

Mikrochip versus Gehirn – ein Blick in die Zukunft (2. Teil)

Die «technologische Singularität» wird sich nach Ansicht vieler Futurologen nicht allein auf den Triumph des Mikrochips über das Gehirn beschränken, sondern auch zu einer Art Verschmelzung von Mensch und Maschine führen.

■ Eric Soder

Die fortschreitende Miniaturisierung elektronischer Geräte und die steigende Rechenleistung – beziehungsweise die sinkenden Kosten für gleichbleibende Computerberechnungen – eröffnen laufend neue Möglichkeiten. Dies sowohl in der Forschung als auch im Alltag. Man denke dabei etwa an mobile Apps, die auf einem Smartphone «ganz nebenbei» Dinge erledigen, für die vor 15, 20 Jahren noch ein Supercomputer nötig gewesen wäre oder Grafikkhardware, von der man damals noch nicht einmal zu träumen wagte. Von den riesigen Fortschritten in der Informatik profitieren auch andere Wissenschaften, indem immer komplexere Modelle mithilfe von Computern für den praktischen Einsatz erschlossen werden. Zudem lassen sich einige Arten von Experimenten durch rein digitale Simulationen ersetzen, was mitunter Zeit und Kosten spart oder mögliche Gefahren von echten Versuchen eliminiert, zum Beispiel in der Medizin oder in gewissen Bereichen der Physik.

Knackpunkt Software

Wie im ersten Teil des Artikels bereits angetönt, ist das Potenzial für eine weitere Verbesserung von Mikrochips der bisher üblichen Bauart bald ausgereizt. Die Leiterbahnen sind inzwischen so schmal, dass für eine ausreichend genaue Fertigung nur noch spezielle Laser eingesetzt werden können. Bei Taktfrequenzen jenseits von drei Gigahertz werden die Prozessoren überdies bald einmal so heiss, dass eine weitere Erhöhung praktisch nicht mehr sinnvoll ist. Der Aufwand für die Kühlung und der Energieverbrauch

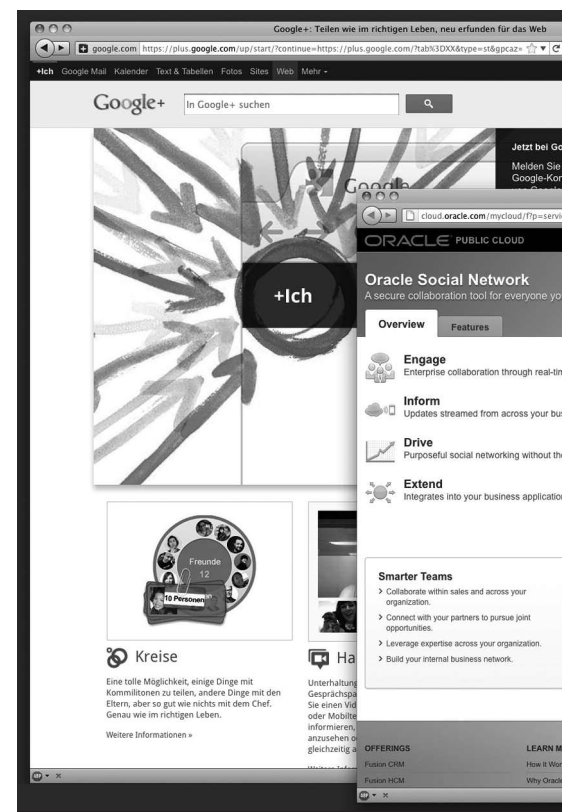
stunden dann wirtschaftlich in keinem Verhältnis mehr zur erzielten Rechenleistung.

