

DISS. ETH NO. 23071

Experimentation Platforms for Neuromorphic Event-Based Multi-Chip Systems

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

DANIEL BERNHARD FASNACHT

Dipl. Informatik-Ing. ETH
Master of Science ETH in Computer Science

born on the 16th of April 1980
citizen of Muntelier FR

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Tobias Delbruck (ETH Zurich), examiner
Prof. Dr. Giacomo Indiveri (University of Zurich), co-examiner
Prof. Dr. Richard Hahnloser (ETH Zurich), co-examiner
Prof. Dr. Rodney J. Douglas (ETH Zurich), co-examiner

2016

Abstract

“Neuromorphic Systems” are artificial information processing systems which mimic the architecture of biological neural systems. “Neuromorphic VLSI Systems” are such systems typically featuring analog VLSI chips as their basis. These chips can implement neurons and synapses, or they can be of the sensory kind, implementing artificial retinas or cochleas. Most of these systems use “Address-Event Representation” (AER), a way to send artificial spikes (action-potentials), in order to communicate between multiple chips on one board, or between multiple boards that contain such chips.

This thesis addresses the problems of AER interfacing and AER processing. Traditional AER has come to its limits concerning board-to-board interfacing. Novel solutions must be found. AER processing devices are very important too, because AER streams must usually be routed to the right destination, and be filtered or be translated completely (be “mapped”) to create complex connectivity patterns in neuromorphic systems.

To provide a solution for these issues, we present the AEXv4 AER interfacing platform and MMv2 AER mapper, which communicate using a novel serial AER interface. In combination we present a software framework developed for these systems. Together they provide a high-performance, modular AER interfacing and processing platform enabling many neuromorphic systems successfully built at INI and other research labs.

The thesis also investigates how to embed AER systems to make them suitable for mobile/robotic applications. The result is that the iCub robot can be equipped with a completely neuromorphic visual pathway, built as part of the eMorph research project, partially reusing the AEXv4 system design.

The last problem addressed in this thesis is, based on all lessons learnt when solving the aforementioned problems, to create an AER interfacing and processing system, which is much more extensible than the systems presented so far in this thesis. It aims also at being able to scale to medium-scale heterogeneous multi-chip systems. For this the AEXL project is presented and shows very promising results.

The thesis will conclude by showing its impact on the field by presenting a number of neuromorphic experimental setups based on this work and publications resulting from them. Finally, the key design methodologies and strategies used during this thesis are presented and their influence on the work of this thesis and its success is explained.

Zusammenfassung

“Neuromorphe Systeme” sind künstlich geschaffene Informationsverarbeitungssysteme, die Architekturen von biologischen neuronalen Systemen nachahmen. “Neuromorphe VLSI Systeme” sind Systeme dieser Art, die auf analogen VLSI Chips basieren. Diese Chips können Neuronen und Synapsen in ihren Schaltungen implementieren, oder sie können auch sensorischer Art sein, z.B. als künstliche Retina oder Cochlea. Die meisten dieser Systeme verwenden die “Address-Event Representation” (AER), eine Methode um künstliche “Spikes” (Aktionspotentiale) zu versenden, um zwischen verschiedenen Chips auf einer Platine zu kommunizieren, oder auch zwischen mehreren Platinen die solche Chips enthalten.

Diese Doktorarbeit befasst sich damit mittels AER-Verbindungen zu kommunizieren und AER-Ströme zu verarbeiten. Traditionelle AER-Implementierungen stossen bei der Kommunikation zwischen mehreren Platinen an ihre Grenzen. Darum müssen neue Lösungen gefunden werden. Systeme, die AER-Ströme verarbeiten können, sind auch meist erforderlich, da AER-Ströme normalerweise an ihr Ziel geroutet, gefiltert oder sonst auf eine Art transformiert werden müssen um komplexe Verbindungsmuster in neuromorphen Systemen zu erzeugen.

Um Lösungen für diese Problemstellungen anzubieten, stellen wir die AEXv4 AER-Schnittstellenplattform und den MMv2 AER-Übersetzer vor, die untereinander mit einer neuartigen seriellen AER-Schnittstelle kommunizieren. In Kombination damit präsentieren wir ein Software-Framework, das für diese Systeme entwickelt wurde. Zusammen ergibt sich eine performante und modulare AER-Experimentierplattform, die den erfolgreichen Aufbau vieler neuromorpher Experimentiersysteme am INI und anderen Institutionen ermöglicht hat.

Diese Arbeit befasst sich ebenfalls damit, wie solche AER-Systeme kompakt gebaut werden können, um z.B. einen Einsatz in einem Robotik Umfeld zu ermöglichen. Als Resultat konnte der iCub Roboter im Rahmen des eMorph Projekts mit einem komplett neuromorphen visuellen System ausgerüstet werden, unter Wiederverwendung von Teilen des AEXv4 Systems.

Die letzte Aufgabe, welche in dieser Dissertation angegangen wird, ist es, basierend auf den bis hierhin vorgestellten Systemen und den bei der Entwicklung dieser gewonnenen Erkenntnisse, ein AER-Experimentierplattform zu entwickeln, die einfacher erweiterbar ist als die bisher

vorgestellten und zudem die Skalierfähigkeit bieten soll, um mittlere bis grosse neuromorphe Systeme zu bauen, die viele Chips vereinen. Dabei sollen auch heterogene multi-Chip Systeme unterstützt werden. Dazu wurde das AEXL Projekt geschaffen, mit dessen von vielen Forschern sehr vielversprechende Resultate produziert werden.

Zum Abschluss dieser Arbeit werden wir deren Einfluss auf das Forschungsgebiet anhand von diversen Beispielen von Experimenten, die auf dieser Arbeit basieren, sowie den daraus resultierenden Publikationen, aufzeigen. Zuletzt werden wir die entscheidenden Entwicklungsmethoden und -strategien vorstellen, die im Rahmen dieser Arbeit angewandt wurden und wesentlich zu deren Erfolg beigetragen haben.