

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



**„Untersuchung der Vermessungsgenauigkeit
wiederverwendbarer Infrarot reflektierender Marker“**

Fabian Stopp, Erwin Keeve
Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK), Berlin,
Deutschland
E-Mail: keeve@charite.de

Roman Mästle, 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: 27-28

Untersuchung der Vermessungsgenauigkeit wiederverwendbarer Infrarot reflektierender Marker

Fabian Stopp¹, Roman Mästle² und Erwin Keeve^{1,2}

¹ Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK), Berlin, Deutschland

² Charité – Universitätsmedizin Berlin, Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie – Klinische Navigation und Robotik, Berlin, Deutschland

Kontakt: keeve@charite.de

Einleitung

In der computerassistierten chirurgischen Navigation werden überwiegend optische Sensoren und passive Lokalisatoren verwendet. Die Lokalisatoren sind dabei geometrisch eindeutig angeordnete Infrarot reflektierende Marker. Die Positionen und Orientierungen der Lokalisatoren werden über ein optisches Positionsmesssystem bestimmt. Die Genauigkeit der Navigationssysteme ist direkt von der Vermessungsgenauigkeit der Marker abhängig. Es existieren bereits verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Genauigkeit von Positionsmesssystemen und Lokalisatoren, die vorrangig die Genauigkeit des Gesamtsystems oder der Markerkonfiguration untersuchen, z. B. [1], [2] und [3].

In diesem Beitrag wird eine Untersuchung von wiederverwendbaren Infrarot reflektierenden Markern vorgestellt, die die Genauigkeit einzelner verschiedener Markertypen praxisnah ermittelt. Ziel der Untersuchung war es, die Genauigkeit der Marker des Berliner Zentrums für Mechatronische Medizintechnik (BZMM) [4], mit der Genauigkeit der Marker der Smith & Nephew Orthopaedics AG (SNO) zu vergleichen. Des Weiteren wurde der Einfluss der an den SNO Markern befestigten Kontrastscheibe auf die Vermessungsgenauigkeit untersucht.

Methoden und Materialien

In Abb. 1a bis c sind die untersuchten Marker dargestellt. Zur Steigerung des Kontrasts bei der Vermessung besitzen die SNO-Marker an der Unterseite eine schwarze Kontrastscheibe. Die Genauigkeitsuntersuchung dieser Marker wurde mit und ohne diese Scheibe durchgeführt. Die am BZMM entwickelten Glaskugel-Marker sind wie die SNO Marker autoklavierbar, unterscheiden sich aber mit 5 mm im Vergleich zu 8 mm im Durchmesser. Ein weiterer Unterschied ist die Einschränkung des Sichtbarkeitsbereichs der Glaskugel-Marker. Herstellungsbedingt beträgt die maximal sichtbare Ausrichtung dieser Reflektoren ca. $\pm 60^\circ$.

Zur Bestimmung der Vermessungsgenauigkeit der Infrarot reflektierenden Marker wurde das optische Positionsmesssystem Polaris Accedo (Northern Digital Inc.) verwendet. Die absolute Genauigkeit des Systems wird mit einem Fehler von unter $RMS = 0,35$ mm angegeben [5].

Auf einem Referenzkörper wurden drei 5 mm Glaskugel-Marker in einer eindeutigen Geometrie angeordnet.

Die Segmentlängen der Markergeometrie betragen 55,90 mm, 31,25 mm und 87,12 mm. Der Referenzkörper mit den Bohrungen für die Marker wurde mittels einer CNC-Fräse konstruiert. Die 5 mm Glaskugel-Marker definieren das Referenzkoordinatensystem *Ref*. Zentral zu diesen drei Markerpositionen wurde der zu untersuchende Marker positioniert (Abb. 1d).

