

WISSEN



ROBOTER SOLLEN MENSCHLICHER WERDEN

Menschliche Maschinen

Humanoide Roboter laufen und agieren nicht nur nach menschlichem Vorbild – sie sollen künftig auch auf ihre Interaktionspartner eingehen und deren Stimmung und Gefühle berücksichtigen. Aus unterschiedlichen Richtungen nähert man sich diesem Ziel. **VON DR. KLAUS MANHART**

Einen Roboter, dessen Körperteile während des Betriebs ausgetauscht werden können, hat die Welt noch nicht gesehen. Im Juni dieses Jahres wurde Myon, so der Name des Technikwunders, in Berlin der Öffentlichkeit vorgestellt. Der vom Labor für Neurorobotik der Humboldt-Universität entwickelte, 1,25 Meter große und 15 Kilogramm schwere Roboter funktioniert selbst dann noch, wenn man Arme und Beine komplett abnimmt. Auch die Gliedmaßen arbeiten weiter, wenn man sie vom Rumpf trennt.

Die Modularität hat für die Forschung viele Vorteile, sagt Dr. Manfred Hild, unter dessen Leitung der humanoide Roboter entstanden ist. „So können Verhaltensweisen wie das Gehen zunächst an einer isolierten Gliedmaße, wie etwa an einem einzelnen Bein, entwickelt werden und dann Stück um Stück zu einem Gesamtverhalten weitergeführt werden.“ Auch lassen sich Teile unter Robotern austauschen – falls zum Beispiel mal der Arm wirklich zu kurz ist. Myon zeichnet aber nicht nur seine Modularität aus. Er soll auch lernen und so immer

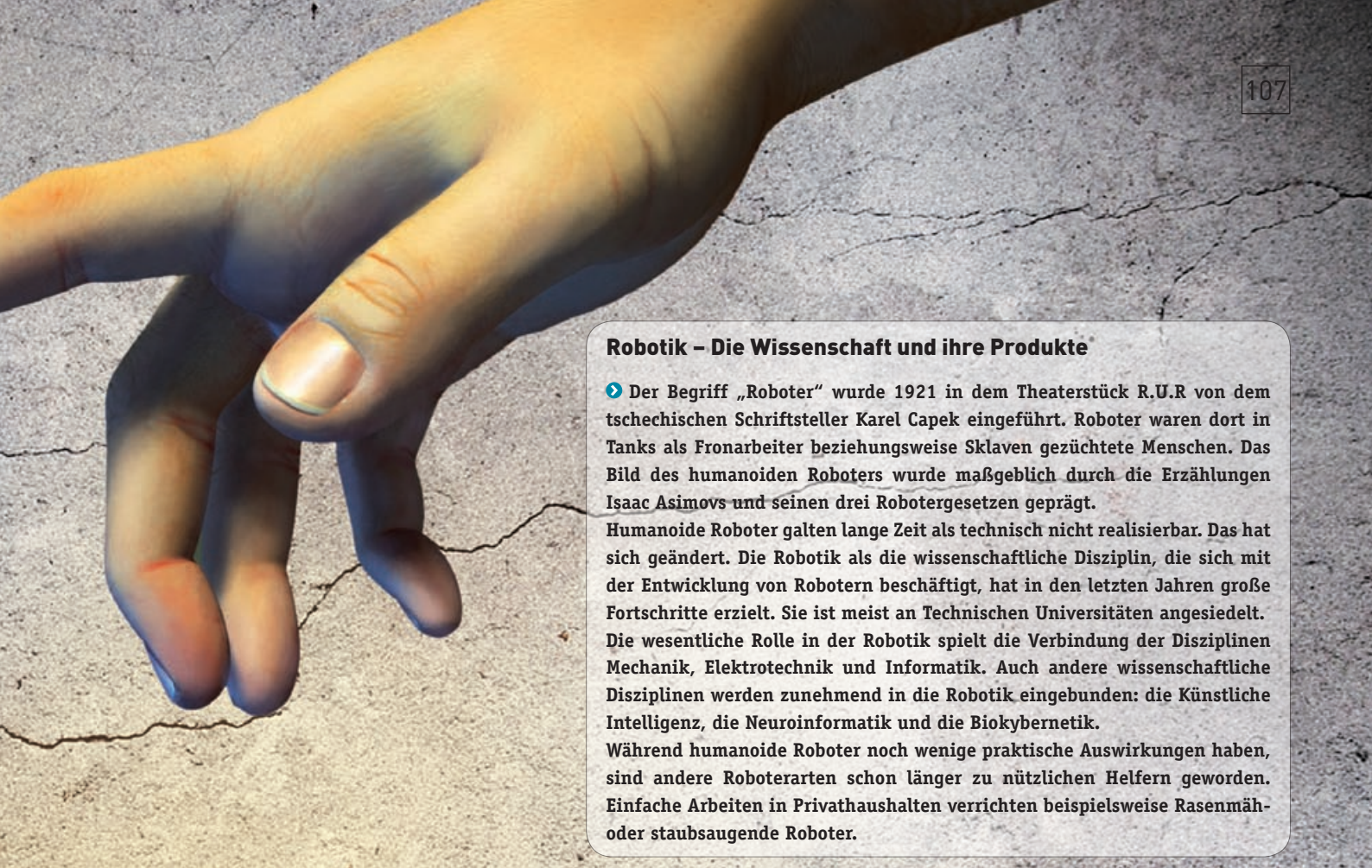
intelligenter werden. So wenig wie möglich bekommt der Roboter vorgegeben. Wie bei einem Kleinkind, das strampelt und langsam feststellt, welche Bewegungen erfolgreicher sind als andere, soll sich Myon Schritt für Schritt eine bessere Fortbewegung aneignen. Gleichzeitig soll er auch menschlich-kognitive Eigenschaften entwickeln und Interaktionspartnern möglichst freundlich und aufmerksam gegenüber treten. Damit das alles klappt, verfügt der Roboter über ein neuronales Netz ähnlich dem Nervennetz von Menschen. Mit Hilfe dessen und den entwickelten Programmen wird Myon immer selbstständiger – und menschenähnlicher.

