

Aachener Beiträge zur Medizintechnik

3

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Radermacher

Univ.-Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. Thomas Schmitz-Rode

Stefan Heger

Intraoperative Struktur- und Geometrieerfassung mittels A-Mode Ultraschall in der computerunterstützten Chirurgie

Ein Beitrag aus dem Lehrstuhl für Medizintechnik der RWTH Aachen
(Direktor: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Radermacher).

RWTHAACHEN
UNIVERSITY

Shaker Verlag
Aachen 2009

D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2008)

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: RWTH Aachen University, Diss., 2008

Copyright Shaker Verlag 2009

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7867-0

ISSN 1866-5349

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Zusammenfassung

Ein häufiges Problem der computerunterstützten Chirurgie ist die Struktur- und Geometrieerfassung biologischer Gewebe sowie in den Körper eingebrachter Materialien. Zu diesem Zweck eingesetzte bildgebende Systeme erfordern meist eine aufwändige Segmentierung der gewünschten Strukturen im Bild. Zudem sind solche Systeme entsprechend der geforderten Bildqualität oftmals sehr kostenintensiv. Eine weitaus preisgünstigere Möglichkeit zur intraoperativen Strukturfassung bietet der Einsatz von A-Mode Ultraschall. Diagnostischer Ultraschall erfreut sich hoher Akzeptanz, verursacht keine Gewebeschädigung und ist in Echtzeit verfügbar. Die Verwendung von A-Mode Ultraschall wird in dieser Arbeit exemplarisch an zwei Problemstellungen der computerunterstützten Chirurgie untersucht und evaluiert.

Zur CT-basierten Referenzierung eines präoperativen Planungsmodells mit dem Patientensitus wird A-Mode Ultraschall zur Digitalisierung von Knochenoberflächenpunkten am Schädel eingesetzt. Eine besondere Herausforderung stellt die Lösung des Optimierungsproblems bei nur wenigen vorhandenen Abtastwerten sowie die Ausrichtung der Sonde relativ zur Knochenoberfläche dar. Hierzu werden zufallsbasierte Optimierungsstrategien entwickelt und Zusatzwissen anhand CT-Daten, Ultraschallsignal- und Lageinformationen der Sonde berücksichtigt, um den intraoperativen Zeitaufwand zu reduzieren ohne die geforderte Genauigkeit einzuschränken. Die verwendeten Strategien bewiesen in einer vorklinischen Studie, dass bei einer mittleren Referenzierungsgenauigkeit von 1,3mm die intraoperativ erforderliche Referenzierungszeit von 15min auf durchschnittlich 113s reduziert werden kann.

Das zweite Anwendungsbeispiel betrifft die intraoperative Geometrieerfassung des Knochenzementmantels vor dem Hintergrund navigiert oder robotisch durchgeführter Eingriffe in der Hüftrevisionsendoprothetik mittels eines ultraschallbasierten intraluminalen Ansatzes. Da sich die Genauigkeit der Geometrieerfassung auch im zweiten Anwendungsbeispiel als von der Sondenausrichtung abhängig erweist, wird eine lageinvariante Schätzung der optimalen Sondenausrichtung nach automatischer Analyse einer *initialen* Abtastung mittels eines statistischen sowie eines modellbasierten Ansatzes durchgeführt. Störsignale werden zuvor mittels Klassifikationsverfahren entfernt. Die automatische Sondenführung erfolgt robotisch unterstützt und in Abhängigkeit der gewählten Abtaststrategie durch Implementierung von jeweils zwei, drei oder vier Freiheitsgraden. Die messtechnische Evaluierung und Genauigkeitsanalyse am Femurpräparat zeigt, dass die günstigste Sondenvorpositionierung mit dem modellbasierten Ansatz erzielt wird. Die Abtastgenauigkeit mittels des gewählten auf A-Mode Ultraschall basierenden Ansatzes beträgt unter Einbeziehung von wenigstens drei Freiheitsgraden 1mm und besser und liegt somit im Bereich der medizinischen Anforderungen.