

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



**„Untersuchung von 3D-Sensorik für die Echtzeit-
Nachführung von Assistenzrobotern bei chirurgischen
Anwendungen“**

H.-C. Schneider, J. Wahrburg
Zentrum für Sensorsysteme, Arbeitsgruppe Medizintechnik & Mechatronik, Universität
Siegen, Siegen, Deutschland
E-Mail: schneider@zess.uni-siegen.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: 49-50

Untersuchung von 3D-Sensorik für die Echtzeit-Nachführung von Assistenzrobotern bei chirurgischen Anwendungen

H.-C. Schneider¹, J. Wahrburg¹

¹ Universität Siegen, Zentrum für Sensorsysteme, Arbeitsgruppe Medizintechnik & Mechatronik,
Paul-Bonatz-Straße 9-11, 57076 Siegen

schneider@zess.uni-siegen.de

EINLEITUNG

Bei dem mechatronischen Chirurgie-Assistenzsystem *modiCAS* (= *modular interactive Computer Assisted Surgery*) bildet das Navigationssystem mit dem verwendeten Roboterarm eine integrale Einheit, die es dem Chirurgen ermöglicht, operative Eingriffe planungsgerecht und mit reproduzierbarer Genauigkeit durchzuführen. Die vorliegende Arbeit beschreibt Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Verbesserung der Echtzeit-Nachführeigenschaften sowie der Funktionssicherheit dieses neuartigen Systems.

MOTIVATION

Die Integration von Roboter und Lokalisierungssystem zu einer interaktiven, navigierten Robotersteuerung sowie einer Echtzeit-Patientennachführung wird bisher ausschließlich mit Hilfe des in der medizinischen Navigation zum Standard avancierten NDI-Polaris-Lokalisierungssystems realisiert.

Während mit dem NDI-Polaris in zahlreichen Navigationsanwendungen gute Ergebnisse erzielt werden können, so zeigt sich bei der Verwendung in der navigierten Robotik Verbesserungspotenzial in einigen wesentlichen Punkten, insbesondere:

- ca. 30 Hz Messfrequenz zu niedrig für hochdynamische Patientenverfolgung
- kein strenger Determinismus für regelungstechnische Anwendungen gegeben (beispielsweise variable Messfrequenz beim Übergang einzelner Referenzgeber in den oder aus dem Sichtbereich)
- mögliche Verschiebung der Mittelpunkte von Referenzgeberkugeln bei Verschmutzung oder partieller Verdeckung
- Unterbrechung der Patientennachführung durch die „Line-Of-Sight-Interruption“
- keine unmittelbar messbaren Beschleunigungen oder Geschwindigkeiten für entsprechende Regelungskonzepte
- während die durch das NDI-Polaris gemessene Roboterpose über die Gelenkgeber der Roboters

verifiziert werden kann, ist die Posemessung des Patienten bisher nicht redundant

Aus den genannten Punkten lassen sich die folgenden Anforderungen an eine 3D-Sensorik für den Einsatz mit Assistenzrobotern zusammenfassen:

- redundante Posesmessung
- hohe, deterministische Messfrequenz
- hohe, zustandsunabhängige stationäre Genauigkeit bzw. sichere Erkennung von Ungenauigkeiten
- Lösung des „Line-Of-Sight“-Problems

MATERIALIEN UND METHODEN

Für eine redundante Posemessung sowie zur Verminderung des „Line-Of-Sight“-Problems sollen neuartige Sensorkonzepte evaluiert werden. Darüber hinaus sollen neue Alternativprodukte zum NDI-Polaris untersucht werden, falls diese eine höhere deterministische Messfrequenz oder eine höhere Messgenauigkeit versprechen.

Redundanzstrategien für chirurgische Assistenzsysteme lassen sich prinzipiell aus bekannten „X-by-Wire“-Konzepten, wie beispielsweise aus der Fahrzeug- oder Flugzeugentwicklung ableiten. Eine vereinfachte Klassifizierung für minimal-redundante Systeme kann schließlich wie folgt aussehen:

- Highly Mechatronic Dependent surgical intervention (HMD)
- Less Mechatronic Dependent surgical intervention (LMD)

Klasse	Anforderungen	Sensoren	Aktoren
HMD	Systemverfügbarkeit	3	2
LMD	Systemsicherheit	2	1

Tab. 1: Redundanz bei mechatronigestützter Chirurgie.

Bei der Verwendung von Standard-Industrierobotern wie dem Mitsubishi PA-10 als integraler Bestandteil des modiCAS-Systems ist eine nachträgliche Änderung der integrierten Sensor-, Aktor- und Regelungsstruktur nicht mehr möglich. Hier empfiehlt es sich zunächst, den ersten Schritt zur Systemsicherheit für LMD-Anwendungen beispielsweise über eine externe, redundante Poseüberwachung zu gehen. Der zweite Schritt zur Verfügbarkeit für HMD-Anwendungen, und der damit zwingend notwendigen Überarbeitung der Roboterstruktur, kann angestrebt werden, sobald die Praxistauglichkeit des Assistenzsystems für LMD-Anwendungen nachgewiesen ist. Ergänzend zu der Entwicklung einer sicheren 3D-Sensorik sollen Bedienerschnittstellen wie die haptische Steuerung unter sicherheitstechnischen Gesichtspunkten überarbeitet werden. Dies ist jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit.

