

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



**„Regelungskonzepte für fluidisch betriebene
Handprothesen“**

M. Reischl, S. Beck, R. Mikut, A. Lehmann, J. Martin, S. Schulz
Institut für Angewandte Informatik, Forschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe, Deutschland
E-Mail: markus.reischl@iai.fzk.de

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: 16-17

Regelungskonzepte für fluidisch betriebene Handprothesen

M. Reischl, S. Beck, R. Mikut, A. Lehmann, J. Martin, S. Schulz

Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Angewandte Informatik
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

markus.reischl@iai.fzk.de

EINLEITUNG

Steuerbare Handprothesen (Funktionsprothesen) werden gegenwärtig durch Muskelaktivitäten (EMG (ElektroMyoGrafie)-Signale) im Armstumpf des Prothesenträgers bedient. Durch Schwellwertdetektionen werden Bewegungsabsichten des Anwenders erkannt. Die Geschwindigkeit der Öffnungs- bzw. Schließbewegung der Prothesenhand hängt dabei von der Amplitude des EMG-Signals ab [Bock00]. Nachteile kommerzieller Prothesen bestehen in der geringen Anzahl ausführbarer Bewegungen, dem hohen Gewicht und eingeschränkten Möglichkeiten der Kraftregelung. Dies führt zu einer Ablehnung von 30% aller Funktionsprothesen [Silcox93].

Die hydraulisch angetriebene Handprothese des Forschungszentrums Karlsruhe ermöglicht hingegen eine Vielzahl unterschiedlicher Griffe aufgrund hochbeweglicher, flexibler Fluidaktoren [Schulz01] bei geringem Gewicht. Die Bedienung der damit möglichen Griffarten erfordert allerdings die Erweiterung bestehender Ansteuerungskonzepte bezüglich der

- Kommunikation zwischen Mensch und Prothese und der
- Regelung der hohen Anzahl der Freiheitsgrade der Hand.

BEWEGUNGSDETEKTION

Um Patienten eine große Anzahl verschiedener Griffarten zugänglich zu machen, wurde eine Plattform zum patientenindividuellen Entwurf myoelektrischer Steuerungsstrategien entwickelt. Das Konzept basiert auf einer Zuordnung von dem System angelegten EMG-Signalverläufen (Schaltsignale) zu den unterschiedlichen Griffarten der Prothese [Reischl02]. Durch diese Schaltsignale definiert der Patient die gewünschte Griffart.

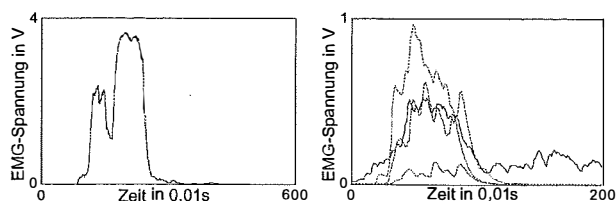


Abb. 1: Schaltsignale: vorgegebener Verlauf eines Sensors (links) sowie Schaltsignal durch mehrere Sensoren (rechts).

Schaltsignale können aus einfachen Codierungen (vorgegebener Verlauf einer Muskelkontraktion) oder aus einem komplexen Zusammenspiel einzelner Muskelgruppen (Drehen des Unterarms, Abb.1) bestehen. Weiterhin kann das gesamte Signal oder nur ein vorgegebener Zeitrahmen zur Bestimmung der gewünschten Griffart verwendet werden.

Nach der Auswahl einer Griffart kann der Patient diese durch Kontraktionen der Unterarmflexoren bzw. -extensoren schließen bzw. öffnen. Die Kokontraktion beider Muskelgruppen führt in den neutralen Zustand. Ein Zustandsautomat koordiniert dabei die zeitlichen Abläufe von Bewegungsauswahl, -ausführung und Rückkehr in eine neutrale Stellung (Abb. 2).

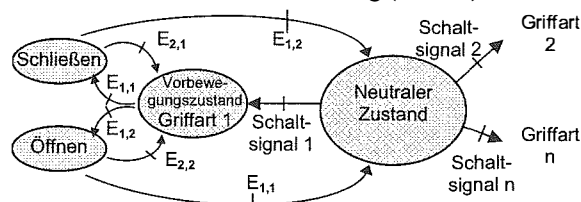


Abb. 2: Zustandsautomat zur Ausführung von Bewegungen: $E_{1,1}$: kontrahierte Unterarmflexoren, $E_{1,2}$: kontrahierte Unterarmextensoren, $E_{2,1}$: relaxierte Unterarmflexoren, $E_{2,2}$: relaxierte Unterarmextensoren

Die Interpretation von Schaltsignalen geschieht durch ein Klassifikationssystem, das offline mittels aufgezeichneter Schaltsignale angelemt wird. Im Einzelnen geschieht dies durch

- eine Merkmalsextraktion, die repräsentative Kenngrößen aus den Schaltsignalverläufen extrahiert (relative Extrema, Zeitdifferenzen, Verhältnisse,...),
- eine Merkmalsbewertung und -reduktion, um mit einer reduzierten Anzahl von Merkmalen ähnliche Aussagegüten zu erreichen,
- eine modifizierte Diskriminanzanalyse, die die Dimension des Merkmalsraumes verringert und Schaltsignaltypen gegeneinander abgrenzt sowie
- einer Klassifikation durch Bayes-Klassifikatoren, neuronale Netze oder Fuzzy-Regelbasen [Reischl01].

Dem Offlineentwurf des Systems folgt eine automatisierte Quelltextgenerierung von entsprechenden Onlinealgorithmen.

