

# Connections, neurons and activation : the organization of representation in artificial neural networks

Citation for published version (APA):

Henseler, J. (1993). *Connections, neurons and activation : the organization of representation in artificial neural networks*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Rijksuniversiteit Limburg. <https://doi.org/10.26481/dis.19931216jh>

## Document status and date:

Published: 01/01/1993

## DOI:

[10.26481/dis.19931216jh](https://doi.org/10.26481/dis.19931216jh)

## Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

## Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

## General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.umlib.nl/taverne-license](http://www.umlib.nl/taverne-license)

## Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# Summary

This dissertation describes research on Artificial Neural Networks (ANNs), structures that are modelled on the biological neural networks in the brain. Chapter 1 starts with a description of neural networks identifying them as networks of nerve cells, called neurons. ANNs are computing models which simplify the neuron-processing model and neural-network structure in order to understand the basic principles of neural processing. The main theme of this dissertation is the organization of representation in ANNs. The research is divided into three parts addressing three different ANN models, i.e. Multi-Layer Neural Networks, Self-Organizing Feature Maps and oscillating Cellular Neural Networks.

The Multi-Layer Neural Network (MLNN) is studied in Chapter 2. The neurons in a MLNN are organized in one or more layers, starting at an input layer and finishing with an output layer. The network can be adapted to establish a desired input-output behaviour by using a supervised-learning algorithm called Back Propagation. The input-output behaviour is determined by the weights assigned to the neurons' inputs. Normally, these weights are real-valued. However, we have studied the impact of complex-valued weights. Hence, we have developed a complex-valued back-propagation algorithm as well as a complex-valued neuron-processing model. A robot-arm experiment comparing the complex-valued MLNN with the real-valued MLNN demonstrates that in this case the complex-valued MLNN outperforms the real-valued MLNN. Hence, a complex-valued representation should be preferred to a real-valued representation.

In Chapter 3 the representation of information in Kohonen's Self-Organizing Feature Maps (SOFMs) is studied. In many ways the SOFM resembles the primary-cortical areas in the brain representing input to and output from the cortex, e.g. vision, feeling, hearing, smelling, movement and speech.

A two-dimensional SOFM can be interpreted as a map of features. The representation of features by neurons in the SOFM is created by self organization. In an organized SOFM similar features are located in the same neighbourhood. Moreover, in the primary cortex, uncorrelated signals are represented in separate areas. The research shows that likewise a system of multiple two-dimensional SOFMs can be built. The organization of the representation can be visualized and its accuracy can be tested statistically. The performance of a modular SOFM is demonstrated by 3540 measurements of 28 sensors of an oil refinery of Dutch State Mines (DSM).

The final part of the research is described in Chapter 4 and addresses the organization of representation in a new ANN model in which neurons have been modelled as harmonic oscillators. The model is called the Membrain model since waves in the activation pattern strongly resemble waves on a vibrating membrane. It is shown analytically that the Membrain modulates every input as a pattern of interfering activation waves. The input is projected on the linear space of natural vibration patterns of the network, each resonating with a unique frequency. These patterns are coded in the weight matrix and can be adjusted to features for identification. The projection of the input is a feature vector that is represented in the frequency spectrum of the elastic-energy signal. This property has been tested in a Membrain Cellular Neural Network (MCNN). In this network neurons are organized in a two-dimensional grid and only neighbouring neurons are connected. Moreover, *neurons on an edge are connected to neurons at the opposite edge* so that the Membrain surface is virtually unlimited. Thus, waves are not reflected by boundaries and, since neurons in a CNN are identical cells, the natural vibration patterns are translation invariant. A simulation is performed to demonstrate translation-invariant signature-image recognition.

Finally, in Chapter 5 the research results are evaluated. In this evaluation we focus on the organization of representation in ANNs. Three different types of organization have been studied leading to four different representation forms, i.e. a distributed, a pattern-based, a modular and a temporal representation or to a combination of any of these forms. We conclude that the strength of ANNs lies in their ability to integrate efficiently the representation forms through the connectionist ensemble of connections, neurons and activation.

# Samenvatting

Dit proefschrift beschrijft onderzoek naar Artificiële Neurale Netwerken (ANNen). Het onderzoek is geïnspireerd door de biologische neurale netwerken in de hersenen. Hoofdstuk 1 begint met een beschrijving van neurale netwerken bestaande uit neuronen die in een netwerk van zenuwen met elkaar verbonden zijn. In de ANN-modellen zijn het verwerkingsmodel van de neuronen en de netwerkstructuur vereenvoudigd om hun mogelijkheden te doorgronden. In dit proefschrift staat de organisatie van representatie in ANNen centraal. Het onderzoek bestaat uit drie delen waarin drie verschillende ANN modellen gebruikt worden, te weten Multi-Layer Neurale Netwerken, Self-Organizing Feature Maps en oscillerende Cellulaire Neurale Netwerken.