Als Lösung dieses Problems bietet sich ein anderer technischer Ansatz an: Statt eines einzelnen Prozessors mit immer mehr Transistoren und höherem Takt gelangen bereits heute immer häufiger mehrere Prozessoren oder Prozessoren mit mehreren Kernen zum Einsatz, die Berechnungen gleichzeitig durchführen können. Die Voraussetzung, um diesen Vorteil überhaupt auszuspielen, sind so genannte parallele Programme. Nicht jedes Problem lässt sich jedoch so in Teilaufgaben (im Fachjargon: «Threads») aufsplitten, dass diese unabhängig voneinander berechnet werden können. Es leuchtet ein, dass bei bestimmten Arten von Berechnungen jeweils zuerst die Zwischenergebnisse vorliegen müssen, bevor diese weiter verarbeitet werden können. Es kommt oft vor, dass die einzelnen Prozessoren oder Kerne an den Teilaufgaben unterschiedlich lange rechnen oder auf Daten zugreifen müssen, die möglicherweise gerade von einem anderen Thread verändert werden. Dann braucht es Mechanismen, die verhindern, dass sich die Threads gegenseitig ins Gehege kommen oder Daten korrumpieren. Die Logik der parallelen Programmierung ist höchst anspruchsvoll, und zum Teil sind auch Anpassungen an den Betriebssystemen nötig, damit ein reibungsloses Funktionieren paralleler Prozesse gewährleistet ist. Diese Entwicklung ist bei Weitem nicht abgeschlossen; heute wird in Programmiersprachen mit verschiedenen Ansätzen experimentiert, die erst wenig Niederschlag in massentauglicher paralleler Software finden.

Gibt es künstliche Intelligenz?

Eine der besonderen Fähigkeiten unseres Denkens ist das Abstrahieren von Sinneseindrücken oder Sachverhalten und das intuitive Erkennen von Mustern. Demgegenüber haben Computer wie wir sie heute kennen kein Bewusstsein,

sondern sie führen strikt nur Programme aus, die meist sehr spezialisiert sind und von in der Regel genau definierten Voraussetzungen ausgehen. Wohl lassen sich Programme schreiben, die ähnlich «lernen» können wie ein denkendes Wesen, um ein Verfahren bei wiederholter Anwendung aufgrund der Ergebnisse vorheriger Versuche laufend zu verbessern. Doch im Bereich der starken künstlichen Intelligenz, die nicht nur für eine spezifische Aufgabe oder in einem begrenzten Problemfeld funktioniert, sondern ganz allgemein das Niveau menschlicher Intelligenz erreicht, sind trotz jahrzehntelanger Forschung bisher erst vergleichsweise geringe Fortschritte erzielt worden. Selbst spezialisierte Programme, zum Beispiel solche für die Erkennung von Handschrift oder gesprochener Sprache, zeigen im Alltag, mit welchen Schwierigkeiten die Softwarealgorithmen zu kämpfen haben, wenn die Eingabe nicht aus eindeutigen Zahlenwerten bestehen, sondern aus einem analogen Signal, das einerseits grosse Abweichungen zwischen logisch gleichen Elementen haben kann oder durch Störungen überlagert ist. Bei der Digitalisierung und Interpretation des



Signale können Nuancen verloren gehen oder Abweichungen auftreten, welche die Fehlertoleranz der Software überschreiten. Eine bekannte Anwendung, die auf genau dieser Schwäche von Software zur Mustererkennung beruht, sind die CAPTCHAs (Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart), mit denen im Internet Formulare vor dem automatischen Ausfüllen durch Spamroboter geschützt werden.

Ausgehend vom aktuellen Stand der Technik ist es noch ein sehr, sehr weiter Weg, um Computer vom rasend schnellen Abarbeiten von vorher programmierten Algorithmen zu so etwas wie selbstständigem, vernetztem Denken à la Homo sapiens zu bringen. Es ist wie mit einem Ikea-Regal: Es aus vorgefertigten Einzelteilen nach Anleitung zusammenzubauen erfordert weniger Verstand, als ein neues Regalmodell mit all seinen Einzelteilen zu designen oder auch nur eine gute Anleitung für den Zusammenbau zu verfassen.

Das Internet als globaler Speicher

Etwas, wofür es schon lange sehr effiziente Algorithmen gibt, ist das Durchsuchen von Datenbanken. Das Internet potenziert die Menge an mehr oder weniger frei zugänglichen Daten, so dass ein mit dem Internet verbundener Computer auf jeden Fall mehr Informationen abrufen, als ein Mensch im Gehirn behalten kann. In jüngster Zeit beschränken sich die Forscher nicht mehr auf bloße Finden von Informationen à la

Google, sondern entwickeln auch automatische Systeme, die mit den gefundenen Daten ausgeklügelte Auswertungen durchführen. So sammelt zum Beispiel die Werbewirtschaft in riesigem Umfang Daten für Persönlichkeitsprofile, dass allen Datenschützern die Haare zu Berge stehen.

