



Struktur der Forschung

Die Forschung im Projekt findet in den folgenden vier Bereichen statt:

- Experimentelle Charakterisierung von Nervenzellen und Netzwerken in-vivo und in-vitro
- Untersuchung von theoretischen Modellen und Computersimulationen von Zellen und Netzwerken
- Entwurf, Herstellung und Betrieb von hochintegrierten Schaltungen zur Modellierung des biologischen Vorbildes
- Untersuchung der verschiedenen Plastizitätsmechanismen auf allen genannten Ebenen

Darüber hinaus ist ein essentieller Aspekt der Arbeit im Projekt die Integration der erreichten Resultate und der erstellten Prototypen. Zu diesem Zweck müssen die Ergebnisse der Simulationen und der Hardware-Systeme in realistischen Szenarien getestet werden.

Als Testanwendung wird ein Teil des komplexen visuellen Systems nachgebildet, insbesondere seine Reaktion auf schnell wechselnde Eingangsmuster.

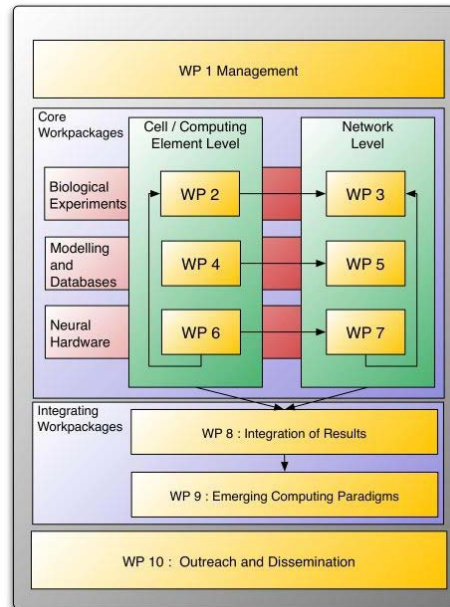
Das FACETS Projekt ist in 10 Arbeitspakete (WP = work package) unterteilt, um die gesteckten Ziele auf der wissenschaftlichen Seite, bei der Ausbildung des akademischen Nachwuchses, bei der Demonstration und im Management zu erreichen.

Das FACETS Konsortium: 15 Gruppen aus 7 Ländern

- Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Deutschland (Koordinator)
- University of Debrecen, Ungarn
- Ecole Nationale Supérieure d'Electronique, 'Informatique et Radiocommunications de Bordeaux, Frankreich
- Technische Universität Dresden, Deutschland
- Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Deutschland
- Centre national de la recherche scientifique (UNIC), Gif-sur-Yvette, Frankreich
- Centre national de la recherche scientifique (INCM), Marseille, Frankreich
- Technische Universität Graz, Österreich
- Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (LCN), Schweiz
- Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (LNMC), Schweiz
- Funetics S.a.r.l., Genf, Schweiz
- The School of Pharmacy, London University, UK
- University of Plymouth, UK
- Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA), Sophia Antipolis, Frankreich
- Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, Schweden

Mehr Info: Auf der FACETS Webseite <http://www.facets-project.org>

„Markt der Möglichkeiten“ bei der Veranstaltung „Europa – unsere Zukunft“ am 3. März 2007 im Stuttgarter Landtag



Wie funktioniert Informationsverarbeitung im Gehirn?

100.000-fach beschleunigte Emulation des elektrischen Verhaltens biologischer Nervenzellen

Ein Tag biologischer Echtzeit entspricht weniger als einer Sekunde auf dem Chip

Forschung am Modell: Emulation neuronaler Netze auf Silizium-Chips

10 mV
0.5 sec

0.2 V
5 µsec

1 Tag
0,864 Sekunden

Electronic Vision(s) Gruppe, Kirchhoff Institut für Physik, Heidelberg
K. Meier, J. Schemmel, D. Brüderle, J. Fieres, A. Gröbl, C. Gutmann, D. Husmann, B. Kindler, S. Millner, E. Mueller, B. Ostendorf, S. Philipp, M. Reuss, T. Schmitz, A. Srowig, M. Trefzer
www.kip.uni-heidelberg.de/vision



Motivation für das FACETS Projekt

Die Neurowissenschaft ist ein Hauptforschungsgebiet des 21. Jahrhunderts. Das menschliche Gehirn zählt zu den komplexesten Systemen, die die Wissenschaft kennt und die Frage, wie es funktioniert, ist so alt wie die Menschheit selbst. Insbesondere birgt die Art, wie das Gehirn arbeitet, erstaunliche Leistungsmöglichkeiten im Bereich der Energieeffizienz, Fehlertoleranz und Kompaktheit, um nur einige zu nennen.

Sowohl aus biowissenschaftlicher als auch aus informationstechnologischer Sicht ist es wünschenswert, die diesen Eigenschaften zu Grunde liegenden Mechanismen zu verstehen:

- Das biowissenschaftliche Interesse hat potentielle medizinische Anwendungen.
- Der informationstheoretische Ansatz könnte zur Entwicklung von neuen Rechnern beitragen, die sich radikal von der aktuellen Technologie unterscheiden.

