

**8. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
20.-21. März 2009 in Berlin**



„Handrehabilitation mit einem Fingerexoskelett“

Andreas Wege, Konstantin Kondak
Fachgebiet Prozessdatenverarbeitung und Robotik, TU Berlin, Berlin, Deutschland
E-Mail: awege@pdv.cs.tu-berlin.de, kondak@pdv.cs.tu-berlin.de

Joachim Gülke, Martin Mentzel
Universitätsklinikum Ulm, Ulm, Deutschland

Copyright: VDI Verlag GmbH
Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 274 „Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin, 8. Workshop, Tagungsband“
Editors: Thomas Schauer, Henning Schmidt, Marc Kraft
ISBN: 978-3-18-327417-8
Pages: 37-38

Handrehabilitation mit einem Fingerexoskelett

Andreas Wege¹, Konstantin Kondak¹, Joachim Gülke² und, Martin Mentzel²

¹Fachgebiet Prozessdatenverarbeitung und Robotik, Technische Universität Berlin, Berlin, Deutschland

²Universitätsklinikum Ulm, Ulm, Deutschland

Kontakt: {awege,kondak}@pdv.cs.tu-berlin.de, {joachim.guelke,martin.mentzel}@uniklinik-ulm.de

Einleitung

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung eines innovativen Hilfsmittels für die Rehabilitation der Hand. Das Ziel war auf einer Basis existierender Funktionsmuster einen verbesserten Prototyp für medizinische Studien zu entwickeln. Diesem Gerät wurde eine technische Unbedenklichkeit bescheinigt, um klinische Studien an Patienten durchzuführen. In der Medizin ist ein Einsatz des Exoskeletts sowohl als diagnostisches Messinstrument als auch als therapeutische Bewegungsschiene denkbar.

Bisher erfolgt die Behandlung in der Regel durch Bewegungsübungen im Rahmen einer physiotherapeutischen Betreuung. Eine Anwendung dauert 20 Minuten. Aus Kapazitätsgründen sind meistens nicht mehr als drei Anwendungen pro Woche möglich. Die Beweglichkeit der Fingergelenke kann durch diese zeitlich sehr begrenzte Behandlung häufig nur sehr langsam oder gar nicht verbessert werden. Die Zeit der Arbeitsunfähigkeit des Patienten ist häufig unnötig lang. Mit Hilfe des Exoskeletts können die Bewegungsübungen mehrfach täglich in Eigenregie des Patienten erfolgen. Der Einsatz von Motorschienen hat sich bei Verletzungen im Bereich von Schulter und Kniegelenk bereits etabliert.

Bereits erhältliche Geräte, die eine Handrehabilitation unterstützen sind z. B. JACE H440, Ormed Artromot-F, Kinetec Maestra Portable und WaveFlex Hand CPM von Otto Bock. Diese können jedoch z.B. nicht alle Fingergelenke individuell ansteuern.

Auch für die Anwendung in der virtuellen Realität kommen Handexoskelette zum Einsatz. Ein Beispiel für ein kommerziell erhältliches System ist der CyberGrasp von Immersion, der über einen Antrieb pro Finger verfügt und eine haptische Interaktion mit der Umgebung ermöglicht. Beispiele für andere Handexoskelette sind der Rutgers Master II [1] und weitere Handexoskelette [2, 3].

Ein weiteres Problem bei der Rehabilitation sind Komplikationen. In einer Metastudie wurde festgestellt, dass bei herkömmlicher Therapie von Sehnenverletzungen ein hohes Maß an Komplikationen auftritt [4]. Neben Sehnenrissen kommt es insbesondere zu Versteifungen. Ursache für die hohe Komplikationsrate ist zum Teil die unzureichende Möglichkeit, das richtige Maß an Bewegung und Kräften auf die Hand auszuüben.

Die erarbeitete Technologie bietet eine Lösung für ein bisher unbefriedigtes medizinisches Bedürfnis: Die Fin-

ger der Hand sollen postoperativ im Rahmen der Rehabilitation für jeden Finger und jedes Gelenk individuell kontrolliert gebeugt und gestreckt werden. Hierbei werden Winkel und applizierten Kräfte so eingestellt, dass z. B. ein Reißen operierter Sehnen verhindert wird und die Bewegung der Finger therapeutisch korrekt ausgeführt wird.