Alle Jahre wieder – Fußball-WM der Roboter

Modulare, nach dem Vorbild von Menschen lernende Roboter wie Myon sind der aktuelle Trend in der Robotikforschung. Dabei ist Myon nur einer von hunderten von humanoiden Robotern, die zur Zeit die Forschungslabors der ganzen Welt bevölkern. Sie sind die realen Brüder der fiktiven Star-Wars-Droiden R2-D2 und C-3PO.



Abnehmbare Arme: Sind Myons Gliedmaßen zu kurz, können sie im laufenden Betrieb ausgetauscht werden. Quelle: HU Berlin



Robotik – Die Wissenschaft und ihre Produkte

► Der Begriff „Roboter“ wurde 1921 in dem Theaterstück R.U.R von dem tschechischen Schriftsteller Karel Capek eingeführt. Roboter waren dort in Tanks als Fronarbeiter beziehungsweise Sklaven gezüchtete Menschen. Das Bild des humanoiden Roboters wurde maßgeblich durch die Erzählungen Isaac Asimovs und seinen drei Robotergesetzen geprägt.

Humanoide Roboter galten lange Zeit als technisch nicht realisierbar. Das hat sich geändert. Die Robotik als die wissenschaftliche Disziplin, die sich mit der Entwicklung von Robotern beschäftigt, hat in den letzten Jahren große Fortschritte erzielt. Sie ist meist an Technischen Universitäten angesiedelt. Die wesentliche Rolle in der Robotik spielt die Verbindung der Disziplinen Mechanik, Elektrotechnik und Informatik. Auch andere wissenschaftliche Disziplinen werden zunehmend in die Robotik eingebunden: die Künstliche Intelligenz, die Neuroinformatik und die Biokybernetik.

Während humanoide Roboter noch wenige praktische Auswirkungen haben, sind andere Roboterarten schon länger zu nützlichen Helfern geworden. Einfache Arbeiten in Privathaushalten verrichten beispielsweise Rasenmäher- oder staubsaugende Roboter.

