NNetSimu

Eine Simulation natürlicher neuronaler Netzwerke

Anwenderdokumentation

P. Kraus

Stand 31.10.2019

# Vorbemerkungen

NNetSimu kann nicht das menschliche Nervensystem in seiner vollen Komplixität darstellen. Einschränkungen sind notwendig in mehrfacher Hinsicht:

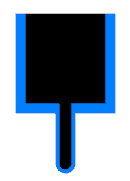
1. Einschränkungen im Detaillierungsgrad: Zum Beispiel werden zurzeit keine Synapsen modelliert, sondern die Verbindungen zwischen Neuronen werden so behandelt, als würden die Dendriten unmittelbar in ein nachfolgendes Neuron einmünden. Auch von Details der Axone, wie die Myelinscheide oder die Ranvier-Schnürringe wird abstrahiert.
2. Quantitative Einschränkungen: Während das menschliche Gehirn aus ca. 86 Milliarden Neuronen besteht, muss die Kapazität von NNetSimu drastisch geringer sein. Beim aktuellen Entwicklungstand kann noch keine Aussage über die mögliche Maximalzahl getroffen werden, sie wird aber sicherlich kleiner als eine Million Neuronen sein.
3. Einschränkungen in der zeitlichen Auflösung: NNetSimu muss die dynamischen Abläufe im Netzwerk in einer gewissen zeitlichen Taktung sequentiell berechnen. Je kürzer dieser Zeittakt ist, um so größer ist der Rechenaufwand. Deshalb ist die Dauer des Berechnungstakts ein wesentlicher Einflussfaktor auf die maximal mögliche Größe des Modells. Umgekehrt ist ein zu lang gewählter Takt ungünstig für die Darstellung schnell ablaufender Vorgänge, z.B. Anstieg und Abfall des Aktionspotentials beim Auslösen eines Neurons. Zurzeit ist ein Takt von 100 Mikrosekunden fest eingestellt. Im weiteren Verlauf der Entwicklung kann mit diesem Parameter experimentiert werden.
4. Einschränkungen in der Vielfalt der darstellbaren Neuronen, Dendriten usw. NNetSimu enthält zurzeit nur eine geringe Anzahl von elementaren Neuronentypen, die im Kapitel 2 „Das statische Modell“ beschrieben sind. Bei Bedarf können weitere Sonderfälle, wie sie in der Natur vorkommen hinzugefügt werden. Das vorliegende Dokument bezieht sich ausschließlich auf die in NNetSImu implementierten Elemente. Aussagen der Art „es gibt drei Arten von …“ sind deshalb nicht als Behauptungen über biologische Systeme zu verstehen (dort ist die Vielfalt meist höher), sondern lediglich als Beschreibungen der aktuell im Programm NNetSimu implementierten Funktionalität.

# Das statische Modell

Das Netzwerk besteht aus drei Arten von Neuronen und Verbindungen (Axone, Dendriten) zwischen diesen.

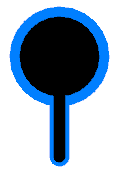
Die drei Arten von Neuronen sind

1. **Inputneuronen:**

Dieser Typ von Neuron hat keine eingehenden Dendriten. Er wird durch externe Ereignisse getriggert, in der Regel Sinnesreize, wie einfallendes Licht beim Auge oder akkustische Signale bei den Neuronen im Innenohr.

Inputneuronen haben immer genau einen Ausgang, das Axon.

1. **„Normale“ Neuronen:**

Dieser Typ von Neuron hat sowohl eingehende als auch ausgehende Verbindungen. Die eingehenden Verbindungen sind Dendriten, die in der Regel über diverse Verzweigungen aus anderen Neuronen stammen. Genauso wie Inputneuronen haben normale Neuronen immer genau einen Ausgang, das Axon.

1. **Outputneuronen:**

Dieser Typ von Neuron hat nur eingehende aber keine ausgehenden Verbindungen. Auf der Ausgangsseite stehen Outputneuronen nicht mit anderen Neuronen in Verbindung, sondern sie steuern Aktoren an, z.B. Muskelzellen.

Die Verbindungen zwischen den Neuronen sind grundsätzlich gerichtet, d.h. sie haben definierte Start- und Endpunkte. Diese Unterscheidung wird aber erst im dynamischen Modell bedeutsam.

Die Verbindungen heißen Axone und Dendriten. Axone sind die Ausgänge von Inputneuronen und normalen Neuronen. Wenn sich diese weiter verzweigen, heißen sie Dendriten.

