

Der große Zweikampf

Werden die Computer eines Tages das menschliche Denken ablösen? Wie steht es im Kampf zwischen Computer und Gehirn? Der englische Wissenschaftler Dr. Richard Stevens ist der Frage nachgegangen.

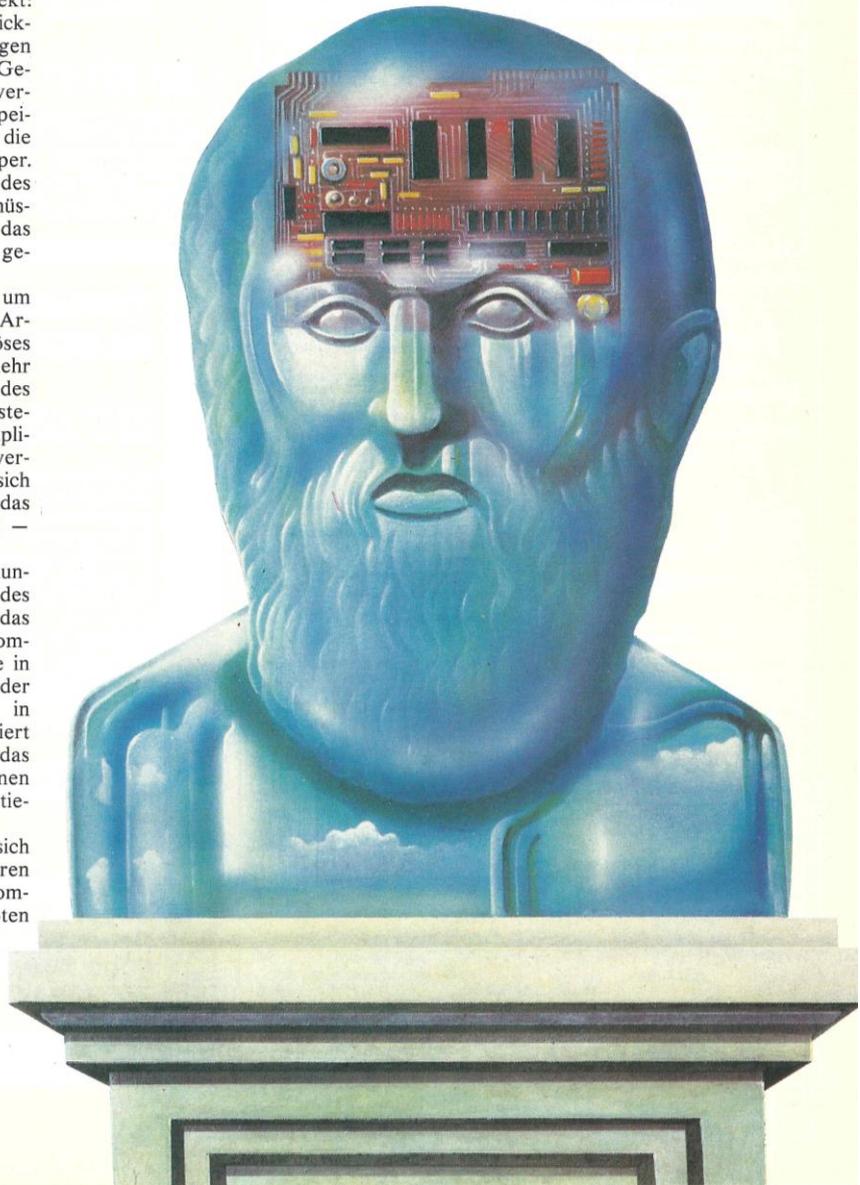
Computer gegen Gehirn

Die Sensation ist fast schon perfekt: Wenn sich das gegenwärtige Entwicklungstempo von Halbleiterschaltungen in der gleichen atemberaubenden Geschwindigkeit fortsetzt wie zur Zeit, werden in 20 bis 30 Jahren Halbleiterspeicher genau so dicht gepackt sein wie die Gehirnzellen im menschlichen Körper. Um die gewaltigen Möglichkeiten des Gehirns richtig nutzen zu können, müssen wir die Art und Weise, in der das Gehirn Informationen verarbeitet, so genau wie möglich verstehen.

