

**6. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
24.-25. März 2006 in Rostock-
Warnemünde**



„MR-kompatible Robotik“

Robert Riener, Ningbo Yu, Thomas Villgrattner
Rehabilitation Engineering Group, ETH und Universität Zurich, Switzerland
E-Mail: riener@control.ee.ethz.ch

Band: Abstracts der Vorträge des 6. Workshops der Automed 2006
Editors: T. Ellerbrock
ISBN: 3-86009-296-0
Pages: 1-2

MR-kompatible Robotik

Robert Riener, Ningbo Yu, Thomas Villgrattner
Rehabilitation Engineering Group, ETH und Universität Zurich
8092 Zürich, Schweiz

riener@control.ee.ethz.ch

EINLEITUNG

In den letzten Jahren erlangte die Magnetresonanztomographie (MRT) eine enorme Bedeutung in der medizinischen Diagnostik, der therapeutischen Planung und den Neurowissenschaften. Wegen der starken magnetischen Felder und den damit einhergehenden störenden Wechselwirkungen (hohe Kräfte, Bildartefakte), können jedoch die meisten medizintechnischen Geräte und Instrumente nicht im MRT Scanner verwendet werden.

Anhand zahlreicher Beispiele werden verschiedene MR-kompatible Techniken präsentiert, welche die Durchführung bildgestützter chirurgischer Eingriffe (z.B. Biopsien) ermöglichen oder funktionelle Bildgebung (z.B. Messung von Hirnaktivitäten) unterstützen können.

HERAUSFORDERUNG

Problematisch bei der Verwendung von Robotertechnologie innerhalb eines Kernspintomographen sind die hohen Kräfte auf ferromagnetische Materialien und die daraus hervorgehende potentielle Gefährdung von Personen. Außerdem kann durch die starken Felder die Funktionalität des Roboters beeinträchtigt werden. Umgekehrt kann der Roboter auch die Magnetfelder des Scanners beeinflussen, wodurch sich die Bildqualität verschlechtern kann. Hinzu kommen dann noch geometrische Herausforderungen wegen der beengten Platzverhältnisse innerhalb des bildgebenden Bereichs.

MR-KOMPATIBLE ROBOTER: ÜBERSICHT

Bestehende MR Robotersysteme lassen sich i.a. in drei Komponenten einteilen: Einem MR-kompatiblen Manipulator, einer nicht MR-kompatiblen Auswert- und Steuereinheit sowie einer energie- und/oder informationsübertragenden Verbindung zwischen den beiden ersten Komponenten.

In dieser Arbeit werden bestehende Systeme anhand ihres Aktuierungsprinzips klassifiziert. So werden in der Literatur einige Ansätze mit einer pneumatischen Kraftübertragung vorgestellt [1-4]. Da die Steuerventile nicht MR-kompatibel sind, müssen diese in sicherer

Entfernung zum MR-Scanner, besser noch außerhalb des Untersuchungsraumes positioniert werden, wodurch sich Leitungslängen von bis zu 10 m ergeben. Infolge der Komprimierbarkeit der Luft ergeben sich daher besondere Anforderungen an die Regelungstechnik.

Diesen Nachteil kann man durch den Einsatz einer hydraulischen Kraftübertragung teilweise umgehen [5-7]. Jedoch ist der technische Aufwand bei hydraulischen Systemen deutlich größer. Hinzu kommt das Risiko, dass Öl aus Leckagen austreten und so den Scannerraum verschmutzen kann. Ein Ansatz ist bekannt, bei dem Wasser statt Öl verwendet wird (H. Krebs, MIT, persönliche Korrespondenz).

In anderen Arbeiten [8, 9] wird die Kraft mittels Seilzüge aus Karbonfasern übertragen. Die Verlegung der Seilzüge durch Umlenkrollen kann sich jedoch als konstruktiv aufwendig erweisen. Außerdem neigen die Seile häufig zu störenden Schwingungen. Systeme mit Seilzügen sind meistens sehr groß und unhandlich.