Mittels einer Simulationsumgebung ist es dem Patienten möglich, das auf diese Weise entstandene Steuerungskonzept anhand einer virtuellen Prothese zu validieren, zusätzlich sind manuelle Parameteradaptionen im laufenden Betrieb möglich. Verschiedene Trainingsumgebungen bieten weiterhin die Möglichkeit das Konzept zu verinnerlichen.

POSITIONSREGELUNG

Um die Schließgeschwindigkeit der Prothese mit der Intensität des Muskelsignals des Patienten zu verknüpfen, wird derzeit eine Positionsregelung zur exakten Ausführung der gewählten Handbewegungen entwickelt. Über einen adaptiven PID-Regler und einen unterlagerten Druckregelkreis wird dabei der Fluiddruck im Aktor und damit die Position des Fingergelenkes geregelt [Beck02].

Hierzu wurde ein mathematisches Modell der hydraulisch betriebenen Fingergelenke bestehend aus Pumpe, Ventil, Aktor und Gelenk erstellt. Das Modell des Systems basiert auf theoretischen und experimentellen Betrachtungen der einzelnen Komponenten, einem entsprechenden Strukturentwurf des Gesamtsystems und der Validierung anhand von experimentellen Ergebnissen. Mittels eines Gradientenabstiegsverfahrens werden die Parameter des Modells optimiert, die Startwerte werden dabei aus den Ergebnissen der Experimente abgeleitet.

Neben der Positionsregelung ist es beim Greifen von empfindlichen Objekten notwendig, die einwirkenden Kräfte zu begrenzen. Mit der Kenntnis des Zusammenhangs zwischen Druck im Aktor und erzeugtem Drehmoment lassen sich über eine modellbasierte Begrenzung der Stellgröße des Positionsreglers auch die Momente der einzelnen Gelenke begrenzen. Hierzu wird über den aktuellen Gelenkwinkel und ein vorgegebenes maximales Moment der maximale Druck im Aktor berechnet. Der Regler schaltet somit bei Objektkontakt automatisch von Positionsregelung auf Momentenbegrenzung um. Ein zusätzlicher Kraftsensor ist für diese Funktionalität nicht notwendig.

Das maximale Moment der Gelenke soll nun wiederum proportional zum Muskelsignal des Patienten sein. Somit bestimmt das Muskelsignal zunächst die Geschwindigkeit, mit der sich die Finger einem zu greifenden Objekt nähern und nach erfolgtem Objektkontakt das maximale Moment der Fingergelenke. Der Patient kann also bei konstantem Muskelsignal ein robustes Objekt zügig mit hohen Momenten oder ein empfindliches Objekt langsam mit geringen Momenten greifen.

Der exakte Zeitpunkt des Objektkontaktes ist wegen der automatischen Umschaltung zwischen Positionsregelung und Momentenbegrenzung nicht bekannt. Um dem Patienten einen Feedback über Objektkontakt geben zu können, werden derzeit Algorithmen entwickelt, die ebenfalls modellbasiert mittels des aktuellen Aktormoments und der aktuellen Regeldifferenz Objektkontakt erkennen können.

ERGEBNISSE UND AUSBLICK

Im Gegensatz zu herkömmlichen Prothesensteuerungen hebt sich das vorgestellte Verfahren zur Bewegungsdetektion durch seine Fähigkeit ab,

- Bewegungsmuster zu erlernen und daraus
- automatisch Steuerungskonzepte zu erstellen.

Bislang wurden Versuche mit zwei Patienten durchgeführt, die gute Ergebnisse lieferten. Beide Patienten waren sofort in der Lage, das System zu bedienen. Die Fehlerquoten bei der Griffart-Erkennung lagen bereits nach 10 Minuten Training unter 10%.

Nach weiteren Optimierungen der Klassifikationsalgorithmen sowie deren Onlineimplementationen sollen ausgedehnte Patiententests die Güte des Verfahrens belegen.

Die Positionsregelung wurde bisher simulativ und experimentell an einem Teststand für Einzelgelenke erprobt, der Einsatz in der Prothese steht noch aus.

DANKSAGUNG

Die Autoren danken an dieser Stelle den Herren Dr. Gröll und Dr. Pylatiuk für wertvolle Diskussionen und Hinweise sowie den Mitarbeitern der Orthopädischen Universitätsklinik Heidelberg für tatkräftige Unterstützung.

LITERATURHINWEISE

[Beck02]

S. Beck; A. Lehmann; J. Martin; R. Mikut: Modellbildung und Fuzzy-Gelenkpositionsregelung für eine 5-Finger-Roboterhand mit flexiblen Fluidaktoren. In: *Proceedings 12. Workshop Fuzzy Systeme* (Mikut, R.; Reischl, M., Hg.), S. 177-191. Forschungszentrum Karlsruhe, FZKA 6767, 2002.

[Bock00]

"Technische Daten Otto Bock Hand," Otto Bock, 2000.

[Reischl01]

M. Reischl; R. Mikut; C. Pylatiuk; S. Schulz: Control strategies for hand prostheses using myoelectric patterns. In: *Proc. 9th Zittau Fuzzy Colloquium* S. 168-174, 2001.

[Reischl02]

M. Reischl; R. Mikut; C. Pylatiuk; S. Schulz; S. Beck; G. Bretthauer: Steuerungs- und Signalverarbeitungskonzepte für eine multifunktionale Handprothese. *Automatisierungstechnik (at)* 50 (6), S. 279-286, 2002.

[Schulz01]

S. Schulz; C. Pylatiuk; G. Bretthauer: A New Ultralight Anthropomorphic Hand. In: *International Conference on Robotics and Automation*, Seoul, 2001.

[Silcox93]

D. H. Silcox, M. D. Rooks, et al.: Myoelectric Prostheses. *The Journal of Joint and Bone Surgery*, 75A (12), S. 1781-1791, 1993.