Je mehr die Forschung die Schleier um das Gehirn lüftet, je mehr man die Arbeitsweise des Gehirns ohne mysteriöses Beiwerk erforschen kann, um so mehr wird deutlich, daß man die Arbeit des Gehirns wie die einer Maschine verstehen kann — allerdings einer sehr komplizierten Maschine. Die Aktivität der verschiedenen Gehirnabschnitte läßt sich grob nach einem Raster einteilen, das sich an ihren Funktionen orientiert — zum Beispiel Lesen, Hören usw.

Man kann komplette „Schaltzeichnungen“ von einfach gebauten Partien des Gehirns herstellen. So erinnert das Kleinhirn an eine Busstruktur von Computern, in der komplexe Netzwerke in verschiedenen Schichten untereinander durch orthogonale Verbindungen in Kontakt stehen. Ungeheuer kompliziert und noch kaum verstanden stellt sich das Gehirn als Überlebender von Trillionen von Alternativen aus 500 Mill. Jahren tierischer Entwicklung dar.

Auf der anderen Seite entwickelte sich der Computer in den gerade 40 Jahren seines Bestehens zu einer immer komplexeren Maschine heran. Die größten Computer sind bereits so komplex, daß ein einzelner unmöglich alle ihre Funktionen mehr kennen kann. Diese Computer stellen eine Sorte von „Intelligenz“ in Siliziumplanartechnologie dar, die in einigen Punkten bereits sehr



70 CHIP

Der große Zweikampf – Computer gegen Gehirn

(Quelle: www.chip.de/ - Computermagazin Chip Nr. 5 - Mai 1980) (photo copyright © by www.schaakcomputers.nl/) (600 dpi)

gut bei einem Vergleichstest gegenüber der dreidimensionalen Kohlenwasserstofftechnologie des Gehirns bestehen würde.

Wo liegen nun die Ähnlichkeiten, wo die Unterschiede zwischen beiden Strukturen? Ganz offensichtlich ist das Gehirn als Allzweckmaschine zum Überlegen um Größenordnungen besser als der Computer. Es gibt einer modernen Spruchweisheit zufolge keinen Computer, der so intelligent wäre, daß er sich wehren könnte, wenn man versucht, ihn mit einer Axt zu erschlagen. Sollte er das eines Tages können, so wird es Zeit sein, sich Gedanken zu machen.

Die Hauptunterschiede zwischen den beiden Strukturen liegen in ihrer Organisation, ihrer Speichergroße und der Speichergeschwindigkeit — dem bisher einzigen Pluspunkt für die Maschine.

Stellen Sie sich folgenden Wettbewerb zwischen Maschine und Gehirn vor: Nehmen wir an, Mensch und Maschine würden den gesamten Inhalt des „Oxford English Dictionary“ auswendig kennen. Der Quizmaster stellt beiden nun folgende Frage: „Wie lautet der Name einer Gruppe von Meerestieren, der sich wie der einer der keltischen Teile der britischen Insel anhört?“ Der Computer verharret sprachlos — immer angenommen, er habe die Frage überhaupt verstanden — während der Mensch durch kurze vereinte Anstrengung von ein paar Milliarden Neuronen in weniger als zwei Sekunden die Antwort parat hat. Die erste Runde geht an den Menschen.

Noch eine Runde? „Wie lautet das einzige Wort in der englischen Sprache, das drei aufeinanderfolgende Paare von gleichen Buchstaben hat?“ Diesmal antwortet der Computer in zwei Sekunden (die Antwort finden Sie am Ende des Artikels), während der Mensch diesmal stumm bleibt. Der Versuch, zu mogeln und schnell in einem Wörterbuch nachzusehen, bringt auch nichts.

So ist das Gehirn organisiert

Im Computerjargon läßt sich das so ausdrücken: Die Adresse der Daten wird von den Daten selbst bereits angegeben. Die ersten primitiven Speicher dieser Art — „Content-Addressable Memories“ (inhaltsadressierbare Speicher) genannt — sind bereits für S-100-Computer zu haben. Das Gehirn ist in gewisser Beziehung ähnlich wie ein Plattenspeicher organisiert: Es besitzt ein Verzeichnis (Directory) über die Dateien, das angibt, wo eine bestimmte Datei festgehalten ist. Das entbindet das Gehirn oder den Computer (beim Plattenspeicher) von der Notwendigkeit, Myriarden von Speicherzellen sequentiell durchsuchen zu

müssen. Ganz im Gegenteil: Wenn der Mensch die Antwort auf die erste Frage in einem Quiz in ungefähr einer Sekunde gefunden hat, so hatte er gar keine Gelegenheit, über hundert oder mehr sequentielle Durchläufe durch Zehntausende von Wörtern auf der Suche nach einem passenden Muster zu machen.

