Zeitschrift: Horizonte : Schweizer Forschungsmagazin

Herausgeber: Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung

Band: - (1996)

Heft: 28

Artikel: Nun imitiert Elektronik die Natur

Autor: [s.n.]

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-550769

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: 24.01.2026

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

Nun imitiert Elektronik die Natur

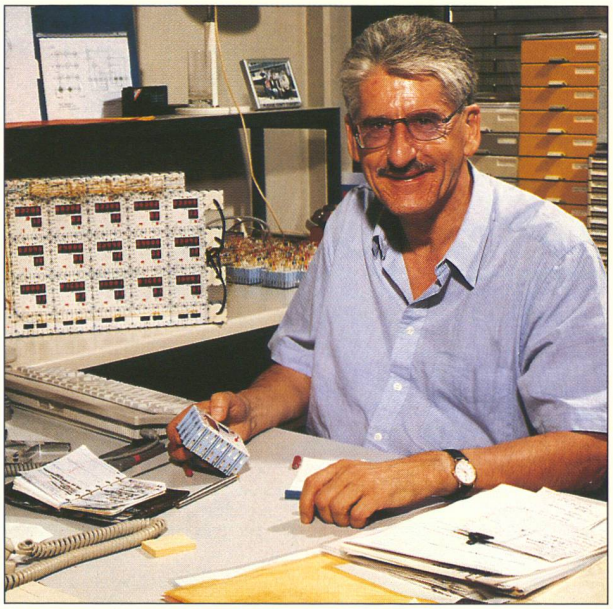
Die Rollen sind vertauscht: Informatik und Elektronik, die bisher auf mancherlei Weise die lebendige Natur zu enträtseln versuchten, beginnen sie nun zu imitieren. Schon funktionieren die ersten «mehrzelligen» elektronischen Schaltkreise, die sich vermehren und sich selbst reparieren können.

Informatik und Elektronik machen zurzeit eine unerwartete Mutation durch: Vor einigen Jahren betrachtete man diese High-tech-Disziplinen noch als gutes Hilfsmittel zur Veranschaulichung der Funktionsweise des Gehirns und der Evolution, der Aufstellung von Regeln für das Erkennen von Objekten oder Gesichtern, für die Speicherung von Expertenwissen zum Aufbau von medizinischen Diagnose-Systemen, für das Zeichnen idealer Baupläne oder gar für die Katastrophen-Prognose.

In diesen Bereichen sind eindrückliche Leistungen erzielt worden, aber nicht etwa weil die Forscher dem Geheimnis des Denkens und des Lebens tatsächlich auf die Spur gekommen waren, sondern weil sie es lediglich geschickt nachgeahmt hatten! Heute bestaunt man die *neuronalen Netzwerke*, die Formen erkennen und Entscheidungen treffen können – doch niemand weiss genau, was dabei in den Computern vor sich geht. Es gibt auch schon Informatikprogramme mit der Fähigkeit, sich zu vermehren, Zufallsmutationen zu vollziehen oder untereinander Code-Sequenzen auszutauschen: So können sich Verbesserungen ergeben, an die niemand gedacht hatte.

Das Leben selbst – Nervensystem, Fortpflanzung, Evolution – ist neuerdings nicht mehr Gegenstand der Forschung, sondern Inspirationsquelle für Ingenieure. Sie befassen sich dabei mit einem charakteristischen Merkmal der Natur, nämlich der Fähigkeit jedes mehrzelligen Lebewesens, sich selbst zu heilen, das heisst defekte Zellen zu ersetzen, um als Ganzes weiterleben zu können. Auf die Forschung in diesem Bereich hat sich Professor Daniel Mange an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (ETH-L) schon vor drei Jahren aus zwei Gründen konzentriert: Ihn reizt die intellektuelle Herausforderung und die Möglichkeit zukünftiger Anwendungen.

EPFL



Prof. Daniel Mange und seine «Biodule».

«Chips werden dutzendweise auf dünnen Siliziumscheiben (*Wafers*) produziert, und einige sind immer fehlerhaft», erläutert er. «Nun geht aber auch der Trend zu immer grösseren und dichter gepackten Schaltkreisen, und eines Tages wird wohl ein Mikroprozessor allein einen ganzen Wafer beanspruchen, den eine einzige Fehlstelle zum Ausschuss macht. Das kann ein Schaltkreis verhindern, der die Fähigkeit hat, fehlerhafte Transistoren zu umgehen, indem er als Ersatz Reserve-Transistoren aktiviert.»

