLab* [2]. Diese Verfahren basieren auf der Lokalisierung retroreflektiver Marker unter Anwendung von Stereo-Kamerasystemen mit integrierter Infrarot-Beleuchtungseinheit zur aktiven Ausleuchtung der Szene.

Obwohl sich diese Systeme im Bereich der computergestützten Chirurgie etabliert haben, besteht weiterer Entwicklungsbedarf. So sind etwa die Kosten für die Marker recht hoch insbesondere angesichts der Tatsache, dass sie aufgrund fehlender Möglichkeit der Sterilisierbarkeit nach jedem OP-Einsatz erneuert werden müssen. Eine weitere Herausforderung besteht in der Einrichtung des Systems mit Hinblick auf eine adäquate Kameraanordnung während der gesamten Operation. Eine besonders kritische Beschränkung aktueller Systeme stellt die Nichtverfügbarkeit von Messwerten im Falle einer Sichtlinienunterbrechung dar („Line of sight“-Problem).

In der vorliegenden Arbeit werden die Zielsetzungen der aktuellen Forschungsarbeit zur Behandlung der genannten und weiteren Aufgabenstellungen beschrieben und gewählte Lösungsansätze sowie daraus abgeleitete Konzepte vorgestellt. Das im Rahmen der Forschungsarbeit entwickelte modulare optische 3D-Digitalisiersystem bildet eine Erweiterung des "modular interactive Computer Assisted Surgery"-Systems (modiCAS®) [3], einem modularen Prototypen-System zur computer- und roboterunterstützten Chirurgie. Somit ergeben sich insbesondere durch die Kombination mit dem Chirurgie-Roboter interessante Perspektiven für Synergien.

Aufgabenstellungen und Lösungsansätze

Alternative Referenzkörper und preiswerte Marker: Durch die Nutzung preiswert herstellbarer Marker lassen sich Kosten effektiv senken. Eine interessante neuartige Marker-Technologie wird von der Firma *Clarontech* in ihrem optischen Tracking System „Microntracker“ [4] verwendet. Diese Marker lassen sich beispielsweise ein-

fach mit einem konventionellen Drucker drucken. Ein weiterer Ansatz ist die Verwendung von Referenzkörpern, die nicht aus einzelnen Markern bestehen, sondern als komplette Struktur detektiert und lokalisiert werden können. Das Idealziel hingegen stellt den Verzicht auf jegliche Art von Referenzkörpern dar.

„Line of sight“-Problem: Ein geeigneter Ansatz zur Vermeidung des Problems der Sichtlinienunterbrechung ist der Einsatz mehrerer Kameras, die die Szene aus unterschiedlichen Positionen im Raum betrachten. Ist die Sichtlinie einer Kamera unterbrochen, ist die Funktion durch andere Kameras weiterhin gewährleistet, sofern mindestens eine Kamera Sichtkontakt zum Objekt besitzt.

Vereinfachung der Systemeinrichtung und Handhabung: Um die derzeit bisweilen zeitaufwendige Suche nach einer geeigneten Anordnung der Kamera im OP zu beschleunigen, bietet sich allgemein der Einsatz kleinerer Kameras wie in [4] an. Ein weiterer Aspekt ist die Wahl der geeigneten Konfiguration bezüglich der Anbringung der Kamera. Diese kann entweder *stationär* („outside-in“) oder *dynamisch* am Chirurgie-Roboter angebracht sein („inside-out“). Beide Varianten besitzen Vor- und Nachteile, wobei sich eine besonders vorteilhafte Lösung durch Kombination fest installierter und einer am Roboter manipulator montierten Kamera ergibt.

Kombination von optischer Navigation und Patientenregistrierung: Für eine Vereinfachung des intraoperativen Arbeitsablaufs ist es erstrebenswert, optische Navigation und Erfassung der Patienten-anatomie für die Patientenregistrierung in einem gemeinsamen System zu integrieren. Somit kann eine am Roboter manipulator montierte Kamera auch für eine robotergestützte Erfassung der Patienten-anatomie mit einem Laserscanner, wie er in [5] beschrieben ist, benutzt werden.

Konzeptbeschreibung

Hardware-Konzept: Da das Digitalisiersystem im Normalbetrieb als autonomes System fungieren soll, ist eine „Turn-Key“-Lösung unerlässlich. Für die Bild- und Datenverarbeitung wird ein kompakter und robuster Industrie-PC verwendet. Der Rechner arbeitet im Inselbetrieb, d.h. Interaktionen finden während des Betriebs ausschließlich indirekt über die bereitgestellten Kommunikationsschnittstellen statt. Die Übertragung von Status- und Pose-Daten (Pose: Position und Orientierung) erfolgt seriell über RS232 oder USB. Für die Übertragung von 2D-

Bilddaten und 3D-Voxeldaten verfügt das System zusätzlich über eine TCP/IP-Kommunikationsschnittstelle. Die Anbindung der Kameras erfolgt über IEEE 1394. Das Hardwarekonzept ist schematisch in Abb. 1 dargestellt.

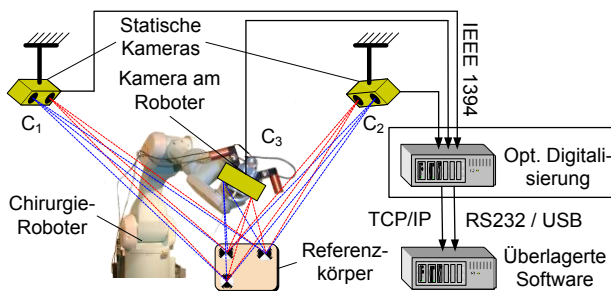


Abb. 1: Hardwarekonzept des Digitalisiersystems in schematischer Darstellung

Software-Konzept: Eine der Hauptanforderungen an das Navigationssystem liegt in der Modularität und Erweiterbarkeit. Dies spiegelt sich vor allem in dem hierarchisch strukturierten Software-Konzept wider, welches in Abb. 2 in stark vereinfachter Form dargestellt ist.

