

Muskeln aus Gummi

Er wird weder Autos bauen noch Wohnungen putzen. Als erster anthropomimetischer Roboter soll ECCE vielmehr menschähnliche Bewegungen ausführen und einfache Handlungen erlernen können. Von Michael T. Ganz.

Für sein zartes Alter von fünf Jahren ist ECCE schon weit in der Welt herumgekommen – Sussex, Schanghai, Singapur. Dabei hat ECCE gar keine Beine und nur ein einziges Auge. Tritt er nicht gerade an einem internationalen Robotik-kongress auf, steht ECCE im Artificial Intelligence Lab (AI Lab) der Universität Zürich auf seinem Rollgestell und empfängt mitunter Besuch. Die erste Begegnung mit dem Roboter lässt einen allerdings erschauern. Denn ECCE ähnelt mehr einem menschlichen Skelett als einem jener blechnen Gesellen, wie wir sie aus Science-Fiction-Streifen kennen.

«Sehen Sie das Schultergelenk?», sagt Postdoc Hugo Marques und bewegt den aus Thermoplastik geformten Oberarmknochen des Roboters in alle Richtungen. «Da gibt es keine rigide Struktur, da ist nichts fixiert, genau wie beim Menschen.» Spannungsgummis aus dem Fahrradbedarf und Drachenschnur vom Spielzeughändler halten die Körperteile zusammen. Marques bedient Tasten, sirrend spannt ein Schraubenziehermotor die künstlichen Muskeln und Sehnen. ECCE hebt den Arm zum Gruss.

Die Hardware ist die Software

Das Geheimnis von ECCE heisst Compliance, Nachgiebigkeit, Geschmeidigkeit, Elastizität. Während bei humanoiden Robotern wie etwa Hondas berühmtem Asimo eine Unzahl von Motoren die starren Glieder in fest vorgegebener Weise bewegen, sind Arme, Hände und Finger von ECCE fast so beweglich wie jene des Menschen. Da gibt es keine klar definierten Achsen oder Zahnräder, ECCE lässt seine Glieder genauso locker hängen wie wir. «Unser Problem ist nur, dass sich solche Gliedmassen sehr schwer steuern lassen», sagt Hugo Marques. Der klassische Ansatz mit mathematisch errechenbaren Bewegungsabläufen, wie er in der Industrierobotik

oder bei humanoiden Robotern wie Asimo durchaus erfolgreich genutzt wird, ist für einen anthropomimetischen Roboter wie ECCE unbrauchbar. «Dieser Ansatz funktioniert deshalb nicht, weil wir beim anthropomimetischen Roboter kaum zwischen Hardware und Software unterscheiden können», sagt Marques' Forscherkollege Max Lungarella, während ECCE seinen Arm wieder sinken lässt. «In der Natur lassen sich Objekt und Kontrolle ja auch nicht voneinander trennen.»

Marques und Lungarella suchen deshalb nach neuen sowohl mechanischen als auch regeltechnischen Strategien, um den Roboter zu steuern. Das ist ihr nächstes Etappenziel. Sie lassen sich dabei vom menschlichen Körper inspirieren. Welche Prinzipien liegen menschlichen Bewegungen zugrunde? Wie lassen sich diese Prinzipien so

ECCE versuchen, das menschliche Bewegungssystem nachzuahmen, ist das, was wir realisieren können, immer noch weit vom Original entfernt.»

Eine Kaffeetasse an den Mund führen

Es geht Rolf Pfeifer und seinen Postdocs Marques und Lungarella auch gar nicht darum, Frankenstein zu spielen. Sie wollen keinen künstlichen Menschen erschaffen. «Für mich ist der Weg das Ziel», sagt Pfeifer. Mit Hilfe von ECCE wollen er und sein Team mehr über die Intelligenz und die Lernfähigkeit des Menschen erfahren. Pfeifer will den Roboter dazu bringen, selbständig einfache Handlungen einzustudieren. Zum Beispiel eine Kaffeetasse zu erkennen, sie zu ergreifen und an den – nicht vorhandenen – Mund zu führen. Mehr nicht. Doch auch das ist schon viel, denn bislang gibt es über solche Lernvorgänge nur wenig Information.

