

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



**„Sichtbarkeitsanalyse zur Konstruktion optischer  
Lokalisatoren für die klinische Navigation“**

Weichen Liu, Andreas Rose, Jörg Krüger, Erwin Keeve  
Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK), Berlin,  
Deutschland  
E-Mail: Keeve@charite.de

Erwin Keeve  
Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie – Klinische Navigation und Robotik, Charité,  
Berlin, 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: 61-62

# Sichtbarkeitsanalyse zur Konstruktion optischer Lokalisatoren für die klinische Navigation

Weichen Liu<sup>1</sup>, Andreas Rose<sup>1</sup>, Jörg Krüger<sup>1</sup> und Erwin Keeve<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik - IPK, Berlin, Deutschland

<sup>2</sup>Charité Universitätsmedizin Berlin, Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie Klinische Navigation und Robotik, Berlin, Deutschland

Kontakt: [Keeve@charite.de](mailto:Keeve@charite.de)

## Einleitung

Mit Hilfe von optischen Positionsmesssystemen kann die Lage und Orientierung von Instrumenten, z. B. eines Bohrers oder eines Fräsers, während der Operation gemessen und überwacht werden. Diese Messinformation kann zusammen mit den präoperativ aufgenommenen Patientendaten, z. B. einer CT-Aufnahme, als Orientierungshilfe für intraoperative Eingriffe genutzt werden. Hierfür muss das Instrument mit einem Lokalisator, bestehend aus eindeutig geometrisch angeordneten Reflektoren, ausgestattet sein. Allgemein gilt ein hinreichender Sichtbarkeitsbereich des Lokalisators als notwendig für klinische Anwendungen. Diese Anforderung erfordert einen funktional optimierten Konstruktionsprozess.

Bei der Konstruktion bisheriger Lokalisatoren wurde lediglich die Designrichtlinie bezüglich der „Unique Geometry“ [1] von Kamerahersteller als der Hauptkriterium beachtet. Die geometrische Anordnung der Reflektoren wurde empirisch durch Experimente [2] vorgeschlagen. Eine theoretische Untersuchung bzw. Optimierung wurde nicht durchgeführt. Dadurch treten unerwartete Verdeckungen durch Eigenkörpergeometrie auf, die den Sichtbarkeitsbereich verringern.

Ziel dieses Beitrags ist die geeignete Modellierung und Simulation des Sichtbarkeitsbereichs von Lokalisatoren zur Analyse der Eigenschaften und dadurch ihre Vor- und Nachteile. Vor der Fertigung eines Labormusters, soll somit der Sichtbarkeitsbereich eines Lokalisators bestimmt, verglichen und optimiert werden.

## Ansatz und Realisierung

### Ansatz

Der Sichtbarkeitsbereich eines optischen Lokalisators mit der dazugehörigen Eigenverdeckung sollte mit Hilfe einer auf Ray-Tracing basierenden numerischen Simulation untersucht werden. Aus dem Ergebnis der Untersuchung wird die Konstruktion bezüglich der Sichtbarkeits-eigenschaften optimiert.

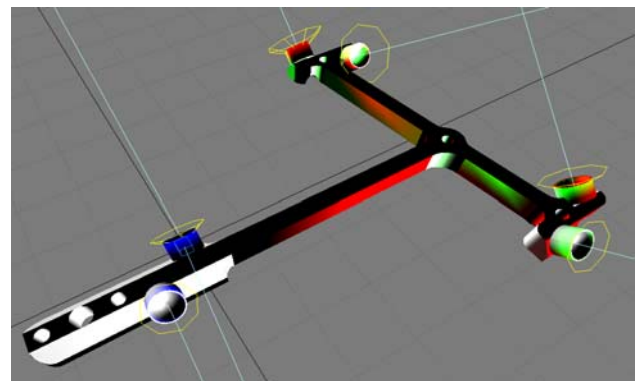
### Realisierung

*Positionsmesssystem:* Das stereoskopische Kamerasystem Polaris® Accedo™ von Northern Digital Incorporation (NDI) wird verwendet. Es besitzt einen zylinderförmigen Arbeitsraum, und arbeitet nur mit passiven Lokali-

satoren. Die Messgenauigkeit liegt bei 0,35 mm (RMS) [3].