In hoofdstuk 2 wordt het Multi-Layer Neurale Netwerk (MLNN) onderzocht. De neuronen in een MLNN zijn georganiseerd in één of meerdere lagen beginnend met een invoerlaag en eindigend met een uitvoerlaag. Met behulp van het zogenaamde Backpropagation-algoritme kan een MLNN aan de hand van voorbeelden een gewenst invoer-uitvoer gedrag aangeleerd worden. Dit gedrag wordt mede bepaald door de gewichten die de neuronen aan de invoer toekennen. Normaal gesproken zijn deze gewichten reëel; in het onderzoek is de invloed van complexe gewichten onderzocht. Hiertoe is een complexe versie van zowel het Backpropagation-algoritme als het verwerkingsmodel ontwikkeld. De prestaties van een complex MLNN zijn vergeleken met die van een reëel MLNN in een robotarmbesturing. Hieruit blijkt dat het complexe MLNN, althans in dit geval, betere resultaten oplevert. Dit betekent dat een complexe representatie de voorkeur verdient boven een reële representatie.

In hoofdstuk 3 wordt de representatie van informatie in Kohonen Self-Organizing Feature Maps (SOFMs) onderzocht. De SOFM lijkt in veel opzichten op de gebieden in de primaire hersenschors waarbinnen belangrijke in- en uitvoerfuncties voor de hersenen gerepresenteerd worden, zoals zien, voelen, horen, ruiken, bewegen en praten. Een twee-dimensionale SOFM kan beschouwd worden als een kenmerkkaart. Een zelforganiserend proces bepaalt welke kenmerken van de invoer door welke neuronen gerepresenteerd moeten worden. In een georganiseerde SOFM liggen invoerkenmerken die op elkaar lijken dicht bij elkaar. In de primaire hersenschors is dit ook het geval en worden bovendien invoersignalen, die niet samenhangen, in verschillende gebieden gerepresenteerd. Het onderzoek laat zien dat op die manier ook met meerdere twee-dimensionale SOFM's een modulaire representatie opgebouwd kan worden. Om een indruk te krijgen van de kwaliteit van de representatie is een maat ontworpen die zowel visueel als statistisch geïnterpreteerd kan worden. De modulaire SOFM en de visualisatie worden gedemonstreerd aan de hand van 3540 metingen afkomstig van 28 sensoren in een raffinaderij van DSM.

Het laatste deel van het onderzoek wordt beschreven in hoofdstuk 4 en gaat over de organisatie van representatie in een nieuw ANN-model waarin neuronen gemodelleerd zijn als harmonische oscillatoren. Dit model wordt het Membrain-model genoemd omdat de golfbeweging in het activatiepatroon overeenkomsten vertoont met de golfbeweging in een trillend membraan. Uit analyse blijkt dat het netwerk elke invoer moduleert tot een interfererend patroon van activatiegolven. De invoer wordt geprojecteerd op de ruimte van natuurlijke golfpatronen van het netwerk die ieder met een unieke frequentie trillen. Door een bepaalde gewichtenmatrix te kiezen kunnen de natuurlijke patronen afgestemd worden op identificerende kenmerken. De projectie van de invoer wordt hierdoor een kenmerkvector die direct gerepresenteerd wordt door het frequentiespectrum van het trillingsenergiesignaal. Deze mogelijkheid is getoetst in een Membrain Cellulair Neuraal Netwerk (MCNN). Hierin zijn de neuronen georganiseerd in een twee-dimensionaal rooster waarin alleen naburige neuronen met elkaar verbonden zijn. Bovendien zijn de neuronen aan de rand doorverbonden met de neuronen van de tegenoverliggende rand, zodat het oppervlak feitelijk onbegrensd is. Hierdoor en door het cellulaire karakter van de neuronen zijn de natuurlijke golfpatronen van het netwerk translatie-invariant. Met

---

behulp van een simulatie wordt bij wijze van voorbeeld gedemonstreerd dat het mogelijk is om handtekeningen te herkennen ongeacht een translatie van het beeld.

In hoofdstuk 5, tenslotte, worden de resultaten van het onderzoek geëvalueerd. Hierbij staat de organisatie van representatie in ANNen centraal. In het beschreven onderzoek is sprake geweest van drie organisatietypen die hebben geleid tot vier verschillende representatievormen, namelijk een gedistribueerde, een op patronen gebaseerde, een modulaire en een temporele representatievorm, of tot een mengvorm die bestaat uit een combinatie van deze vormen. De conclusie van dit proefschrift luidt dat de kracht van ANNen gelegen is in een efficiënte integratie van genoemde representatievormen door connectionistisch samenspel van verbindingen, neuronen en activatie.