

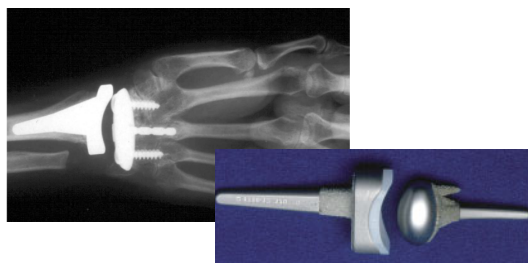
Entwicklung und Test von Handgelenk-Prothesen

- Zentrum für Orthopädische Biomechanik an der University of Bath, Großbritannien
- Entwicklung von Handgelenk-Prothesen für erfolgreichere Implantatchirurgie
- Ein Handgelenk-Simulator zum Testen der Entwürfe – geregelt mit dSPACE Prototypen

Die größte Herausforderung der modernen orthopädischen Chirurgie ist die erfolgreiche Nachbildung des menschlichen Handgelenks. Ein multidisziplinäres Team aus Chirurgen und Ingenieuren arbeitet an der University of Bath an den Hauptproblemen des Entwurfs einer neuartigen Handgelenk-Prothese. Ein wichtiger Aspekt dieser Arbeit ist die Entwicklung des Handgelenk-Simulators, der zum Testen der Funktionalität und Leistungsfähigkeit des prothetischen Handgelenk-Entwurfs eingesetzt wird. Mit dSPACE Prototypen konnte das Regelsystem für den Handgelenk-Simulator in kürzester Zeit und mit minimalem Aufwand entworfen werden.

Entwurf des Handgelenk-Simulators

Es war für uns eine große Herausforderung, eine Vorrichtung zu entwickeln, die zum Leistungsvergleich unterschiedlicher prothetischer Handgelenk-Entwürfe unter realen Belastungsverhältnissen eingesetzt werden kann. Ein Simulator war also notwendig, um typische Bewegungen und Belastungen eines menschlichen Handgelenks zu reproduzieren und gleichzeitig die auftretenden Kräfte zu messen. Heutige Handgelenk-Prothesen basieren auf dem Prinzip Kugel und Pfanne. Auskugeln des implantierten Gelenks unter Belastung,



▲ Handgelenk-Prothesen, die gegenwärtig produziert werden.

zum Beispiel durch Hochdrücken aus einem Sessel, stellt ein Hauptproblem dar. Daher sollte der Simulator unter anderem die für Gelenk auskugeln verantwortlichen Faktoren ermitteln.

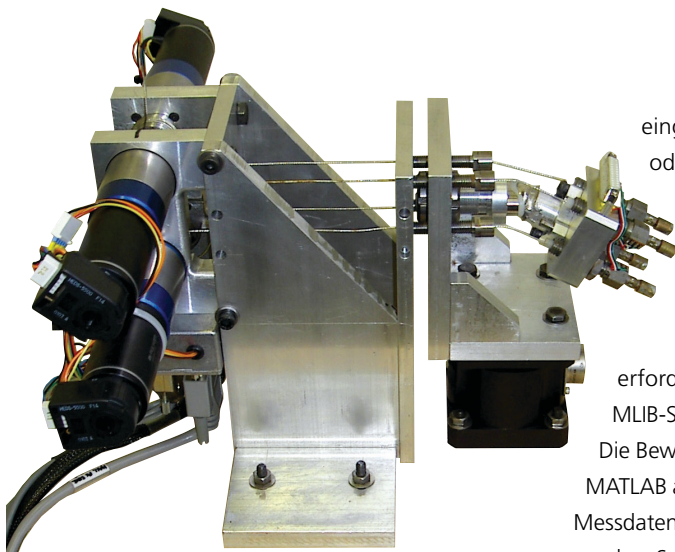
Die erste Version des Simulators ist modular aus Aluminiumblöcken aufgebaut und bildet die Hand samt Unterarm nach. In diesem Block sind die zwei Hälften der

Prothese befestigt. Vier Kabel sind so angeordnet, um die Hauptsehnengruppen im Handgelenk nachzubilden und die "Hand" zu bewegen. Die Kabel sind mit einem Ende auf eine Welle gewickelt, die durch ein Getriebe mit dem bürstenlosen Servomotor verbunden ist. Dieser dient zum Regulieren von Kabelbewegung und Zugspannung. Die anderen Kabelenden sind mit einer Kraftmessdose auf dem Handblock verbunden, um die Kabelspannungen zu regeln und die Werte an den Regelkreis zu melden. Mit dem Motor verbundene Inkrementalgeber speisen den Regler mit Motorpositionssignalen. Um externe Belastungen aufnehmen zu können, ist der Unterarmblock des Simulators auf einem 6-Achsen-Kraftaufnehmer angebracht.

Alle Kraft- und Motorpositionssignale werden von dSPACE Prototypen durch die hochauflösende A/D-Karte geregelt und vom Regelalgorithmus der dSPACE-Prozessor Karte verarbeitet. Die Ausgangssignale dieses Regelsystems treiben die Leistungselektronik des Motors an und bestimmen daraus das Drehmoment der Motoren.