*Reflektor:* Die 5 mm Glaskugel-Reflektoren des BZMM [4, 5] werden aufgrund ihrer Autoklavierbarkeit und hohen Genauigkeit verwendet. Sie haben einen kegelförmigen Sichtbarkeitsbereich, dessen Öffnungswinkel bei 120° liegt.

*Modellierung:* Bei der Simulation wird der Sichtbarkeitsbereich eines einzelnen Reflektors als ein kegelförmiger, monochromatischer Strahler modelliert (Abb. 1). Da ein Lokalisator aus mindestens drei Reflektoren bestehen muss, werden sie als rote, grüne und blaue Lichtquelle modelliert. Dadurch bekommt die Schnittmenge der gesamten Sichtbarkeit eine weiße Farbe. Die verdeckten Bereiche dagegen werden durch die unvollständige Kreuzung der drei Lichtquelle farbig beleuchtet. Durch die Farbcodierung lassen sich die verdeckten Reflektoren eindeutig bestimmen.



**Abb. 1:** Modellierung der Reflektoren als kegelförmige, monochromatische Strahler in roter, grüner bzw. blauer Farbe.

*Simulation:* Ray-Tracing [6] ist ein Standard-Verfahren zur Verdeckungsberechnung, also zur Ermittlung der Sichtbarkeit von Objekten ab dem Augpunkt. Hierin wird die stereoskopische Kamera als der „Augpunkt“ modelliert, der auf einer Kugeloberfläche relativ zum Lokalisator freibeweglich ist. Die Kugeloberfläche wird als eine Art Leinwand modelliert, auf die die Strahler projizieren. Die Sichtbarkeit des Lokalisators wird auf dieser Leinwand in einem Winkel von 180° x 180° dargestellt.

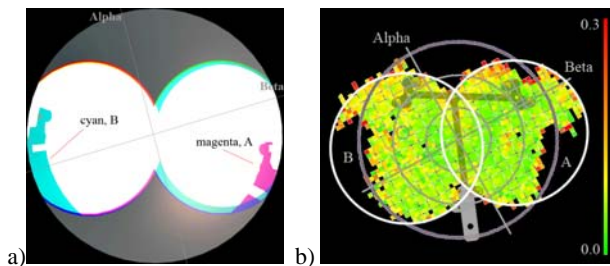
Die Verdeckung wird durch eine numerische Implementierung des Ray-Tracing-Verfahrens (3ds Max 9, Autodesk Incorporation) simuliert. Für die Raytrace-Beschleunigung (Voxelgitter [7]) wurden folgende Parameter verwendet (Tab. 1). Eine kleine Gittergröße bzw. feine Auflösung ist notwendig für eine detaillierte Sichtbarkeitsanalyse, dabei wird aber längere Rechenzeit verursacht. In Praxis reicht eine grobe Simulation, um die verdeckte Bereiche herauszufinden.

**Tab. 1:** Parameter für Ray-Tracing

Gruppe	Parameter	Wert
Beschleunigung	Methode	Voxelgitter
	Gittergröße	128
	Auflösung	5

## Experiment

Die oben beschriebene Methode wurde bei der Konstruktion eines kompakten Lokalisators (Abb. 1) für Schädelknochen-Tumor-Resektion eingesetzt. Der Lokalisator besitzt zwei „Unique Geometry“ [1] und ist theoretisch 180° sichtbar in der Wenderichtung. Nach der Optimierung und Konstruktion wurde die Methode mit der experimentell ermittelten tatsächliche Sichtbarkeit (Darstellung durch RMS-Diagramm [8]) verglichen.



