

INTRAOPERATIVE REGISTRIERUNG MIT DEM AWIGS-SYSTEM

H. Knoop¹, J. Raczowsky¹, U. Wyslucha², H. Wörn¹

¹Universität Karlsruhe (TH), Institut für Prozessrechentchnik, Automation und Robotik (IPR),
Karlsruhe, Deutschland

²MAQUET GmbH & Co. KG, Rastatt, Deutschland
E-mail: hknoop@ira.uka.de

SUMMARY: The setup of an intraoperative Computer Tomograph (CT) in the Advanced Workplace for Image Guided Surgery (AWIGS) system of MAQUET requires a registration step to the patient's coordinate system when moved back out of the tomograph for intervention. Most often, additional navigation systems are used. This hardware requires a supporting technical expert and leads to increasing operational costs that are often not justified by the add-on of the navigation. Our current research project aims to aid the surgeon in registration of the image data volume and the intraoperative situs by using the AWIGS System, thus reducing costs and time.

EINLEITUNG

AWIGS ist die Kombination eines Operationstisches, der auf zwei fahrbaren Säulen mit je drei Freiheitsgraden ausgerichtet werden kann, einem röntgenstrahlendurchlässigen Transferboard und einem CT. Der Tisch wird auf Schienen im Boden des Operationssaales zum CT bewegt. Bei der Nutzung von intraoperativer Bildgebung ist eine schnelle Registrierung des Bilddatensatzes auf das Koordinatensystem des Patienten erforderlich, wenn dieser zurück in die Operationsposition bewegt wird. Ziel des Projektes ist die Untersuchung von Möglichkeiten zur automatischen, transferboardgestützten Registrierung des Bilddatenvolumens mit diesem System. Die geforderte Registrierung soll:

- 1.) nicht auf ein Navigationssystem beschränkt sein,
- 2.) eine einfache Benutzung ermöglichen und
- 3.) die Transformation schnell zur Verfügung stellen.

Abbildung 1: Prototyp des Scan Reference Frame (SRF)

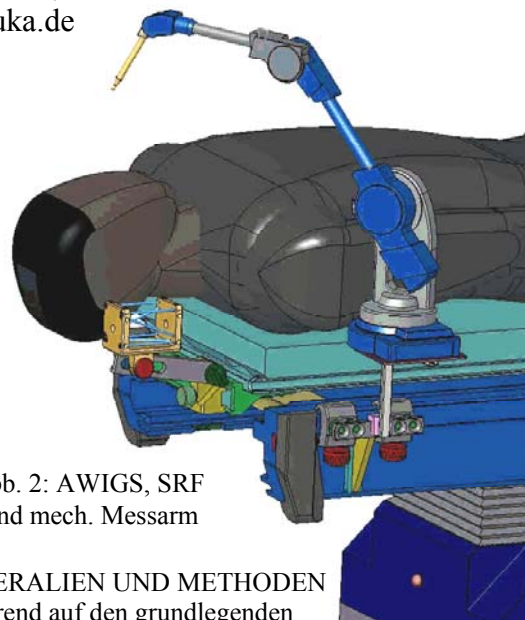
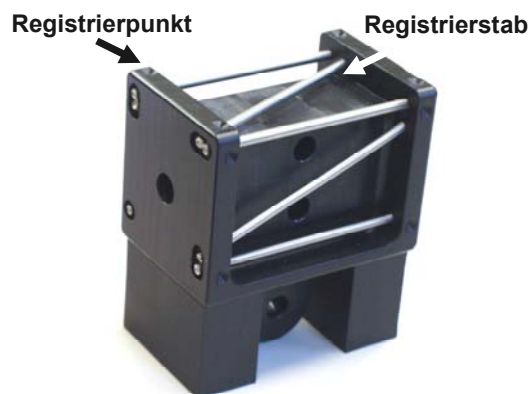


Abb. 2: AWIGS, SRF
und mech. Messarm

MATERIALIEN UND METHODEN

Basierend auf den grundlegenden Untersuchungen von Brown [1] zu stereotaktischen Rahmen wurde ein Registrierkörper-Prototyp (Scan Reference Frame, SRF) aus POM-Kunststoff entworfen. Nach Tests unterschiedlicher Materialien in verschiedenen Stärken wurden Registrierstäbe (Abb. 1) aus Titan mit einem Durchmesser von 4 mm eingesetzt. Zur Befestigung wird eine Halterung am Transferboard benutzt, die sowohl zu unserem Registrierkörper, als auch zu den verschiedenen Referenzrahmen der Navigationssysteme kompatibel ist. Den beispielhaften Aufbau des Systems zeigt Abb. 2. Ein Prototyp wurde für die Verwendung in der Kopfchirurgie entwickelt, wobei der Patient während der Aufnahme- und Registrierphase mittels Vakuumkissen und zusätzlich dental fixiert wird. Die Daten werden im DICOM-Format verarbeitet. Der Registrierungsalgorithmus sucht nach den Durchstoßpunkten in den segmentierten Bildschichten über Nachbarschaftsbeziehungen und anschließende Geradenapproximation die Orts- und Richtungsvektoren der Registrierstäbe und bestimmt darüber die Position und Orientierung der Bilddaten. Die Transformation wird in Form einer 4x4-Matrix berechnet [2], wobei der SRF als Ursprung des Koordinatensystems dient. Durch Benutzung mehrerer Schichten wird eine Fehlerminimierung über die gefundenen Punkte im Einzelbild ermöglicht. Zur Demonstration kommt als Positioniergerät ein am Operationstisch befestigter mechanischer Messarm zum Einsatz, der ebenfalls relativ zum SRF registriert wird. Die Registrierpunkte (Abb.1) werden mit einer austauschbaren Registrierspitze abgetastet.