Die heutigen, zwischen 30 cm und 2 Meter großen menschlichen Maschinen können gehen, Treppen steigen, tanzen, Tablettwagen schieben, Essen servieren oder Trompete spielen. Und Fußball spielen: Der jährlich ausgetragene RoboCup-Wettbewerb ist die größte und bekannteste Robotikveranstaltung der Welt und gilt seit dem Start 1997 als ultimative Testumgebung für Roboter. Für menschenähnliche, bipede – also zweibeinige – Roboter wurde mit der Humanoid League ein eigener Wettbewerb geschaffen. Dort müssen die Teilnehmer neben einer menschenähnlichen Körperform eine entsprechende sensorische Ausstattung aufweisen – und möglichst gut Fußball spielen. Die Wettbewerbe in dieser Liga werden in den Größenklassen KidSize (<60 cm), TeenSize (100–120 cm) und AdultSize (>130 cm) ausgetragen.

Der Ballsport hat den Vorteil, dass sich die Versuchssubjekte in einer kontrollierten, dynamischen Umgebung zurechtfinden müssen – und das in Echtzeit auf Basis unvollständiger Information. Die Spieler müssen zudem ein dynamisches Laufverhalten auf zwei Beinen zeigen, gute Ballmanipulation, eine visuelle Wahrnehmung der Spielsituation und das Mannschaftsspiel koordinieren. Außerdem gibt es klare Sieger und Verlierer. Ziel der Forscher ist es übrigens, dass bis 2050 eine Roboter-Fußballmannschaft gegen den menschlichen Fußball-Weltmeister antritt – und gewinnt.

Der Mori-Effekt – Das unheimliche Tal

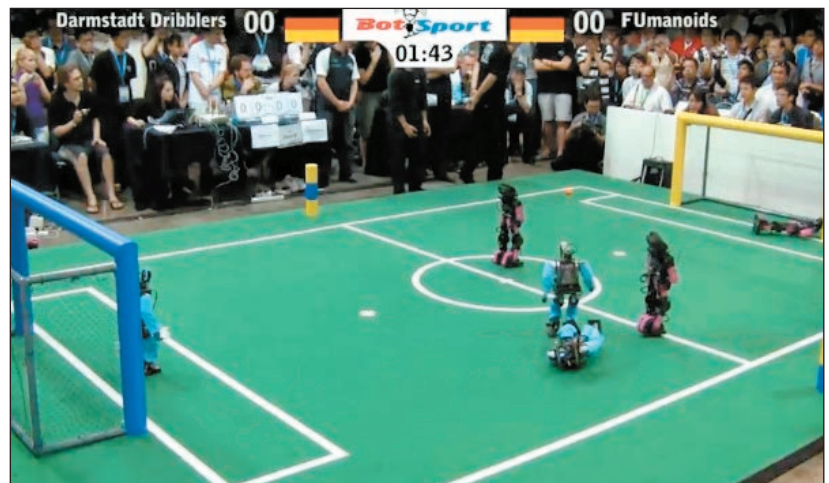
Bis es so weit ist, haben die Robotiker noch viel Arbeit vor sich. Für die Entwicklung möglichst intelligenter

humanoider Roboter muss ein ganzes Puzzle von Problemen gelöst werden. Sie müssen ihre Umgebung erkennen und dort autonom agieren, flexibel auf Veränderungen und möglichst auch auf Sprachbefehle reagieren sowie mit Menschen interagieren können.

Eine zweibeinige Form ist dabei nicht zwingend notwendig. Sollen die Roboter allerdings tatsächlich künftig vom Menschen auch als Sozialpartner akzeptiert werden, müssen sie möglichst menschenähnlich sein. Studien haben gezeigt, dass Roboter besser ankommen, wenn sie uns an unsere Artgenossen erinnern.

Allerdings darf die Kopie nicht zu perfekt sein. Der japanische Robotiker Masahiro Mori hat 1970 erstmals das paradoxe Phänomen beschrieben, dass Roboter umso

Finale des RoboCup 2010 in Singapur: In der KidSize Klasse gewannen die Darmstadt Dribblers der TU Darmstadt gegen die FUManooids der Freien Universität Berlin mit 7:1.



Die zweibeinigen Naos der französischen Firma Aldebaran Robotics sind die neue Standard-Plattform beim RoboCup.

Quelle: Aldebaran Robotics



sympathischer wirken, je menschenähnlicher sie aussehen. Das gilt aber nur bis zu einem gewissen Grad. Ist die Kopie zu perfekt, kippt der Effekt ins Gegenteil: Roboter, die uns optisch täuschend ähnlich sind, wirken plötzlich unheimlich. Dieses als „unheimliches Tal“ experimentell belegte Mori-Phänomen verknüpfte menschliche Interaktionspartner mit Ekel und Angst.

