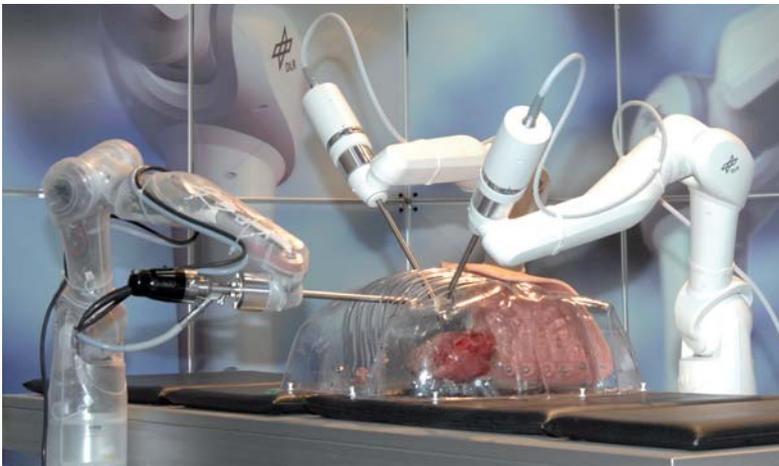


Entwicklungsbericht DLR-MiroSurge

Roboter mit Feingefühl

Im Gegensatz zu anderen telechirurgischen Systemen erlaubt das MiroSurge-Robotersystem ein freies Arbeiten des Operateurs ohne nennenswerte Einschränkungen. Der Prototyp wird auf der Automatica vom 08.-11.06.2010 in München vorgestellt.



Prototyp eines ferngesteuerten Roboters bei einer Herzoperation: Die Instrumente werden wie bei der echten minimal invasiven OP-Technik durch kleine Öffnungen im Modell des Brustkorbs eingeführt. Der Chirurg steuert die zwei weißen Roboterarme mit beiden Händen über Manipulatoren von einer Konsole aus, der transparente Roboter im Vordergrund hält die miniaturisierte Kamera.

Der minimal invasiven Operationstechnik (MIC) wird zu Recht eine große Zukunft im 21. Jahrhundert prophezeit, doch momentan hat diese „Schlüssellochchirurgie“ noch viele Limitationen. Sie bedarf einer langen Lernphase, weil sie anstrengend und kompliziert ist: Der Chirurg muss oft stundenlang über einen Patienten gebeugt stehen und darf dabei das Videobild auf dem Monitor nicht aus den Augen lassen. Besonders schwierig ist es, den so genannten Chopstick-Effekt zu beherrschen: Wie beim Essen mit Stäbchen begrenzt nämlich der Einstichpunkt in der Körperhülle die Beweglichkeit der langen Instrumente, so dass einige Bewegungen in ihrer Richtung umgekehrt oder maßstäblich reduziert werden.

Dies führt dazu, dass der Operateur bisher oft unnatürlich ausladend hantieren musste, um höchst sensible Tätigkeiten wie Schneiden und Nähen im Körperinneren durchzuführen.

Mit einem modernen, Roboter-gestützten MIC-System wird es möglich, vergleichsweise entspannt an einem Operationspult zu sitzen und den Chopstick-Effekt zu kompensieren, so dass sich der Chirurg auf das eigentliche Operieren konzentrieren kann.

Das MiroSurge-Projekt wurde im Jahre 2006 am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen begonnen. Grundkomponente des am Institut für Robotik und Mechatronik entwickelten Systems ist der Medizinroboter MIRO, ein auf chirurgische Anwendungen zugeschnittener Roboterarm in Leichtbauweise. Aufgrund seines geringen Gewichts von zehn Kilogramm kann er von nur einer Person auf- und abgebaut werden. Der dem menschlichen Arm nachempfundene Aufbau mit sieben Gelenken erlaubt ein flexibles Positionieren im Operationsaal. Durch intelligente Sensorik folgt der Roboter feinfühlig den Vorgaben des OP-Personals, so dass eine Beschädigung

der OP-Ausrüstung oder Gefährdung des Patienten ausgeschlossen ist.

Die Anordnung der Roboterarme und -gelenke ist für eine Vielzahl von Anwendungen, insbesondere in der Kardio- und Viszeralchirurgie ausgelegt. Bewusst wurde eine einfache Schnittstelle für chirurgische Instrumente geschaffen, damit Drittanbieter den Roboterarm als Plattform für Eigenentwicklungen nutzen können.

Operieren mit Rückkopplung

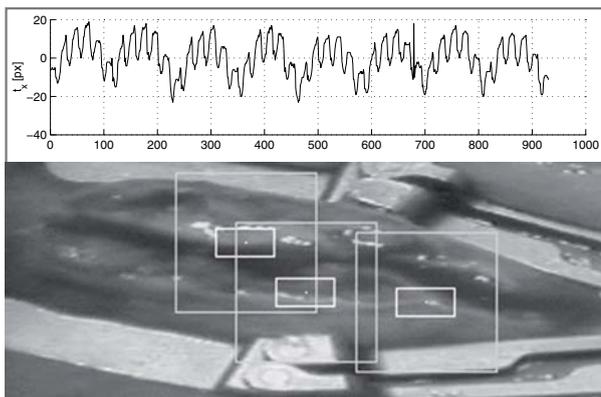
Im MiroSurge-System arbeiten drei MIRO-Arme zusammen, zwei übertragen die Kommandos der rechten und linken Hand des Chirurgen in den Patienten und übernehmen so das eigentliche Operieren, und der dritte führt die endoskopische Stereokamera. Die bereits verfügbaren Zangeninstrumente DLR-MICA bieten zwei zusätzliche Freiheitsgrade im Inneren des Patienten, besitzen Kraft- und Drehmomentsensoren und haben ihre eigene Antriebstechnik. Dadurch erhält der Operateur eine ähnlich große Beweglichkeit wie bei der offenen Chirurgie. Dank miniaturisierter Instrumente mit einem Durchmesser von nur zehn Millimetern wird der Patient deutlich weniger als bei offener Chirurgie traumatisiert.

