

**8. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
20.-21. März 2009 in Berlin**



**„Experimentelle Bestimmung geeigneter
Referenzgebergeometrien für eine navigierte
mechatronische Instrumentennachführung in Echtzeit“**

Hans-Christian Schneider, Alexander Adam, Jürgen Wahrburg
ZESS - Zentrum für Sensorsysteme, Universität Siegen, Siegen, Deutschland

Copyright: VDI Verlag GmbH
Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 274 „Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin, 8. Workshop, Tagungsband“
Editors: Thomas Schauer, Henning Schmidt, Marc Kraft
ISBN: 978-3-18-327417-8
Pages: 29-30

Experimentelle Bestimmung geeigneter Referenzgebergeometrien für eine navigierte mechatronische Instrumentennachführung in Echtzeit

Hans-Christian Schneider¹, Alexander Adam¹ und Jürgen Wahrburg¹

¹ZESS - Zentrum für Sensorsysteme, Universität Siegen, Deutschland

Einleitung

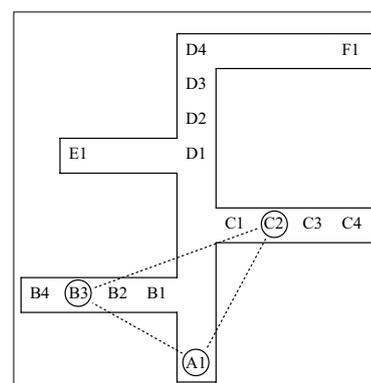
Bei der Entwicklung von mechatronischen Chirurgieassistenzsystemen wie modiCAS stellt die automatische Echtzeitnachführung chirurgischer Instrumente mit Hilfe eines Roboterarms und aufgrund einer Patientenverlagerung eine besondere Herausforderung dar. Eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst die Echtzeitfähigkeit einer derartigen Funktion, beziehungsweise verursacht den resultierenden Schleppfehler bei der automatisierten Echtzeit-Instrumentennachführung (*EIF*). Wie in [1] gezeigt wurde, erweist sich das Poserauschen der Navigationskomponente in diesem Zusammenhang als Schlüsselfaktor, da bei verrauschten Posesollwerten eine konservative Reglerauslegung notwendig ist, um eine noch hinreichende stationäre Genauigkeit der *EIF* zu gewährleisten. Die begrenzte Abtastfrequenz typischer Navigationsgeräte erlaubt in der Regel keine verzögerungsfreie Signalglättung. Dies ist möglicherweise mit zukünftigen Gerätegenerationen oder alternativen Technologien möglich. Unabhängig davon ist es jedoch sinnvoll, die Ursache für das auftretende Poserauschen bei typischen Sensoren zu ermitteln und zu unterdrücken.

Methoden und Materialien

Im Falle einer Stereokamera mit CCD-Bildsensoren (NDI Polaris P4) kann das Pixelrauschen der CCD-Chips als Hauptursache für das Rauschen in der Lokalisation einzelner Marker und somit für das resultierende Rauschen in den mittels Umrechnung bestimmten Posen angenommen werden. Der Zusammenhang zwischen Markerlokalisationsfehler (**FLE**=*Fiducial Localization Error*) und dem zu erwartenden Registrierungsfehler der anwendungsrelevanten Bezugspose (**TRE**=*Target Registration Error*) wurde bereits in dem häufig zitierten Aufsatz [2] sowie in Folgearbeiten mathematisch hergeleitet. In [3] wurden hierauf basierend bereits verschiedene Referenzgebergeometrien miteinander verglichen. Allerdings wird in [3] bereits deutlich, daß der mit Hilfe des angewendeten Formalismus ermittelte *TRE* lediglich so gut bestimmt werden kann, wie der zugrundeliegende *FLE* der Einzelmarker bekannt ist. Zur Vereinfachung wurde der *FLE* als isotrop bzw. ortsunabhängig angenommen. Es ist jedoch bekannt, daß beim NDI Polaris oder bei Geräten ähnlichen Funktionsprinzips der *FLE* nicht isotrop ist, sondern insbesondere entlang der Raumtiefe im Messvolumen zunimmt. Aktuelle Arbeiten wie [4] beschäftigen sich mit der Erweiterung um einen anisotropen *FLE* und versprechen zukünftig