Dass Assistenzroboter uns bis zu einem gewissen Grad ähneln sollen, hat aber auch ganz praktische Gründe: Wollen wir Roboter bauen, die Menschen im Haushalt assistieren oder Senioren helfen, ihren Alltag zu bewältigen, dann müssen sie sich in unserer Lebensumgebung bewegen können. Und die ist stark durch unsere Körperform geprägt. Eine menschenähnliche Gestalt zusammen mit einem entsprechenden Verhalten ist in diesem Fall also deutlich von Vorteil.

Was Roboter brauchen

Humanoide Sozialroboter brauchen zunächst Augen und Ohren, und sie sollten über einen Tastsinn verfügen. Die Rolle der Augen können je nach Robotertyp und Aufgabenart zum Beispiel Laser- oder Infrarotsensoren übernehmen oder verschiedene Formen von Kamerasystemen. Stereokameras vermitteln dem Roboter ein Bild von der Umwelt. Ein mit Stereokamera ausgestatteter Roboter erkennt Menschen und Gegenstände an typischen Konturen, weiß was eine Tür, ein Gang oder ein Fahrstuhl ist. Für den Tastsinn, der für Beine, Arme oder Hände wichtig ist, gibt es heute verschiedene Sensortypen. Mikrofonsysteme verleihen Robotern Ohren.

Viele Forschungsthemen und Streitpunkte drehen sich derzeit um die Fortbewegung. Egal ob biped oder nicht – Human-Roboter sollten zumindest die Bewegungen eines Menschen imitieren. Die übliche Realisierung eines mobilen Roboters geschieht mit Hilfe von Rädern, Ketten oder Schienen. Sich auf zwei Beinen bewegende Roboter stellen eine große Herausforderungen sowohl an die mechanische Konstruktion als auch an die Kontrolle dar.

Den aufrechten, menschenähnlichen Gang beherrschen Roboter bis heute nur unter besonderen Bedingungen. Der Grund: Die Steuerung eines zweibeinigen Roboters hängt von sehr vielen Variablen ab, ist ungeheuer kompliziert und verlangt extremen Rechenaufwand. Die meisten heutigen Laufroboter bewegen sich da-

her noch in der typisch ruckartigen mechanischen Weise fort und lassen sich von kleinsten Bodenerhebungen aus dem Gleichgewicht bringen.

Die Humanoid-Liga als Königsklasse beim RoboCup gibt es beispielsweise erst seit 2002, weil die zweibeinige Fortbewegung viel schwerer ist als das Rollen auf Rädern oder der Gang auf vier Beinen. Allerdings wurde in der RoboCup Standard-Plattform League Sonys vierbeiniger Roboterhund Aibo inzwischen durch den Zweibeiner Nao von Aldebaran Robotics als Standard-Roboter abgelöst.

Das Gleichgewicht in den Füßen halten die etwa kniehoch großen Naos durch Drucksensoren sowie durch einen Trägheitssensor im Bauch, der aus einem Beschleunigungsmesser und einem Gyrometer besteht. Die Steuerung müssen die Teams selbst programmieren. Entwickler erhalten die Naos in einer Art Win-Win-Geschäft kostengünstig vom Hersteller, kommerziell sind sie ab etwa 3000 Euro erhältlich.

Gehen – Beispiel Asimo

Der bekannteste gehende Roboter ist Asimo von Honda. Asimo kann laufen und rennen, Treppen steigen und Menschen optisch und akustisch erkennen. Er spricht mit Menschen und reagiert auf Kommandos, erkennt Körperhaltung und Gesten, kann diese nachahmen sowie Begrüßungsgesten wie Händeschütteln, Verbeugung oder Winken simulieren.

Wichtigstes Ziel der Entwicklung war allerdings die autonome Fortbewegung auf zwei Beinen. Der 1,20 große und 54 kg schwere Roboter bewegt sich tatsächlich in einer dem menschlichen Gang ähnlichen Form biped mit einer Geschwindigkeit von etwa 2,7 km/h und kann mit bis zu 6 km/h rennen und auch Treppe steigen.



