

# 3D-NaMiS, ein Navigationssystem für den minimal invasiven Eingriff

Matthias Aleff<sup>1</sup>, Adrian Krzizok<sup>1</sup>, Werner Neddermeyer<sup>1,2</sup>,  
Rainer M. M. Seibel<sup>1,3</sup> und Wolfgang Winkler<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> TecMedic GmbH, Gelsenkirchen

<sup>2</sup> Fachhochschule Gelsenkirchen, Fachbereich Informatik

<sup>3</sup> Universität Witten/Herdecke,

Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie

Email: Matthias.Aleff@informatik.fh-gelsenkirchen.de

**Zusammenfassung.** Das Navigationssystem 3D-NaMiS ist eine Entwicklung für minimal invasive Eingriffe wie beispielsweise die periradikuläre Therapie (PRT). Präoperativ wird der Patient in einer Modalität untersucht und gleichzeitig wird die Hautoberfläche von einem Multi-kamerasystem observiert. Der eigentliche Eingriff kann anschließend in einer normalen Operationsumgebung erfolgen. Dabei sind oberhalb des Operationstisches Kameras befestigt, die wiederum die Hautoberfläche des Patienten und das Operationsinstrument beobachten. Aus den 3D-Informationen der Modalität und den Oberflächendaten aus der Operationsumgebung wird die relative Lage des Patienten zu den Schichtbildern der Modalität berechnet. Mittels eines Visualisierungssystems wird dem Mediziner die aktuelle Lage seines Instruments in dem Volumenmodell der Modalität dargestellt.

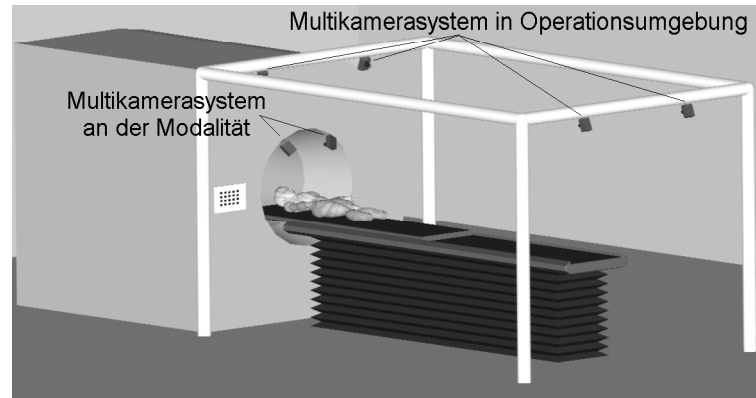
## 1 Einleitung

Eingriffe in den menschlichen Körper werden immer öfter minimal invasiv durchgeführt. Dabei sind die neuen Operationsmethoden erst durch den Fortschritt in den bildgebenden Verfahren, wie MRI (Magnetresonanz Imaging) und CT (Computertomographie), sowie den immer schneller werdenden Computern, möglich geworden.

Ein Arzt muss während eines minimal invasiven Eingriffs die Lage seines Instruments im Körper des Patienten kennen. Deshalb werden diverse Eingriffe, wie beispielsweise die Periradikuläre Therapie (PRT), sichtbar in einem CT durchgeführt, d. h. der Mediziner erkennt in einem Visualisierungssystem sein Instrument live in den Schichtbildern. Ein Nachteil bei diesem Verfahren ist die Belastung für Patient und Arzt mit Röntgenstrahlung. Bei dem in der Entwicklung befindlichen Navigationssystem 3D-NaMiS (3D-Navigationssystem for Minimal Invasive Surgery) wird der eigentliche Eingriff außerhalb einer Modalität (MRI, CT) durchgeführt.

Eine Problemstellung bei der Entwicklung eines Navigationssystem ist die Berechnung und Darstellung des Zusammenhangs zwischen den virtuellen 3D-Daten aus der Modalität und dem realen Patienten in der Operationsumgebung.

**Abb. 1.** Aufbau des Navigationssystems mit der Operationsumgebung an der Modalität



## 2 Stand der Forschung

Die meisten Navigationssysteme arbeiten mit festen Merkmalen zur Positionsbestimmung bzw. Registrierung, wobei die Merkmale starr mit den Knochen des Patienten verbunden sind. Die Position der Merkmale wird direkt aus den dreidimensionalen Aufnahmen der Modalität bestimmt.

Bei anderen Systemen wird der Zusammenhang mit den virtuellen Daten aus der Modalität und der realen Operationsumgebung durch die Fixierung von Körperteilen gewährleistet [1]. Hier erfolgt die Visualisierung der 3D-Volumen-Daten mit einem oder mehreren Operationsinstrumenten meist über Grafikworkstations.