Die Sache mit den Bausteinen

Abgesehen einmal von der Organisation der Datenverarbeitung liegt ein anderer wesentlicher Unterschied in der gewaltigen Speicherkapazität, die das Gehirn aufweist: an die 10^{11} Speicherzellen.

Es gibt heute niemanden, der weiß, wie und wo das Gehirn seine Informationen festhält. Das Gehirn ist aus Neuronen — spezialisierten Nervenzellen — aufgebaut, die sich untereinander sehr stark unterscheiden können und doch oft große strukturelle Gemeinsamkeiten aufweisen. Das bedeutet: Das Gehirn ist aus einzelnen Bausteinen aufgebaut, die zwar verschieden aussehen, aber dieselbe Grundstruktur haben. Die „CPU“, der „Speicher“ und — noch viel bestimmender — die sie verbindenden Elemente bestehen alle aus der gleichen Art von Bauelementen. So eine Gehirnzelle, so ein Neuron, läßt sich als Mikroprozessor ansehen, der parallel mit vielen anderen seiner Art arbeitet. Er besitzt digitale Eingänge — üblicherweise zwischen 50 und 100 000 —, hat analoge Eingänge, kann durch externe Ereignisse in Aktion gesetzt (getriggert) werden, und die Schaltschwelle dieses Triggers ist veränderbar.

Das Gehirn: Ein kompliziertes Netzwerk

Das Gehirn besteht aus lauter komplizierten Netzwerken von untereinander ziemlich unabhängigen Einheiten, die als Speicher arbeiten können, als Prozessor oder einfach nur die Arbeit für die anderen organisieren. Das steht in scharfem Kontrast zur strengen Organisation eines Computers, mit einer CPU im Mittelpunkt, die üblicherweise alle Daten durchlaufen müssen. Das Gehirn besitzt 10^{11} solcher Nervenzellen. Doch auch hierbei ist man sich keineswegs sicher. In der Gehirn-Organisation wird langsame Hardware zu beeindruckenden Leistungen fähig. Das sieht man, wenn der Körper mit Aufgaben fertig wird, die seine physischen Fähigkeiten und Reaktionsfähigkeiten bis an die Grenze fordern, beispielsweise beim Zurückschlagen eines mit über 100 km/h herankommenden Tennisballs. Die Nervenzellen benötigen ein paar Millisekunden, um auf einen Reiz zu antworten, und doch ist der

Körper in der Lage, derart komplexe Vorgänge in 50 ms zu vollziehen — das sind ungefähr 5 bis 10 „Befehlszyklen“. Betrachten wir statt dessen einen Computer, ausgerüstet mit Fernsehkamera und Tennisschläger, so ist es unmöglich, den Ball in „Echtzeit“ zurückzuschlagen. Die Situation muß vorher simuliert werden und braucht Millionen von Befehlszyklen zur Analyse und Ausführung. Durch die überlegene Organisation des Gehirns ist die Leistungsfähigkeit der Maschine bei langsamerer Hardware um das annähernd Millionenfache übertroffen worden.

Die Vorprogrammierung: ziemlich primitiv

Die Vorprogrammierung wird immer primitiver, je weiter man in der Hierarchie in Richtung auf die aktiven Elemente, wie die Sinneszellen oder die Muskeln, hinuntersteigt. Nehmen wir das Auge. Es „tastet“ ungefähr eine Million Bildpunkte zehnmal in der Sekunde ab, muß diesen Datenberg von 10 MBytes/s auf Größenordnungen reduzieren, mit denen sinnvoll umgegangen werden kann. Das vollzieht sich in einer Art „Hardware“ in der Nähe des Auges, die markante Punkte im Bild aufsucht, diese mit dem vorigen Bild vergleicht und nur die Unterschiede weiter verarbeitet.