**Abb. 2:** Einsatz bei der Konstruktion eines Lokalisators für Tumor-Resektion. a): Simulierte Sichtbarkeit. Weiße Bereiche sind sichtbar. b): Gemessene Sichtbarkeit (RMS-Diagramm). Grüne Bereiche sind gut sichtbar, rote Bereiche stellen den Schwellenwert von 0,3 (RMS) dar. Ab einem Wert von 0,3 wird der Winkelbereich ( $4^\circ \times 4^\circ$ ) als nicht sichtbar angenommen und nichts angezeigt.

## Ergebnisse

Das Ergebnis der Analyse zeigt eine gute Annäherung an die experimentellen Daten. Die verdeckten Bereiche A und B werden durch Magenta- bzw. Cyanfarbe in Abb. 2a klar und detailliert dargestellt. Diese Bereiche sind im RMS-Diagramm in Abb. 2b durch ihre unterschiedliche Geometrie eindeutig wiederzufinden.

Die vorgestellte Analyseverfahren stellt einen relativ einfachen Weg dar, der die Verdeckung der Eigengeometrie bei der Konstruktion eines neuen passiven/aktiven Lokalisators vorherzusagen und den Lokalisator dementsprechend zu optimieren.

## Diskussion

Eine auf Ray-Tracing basierende Sichtbarkeitsanalyse wurde in den Konstruktionsprozess eines passiven/aktiven optischen Lokalisators integriert. Die Analyse wurde bezüglich der Eigenverdeckung mit der experimentell ermittelten tatsächlichen Sichtbarkeit verglichen.

Die in dieser Arbeit beschriebene Methode ist relativ schnell und intuitiv durchzuführen, sie ist aber nur für 3-Marker-Lokalisator geeignet. Eine allgemeine Methode für n-Marker mit beliebigen Unique-Geometrie wird in der Zukunft ausgearbeitet.

Neben der Verdeckung der Eigengeometrie spielt die gegenseitige Beeinträchtigung der Reflektoren bei der Sichtbarkeitsverringern eine Rolle. Dabei kann die Kamera die Reflektoren durch ihre Überlappung nicht mehr unterscheiden. Dies ist bei großen Reflektoren (einen Durchmesser von 5mm) von besonderer Bedeutung. In der Zukunft sollte auch dies ermittelt werden, um eine präzise Vorhersage zu ermöglichen.

## Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des BMBF-geförderten Fraunhofer-Carnot-Projektes am Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK), Bereich Medizintechnik in Kooperation mit Charité – Universitätsmedizin Berlin, Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie – Klinische Navigation und Robotik bearbeitet.

## Literatur

- [1] NDI: *Unique Geometry Specifications for Polaris System Tools* Technisches Merkblatt Juli 2003 (TB-0004 REVISION 009).
- [2] WINNE, C.: *Integration und Evaluierung des Navigated-Control Verfahrens in ein chirurgisches Navigationssystem für das navigierte Fräsen* Diplomarbeit Dezember 2005 Technische Universität Berlin
- [3] NDI: *Polaris Accedo Technical Specifications* Technisches Merkblatt 2003.
- [4] KRUEGER, T., WEBER, S., LUETH, T.: *5 mm glass sphere markers for computer aided surgery*. CAS-H Computer Aided Surgery around the Head, Berlin, Germany, 25.-27. August 2005, p. 5
- [5] SCHAUER, D., KRÜGER, T., LUETH, T.: *Development of auto-clavable reflective optical markers for navigation based surgery*, Medical robotics, navigation and visualization, Remagen, Deutschland, 11/12. März 2004.
- [6] ARTHUR A.: *Some Techniques for Shading Machine Renderings of Solids*. In Proceedings of the Spring Joint Computer Conference 1968. S. 37-45. AFIPS Press, Arlington
- [7] SUFFERN, K.G.: *Ray Tracing from the Ground Up*. AK Peters, Wellesley, Mass. 2007, ISBN 978-1-56881-272-4
- [8] ROSE, A., KRÜGER, T., LÜTH, T.: *Eine Methode zur qualitativen Bewertung von Lokalisatoren für optische Positionsmesssysteme*, BMT 2006, ETH Zürich, Schweiz