



Mit Hand und Fuß

Exoskelette unterstützen Schenkel, Knie oder Hände

Von Christian Fleischer, Andreas Wege und Günter Hommel

An der TU Berlin arbeiten Forscher an so genannten Exoskeletten. Der Begriff ist aus der Biologie entliehen und beschreibt Skelette, die den Körper von außen stützen wie bei Insekten oder Krebsen. Höhere Lebewesen besitzen Endoskelette, sie sind im Körper integriert, als inneres Gerüst. Das Ziel der Wissenschaftler ist es, Menschen zu unterstützen, wenn sie durch Krankheit oder Unfall in ihren Bewegungen eingeschränkt sind.

Bereits die antike Sagenwelt kennt Helden, die mit übermenschlichen Kräften heroische Taten vollbringen. In Science-Fiction und in Hollywoods Filmen werden diese Kräfte häufig durch besondere Kleidung oder Ausrüstung bereitgestellt. So verbreitet dieses Thema in der Unterhaltungsbranche auch ist, es gibt weltweit nur wenige Forschergruppen, die sich damit beschäftigen. Serienmodelle zur aktiven und mobilen Unterstützung des Körpers sind nicht auf dem Markt. Dabei gäbe es zahlreiche Anwendungen für Exoskelette: Menschen, deren Bewegungsmotorik durch Krankheit oder einen Unfall eingeschränkt ist, könnten in der Rehabilitationsphase aktiv unterstützt und geführt werden. Gesunden Menschen könnten sie als Trage- oder Ausdauerhilfe bei der Arbeit oder in der Freizeit dienen. Ältere Menschen könnten in Alltagssituationen von ihnen Gebrauch machen, etwa beim Treppensteigen. Bei Computerspielen könnten sie helfen, dem Spieler die virtuellen Kräfte und Beschleunigungen fühlbar zu machen.

Im Fachgebiet Robotik der TU Berlin arbeiten die Wissenschaftler zurzeit an zwei unterschiedlichen Exoskeletten: Ein Modell umschließt Ober- und Unterschenkel und kann das Kniegelenk aktiv unterstützen. Das andere Modell wird wie ein Handschuh übergestreift und kann jedes einzelne Fingerglied bewegen. Obwohl beide Projekte in der Robotik angesiedelt sind, liegt das Hauptaugenmerk doch auf dem Rehabilitationsprozess von Patienten, was ein stark interdisziplinäres Arbeiten erfordert.

AUF DIE BEINE KOMMEN

Die Grundlage für die mechanische Konstruktion des Skeletts liefert eine handelsübliche Orthese, wie sie Medizintechniker nutzen. Diese Orthesen werden direkt vom Bein des Patienten abgeformt, um optimalen Tragekomfort zu bieten. Sie stabilisieren das Kniegelenk, etwa nach einer Operation oder um die Folgen einer Krankheit oder angeborenen Fehlstellung zu lindern.

Ausgestattet wurde diese Orthese nun mit einem Linearantrieb, der die Schalen des Oberschenkels und Unterschenkels miteinander verbindet. Mithilfe eines integrierten Elektromotors ändert dieser Antrieb seine Länge, indem er einen Kolben ausfährt. Dadurch wird eine Beugung oder Streckung des Kniegelenks bewirkt. Ein Computer übernimmt die Steuerung des Elektromotors und fährt die gewünschte Bewegung ab.

Doch woher weiß der Computer, welche Bewegung gewünscht ist? Die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine ist ein zentrales Problem dieser Technik: Sie muss fehlerfrei erkennen, welche Bewegung durchgeführt werden soll (aufstehen, hinsetzen, laufen, Treppen steigen ...). Sie muss robust sein gegen äußere Einflüsse durch Bodenkontakt, Anfassen eines Geländers oder Erschütterung. Werden diese Bedingungen nicht erfüllt, so kann es im günstigsten Fall zu einer holprigen Bewegung führen. Im schlimmsten Fall könnte der Träger der Orthese stürzen und sich verletzen.

MUSKELSPANNUNG: NUR WENIGE MIKROVOLT

Zudem bleibt wenig Zeit für die Erkennung der gewünschten Bewegung: Innerhalb weniger Millisekunden müssen die gewünschte Richtung und Bewegungsstärke erkannt werden. Eine Verzögerung etwa beim Laufen könnte dazu führen, dass der Fuß nicht rechtzeitig auf den Boden gesetzt wird und dadurch die Körperbalance kippt. Das wäre ein kleiner Fehler, aber mit schwerwiegenden Folgen. Deshalb muss das System in Echtzeit arbeiten. Das heißt: Die Berechnungen müssen innerhalb einer sehr kurzen Zeitspanne abgeschlossen sein.

