

## 7 Neuronale Modellierung: Der NEF-Ansatz

### 7.1 Einführung in NEF

#### 7.1.1 LIF-Neuronen im NEF

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.1.1:

- 1 ) Wodurch unterscheiden sich On- und OFF-Neuronen?
- 2 ) Wie hoch ist die Feuerrate bei Input-Signal 0.7 für das On-Neuron, dessen Tuningkurve in Abb. 7.1 links dargestellt ist?

#### 7.1.2 Neuron-Ensembles

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.1.2:

- 1 ) Wie groß ist die Amplitude des neuronalen Rauschens im Output-Signal (blau) in Abb. 7.2 (also wenn zwei Neuronen ein Neuronensemble bilden) und in Abb. 7.3 (wenn also 100 Neuronen ein Neuronensemble bilden)?
- 2 ) Bei welchen Inputwerten feuert das ON- bei welchen das OFF-Neuron in Abb. 7.2?
- 3 ) Bei welchen Inputwerten feuern beide Neuronentypen gleichzeitig?
- 4 ) Unterscheidet sich die mittlere Aktivität des aus 100 Neuronen bestehenden Neuronensembles bei der Repräsentation der Inputwerte -1, 0 und +1?
- 5 ) Wie ist es möglich, dass zwei Neuronensembles einen gleichen Inputwert durch unterschiedliche neuronale Aktivitätsmuster repräsentieren (siehe Abb. 7.3 Mitte und unten)?

#### 7.1.3 Einfache neuronale Transformationen

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.1.3:

- 1 ) Wie realisiert man eine einfache neuronale Transformation eines Wertes im NEF?
- 2 ) Was determiniert bei einer solchen Realisation die neuronale Abbildung?
- 3 ) Welcher Architektur im STAA ist diese NEF-Architektur der neuronalen Abbildung ähnlich?

#### 7.1.4 Rekurrente Neuronensembles: Kurzzeitspeicherung und Oszillation

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.1.4:

- 1 ) Warum kann ein rekurrentes Neuronensemble einen Wert für kurze Zeit speichern?
- 2 ) Wie muss ein rekurrentes Neuronensemble strukturiert sein, um oszillieren zu können?

## 7.2 S-Pointer und S-Pointer-Architektur (SPA)

### 7.2.1 S-Pointer

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.2.1:

- 1 ) Zwischen welchen beiden Domänen vermittelt ein S-Pointer?
- 2 ) Was repräsentiert die Länge eines S-Pointers?
- 3 ) Was repräsentiert die Richtung eines S-Pointers?

### 7.2.2 S-Pointer Architektur (SPA)

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.2.2:

- 1 ) Nennen Sie die Konzept-S-Pointer und die Syntax-Marker-S-Pointer für den Satz: „Die Mutter fährt ein Auto“.
- 2 ) Welche Operationen zwischen S-Pointern sind notwendig, um die Satz-Information zu generieren?
- 3 ) Bilden Sie den zu dem Satz aus Frage 1 gehörigen Informations-S-Pointer.
- 4 ) Mit welcher Methode können Satzkonstituenten erfragt werden?
- 5 ) Bilden Sie den Antwort-S-Pointer zu der Frage „Wer fährt ein Auto?“

### 7.2.3 Die Assoziation von S-Pointern: assoziative Speicher

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.2.3:

- 1 ) Mittels welcher Art von zwischengeschaltetem SPA-Buffer kann eine Menge von zehn S-Pointern, z.B. von zehn Konzepten, auf eine Menge von zehn S-Pointern abgebildet werden, die die jeweiligen Lemmata repräsentieren?
- 2 ) Gehören die in diesem zwischengeschalteten SPA-Buffer eingestellten Verbindungsgewichte zu einem Kurzzeit- oder zum Langzeitgedächtnis?

### 7.2.4 Binden, inverses Binden und addieren von S-Pointern

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.2.4:

- 1 ) Wie viele Neuronen umfasst ein zwischengeschalteter SPA-Buffer zur Realisierung einer Bindung, wenn die zugehörigen SPA-Buffer zur Repräsentation der Eingangs- und Ausgangs-S-Pointer die Dimension  $D \times N$  haben ( $D$  Neuronensembles mit jeweils  $N$  Neuronen)?
- 2 ) Wie viele Neuronen umfasst ein zwischengeschalteter SPA-Buffer zur Realisierung einer inversen Bindung?
- 3 ) Führt das Ergebnis einer Bindung zu einer temporären oder zu einer permanenten Einstellung von Verbindungsgewichten im zwischengeschalteten SPA-Buffer?