Die Elemente des statischen Modells können prinzipiell beliebig auf einer zweidimensionalen Ebene angeordnet werden. Es ist in der Regel sinnvoll, die Inputneuronen an einer oder mehreren Stellen in der Peripherie des Modells zu konzentrieren, das Programm selbst erlegt dem Anwender hierbei jedoch keine Einschränkungen auf. Ähnliches gilt für die Outputneuronen.

# Das dynamische Modell

Das dynamische Modell beschreibt die Verteilung und Veränderung der elektrischen Spannung in den Elementen des statischen Modells über die Zeit.

Während die Potentialveränderungen in realen biologischen Systemen kontinuierlich verlaufen, werden sie in der Simulation durch diskrete Zeitschritte approximiert. In bestimmten Situationen, z.B. bei der Aufsummierung eingehender Signale in Neuronen, unterscheidet sich das simulierte Verhalten von der realen Situation. Durch eine ausreichend kurze Taktzeit kann davon ausgegangen werden, dass die Abweichung nicht zu

Jedes Neuron (egal ob Input-, Output- oder „normales“ Neuron) hat zu jedem Zeitpunkt ein internes elektrisches Spannungspotential, das sich durch Einflüsse von außen und durch interne Vorgänge über die Zeit verändert.

Verbindungen zwischen den Neuronen (Axone, Dendriten) haben nicht nur ein Spannungspotential, sondern einen Spannungsverlauf. Jeder Ort innerhalb der Verbindung hat zu jedem Zeitpunkt ein Spannungspotential, das gerichtet durch die Verbindung wandert und sich dabei abschwächen kann.

## Impulsform

In der nachfolgenden Beschreibung der verschiedenen Neuronenarten ist jeweils von einer „Auslösung“ die Rede. Damit ist gemeint, dass das Neuron einen Impuls auf seinem Axon erzeugt, dass dann durch den Dendritenbaum zu weiteren Neuronen wandert.

In biologischen Systemen hat der Impuls die folgende Form (Quelle Wikipedia):



Zurzeit verwendet NNetSimu eine sehr grobe Approximation dieses Signals, das über die einfach zu berechnende Funktion f(x) = x /(x2+1) – mit einigen konstanten Faktoren zur passenden Skalierung – berechnet wird:

Das Signal erreicht nach zwei Millisekunden seine maximale Amplitude von 100 milliVolt und fällt dann langsam ab.

Problem: Hier kann etwas nicht richtig sein. Wie in den nachfolgenden Absätzen beschrieben wird, addieren Neuronen die eingehenden Pulse auf und lösen aus, sobald eine Schwellenspannung erreicht ist. Die Neuronen

## Inputneuronen

Das dynamische Verhalten eines Inputneurons wird durch die individuell einstellbare Pulsfrequenz und die für alle Neuronen identische Auslösespannung bestimmt. Das elektrische Potential steigt linear an, bis die Auslösespannung erreicht ist. Die Geschwindigkeit des Spannunsganstiegs ist so bemessen, dass genau nach einer Pulsdauer die Auslösespannung erreicht wird. Dann wird im Axon ein Impuls in Höhe der Auslösespannung ausgelöst. Das Potential im Inputneuron wird auf 0,0 Volt gesetzt. Nun beginnt der Ablauf von vorne, das Potential steigt linear an, usw.

## „Normale“ Neuronen

Das dynamische Verhalten eines „normalen“ Neurons wird durch die Potentialverläufe in den eingehenden Verbindungen und die für alle Neuronen identische Auslösespannung bestimmt. Bei jedem Takt (zurzeit 100 Mikrosekunden) wird die anstehende Spannung in allen eingehenden Dendriten abgefragt und aufsummiert und zu dem akltuelle Potential im Neuron addiert. Sobald die (zurzeit fixe) Auslösespannung erreicht ist, wird im Axon ein Impuls in Höhe der Auslösespannung ausgelöst. Das Potential im Neuron wird auf 0,0 Volt gesetzt und der Zyklus beginnt von Vorne. Im Gegensatz zum Inputneuron ist die Zeitdauer bis zum Auslösen nicht konstant, sondern hängt von der Anzahl der eingehenden Dendriten sowie vom Verlauf der eingehenden Impulse ab (Frequenz, Phase).