Hondas Roboter Asimo kann laufen, was allerdings nicht besonders natürlich aussieht. Quelle: Honda

Kommerzielle und Forschungsprojekte humanoider Roboter		
Asimo	Humanoider gehender Roboter von Honda	http://asimo.honda.com
BioBiPed	Gehender Roboter der TU Darmstadt	www.sim.informatik.tu-darmstadt.de/publ/ergebnis.php
Cog und Kismet	Sozialroboter des MIT mit Mimik und Empathie	www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group
Cronos	Roboter-Kopie des menschlichen Körpers	www.cronosproject.net
Dynamaid	Roboter der Uni Bonn erkennt, greift und nimmt Befehle entgegen	www.nimbro.net/robots.html
Eccerobot	Weiterentwicklung von Cronos	http://eccerobot.org
iCat	Imitiert menschliche Gesichtsausdrücke	http://aiweb.techfak.uni-bielefeld.de/files/2010_Eyssel_Mensch-Maschine-Interaktion_mit_Gefuhl_Poster.pdf
iCub	Offene Forschungsplattform des RobotCub-Projekts für Kognition	www.robotcub.org
Myon	Roboter mit abnehmbaren Körperteilen vom Institut für Neurorobotik, Humboldt Universität Berlin	www.neurorobotik.de
Nao	Bipeder Humanroboter und RoboCup-Standard-Plattform von Aldebaran Robotics	www.aldebaran-robotics.com
PR2	Greif-Roboter des US-Roboter-Unternehmens Willow Garage, nutzt ein Robot-Betriebssystem	www.willowgarage.com
RoboCup	Fußballturnier für mobile Roboter	www.robocup.org
RobotCub	italienisch/britisches universitäres Konsortium	www.robotcub.org
Allgemeines		
Die berühmtesten Humanoid-Roboter	http://sites.google.com/site/luisbeck007/humanoid6859845332	
Startportal für Roboter-Profis	www.roboter.com	

Die Entwicklung bis zum heutigen Modell war mühsam. Das erste Modell Eo konnte nur statisch gehen: Es verlagerte sein Gewicht auf einen Fuß und setzte dann den anderen nach vorne. Dieser Bewegungsablauf war sehr langsam. Eo brauchte für einen Schritt 5 bis 20 Sekunden. Aber schon das zweite Modell E1 konnte dynamisch gehen, das heißt, wie ein Mensch sein Gewicht nach vorne verlagern und dann, bevor er umfällt, ein Bein nachziehen.

Im Laufe der Entwicklung konnten die Modelle immer schneller und sicherer gehen. Weitere Erfolge waren das Treppensteigen, das Ausgleichen von Unebenheiten des Untergrunds und das Bewältigen von Steigungen. Nachdem die Roboter sicher gehen konnten, wurden die Modelle um Kopf, Arme und Oberkörper erweitert. Videoclips zu Asimo finden Sie auf der Honda-Website. Zum Gehen braucht Asimo einen möglichst flachen, glatten Untergrund und die Höhe der Treppenstufen muss vorher ermittelt werden – schlechte Voraussetzungen für einen praktischen Einsatz. Zudem wirkt der Asimo-Gang künstlich. Inzwischen arbeiten mehrere Forschungslabors daran, das Roboter-Gehen natürlicher zu gestalten und den heute üblichen „Plattfuß-Walk“ zu umgehen. Hierzu werden die künstlichen Füße differenzierter gestaltet und Motion Capture Verfahren zum Auslesen menschlicher Bewegungsabläufe angewendet. Ein Beispiel für solche neuere Ansätze ist das BioBiPed-Projekt der TU Darmstadt, ein Unterleibs-Roboter, der erst das Gehen und dann das Laufen lernen soll.

Greifen und Erkennen

Neben dem Gehen gehört auch der gezielte Einsatz von Armen zu den zentralen Forschungsprojekten von Robotikern. Schließlich sollen künftig Pflegeroboter Kranke und Behinderte vom Rollstuhl ins Bett hieven oder uns

ein Bier aus dem Kühlschrank holen. Mit konventionellen Industrie-Roboterarmen, die etwa Automobile montieren, geht so etwas nicht. Sie sind darauf optimiert, mit großer Ausdauer und Präzision ständig die gleichen Bewegungen zu wiederholen. Menschliche Alltags-Handbewegungen sind jedoch differenzierter, so dass andere Kriterien eine Rolle spielen. Viele Forschungsteams verwenden dabei als Testobjekte den zweiarmligen PR2 des US-Unternehmens Willow Garage.