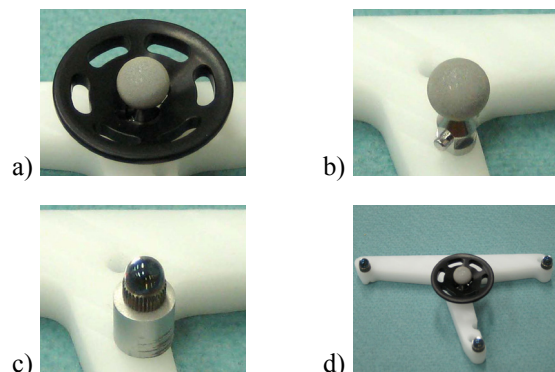


Abb. 1: a) SNO Marker mit Kontrastscheibe; b) SNO Marker ohne Kontrastscheibe; c) BZMM Glaskugel-Marker; d) SNO- mit drei Referenz-Markern

Der Referenzkörper mit den vier Markern wurde so zu dem Positionsmesssystem ausgerichtet, dass er sich laut Herstellerangaben im optimalen Arbeitsbereich der Kamera befindet. Der Abstand zwischen Kamera und Marker betrug dabei ca. 1350 mm. Der Versuchsaufbau ist in Abb. 2 schematisch dargestellt.

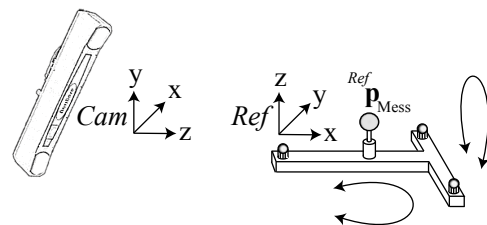


Abb. 2: Versuchsaufbau: Messung der Position ${}^{Ref}P_{Mess}$ des Markers mit einem optischen Positionsmesssystem während der Rotation der Markeranordnung um die x- und die z-Achse des Referenzkoordinatensystems.

Um die Genauigkeit des Markers in verschiedenen Orientierungen zu messen, wurde die Markeranordnung mit Hilfe einer elektrisch betriebenen Drehvorrichtung kontinuierlich um die x-Achse des Referenzkoordinatensystems rotiert. Mit jeder vollständigen 360° -Rotation um

diese Achse wurde eine schrittweise Rotation um die z-Achse durchgeführt. Der Drehvorgang erfolgte solange, bis vollständig um die z-Achse rotiert wurde. Während der Drehbewegung der Messvorrichtung wurde mit der Navigationskamera die Position und Orientierung des Referenzkoordinatensystems anhand der drei Glaskugel-Marker ermittelt. Bezüglich dieses Koordinatensystems wurde ebenfalls die Position des zu vermessenden Markers bestimmt. Die Aufzeichnung einer einzelnen Markerposition erfolgte während des ca. 30 min dauernden Drehvorgangs alle 0,25 s im Sichtbarkeitsbereich der Referenz-Marker des BZMM. Die maximale Auslenkung betrug somit ca. $\pm 60^\circ$ zwischen der Sichtachse der Navigationskamera und der z-Achse des Referenzkoordinatensystems. Im Idealfall ist die gemessene Position des Markers ${}^{Ref}p_{Mess}$ in diesem Winkelbereich für alle Positionen und Orientierungen während des gesamten Versuchs gleich.

Anhand der ermittelten Messwerte ${}^{Ref}p_{Mess}$ wurde für jeden Marker die mittlere Position ${}^{Ref}p_{\mu}$ sowie der maximale Abstand d_{max} bestimmt. Der maximale Abstand ist dabei die größte Distanz zwischen der mittleren Position ${}^{Ref}p_{\mu}$ und den gemessenen Positionen ${}^{Ref}p_{Mess,i}$ für alle Messwerte von $i = 1..N$. Zur Beurteilung der Vermessungsgenauigkeit der Marker wurde die Standardabweichung berechnet. Dies erfolgte für jede Komponente der Messwerte separat (σ_k), sowie über alle drei Komponenten zusammen (σ_{ges}) (1).

$$\sigma_{ges} = \sqrt{\frac{1}{3N-1} \cdot \sum_{i=1}^N \left((\epsilon_{i,x})^2 + (\epsilon_{i,y})^2 + (\epsilon_{i,z})^2 \right)} \quad (1)$$

mit $\epsilon_i = {}^{Ref}p_{Mess,i} - {}^{Ref}p_{\mu,i}$

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchung sind komponentenweise in Tab. 1 dargestellt. Die berechneten Standardabweichungen σ_k betragen zwischen 0,10 mm und 0,15 mm. Die genauesten Ergebnisse erreichte hierbei der SNO Marker ohne Kontrastscheibe.