Aber wo genau müsste eine solche Schnittstelle beim Menschen ansetzen? Die Bewegungen des Menschen sind oft hoch dynamisch. Um sie zu überwachen, ist ein so genanntes intuitives Interface notwendig.

Das Gehirn kennt die gewünschte Bewegung, nimmt die Umgebung wahr, etwa den Bodenkontakt durch die Fußsohle oder den Rempel eines ungestümen Passanten, und kontrolliert das eigene Gleichgewicht. Über die Nervenbahnen werden die Muskeln aktiviert, die sich anspannen und zusammenziehen, sodass die gewollte Bewegung entsteht. Innerhalb dieser Kette muss eine technische Unterstützung die Bewegung erkennen, je früher und genauer, desto besser.

Leider sind die Techniken zur Auswertung der Gehirnaktivitäten noch nicht weit genug fortgeschritten, um dort direkt den Bewegungswunsch abzulesen. Auch aus den Nervenbahnen können die

Informationen detailliert genug abgeleitet werden. Hat sich der Muskel erst einmal angespannt und eine Bewegung ausgeführt, könnte mithilfe eines Kraftsensors zwischen dem Bein des Patienten und dem Exoskelett diese Bewegung analysiert werden, allerdings stark gestört durch äußere Einflüsse.

Glücklicherweise gibt es aber eine weitere Möglichkeit: Wird ein Muskel angespannt, so ist auf der Haut oberhalb des Muskelkörpers eine leichte elektrische Spannung messbar, nur wenige Mikro-

volts des Muskels rechtzeitig signalisieren. Ein Computer fragt sie tausendmal in der Sekunde ab, filtert die Ergebnisse und wertet sie aus. Die gewünschte Bewegung wird berechnet und an einen Regler weitergegeben, der den Motor antreibt: Das Knie bewegt sich.

Leider kann man damit keinem Patienten helfen, dessen Beine gelähmt sind. In solchen Fällen sind das Gehirn oder die Nervenbahnen auf dem Weg zum Muskel bereits geschädigt. Die Informationskette ist vor den Sensoren innerhalb des



volt. Diese Spannung ist umso höher, je stärker der Muskel angespannt wird. Dabei muss nicht einmal eine Bewegung ausgeführt werden: Der Muskel kann zu schwach oder die Bewegung durch Hindernisse eingeschränkt sein. Dennoch lässt sich daraus der Wunsch nach einer Bewegung erfassen.

Beim Exoskelett am Bein sind an den wichtigsten Oberschenkelmuskeln spezielle Sensoren angebracht, die eine Akti-

Menschen unterbrochen. Noch fehlt einiges, um die angetriebene Orthese – das Exoskelett – einem Patienten ans Bein zu binden oder Versuche damit durchzuführen: Die Handhabung muss vereinfacht werden und bestimmte Mechanismen müssen sicherstellen, dass der Patient geschützt ist und ihn keine Fehlfunktion in Mitleidenschaft zieht. Bislang wurden die Modelle nur an gesunden Testpersonen geprüft.

Mechatronisches Exoskelett für die menschliche Hand, entwickelt und getestet an der TU Berlin

Da die Bandbreite der Schädigung von Patienten sehr groß ist, muss sich im Rahmen von Studien zeigen, für welche Gruppe eine Anwendung tatsächlich möglich und sinnvoll ist, denn das Exoskelett stellt relativ hohe Ansprüche: Der Orthesenträger muss selbstständig in der Lage sein, das Gleichgewicht zu halten und die nicht unterstützten Gelenke entsprechend zu bewegen. Ist dies aber erst einmal gegeben, können realitätsnahe Bewegungen eingehend trainiert werden, um die ursprüngliche Mobilität wieder zu erlernen. Daran anschließend kann das System mit den traditionellen Rehabilitationsmethoden verglichen werden, um zu sehen, inwiefern mit seiner Hilfe Verbesserungen erzielt werden können.

KRÄFTIG ZUPACKEN: TROTZ FILIGRANER TECHNIK

Auch das Exoskelett für die Hand und die Finger ist vorwiegend für die Rehabilitation gedacht. Die Befestigung an der Hand wird ähnlich wie die am Bein von einem Orthopädietechniker gefertigt. Aufgrund des begrenzten Platzes und der vielen möglichen Bewegungen, die ein Mensch mit der Hand ausführen kann, sind die Antriebe im Unterschied zum Exoskelett am Bein jedoch nicht direkt an den Gelenken untergebracht. Die einzel-

nen Gelenke werden deshalb über Bowdenzüge bewegt. Diese Bowdenzüge sind ähnlich denen, wie man sie von der Fahrradbremse kennt. Ein solcher Seilzug erlaubt jedoch nur, Zugkräfte zu übertragen. Um eine Bewegung der Fingergelenke in beiden Richtungen zu ermöglichen, werden jeweils zwei Bowdenzüge pro Fingergelenk verwendet: einer, um das Gelenk zu strecken, und einer, um es zu beugen. Motoren, die neben der Hand aufgestellt werden, ziehen an den Bowdenzügen und erlauben es, bis zu vier Freiheitsgrade für jeden Finger anzusteuern.

