

Ein System zum navigierten Schneiden unter Ultraschallkontrolle

Florian Hoppe¹, Emanuel Jank¹, Andreas Hein² und Tim Lüth¹

¹BZMM – Berliner Zentrum für Mechatronische Medizintechnik
Medizinische Fakultät Charité, Humboldt-Universität zu Berlin
Klinik für MKG-Chirurgie, Klinische Navigation und Robotik
Campus Virchow, Augustenburger Platz 1, 13353 Berlin
Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik
FhG-IPK, Pascalstraße 8-9, 10587 Berlin

²Universität Oldenburg, Fakultät II, Department für Informatik
Abt. Automatisierungs- und Messtechnik, 26111 Oldenburg
Email: emmanuel.jank@ipk.fhg.de

Zusammenfassung. In diesem Artikel wird ein neues System für die Weichgewebschirurgie vorgestellt, durch das ein Elektromesser auf der Basis von Ultraschallbildern navigiert und in seiner Leistung kontrolliert wird. Dazu werden Ultraschallbilder während des Eingriffs aufgenommen. Sie werden dem Arzt auf einem Anzeigegerät direkt am Situs präsentiert. Die Position des Elektromessers wird auf den Bildern visualisiert. Der Arzt plant auf den Ultraschallbildern, welche Bereiche er schneiden will. Das Elektromesser wird vom System nur in diesen Bereichen zum Schneiden freigegeben. Das System soll so helfen, Tumore in Weichgewebe (speziell in der Leber) einfach aufzufinden und sicher entfernen zu können.

1 Problemstellung

Zurzeit wird die Größe und Lage der Tumore mit verschiedenen bildgebenden Verfahren (CT, MRT, Ultraschall) präoperativ bestimmt. Bei bösartigen Neubildungen z.B. in der Leber sind Tumore mit einem Durchmesser von 0,5 - 1,0 cm diagnostizierbar [1]. Um diese zu entfernen, orientiert sich der Chirurg während der Operation jedoch nur auf Sicht und anhand von Landmarken (z.B. intrahepatischen Gefäßen). Die sehr genauen Bilddaten werden so nur als grobe Hinweise genutzt, die Tumore tatsächlich im Organ aufzufinden.

2 Stand der Forschung

Es sind Navigationssysteme bekannt, die es ermöglichen, Instrumente relativ zu Bilddaten genau auszurichten (eine Übersicht bietet [2]). Typischerweise wird dazu aus präoperativ gewonnenen CT- oder MRT-Bilddatensätzen ein starres Patientenmodell erzeugt. Anhand des Patientenmodells soll sich der Arzt während

des Eingriffs orientieren. Dazu wird intraoperativ die Lage des Instruments und des Patienten durch ein geeignetes Sensorsystem (z.B. einer Navigationskamera und Lokalisatoren) erfasst. Die starre Patientenmodellierung macht eine Registrierung, Fixierung und Nachverfolgung des zu behandelnden Gebietes notwendig. Dies schränkt den praktischen Einsatz der Systeme soweit auf Eingriffe an oder in der Nähe von Hartgewebe (Knochen) ein [3,4,5,6].