eine praktisch einsetzbare, quantitative Vorhersage des tatsächlichen *TRE*-Verhaltens zu ermöglichen. Um für das modiCAS-Assistenzsystem bereits quantitative Aussagen über geeignete Referenzgebergeometrien für die *EIF* zu erhalten, wurde gegenüber den zuvor beschriebenen, komplexen theoretischen Ansätzen ein vereinfachter, experimenteller Ansatz angewendet. Nach [2] kann angenommen werden, daß das Positionsrauschen des Koordinatensystems im geometrischen Zentrum der Markeranordnung im Wesentlichen von der Markeranzahl abhängig ist, während das Orientierungsrauschen desselben zusätzlich von der gewählten geometrischen Anordnung der Marker abhängt. Allein das Orientierungsrauschen im Referenzgeberkoordinatensystem hat aufgrund der Fortpflanzung von Koordinatentransformationen einen erheblichen Einfluß auf die Ruhelage des Roboterflansches bei eingeschalteter *EIF*. Daher ist es sinnvoll, insbesondere die geometrische Anordnung der Marker für verwendete Referenzgeber zu optimieren.

Im hier durchgeführten Experiment werden zunächst ausschließlich Referenzgeber mit jeweils 3 Markern untersucht. Um eine Vielzahl verschiedener Markerkombinationen zu ermitteln, welche die Konstruktionsvorschriften von NDI für *unique geometries* bei passiven Referenzgebern erfüllen, wurde für diese Arbeit ein Softwarewerkzeug entwickelt, welches jeden Konstruktionsvorschlag automatisch auf Regelkonformität überprüft. Mit Hilfe dieses Werkzeugs wurden circa 60 verschiedene Referenzgeber entworfen und auf einer hierfür entwickelten Universalmarkeraufnahme (siehe Abb. 1) aufgebaut.



Ausdehnung ca. 20cm x 21cm

Abb. 1: Mögliche Anordnung auf der Universalmarkeraufnahme, Beispiel: A1/B3/C2

Die montierten Referenzgeber wurden jeweils mit Hilfe

des 6-D-Architect von NDI vermessen und anschließend einer Rauschmessung unterzogen. Um eine statistische Relevanz der erzeugten Auswertung zu ermöglichen, wurden konstante Rahmenbedingungen geschaffen, die andere Rauscheinflüsse als die der Referenzgebergeometrie ausblenden. Diese Rahmenbedingungen umfassen konstante Temperatur- und Lichtverhältnisse für jede Messung, mindestens 3000 Einzelmessungen pro Rauschmessung, Platzierung der Referenzgeber immer im Messzentrum des Navigationsgeräts sowie Ausrichtung der Referenzgeberstirnfläche parallel zur Stirnfläche des Navigationsgeräts, so daß sich die Koordinatenachsen der jeweiligen Referenzkoordinatensysteme überdecken. Die genaue Ausrichtung wurde immer mit Hilfe des Roboterarms reproduziert.

Ergebnisse

Die Auswertung der zuvor beschriebenen Rauschmessungen zeigt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der jeweiligen Referenzgebergeometrie und dem resultierenden Positionsrauschen. Da für alle Referenzgeberkombinationen lediglich 3 Marker verwendet wurden, deckt sich diese Beobachtung mit jener Aussage in [2], daß das Positionsrauschen in der Nähe des Markerswerpunkts im Wesentlichen von der Markeranzahl abhängig ist. Hingegen zeigte das Orientierungsrauschen im Experiment eine erhebliche Abhängigkeit von der geometrischen Anordnung der drei Marker. Diese spannen grundsätzlich eine Fläche auf, die wiederum von drei Segmenten begrenzt wird. Die Summe aller Segmente ergibt den Umfang. Abb. 2 zeigt das Ergebnis der Rauschmessung. Die maximal gemessene Orientierungsabweichung (Eulerabstand) vom Erwartungswert (Ruhelage) ist graustufenkodiert in Grad gegenüber der zugehörigen Referenzgeberfläche und dem Umfang aufgetragen.