Tab. 1 zeigt die Protokollparameter für den verwendeten Computertomographen vom Typ Siemens Somatom Sensation 16.

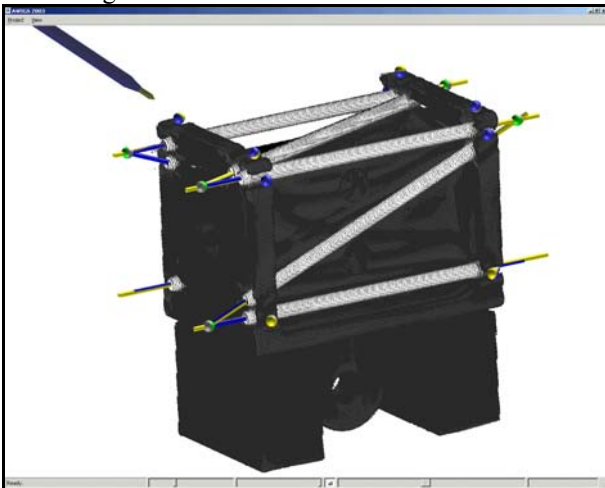
Tabelle 1: Scanprotokoll Prototyp

Parameter	Wert
Schichtdicke	1.0 mm
Pixelabstand x und y	0.253906 mm
Schichtabstand	0.7 mm
Schichten	200

ERGEBNISSE

Mit den gewonnenen Transformationen können der intraoperative Bilddatensatz sowie die Position und Orientierung der Spitze des mechanischen Messarmes in einem gemeinsamen Koordinatensystem einer Beispielapplikation (Abb. 3) dargestellt werden.

Abbildung 3: Bilddatensatz des SRF und Messarm



Bei der Auswertung und Verbesserung wurde zunächst an der Minimierung des Registrierfehlers (Tab. 2) gearbeitet. Der ebenfalls berechnete Fehler am Zielpunkt ist von der jeweiligen Applikation und der Distanz des Zielpunktes zur SRF-Position abhängig. Die flexible Befestigung am Transferboard gewährleistet eine Positionierung innerhalb der Scan-ROI.

Tabelle 2: Fehlerbestimmung Prototyp

Art des Fehlers	Fehler [mm]
Fiducial Registration Error (FRE)*	0.11067
Fiducial Registration Error (FRE)	0.56871
Fiducial Registration Error (FRE)* Mechanischer Messarm	0.67791
Fiducial Registration Error (FRE) Mechanischer Messarm	0.72266

Die dargestellten Werte (s.a [3]). wurden unter Verwendung der CAD-Spezifikation berechnet, bei den mit * gekennzeichneten Werten wurden individuelle Messdaten von Zylinder- und Kugel-Approximationen einer 3D-Messmaschine Micro MS454 der Fa. Braun & Sharp benutzt.

Die angegebenen Fehlerwerte bei der Bilddatenregistrierung entstanden bei geeigneter Auswahl eines Teilvolumens des Datensatzes mit einer Rechenzeit von etwa 4 Sek. inkl. Transformation der Bilddaten. Die Auswahl eines Volumens mit Bildern in den Randbereichen des SRF führt zu größeren Fehlern. Durch die Auswahl aller Schichten des Datensatzes lässt sich bei gleichzeitiger Verlängerung der Rechenzeit des Registrieralgorithmus auf etwa 24 Sek. eine Verbesserung auf bis zu 0.10024 mm FRE erreichen. Die automatische Auswahl geeigneter Teilvolumina zur Genauigkeits- und Geschwindigkeitsverbesserung ist Gegenstand aktueller Untersuchungen.

DISKUSSION

Der mechanische Messarm dient im gezeigten Prototypen zur Demonstration. Eine Weitergabe der 4x4-Transformationsmatrizen an ein externes Navigationssystem ist vorbereitet. Die sehr zufriedenstellende Bildqualität bei der Tomographie des Prototypen muss noch unter den realen Bedingungen der intraoperativen Bildgebung evaluiert werden.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der entwickelte Prototyp zeigt Möglichkeiten zur schnellen, unkomplizierten und universellen Nutzung der intraoperativen Registrierung auf Basis des AWIGS-Transferboards auf.

DANKSAGUNG

Bei medizinischen und insbesondere intraoperativen Fragestellungen wurde das Projekt durch die Neurochirurgische Abteilung des Universitätsklinikums Innsbruck (Österreich) unterstützt.

LITERATURHINWEISE

- [1] Brown R. A. A Stereotactic Head Frame for Use with CT Body Scanners in Investigative Radiology, Vol. 14, No. 1, 1979, S. 300-304
- [2] Horn B. K. P. Closed-form Solution of Absolute Orientation using Orthogonal Matrices in Journal of the Optical Society of America, Vol. 5, No. 7, 1998, S. 1127-1135
- [3] Fitzpatrick J. M., West J. B. The Distribution of Target Registration Error in Rigid-Body Point-Based Registration in IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol. 20, No. 9, 2001, S. 694-702