Die Entwicklung von Ober- und Unterkörper erfolgt derzeit jedoch noch immer getrennt. Zu komplex sind die Probleme, um sie gemeinsam innerhalb eines künstlichen Körpers in den Griff zu bekommen. Beim RoboCup beispielsweise liegt der Scherpunkt beim Laufen, die Arme dienen nur zur Stützung des Gleichgewichts. Der gezielte Einsatz von Armen wird in einem Schwester-Wettbewerb, dem Robocup@home, getestet. In dem 2006 eingeführten Turnier steht neben der Arm-Manipulation die intuitive Interaktion mit Menschen im Mittelpunkt. Der Test erfolgt in einer nachgebildeten Wohnumgebung.

Zu den Aufgaben gehören das Öffnen einer Tür, das Suchen, Greifen und Bringen von versteckten Objekten und das (Wieder-)Erkennen unterschiedlicher Personen. Neuerdings verlassen die Haushaltsroboter auch die nachgestellte Wohnumgebung und gehen in einen realen Supermarkt einkaufen. Sie müssen dort Waren in den Regalen erkennen, herausnehmen und wieder mit heimbringen. Eine für uns Menschen alltägliche, für Roboter aber schwierige Aufgabe. Brilliert hat beim diesjährigen Robocup@home Dynamaid von der Uni Bonn. Dem Roboter gelang mit seinen beiden zweifingrigen Greifern als einzigem von zwölf Teilnehmern auf Befehl ein erfolgreicher Griff nach einer Getränke-dose im Regal. Hierzu war eine diffizile Zusammenarbeit von Sensoren und Greifern nötig.

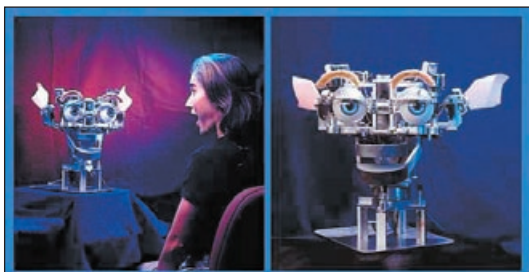


Dynamaid nimmt Befehle entgegen, greift und übergibt Objekte – auf Wunsch auch eine Dose Bier.

Foto: Nimbro/Uni Bonn

Kismet verfügt wie sein Verwandter Cog über mimische Ausdrucksmöglichkeiten.

Foto: Sam Ogden



Mimik und Empathie

Intuitiv für den Menschen muss auch die Kommunikation ablaufen. Wenn Roboter Menschen assistieren sollen, müssen Sie zumindest rudimentär seine Sprache verstehen und Dialoge mit Menschen führen können. Das beherrscht der eben erwähnte Dynamaid schon ganz gut. Über die Spracherkennung sind einfache Gespräche möglich, Befehle führt der Roboter sofort aus. Versteht er einen Befehl nicht, entschuldigt er sich und bittet um eine Wiederholung. Unter „Dynamaid in the Shopping Mall“ können Sie dazu ein Video auf Youtube sehen. Zur Kommunikation gehört aber auch die richtige Deutung von Gestik, Mimik und der Stimmung des menschlichen Gegenübers – zusammen mit einer adäquaten Reaktion. Dabei sollten Roboter eine gewisse Sympathie bei den Menschen auslösen.

Die emotionale Deutung der Mimik wird in vielen Labors erforscht. iCat, ein Roboter von der Universität Bielefeld, imitiert beispielsweise Gesichtsausdrücke von Menschen. Der Roboter setzt damit das von dem Gefühlsforscher Paul Ekman entwickelte Facial Action Coding System um, das Muskelbewegungen im menschlichen Gesicht in 46 Basic Action Units unterteilt. In Deutschland eifert Eddie von der TU München realen Menschen nach. Der Roboter analysiert die Mimik eines Menschen anhand von 113 Markierungspunkten im Gesicht, schließt daraus auf seinen Gefühlszustand und versucht, diesen nachzuahmen. Bei Überraschung etwa klappt er seine Ohren aus. Die Spiegelung der Emotionen gelingt manchmal, aber oft muss man auch raten.

