

**4. Workshop  
Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin vom  
26. bis 27. März 2003 in  
Karlsruhe**



**„Kraftbasierte Berührungslokalisierung an medizinischen  
Phantomkörpern“**

R. Riener, B. Sae-Kee, M. Frey  
Lehrstuhl für Steuerungs- und Regelungstechnik, TU München, München, Deutschland  
E-Mail: robert.riener@ei.tum.de

R. Burgkart  
Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie, Klinikum rechts der Isar, München, Deutschland

Copyright: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Band: AUTOMED 2003 - 4 . Workshop "Automatisierungstechnische Methoden  
und Systeme für die Medizin"  
Editors: U. Voges, G. Bretthauer  
ISSN: 0947-8620  
Pages: 40-41

# Kraftbasierte Berührungslokalisierung an medizinischen Phantomkörpern

R. Riener<sup>1</sup>, B. Sae-Kee<sup>1</sup>, M.n Frey<sup>1</sup>, R. Burgkart<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Steuerungs- und Regelungstechnik, TU München, D-80290 München

<sup>2</sup>Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie, Klinikum rechts der Isar, TU München

robert.riener@ei.tum.de

## EINLEITUNG

In der medizinischen Ausbildung werden passive Phantomkörper zur Veranschaulichung anatomischer und physiologischer Zusammenhänge verwendet. Die Angabe der Namen und Funktionen relevanter anatomischer Bereiche geschieht bisher durch Beschriftungen oder beigelegte Skizzen, was sich jedoch meistens als unübersichtlich und umständlich erweist. Mit einem neuen Mess- und Auswertesystem ist es nun möglich, die Berührstelle an einem beinahe beliebig geformten 3D-Phantomkörper exakt zu detektieren und den berührten Bereich zu klassifizieren.

## METHODE

Grundlage für die automatisierte Berührungslokalisation ist ein zwischen Unterlage und Phantomkörper integrierter Sechskomponenten Kraft-Momenten-Sensor sowie eine intelligente PC-Auswertesoftware (Abb. 1). Die Ergebnisse werden dem Bediener über ein grafisches und akustisches Display präsentiert.

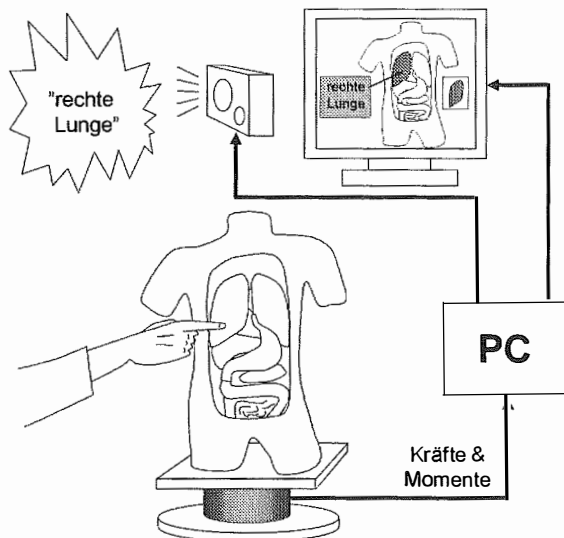


Abb. 1.: Phantomtorso auf einem Kraft-Momenten-Sensor mit akustischem und grafischem Display

Der Berührungspunkt kann aus gemessenen Reaktionslasten und bei bekannter Objektform eindeutig berechnet werden, sofern die Krafteinleitung momentenfrei erfolgt, was bei einer leichten Berührung mit der Fin-

gerspitze oder einem spitzen Gegenstand vorausgesetzt werden kann. Es muss dazu keine zusätzliche Kraft- oder Drucksensorik im Kontaktbereich im Phantom integriert werden!

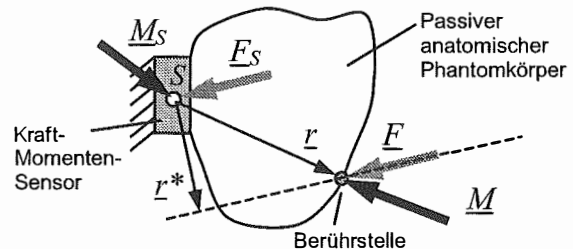


Abb. 2: Lastsituation am Phantom und Kraft-Momenten-Sensor bei Berührung.

