

Ein Greifer für Minimal-invasive Robotisierte Chirurgie mit integriertem Kraftsensor

Sengül Ali¹, Stephan Mathieu¹, Rognini Giulio¹, Beira Ricardo¹, Santos-Carreras
Laura¹, Bleuler Hannes¹

¹ Laboratoire de Systèmes Robotiques, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Switzerland

(Tel : +41-21-693-35831; E-mail: ali.sengul@epfl.ch)

Kurzbeschreibung: Die Roboter-unterstützte minimal-invasive Chirurgie durchläuft eine stürmische Entwicklung unterstützt durch Fortschritte in der Mechatronik. Die Fähigkeiten der Chirurgen können durch moderne Instrumentierung erheblich unterstützt werden, völlig neue Interventionen werden möglich. Dazu ist es notwendig, dem Chirurgen die maximal möglichen Informationen des Tastsinnes der Hand wiederzugeben, das heisst haptisches Feedback und Krafrückführung anzuwenden. Nur so können Gewebeteile adäquat manipuliert werden. Dieser Beitrag beschreibt einen minimal-invasiven Manipulator mit einem Kraftsensor in vier Freiheitsgraden. Der Sensor ist in einem 8x9x3mm kleinen Greifer integriert, unmittelbar dort wo Sezieren, Ablation und Nähen stattfinden. Experimentelle Ergebnisse und Messungen werden vorgestellt.

Stichworte: Kraftsensor; Force Feedback; Minimalinvasive Chirurgie; Roboterchirurgie

1. Einleitung

Chirurgische Interventionen sind im Begriff durch die Einführung der Roboter-unterstützten Chirurgie revolutioniert zu werden. In minimal-invasiven Verfahren werden Instrumente durch kleine natürliche oder künstliche Öffnungen in den Körper eingeführt. Falls die Instrumente motorisiert sind und über eine Art Joystick gesteuert werden, spricht man von „Chirurgie-Robotern“, obwohl es sich streng genommen um Telemanipulatoren handelt.

Minimal-invasive Chirurgie (MIS, Minimal-Invasive Surgery) hat grosse Vorteile: Reduktion von Schmerz, Trauma, weniger Infektionsrisiko, keine sichtbaren Narben, weniger Blutung sowie viel kürzerer Aufenthalt im Krankenhaus, dadurch erheblich reduzierte Kosten. Vielversprechende Zusatzvorteile der Telemanipulation sind Tremorfilter und die Möglichkeit, Bewegungen des Patienten (z.B. Herzschlag) zu kompensieren. Eine Herzkranzoperation könnte so ganz wesentlich erleichtert werden.

Andererseits sind Minimal-invasive Verfahren aber auch viel anspruchsvoller für den Chirurgen. Er hat keinen direkten Kontakt mehr mit dem Gewebe. Koordination von Bild und Bewegung ist schwierig, die Bildgebung ist über ein Endoskop auf einen Bildschirm, meist nur 2-dimensional und mit reduziertem Blickfeld. Ungewollte Bewegungen und Berührungen ausserhalb des Blickfeldes sind unbedingt zu vermeiden. Daher ist unseres Erachtens eine Krafrückführung unerlässlich: Der Chirurg muss mit den Fingern fühlen, was er tut. Das ist die Rolle von „haptischer“ Wiedergabe (betreffend für den Tastsinn) und Krafrückführung („Kraft-Reflexion“).

Dies bedingt eine Integration von Kraft-Sensoren in die chirurgischen Instrumente, möglichst nah am Operationsschauplatz.

In letzter Zeit sind Telemanipulatoren („Chirurgie Roboter“) wie das System Da Vinci™ [1] und Zeus [2] eingeführt worden, um die Fertigkeit in MIS zu erhöhen. Diesen Systemen fehlt jedoch die Krafrückführung völlig. Sie haben keine eingebauten Sensoren, Eingriffe beruhen ausschliesslich auf der Bildgebung (meist in 3-D). Wir sind, zusammen mit anderen Gruppen [3], der Ansicht, dass dies ein dringendes Problem darstellt.

Das DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) hat ein System vorgestellt, das einen sechsachsigen Kraftsensor im distalen Ende eines KineMedic® MIS Instrumentes integriert [4]. Dieser Sensor von 10 mm Durchmesser gibt die drei Momenten- und Kraftkomponenten des Instrumentes an. So werden Störsignale durch Übertragungsmechanismen, deren Reibung, Schwerkraft usw. vermieden. Die Struktur dieses Kraftsensors beruht auf der Stewart Plattform. In diesem Beitrag berichten wir über einen vereinfachten Kraftsensor. Eine kürzlich publizierte Studie [5] hat gezeigt, dass zum Nähen der Krafrückführung sehr hilfreich ist, dass aber das Fehlen der Drehmomente keinen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Manipulation hat. Dadurch kann der Sensor kleiner gebaut werden und die Auflösung kann erhöht werden. Der Einfluss von Störfaktoren ist minimal.

