

FRANKENSTEINS ERBE

Im Forschungsprojekt Eccerobot arbeiten Wissenschaftler an einem humanoiden Roboter mit künstlichen Knochen, Muskeln und Sehnen, der seine eigene Dynamik erlernt.

VON NIELS BOEING



Ansatz für einen menschenähnlichen Roboter – mit Knochen, Sehnen und Muskeln.

„Wir wollen einen Roboter bauen, der nicht nur die Form eines Menschen nachahmt, sondern auch die innere Struktur und die Mechanismen des menschlichen Bewegungsapparates kopiert“, sagt Owen Holland, Robotiker an der University of Sussex in Großbritannien und Leiter des EU-Forschungsprojekts Eccerobot. Humanoide Roboter wie das bekannte Modell Asimo von Honda beeindruckten zwar seit Jahren die Öffentlichkeit, wenn sie auf Messen über Bühnen rennen, Menschen ausweichen oder ihnen die Hand schütteln. Doch folgen sie alle dem Konzept von Industrierobotern: Beine, Arme und Hände sind steife, metallische Gliedmaßen, die direkt von Elektromotoren gedreht und gebeugt werden.

Obwohl dieser Ansatz inzwischen beachtlich gut funktioniert, hat er zwei entscheidende Nachteile: Zum einen nehmen die Datenmengen zu, je leistungsfähiger die Roboter werden. Denn je fließender die Bewegungen, desto genauer müssen die Positionen der einzelnen Gliedmaßen berechnet werden. Zum anderen ist ein Roboter mit einer „steifen“ Konstruktion wie der Asimo im Wesentlichen nichts anderes als ein intelligenter Computer, der eine Maschine steuert. Das Problem dabei: Diese Maschine hat, anders als ein Mensch, kein „Körpergefühl“. Die Vorstellung vom eigenen Körper ist aber eine wesentliche Voraussetzung, um lernen zu können. Lernen wiederum ist notwendig, um individuell auf verschiedene Situationen zu reagieren und mit der Umgebung in Austausch zu treten. Ein Robot-Butler im Haushalt oder ein Helfer für Menschen mit Behinderungen sollte aber genau das können. Solche möglichen Einsätze für Eccerobot sind angedacht, auch wenn es bei dem Projekt in erster Linie um Grundlagenforschung geht.

„Ein großer Teil dessen, was beim Menschen als abstrakte Intelligenz gilt, ist aber tatsächlich in seinem Körper verankert“,

etwas schwerfällig schwenkt der Arm aus, begleitet von einem mechanischen Ächzen. Glotzend folgt das klobige Auge der Bewegung der knöchernen Hand, in die der Arm mündet. Auch wenn das noch ungeltenk aussieht, überkommt den Betrachter ein leichter Schauer. Man erkennt deutlich die Wirbelsäule und das Brustbein, während der offene Torso sich bewegt. Doch dieses Skelett ist nicht etwa ein neues animiertes Werk des „Plastinators“ Gunther von Hagens, der in den vergangenen Jahren mit Ausstellungen präparierter Leichen Schlagzeilen machte. Es ist ein völlig neuer

sagt Holland. Das bedeutet: Unsere Fähigkeit, zu lernen und Entscheidungen zu treffen, ist nicht losgelöst von den Bewegungen unseres Körpers, sondern wird durch diese mitgeformt. Dabei haben wir in jedem Augenblick auch ein „internes Modell von uns selbst“, wie Holland es nennt. Wir sind also keine Descartes'schen Wesen, in denen Körper und Geist getrennt sind.

Diese Erkenntnis ist an sich nicht neu und war der Ausgangspunkt für den Ansatz des „Embodiment“ (Verkörperung) in der Robotik seit den frühen 1990er-Jahren. Damals begann der MIT-Forscher Rodney Brooks mit seiner Gruppe, Roboterköpfe wie „Cog“ zu bauen, die über eine künstliche Mimik Emotionen simulieren konnten. Im Kontakt mit Menschen sollten sie aus deren Reaktionen Verhalten lernen, das irgendwann zu einer künstlichen Intelligenz führen könnte, so Brooks' Überlegung.

