



Proseminar „Komplexe Adaptive Systeme“ WS 04/05

**Synchronisation-Based Computational Model of Attention-  
Guided Object Selection and Novelty Detection**

Synchronisationsbasiertes Computermodell von aufmerksamkeitsgesteuerter Auswahl und  
Neuerkennung von Objekten

Patrick Guttner

[mind-stud@gmx.de](mailto:mind-stud@gmx.de)

5. Dezember 2004

## **Inhalt**

<b>INHALT</b>	<b>2</b>
<b>1. EINLEITUNG</b>	<b>3</b>
<b>2. ABSTRAKTION DER MENSCHLICHEN WAHRNEHMUNG</b>	<b>3</b>
2.1 Der visuelle Wahrnehmungsprozess	4
2.2 Synchronisationsbasierte Modelle	4
<b>3. ÜBERTRAGUNG AUF EIN RECHENMODELL</b>	<b>5</b>
3.1 Das „object selection module“	6
3.2 Das „local feature module“	7
3.3 Das „invariant feature module“	7
3.4 Das „novelty detection module“	8
<b>4. DURCHFÜHRUNG EINER SIMULATION</b>	<b>9</b>
4.1 Aufbau und Erwartungen	9
4.2 Auswertung der Ergebnisse	9
<b>5. DISKUSSION UND AUSBLICK</b>	<b>10</b>
<b>LITERATURREFERENZEN</b>	<b>11</b>

## 1. Einleitung

Hinter dem langen und etwas verwirrenden Titel „Synchronisation-Based Computational Model of Attention-Guided Object Selection and Novelty Detection“ verbirgt sich ein recht interessantes und zukunftsweisendes Themengebiet; die Erforschung und Entwicklung neuronaler Systeme. Dabei werden Prozesse im Gehirn einerseits erforscht, dienen aber auch als Grundlage für die Modellierung künstlicher Systeme. Roman Borisyuk und Yakov Kazanovich versuchen hier buchstäblich einem Computer das Sehen und vor allem das Verstehen des Gesehenen beizubringen. Vorgänge im menschlichen Gehirn bei der Wahrnehmung werden zur Zeit detailliert untersucht und auf komplexe Modelle übertragen. Die umgangssprachliche Redewendung, dass zwei Menschen auf der gleichen „Wellenlänge“ sind, ist in diesem Fall gar nicht so falsch. Es wurden intensive Studien zur Verarbeitung von Wahrnehmungen und Kommunikation der verantwortlichen Gehirnteile gemacht. Die Ergebnisse sprechen dafür, dass dies durch Synchronisation und Resonanz verschiedener Schwingungen, also ausgesendeten Wellenmuster funktioniert.

Bisherige Modelle konzentrierten sich auf die Modellierung einzelner kognitiver Funktionen im Gehirn wie zum Beispiel des Untersuchens eines Objektes auf seine Eigenschaften, der Konzentration auf ein bestimmtes Objekt oder der Wiedererkennung schon gesehener Objekte. Vor allem Modelle zur Fixierung bestimmter Objekte beruhten meist auf dem Prinzip der Synchronisation von Oszillatoren.

Das hier vorgestellte Modell greift wiederum diese Vorstellung auf, ist aber ein sehr viel größeres, das den kompletten visuellen Wahrnehmungsprozess simulieren soll. Dieser Prozess fängt bei der Konzentration auf einen bestimmten Bildteil an, geht über das Untersuchen des Gesehenen bis hin zum Verinnerlichen dessen, sodass entschieden werden kann, ob ein Objekt neu ist, oder bereits bekannt. Im Modell werden dabei nacheinander folgende Operationen ausgeführt:

1. Die Abgrenzung verschiedener Objekte aufgrund ihrer räumlichen Ausdehnung.
2. Die Fixierung der Objekte ihrer Reihenfolge nach.
3. Die Auskopplung ihrer Eigenschaften.
4. Das Speichern der Objekte im Arbeitsspeicher.
5. Das Entscheiden, ob ein Objekt neu ist, oder schon gesehen wurde.

Zur Verifikation des Modells wird im weiteren Verlauf der Ausarbeitung eine Simulation durchgeführt, die anhand des gedruckten Wortes „HELLO“ dessen Funktionsweise demonstriert.

## 2. Abstraktion der menschlichen Wahrnehmung

Grundlegend für einen Aufbau eines solchen Systems ist das Verständnis, was in einem menschlichen Gehirn abläuft, wenn die Person einen Gegenstand wahrnimmt und das Wahrgenommene verarbeitet. Sinnesorgane, wie zum Beispiel das Auge, leiten das Wahrgenommene über Nerven an das Gehirn weiter. Dort wird es verarbeitet, aber auch wieder eine Information an das jeweilige Organ zurückgesendet. Beispielsweise, um dem Auge zu sagen, schau weiter nach rechts oder weiter nach oben.

Aber wie funktioniert dieser Vorgang im Detail? Vor allem, wie kann man nun diese experimentell herausgefundenen Erkenntnisse auf ein künstliches Modell übertragen?

## 2.1 Der visuelle Wahrnehmungsprozess

Bisherige Modellierungen des Wahrnehmungsprozesses folgten dem Prinzip, dass ein Objekt nach dem anderen in das Blickfeld gerückt wird. Dies ist aber eine zu vereinfachte Vorstellung, da dieser Prozess in der Realität beim Menschen sehr viel aufwändiger abläuft. Ein biologisches System muss in der Lage sein, komplexe Szenen mit vielen Objekten wahrzunehmen und zu analysieren. Dazu sind mehrere, miteinander arbeitende kognitive Funktionen nötig.