Für das Bewegen der Finger durch den Computer sind natürlich noch Sensoren notwendig. Sie erfassen die Winkel der Fingergelenke. Mit dieser Rückmeldung ist es dem Computer möglich, nahezu beliebige Bewegungsmuster der Hand zu erzeugen.

Wie könnte man nun ein solches Gerät in der Rehabilitation einsetzen? Heutzutage wird die Rehabilitation von Handverletzungen manuell von Physiotherapeuten durchgeführt. Das Ziel dieser Therapie ist es zum Beispiel, eine Vernarbung zu verhindern, die sonst eine freie Bewegung der Gelenke behindern könnte. Die Physiotherapeuten werden auch durch so genannte Bewegungsschienen unterstützt. Diese Geräte bewegen die Finger der Hand ähnlich wie das Exoskelett in

vorgegebenen Bahnen. Leider sind sie jedoch nicht individuell für die einzelnen Fingergelenke wählbar. Dies wäre nur durch ein speziell angepasstes Exoskelett möglich. Weitere Sensoren zum Messen der Kräfte können zusätzliche Rückmeldung über den Fortschritt des Patienten liefern. Außerdem wäre über das Auswerten dieser Daten auch eine automatische Anpassung der Übungen an den Reha-Fortschritt des Patienten denkbar. Letztendlich soll das Exoskelett auch das Wiedererlernen komplexer Bewegungsabläufe unterstützen, wie es zum Beispiel nach Schlaganfällen notwendig ist.

Bis das Exoskelett für die Hand an Patienten erprobt werden kann, muss jedoch noch einiges an Entwicklungsarbeit geleistet werden. Ähnlich wie beim Bein muss die Sicherheit der Patienten garantiert werden. Mit einer gesunden Hand ist es möglich, ungewollten Bewegungen durch eventuelle Fehlfunktionen zu widerstehen. Für Patienten muss dies jedoch nicht gelten. Auch muss die Bedienung für Ärzte und Patienten vereinfacht werden. Ein Traum wird es vorerst jedoch bleiben, mit dem Exoskelett Klavier zu spielen. Dabei würde die komplexe Mechanik des Gerätes zu sehr stören.

www.cs.tu-berlin.de

» Einblick

An der Schnittstelle zum Nutzer

Mitte der 90er-Jahre gründete die TU Berlin das Zentrum Mensch-Maschine-Systeme (ZMMS), um die Forschungen an der Nahtstelle zwischen Technik und Nutzer zu intensivieren. Das Zentrum verbindet die klassischen Ingenieursdisziplinen mit den Humanwissenschaften. Gleichzeitig wurde die Einrichtung des Fachgebietes Mensch-Maschine-Systeme beschlossen. Im ZMMS werden Forschungsvorhaben aufgenommen, die durch Dritte gefördert werden, etwa die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) oder die Industrie. Die Forscher erhalten Räume und Kommunikationstechnik. Bisher liefern Vorhaben zu Berichtssystemen, Verlässlichkeit und Sicherheitsmanagement, Entscheidungsanalyse und Unterstützungssystemen, Kognitiver Modellierung und Kompetenzentwicklung, Sprachverarbeitung und multimodalen Schnittstellen und

Systemevaluation. Zurzeit arbeitet am ZMMS die Forschergruppe »Mensch-Maschine-Interaktion in kooperativen Systemen der Flugsicherung und Flugführung«, die von der DFG finanziert wird. Die Volkswagen-Stiftung fördert eine Nachwuchsgruppe zu »Methoden zur Bedienermodellierung in dynamischen Mensch-Maschine-Systemen«. Im Herbst 2004 startete das Graduiertenkolleg »Prospektive Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion«, das gleichfalls von der DFG unterstützt wird. Alle drei Jahre unterzieht sich das ZMMS der Bewertung durch internationale Gutachtergruppen. Deren Empfehlungen entsprechend beschloss die TU Berlin im Frühjahr 2004, das ZMMS mindestens bis 2007 fortzuführen.

www.zmms.tu-berlin.de