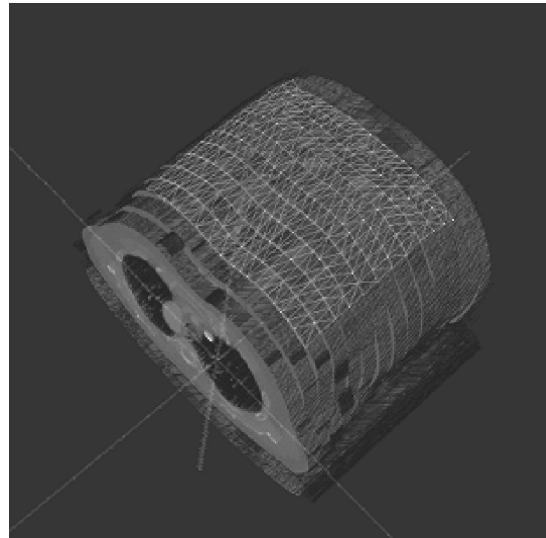
## 3 Methoden

Das Ziel der Entwicklung des Navigationssystems 3D-NaMiS ist, die Belastungen für den Patienten und den Arzt so gering wie möglich zu halten. Somit wurde ein neuer Ansatz für die Bestimmung der Lage des Patienten in der Operationsumgebung gewählt. Die Lagebestimmung des Patienten erfolgt hier über die Hautoberfläche.

Bei einer Voruntersuchung werden zeitgleich mit der Erstellung der Schichtbilder in einer Modalität Oberflächeninformationen der Haut bestimmt. Hierzu ist an der Modalität ein Multikamerasystem befestigt (Abb. 1). Dieses System besteht aus vier CMOS-Kameras, deren optische Achse in die Modalität zeigt. Durch eine Kalibrierung ist die Lage der Kameras im Koordinatensystem der Modalität bekannt.

Vor der Untersuchung in der Modalität bekommt der Patient ein Pflaster in der Umgebung der zu operierenden Stelle aufgeklebt. Auf diesem Pflaster befinden sich Merkmale, die eindeutig in den Bildern der Kameras erkennbar sind.

**Abb. 2.** Berechnete Oberfläche im DICOM-Volumenbild



Während der Untersuchung werden Bilder von der Hautoberfläche des Patienten zu jedem 3D-Datensatz abgespeichert.

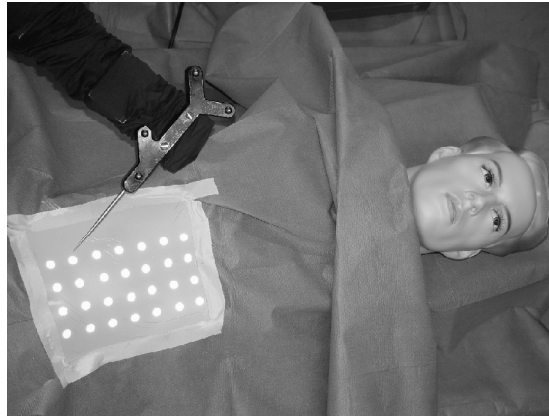
Nach der Untersuchung werden die Bildinformationen und der 3D-Datensatz ausgewertet. Aus den Bildinformationen der Kameras werden die Merkmale vom Pflaster gesucht. Die Umrechnung der Merkmale aus dem 2D-Raum in den 3D-Raum erfolgt mit Hilfe der internen und externen Kameraparameter aus dem Lochkameramodell.

Anschließend wird die Hautoberfläche aus dem 3D-Datensatz der Modalität über eine Segmentierung bestimmt (Abb. 2)[2]. Die Position der Merkmale des Pflasters in Bezug auf die segmentierte Hautoberfläche ist nun bekannt.

Die Operation kann in einem normalen Operationssaal stattfinden. Über dem Operationsfeld ist ebenfalls ein Multikamerasystem mit vier Kameras befestigt. Die optischen Achsen der Kameras sind auf das Operationsfeld ausgerichtet. Mit einer Kalibrierplatte werden die Kameras kalibriert, so dass der Bezug ihrer Koordinatensysteme untereinander bekannt ist.

Während der Operation (Abb. 3) wird das Pflaster mit den Merkmalen von dem Multikamerasystem betrachtet. Zusätzlich zu den Markern ist das Operationsinstrument (z. B. Spritze in Navigationshalterung) in den Kamerabildern zu erkennen. Nach der Trennung der unterschiedlichen Merkmale in den Kamerabildern wird die 3D-Position der Merkmale auf dem Körper des Patienten berechnet. Mit den 3D-Positionen der Merkmale aus der Modalität und auf dem Operationstisch wird die Lage des Patienten im Raum über ein so genanntes Fix-Matching [3] bestimmt.