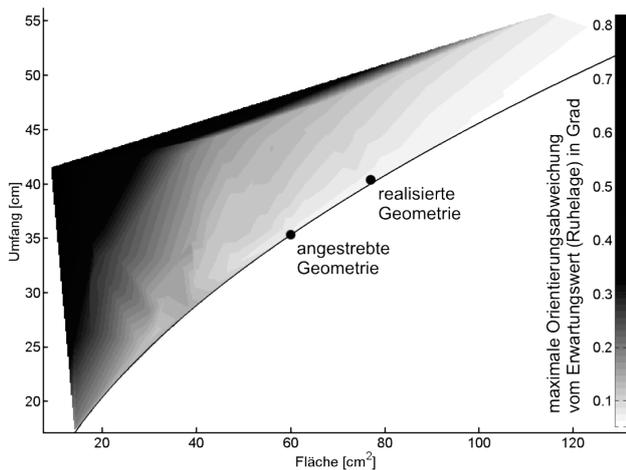


Abb. 2: Geometriebedingtes Orientierungsrauschen bei Referenzgebern mit 3 Markern im Kameramesszentrum

Aus Abb. 2 lassen sich drei wesentliche Aussagen ableiten:

1. Mit zunehmender Fläche nimmt die maximale

2. Rauschabweichung in der Orientierung stetig ab
2. Ein großes Verhältnis Umfang pro Fläche kann diesen positiven Effekt jedoch beeinträchtigen
3. Ab einer hinreichenden Fläche bewirkt eine weitere Vergrößerung des Referenzgebers im Messzentrum keine signifikante Verbesserung mehr.

Die beschriebenen Messergebnisse wurden anschließend verwendet, um einen Referenzgeber zu entwickeln, der für die automatische EIF den bestmöglichen Kompromiß zwischen räumlicher Ausdehnung und erzielbarer Rauschreduktion bietet. Entsprechend Abb. 2 wurde eine Geometrie mit $A = 60\text{cm}^2$ und $U = 35\text{cm}$ angestrebt. Aufgrund der Gestaltungsvorschriften von NDI musste der Konstruktionsvorschlag geringfügig angepasst werden ($A = 77,08\text{cm}^2$, $U = 40,11\text{cm}$). Eine anschließend durchgeführte Rauschmessung mit dem neu entwickelten Referenzgeber hat das zuvor beschriebene Experiment bestätigt und gezeigt, daß sich dieser sehr gut für die EIF eignet (siehe Markierung in Abb. 2).

Diskussion und Schlussfolgerung

Das hier beschriebene Messexperiment verzichtet auf die detaillierte Berücksichtigung der zitierten mathematischen Theorie, berücksichtigt jedoch deren Kernaussagen. Die so gewonnene Auswertung hat zur schnellen quantitativen Ermittlung einer geeigneten Referenzgebergeometrie für die mechatronische EIF geführt. Darüberhinaus können die hier durchgeführten Messungen möglicherweise dazu dienen, die Modellannahmen aus der zitierten Literatur zu überprüfen beziehungsweise zu stützen. Gegebenenfalls können diese dann in ein dynamisches Simulationsmodell einfließen, welches derzeit für die modiCAS-EIF entwickelt wird. Ziel dieses Modells ist die transparente, qualitative und quantitative Beschreibung aller für die Gesamtdynamik der EIF verantwortlichen Komponenten. Darüber hinaus wird derzeit experimentell ermittelt, inwiefern sich ein zu den bestehenden Markern nicht komplanarer vierter Marker positiv auf die Robustheit des Referenzgebers bei Verkipfung auswirkt.

Literatur

- [1] SCHNEIDER, H.-C. ; ADAM, A. ; WAHRBURG, J.: Einflüsse von Referenzgebergeometrien auf die erzielbare Dynamik der Echtzeitnachführung chirurgischer Assistenzroboter. In: *curac.08 Tagungsband*. Leipzig, 2008, S. 115–118
- [2] FITZPATRICK, J.-M. ; WEST, J.-B. ; C.-R. MAURER, Jr.: Predicting Error in Rigid-Body Point-Based Registration. In: *IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING* Bd. 17, 1998, S. 694–702
- [3] WEST, J.-B. ; C.-R. MAURER, Jr.: Designing Optically Tracked Instruments for Image-Guided Surgery. In: *IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING* Bd. 23, 2004, S. 533–545
- [4] WILES, A.-D. ; LIKHOLYOT, A. ; FRANTZ, D.-D. ; PETERS., T.-M.: A Statistical Model for Point-Based Target Registration Error With Anisotropic Fiducial Localizer Error. In: *IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING* Bd. 27, 2008, S. 378–390