

Zeitschrift: Horizonte : Schweizer Forschungsmagazin
Herausgeber: Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung
Band: - (2003)
Heft: 58

Artikel: Dossier Künstliche Sinne : "die Flexibilität des Gehirns ist unerreich"
Autor: Dessibourg, Olivier / Bucheli, Erika / Verschure, Paul
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-552379>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

«Die Flexibilität des Gehirns ist unerreicht»



Die Roboter lernen sehen, riechen, tasten und hören. Doch ihre Schöpfer stossen an Grenzen, sagt der Neuroinformatiker Paul Verschure von der Universität Zürich.

OLIVIER DESSIBOURG & ERIKA BUCHELI
FOTOS PETER FISCHLI

HORIZONTE: Welchen Sinn haben Roboter, die sehen, riechen, tasten oder hören können?

PAUL VERSCHURE: Wir wollen verstehen, wie das Gehirn funktioniert. Doch was bedeutet das? Auf der einen Seite kann man seine Physiologie und Anatomie untersuchen. Doch damit versteht man noch nicht, wie das System funktioniert. Der effizienteste Weg ist es, die Hypothesen und Theorien zu testen, indem man mit Hilfe der Computer- und Informationstechnologie ein künstliches Gehirn simuliert. Doch was macht ein gültiges Modell aus? Es muss zeigen, wie das System mit der Umwelt und dem Verhalten in Beziehung steht. Das ist eine sehr

wichtige Einschränkung. Mit Hilfe der Roboter können wir das synthetische Gehirn zum Teil eines künstlichen Organismus machen, der mit der Welt interagiert. Damit können wir diesen Kreis von Gehirn, Organismus und Welt schliessen.

Wie weit sind wir davon entfernt, Roboter mit einer einheitlichen Wahrnehmung von Bildern, Gerüchen usw. zu erschaffen?

Wir sind kaum am Anfang. Wir verstehen ja nicht einmal, wie solche Systeme mit einer einzigen Sinnesleistung funktionieren.

Woran liegt das?

Die Konzepte fehlen. Ein Beispiel: In den Ingenieurwissenschaften haben die Leute sehr clevere Lösungen für ganz spezifische Probleme gefunden. Solche Systeme können verschiedene Dinge unterscheiden – vorausgesetzt, ihre Umgebung ist auf ganz bestimmte Weise strukturiert, die Kamera steht in der richtigen Position, und es sind nur gerade jene zwei Dinge zu sehen, die es zu erkennen gilt.

Das heisst, wenn wir etwas verändern, funktioniert es nicht mehr.

Genau. Diese Robustheit fehlt den Ingenieurlösungen. Diese Flexibilität, die für uns Menschen so normal ist, ist das fehlende Element. Ein zentrales Problem in einem Wahrnehmungssystem ist die Erkennung von Objekten. Wir haben keine Ahnung, wie dies funktioniert. Hier kommt die Neuroinformatik ins Spiel: Wenn wir das Gehirn besser verstehen, können wir vielleicht Konzepte finden, um solche technischen Herausforderungen zu meistern.

Können Sie ein Beispiel geben?

Eines der Probleme im menschlichen Gehirn ist beispielsweise, wie es sich schrittweise selbst aufdatiert. Wenn wir geboren werden, besteht unser Verhalten aus ein paar Reflexen wie Hunger oder das Bedürfnis nach Wärme. Und nach ein paar Jahren sitzen wir hier an einem Tisch und diskutieren. Das ist doch erstaunlich! Diese Entwicklung ist für mich ein Schlüsselement. Denn es gibt ja keine Übereinheit, die uns das alles beibringt. Dies geschieht alles durch Wechselwirkungen unseres Gehirns mit der Welt.

Welche Rolle spielen die Sinne in diesem Prozess?

Die Sinne werden auf verschiedene Weise gebraucht. Das Sehen beispielsweise bietet uns unheimlich viele und komplizierte Eindrücke dieser Welt. Aber wir nehmen sie nicht alle wahr, sondern reduzieren sie auf jene Informationen, die für uns relevant sind.



Der intelligente Raum ADA hat mit den Besuchern der Expo02 in Echtzeit interagiert.

Zum Beispiel?

Ich nehme zum Beispiel Sie als Person wahr, während mir die Brotkrümel auf dem Tisch völlig egal sind. Wäre ich jedoch eine Ameise, wäre es genau umgekehrt. Das bedeutet: Wie lernen wir, unsere Sinne zu benutzen? Das ist eine wirklich wichtige Frage. Auch in der Robotik: Wie kann ein System, ausgehend von einfachen Reflexen, durch diese Phase kognitiver Entwicklung gehen? Wie kann ich diese Reflexe nutzen, um das zu interpretieren, was mir die Sinne an Information liefern? Und wie nutze ich diese Informationen, um mein Verhalten zu planen?

