



Doctoral Thesis

## Autonomous learning in neuromorphic systems for recognition of spatio-temporal spike patterns

**Author(s):**

Sheik, Sadique ul Ameen

**Publication Date:**

2013

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010118718> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 21425

# Autonomous Learning in Neuromorphic Systems for Recognition of Spatio-Temporal Spike Patterns

A dissertation submitted to

**ETH ZURICH**

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

**SADIQUE UL AMEEN SHEIK**

M.Sc. Physics, Indian Institute of Technology, Kharagpur

born on May 09th, 1985

citizen of Republic of India

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Rodney J. Douglas, examiner

Prof. Dr. Giacomo Indiveri, co-examiner

Prof. Dr. Elisabetta Chicca, co-examiner

Prof. Dr. Richard Hahnloser, co-examiner

2013

# Abstract

Spiking neuromorphic devices rely on the fact that spikes are an efficient mechanism for encoding and transmitting spatio-temporal properties of stimuli. Several neuromorphic sensors have been built recently that efficiently encode dynamic stimuli into spikes in real-time. But detecting stimuli based on the information embedded in such spikes in real-time is still an open problem. Typically, the problem of detection of stimuli based on spatio-temporal spike patterns is reduced to detection of coincident spiking activity in the spike pattern. The ordering of spikes and the precise Inter-Spike Intervals (ISIs) are often ignored thereby losing precious temporal information such as causality in the stimulus. These approaches also require very precise tuning of parameters to match the properties of the input spike patterns. In order to recognize spike patterns based on their temporal properties, I investigate alternate strategies for spike based neural processing. I propose a novel model, that exploits spike propagation delays and the temporal properties of Spike Timing Dependent Plasticity (STDP) to capture the spatio-temporal correlations in the spike pattern. This allows the model to go beyond detecting simply the coincidences in the stimuli. The model relies on a pool of propagation delays that enable neurons in the network to store precise inter-spike intervals in the target spike pattern. Through STDP the network converges to a connectivity that encompasses the ISIs corresponding to the target spike pattern. To ensure its robustness to imprecise neuromorphic devices, it is validated by implementing and testing it on a neuromorphic multi-chip system. The intrinsic transistor mismatch of neuromorphic devices is exploited to generate a wide range of propagation delays with point Leaky Integrate and Fire (LIF) neurons. By training the network on a parameterized set of synthetically generated spike patterns, it is demonstrated that the model can learn to differentiate between different spike patterns even if they share the same spatial properties but have different temporal properties. This work enables us to build spike-based neuromorphic systems that perform real-time learning and detection based on the spatio-temporal properties of the stimulus. The generality of this work to generic spike patterns enables us to perform challenging tasks such as multi-sensory fusion and to learn relevant spatio-temporal correlations across multiple sensory modalities.

## Compendio

I sistemi neuromorfi si basano sul fatto che gli eventi sono un meccanismo efficiente per codificare e trasmettere le proprietà spazio temporali degli stimoli. Recentemente sono stati costruiti molti sensori neuromorfi che codificano efficientemente stimoli dinamici in eventi in tempo reale. Ciò nonostante, riconoscere in tempo reale gli stimoli basandosi sull'informazione contenuta in tali eventi rimane ancora un problema aperto. Tipicamente il problema del riconoscimento di stimoli basati sui modelli spazio temporali degli eventi viene semplificato nel problema del riconoscimento di coincidenze da un flusso di eventi. L'ordine degli eventi e gli ISI vengono spesso ignorati. Pertanto informazioni temporali preziose, come la causalità dello stimolo, vengono perse. Questi approcci richiedono precise calibrazioni dei parametri per accoppiare le proprietà degli eventi in ingresso. Per riconoscere i diversi tipi di flussi di eventi basandosi sulle proprietà temporali degli stessi, ho indagato strategie alternative per il processamento neurale di flussi di eventi. Propongo un modello nuovo, che sfrutta il ritardo di propagazione degli eventi e le proprietà temporali dell'STDP per catturare correlazioni spazio temporali rilevanti. Questo permette al modello di andare oltre al semplice riconoscimento di coincidenze negli stimoli. Il modello si basa su un gruppo di propagazione dei ritardi che consente ai neuroni della rete di memorizzare precisi intervalli temporali tra eventi (ISI) nel flusso di eventi da riconoscere. Tramite STPD la rete converge ad una connettività che contiene gli ISI corrispondenti al flusso di eventi da riconoscere. Per assicurare la robustezza del modello e quindi essere in grado di utilizzare hardware impreciso neuromorfo, il modello stesso è stato validato tramite un'implementazione su un sistema multi chip in hardware neuromorfo. La variabilità intrinseca dei sistemi neuromorfi viene sfruttata per generare una vasta gamma di ritardi di propagazione con neuroni LIF. Tramite un addestramento della rete, avvenuto utilizzando stimoli sintetici generati dal computer, viene dimostrato che il modello può imparare a differenziare tra diversi flussi di eventi anche se tali flussi presentano le stesse proprietà spaziali ma differiscono in proprietà temporali. Questo lavoro ci permette di costruire sistemi neuromorfi basati sugli eventi che apprendono in tempo reale e che discriminano proprietà spazio temporali degli stimoli. La generalità di questo lavoro si colloca nel contesto di computazione ad eventi. Questo nuovo paradigma computazionale ci permette di svolgere compiti impegnativi come quello della fusione multi-sensoriale e dell'apprendimento di correlazioni spazio temporali tra diverse modalità sensoriali.