Die gemessenen Kräfte  $\underline{F}_S$  und Momente  $\underline{M}_S$  können aus verschiedenen Lastsituationen am Phantomkörper zustande kommen. Für jede Situation gelten die statischen Gleichgewichtsbedingungen

$$\underline{F}_S = \underline{F} \quad \text{und} \quad \underline{M}_S = \underline{M} + \underline{r} \times \underline{F}$$

mit den unbekannt eingepprägten Lasten  $\underline{F}$  und  $\underline{M}$ . Der Vektor  $\underline{r}$  repräsentiert den gesuchten Ort der Krafteinleitung im Sensorkoordinatensystem mit Ursprung  $S$ . Mit der obigen Annahme der momentenfreien Berührung ( $\underline{M} = \underline{0}$ ) folgt daraus

$$\underline{M}_S = \underline{r} \times \underline{F}_S = \begin{pmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} f_{Sx} \\ f_{Sy} \\ f_{Sz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{Sx} \\ m_{Sy} \\ m_{Sz} \end{pmatrix},$$

wobei die Komponenten der Vektoren  $\underline{F}_S$  und  $\underline{M}_S$  bekannt sind. Damit erhält man das Gleichungssystem mit den Unbekannten  $\underline{r} = (r_x, r_y, r_z)^T$ . Beim Versuch nach  $\underline{r}$  aufzulösen, stellt man fest, dass das Gleichungssystem unterbestimmt ist. Anschaulich bedeutet dies, dass der Ort der Krafteinleitung im Raum nicht exakt bestimmbar ist. Stattdessen kann nur die Lage der Wirkungslinie der eingepprägten Kraft  $\underline{F}$  ermittelt werden. In diesem Fall ( $\underline{M} = \underline{0}$ ) liegt diese in der Ebene  $E$ , die sich orthogonal zu  $\underline{M}_S$  mit  $S \in E$  befindet und als Parameterfunktion

$$g_s(\lambda) \equiv \underline{r}^* + \lambda \underline{F} = \underline{r}^* + \lambda \underline{F}_s$$

im Sensorkoordinatensystem dargestellt werden kann, wobei  $\underline{r}^*$  ein beliebiger Vektor zwischen Ursprung  $S$  und Wirkungslinie ist, z.B.

$$\underline{r}^* = \frac{\underline{F}_s \times \underline{M}_s}{|\underline{F}_s|^2}$$

Ist die Oberfläche des berührten Phantomobjekts bekannt, so können in der Regel zwei mögliche Punkte der Krafteinleitung durch Schneiden der Wirkungslinie mit der Oberfläche bestimmt werden. Der gesuchte Berührungspunkt ist derjenige Schnittpunkt, bei dem die Kraft in den Körper hinein gerichtet ist. Bei konvexen Körpern oder Körperbereichen ist die Lösung eindeutig.

In dieser Studie wurde die Oberfläche des berührten Körpers durch eine polygonbasierte, geschlossene Fläche beschrieben. Als günstig erweisen sich Dreiecke als Polygonflächen. Den Kontaktpunkt gewinnt man schließlich aus dem Schnittpunkt der Wirkungslinie  $g_s$  mit dem Polygonkörper. Dies geschieht nach dem folgenden Prinzip: Nach einer einmaligen Berechnung relevanter Polygonparameter, wie z.B. den Normalenvektoren, werden für jeden Zeitschritt (Abtastrate: 20 Hz) folgende Rechenschritte durchgeführt:

1. Reduzierung der Polygonzahl durch Ausblendung der schattenseitigen Polygone (Normalenvektoren zeigen etwa in die Richtung des Kraftvektors).
2. Bestimmung der Schnittpunkte zwischen Wirkungslinie und Polygonebenen der restlichen Polygone.
3. Bestimmung des „aktiven“ Polygons, bei dem der Schnittpunkt innerhalb der Polygonfläche liegt.

Der Berührungspunkt sowie die dabei auftretende Kraft und Kraftrichtung wird in dem grafischen Display angezeigt. Ferner wird aus dem berechneten Kontaktpunkt in einem Klassifikationsalgorithmus der berührte Bereich (z.B. Name der anatomischen Struktur) identifiziert. Der Name wird dann akustisch angesagt und grafisch eingeblendet.