Entwicklung der Regelalgorithmen

Aufgrund hoch gesteckter Projektziele und enger Zeitvorgaben musste das Regelsystem für den Handgelenk-Simulator innerhalb weniger Wochen einsatzbereit sein. Für den Aufbau der Hardware waren dagegen zuvor Monate vergangen. Erschwerend kam hinzu, dass der Regelalgorithmus ohne die Vorteile eines mathematischen System-Modells entwickelt werden musste, das



▲ Der Handgelenk-Simulator erlaubt das Testen und das Visualisieren neuer Prothesenentwürfe.

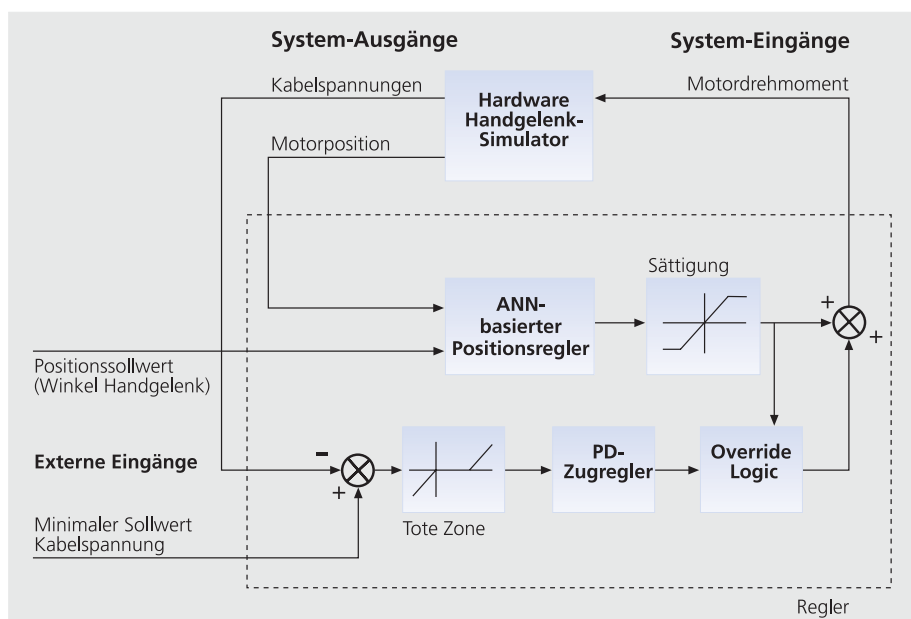
eingreifen, sobald die Sehnenkabel zu straff oder zu locker werden. Möglich ist das durch herkömmliches, hoch verstärktes PD-Feedback (Proportional-Differenzial). Der Regler wird manuell mit ControlDesk initialisiert. So können die Testroutinen der Prothese, die vordefinierte Handgelenkbewegungen erfordern, mit MATLAB®-Skript-Dateien und der MLIB-Schnittstellen-Bibliothek automatisiert werden. Die Bewegungsabläufe des Handgelenks werden aus MATLAB auf den Regler hochgeladen, wohingegen die Messdaten nach jedem Testdurchlauf heruntergeladen werden. So können Testdaten auch auf einfache Art und Weise innerhalb der MATLAB-Umgebung aufgezeichnet, angezeigt und verarbeitet werden.

normalerweise zum Simulieren und zum Aufbau von Algorithmen eingesetzt wird. Stattdessen wurde immer wieder direkt auf der Hardware entwickelt und getestet, was ohne den Einsatz von dSPACE Prototyper eine sehr zeitintensive und unsichere Aufgabe gewesen wäre. Das aktuelle System verwendet einen geschlossenen Positionsregler, der auf Algorithmen künstlicher neuronaler Netze (Artificial Neural Network, ANN) basiert. Externe Eingangssignale für den Algorithmus sind die zeitabhängigen Positionssollwerte eines angewinkelten Handgelenks. Die Kabelspannungen werden durch zusätzliche Regelkreise reguliert, die in die Steuerung

Ergebnis und Ausblick

Sowohl die Entwicklung eines Handgelenk-Simulators für Funktionstests als auch die Evaluierungen von Handgelenk-Prothesen werden dazu beitragen, beträchtliche Fortschritte in Richtung eines optimalen Designs zu erzielen, ohne dass Patienten unnötigen Risiken ausgesetzt werden müssen. Die fortwährende Entwicklung des Handgelenk-Simulators soll das Muskel- und Gewebeverhalten von Handgelenk und Arm immer präziser nachbilden. Um dieses Ziel erreichen zu können, war schnelles und effizientes Entwickeln und Implementieren des Regelsystems von größter Bedeutung, was durch den Einsatz von dSPACE Prototyper gelungen ist.

*Dr. Matthew Cole
Fachbereich Mechanical Engineering
www.bath.ac.uk/
ortho-biomechanics
University of Bath
Großbritannien*



▲ Blockschaltbild des Regelsystems. Die Regelalgorithmen laufen auf dSPACE-Hardware.