In dem Maße, in dem sich die Problembearbeitung den höheren Hierarchieebenen nähert, wird die Hardware durch Software ersetzt, die mit dem Problem trotz ihrer gegenüber der Hardware geringeren Geschwindigkeit deshalb fertig wird, weil die Aufgabe vorher in faßbare Portionen gebracht worden ist. Und während sich die optische Information so zum Gehirn hin bewegt, steuert der „Chef“ die Stellung von Händen und Körper über ähnliche hierarchische Strukturen.

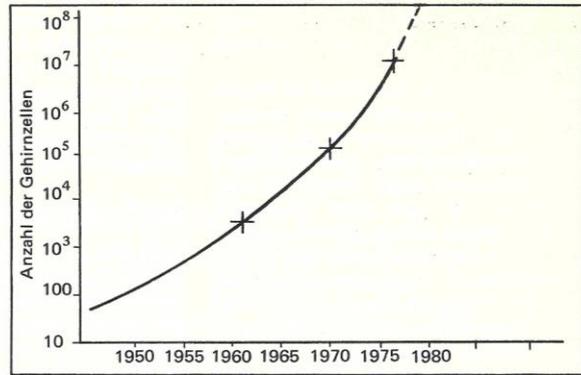
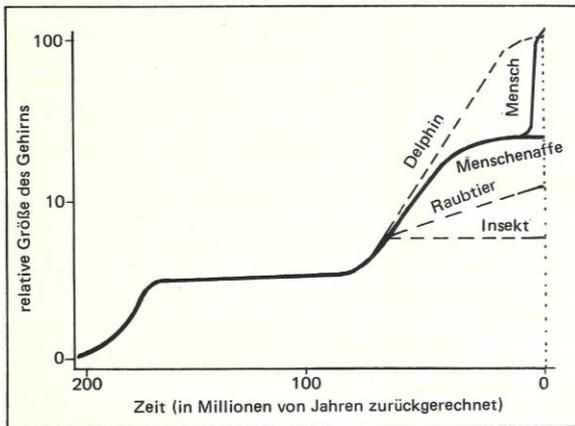
Über die Frage, was das intelligenteste Tier sei, mögen sich die Philosophen streiten: Sicher ist jedenfalls, wo das raublustigste und aggressivste zu suchen ist. Und doch: Der Pottwal hat ein Gehirn von annähernd 7 kg Gewicht — viel mehr als das aller Landsäugetiere — aber das hilft ihm auch nicht viel, dem Menschen zu entkommen, der ihn tötet und zu Schmieröl verarbeitet.

Ein interessanter Vergleich: Größe des Gehirns und Körpergewicht

Wenn wir allerdings die Gehirngröße zum Körpergewicht in Beziehung setzen, sieht die Sache schon anders aus. Dann stellt sich ein durchaus sinnvoller

Der große Zweikampf – Computer gegen Gehirn

(Quelle: www.chip.de/ - Computermagazin Chip Nr. 5 - Mai 1980) (photo copyright © by www.schaakcomputers.nl/) (600 dpi)



Vergleich der Größe des Gehirns und der Intelligenz sowie dem Wachstum der Gehirnzellen

Zusammenhang zwischen der Größe des Gehirns und der offenbaren „Intelligenz“ der verschiedenen Tierarten heraus. Die Entwicklung des Menschen zur „Herrschaft“ – und zur potentiellen Vernichtung – in den letzten zwei Millionen Jahren wurde begleitet von einem beträchtlichen Gehirnwachstum. Wir haben auf einer Abbildung grafisch dargestellt, wie sich die Größe des Gehirns der verschiedenen Tierarten im Verlauf der Entwicklung verändert hat. Dargestellt wird die Gehirngröße im Verhältnis zur Körpergröße.

Wie zu erwarten, sind die intelligentesten Lebewesen immer intelligenter geworden, während die weniger cleveren in Nischen abgedrängt wurden, wo sie ihren Platz an den Stellen behaupten, an denen Intelligenz nicht gebraucht wird.