Letztlich zeigte sich aber, dass auch diese „verhaltensbasierten“ Roboter konzeptionell noch zu simpel ersonnen waren. Als Owen Holland vor einigen Jahren ein Forschungsprojekt zum „Maschinenbewusstsein“ startete, entschied er sich daher für eine möglichst menschenähnliche Konstruktion: den Roboter-torso Cronos, der nun zum Eccerobot weiterentwickelt wird. Der neue Prototyp zeichnet sich durch ein Skelett aus, an dem Muskelapparate sitzen. Die Knochen bestehen aus dem thermoplastischen Kunststoff Polymorph. Er wird bei einer Temperatur von 60 Grad weich und lässt sich dann beliebig formen. Abgekühlt wird Polymorph wieder fest und kann Zugkräften gut widerstehen, behält aber dennoch eine gewisse Elastizität bei.

Der Arm des Roboters ist aus zwei solchen Plastikknöcheln gebaut, an denen „Muskeln“ befestigt sind: Ein Muskel besteht aus einem Elektromotor mit Getriebe, Drachenschnur und einem Gummiband, wie man es für Kraftübungen oder als Befestigung für Fahrrad-Gepäckträger nutzt. Die Drachenschnur verbindet die Spindel auf dem Getriebe mit dem Gummiband, das auf der anderen Seite am Knochen fixiert ist. Um den künstlichen

Muskel anzuspannen, dreht der Motor über das Getriebe die Spindel, auf der sich die Drachenschnur aufrollt. Dabei zieht sie über das elastische Gummiband langsam den „Unterarm“ heran (siehe Grafik).

Je zwei dieser Muskeln werden von einem eigenen Mikrocontroller-Board gesteuert, das ungefähr die Rechenleistung eines Handys hat. Weil die künstlichen Muskeln durch das Gummiband elastisch reagieren, benötigen sie zusätzlich jeweils einen Kraftmesser, der ihre Spannung misst. Die Steuerung dieses Systems wird von der Gruppe von Alois Knoll am Lehrstuhl für Robotik und Echtzeitsysteme der TU München entwickelt.

„Aus der Sicht eines Ingenieurs ist das Prinzip von menschlichen Muskeln Mist“, sagt Rob Knight von The Robot Studio, der Firma, die den Roboter baut. Denn aufgrund ihrer Elastizität vergrößern sie eigentlich die Komplexität des Bewegungsapparates, zumindest dann, wenn man diesen ausschließlich als Rechenproblem sieht. Energetisch hingegen sei die Elastizität von Vorteil, weil man aus der Schwingung eines Arms wieder Energie zurückgewinnen könne, die den nächsten Bewegungsvorgang unterstützt, sagt Knight. Er verdeutlicht dies an einem Beispiel: Dank dieses Zusammenspiels müsse ein Mensch beim Gehen nur 50 Watt Leistung aufbringen – der durch und durch steife Honda Asimo hingegen 2000 Watt.

Auch für das maschinelle Lernen ist das Muskelkonzept interessant. „Wenn Sie einen Arm hochheben, verändert auch Ihr restlicher Körper vollständig seine Haltung“, sagt Rolf Pfeifer von der Uni Zürich, der mit seinem AI Lab (Artificial Intelligence Laboratory) ebenfalls am Eccerobot-Konzept beteiligt ist. Die Bewegungen der Körperteile stehen miteinander in Beziehung. Verbindet man die entsprechenden sensomotorischen Daten mit denen des Sehsystems, also der Kamera, gibt es zwischen ihnen Korrelationen, die erkannt werden können – ungefähr so, wie Neuronen verschiedener Hirnpartien bei einer Bewegung gleichzeitig feuern. Auf diese Weise könne der Roboter allmählich seine Dynamik selbst lernen und ein „Wissen“

über seinen Körper aufbauen, sagt Pfeifer. Dieses Lernverfahren basiert auf sogenannten neuronalen Netzen und wird nach dem kanadischen Psychologen Donald O. Hebb (1904 bis 1985) „Hebb'sches Lernen“ genannt.

Eccerobot soll zunächst ein Oberkörper bleiben, aufgesetzt auf eine Plattform mit Rädern. Derzeit befindet sich die Steuer-elektronik des Roboters noch in einem externen Gehäuse, soll jedoch später über dessen Körper verteilt werden. Langfristig sei das Ziel, einen humanoiden Roboter mit zwei Beinen zu bauen, der wie ein Mensch gehen kann, sagt Owen Holland. Bis dahin dauere es noch mindestens zehn Jahre, wahrscheinlich länger. „Aber irgendwann“, so Holland, „wird das kommen.“

Der Arm des Eccerobot ist dem Bau- und Bewegungsprinzip eines menschlichen Arms nachgebildet.