Ultraschall- bzw. Piezomotoren eignen sich sogar dazu direkt im Scannerbereich integriert zu werden, so dass lange Kraftübertragungswege vermeidbar sind [10-14]. Jedoch sind Ultraschallmotoren nicht rücktreibbar und die Performance bei langsamen Bewegungen ist eingeschränkt.

Andere Antriebe basieren auf der Basis elektrostriktiver Polymere. Diese Aktoren erlauben jedoch nur binäre Schaltzustände [15,16]. Durch Hintereinanderschaltung mehrerer solcher Aktoren lassen sich auch komplexere Schaltzustände erzielen. Diese Antriebsart befindet sich noch in der Entwicklung.

Einige wenige Gruppen verwenden elektromagnetische Antriebsprinzipien. Unter Ausnutzung des statischen Magnetfelds des Scanners können stromdurchflossene Spulen zu Vibrationen angeregt werden [17, 18] oder kontinuierliche Kraftverläufe erzeugen [19]. Die Größe der erzeugbaren Kräfte ist aber stark limitiert, da bei zu großen Strömen Bildartefakte auftreten. Vibrationen können auch durch piezoelektrische Antriebe erzeugt werden [20,21].

Ein weiterer Ansatz [22] nutzt ebenfalls das statische Magnetfeld des MR-Scanners: Drei auf der Spitze eines Katheters aufgebrachte orthogonal zueinander stehende Spulen werden dabei so mit Strom durchflossen, dass sich die Orientierung der Katheterspitze bildunterstützt

einstellen lässt. Der Vorschub des Katheters erfolgt von Hand.

Die meisten Roboter funktionieren ohne sensorische Rückmeldung. Neue Anwendungen erfordern aber immer häufiger eine exakte Regelung. Kräfte und Bewegungen können dabei vorzugsweise auf optischem Wege gemessen werden.

SCHLUSSBEMERKUNGEN

Trotz der großen Herausforderungen gibt es bereits erste Ansätze Robotertechnologie in den Kernspintomographen zu übertragen. Der technischen Leistungsfähigkeit und Qualität sind jedoch – je nach Antriebsart – Grenzen gesetzt. Die klinische Evaluierung steht in den meisten Fällen noch aus.