Fast sensationell: die historischen Verhaltensänderungen

Zwei wesentliche Sprünge lassen sich im Diagramm ablesen. Der eine tritt an der Stelle auf, an der die Säugetiere nach dem Aussterben der Dinosaurier die Herrschaft über die Welt übernommen haben. Der andere ist der rasche Anstieg der relativen Größe des Gehirns bei den Vorfahren des Menschen in den letzten paar Jahrmillionen. Das zeigt, daß in dieser Periode die größte Veränderung durch die natürliche Auslese im Entwicklungsprozeß in Richtung auf mehr Intelligenz – möglicherweise auf Kosten anderer Eigenschaften – stattfand. Trotzdem ist es interessant, zu vermerken, daß die effektive Gehirngröße des Menschen nicht größer als die des Delphins ist und daß dieser einen Entwicklungsvorsprung von ein paar Millionen Jahren hat. Aber sogar im Vergleich mit diesem Anstieg der Gehirngröße ist die entspre-

chende Darstellung der Entwicklung von Computerspeichern noch spektakulärer, wie ein anderes Schaubild zeigt (beachten Sie den logarithmischen Maßstab). Hier wird die Zahl der Speicherzellen, die man in eine Raumeinheit packen konnte, in einem Leitschema dargestellt.

Die Kurve steigt mit großer Geschwindigkeit an. Das drückt die Tatsache aus, daß sich – zur Zeit – die Speicherdichte von Halbleiterschaltungen Jahr für Jahr verdoppelt und das bereits seit 1964. Der Anstieg verläuft sogar noch steiler, als es hier dargestellt ist, denn die Verbesserung der Zugriffszeiten auf den Speicherinhalt ist noch gar nicht berücksichtigt. Wenn man eine Speicherzelle einer Nervenzelle gleichsetzt und wenn die Entwicklung mit der gegenwärtigen Tendenz weiterverläuft, dann werden wir innerhalb von 20 Jahren denselben „Gehirn“-/Gewichtsquotienten wie beim Menschen erreicht haben: Eine Maschine im Gewicht von 75 kg hätte dann 10^{11} Speicherzellen.

Allerdings ist eine durchschnittliche Nervenzelle eher mit einem kleinen Mikroprozessor mit, sagen wir, 1000 bis 3000 Transistoren zu vergleichen.

Das Problem der alten Programmiersprache

Wir wissen kaum etwas darüber, wie das Gehirn bestimmte Aufgaben durchführt, etwa das Erkennen von Gesichtern oder Stimmen. Im Gegensatz zur Hardware entwickelt sich die Software im Computerbereich in Form von Betriebssystemen und Programmiersprachen derart langsam, daß wir auf unseren Maschinen noch heute antiquierte Sprachen wie Fortran oder Cobol einsetzen. Ebenso sind – abgesehen von ein paar

Spezialbereichen – parallele Prozesse theoretisch kaum aufgearbeitet. Das wird vermutlich auch so bleiben, bis die serielle Datenverarbeitung an ihre Grenze kommt, die weiteren Fortschritt verhindert, und eine Effizienz von den Problemen verlangt wird, die nur durch parallele Informationsverarbeitung erreichbar ist.

Eines Tages wird es eine künstliche Intelligenz geben

Die Evolution hat den Menschen mit einem Allzweckprozessor von bewundernswerter Leistungsfähigkeit ausgestattet: Jeder von uns steht in einer ununterbrochenen Linie von den ersten spitzmausähnlichen Säugern, die das Aussterben der Dinosaurier vor 70 Millionen Jahren mit bewirkten. Die Natur hat dabei jedoch auch mit vielen Entwicklungshindernissen zu kämpfen gehabt. Gehirne müssen bei Körpertemperatur aufgebaut und betrieben werden – es mag viel effizienter sein, sie bei 1200 °C zu bauen und am absoluten Nullpunkt zu betreiben. Des weiteren mußte das Gehirn an jedem Punkt seiner Entwicklung mit Schwierigkeiten fertig werden, die aus Problemlösungen stammen, die ihre Bedeutung verloren hatten.

Wir stehen erst ganz am Anfang der Kenntnisse von der menschlichen Intelligenz, und doch gibt es keinen Grund, das menschliche Gehirn nicht als eine prinzipiell analysierbare Maschine zu betrachten. Eines Tages wird es eine künstliche Intelligenz geben, sei es aus Silizium oder nicht, die diese Gebiete des „Intellekts“ souverän beherrscht, die wir heute noch – wie im Fall der Kreativität – als ausschließlich menschlich ansehen.

Antwort auf die Frage: Book-Keeper (Buchhalter). □

Der große Zweikampf – Computer gegen Gehirn

(Quelle: www.chip.de/ - Computermagazin Chip Nr. 5 - Mai 1980) (photo copyright © by www.schaakcomputers.nl/) (600 dpi)