Noch ist man aber nicht soweit, und den Forschungsroboter, der dank «selbstheilender» Computer auf dem Mars bessere Überlebenschancen hätte, gibt es noch nicht. Doch immerhin funktioniert im Labor von Prof. Mange eine Versuchsanordnung mit acht Elektronik-Modulen: Der weltweit erste Beweis dafür, dass ein Computer, der sich vermehren und reparieren kann, mehr als das Hirngespinst ist, das in der Theorie seit 50 Jahren herumgeistert.

Die Forscher im Labor für logische Systeme nennen ihre Module, die wie Legosteine zusammengefügt sind, «Biodule». Jede Einheit verfügt über einen Mikroprozessor und eine digitale Leuchtanzeige, etwa wie ein elektronischer Wecker. Beim Beginn der Funktionsdemonstration ist nur im Speicher des 1. Bioduls ein kurzes Arbeitsprogramm geladen, ungefähr vergleichbar mit der DNS-Erbinformation in einer befruchteten Eizelle, die dann durch Teilung den Aufbau des betreffenden Organismus einleitet. Nun gibt Biodul Nr. 1 sein Programm an seinen Nachbar Nr. 2 weiter, der es kopiert und seinerseits weitergibt, bis schliesslich das Programm in den Speichern aller acht Biodule geladen ist. Ausgeführt wird das Programm aber nur von den ersten vier Biodulen gemeinsam, die das auf ihren Digitalanzeigen kundtun. Die Biodule Nr. 5 bis 8 bleiben inaktiv,

aber «auf Pikett» für den Fall einer Systemstörung.

Welchen Teil des Programms ein bestimmtes Biodul ausführt, hängt von seiner Verknüpfung mit den übrigen Einheiten ab. Auch in unserem Körper verfügt ja jede Zelle über den vollständigen Bauplan für den ganzen Organismus im DNS-Code, aber eine Leberzelle liest daraus andere Gene als eine Nervenzelle.

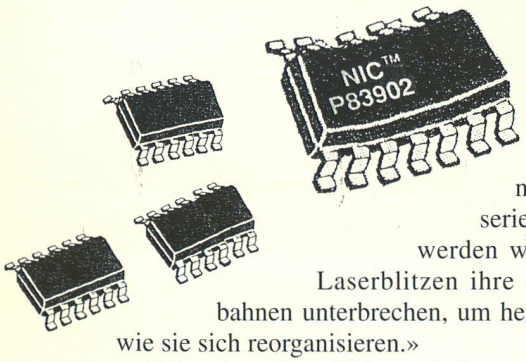
«Jetzt schalte ich das Biodul Nr. 3 ab», kündigt Prof. Mange an und drückt auf eine Taste. Auf diese «Verletzung» reagiert das System, indem es sich neu organisiert: Biodul Nr. 4 übernimmt die Funktion von Nr. 3, das nun «tot» ist. Und Nr. 5, bisher inaktiv, tritt an die Stelle von Nr. 4. Nachdem sich das System so repariert hat, läuft die Ausführung des Programms weiter.

Zwischen Labor und Chips

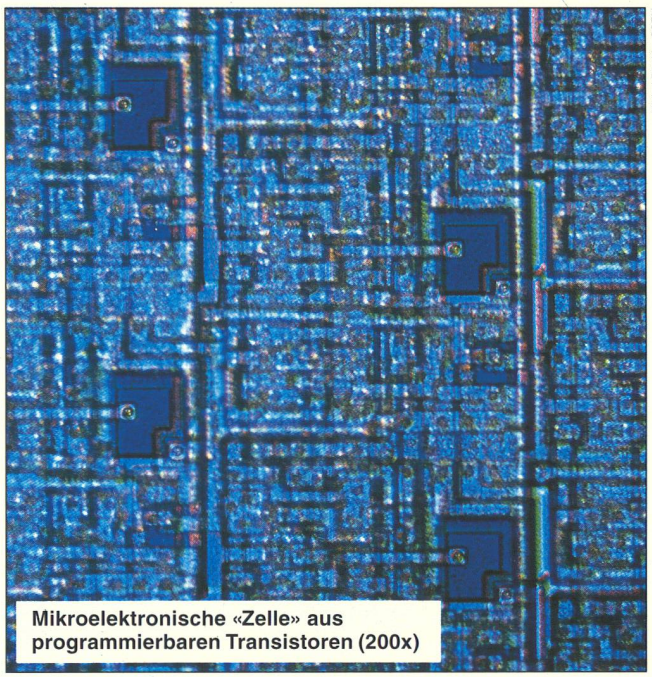
Natürlich kauft niemand vier klobige Labor-Biodule, um ein simples Informatik-Programm laufen zu lassen. Doch sind die Komponenten, die heute noch im Labor zusammengebaut werden, mit den ersten elektronischen Rechnern zu vergleichen, die mit Röhren bestückt waren und ein ganzes Zimmer füllten – seither hat eine ingeniöse Technologie den heutigen Laptop geschaffen.