3 Fortschritt

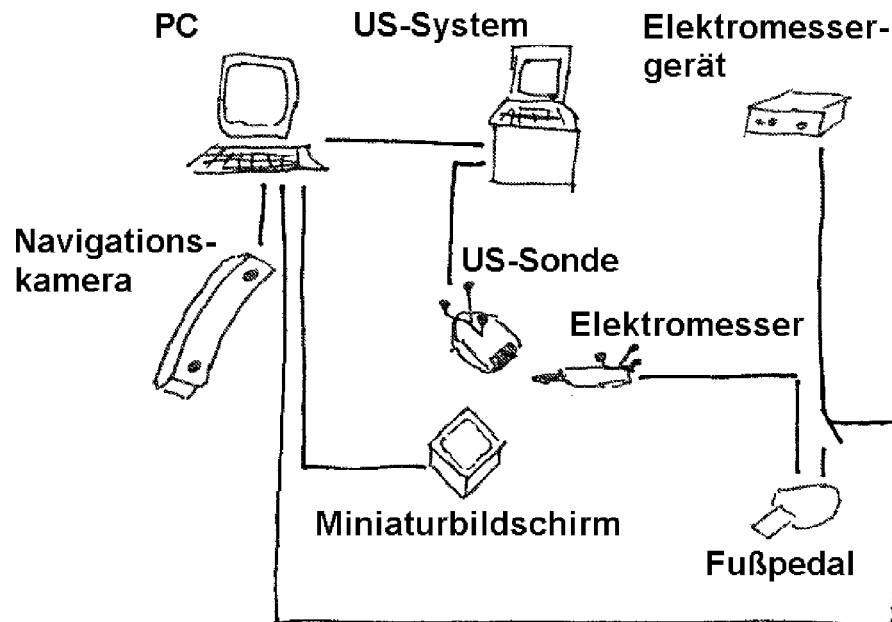
Das hier vorgestellte System bietet den Vorteil, Chirurgen auch bei Weichgewebsoperationen mit Navigationshinweisen zu assistieren. Grundsätzliche Idee ist es, Ultraschallbilder nicht nur für die Diagnose und Planung eines Eingriffs sondern auch für dessen Umsetzung zu verwenden. Die Ultraschallbilder werden während der Operation aufgenommen und mit der eingeblendeten Position eines Schneideinstrumentes direkt am Situs visualisiert. Der Arzt kann auch mit Hilfe der Bilder planen, welche Teile des Gewebes entfernt werden sollen. Durch die Realisierung einer lageabhängigen Leistungssteuerung des Instruments wird dem Arzt so eine aktive Hilfe gegeben, die Planung umzusetzen. So kann die Zielgenauigkeit und die Sicherheit beim Schneiden – insbesondere in der Nähe sensibler Strukturen – erhöht werden. Da der Arzt die Ultraschallsonde so ausrichtet, dass das zu entfernende Gewebe im Bild dargestellt wird, wird das Problem gelöst, Lageveränderungen des Gewebes zu kompensieren. Damit kann die Fähigkeit und Erfahrung des Arztes dazu genutzt werden, eine aufwendige, tendenziell fehleranfällige Patientenmodellierung oder eine zusätzliche, möglicherweise hinderliche Gewebefixierung zu vermeiden.

4 Methode

Aufgebaut wurde dazu ein System (Abb. 1) bestehend aus einer zentralen Recheneinheit (Standard-PC), einem optischen Positionsmesssystem (Polaris, NDI), einem Ultraschallgerät (HDI 1500, ATL), einem Hochfrequenz-Elektrochirurgie-Gerät (ErboTom 400, ERBE) und einem kleinem Miniaturbildschirm (4") mit Touch-Screen. Die Ultraschallsonde und das Handstück des Elektromessers sind mit Lokalisatoren ausgestattet, so dass ihre Lage mit dem Positionsmesssystem bestimmt werden kann. Die Bilddaten werden über die Videoschnittstelle des Ultraschallgeräts in den PC eingelesen und digitalisiert. Mit dem PC kann über einen Adapter für das Fußpedal des elektrochirurgischen Geräts die Leistungsabgabe an das Elektromesser deaktiviert werden.

Der Arbeitsablauf unterteilt sich in einen prä- und einen intraoperativen Teil. Vor der Operation ist sowohl die Ultraschallsonde als auch das Elektromesser zu kalibrieren, so dass eine Verwendung des Systems in einem invaliden Zustand ausgeschlossen wird. Entwickelt wurden dazu zwei Verfahren, die vom medizinischen Personal mit einem speziell konstruierten und mit einem Lokalisator ausgestatteten Kalibrierkörper durchzuführen sind. Der Kalibrierkörper verfügt über Geometrien (verschiedene Bohrungen) und einem Pfosten zum Aufstecken

Abb. 1. Statischer Aufbau des Systems.



des Elektromessers, die in ihrer Lage relativ zum Lokalisator auf Grund der Fertigung mit einer CNC-Fräse (Toleranz: 0.02 mm) bekannt sind.