Das heisst, wir sind sehr weit von einem Roboter entfernt, der hören, sehen und schmecken kann und diese Eindrücke zu einem Gesamtbild integriert?

Am nächsten kam diesem Ziel ADA an der Expo02. Sie hat verschiedene Arten von Sinneseindrücken verarbeitet, in Echtzeit darauf reagiert und mit den Menschen interagiert. ADA hat es uns erlaubt, Fragen auf einer neuen Komplexitätsstufe zu stellen: Wir haben eine unvorhersehbare Welt, nämlich die Besucher, ein paar Sensoren für das Sehen, Hören oder Fühlen, und dann gibt es verschiedene Mittel, um zu reagieren: Ton, Licht, Bilder und so weiter.

Was haben Sie aus diesem Experiment gelernt?

Es hat sich gezeigt, dass die Konzepte hinter ADA, die wir aus unserer Grundlagenforschung abgeleitet hatten, die komplexe Situation gemeistert haben. Das bedeutet, vielleicht sind diese Konzepte allgemeiner gültig. Dass wir mit diesem neuronalen System diese komplizierte Umwelt, mindestens teilweise, in Echtzeit kontrollieren konnten, stimmt mich hoffnungsvoll.

Können Sie ein konkretes Beispiel geben?

ADA musste ihr Verhalten anpassen, abhängig von ihren Zielen und Bedürfnissen, beispielsweise wenn sie müde wurde, weil es zu viele Leute gab, oder wenn sie mit den Leuten interagieren wollte. Dies ist das Problem, wie ein System seine internen Bedürfnisse mit der Umwelt in Einklang bringt. Ausserdem haben wir einiges über die Datenreduktion und Abstraktion gelernt: Wenn Sie in der realen Welt überleben wollen, werfen Sie besser sehr viel Informationen weg, sonst ertrinken Sie darin.

Wie war die Reaktion des Publikums?

Die breite Öffentlichkeit war ADA gegenüber sehr neugierig und positiv eingestellt. Die Leute wollten wirklich etwas verstehen, etwas herausfinden, mit ADA in Kontakt treten. Unsere Untersuchungen haben sogar er-

EIN ROBOTER MIT INSEKTENBLICK

Um das Sehen zu simulieren, werden normalerweise die Bildinhalte mit Hilfe einer Formerkennung bestimmt. Dieses sehr rechenaufwendige Verfahren eignet sich jedoch nicht für Roboter, die schnell mit ihrer Umwelt interagieren sollen. Dario Floreano entwickelte nun mit seiner Gruppe im Rahmen seiner SNF-Förderungsprofessur an der ETH Lausanne Systeme, die mit dem einfachen Binärmodus arbeiten und deshalb mit einer viel schwächeren Rechenleistung auskommen: «Wir lassen uns von den Insekten inspirieren, bei denen das Sehen auf elektrischen Impulsen beruht.» Je nach Kontrastniveaus und ihren Veränderungen senden die lichtempfindlichen Rezeptoren der Mikrokamera einen Impuls in ein Netzwerk «künstlicher Nervenzellen», die aus Mikrotransistoren bestehen, oder das Signal bleibt aus. Ge-

wisse zentrale Neuronen geben dann wiederum binäre Signale zur Steuerung der Motoren des Roboters weiter. Der unbestreitbare Vorteil dieser Systeme ist ihr Potenzial zur Miniaturisierung: Den Forschern gelang es, Roboter von nur gerade acht Kubikzentimetern oder hundert Gramm Gewicht und einem Minimum an Sensoren und Prozessoren zu konstruieren. Ausserdem verwalteten diese Roboter ihre Neuronen über evolutive Algorithmen selbst. So lernten die Roboter schrittweise, sich ohne Zusammenstösse in ihrer Umgebung fortzubewegen – ohne dass ihnen bestimmte Strategien aufgezungen wurden. «In unserer Anordnung diente das künstliche Sehen also nicht der Reproduktion eines Bildes, sondern war ganz einfach Mittel zum Überleben», folgert Dario Floreano.

O. D.





Paul Verschure arbeitet mit seinem Team an einem fliegenden Roboter, der sich wie ein Nachtfalter visuell und anhand von Düften im Raum orientiert.

