

**7. Workshop  
Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin vom  
19. - 21. Oktober 2007 in  
München**



**„Berücksichtigung der Pose von Markerschrauben bei der  
intraoperativen Registrierung in der roboterassistierten  
Chirurgie“**

Lüder Alexander Kahrs, C. Schönfelder, J. Raczkowsky, H. Wörn  
Institut für Prozessrechentchnik, Automation und Robotik, Universität Karlsruhe (TH),  
Karlsruhe, Deutschland  
E-Mail: kahrs@ira.uka.de

Copyright: VDI Verlag GmbH  
Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 267 „Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin, 7. Workshop, Tagungsband“  
Editors: Ralf Tita, Robert Riener, Martin Buss, Tim C. Lüth  
ISBN: 978-3-18-326717-0  
Pages: 45-46

## Berücksichtigung der Pose von Markerschrauben bei der intraoperativen Registrierung in der roboterassistierten Chirurgie

Lüder Alexander Kahrs, C. Schönfelder, J. Raczkowski, H. Wörn

Institut für Prozessrechentchnik, Automation und Robotik, Universität Karlsruhe (TH)  
Engler-Bunte-Ring 8, 76131 Karlsruhe

kahrs@ira.uka.de

### EINLEITUNG

Die Registrierung mit künstlichen Landmarken (engl. Fiducials) unter Verwendung von Titanminischrauben ist der Goldstandard in der navigierten und roboterassistierten Chirurgie [West2000].

Bisherige Ansätze dieser (image-to-physical) Registrierung beruhen auf der prä- oder perioperativen Segmentierung ausgewählter punktförmiger Strukturen in den Tomographiedaten und dem intraoperativen Antasten der Landmarken [Maurer1997, Mainz1998].

Unser Ansatz ermöglicht zusätzlich zu dieser Punktpaar-Registrierung die Berücksichtigung der Ausrichtung der Schraubenachsen im Datensatz, wodurch eine Verbesserung der Registrierengenauigkeit erwartet wird.

### MATERIALIEN UND METHODEN

Die Position der Schraubenköpfe eines jeden implantierten Titanmarkers trägt bei der konventionellen Registrierung zu der Transformation zwischen dem Koordinatensystem im Operationssaal und des Tomographiedatensatzes bei. Zur Bestimmung der Pose (Position und Orientierung) der Titanminischrauben in den Computertomographiedaten werden Segmentierungen mit verschiedenen Schwellwerten durchgeführt. In Abb. 1 sind zwei beispielhafte Ergebnisse der Oberflächenpolygone mit den dazugehörigen Achsen dargestellt. Diese werden über ein dreistufiges Verfahren automatisch erkannt:

1. Ermittlung des Schwerpunktes der Schrauben
2. Grobe Bestimmung der Achsenlage über den Schwerpunkt und eines weiteren Punktes, welcher durch die Summation aller Polygone, die nicht innerhalb eines bestimmten Radius liegen, berechnet wird
3. Genaue Bestimmung der Achsenlage durch Iteration und Abstandsberechnungen von allen umgebenen Polygonen innerhalb einer diskreten Breite entlang der Achse

Außer dem Schwerpunkt und dem Vektor der Achsenorientierung können nun durch Bestimmung der Grenzen der Schraube entlang der Achse auch die Schraubenenden bestimmt werden.

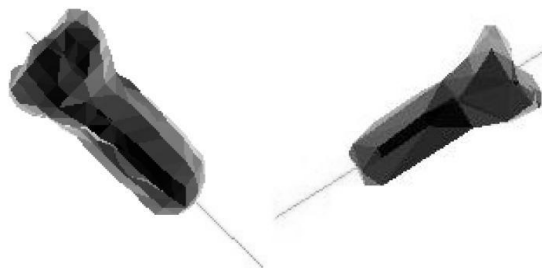


Abb. 1: Segmentierte Schrauben mit unterschiedlichen Hounsfield-Schwellwerten sowie automatisch gefundenen Achsen.

In dem aktuellen (intraoperativen) Koordinatensystem wird die Schraube mit einem Lokalisationsystem angetastet. Hierfür wird der MicroScribe G2X 3D Digitizer (Immersion) verwendet. Die Messspitze wird auf den Schraubenkopf positioniert und koaxial zur Schraubenachse orientiert. Das Messsystem erlaubt sowohl die Ausgabe der Position, als auch der Orientierung der Messspitze. Da die Schraube vermessen wurde (CAD-Modell, vgl. Abb. 2), können alle Punkte, die im Tomographiekordinatensystem bekannt sind (Schwerpunkt, Antastpunkt am Schraubenkopf, sowie Schraubenendpunkt), mit denen im aktuellen Koordinatensystem in Bezug gesetzt werden.

Die Punktmenge, die zur Registrierung verwendet wird, erweitert sich demnach im Vergleich zur konventionellen Vorgehensweise um Punkte, die aus den Richtungen der Schrauben resultieren. Mit einem Phantomkörper aus Kunststoff, welcher mit neun Titanmarkern versehen wurde, sind die Algorithmen und der Workflow des Gesamtsystems getestet worden. Für diese Tests wurden die beiden Schraubenenden zur Registrierung verwendet, welches einer Verdoppelung der Punktpaare entspricht.