Tab. 1: Komponentenweise Ergebnisse der Untersuchung: Marker A = SNO Marker mit Kontrastscheibe; Marker B = SNO Marker ohne Kontrastscheibe; Marker C = BZMM Glaskugel-Marker

Marker	N	$\sigma_{k,x}$ [mm]	$\sigma_{k,y}$ [mm]	$\sigma_{k,z}$ [mm]
A	3384	0,14	0,11	0,13
B	3928	0,10	0,11	0,13
C	2849	0,12	0,13	0,15

Die Standardabweichung σ_{ges} der Messreihe beträgt für den SNO Marker mit Kontrastscheibe 0,13 mm, für den SNO Marker ohne Kontrastscheibe 0,11 mm und für den Glaskugel-Marker 0,13 mm. Der maximale Abstand d_{max} der Messwerte beträgt für den SNO Marker mit Kontrastscheibe 1,29 mm, für den SNO Marker ohne Kontrastscheibe 1,04 mm und für den Glaskugel-Marker 1,58 mm.

Diskussion

Der in dieser Untersuchung ermittelte Fehler setzt sich aus dem eigentlichen Messfehler des Markers und dem Fehler bei der Bestimmung des Referenzkoordinatensystems über die drei Glaskugel-Marker zusammen. Durch eine höhere Anzahl von Referenz-Markern könnte der zusätzliche Fehlereinfluss weiter verringert werden. Da der Messfehler bei der Bestimmung des Referenzkoordinatensystems aber für alle untersuchten Markertypen gleich groß ist, unterscheiden sich die ermittelten Fehlerwerte lediglich durch den Einfluss des Messfehlers des Markers. Die berechneten Standardabweichungen σ_k und σ_{ges} sind bei allen drei Markern annähernd gleich. Die Differenz der Ergebnisse kann im Größenunterschied der Markerkugeln begründet sein. Die Werte sind geringer als die angegebene Genauigkeit des verwendeten Positionsmesssystems. Da es sich hierbei um relative Messungen handelt, sind sie dennoch aussagekräftig. Die maximalen Abstände d_{max} der Messwerte betragen ein Vielfaches der Standardabweichung. Bei diesen Werten handelt es sich um Ausreißer der Messreihe. Die Kontrastscheibe der SNO Marker zur Steigerung der Infrarot Reflektivität hat keinen Einfluss auf deren Vermessungsgenauigkeit. Die Untersuchungsergebnisse unterscheiden sich mit und ohne diese Kontrastscheibe unwesentlich. Die Infrarot reflektierende Oberfläche der SNO Marker ist empfindlich gegenüber Beschädigungen, die die Vermessungsgenauigkeit beeinträchtigen können. Durch die Verwendung der schwarzen Kontrastscheibe der Marker können Berührungen und dadurch entstehende Kratzer auf der reflektierenden Markeroberfläche größtenteils vermieden werden.

Schlussfolgerungen

Zur Gewährleistung der Wiederverwendbarkeit der SNO Marker, sollten diese mit Kontrastscheibe verwendet werden. Die Messwerte der SNO Marker mit Kontrastscheibe und der BZMM Marker weisen eine Standardabweichung von 0,13 mm auf und sind somit in ihrer Vermessungsgenauigkeit vergleichbar.

Literatur

- [1] KHADEM, R. ; YEH, C. C. ; SADEGHI-TEHRANI, M.: *Comparative Tracking Error Analysis of Five Different Optical Tracking Systems*, Computer Aided Surgery, S.98-107, 2000
- [2] WILES, A. D. ; THOMPSON, D. G. ; FRANTZ, D. D.: *Accuracy assessment and interpretation for optical tracking systems*. In: Medical Imaging 2004 Proc. 5367
- [3] ROSE, A. ; KRÜGER, T. ; LÜTH, T.: *Eine Methode zur qualitativen Bewertung von Lokalisatoren für optische Positionsmesssysteme*, Deutsche Gesellschaft für Biomedizinische Technik DGBMT, 2006
- [4] SCHAUER, D. ; KRÜGER, T. ; LÜTH, T.: *Development of auto-clavable reflective optical markers for navigation based surgery*, Perspective in Image-Guided Surgery, S. 109-117, 2004
- [5] *Polaris Accedo User's Guide*, Revision Number 1.1, Northern Digital Inc. (NDI), Ontario, Canada, 2004