## 7.3 Zur Ablaufsteuerung neuronaler Prozesse

### 7.3.1 *Beispiel: Wortproduktion aufgrund visueller und auditiver Initiierung*

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.3.1:

- 1 ) Worin unterscheidet sich der Ähnlichkeitsplot des Kontroll-SPA-Buffers vom Plot der Nützlichkeitswerte und vom Plot der Aktionen (Ähnlichkeitsplot des Aktions-SPA-Buffers)?
- 2 ) Stellen die S-Pointer im Kontroll- und im Aktions-SPA-Buffer das Gleiche dar?
- 3 ) In welchen SPA-Komponenten werden die Ergebnisse von Bindungen und von inversen Bindungen am besten abgelegt?

### 7.3.2 *Die neuronale Realisierung der Ablaufsteuerung*

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.3.2:

- 1 ) Wo werden Nützlichkeitswerte für potentielle Aktionen im Gehirn aktiviert?
- 2 ) Wo sind parallele neuronale Bahnen zur Repräsentation potentiell aktivierbarer Aktionen ausgebildet?
- 3 ) Wie wird die Aktivierung einer Aktion am Thalamus realisiert?

### 7.3.3 *Sequenzierung motorischer Ereignisse*

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.3.3:

- 1 ) Wie wird die Sequenzierung der Silbenproduktion realisiert?
- 2 ) Was bedeutet somatosensorische bzw. auditive Erwartung für eine Silbe?

## 7.4 S-Pointer-Netzwerke

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.4.1:

- 1 ) Was ist der Unterschied zwischen einer Bindung zweier S-Pointer und der Erstellung einer Relation zwischen zwei S-Pointern in einem S-Pointer-Netzwerk?
- 2 ) Nennen Sie eine typische Relation für ein semantisches S-Pointer-Netzwerk.

### 7.4.2 *Phonologisches Netzwerk*

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.4.2:

- 1 ) Nennen Sie eine typische Relation für ein phonologisches S-Pointer-Netzwerk.
- 2 ) Kann man Hierarchien im S-Pointer-Netzwerk über Relationen aufbauen?

### **7.4.3 Berechnung von Ähnlichkeiten von S-Pointern in S-Pointer Netzwerken**

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.4.3:

- 1 ) Was reflektiert die Anzahl der Relationen zwischen zwei S-Pointern in einem S-Pointer-Netzwerk?
- 2 ) Wie wird die Ähnlichkeit zwischen S-Pointern generell berechnet?

### **7.4.4 Koaktivierungen von S-Pointen in gleichen und unterschiedlichen SPA-Buffern**

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.4.4:

- 1 ) Welche S-Pointer werden bei der Aktivierung eines S-Pointers aus einem S-Pointer-Netzwerk automatisch mitaktiviert?

### **7.4.5 Beantwortung von Fragen (inverses Binden) in S-Pointer-Netzwerken**

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.4.5:

- 1 ) Können auch miteinander in Relation stehende S-Pointer durch inverses Binden erfragt werden?

### **7.4.6 Autoassoziative Speicher und „Clean-Up“-Prozesse**

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.4.6:

- 1 ) Durch welches zwischengeschaltete SPA-Objekt wird ein „clean-up“-Prozess realisiert?
- 2 ) Was kann „clean-up“-Prozesse in S-Pointer-Netzwerken behindern?
- 3 ) Was wäre dazu die Lösung?

## **7.5 Modellierung gestörter neuronaler Prozesse**

FRAGEN/AUFGABEN zu Kap. 7.5:

- 1 ) Welche Parameter innerhalb eines neuronalen Netzwerkes erlauben die Modellierung von neuronalen Dysfunktionen?
- 2 ) Welche dieser Parameter modellieren organische und welche modellieren funktionelle Störungen?