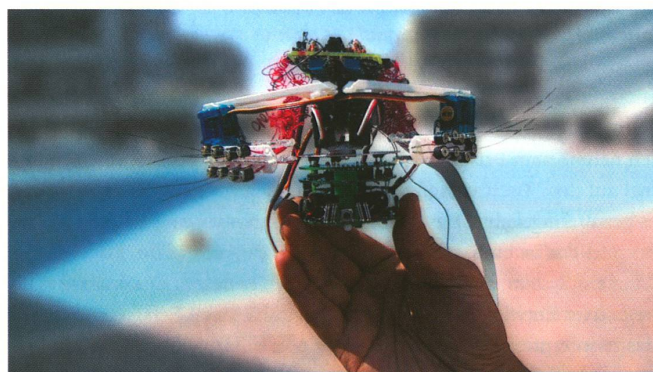
geben, dass manche Leute ADA als Einheit und nicht als Ansammlung von Apparaturen wahrgenommen haben.

Maschinen, die mit uns Menschen interagieren, könnte das nicht auch Ängste auslösen?

Ich denke, es gibt drei Arten von Ängsten: Erstens die Angst vor dem Unbekannten, die wir alle haben. Bei ADA war diese Angst nicht so gross. Trotzdem ist es wichtig, dass wir intensiv über unsere Arbeit informieren. Die zweite Art ist die Angst vor ständiger Überwachung. Bei ADA haben wir festgestellt, dass es die Leute verunsichert, wenn sie nicht wissen, wohin die Informationen gehen. Wenn ich beispielsweise mit jemandem rede, der nicht reagiert, denke ich: «Oh, er speichert all diese Informationen über mich, was macht er damit?» Bei ADA gab es aber eine direkte Reaktion, deshalb war diese Angst klein. Und die dritte Art von Angst ist jene vor der Anwendung. Wenn ich eine intelligente Disco bauen kann, ist auch eine intelligente Kriegsmaschine möglich. Wie die Früchte der Forschung genutzt werden, dafür tragen die Gesellschaft und die Wissenschaftler die Verantwortung. Auch deshalb ist Information sehr wichtig.

Welche Anwendungen sind denn in Aussicht?

Anwendungen sehe ich beispielsweise bei der Haustechnologie, wie eine Kaffeemaschine, die Ihnen sagt, wenn der Kaffee zu lange erhitzt war. Aber ich glaube, das sind nicht die echten Herausforderungen. Es wird vielmehr darum gehen, eine reichere Umwelt zu schaffen, die sich dem Menschen anpasst und nicht umgekehrt. Ausserdem könnte uns die neue Technologie zu neuen Ausdrucksmöglichkeiten verhelfen. Dass wir zum Beispiel hochkomplexe Musikstücke kreieren können, ohne ein Instrument spielen zu lernen. Oder dass wir Häuser bauen, die mit den Bewohnern interagieren. Da sind wirklich sehr spannende Anwendungen möglich. ■



DIE AMOUSE ERTASTET IHRE UMWELT

Die langen, feinen Schnauzhaare bewahren Mäuse und Ratten nicht nur davor, im Dunkeln gegen Hindernisse zu stossen. Mit ihrem Tastorgan können die Tiere auch ihre Umwelt erkunden; sie erkennen Oberflächen fast ebenso gut wie wir mit unseren Fingerspitzen. Wie diese Sinnesleistungen funktionieren, untersuchen seit kurzem Forschende am Institut für künstliche Intelligenz der Uni Zürich. Sie haben dazu einen kleinen Roboter namens «Amouse» entwickelt. Er trägt echte Schnauzhaare von Ratten, die einzeln auf kleinen Mikrofonen sitzen. Vibriert ein Haar, so beginnt die Membran des Mikrofons zu schwingen. Da die Daten zeitlich aufgelöst analysiert werden, kann das künstliche Tastorgan sogar verschieden raue Oberflächen unterscheiden. «Der nächste Schritt wird sein, das Verhalten der Amouse auf diese Sinnesindrücke abzustimmen», sagt die Doktorandin Miriam Fend. Dabei soll der kleine Roboter aus eigenen Erfahrungen lernen.

Zudem hat die Forscherin untersucht, welche Schnauzhaaranordnung sich am besten bewährt. Erstaunlicherweise hat nicht die natürliche Version gewonnen. «Vielleicht lassen sich die Nachteile der natürlichen Morphologie durch Lernen überwinden», spekuliert Fend. Denn in der Natur haben Schnauzhaare noch andere Funktionen, die ihre Anordnung ebenfalls beeinflussen könnten. Auch das Sehen könnte die Nachteile der natürlichen Anordnung ausgleichen. Auf jeden Fall ist Miriam Fend schon jetzt eines klar geworden: «Wie gut die Natur konstruiert ist.»

E.B.