Ein Alleinstellungsmerkmal des Systems sind die winzigen, sterilisierbaren Kraft- und Drehmomentsensoren, die die im Patienten auftretenden Manipulationskräfte realistisch erfassen. Bei Pinzetteninstrumenten wird zusätzlich auch die Greif-

kraft gemessen. Der Chirurg kann diese Kräfte beim Bedienen der Manipulatoren nach Wunsch entweder fühlen oder auch visuell erfassen. Haptische Handcontroller (Fa. Force Dimension) ermöglichen durch Kraftrückkopplung ein buchstäblich „feinfühliges“ Arbeiten im Operationsgebiet. Alternativ können die auftretenden Kräfte als Augmented-Reality-Komponente in das Stereobild eingeblendet werden. Mit dieser Anordnung wird eine technisch einfachere Schnittstelle ohne haptische Kraftrückkopplung erprobt: Der Chirurg führt nachgebildete Instrumente wie Pinzette oder Skalpell in der Hand, deren Bewegung von externen Kameras erfasst und auf die Instrumente im Körperinneren übertragen wird.

3D-Ansichten ohne Brille

Ein zentraler Punkt für das Gefühl des Chirurgen, direkt am Patienten zu arbeiten, ist die räumliche Darstellung des Operationsgebietes. Die Sicht aus dem Patienteninneren liefert ein Stereoendoskop, das eine 3D-Darstellung ermöglicht (Fa. Richard Wolf). Dabei kommen sowohl stereoskopische Displays mit den üblichen Polarisationsbrillen als auch neuartige 3D-Displays (Fa. SeeFront) zum Einsatz, für die keine zusätzliche Brille nötig ist. Die



Eine endoskopische Kamera erfasst die Bewegung der Herzoberfläche. In diesen Trajektorien überlagern sich die langsamen Atmungswellen mit dem schnelleren Herzschlag. Im unteren Bildteil sind die entsprechenden Landmarken zur Bewegungserfassung dargestellt.

Bilder der endoskopischen Stereokamera werden vom Monitor in Segmente geteilt und abwechselnd in das linke und rechte Auge des Betrachters gelenkt. Um die Bewegungsfreiheit des Operateurs auch in diesem Falle zu gewährleisten, entwickelt das DLR eine robuste Technologie, die die Kopf- und Augenbewegungen mit Kameras erfasst und den Abstrahlwinkel der gesendeten Bilder entsprechend anpasst. Damit kann der Chirurg ohne Zusatzbrille vor einem 3D-Display operieren.

Kompensation der Herzbewegung

Als Anwendung einer teilautonomen Roboterfunktion soll abschließend die Bewegungskompensation für Operationen am schlagenden Herzen vorgestellt werden. Der Einsatz der minimal invasiven Chirurgie erscheint hier aus zwei Gründen sinnvoll: Der Brustkorb des Patienten muss nicht eröffnet werden, und man kann auf den Einsatz einer Herz-Lungen-Maschine verzichten.

Die Bewegungskompensation erfolgt im MiroSurge-Szenario durch Verarbeitung des Bildstroms der endoskopischen Kamera. Mit computergestützter Bildverarbeitung werden ausgewählte Positionen auf der Herzoberfläche, sogenannte natürliche Landmarken, erkannt und in

Echtzeit verfolgt. Man erhält auf diese Weise detaillierte Informationen über Herzbewegung und Atmung. Die Bewegung der Landmarken liefert dem MiroSurge-System die Grundlage für die Präsentation eines ruhenden Bildes auf dem Monitor. So kann der Chirurg an einem virtuell stillstehenden Organ arbeiten und selbst feinste Tätigkeiten wie das Nähen einer Herzkranzarterie



Die MiroSurge-Eingabestation besteht aus 3D-Bildschirm und zwei haptischen Geräten.

durchführen. Die robotergeführten chirurgischen Instrumente werden entsprechend der Bildkorrektur dem bewegten Organ so nachgeführt, dass auch diese im dargestellten Bild ruhend erscheinen. Die Zuverlässigkeit der Bewegungskompensation kann durch zusätzliche, mit der Herzbewegung korrelierende Signale wie EKG und Beatmungsparameter erhöht werden.

Zur Demonstration der Bewegungskompensation wurde ein bewegtes Herzmodell aufgebaut, das die Simulation realer Szenarien ermöglicht. Dieses für Praxistests entwickelte MiroSurge-Szenario wird auf der Automatica einem großen Publikum vorgestellt (s.S. 65). In den nächsten Jahren soll die Entwicklung der MIRO-Arme mit all den Optimierungs-, Reglereinstellungs- und Sicherheitsaspekten sowie den anstehenden medizinischen Zulassungen abgeschlossen werden. Danach ist geplant, MiroSurge in ein OP-Gesamtsystem zu integrieren und marktreif zu machen – zum Nutzen von Ärzten und Patienten und im Interesse der Grundlagenforschung in Robotik und Mechatronik. 🌸



Dipl. Inf. Martin Gröger, martin.groeger@dlr.de

Dipl.-Ing. Ulrich Hagn, ulrich.hagn@dlr.de

DLR Oberpfaffenhofen