## Antworten zu Kapitel 7

ANTWORTEN zu Kap. 7.1.1:

ad 1 ) Sie unterscheiden sich durch unterschiedliche Tuningkurven: On-Neuronen feuern maximal bei hohen positiven Inputwerten, Off-Neuronen hingegen bei hohen negativen Inputwerten.

ad 2 ) Die Feuerrate beträgt dann ca. 80 Hz.

ANTWORTEN zu Kap. 7.1.2:

ad 1 ) Die Rausch-Amplitude beträgt bei einem Neuronensemble bestehend aus 2 Neuronen ca. +/- 0.5 und bei einem Neuronensemble bestehend aus 100 Neuronen ca. +/-0.05. Sie wird mit zunehmender Anzahl an Neuronen im Ensemble also geringer.

ad 2 ) Sie feuern bei hohen positiven Inputwerten (ON um 1) bzw. bei hohen negativen Inputwerten (OFF um -1)

ad 3 ) Sie feuern gleichzeitig bei Inputwerten um 0. Hier feuern aber beide Neuronen nicht so stark wie bei den hohen positiven oder negativen Inputwerten.

ad 4 ) Nein. Bei +1 sind nur andere Neuronen aktiviert als bei -1. Beim Wert 0 sind alle Neuronen aktiviert, aber ihre Aktivität ist jetzt nicht maximal.

ad 5 ) Dies resultiert daraus, dass die Parameterwerte der Tuningkurven aller LIF-Neuronen für jedes Neuronensemble statistisch verteilt sind und damit für jedes Neuronensemble unterschiedlich sind, während ihre Mittelwert-Eigenschaften immer gleich sind. Hieraus ergibt sich dann für jedes Neuronensemble eine andere Enkodierungs- und Dekodierungsfunktion.

ANTWORTEN zu Kap. 7.1.3:

ad 1 ) Einrichtung von zwei Neuronensembles A und B und Verbindung aller Neuronen von Neuronensemble A mit allen Neuronen von Neuronensemble B.

ad 2 ) Die Justierung aller Verbindungsgewichte.

ad 3 ) Ebenfalls der Architektur einer einfachen Transformation; in dem Fall aber für Zustände zwischen Knoten-Buffern (nicht wie hier für Werte zwischen Neuron-Ensembles)

ANTWORTEN zu Kap. 7.1.4:

ad 1 ) Weil der Output aller Neuronen auf den Input aller Neuronen zurückgegeben wird. So kann über längere Zeit ein identisches neuronales Aktivierungsmuster aufrecht erhalten werden.

ad 2 ) In dem Fall muss das Ensemble in zwei Unter-Ensembles geteilt werden, die jeweils beide einen Wert repräsentieren können. Durch einen Anfangsimpuls wird ein Ensemble aktiviert. Dieser Impuls wird dann an das andere Ensemble weitergegeben und dann wieder zurück an das erste Ensemble. Die Übertragungszeit zwischen den beiden Unter-Ensembles, also die Zeitkonstante mit der die Rekurrenz ausgebildet ist, definiert hier die Oszillatorfrequenz.

ANTWORTEN zu Kap. 7.2.1:

ad 1 ) Ein S-Pointer vermittelt als mathematisches Konstrukt zwischen der neuronalen (mikroskopischen) Domäne, d.h. der Repräsentation eines Aktivierungsmusters in einem SPA-Buffer und der behavioristischen (makroskopischen) Domäne, d.h. der Repräsentation eines sensorischen, motorischen oder kognitiven Zustandes.

ad 2 ) Die Länge repräsentiert die Stärke der neuronalen Aktivierung eines Zustandes.

ad 3 ) Die Richtung repräsentiert den Zustand selbst. Zwei in ähnliche Richtungen weisende S-Pointer repräsentieren ähnliche Zustände, z.B. das Konzept von Fahrrad und Motorrad.

ANTWORTEN zu Kap. 7.2.2:

ad 1 ) Konzept-S-Pointer: <Mutter>, <fahren>, <Auto>; Syntax-Marker-S-Pointer: <Nomen>, <Verb>, <Objekt>

ad 2 ) Das Binden und das Addieren

ad 3 ) <Info> = <Nomen>\*<Mutter> + <Verb>\*<fahren> + <Objekt>\*<Auto>

ad 4 ) Mittels der Methode des inversen Bindens

ad 5 ) <Antwort> = <Info>\*<Nomen><sup>-1</sup>

ANTWORTEN zu Kap. 7.2.3:

ad 1 ) Durch einen assoziativen Speicher.

ad 2 ) Dieser ist dann Teil des Langzeitgedächtnisses, genauer: des mentalen Lexikons; dazu kommt noch die Definition der Mengen der S-Pointer an sich.