Methoden

An der TU Berlin wurde ein Handexoskelett mit einer komplexen Mechanik und Seilzügen entwickelt. Das entwickelte Gerät umschließt die Hand des Patienten ähnlich wie ein Handschuh und erlaubt es, kontrolliert Kräfte auf die zu rehabilitierenden Finger auszuüben. Bei diesem Gerät können bis zu 20 Freiheitsgrade bidirektional angesteuert werden. Das Gerät verfügt über Winkelsensoren, Kraftsensoren und EMG-Sensoren zum Erfassen der elektrischen Muskelsignale. Abb.1 (links) zeigt das Funktionsmuster des Handexoskeletts mit dem eine Positionsregelung, eine Kraftregelung und eine EMG-Steuerung realisiert wurden [5].



Abb. 1: Links: Das Handexoskelett mit Unterstützung von allen Fingern. Rechts: Das Fingerexoskelett mit drei Kreisbogengelenken.

Für den Einsatz in einer Studie ist das Handexoskelett jedoch zu komplex. Deshalb wurde ein Fingerexoskelett mit einer verbesserten Mechanik auf der Basis von Kreisbogengelenken entwickelt (Abb. 1 rechts). Dieses unterstützt lediglich ein Finger in drei Freiheitsgraden und nur Positionsregelung, lässt sich jedoch in medizinischen Studien einsetzen. Eine Erweiterung durch andere Regelungsmodi und auf mehrere Finger ist jedoch ohne weiteres möglich. Grund- und Mittelgelenk erreichen eine Streckung von 90°. Das Endgelenk erreicht eine Streckung von 60 Grad. Zum Erhalt der Bescheinigung der sicherheitstechnischen Unbedenklichkeit im Sinne des Medizinproduktegesetzes ist eine Überarbeitung der Sicherheitstechnik erfolgt und eine technische Dokumentation inklusive Risikoanalyse des Geräts wurde angefertigt.

Die Fingergröße kann an den Patienten individuell angepasst werden, indem die Befestigung innerhalb von Langlöchern justiert wird. Die orthopädische Befestigung besteht aus einem festen Mittelhandorthese (einen festen Handschuh), an dem das Fingerexoskelett für Zeige-, Ring- und Mittelfinger befestigt werden kann. Die Befestigung an den drei Fingergliedern erfolgt mittels Klettbander – oder nötigenfalls mit individuellen Fingerauflagen.

Steuerung und Regelung

Das Steuerungssystem des Handexoskeletts beinhaltet Module für Positions- und Kraftregelung sowie ein Modul für EMG-basierte Steuerung. Die Positionsregelung bildet die Basis für die andere Regelungs- bzw. Steuerungsmodi.

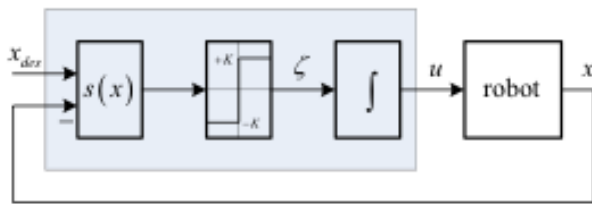


Abb. 2: Schema des Gleitmodus-Reglers für die Position- bzw. Trajektorienregelung

Die Positionsregelung ist durch einen Gleitmodus-Regler realisiert. Dank dem großen Verstärkungsfaktor dieses Reglers können schwer modellierbare Effekte wie z.B. Reibung der Seilzüge sowie Einflüsse von Seite des Patienten kompensiert werden. Der vorgeschlagene Gleitmodus-Regler, in Abb. 2 als grauer Block dargestellt, besteht aus einer Schaltfunktion und einem Integrator:

$$u = \int K \operatorname{sign}(s(e)) dt$$

Es kann gezeigt werden, s. z.B. [6], dass die Schaltebene

$$s(e) = C_q e + C_{\dot{q}} \dot{e} + C_{\ddot{q}} \ddot{e}$$

die asymptotische Bewegung des Positionsfehlers e zu Null entlang der Funktion e^{-kt} erzwingt, wenn die Konstanten wie folgt ausgewählt wurden:

