Sparse coding and its application to modeling the zebra finch's auditory system

Diss. ETH No. 21204

Sparse Coding and Its Application to Modeling the Zebra Finch's Auditory System

A dissertation submitted to
ETH Zurich

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
Florian Blättler
Dipl. Phys. ETH

born June 21, 1978
citizen of Hergiswil NW

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Richard H.R. Hahnloser, examiner
Prof. Dr. Walter Senn, co-examiner

2013

Abstract

In the first part of this thesis I discuss characterizations of neuronal functionalities especially in response to sensory stimuli, followed by an overview over the knowledge about the zebra finch's auditory system as far as it is known today.

The main part of the thesis is based on and partly reproduced[1] from our publication (Blättler and Hahnloser, 2011). I present a new nonsymmetric sparse coding algorithm and its application to modeling the zebra finch's neuronal activity in response to auditory stimuli. In contrast to other, symmetric sparse coding algorithms it is adapted to neuronal modeling as biological neurons themselves are only able to relay unsigned messages (action potential). However, models based on sparse coding schemes have successfully been applied in the past to model low-level sensory systems, mainly the primary visual cortex. But whether such models will be successful in explaining the more complex behavior of neurons in higher sensory brain areas is unknown. I show that applying our nonsymmetric sparse coding algorithm on zebra finch vocalizations we are able not only to model neuronal behavior in low-level brain areas such as Field L, but also in high-level areas such as HVC (used as a proper name). In our model one single parameter controls the transition between these behaviors: the firing threshold of the neurons.

In the last part of the thesis four possible applications in machine learning based on our nonsymmetric sparse coding algorithm and inspired by the zebra finch's auditory system will be presented: The first application is a simple method to automatically identify sound files containing subsong. As a second application a direct way to track development of song learning

[1] sections 4.3, 5.2, 5.3, 6.3, and chapter 7

during development will be shown. The third application will demonstrate the possibility of smart noise suppression and as a fourth application an approximation algorithm for underdetermined blind source separation will be presented.

In a nutshell, I present a new algorithm that gives new insight into sensory processing of the brain and could serve as a tool for machine learning algorithms.

Zusammenfassung

Im ersten Teil dieser Dissertation diskutiere ich quantitative Beschreibungen neuronaler Funktionen, im Speziellen als Antwort auf sensorische Stimuli, gefolgt von einer Übersicht des Wissen über das auditorische System von Zebrafinken, wie es zum heutigen Tag bekannt ist.

Der Hauptteil dieser Dissertation basiert auf und ist teilweise übertragen[2] von unserer Publikation (Blättler and Hahnloser, 2011). Ich präsentiere einen neuen nichtsymmetrischen Sparse-Coding-Algorithmus und seine Anwendung zur Modellierung neuronaler Aktivität im Zebrafinken als Antwort auf auditorische Stimuli. Im Gegensatz zu anderen, symmetrischen Sparse-Coding-Algorithmen ist ein solcher für neuronale Modellierung geeignet, da biologische Neuronen gleichfalls nur vorzeichenlose Botschaften übermitteln (Aktionspotential). Nichtsdestotrotz wurden Modelle, welche auf Sparse-Coding-Algorithmen basieren, erfolgreich angewendet, um primäre sensorische Systeme zu modellieren, allen voran den primären visuellen Cortex. Ob solche Modelle auch fähig sind, das komplexere Verhalten von Neuronen in höheren sensorischen Hirnarealen zu erklären, ist unbekannt. Ich zeige, dass wenn wir unseren nichtsymmetrischen Sparse-Coding-Algorithmus auf die Vokalisierung von Zebrafinken anwenden, wir das Verhalten von Neuronen nicht nur in tieferen Hirnarealen wie Field L modellieren können, sondern auch in höheren Arealen wie HVC (Eigenname). In unserem Modell wird der Übergang durch einen einzigen Parameter kontrolliert: vom Schwellenwert, ab welchem die Neuronen feuern.

Im letzten Teil der Dissertation werden vier mögliche Anwendungen des nichtsymmetrischen Sparse-Coding-Algorithmus im Bereich des Machine-

[2] Unterkapitel 4.3, 5.2, 5.3, 6.3, und Kapitel 7

Learnings vorgestellt, welche inspiriert sind vom auditorischen System der Zebrafinken: Die erste Anwendung ist eine einfache Methode, um automatisch Sounddateien zu identifizieren, welche Subsong enthalten. Als zweite Anwendung wird eine Möglichkeit gezeigt, um das Lernen des Gesangs während der Entwicklung zu verfolgen. Die dritte Anwedung zeigt die Möglichkeit, intelligent Lärm zu unterdrücken, und die vierte Anwendung ist ein Approximations-Algorithmus für die unterbestimmte, blinde Quellentrennung.

Zusammengefasst präsentiere ich einen neuen Algorithmus, welcher neue Einsichten gibt in die Verarbeitung sensorischer Daten im Hirn und welcher als Werkzeug für Machine-Learning-Algorithmen dienen kann.