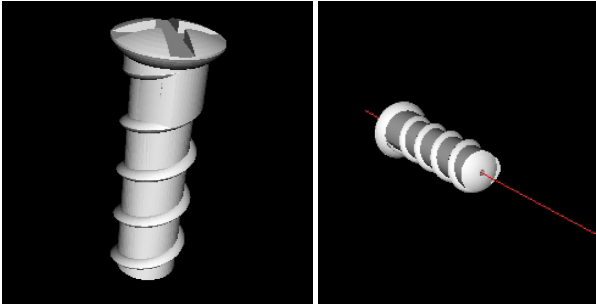


Abb. 2: 3D-Darstellung des CAD-Modells einer Markerschraube (rechts mit eingezeichneter Achse)

## ERGEBNISSE

Die Registrierung unter Berücksichtigung der Pose von Markerschrauben wurde implementiert und erfolgreich getestet.

## DISKUSSION UND AUSBLICK

Bisher konnten mit der Methode der Berücksichtigung der Pose der Markerschrauben und damit der Erweiterung der Punktemenge bei der Registrierung gleichwertige Ergebnisse zur konventionellen Registrierung erzielt werden (leave-one-out-Methode). Untersuchungen bezüglich FLE, FRE und TRE [Sonka2000] stehen noch aus.

Folgende potentiellen Fehlerquellen sind in den bisherigen Methoden vorhanden:

- Messspitze und Schraubenkopf sind nicht aufeinander abgestimmt und lassen eine Abweichung bei der Messung der Orientierungen zu.
- Die Bestimmung der Achsenorientierung sowie der Schwer- und Endpunkte der Schraube ist wegen der Segmentierung und der daraus resultierenden Polygone mit Fehler behaftet (vgl. Abb. 1).

Zur Behebung dieser Fehler werden die Schraubenköpfe und die Messspitze in Zukunft so aufeinander abgestimmt, dass es keine Abweichung gibt. Die Messspitze wird als Negativform des Schraubenkopfes konstruiert. Die Segmentierung soll auf automatische Verfahren umgestellt werden [Wang1996]. Weitere Methoden der Segmentierung, Registrierung und Matching werden bei Bedarf verwendet [Hoppe2001, Knoop2007].

Obwohl die Richtungen der Schrauben in den Registrierprozess einfließen, wird nach der Berechnung des Schwerpunkts sowie der Schraubenkopf- und Endpunkte ein punktbasierendes Registrierverfahren eingesetzt. Deshalb soll zukünftig ein Algorithmus verwendet werden, der die Richtung in nativer Weise berücksichtigt [Olsson2006].

Abschließend sollen die Messungen mit einem präziseren Messarm (FARO Platinum Arm) wiederholt werden.

## DANKSAGUNG

Wir danken unseren Studenten Yaokun Zhang und Anja Marx für die Unterstützung bei dieser Arbeit.

## LITERATURHINWEISE

[Hoppe2001]

H. Hoppe, J. Brief, S. Daeuber, J. Raczowsky, S. Hassfeld, H. Woern, „Projector Based Intraoperative Visualization of Surgical Planning Data“ in *Proc. of the Israeli Symposium on Computer-Aided Surgery, Medical Robotics, and Medical Imaging*, Tel-Aviv, 2001

[Knoop2007]

H. Knoop, J. Raczowsky, U. Wyslucha, T. Fiegele, G. Eggers, H. Wörn, „Integration of intraoperative imaging and surgical robotics to increase their acceptance“, *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, Vol 1(5), p 243, 2007

[Maintz1998]

J.B.A. Maintz, M.A. Viergever, „A survey of medical image registration“, *Medical Image Analysis* Vol 2(1), p 1, 1998

[Maurer1997]

C.R. Maurer, J.M. Fitzpatrick, M.Y. Wang, R.L. Galloway, R.J. Maciunas, G.S. Allen, „Registration of Head Volume Images Using Implantable Fiducial Markers“. *IEEE Trans. Med. Imaging* Vol 16(4): p. 447, 1997

[Olsson2006]

C. Olsson, F. Kahl, M. Oskarsson, „The Registration Problem Revisited: Optimal Solutions From Points, Lines and Planes“ in *Proc. of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, New York, 2006

[Sonka2000]

M. Sonka, J.M. Fitzpatrick, *Handbook of Medical Imaging Volume 2 - Medical Image Processing and Analysis*, SPIE Press Book., 2000

[West2000]

J.B. West, J.M. Fitzpatrick, „Point-based, rigid registration: clinical validation of theory“ in *Proc. SPIE Medical Imaging 2000*, San Diego, 2000

[Wang1996]

M.Y. Wang, C.R. Maurer, J.M. Fitzpatrick, R.J. Maciunas, „An automatic technique for finding and localizing externally attached markers in CT and MR volume images of the head“ *IEEE Trans. Biomed. Eng.* Vol 43, p 627, 1996