Als Prototyp des mimisch agierenden Roboters gilt Cog. Der von einer Gruppe um den Robotik-Forscher Rodney Brooks vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) bereits in den 90er Jahren gebaute Roboterkopf verfügt über eine künstliche Mimik, die Emotionen simulieren kann. Zudem erkennt Cog die Gesichter seiner Betreuer. Betreten sie den Raum, wendet er sich ihnen zu und sieht sie an. Erscheint ein Fremder, blickt er nur kurz auf und widmet sich dann wieder seinem Spielzeug. Ähnlich wie ein Mensch kann Cog auch erkennen, ob er direkt angesehen wird oder nicht.

Sein Cousin Kismet hat ein Repertoire von sieben Gefühlskategorien: ruhig, angewidert, verärgert, traurig, interessiert, glücklich und überrascht. Die MIT-Forscher

programmierten den ebenfalls nur aus einem Gesicht bestehenden Roboter mit einem gut entwickelten „Sozialtrieb“. Wird er längere Zeit von niemandem angesprochen oder angesehen, wird sein Gesichtsausdruck traurig und er versucht, mit jedem Vorübergehenden Kontakt aufzunehmen. Sobald seine Augenkamera registriert, dass jemand stehenbleibt und ihn ansieht, wechselt der Gesichtsausdruck zu einem Lächeln und er erwidert den Blick. Diese Mimik des Roboterkopfes könnte es künftig Menschen erleichtern, Roboter als Partner zu akzeptieren.

Frankensteins Monster?

Cog, Kismet und der eingangs erwähnte Myon gehören zur Kategorie lernender Roboter, einer Entwicklung, die bereits in den neunziger Jahren begann. Der Grundanahme dabei: Roboter erreichen nur dann intelligentes Verhalten, wenn man sie wie Menschen lernen und sich entwickeln lässt. Wie einem Neugeborenen gibt man Robotern wie Cog und Myon zu Beginn nur einige grundlegende Fähigkeiten und Wahrnehmungsmöglichkeiten mit. Die neuronale Software sollte alles weitere aus den Interaktionen mit realen Menschen lernen.

Radikal auf die Spitze getrieben haben diesen Ansatz die Anhänger des Embodiment (Verkörperung). Sie glauben, dass das verhaltensbasierte Lernen von Cog und Co. nicht ausreicht, um wirklich intelligente Roboter zu erschaffen. Schließlich ist Intelligenz immer gebunden an einen Körper. Roboter, so die Auffassung der Embodiment-Bewegung, werden erst dann intelligent, wenn nicht nur menschliches Verhalten nachgeahmt wird, sondern die innere Struktur und Mechanismen des Menschen – sprich: der menschliche Körper mit Knochen, Muskeln und Sehnen – kopiert wird.

Konkretes Ergebnis dieser Philosophie ist der Roboter-torso Cronos, der inzwischen zum Eccerobot weiterentwickelt wurde. Der von Forschern aus Holland, Deutschland, der Schweiz und der französischen Firma The Robot Studio hergestellt Prototyp baut das Innere des Menschen nach. Dazu haben die Forscher künstliche Knochen, Sehnen und Muskeln entworfen.

Die Bewegungen der Körperteile dieses „anthropomimetischen“ Roboters 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 kann der Roboter allmählich seine Dynamik selbst lernen und ein „Wissen“ über seinen Körper aufbauen. Dieses Lernverfahren basiert auf neuronalen Netzen nach dem als „Hebb'sches Lernen“ bekannten Ansatz des kanadischen Psychologen Donald O. Hebb. Das Youtube-Video „Eccerobot“ demonstriert eindrucksvoll die Fähigkeiten des Roboters. Allerdings schlägt bei diesem menschenähnlichen Gerippe der Mori-Effekt voll zu: In Foren ist vielfach von Angst und Ekel zu lesen, die Zuseher beim Anblick des an Frankenstein-Geschöpfe erinnernden Kunstwesens empfinden.



Erinnert viele an Frankensteins Monster: Im „anthropomimetischen“ Eccerobot wird die menschliche Körperstruktur nachgebaut.

Quelle: Robotics and Embedded Systems