



Doctoral Thesis

Analysis, design, and optimization of cellular neural networks

Author(s):

Hänggi, Martin

Publication Date:

1999

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-003822341> →

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. 13225

Analysis, Design, and Optimization of Cellular Neural Networks

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
MARTIN HÄNGGI
Dipl. El.-Ing. ETH
born May 11, 1969
citizen of Nunningen/SO and Niederglatt/ZH

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. George S. Moschytz, examiner
Prof. Dr. Leon O. Chua, co-examiner

1999

Abstract

Cellular neural networks (CNNs) constitute a class of recurrent and locally coupled arrays of identical dynamical systems (cells). The underlying equation governing the dynamics of each cell is nonlinear and the cells are assumed to operate in parallel. The connectivity among the cells is determined by a set of parameters denoted as a template set. A specific task is implemented by determining the appropriate template set.

Signal processing via CNNs only becomes efficient if the network is implemented in analog hardware. In view of the physical limitations that analog implementations entail, robust operation of a CNN chip with respect to parameter variations has to be insured. By far not all mathematically possible CNN tasks can be carried out reliably on an analog chip, some of them are inherently too sensitive.

We define a robustness measure to quantify the degree of robustness and propose an exact and direct analytical design method for the synthesis of optimally robust network parameters. This method is restricted to the class of so-called locally regular templates, which is rigorously defined. It turns out that the complementary class, the locally irregular templates, constitute precisely the class of inherently sensitive templates, which makes the synthesis method generally applicable to all tasks that allow robust operation.

Processing speed is always crucial when discussing signal processing devices. In the case of the CNN, it is shown that the settling time of locally regular templates can be specified in closed analytical expressions, which permits, on the one hand, template optimization with respect to speed and, on the other hand, efficient numerical integration of CNNs. Interdependence between robustness and speed issues are also addressed.

Another goal pursued is the unification of the theory of continuous-time and discrete-time CNNs. By means of a delta-operator approach, it is proven that basically the same templates can be used for both of these classes, even if their nonlinear output functions differ. However, not all tasks are feasible on all types of implementation. The common subset of templates that run on virtually any CNN chip built so far is, once again, the set of locally regular templates — we conclude that local regularity in fact is a key concept in chip-oriented CNN theory.

More complex CNN optimization problems that cannot be solved analytically necessitate resorting to numerical methods. Among these, stochastic optimization techniques such as genetic algorithms prove their usefulness, for example in image classification problems.

Kurzfassung

Cellular Neural Networks (CNNs) sind nichtlineare, rückgekoppelte, lokal verbundene neuronale Netzwerke, bestehend aus parallel arbeitenden dynamischen Neuronen oder Zellen. Die Gewichte der Verbindungen zwischen den Zellen sind bestimmt durch einen Satz von Parametern, der im Kontext der CNNs Template genannt wird. Durch die Spezifikation eines Templates wird die Operation definiert, die das CNN ausführt.

In der Signalverarbeitung kommen die Vorzüge der CNNs bezüglich Geschwindigkeit und Energieverbrauch erst zur Geltung, wenn das Netzwerk als analoger Prozessor in Hardware integriert wird. Aufgrund der physikalisch begrenzten Genauigkeit analoger Schaltungen muss sichergestellt werden, dass das CNN robust ist gegen Abweichungen der Parameter vom Nominalwert. Bei weitem nicht alle mathematisch möglichen CNN Operationen können mit einem analogen Prozessor durchgeführt werden, bei vielen ist die Sensitivität inhärent zu hoch.

Basierend auf einem Robustheitsmass wird eine exakte und direkte analytische Methode vorgeschlagen, mit der optimal robuste Netzwerkparameter bestimmt werden können. Die Methode ist beschränkt auf die Klasse der lokal regulären Templates, die präzise definiert wird. Es stellt sich heraus, dass die lokal irregulären Templates genau diejenigen sind, welche zu sensitiv sind für ein analoges Netzwerk. Umgekehrt formuliert deckt die Synthesemethode alle Operationen ab, die mit genügender Robustheit realisiert werden können.

Beim Vergleich von Signalprozessoren ist die Verarbeitungsgeschwindigkeit von zentraler Bedeutung. Beim CNN wird sie durch die Einschwingzeit bestimmt, die für lokal reguläre Templates in analytisch geschlossener Form angegeben werden kann. Dies erlaubt einerseits, Templates in bezug auf Geschwindigkeit zu optimieren, andererseits, CNNs numerisch effizient zu simu-

lieren. Die gegenseitige Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Robustheit wird ebenfalls untersucht.

Ein weiteres Ziel ist es, eine einheitliche Theorie für zeitkontinuierliche und zeitdiskrete CNNs zu erarbeiten. Mit Hilfe des Delta Operators wird bewiesen, dass grundsätzlich dieselben Templates für beide Klassen benutzt werden können, selbst wenn sich die nichtlinearen Ausgangsfunktionen der Zellen unterscheiden. Es können allerdings nicht alle Operationen mit allen Klassen von CNNs ausgeführt werden. Die gemeinsame Untermenge von Templates, die auf praktisch allen bisher gebauten CNN Prozessoren lauffähig sind, entspricht derjenigen der lokal regulären Templates — daraus kann gefolgert werden, dass lokale Regularität ein Schlüsselkonzept in hardware-orientierter CNN Theorie darstellt.

Für kompliziertere Optimierungsprobleme, die nicht analytisch gelöst werden können, muss auf numerische Verfahren ausgewichen werden. Stochastische Optimierungsmethoden wie genetische Algorithmen sind universell einsetzbar, was am Beispiel eines Klassifizierungsproblem es gezeigt wird.