

Department of Physics and Astronomy
University of Heidelberg

Diploma thesis

in Physics

submitted by

Thomas Pfeil

born in Stuttgart - Bad Cannstatt

January 2011

**Configuration Strategies
for Neurons and Synaptic Learning
in Large-Scale Neuromorphic Hardware Systems**

**This diploma thesis has been carried out by Thomas Pfeil
at the**

KIRCHHOFF INSTITUTE FOR PHYSICS

under the supervision of

Prof. Dr. Karlheinz Meier

Configuration Strategies for Neurons and Synaptic Learning in Large-Scale Neuromorphic Hardware Systems

In this thesis, the neurons and plastic synapses of a novel wafer-scale neuromorphic hardware system developed within the FACETS and BrainScaleS research projects are analyzed by software simulations and by measurements with prototype devices. In order to overcome the historical obstacles towards a highly configurable, large-scale neuromorphic hardware system with plastic synapses, a trade-off between the number of neurons and synapses and the required chip resources has to be made. The major reduction in required resources, as realized by the FACETS system, results in a small-sized, customized mixed-signal circuitry that – especially in the case of synapses – brings up limitations compared to standard computer floating point arithmetic. The intrinsic inhomogeneities and noisiness in real biological systems suggest that such limitations should not critically impede the general functionality of spike-timing dependent plasticity, which is often implemented in established neural network models. The effects of discretizing synaptic weights, as done in hardware implementations of the considered type, are studied by step-wise increasing the level of test scenario complexity towards a network benchmark for synchrony detection. Production imperfections are measured in hardware experiments and integrated into extended studies. Furthermore, a neuron fitting environment is presented that allows an automatic fitting of hardware neurons to arbitrary electrophysiological data, either obtained by biological recordings, or reference software simulations. First experiments show that the applied particle swarm algorithm is capable of optimizing the neuron parameters, and that the prototype test setup calibrated this way can be operated successfully and with high reliability.

Strategien zur Konfiguration von Neuronen und synaptischem Lernen in großskaligen neuromorphen Hardwaresystemen

In dieser Diplomarbeit werden die Neurone und plastischen Synapsen eines innovativen neuromorphen Hardwaresystems, das im Rahmen der Forschungsprojekte FACETS und BrainScaleS entwickelt wird, anhand von Softwaresimulationen und Messungen an Prototypen untersucht. Um die bisherigen Schwierigkeiten in der Entwicklung eines hochkonfigurierbaren, großskaligen neuromorphen Hardwaresystems mit plastischen Synapsen zu überwinden, muss ein Kompromiss zwischen der Anzahl an Neuronen und Synapsen und deren Schaltungsaufwand eingegangen werden. Im FACETS-System angewandte, drastische Einsparungen in der Belegung von Hardwareressourcen – insbesondere für Synapsen – führen zu kleinen, zugeschnittenen Mixed-Signal Schaltkreisen, welche im Gegensatz zur herkömmlichen Fließkomma-Arithmetik funktionale Einschränkungen zur Folge haben. Die Ungleichmäßigkeiten und das Rauschen in biologischen Systemen legen nahe, dass solche Einschränkungen die Funktionalität der korrelationsbasierten synaptischen Plastizität (STDP), die oft in etablierten neuronalen Netzwerken eingesetzt wird, nicht grundlegend beeinflussen sollte. Die auftretenden Effekte einer Diskretisierung von synaptischen Gewichten, wie sie in der betrachteten Art von Hardwaresystemen verwendet wird, werden analysiert, indem die Komplexität der Testszenarien schrittweise erhöht wird bis hin zu einem Netzwerk, welches Synchronizität erkennen kann. In Experimenten mit der Hardware werden Produktionsschwankungen gemessen, deren Charakteristik für weitere Studien verwendet wird. Außerdem wird eine Umgebung präsentiert, die es ermöglicht, Hardwareneurone an beliebige elektrophysiologische Daten, die entweder aus biologischen Aufzeichnungen oder Referenzsimulationen gewonnen werden können, automatisch anzupassen. Erste Experimente bestätigen, dass der verwendete Partikel-Schwarm Algorithmus zur Optimierung von Neuronparametern geeignet ist, und dass der Prototypaufbau in dieser Umgebung mit hoher Verlässlichkeit betrieben werden kann.

A publication of the results is in work. Consequently, a full version of this diploma thesis will be available online, as soon as the publication is finished.