TODO

# Benutzerinteraktion

Die grundsätzlichen Möglichkeiten der Benutzerinteraktion sind:

* Die Menüleiste oben
* Die Statsuszeile unten
* Aktionen mit der Maus im Hauptbereich
* Tastatureingaben

## Menüleiste

TODO

## Statuszeile

TODO

## Mausaktionen im Hauptbereich

Benutzt werden

* die linke Maustaste
* die rechte Maustaste
* das Mausrad (falls vorhanden)
* und natürlich die Bewegung des Mauscursors

### Linke Maustaste (drücken und ziehen)

Mit der linken Maustaste kann das gesamte Netzwerk verschoben werden:

* den Mauscursor auf eine Stelle bewegen, an der sich keine Objekt (Neuron, Dendrit) befindet
* linke Maustaste drücken und festhalten
* den Mauscursor bewegen. Das gesamte Netzwerk bewegt sich mit dem Mauscursor.
* Wenn die gewünschte Position erreicht ist, die linke Maustaste loslassen

Mit der linken Maustaste können Neuronen verschoben werden:

* den Mauscursor auf das zu verschiebende Neuron bewegen
* wenn das Neuron erkannt wurde, ändert sich als optisches Feedback seine Farbe
* linke Maustaste drücken und festhalten
* den Mauscursor bewegen. Das gewählte Neuron bewegt sich mit dem Mauscursor. Dentriten, die in das Neuron einmünden, oder das Axon, das aus dem Neuron entspringt,
* werden mitgezogen und verändern dabei in der Regel ihre Richtung und Länge, andere Neuronen werden aber nicht bewegt.
* Wenn die gewünschte Position erreicht ist, die linke Maustaste loslassen

### Linke Maustaste (Doppelklick)

Mit einem Doppelklick auf die linke Maustaste können häufig gebrauchte Funktionen direkt aufgerufen werden, ohne den Umweg über ein Menue.

Die Funktion Hängt ab von dem Objekt, das sich aktuell unter dem Mauscursor befindet.

Zurzeit sind folgende Funktionen implementiert:

* Doppelklick auf ein Inputneuron: Löst unmittelpar einen Puls aus, unabhängig von der eingestellten Pulsfrequenz
* Doppelklick auf ein Axon oder ein Dendriten-Teilstück: Die Verbindung wird in zwei Teilstücke aufgesplittet und der Ansatz einer Verzeigung wird erzeugt. Anschließernd kann diese neue Verzweigung mit der linken Maustaste herausgezogen werden.

### Rechte Maustaste

Mit der rechten Maustaste wird das **Kontextmenue** aufgerufen, das je nachdem über welchem Objekt sich der Mauscursor gerade befindet unterschiedliche Funktionen anbietet.

So kann man z.B. mit dem Kontextmenue

* des Hintergrunds neue Neuronen zu erzeugen
* eines Input Neurons die Pulsfrequenz dieses Neurons einstellen
* etc.

In jedem Kontextmenue ist die Option „Window refresh rate“ enthalt. Sie öffnet einen Dialog, mit dem die Bildwiederholrate eingestellt werden kann. Damit ist nicht die Hradware-Bildwiederholrate des Monitors gemeint, sondern die Frequenz, mit der von der Software die Darstellung des Netzes neu berechnet wird. Im Normalfall ist es nicht sinnvoll, den voreingestellten Wert zu verändern.

### Mausrad

Mit dem Mausrad kann gezoomt werden.

* Das Mausrad nach vorne bewegen um zu vergrößern
* Das Mausrad nach hinten bewegen, um zu verkleinern.

## Funktionen des Editors

Auflistung aller implementierten Funktionen und Beschreibung, wie diese aufgerufen werden können (Menueleiste, Maustasten, etc.)

TODO

# Offene Punkte

Fehlende Funktionen:

1. Objekte (Neuronen, Dendriten-Teilstücke) löschen
2. Das gesamte Modell abspeichern und wieder einlesen
3. Die Auslösespannung der Neuronen sollte einstellbar sein, oder auf jeden Fall höher, als die in einem Puls angelieferte Spannung.

Bekannte Fehler:

1. Das Programm stürzt manchmal ohne Fehlermeldung ab. Sehr schwer zu findender Fehler, da nicht reproduzierbar.
2. Einstellung Window Refresh Rate funktioniert nicht (mehr)
3. Nach „Stop“ lässt sich die Simulation manchmal nicht mehr mit „Run“ starten