Das Elektromesser hat eine Öffnung, in die verschiedene Klingen gesteckt werden können. Ziel der Kalibrierung ist es, die Lage der Klingennachse relativ zum Lokalisator des Messers zu bestimmen. Der Benutzer steckt es für ca. 30 Sekunden spielfrei auf den Pfosten am Kalibrierkörper stecken. Dabei wird permanent die Lage des Körpers und des Messers vermessen und damit die Lage der Achse errechnet.

Das Ziel der Kalibrierung der Ultraschallsonde ist die Bestimmung der Lage der Bildebene relativ zum angebrachten Lokalisator. Sie kann berechnet werden, wenn die Sonde vom Benutzer in eine eindeutige Position am Kalibrierkörper gebracht wird. Diese ist erreicht, wenn die speziellen Bohrungen im Körper auf dem Ultraschallbild identifiziert werden können.

Während der Operation wird das System wie folgt verwendet: Grundsätzlich wird gleichzeitig geschallt und geschnitten. Ein Arzt richtet die Ultraschallsonde aus, während ein anderer Chirurg das Elektromesser führt. Dabei muss die Sonde so positioniert sein, dass der zu entfernende Tumor auf dem Ultraschallbild sichtbar ist. Um das zu vereinfachen, wird das Bild auf dem Miniaturbildschirm am Situs wiedergegeben. Der Arzt kann sich dadurch gleichzeitig auf das Bild und den Situs konzentrieren und muss so nicht das abseits des OP-Tisches stehende Ultraschallgerät im Blick behalten. Damit der Arzt den Tumor in der Tiefe

des Gewebes findet, wird permanent die Position des Messers auf dem Miniaturbildschirm visualisiert. Dafür wird der Schnittpunkt der Messerachse mit der Ultraschallbildebene eingeblendet, so dass dem Arzt eine Zielführung für das Messer gegeben wird.

Zusätzlich ist eine Sicherung des Messers realisiert worden. Durch ein einfaches Antippen des Touch-Screens am Miniaturbildschirm kann der Tumor als die Zielregion des Eingriffs geplant werden. Danach kann der Arzt das Elektromesser nur noch zum Schneiden aktivieren, wenn er es auf den anvisierten Tumor ausgerichtet hat. Dazu deaktiviert das System den Fußschalter des elektrophirurgischen Geräts, sobald die Messerachse die geplante Zielregion nicht mehr schneidet. Das Elektromesser wird immer nur zum Schneiden freigegeben und zu keinem Zeitpunkt gegen den Willen des Arztes aktiviert.

5 Ergebnisse

Das System wurde in ersten Laborversuchen an Tierpräparaten evaluiert. Untersucht wurde die für die Anwendung der Tumorsektion entscheidende Frage: Wie sicher können auf dem Ultraschallbild erkennbare Gewebestrukturen mit Hilfe des Systems gefunden werden? Dazu wurden in einem Experimentalaufbau unterschiedliche Plexiglasstreifen von bekannter Größe in ein Tierpräparat eingebracht und dann mit dem Navigationssystem wieder gefunden. Die Streifen wurden mit dem Ultraschallgerät anvisiert, über den Miniaturbildschirm als Zielregionen geplant und dann – sobald das System das Messer zum Schneiden freigab – herausgeschnitten. Protokolliert wurde wie häufig die verschiedenen großen Plexiglasstreifen mit einem Stich in das Präparat getroffen werden konnten (pro Streifen $n=30$). Die Auswertungen ergaben, dass mit dem System Gewebestrukturen von einem Durchmesser > 5 mm sicher, d.h. in 100% aller Versuche, gefunden werden können (2 mm Durchmesser: 50%, 4 mm Durchmesser: 76%).