Diesen Sommer hat ein Team von der Carnegie Mellon Universität die Ergebnisse einiger aufschlussreicher Experimente vorgestellt: Im ersten Versuch glichen sie mithilfe einer handelsüblichen Gesichtserkennungssoftware 5000 Profilbilder von Mitgliedern einer Kontaktbörse in einer Stadt mit 280 000 Facebook-Fotos aus demselben Ort ab, die sie per Suchmaschine gefunden hatten. Obwohl die meisten Kontaktsuchenden Pseudonyme verwendeten, konnten etwas über zehn Prozent von ihnen namentlich identifiziert werden. Dann wurde die Software mit 93 Webcam-Fotos von Studenten des CMU-Campus gefüttert, die sich freiwillig zur Verfügung gestellt hatten, zusammen mit 250 000 öffentlich zugänglichen Fotos auf Facebook. Hier betrug die Identifikationsrate etwa ein Drittel. Darüber hinaus konnten die Forscher unter Zuhilfenahme weiterer öffentlicher Quellen wie Facebook und amtlicher Datenbanken von jedem Studenten mindestens ein persönliches Interessensgebiet ermitteln, in einzelnen Fällen sogar die ersten Ziffern der Sozialversicherungsnummer. Google hat inzwischen den Hersteller der beim Experiment verwendeten Gesichtser-

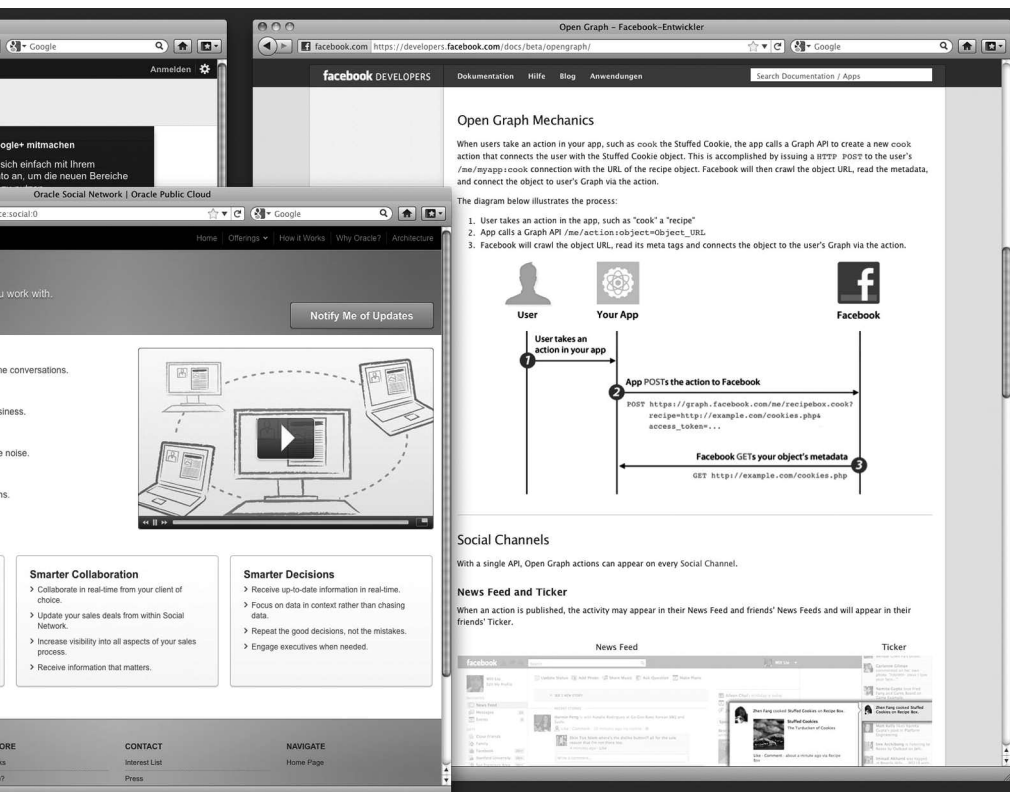
kennungssoftware aufgekauft. Wegen Bedenken hinsichtlich der Missbrauchsfahr hat Google allerdings darauf verzichtet, eine bereits entwickelte Gesichtserkennungs-Suchmaschine herauszubringen.

