

## **Evaluierung einer intraoperativen Qualitätssicherung durch Lasertriangulation bei robotergestützten Fräsprozessen**

### **Evaluation of an Intraoperative Laser Triangulation Quality Assurance in Robot Assisted Surgery**

Dirk Malthan<sup>1</sup>, Jan Stallkamp<sup>1</sup>, Florian Dammann<sup>2</sup>, Erwin Schwaderer<sup>2</sup>, Marcus M. Maassen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

<sup>2</sup>Department of Diagnostic Radiology, University Hospital of Tübingen

<sup>3</sup>Department of Otolaryngology-Head & Neck Surgery, University of Tübingen

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im SPP 1124 „Medizinische Navigation und Robotik“ (DFG Nr. MA 1458/2)

#### **Einführung und Problemstellung**

Von der computergestützten Operationsplanung und der roboterassistierten Operationsdurchführung wird in Zukunft eine entscheidende Steigerung der Genauigkeit und der Operationsgeschwindigkeit bei der Implantation aktiver elektronischer Hörimplantate erwartet [1,2].

Für die Qualität des Eingriffs ist dabei von entscheidender Bedeutung, wie exakt die Umsetzung der präoperativen CT-basierten Planungsschritte in den realen Fräsprozess durchgeführt werden kann. Begrenzende Faktoren für die Präzision des Eingriffs sind Fehlereinflüsse durch die Registrierung (Target Registration Error, TRE), Abweichungen der Instrumentengeometrie sowie parametervariante Abtragungseigenschaften des Frässystems [3].

Derzeit kann eine geometrische Kontrolle des erfolgten Fräsprozesses nur im Anschluss an den Eingriff durchgeführt werden [4]. Im Gegensatz dazu würde eine Online-Überwachung der geplanten und realisierten Geometrie des Operationsgebiets während des Fräsvorgangs eine intraoperative Qualitätssicherung erlauben. Dadurch könnte bereits während des Eingriffs Fehlereinflüsse kompensiert, die Präzision gesteigert und die Sicherheit der Operation erhöht werden.

## Material und Methoden

Im Rahmen der Entwicklung eines prototypischen Systems für die robotergestützte Mikrochirurgie an der lateralen Schädelbasis wurde ein Hochgeschwindigkeits-Fräskopf mit einem Laserabstandssensor gekoppelt.

Im Zusammenspiel mit der Roboterkinematik wurde damit ein Laserscanner realisiert, der die Situs-Geometrie intraoperativ während des Fräsvorgangs aufnehmen kann. Das entwickelte Navigations- und Steuerungssystem erlaubt die Berechnung und Visualisierung des Fehlers zwischen der erfassten realen Oberflächengeometrie und der präoperativ simulierten Geometrie des zu fräsenden Implantatlagers.

Zur Bestimmung der Präzision des Laserscanners wurde zunächst ein CAD-gefertigter Prüfkörper mit bekannten Abmessungen vermessen. Die Evaluierung des intraoperativen Qualitätssicherungssystems erfolgte anschließend mit einem Stereolithographie-Modell der lateralen Schädelbasis auf Basis eines segmentierten CT-Datensatzes, wodurch ein anatomisch korrektes, jedoch geometrisch exakt definiertes Evaluationsmodell zur Verfügung stand. Nach der Durchführung der Planungsschritte wurde das Modell über eingebrachte Referenzmarker registriert und der Fräsprozess gestartet. Dabei wurde der Fehler zwischen der simulierten und der real gefrästen Oberfläche vor, zu verschiedenen Zeitpunkten während und nach dem Eingriff visualisiert und in Falschfarben dargestellt.

## Ergebnisse

Es konnte gezeigt werden, dass der Laserscanner die Oberflächengeometrie eines Prüfkörpers mit einer Präzision von  $20\mu\text{m}$  in allen Raumrichtungen aufnehmen kann. Durch die Fehlereinflüsse von Blut, Spülflüssigkeiten und Materialabtrag wurden die Messwerte lokal um bis zu  $0.6\text{mm}$  verfälscht.

Dennoch kann die Qualitätssicherung dem Operateur durch die Visualisierung und die Falschfarbendarstellung wesentliche Informationen über den Fräsvorgang zur Verfügung stellen. Insbesondere findet eine intraoperative Überprüfung des TRE statt, sodass auch die tatsächliche Genauigkeit der Registrierung der Zielstrukturen quantitativ erfasst werden kann.

Durch die Vermessung der realen Oberfläche des Patienten kann das Verfahren alternativ dazu eingesetzt werden, eine Feinregistrierung durch Iterative Closest-Points-Algorithm (ICP) [5] oder ähnliche Verfahren zu realisieren.

Der Vortrag beschreibt die verwendeten Algorithmen und diskutiert die Zuverlässigkeit und die erreichbare Präzision des beschriebenen Verfahrens. Hierbei werden mögliche Einsatzgebiete und Grenzen aufgezeigt.

## Referenzen

- [1] Maassen M.M., Dammann F., Malthan D., Stallkamp J., Schwaderer E., Zenner H.P.: Development of a robot prototype with sensory feedback. 3rd Symposium of Middle Ear Mechanics in Research and Otology. Matsuyama, Ehime, Japan, 9th-12th July, 2003.
- [2] Dammann F., Schwaderer E., Seemann M.: Einsatz von Methoden der 3D-Visualisierung im Kopf-Hals-Bereich. Fortschr Röntgenstr 2003; 175: 86.
- [3] Maassen M.M., Dammann F., Malthan D., Stallkamp J., Schwaderer E., Zenner H.P.: Erhöhung der Präzision von computer- und roboterassistierten Operationen an der lateralen Schädelbasis durch sensorische Rückkopplung. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Hals-, Nasen-, Ohrenkrankheiten, Kopf- und Halschirurgie. Dresden, 28. Mai bis 1. Juni 2003.
- [4] Malthan D., Stallkamp J., Wössner S., Dammann F., Zenner H.P., Maassen M.M.: Lasertriangulationsgesteuerte Sensorik und miniaturisierte Roboterkinematik können Implantationen an der lateralen Schädelbasis verbessern, 5. Oktober 2002, Leipzig, II Jahrestagung der Sektion Neuroendoskopie, Neuronavigation und intraoperative Bildgebung der Deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie.
- [5] Schlaier, J., Warnat, J., Brawanski, A., Registration accuracy and practicability of laser-directed surface matching, Comput. Aided Surg. (2002) 284- 290
- [6] Fitzpatrick, J.M., West, J.B., Maurer, C.R., Jr., Predicting error in rigid-body point-based registration, IEEE Trans. Med. Imaging (1998) 694- 702