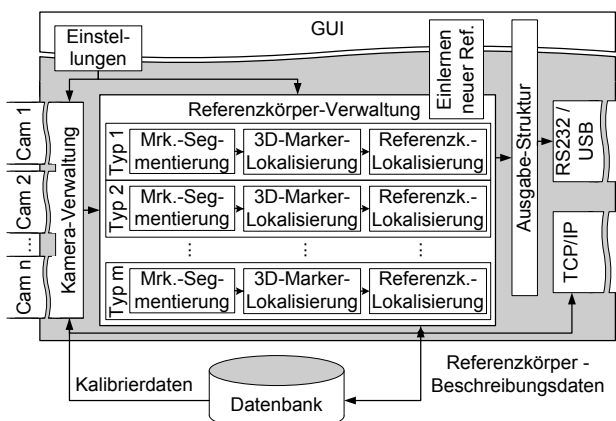


Abb. 2: Vereinfachtes Softwarekonzept des Digitalisiersystems

Das System bietet die Möglichkeit mehrere Kameras gleichen oder unterschiedlichen Typs anzuschließen. Die Kameraverwaltung erkennt die angeschlossenen Kameras, sorgt für die ordnungsgemäße Konfiguration und organisiert den Bildeinzug. Werden mehrere Kameras verwendet, muss zudem vorab eine Kalibrierung durchgeführt werden, damit die Messdaten in ein gemeinsames Referenzkoordinatensystem transformiert werden können.

Nach Einlesen der aktuellen Bilddaten erfolgt die Segmentierung der Marker in den Bildern unter Anwendung von angepassten und effizienten Mustererkennungsalgorithmen. Nach der Detektion und 3D-Lokalisierung der Marker werden bekannte Referenzkörper mit Hilfe einer Korrespondenzanalyse zwischen Mess- und Modelldaten identifiziert und deren Position und Orientierung ermittelt. Sowohl die Segmentierung der Marker als auch die

Verfahren der Korrespondenzanalyse sind stark abhängig vom Typus der verwendeten Marker. Die gesamte Referenzkörperverwaltung, einschließlich Markerdetektion, Referenzkörperlokalisierung und Überwachung unterliegt dabei einer Verwaltungsinstanz, ähnlich der Kameraverwaltung. Über dieses Modul erfolgen auch das Laden von Referenzkörper-Beschreibungsdateien aus der Datenbank sowie das Einlernen neuer Referenzkörper. Die Integration von Lokalisierverfahren für neue Referenzkörperarten erfolgt ebenfalls ähnlich wie die neuer Kameramodelle mit Hilfe abstrakter Basisklassen über definierte Schnittstellen und unter Nutzung vorgegebener Datenstrukturen.

Die resultierenden Messdaten werden schließlich in einer Ausgabestruktur abgelegt. Mit RS232 bzw. USB sowie TCP/IP stehen zwei Kommunikationsschnittstellen zur Datenübertragung zur Verfügung.

Um auch außerhalb der vorgesehenen Umgebung des übergeordneten Assistenzsystems eine direkte Benutzer-Interaktion zu ermöglichen, wurde zusätzlich eine graphische Benutzeroberfläche implementiert. Diese bietet dem Benutzer im experimentellen Betrieb neben der Visualisierung von Bild-, Mess- und Statusdaten den direkten Zugriff auf viele Einstellparameter.

Diskussion

Gegenwärtig ist die Implementierung aller für die optische 3D-Digitalisierung notwendigen Komponenten sowie der graphischen Benutzeroberfläche weitgehend abgeschlossen. Aktuelle Forschungsschwerpunkte liegen in der Evaluierung neuer Referenzkörpertechnologien und der System-Einbettung in das „modiCAS“-Gesamtsystem.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde ein neuartiges optisches 3D-Digitalisiersystem vorgestellt, welches sich aufgrund seiner Modularität leicht auf neue Konfigurationen anpassen lässt. Somit können bestehende Nachteile derzeitiger Navigationslösungen umgangen und die Handhabung verbessert werden.

Literatur

- [1] BRAINLAB: *BrainLAB AG*. <http://www.brainlab.com>
- [2] AESCULAP: *OrthoPilot*. <http://www.orthopilot.de>
- [3] WAHRBURG, J. : Regelkonzepte für Assistenz-Roboter zur Unterstützung chirurgischer Eingriffe, In *Tagungsband zum VDE-Kongress 2006*, VDE-Kongress 2006, Aachen, Deutschland, Oktober 2006, S. 349-353
- [4] GIBBONS, M. : In Need of a Keen Eye - Stereo Vision-Based Optical Tracking Yields New Surgical Tools In: *Inspect-online - Imaging and Machine Vision*. <http://www.inspect-online.com>, Vancouver, Kanada, August 2011
- [5] SCARPIN, D. ; WAHRBURG, J. : Entwicklung eines robotergeführten Lichtschnittsensoren für die berührungslose Erfassung anatomischer Strukturen, In *Tagungsband zur 9. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Robotergestützte Chirurgie e.V. (CURAC)*, Düsseldorf, Tönnig, Deutschland, November 2010, S. 231-235