$$C_q = k^2 \quad C_{\dot{q}} = 2k \quad C_{\ddot{q}} = 1$$

Ist der Fehler e nahe Null, schaltet der Ausgang ζ der Schaltfunktion in jedem Steuertakt zwischen $\pm K$. Die Verwendung des Integrals nach der Schaltfunktion glättet das Schaltsignal ζ und macht auf diese Weise die Verwendung der Regelung im Gleitmodus für mechanische Konstruktionen möglich. In [6] wurde gezeigt, dass der vorgeschlagene Gleitmodus-Regler für beliebig große Verstärkung K stabil bleibt und K nur durch die zulässigen Werte des Einganges u und durch die Totzeit des Systems beschränkt ist.

Die Kraftregelung setzen auf den Gleitmodus-Regler auf. Durch die große Verstärkung des Gleitmodus-Reglers, lässt sich das im Trajektorienmodus geregelte System als System zweiter Ordnung approximieren. Diese Approxi-

mation wird für die Auslegung der Kraftregelung verwendet. Die EMG-Signale werden für die Bestimmung der gewünschten Bewegung benutzt, die dann mit dem Gleitmodus-Regler realisiert wird.

Ergebnisse

Erste Erfahrungen mit dem Fingerexoskelett am Patienten konnten bereits in der Sektion Hand-, Plastische und Mikrochirurgie des Universitätsklinikum Ulm gewonnen werden. Die Beurteilung der Anwender und der zum Teil frisch operierten Patienten über das Anlegen, den Tragekomfort und das Empfinden der Übungen war durchweg positiv. Alle beübten Patienten standen eine Unterstützung der Physiotherapie durch den Einsatz des Exoskeletts positiv gegenüber. Zum Teil wurde die sanfte Bewegung als angenehmer im Vergleich zur Beübung durch den Physiotherapeuten empfunden. Geplant sind Therapiestudien mit Patienten bei definierten Verletzungsmustern, wobei die Behandlung mit dem Fingerexoskelett mit herkömmlicher Physiotherapie verglichen werden soll.

Zusammenfassung

Es wurden verschiedene Exoskelette für die Handrehabilitation mit passender Steuerung und Regelung entwickelt, von denen eines für den Einsatz in einer bald beginnende medizinischen Studien vorgesehen ist. Diese Studien soll zeigen, ob sich die erwarteten Vorteile ergeben.

Literatur

- [1] Bouzit, M.; Burdea, G.; Popescu, G.; Boian, R. ; The Rutgers Master II-new design force-feedback glove, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol.7, Iss. 2, June 2002, pp. 256-263
- [2] Sarakoglou, I.; Tsagarakis, N.G.; Caldwell, D.G.; Occupational and physical therapy using a hand exoskeleton based exerciser; *Intelligent Robots and Systems*, 2004. (IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ Int. Conf. on, Vol.3, Iss., 28 Sept.-2 Oct. 2004 pp. 2973- 2978 vol.3
- [3] Cetin, Alp MD; Dincer, Fitnat MD; Kecik, Abdullah MD; Cetin, Meral; Rehabilitation of Flexor Tendon Injuries by Use of a Combined Regimen of Modified Kleinert and Modified Duran Techniques. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 80(10):721-728, October 2001.
- [4] Nakagawara, S.; Kajimoto, H.; Kawakami, N.; Tachi, S.; Kawabuchi, I. ; An Encounter-Type Multi-Fingered Master Hand Using Circuitous Joints; ICRA 2005. *Proc. of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation* 2005, 18-22 April 2005 Pages: 2667- 2672
- [5] Andreas Wege, Günter Hommel: Development and Control of a Hand Exoskeleton for Rehabilitation of Hand Injuries; *Proc. of the 2005 IEEE/RSJ Int. Conf. On intelligent Robotter und Systems (IROS)*, 2005, pp. 3461-3466
- [6] K. Kondak, A. Wege, B. Stanczyk, M. Buss, G. Hommel: *Robust Motion Control for Fully Actuated Robots Using Sliding Mode*. at-Automatisierungstechnik, Oldenburg Verlag 2006, Heft 7.