LITERATURHINWEISE

- [1] A.-C. Zappe, T. Maucher, K. Meier, and C. Scheiber, "Evaluation of a pneumatically driven tactile stimulator device for vision substitution during fMRI studies" *MRM Magnetic Resonance in Medicine*, vol. 51, no. 4, pp. 828-834, 2004.
- [2] R. Brigs, I. Dy-Liacco, M. Malcolm, H. Lee, K. Peck, K. Gopinath, N. Himes, D. Soltysik, P. Browne, and R. Tran-Son-Tay, "A pneumatic vibrotactile stimulation device for fMRI" *Magnetic Resonance in Medicine*, vol. 51, pp. 640-643, 2004.
- [3] S. Golaszewski, F. Zschiegner, C. Siedentopf, J. Unterrainer, R. Sweeney, W. Eisner, S. Lechner-Steinleitner, F. Mottaghy, and S. Felber, "A new pneumatic vibrator for functional magnetic resonance imaging of the human sensorimotor cortex," *Neuroscience Letters*, vol. 324, pp. 125-128, 2002.
- [4] E. Taillant, J.-C. Avila-Vilchis, C. Allegrini, I. Bricault, and P. Cinquin, "CT and MR compatible light puncture robot: Architectural design and first experiments" *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MIC-CAI)*, vol. 3217, pp. 145-152, 2004.
- [5] G. Ganesh, R. Gassert, E. Burdet, and H. Bleuler, "Dynamics and control of an MRI compatible master-slave system with hydrostatic transmission" *ICRA IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 2, pp. 1288-1294, 2004.
- [6] E. Burdet, R. Gassert, G. Gowrishankar, D. Chapuis, and H. Bleuler, "fMRI compatible haptic interfaces to investigate human motor control" *Proc. 9th International Symposium on Experimental Robotics (ISER)*, 2004.
- [7] D. Kim, E. Kobayashi, T. Dohi, and I. Sakuma, "A new, compact MR-compatible surgical manipulator for minimally invasive liver surgery" *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI)*, pp. 164-169, September 2002.
- [8] S. Golaszewski and C. Siedentopf, "Functional magnetic resonance imaging of the human sensorimotor cortex using a novel vibrotactile stimulator" *NeuroImage*, vol. 17, no. 1, pp. 421-430, 2002.
- [9] A. Krieger, R. Susil, C. Menard, J. Coleman, G. Fichtinger, E. Atalar, and L. Whitcomb, "Design of a novel MRI compatible manipulator for image guided prostate interventions" *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 52, pp. 306-313, Februar 2005.
- [10] K. Chinzei, N. Hata, F. Jolesz, and R. Kikinis, "Surgical assist robot for the active navigation in the intraoperative MRI: Hardware design issues" *IROS IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, vol. 1, pp. 727-732, 2000.
- [11] B. Larson, A. Erdman, N. Tsekos, E. Yacoub, P. Tsekos, and I. Koutlas, "Design of an MRI-compatible robotic stereostatic device for minimally invasive interventions in the breast" *Transactions of the ASME*, vol. 126, pp. 458-465, August 2004.
- [12] Y. Koseki, T. Washio, K. Chinzei, and H. Iseki, "Endoscope manipulator for transnasal neurosurgery, optimized for and compatible to vertical open MRI" *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI)*, pp. 114-121, 2002.
- [13] D. Louw, T. Fielding, P. McBeth, D. Gregoris, and G. Sutherland, "Surgical robotics: A review and neurosurgical prototype development" *Neurosurgery*, vol. 54, pp. 525-537, March 2004.
- [14] A. Fischer, S. Kutter, J. Vagner, A. Felden, S. Peiderer, and W. Kaiser, "Robitom II: Robot for biopsy and therapy of the mamma" *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp. 2530-2534, 2004.
- [15] J. Vogan, A. Wingert, J. Plante, S. Dubowsky, M. Hafez, D. Kacher, and F. Jolesz, "Manipulation in MRI devices using electrostrictive polymer actuators: With an application to recon_gurable imaging coils" *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2498-2504, April 2004.
- [16] A. Mazzone, R. Zhang, and A. Kunz, "Novel actuators for haptic displays based on electroactive polymers" *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pp. 196-204, 2003.
- [17] S. Graham, W. Staines, D. Plewes, and W. McIlroy, "New device to deliver somatosensory stimuli during functional MRI" *MRM Magnetic Resonance in Medicine*, vol. 46, pp. 436-442, September 2001.
- [18] J. Bishop, G. Poole, M. Leitch, and D. Plewes, "Magnetic resonance imaging of shear wave propagation in excised tissue" *JMRI*, vol. 8, pp. 1257-1265, 1998.
- [19] R. Riener, T. Villgrattner, R. Kleiser, T. Nef, S. Kollias, "fMRI-compatible electromagnetic haptic interface" *IEEE EMBS*, Shanghai, Sept. 2005, p. 1106-1109, 2005.
- [20] G. Harrington, C. Wright, and J. Hunter-Downs-III, "A new vibrotactile stimulator for functional MRI" *Human Brain Mapping*, vol. 10, pp. 140-145, July 2000.
- [21] G. Fleury, D. M. de Lima, K. Hynynen, R. Berriet, O. L. Baron, and B. Huguenin, "New piezocomposite transducers for therapeutic ultrasound" *SPIE*, vol. 4954, pp. 227-236, 2003.
- [22] T. Roberts, W. Hassenzahl, S. Hetts, and R. Arenson, "Remote control of catheter tip detection: An opportunity for interventional MRI" *MRM Magnetic Resonance in Medicine*, vol. 48, pp. 1091-1095, December 2002.