Ein Industrieroboter muss nicht lernen. Seine Stärke liegt darin, möglichst rasch und präzise eine vorgegebene Handlung auszuführen; das ist

«ECCE muss lernen, was jedes Baby und jeder heranwachsende Mensch auch lernt: mit seinem Körper umzugehen.» Rolf Pfeifer, Artificial-Intelligence-Forscher

abstrahieren, dass die Nachahmung menschlicher Bewegung möglich wird? Eine grobe Abstraktion wird ECCE immer bleiben, da sind sich die Forscher einig. «Nehmen Sie nur schon mal den menschlichen Muskel», gibt Hugo Marques zu bedenken. «Er besteht aus Hunderten von winzigen Fasern, schnellen und langsamen, und jede dieser Fasern wird vom Körper einzeln aktiviert. Bei ECCE machen wird das mit einem Gummi und einem Motor.»

Über etwas müsse man sich im Klaren sein, ECCE sei kein menschlicher Körper und werde nie einer sein, sagt Rolf Pfeifer, Professor für Computerwissenschaften am Institut für Informatik der Universität Zürich, Vater des AI Lab und internationale Koryphäe auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz. «Auch wenn wir mit

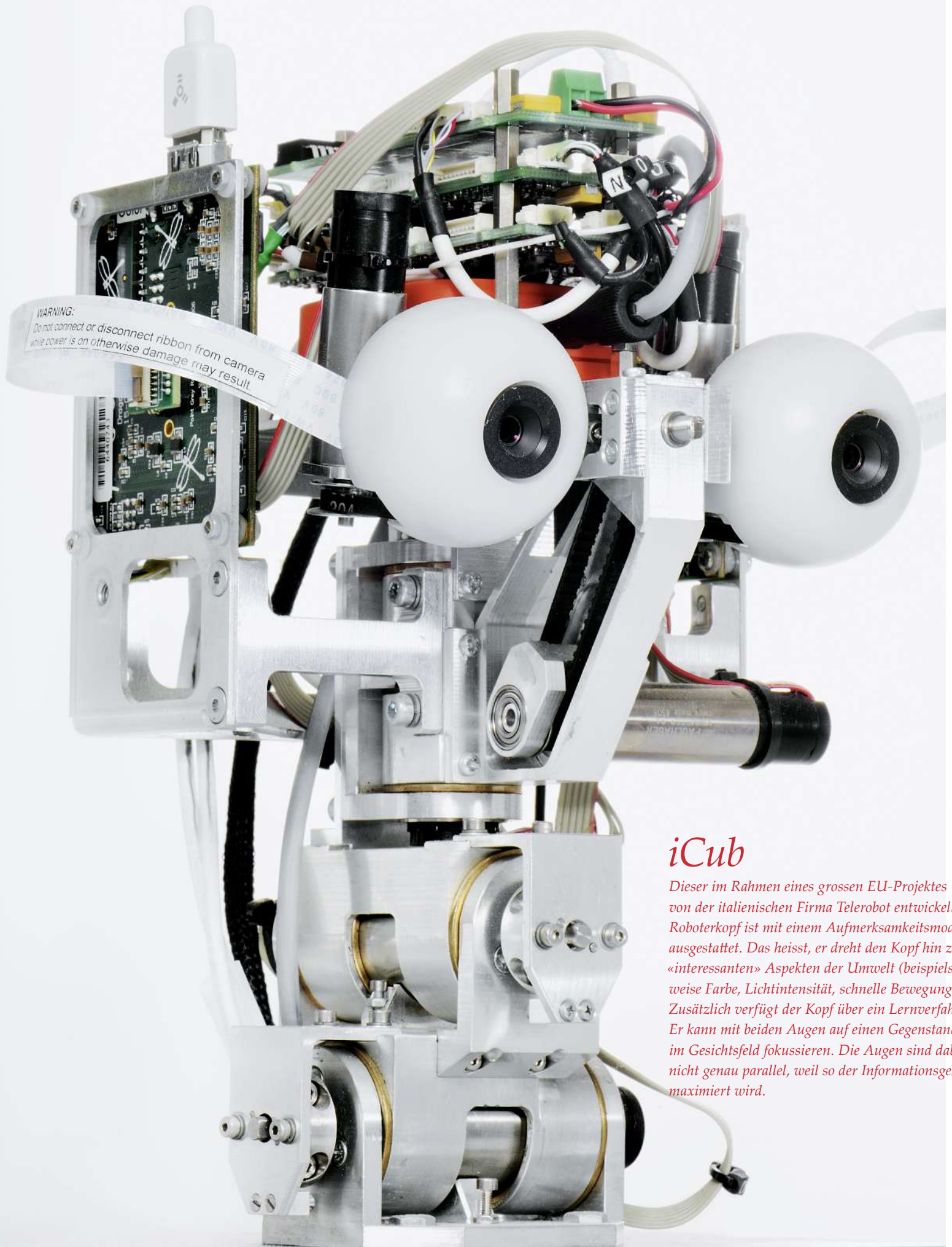
plan- und deshalb auch programmierbar. Die Natur indes kennt solche Handlungen nicht; hier sind andere Fähigkeiten gefragt. Nicht umsonst hat die Evolution Systeme hervorgebracht, die mit ungeplanten und immer wieder wechselnden Situationen umzugehen wissen. «In der realen Welt bewegen wir uns in Menschenmengen, weichen Autos aus. Wir sind ständig am Reagieren», sagt Pfeifer. Solches Verhalten ist nicht voraus-sagbar und deshalb zu komplex, um sich jemals mathematisch programmieren zu lassen.