ANTWORTEN zu Kap. 7.2.4:

ad 1 ) doppelt so viele Neuronen wie die SPA-Buffer zur Repräsentation der Eingangs- und Ausgangs-S-Pointer:  $2 \cdot D \cdot N$

ad 2 ) der zwischengeschaltete SPA-Buffer zur Realisierung einer inversen Bindung umfasst die gleiche Anzahl an Neuronen wie der zur Realisierung einer Bindung:  $2 \cdot D \cdot N$

ad 3 ) Das Ergebnis führt zu einer temporären Aktivierung im Ergebnis-SPA-Buffer. Die Verbindungsgewichte der zwischengeschalteten SPA-Buffer zur Realisierung einer Bindung oder einer inversen Bindung sind aber unabhängig von den zu bindenden S-Pointern und sind permanent. Diese Verbindungsgewichte charakterisieren nur die Bindung bzw. die inverse Bindung an sich.

ANTWORTEN zu Kap. 7.3.1:

ad 1 ) Die jeweilige momentane Stärke aller Aktions-S-Pointer werden im Ähnlichkeitsplot des Kontroll-SPA-Buffers angezeigt. Der jeweils stärkste Aktions-S-Pointer löst dann die entsprechende Aktion aus. Die jeweils durchgelassene Aktion entspricht damit dem jeweils am stärksten aktivierten S-Pointer im Aktions-SPA-Buffer. Dies entspricht ungefähr dem Verlauf der Nützlichkeitswerte, da die Aktion mit dem jeweils höchsten Nützlichkeitswert realisiert wird.

Ad 2 ) Nein. Die genauen Zeitintervalle zur Realisierung einer Aktion erkennen wir nur aus den S-Pointer-Werten im Aktions-SPA-Buffer, nicht direkt aus den S-Pointern im Kontroll-SPA-Buffer. Die S-Pointer im Kontroll-SPA-Buffer bereiten die Auslösung von Aktionen vor, stellen aber nicht direkt den Beginn einer Aktion dar.

Ad 3 ) Da es sich hier um Ergebnisse handelt, die weiterverarbeitet werden sollen, werden diese gerne in Kurzzeit-Speichern, also in rekurrenten SPA-Buffern abgelegt. Diese Buffer sind in der Lage, Aktivierungen von Zuständen kurzzeitig zu halten (temporäre Speicherung).

ANTWORTEN zu Kap. 7.3.2:

ad 1 ) Die Nützlichkeitswerte werden im kortiko-striatalen Netzwerk (im den Kortex mit dem Striatum verbindenden neuronalen Netzwerk) aktiviert.

ad 2 ) Diese parallel geführten Bahnen sind in den Basalganglien und im Thalamus lokalisiert.

ad 3 ) Durch einen Disinhibierungsprozess: Zu einem Zeitpunkt wird jeweils nur eine Aktion in der kortiko-kortikalen Rückkopplungsschleife durchgelassen. Alle anderen potentiellen Aktionen werden dann blockiert.

ANTWORTEN zu Kap. 7.3.3:

ad 1 ) Nach Aktivierung des (prämotorisch gespeicherten) Motorplans wird eine Silbe primär-motorisch aktiviert und ausgeführt. Es wird ein somatosensorisches Feedback-Signal generiert, das dem Kontroll-

SPA-modul anzeigt, dass die Artikulation der Silbe nahezu beendet ist. Jetzt wird eine Aktion zur Aktivierung des motorischen Ablaufplans der nächsten Silbe aktiviert.

ad 2 ) Neben den Motorplänen sind für alle häufigen Silben auch auditive und somatosensorische Muster gespeichert. Wir verfügen also über Erwartungen, wie eine richtig produzierte Silbe klingt und wie sich der Produktionsprozess selbst anfühlt (taktile und propriozeptive Wahrnehmung)