Biologische Nervensysteme zu verstehen ist jedoch schwierig: Eine typische Struktur im menschlichen Gehirn ist ein hoch komplexes Netzwerk aus einer gewaltigen Anzahl verschiedener Typen von Neuronen und Synapsen. Die dort ablaufenden Prozesse, zum Beispiel die Verarbeitung kurzfristiger Sinnesindrücke, das Langzeitgedächtnis oder die Alterung, haben Zeitkonstanten von Mikrosekunden bis hin zu Jahren, überspannen also einen Bereich von 13 Größenordnungen. Die neuronalen Schaltkreise führen massiv parallele Berechnungen aus und erhalten Eingaben von verschiedenen Sensorsystemen, die eine sich schnell ändernde Umgebung wahrnehmen. Angesichts der Komplexität und Dynamik des Gehirns ist es noch völlig offen, ob unsere Fragen dazu jemals vollständig beantwortet werden können.

Ziele des FACETS Projektes

Im FACETS Projekt wird versucht, Methoden der Informationsverarbeitung zu verstehen, die sich vom Turing Konzept aktueller Computer unterscheiden und statt dessen auf der Komplexität und Dynamik beruhen, die bei Gehirnaktivität beobachtet wird. Es werden also Methoden untersucht, bei denen Komplexität ein bestimmender Teil der Berechnung selber ist, statt etwas, das es möglichst zu vermeiden gilt. Insbesondere soll gezeigt werden, wie Mechanismen zur Informationsverarbeitung aus der dynamischen Abfolge von kurzlebigen Zuständen innerhalb eines durch die internen Verbindungen bestimmten, verteilten Netzwerkes entstehen können.

Unter anderem arbeitet das FACETS Projekt also daran, die theoretische und experimentelle Grundlage zu legen, um, ebenfalls als Teil des Projektes, neue Hardware zu erstellen, die die im Gehirn beobachteten Prinzipien ausnutzt. Ein solches System wird ein weites Spektrum an Experimenten ermöglichen: Sowohl den Test von neurowissenschaftlichen Modellen als auch das Studium von neuen Konzepten bei der Informationsverarbeitung, die die Dynamik, Plastizität und Diversität der einzelnen Nervenzellen des biologischen Vorbildes ausnutzen.

Die Ziele des Projektes können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Erhebung von biologischen Daten mit in-vivo und in-vitro Messungen auf Zell- und Netzwerkebene und Erstellung einer Datenbank von Nervenzell-Charakteristika.
- Verwendung von großen Computer Simulationen, um im Projekt entwickelte Konzepte zu testen. Außerdem die Entwicklung einer einheitlichen Konfigurations-Schnittstelle für Neurosimulationen.
- Bau und Betrieb von Hardwaremodellen auf Grundlage dieser Resultate.
- Test und Beurteilung der neuen Berechnungsmodelle anhand von Problemstellungen des visuellen Systems.



Neuronale Netze in Hardware

Falls der jährliche Leistungszuwachs von Computern weiterhin dem Mooreschen Gesetz folgt, wird es mindestens noch ein halbes Jahrhundert dauern um die Leistung zu erreichen, die zur Simulation größerer Bereiche des Gehirns nötig ist. Es gibt daher einen großen Bedarf innerhalb der Neurowissenschaften an einem System, das die Modellierung eines größeren Nerven-Areals unter Berücksichtigung der Plastizität der Synapsen und der Vielfalt an verschiedenen Zelltypen erlaubt.

Eine Möglichkeit, einen signifikanten Zuwachs bei der Simulationgeschwindigkeit innerhalb dieses Jahrzehnts zu erreichen, ist die Verwendung von speziell hergestellten parallelen analogen Schaltkreisen. Im FACETS System werden die elektrischen Prozesse innerhalb der Nervenzellen direkt analog nachgestellt während die Kommunikation im System digital erfolgt. Dabei wird die Information über den Zeitpunkt eines Spikes als digitales Datenpaket auf den Weg zum Zielneuron gebracht. Auf diese Weise wird das Gesamtsystem nur durch die zur Verfügung stehenden Ressourcen limitiert und nicht durch physikalische Beschränkungen, wie zum Beispiel durch Signalverschlechterung auf weiten Strecken.

Die FACETS Hardware wird mittels sehr vieler parallel arbeitender hochintegrierter elektronischer Bauteile (engl.: VLSI, very large scale integration) einen kleinen Bruchteil der Neuronalen Schaltkreise eines Gehirns emulieren können. Die damit implementierte Art der Berechnung beruht auf den massiv parallelen, komplexen und dynamischen Prozessen, die bei Gehirn-Aktivität beobachtet werden.

Die detaillierte strukturelle (Verbindungs-matrix, Neuronentypen) und funktionale Charakterisierung (dynamische Aktivitätszustände und Plastizität) von neuronalen Schaltkreisen ist die Voraussetzung, um theoretische Modelle der im Gehirn realisierten Konzepte erstellen zu können. Diese müssen dann wiederum in Anforderungen für die Hardware übertragen werden.

Das aktuell entwickelte System ist in weiten Bereichen konfigurierbar und erlaubt es, die laufenden Signale mit hoher Geschwindigkeit auszulesen und zu überwatchen. Damit werden Experimente in sehr unterschiedlichen Zeitdomänen möglich, von der Untersuchung einzelner Spikes über schnelle Anpassungsmechanismen bis hin zum Lernen und der Beobachtung von Entwicklungs- und Alterungsprozessen.

Die hohe Geschwindigkeit (bis zu 100000x Echtzeit) der Hardware-Emulation wird es möglich machen, auch lang dauernde Prozesse zu untersuchen (1 Jahr wird zu 5 Minuten). Damit sollte sie zu einem wertvollen, flexiblen Werkzeug für neurowissenschaftliche Experimente werden.