Es lässt sich aber lernen. Das Prinzip klingt einfach: In der Interaktion mit seiner Umwelt sammelt der Roboter Erfahrungen und erwirbt dabei das nötige Knowhow für aktive und reaktive Handlungen. Die Umsetzung ist etwas komplizierter. Denn dazu braucht es Systeme, die



ECCE

Im Gegensatz zu andern humanoiden Robotern wird bei ECCE (Embodied Cognition in a Compliantly Engineered Robot) nicht nur die äussere menschliche Form abgebildet, sondern auch die innere Struktur, die Knochen, Gelenke, Muskeln und Sehnen. Aufgrund der enormen Komplexität, der vielen Freiheitsgrade, der Elastizität und Beweglichkeit von ECCE ist eine direkte Programmierung nicht mehr möglich: Der Roboter muss die Bewegungskoordination selbst lernen.



iCub

Dieser im Rahmen eines grossen EU-Projektes von der italienischen Firma Telerobot entwickelte Roboterkopf ist mit einem Aufmerksamkeitsmodell ausgestattet. Das heisst, er dreht den Kopf hin zu «interessanten» Aspekten der Umwelt (beispielsweise Farbe, Lichtintensität, schnelle Bewegung). Zusätzlich verfügt der Kopf über ein Lernverfahren. Er kann mit beiden Augen auf einen Gegenstand im Gesichtsfeld fokussieren. Die Augen sind dabei nicht genau parallel, weil so der Informationsgehalt maximiert wird.

Erfahrungen auswerten und Knowhow speichern können – zum Beispiel künstliche neuronale Netze. Solche Netze existieren bereits ansatzweise in Form von komplexen Computerprogrammen und sind dem menschlichen Gehirn nachempfunden. Sie ermöglichen es, auf Compliance beruhende Bewegungen zu kontrollieren.

Pfeifer beschreibt es am Beispiel der Kaffeetasse. Durch sein Videoauge sieht ECCE das Objekt auf dem Tisch stehen. Ungelenk tastet er mit seiner Hand danach. Vorerst verfehlt er die Tasse, stösst dann mehrmals daran, um sie schliesslich mit seinen Fingern zu berühren, zu umschliessen und hochzuheben. Zukunftsmusik freilich, denn so weit ist ECCE noch nicht ganz. Doch Pfeifers

kommen. Denn auch der Mensch nutzt den Schwung, die Compliance seines Körpers, um Bewegungen möglichst elegant und Kräfte sparend ausführen zu können – ganz im Gegensatz zum Blechroboter, der in seiner Steifheit nur mit enormer Rechenleistung und unverhältnismässigem Energieaufwand funktioniert.

Bis ECCE die Kaffeetasse heben kann, braucht er allerdings noch etwas mehr Ausrüstung. Sensoren an seinen Fingern müssen ihm mitteilen, wie gross und schwer das Objekt und ob dessen Oberfläche weich oder hart ist. Nur so wird es ihm gelingen, die Bewegung des Tassenhebens behutsam auszuführen. «Wir nennen diesen Ansatz bio-inspired», erklärt Pfeifer – von der Natur

kommt die Zürcher Robotikforschung nun auch vom Bund: Für die kommenden vier – und möglicherweise für acht weitere – Jahre finanziert der Schweizerische Nationalfonds ein entsprechendes Kompetenzzentrum, das die Universität Zürich gemeinsam mit der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne leiten wird. Ziel des Nationalfonds-Projekts ist es, Möglichkeiten eines Zusammenlebens mit humanoiden Robotern auszuloten.