Das oben beschriebene System bietet den Vorteil, Chirurgen bei Weichgewebsoperationen mit Navigationshinweisen zu assistieren. Es ermöglicht, dass Ultraschallbilder nicht nur für die Diagnose und Planung eines Eingriffs sondern auch für dessen Umsetzung verwendet werden. Dadurch können Gewebestrukturen (z.B. Tumoren), die sich auf dem Ultraschallbild identifizieren lassen, sicher gefunden und entfernt werden. Durch die vereinfachte Lokalisierung der zu entfernenden Strukturen, wird das umliegende Gewebe weniger traumatisiert und so der Patient durch den Eingriff weniger belastet.

Die soweit erzielte Genauigkeit des Systems erscheint für die Resektion von Lebertumoren ausreichend, da diese erst ab einem Durchmesser von 5 mm diagnostiziert werden können. Zudem soll durch eine gerade in Arbeit befindlicher Modifikation der Ultraschallkalibrierung die Systemgenauigkeit erhöht werden.

6 Diskussion

Das Konzept, Ultraschallbilder als Grundlage für die Navigation und Sicherung von Schneideinstrumenten zu nutzen, bietet neben der Leberchirurgie auch ande-

re Anwendungsfelder: die exakte Entfernung von tumorösen Hauterkrankungen unter Einhaltung eines definierten Sicherheitsabstand, die vereinfachte, sichere Freipräparation von größeren Gefäßen, die nicht verletzt werden sollen, oder das schnelle Auffinden von Fremdkörpern in Weichgewebe.

7 Danksagung

Die Forschungsarbeiten wurden an der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie – Klinische Navigation und Robotik, Prof. Dr. Dr. Jürgen Bier und Prof. Dr. Tim Lüth, Charité – Universitätsmedizin Berlin und dem Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Prof. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann, durchgeführt. Die Arbeit wurde unterstützt durch die Alfried Krupp von Bohlen und Halbach-Stiftung. Teile der Forschung wurden finanziell unterstützt vom Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE), der Deutschen Krebshilfe (gewährt an Prof. Dr. Dr. J. Bier, PD Dr. P. Wust) und der Berliner Sparkassenstiftung Medizin (gewährt an Prof. Dr. T. Lüth, Dr. Dr. Ernst Heissler, Prof. Dr. Dr. Berthold Hell). Spezieller Dank gilt den folgenden Firmen für ihre Unterstützung des Projektes: RoboDent, Altatec, Ziehm Instrumentarium, Planmeca, Straumann, Medtronic und Philips.

Literaturverzeichnis

1. Lanadé W, Herfahrt C: Chirurgische Therapie von Lebermetastasen. In Siewert JR, Harder F, Rothmund M (Hrsg.): Praxis der Viszeralchirurgie: 567–576. Springer, Berlin, 2001.
2. Cleary K, Nguyen C: State of the Art in Surgical Robotics: Clinical Applications and Technology Challenges. *Comput Aided Surg* (6): 312–328, 2001.
3. Joskowicz L, Milgrom C, Simkin A, et al.: FRACAS: a system for computer-aided image guided long bone fracture surgery. *Comput Aided Surg* (3): 271–288, 1998.
4. Merloz P, Tonetti J, Pittet L, et al.: Computer-assisted spine surgery. *Comput Aided Surg* (3): 297–305, 1998.
5. Kneissler M, Hein A, Mätzig M, et al.: Concept and Clinical Evaluation of Navigated Control in Spine Surgery. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2003)*. Kobe, Japan. July 20–24, 2003. Im Druck.
6. Nolte LP, Slomczykowski MA, Berlemann U, et al.: A new approach to computer-aided spine surgery: fluoroscopy-based surgical navigation. *European Spine Journal*, (9): 78–88, 2000.