Zurzeit arbeiten Spezialisten der Fertigung integrierter Schaltkreise eifrig an der Miniaturisierung der selbstheilenden Biodule. Die Professoren Daniel Mange und Eduardo Sanchez, die mit ihren Teams an der ETH-L forschen, pflegen engen Kontakt mit Pierre Marchal am CSEM (Centre suisse d'électronique et de microtechnique) in Neuenburg. Gemeinsam haben diese Forscher bereits verschiedene Konzepte für selbstheilende Schaltkreise auf Silizium mittels Computersimulation entwickelt. Die Demonstration war eine Weltpremière und hat nicht nur in der Fachpresse grosse Beachtung gefunden, sondern auch das Interesse einiger Industrieller geweckt. Allerdings hat bis heute noch niemand Pläne für einen einfachen Mikroprozessor vorgelegt, der nicht «aussteigt», wenn man ihn an der einen oder anderen Stelle verletzt.

«Gerade jetzt kommt eine Vorserie dieser selbstheilenden integrierten Schaltkreise aus der Fabrik», erklärt Pierre Marchal. «Diese Prototypen werden mit den zurzeit üblichen Verfahren produziert und in den nächsten Monaten strengen Testserien unterworfen. Dabei werden wir vor allem mittels Laserblitzen ihre elektrischen Leiterbahnen unterbrechen, um herauszufinden, ob und wie sie sich reorganisieren.»



Diese neuartigen Chips enthalten programmierbare Transistoren, die vor fünf Jahren von der englischen Firma Xilinx unter der Bezeichnung «*Field Programmable Gate Array*» entwickelt worden sind. Im Gegensatz zu den üblichen Komponenten eines Mikroprozessors sind ihre Leiterbahnen nicht schon endgültig «fixiert». Sie sind also «jungfräulich». Erst die Programmierung baut die Verbindungen auf, so dass sie für sehr unterschiedliche Anwendungen spezialisiert werden können. In Gruppen zusammengeschaltet bilden diese Transistoren vier «Zellen», die gemeinsam dasselbe Programm ausführen. Als nächster Schritt ist die Entwicklung von Karten mit mehreren derartigen Vierergruppen und entsprechend gesteigerter Leistungsfähigkeit vorgesehen. Mehr als einige grundsätzliche Logik-Operationen können auch diese «Bio-Chips» nicht ausführen – sie bringen also noch keinen Durchbruch, öffnen aber doch den Ausblick auf neue Anwendungsmöglichkeiten.


Michel Perdrix, CSEM

Mikroelektronische «Zelle» aus programmierbaren Transistoren (200x)

Wohin diese Erfolge der Grundlagenforschung schliesslich führen werden, kann noch niemand sagen. Bereits haben sie aber die Denkgewohnheiten verändert, wie Prof. Mange bemerkt: «In den sechziger Jahren wurden in zwei ganz unterschiedlichen Wissensgebieten zwei revolutionäre Entdeckungen gemacht: die Entschlüsselung des genetischen Codes der DNS und die Produktion integrierter Schaltkreise auf Silizium. Dass diese beiden Neuerungen eines Tages verknüpft werden könnten, stellte sich damals niemand vor.» Zu den ersten Kursen für Spezialisten der Herstellung «zellulärer Netzwerke» hat der Lausanner Professor darum nicht nur einige führende Fachleute der bio-orientierten Informatik eingeladen, sondern auch einen Biologen, Professor Denis Duboule von der Universität Genf, der sich mit der Entwicklung von Embryonen befasst. Abschliessend erinnert Prof. Mange sich noch: «Wie nahe sich unsere Arbeitsbereiche gerückt sind, ist mir übrigens bei der Lektüre von HORIZONTE klargeworden.»