DISKUSSION

Für eine homogen redundante Posemessung sowie zur Abschwächung des „Line-Of-Sight“-Problems mit Hilfe mehrerer, an verschiedenen Orten aufgestellten Lokalisierern lassen sich einige der heute verfügbaren Tracking-Systeme entsprechend synchronisieren.

Darüber hinaus bietet sich die Entwicklung diversitär redundanter Sensorkonzepte an, wie beispielsweise die Kombination des optischen Lokalisierersystems mit den Gelenkgebern des Roboters für ein zweifaches Tracking der Mechatronik. Ein entscheidender Vorteil der diversitären Redundanz ist, dass die Messwerte aus verschiedenartigen Sensoren gewonnen werden und somit sensorspezifische Messfehler wie beispielsweise der Temperaturdrift des NDI-Polaris sicherer erkannt werden können.

Für das bisher nicht redundante Tracking des Patienten bzw. zur Plausibilitätsprüfung der entsprechenden Messwerte des optischen Lokalisierersystems zeigt sich die Einbeziehung neuartiger Low-Cost-Inertialsensoren als vielversprechend.

Neben der Möglichkeit des reinen Messwertvergleichs [Thies2006] für Plausibilitätsprüfungen bietet sich eine Sensordatenfusion mittels eines Kalman-Filters an.

Zum einen lassen sich hierbei mit Hilfe schnellerer Inertialsensoren und der zusätzlich vorhandenen Beschleunigungs- und Drehratenmesswerte die dynamischen Messeigenschaften bei langsamen optischen Trackern verbessern.

Zum anderen lässt sich das „Line-Of-Sight“-Problem für kleine Zeitfenster lösen, da auch bei einem Ausbleiben der Posereferenzen des optischen Systems eine Näherung der Patientenpose ausschließlich über den Inertialsensor erfolgen kann.

Weiterhin kann der Kalman-Filter für Plausibilitätsprüfungen eingesetzt werden, da die Werte der Residuen Aufschluss über die Verlässlichkeit der Messdaten liefern.

In [Roetenberg2006] wurde bereits eine auf dem Kalman-Filter basierende Kombination eines optischen Trackers mit einem Low-Cost-Inertialsensor zur Realisierung einer Bewegungsanalyse untersucht. Verwendet wurde zunächst ein linear komplementärer Kalman-Filter. Zu klären bleibt die Frage, inwieweit sich das Konzept in der navigierten Robotik anwenden lässt. Insbesondere bleibt offen, wie sich die Sensorkombination bei Einflussnahme anwendungsspezifischer auftretender Vibrationen und Störungen in der Chirurgie verhält. Darüber hinaus sind Kalibrierungsverfahren zu entwickeln. Schließlich ist zu untersuchen, für welche Zeiträume bei der „Line-Of-Sight-Interruption“ eine Posenäherung ausschließlich über den Inertialsensor hinreichend verlässliche Daten liefert. Gegebenenfalls können alternative Kalman-Algorithmen (EKF, UKF) verglichen werden, falls die Ergebnisse der weiteren Untersuchungen dies fordern.

Neben Erprobungen zur Navigationsverbesserung mittels Sensordatenfusion werden die spezifischen Eigenschaften neuer, kommerzieller optischer Lokalisiersysteme verglichen, damit festgestellt werden kann, ob eine Alternative zum NDI-Polaris gegebenenfalls zur Verbesserung des modiCAS-Systems, hinsichtlich der umseitig beschriebenen Anforderungen, beitragen kann.

DANKSAGUNG

Diese Arbeiten werden zum Teil gefördert im Rahmen des DFG-SPP1124.

LITERATURHINWEISE

[Roetenberg2006]

D. Roetenberg, „Inertial and Magnetic Sensing of Human Motion“, ISBN-10: 90-9020620-5, University of Twente, 2006

[Thies2006]

S.B. Thies, P. Tresadern, L. Kenney, D. Howard, J.Y. Goulermas, C. Smith, J. Rigby „Comparison of linear accelerations from three measurement systems during “reach & grasp“, Centre for Rehabilitation and Human Performance Research, University of Salford, 2006

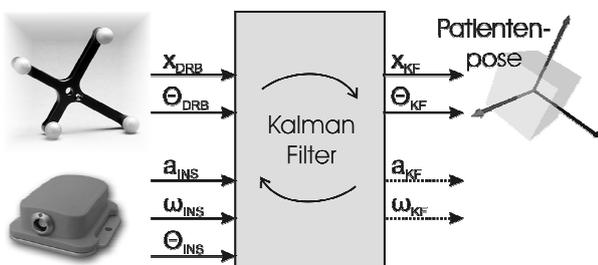


Abb. 1: Sensordatenfusion Patientenpose.

X:Position, Θ :Orientierung, a:Beschleunigung, ω :Winkelgeschwindigkeit, DRB:Referenzgeber, INS:Inertialsensor, KF:Kalman-Filter