Zahlreiche weitere Funktionen wurden auf der Basis dieses Setups implementiert. So kann beispielsweise das Entfernen oder Hinzufügen von Teilen durch die resultierende Gewichtsänderung eindeutig erfasst werden und somit bei der akustisch-visuellen Vermittlung in beliebiger Form berücksichtigt werden.

## ERGEBNISSE

Die Methodik wurde am Beispiel eines Phantomtorsos umgesetzt. Berührt beispielsweise ein Medizinstudent eines der Organe oder Organbereiche, so wird ihm akustisch der entsprechende Name mitgeteilt. Gleichzeitig wird an einem Monitor der Torso als grafisches Abbild in schattierter Darstellungsweise wiedergegeben und der Organname eingeblendet. Selbst sehr kleine anatomische Teilstrukturen, wie z.B. Blutgefäße oder Muskelansatzstellen, können so sichtbar gemacht und identifiziert werden. Auch die Entnahme eines der Or-

gane wird automatisch registriert und grafisch veranschaulicht. Nach einer Organentnahme können dahinterliegende Strukturen berührt und identifiziert werden.

In einer künftigen Version lassen sich neben den benannten Strukturen je nach Berührort (z.B. auf farbige Marken) oder Berührweise (z.B. Klopfzeichen) unterschiedliche Reaktionen herbeiführen und somit auch Funktionen, Diagnosen, Therapien und ärztliche Ratschläge in Form von Bild, Ton, Film oder Animation einblenden.

## DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNG

Es sei angemerkt, dass die Berührungslokalisierung nur bei Einzelkontakten (d.h. mit *einer* Fingerspitze) und momentenfreier Krafteinleitung und innerhalb konvexer Objektbereiche eindeutig funktioniert. Der Detektionsfehler liegt je nach Objektbereich zwischen 0,5 cm und ca. 3 cm, lässt sich aber durch Verwendung steiferer und kleiner Objekte deutlich verringern. Bessere Ergebnisse sind auch mit einem Erkennungsalgorithmus, der auf der Basis künstlicher neuronaler Netze funktioniert, zu erwarten.

Im Prinzip kann das hier vorgestellte Verfahren als Touchscreen interpretiert werden, das jedoch auch mit gekrümmten Berührflächen funktioniert. Herausragend bei der vorgestellten Methodik ist, dass die Lokalisierung nicht am Berührort gemessen wird, sondern durch einen neuartigen Algorithmus aus einem dezentral angeordneten Kraftsensor bestimmt wird. Daher muss weder das berührte 3D Objekt noch die Umgebung auf besondere Weise präpariert werden.

Neben den Anwendungsbereichen in der medizinischen Aus- und Weiterbildung kann das Verfahren auch für Ausstellungsobjekte auf Messen und in Museen verwendet werden.

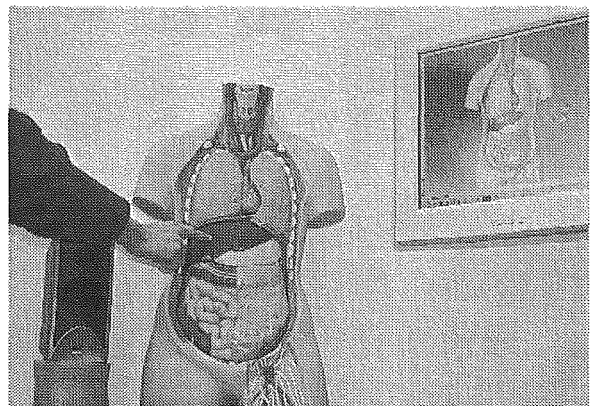


Abb. 3: Umsetzung der Berührungslokalisierung mit grafischem und akustischem Display am Beispiel eines Phantomtorsos für die medizinische Ausbildung.

## DANKSAGUNG

Diese Arbeit wird im Rahmen des Verbundprojekts VOR vom BMBF unterstützt. Ein besonderer Dank gilt auch der Unterstützung durch T. Pröll und die Ordinarien Prof. G. Schmidt und Prof. R. Gradinger.