Ray Kurzweil und andere Exponenten, die sich mit der technologischen Singularität befassen, sehen sogar eine Verschmelzung zwischen Personen und ihrer digitalen Identität im Netz kommen. Nämlich dann, wenn die Technik soweit ist, dass Sensoren im Hirn unsere Gedanken in Echtzeit mitverfolgen oder die biologisch gespeicherten Informationen «auslesen» und in die Cloud hochladen können. Auch der umgekehrte Weg ist denkbar: die Beeinflussung oder Programmierung des Gehirns von aussen. Das sei alles nur eine Frage der Zeit, meinen sie, und Erfolge in der Hirnforschung deuten zumindest an, dass sie recht haben könnten.

Robotik mit künstlicher Intelligenz

Eine besondere Herausforderung stellen Systeme dar, die nicht nur rechnen oder «denken», sondern auch selbstständig handeln können. Ein Roboter kombiniert Sensoren, um seine Umwelt oder relevante Teile davon zu erfassen, eine Computersteuerung, die aus dem Input der Sensoren eine situationsabhängige Handlungsanweisung generiert, sowie eine Mechanik, mit der sich der Roboter zum Beispiel fortbewegen oder Werkstücke transportieren und bearbeiten kann. In der industriellen Fertigung haben Roboter meist sehr spezifische Aufgaben. Doch werden in der Autoindustrie vermehrt Systeme entwickelt, die auf sehr variable und unvorhersehbare Situationen reagieren sollen, beispielsweise eine Einparkautomatik oder eine mit Bremse und Lenkung gekoppelte Fußgängererkennung.

Forscher wie Professor Osamu Hasegawa vom Tokyo Institute of Technology arbeiten an Robotern, die mit lernfähigen Algorithmen nicht nur bestimmte fest programmierte Aufgaben ausführen, sondern auch ihre Umwelt analysieren und neue Probleme spontan lösen können. Dazu greift die Software auf gespeichertes Wissen zu, und bei



Die «Cloud» wächst zusammen, die Provider erlangen immer mehr Kontrolle über Nutzer und ihre Daten.

Bedarf recherchiert sie darüber hinaus auch selbsttätig im Internet. Kann der Roboter eine Aufgabe nicht selbst lösen, fragt er um Hilfe und speichert dabei die neuen Informationen zur weiteren Verwendung.

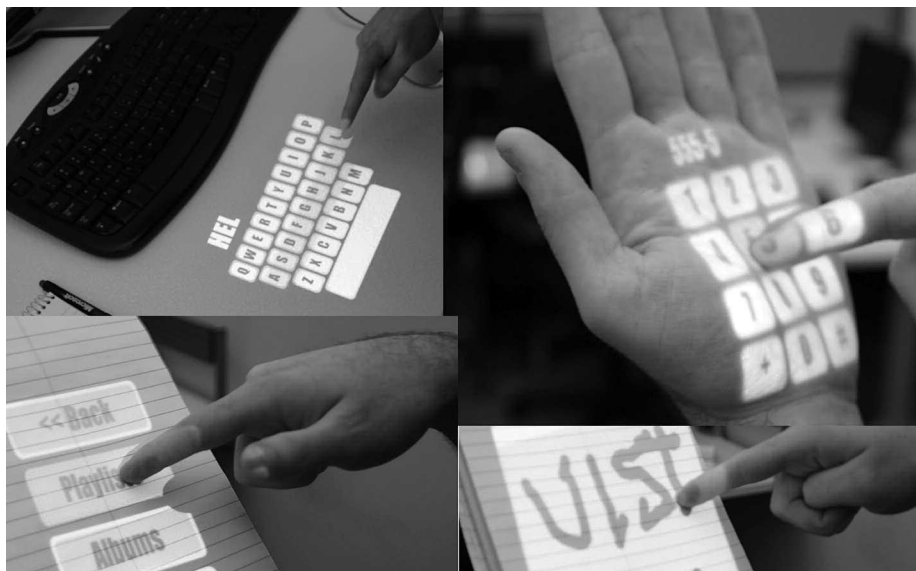
Für derartige Einsatzzwecke dürfte sich eine neue Architektur besonders eignen, die IBM Research mit finanzieller Unterstützung des US-Verteidigungsministeriums seit sechs Jahren entwickelt. Im August wurden Prototypen von Prozessoren vorgestellt, die ähnlich aufgebaut sind wie ein Gehirn. Anstelle der seit 1945 eingesetzten Von-Neumann-Architektur mit den separaten Bauteilen CPU, Speicher, Ein- und Ausgabe sowie der Schnittstelle dazwischen besitzt bei den neuen Chips jeder einzelne Kern Rechen-, Speicher- und Kommunikationsfunktionen, die für parallele Vorgänge ausgelegt sind wie die Neuronen und Synapsen eines Gehirns. Damit sollen diese Prozessoren auch Informationen verarbeiten können, für die sie nicht programmiert wurden, und sich zum Beispiel hervorragend eignen, um riesige Mengen an Sensordaten in Echtzeit zu verarbeiten.