Werden uns Roboter wie ECCE dereinst im Alltag begleiten? Rolf Pfeifer bleibt vorsichtig. «Wir interagieren schon heute sehr gut mit Maschinen, denken Sie nur an Computer und Auto. Und schon heute gibt es für viele Tätigkeiten Maschinen, die viel schneller, genauer und billiger arbeiten als wir.» Der Mensch, so Pfeifer, könne vieles, aber nichts wirklich gut. «Deshalb frage ich mich, ob sich anthropomimetische Roboter wie ECCE, die auch vieles, aber nichts wirklich gut können, wirtschaftlich jemals durchsetzen werden.» Pfeifer lässt die Frage im Raum stehen. Dass Roboter wie ECCE wiederum als helfende Spezialisten Gutes tun könnten, davon ist Pfeifer überzeugt. Beispielsweise als Prothesen im Gesundheitsbereich. Oder als dritte Hände beim Bau komplexer Geräte. «Solche Anwendungen verlangen Compliance. Eine gute Prothese etwa müsste lernfähig sein und sich menschähnlich bewegen», meint Pfeifer.

Etwas unheimlich ist so ein künstlicher Geselle wie ECCE aber schon. Ein kurzes Video im Internet zeigt ihn in Aktion; um seinen fleischlosen Oberkörper zu bedecken, trägt der Roboter ein T-Shirt, was ihn erschreckend menschlich macht. «Man muss aufpassen, dass man da nicht seine Gefühle hineinprojiziert», sagt Pfeifer. Selbst er ist dagegen nicht gefeit. «Wenn mich ECCE mit seinem beweglichen Videoauge anschaut und all meinen Bewegungen folgt, dann ist mir das fast etwas peinlich», sagt der Mann, der sich seit Jahrzehnten unter Robotern bewegt.

«Wenn mich ECCE mit seinem Videoauge anschaut und meinen Bewegungen folgt, ist mir das fast etwas peinlich.» Rolf Pfeifer, Artificial-Intelligence-Forscher

Vision erklärt den Lernvorgang: Ergeben Zufallshandlungen ein positives Resultat (Kaffeetasse greifen), werden die Verbindungen zwischen den Bewegungen im neuronalen Netz gestärkt. Auf diese Art erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass ECCE die erfolgreiche Handlung wiederholt.

Lernen wie ein Kleinkind

Die Lernmethode für kluge Roboter basiert auf einer siebzig Jahre alten Theorie des russischen Biomechanikers und Physiologen Nikolai Bernstein. Bernstein fragte sich damals, wie der Mensch seinen Körper trotz der unendlich vielen Freiheitsgrade überhaupt beherrschen und steuern kann. Seine Lösung: Wir frieren, was unsere Bewegungsmöglichkeiten betrifft, einen grossen Teil der Freiheitsgrade ein, machen also von vornherein nur einen Bruchteil aller möglichen Bewegungen. «Und genau das wollen wir auch auf ECCE übertragen», sagt Rolf Pfeifer. ECCE soll lernen, nur jene Handlungen zu vollziehen, die zu einem Resultat führen – genau wie ein heranwachsendes Kleinkind.

ECCE mit seinen Plastikknochen, Gummimuskeln und Schnursehnen ist dabei nur Mittel zum Zweck. Pfeifers grosse Herausforderung wird es sein, den anthropomimetischen Roboter mit neuronalen Netzen zu verbinden, die mit einem Minimum an Steuerung und Energie aus-

inspiriert. «ECCE muss lernen, was jedes Baby und jeder heranwachsende Mensch auch lernt: mit seinem Körper richtig umzugehen.»

Die Verbindung von Intelligenz und Körper ist für die AI-Wissenschaft nicht neu. Bereits in den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts stellte Rodney Brooks, damals Robotiker am Massachusetts Institute of Technology (MIT), die mehrheitlich auf elektronischer Rechenleistung basierende Intelligenzforschung auf den Kopf. «Elefanten spielen nicht Schach», betitelte Brooks einen Aufsatz, in dem er postulierte, Intelligenz brauche einen Körper. Denn intelligent sei nur, wer mit seiner realen Umwelt interagieren könne; gemäss Brooks ist ein Schachcomputer also weit weniger klug als ein Elefant, der im Dschungel zu überleben weiss. Von da an hiess das Motto der Robotiker «embodiment». Oder anders gesagt: ohne Körper kein Hirn. Das Eccerobot-Projekt ist die bislang wohl konsequenteste Anwendung des «embodiment»-Prinzips.

Roboter im T-Shirt

Die Erforschung der künstlichen Lernfähigkeit ist der Hauptbeitrag von Pfeifers AI Lab zum Eccerobot-Projekt; neben der Universität Zürich sind auch die Universitäten von Belgrad, München und Sussex daran beteiligt, bezahlt wird das Unternehmen aus EU-Geldern. Stärkung be-

Kontakt: Prof. Rolf Pfeifer, pfeifer@ifi.uzh.ch