Da sich die Haut verschieben kann und nicht die gleiche Lage wie während der Voruntersuchung haben muss, wird die Lage des Patienten noch einmal genauer berechnet. Da zu werden die zuvor berechneten Werte als Startwerte für

**Abb. 3.** Operation in einer Simulationsumgebung

einen ICP-Algorithmus (Iterativ Closest Point)[4] herangezogen. Die segmentierte Oberfläche wird mit den Positionen der Merkmale auf der Haut gematcht und so eine genaue Lage des Patienten ermittelt[5]. Sowohl die berechnete Lage des Patienten als auch die Lage des Instrumentes werden an ein Visualisierungssystem übermittelt.

Auf dem Monitor des Visualisierungssystems wird das Instrument relativ zu den DICOM-Bildern aus der Modalität, die über eine RIS-Anbindung direkt in den Speicher der Grafikkarte geladen werden, dargestellt.

Die DICOM-Daten sind dabei nicht segmentiert. Der operierende Mediziner kann die Darstellung, ähnlich wie bei PAC-Systemen, in der 3D-Umgebung fenstern oder skalieren (zoomen). Die Bedienung des Systems erfolgt hierbei über Taster, die sich in dem Instrument befinden.

## 4 Ergebnisse

Untersuchungen wurden derzeit nur an einigen Phantomen durchgeführt. Dabei liegen die Genauigkeiten in den folgenden Bereichen:

- Optisches 3D-Multikamerasystem:  $< 0.20$  mm
- Fix-Matching:  $< 0.25$  mm
- Oberflächenmatching (Schichtdicke 0.5 mm):  $< 1$  mm

Die Verifizierung der Genauigkeit erfolgte mit einem Lasertracker (Genauigkeit ca. 0.01 mm) der Fa. Leica-Geosystems.

Die Geschwindigkeit des gesamten Systems liegt im Bereich von 10 Bildern pro Sekunde. Eine Latenzzeit zwischen einer Aktion, beispielsweise mit dem Instrument in der Operationsumgebung und der Reaktion in der Darstellung, ist nicht feststellbar.

## 5 Diskussion

Durch das Oberflächenmatching ist es möglich, minimal invasive Operationen durchzuführen und die Belastung des Arztes und des Patienten zu verringern. Das System kann an einem MRT sowie an einem CT betrieben werden.

Die Merkmale auf dem Körper des Patienten sind nur durch ein Pflaster befestigt, welches nach der Operation ohne weiteren Aufwand wieder entfernt werden kann. Bei anderen Matchingverfahren müssen den Patienten vor der Operation Marker an den Knochen befestigt werden. Dieses stellt eine zusätzliche Belastung des Patienten dar.

Das Matchen der 3D-Informationen aus der Modalität und der Daten des Multikamerasystems erfolgt nahezu in Echtzeit, obwohl der zeitintensive ICP-Algorithmus eingesetzt wird. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Rechenzeit für den ICP-Algorithmus durch die Berechnung der Startwerte von dem Fixmatching über die Merkmale auf dem Pflaster innerhalb und außerhalb der Modalität verringert wird, so dass nur wenige Iterationen notwendig sind.

Die Darstellung der DICOM-Daten in dem Visualisierungssystem als 3D-Bild ist ideal für einen Mediziner, da er gelernt hat, Schichtbilder zu deuten. Erste Gespräche mit Radiologen haben gezeigt, dass sie mit dieser Technik besser umgehen können, als mit segmentierten 3D-Darstellungen. Des weiteren ist diese Art der Darstellung mit jeder modernen Grafikkarte (ab Nvidia GeForce 4), die für den Consumer-Bereich hergestellt wurde, möglich.

Derzeit ist die Navigation nur im 3D-Raum möglich. Das System wird in naher Zukunft auf die 4. Dimension, die Zeit, erweitert, so dass minimal invasive Operationen auch im Torax-Bereich durchgeführt werden können.

## Literaturverzeichnis

1. Gebhard F, Kinzl L, Arand M. Computerassistierte Chirurgie. Unfallchirurg 2000;.
2. Krzizok A, Neddermeyer W, Winkler W, Aleff M, Seibel RMM. Registrierung von Oberflächeninformationen in medizinischen Schichtaufnahmen zur Bestimmung der aktuellen 3D-Körperlage. Biomed Tech (Berl) 2004;49:180–181.
3. Horn BKP. closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions. J Opt Soc Am A 1987;4(4):629–642.
4. Besl PJ, McKay ND. A Method for Registration of 3-D Shapes. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence 1992;14(2).
5. Aleff M, Neddermeyer W, Winkler W, Krzizok A, Seibel RMM. Lagebestimmung eines Patienten für den minimal invasiven Eingriff. Biomed Tech (Berl) 2004;49:62–63.