Wir präsentieren hier Entwurf, Entwicklung (Abschnitt 2), Elektronik (Abschnitt 3) und Auswertung (Abschnitt 4) eines Greifers mit einem Kraftsensor mit vier Freiheitsgraden

2. Struktur des Greifers mit integrierten Kraftsensor

Die Struktur des Greifers ist in Abbildung 1 (CAD Bild) dargestellt. Es handelt sich um eine Greiferzange. Ziel ist es, die drei Kraftkomponenten und die Schliesskraft des Greifers zu messen, möglichst nahe am Berührungspunkt von Instrument und Gewebe. Acht

miniaturisierte Dehnmessstreifen (rot) werden an den Messbrücken aufgeklebt. Der Entwurf wurde mittels Finite Elemente Analyse (FEM) in Bezug auf Entkoppelung und Signalstärke optimiert. Die Struktur besteht aus Edelstahl 304, üblich für viele chirurgische Instrumente.

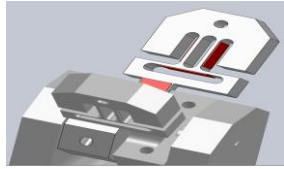


Bild 1. Struktur des Greifers mit Kraftsensoren.

Die Dehnmessstreifen, die im Greifer integriert sind, sind auf die markierte Anlagefläche der Abbildung 1 eingezeichnet. Die Greifkraft wird durch Subtraktion der entsprechenden Einzelkräfte jedes Armes berechnet.

Der Greifer wird in einem chirurgischen Roboter-System integriert. Das gesamte Robotersystem ist über Kabel angetrieben mit Motoren, die außerhalb des Körpers vom Patienten platziert werden können. Dies ermöglicht eine höhere Kraft auf die Spitze des Instrumentes. Durch die gewählte Position des Kraftsensors ganz am Ende des Instrumentes fallen alle potentiellen Störkräfte (Kabelreibungen usw.) aus der Messschleife heraus.

3. Elektronik

Die Dehnmessstreifen werden in Halbbrückenkonfiguration eingesetzt und sie sind so Temperaturunabhängig. Jede mechanische Messbrücke ist mit zwei gepaarten Elementen beidseitig bestückt. Zur Verbesserung der Störfestigkeit wird die AD-Wandlung der Signale möglichst nahe an den DMS auf einer 7x9 mm grossen Leiterplatte noch im Roboterarm durchgeführt. Diese Platte (Abb. 2) enthält einen 24 Bit Sigma Delta Analog/Digital Wandler von Linear Technology, (2.5 Volt rauscharme Referenz, niedrige Spannungsdrift (0.25 ppm).

So kann auf Vorverstärkung verzichtet werden, was bei den extrem engen Platzverhältnissen von Vorteil ist. Eine Verbindung mit dieser Platte wird mit Hilfe eines SPI Serie-bus realisiert. Dazu wurde eine auf dem ATMEL Mikrokontroller basierte Platte zum Erstellen einer USB zur SPI Schnittstelle entwickelt.



Bild 2. PCB verwendete für Spannungsmessungen und Greifer

4. Experimente

Zunächst wurde der Greifer durch Anbringen einer konstanten Gewichtskraft an jedem der beiden Greiferarme je in x, y, z-Richtung kalibriert. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt. In diesem Experiment konnte auch die Koppelung der mechanischen Freiheitsgrade untereinander identifiziert werden. Die Koppelung haben wir durch folgende Matrix $A \in \mathfrak{R}^{3 \times 3}$ dargestellt: $Y = X \times A$, wo $X \in \mathfrak{R}^{3 \times 1}$ der Vektor der angewandten Kräfte ist, $Y \in \mathfrak{R}^{1 \times 3}$ die Belastung auf jedem Dehnmessstreifen-paar.

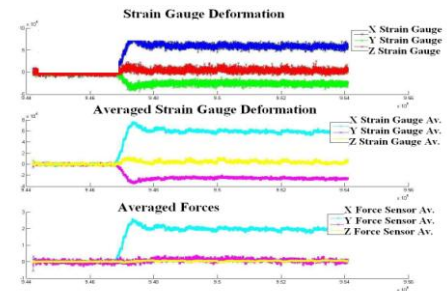


Bild 3. Kalibrierung durch Gewichtskräfte

5. Künftige Arbeiten

In künftigen Arbeiten an diesem Sensor sollen die Parameter der vollständigen Übertragungsmatrix durch statistische Auswertung einer Vielzahl von Messungen identifiziert werden, und zwar inklusive Schliesskraft der Greiferzange. Auch die praktischen Probleme der feinen Kabelführungen, des Anbringens der DMS und der Biokompatibilität müssen noch besser gelöst werden.

6. Literatur

- [1] G. S. Guthart and J. K. Salisbury, Jr., "The intuitive™ telesurgery system: Overview and application," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, 2000, pp. 618–621.
- [2] S. Uranues, H. Maechler, P. Bergmann, S. Huber, G. Hoebarth, J. Pfeifer, B. Rigler, K.-H. Tscheliessnigg, and H.-J. Mischinger, "Early experience with telemanipulative abdominal and cardiac surgery with the Zeus™ Robotic System," *Euro. Surg.*, pp. 190–193, June 2002.
- [3] M. Mitsuishi, S. Tomisaki et al.: Tele-micro-surgery system with intelligent user interface, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1607- 1614, April 2000.
- [4] Seibold, U., Kuebler, B., Hirzinger, G. Medical Robotics, chapter Prototypic force feedback instrument for MIRS., 2008
- [5] Santos-Carreras L, Beira R , Sengül A , Gassert R and Bleuler H. Influence of Force and Torque Feedback on Operator Performance in a VR-Based Suturing Task. 2010. *Applied Bionics and Biomechanics. Special Issue in Surgical Robotics. (To be published)*