ANTWORTEN zu Kap. 7.4.1:

ad 1 ) Beim Binden entsteht ein neuer S-Pointer, der senkrecht auf beiden zu bindenden S-Pointern steht. Die Bindung beeinflusst die zu bindenden S-Pointer nicht. Eine Bindung ist temporär, d.h. das Ergebnis muss in einem Kurzzeit-Speicher gehalten werden. Dagegen: Die Bildung einer Relation zwischen zwei S-Pointern in einem S-Pointer-Netzwerk ist bereits vor Aktivierung des Netzwerkes bekannt. Je stärker zwei S-Pointer in Relation zueinander stehen, je ähnlicher (je paralleler) sind sie im D-dimensionalen Raum ausgerichtet. Die Bindung beeinflusst also die Festlegung der S-Pointer. Die Festlegung der S-Pointer erfolgt immer für die gesamte Lebensdauer eines Netzwerkes und die S-Pointer wie auch die zwischen ihnen bestehenden Relationen sind somit permanent.

ad 2 ) eine solche Relation ist: „IsA“ im Sinne von ein Objekt gehört zur Gruppe der ... (Bsp.: ein Hund ist ein Tier; eine Katze ist ein Tier; rot ist eine Farbe; blau ist eine Farbe, ...)

ANTWORTEN zu Kap. 7.4.2:

ad 1 ) Eine solche Relation ist: „inclPhon“ im Sinne von: Diese Silbe enthält den Anfangslaut bzw. die Anfangslaute ... . Hierdurch können die S-Pointer ähnlich klingender Silben in Relation zueinander gestellt werden.

ad 2 ) Ja: z.B. die Silben <Spiil> und <Spaas> gehören zur Überkategorie der mit <Sp...> beginnenden Silben. Die Silben dieser Überkategorie gehören z.B. mit der Silbe <Staat> zusammen in eine noch höhere Überkategorie, nämlich in die Kategorie aller Silben die mit <S...> beginnen.

ANTWORTEN zu Kap. 7.4.3:

ad 1 ) Mit der Größe dieser Zahl steigt die Ähnlichkeit zwischen den beiden S-Pointern

ad 2 ) Die Ähnlichkeit wird durch das DOT-Produkt berechnet.

ANTWORTEN zu Kap. 7.4.4:

ad 1 ) Alle S-Pointer, die durch eine Relation im S-Pointer-Netzwerk mit diesem S-Pointer verbunden sind.

ANTWORTEN zu Kap. 7.4.5:

ad 1 ) Ja: Beispiel: <Apple\_Apfel>[isA]<Fruits\_Obst>; hier führt die Anwendung von <Apple\_Apfel>[isA]<sup>-1</sup> zu dem Ergebnis: <Fruits\_Obst>.

ANTWORTEN zu Kap. 7.4.6:

ad 1 ) Ein „clean-up“-Prozess wird durch einen autoassoziativen Speicher realisiert.

ad 2 ) Die Existenz von Relationen zwischen S-Pointern in einem S-Pointer-Netzwerk kann dazu führen, dass auch nach dem „clean-up“-Prozess automatisch wieder ähnliche S-Pointer mitaktiviert werden.

Ad 3 ) Ein Lösung ist die Nutzung eines heteroassoziativen Speichers, wie bei der normalen Assoziation zwischen unterschiedlichen Gruppen von S-Pointern, die nicht in einem S-Pointer-Netzwerk organisiert sind.

ANTWORTEN zu Kap. 7.5:

ad 1 ) Vier Parameter sollen hier genannt werden: a ) Werte von neuronalen Verbindungsgewichten: Fehlerhaftes Setzen dieser Werte; b ) Netzwerktopologie: vereinzelt Fehlen von neuronalen Verbindungen in einem Netzwerk; c ) Output von Neuronen: keine Generierung von Impulsen, egal wie stark das Neuron durch Input „gereizt“ wird; d ) SPA-Komponenten: Ausfall ganzer Neuronensembles oder ganzer SPA-Buffer

ad 2 ) organisch (und damit beispielsweise im MRT erkennbar) wäre z.B. der Ausfall ganzer Komponenten (z.B. durch Ausfall der Blutversorgung) ; viele neuronale Defekte sind funktional, z.B. fehlerhaftes Setzen von Verbindungsgewichten z.B. während der Lernphasen (Spracherwerb); einige Defekte können organische oder auch funktionale Ursachen haben: z.B. Output-Störungen einzelner Neuronen.