Selbstreplizierende Maschinen

Zur Vervollständigung des Szenarios, dass sich Maschinen dereinst selbst weiterentwickeln und ihre Nachfolger produzieren können, gesellen sich zu Neuronen-Chips, selbstlernenden Algorithmen und Robotern auch 3D-Drucker. Solche Geräte, die heute bereits praktisch eingesetzt werden, können beliebig geformte Objekte aus Plastik oder Metall erzeugen, indem sie das Material mit dem Druckkopf Schicht für Schicht auftragen oder jeweils in eine lose Pul-



OmniTouch, ein Prototyp von Microsoft Research, verwandelt beliebige Oberflächen in einen Touchscreen.



verschicht einschmelzen («sintern»). Mit dem frei verfügbaren Modell RepRap lassen sich zumindest seine eigenen Kunststoffteile für weitere RepRaps klonen. Ingenieure der University of Southampton liessen im Juli erstmals ein unbemanntes Flugzeug fliegen, dessen gesamte Struktur – Flügel, Rumpf und Luken – mit einem Lasersinter-3D-Drucker gedruckt worden war. Das Flugzeug mit zwei Metern Flügelspannweite und einem Mini-Autopilot ist elektrisch angetrieben, erreicht rund 150 km/h Spitzengeschwindigkeit und lässt sich dank passgenau ineinander einschnappernder Einzelteile ohne Werkzeug in Minuten montieren. Die aerodynamisch optimierte Form des Flugzeugs wäre ohne das Lasersinter-Verfahren nur mit einem vielfach grösseren Aufwand und zu prohibitiven Kosten zu entwickeln und realisieren gewesen. Für die Massenfertigung sind 3D-Drucker indes weniger geeignet, weil der Herstellungsprozess bei grossen Werkstücken oder hohen Anforderungen an die Präzision sehr lange dauern kann. Wie bei der Parallelisierung von Programmen erhöht sich die Komplexität

des Verfahrens sprunghaft beim Schritt von der Lösung eines einfachen Falls (3D-Druck eines Bauteils aus einem vorgegebenen Material) zur vollständigen Automatisierung der Herstellung (zum Beispiel viele Bauteile aus unterschiedlichen Materialien herstellen und diese anschliessend zum Endprodukt zusammenfügen). Wenn im Jahr 2011 iPhones noch von Heerscharen chinesischer Billigarbeitskräfte von Hand montiert werden, besteht wohl auf absehbare Zeit nur eine geringe Gefahr, dass sich Computer verselbstständigen und die Macht übernehmen werden. Die Idee von der technologischen Singularität fusst auf dem exponentiellen Fortschritt; bei vielen Entwicklungen verläuft das Wachstum allerdings nicht exponentiell, sondern in einer S-Kurve: Am Anfang sieht das Wachstum wie exponentiell aus, doch wenn ab einem gewissen Punkt die Ressourcen knapper oder physikalische Grenzen erreicht werden, flacht die Kurve wieder ab und stagniert – zumindest bis die Entdeckung neuer Ressourcen oder alternativer Verfahren mit anderen Grenzen einen weiteren Entwicklungsschub ermöglichen.

Weblinks und Literatur

- Raymond Kurzweil, Singularity Is Near;
www.singularity.com
- www.kurzweilai.net
- www.singinst.org.au
- www.spectrum.ieee.org/static/singularity
- Jaron Lanier, You Are Not a Gadget
www.jaronlanier.com
- Jonathan Zittrain, The Future of the Internet – and How to Stop It
www.futureoftheinternet.org
- www.reprap.org