Das gesamte Blickfeld wird in verschiedene Regionen aufgeteilt, die die wichtigsten Objekte beinhalten und diese vom Hintergrund abgrenzen. Diese Aufteilung wird bis zum Schluss beibehalten um eine Konzentration auf ein Objekt zu realisieren. Dazu muss es möglich sein, auf einen bestimmten Punkt im Blickfeld zu fokussieren und die anderen zu ignorieren. Würde das System versuchen, die komplette Szene in einem Stück zu analysieren, wäre die Menge an Informationen zu riesig, um effizient arbeiten zu können. Außerdem würden bei der Analyse kleiner Details viel zu viele unnötige Informationen bearbeitet.

Ist nun diese Konzentration gewährleistet, werden einzelne Eigenschaften der fokussierten Objekte extrahiert. Neue Eigenschaften und deren Kombination, was dann das Objekt an sich ausmacht, werden verinnerlicht. Um eine Beschleunigung dieses Vorgangs zu erreichen, ist es nötig, etwas wiedererkennen zu können. Sehen wir eine Szene, können wir bereits bekannte oder unwichtige Objekte ignorieren und uns auf die neuen konzentrieren. Dies ist nur möglich, indem Kombinationen von Eigenschaften aus dem Gedächtnis abgerufen werden können um sie mit gerade gesehenem zu vergleichen. Dieses Prinzip ermöglicht es, auch sehr komplexe Szenen schnell zu analysieren, da eine Wiedererkennung wesentlich schneller funktioniert, als die stetige Neuanalyse jedes Objektes. Sehen wir eine komplett neue Umgebung, muss jedes Objekt nacheinander in den Bereich der Aufmerksamkeit gelenkt werden und dieses dann genauestens nach gewissen Eigenschaften wie zum Beispiel seiner Form, seiner Oberfläche, seiner Farbe usw. klassifiziert werden. Dies dauert zwar relativ lange, sehen wir aber die gleiche Szene wieder, erinnern wir uns bei dem Fixierungsprozess wieder an die einzelnen Objekte und können schnell durch die ganze Anzahl von Objekten gehen, was den Wahrnehmungsprozess wesentlich beschleunigt.

## 2.2 Synchronisationsbasierte Modelle

Nun gilt es diesen komplexen Vorgang auf ein überschaubares Modell zu übertragen. Zunächst einmal nehmen wir an, dass das Gehirn wie folgt arbeitet. Für jede der ausgeführten kognitiven Funktionen wird ein bestehender Mechanismus an die momentane Situation angepasst. Möglich wäre auch die Annahme, dass das Gehirn für jeden dieser Schritte eine Prozedur komplett neu erfindet. Jedoch sind die Rahmenbedingungen für jeden Vorgang fast identisch, also wäre es unlogisch, ein funktionierendes System neu aufzubauen, um schließlich auf das gleiche Ergebnis zu kommen.

Studien haben gezeigt, dass sowohl Tiere als auch Menschen in weiten Teilen des Gehirns ein hohes Maß an rhythmischer Aktivität aufweisen. Da außerdem das Prinzip der Schwingung schon in weiten Teilen der Informationsverarbeitung eingesetzt wird, ist der Ansatz über ein Schwingungsmodell naheliegend. Nun besteht die Herausforderung darin, ein Modell zu entwerfen, das auf einer kleinen Anzahl von schwingungsbasierten Mechanismen aufbaut.

Als grundlegender Baustein für derartige Mechanismen werden Oszillatoren verwendet. Das sind kleine Bauelemente, die Schwingungen abgeben und sich durch verschiedene veränderbare Eigenschaften auszeichnen. Jeder Oszillator hat eine bestimmte Eigenfrequenz, die Frequenz in der er ohne äußere Einflüsse schwingt, und eine bestimmte Amplitude, womit die

maximale Auslenkung des Systems gemeint ist. Diese Parameter sind veränderlich und können individuell variiert werden. Wie alle schwingenden Systeme kann auch ein Oszillator von Außen, beispielsweise durch einen weiteren Oszillator, mit einer anderen Schwingung ange-regt werden. Das heißt, deren Frequenzen gleichen sich an und die Amplituden können durch Resonanz wesentlich erhöht werden. Dazu ist es nötig, dass die Oszillatoren synchron, das heißt, gleichphasig schwingen.

Stellen wir uns nun die einzelnen Funktionen im Gehirn als Gruppen von Oszillatoren vor, die jeweils in ihrer Eigenfrequenz schwingen. Die Oszillatoren, die die kognitiven Funktionen, die nacheinander ablaufen repräsentieren, werden unter dem Begriff Peripherie-Oszillatoren (POs) zusammengefasst. Als zentrales Element dient ein Central Oszillator (CO), der die Steuerungsfunktion der POs übernimmt. Eine Kommunikation zwischen den Oszillatoren wird nun dadurch erreicht, dass der CO mit einem oder mehreren POs anfängt in Phase zu schwingen, das heißt, die Oszillatoren schwingen mit gleicher Frequenz und erhöhen damit durch Resonanz ihre Amplitude. Schwingen ein Peripherie-Oszillator und der Central Oszilla-tor nun auf diese Weise synchron, ist derjenige PO gerade im Fokus der Aufmerksamkeit. Die anderen POs schwingen in ihrer Eigenfrequenz nebenher, ihnen wird von CO quasi keine Be-achtung geschenkt.

Es gibt nun drei Möglichkeiten der Synchronisation von POs und CO:

1. Die globale Synchronisation. Hierbei schwingen alle POs mit dem CO in Phase, das heißt, die Aufmerksamkeit ist auf alle Funktionen gerichtet. Dieser Vorgang ist meis-tens ein Zwischenzustand während der Fokusänderung.
2. Die partielle Synchronisation. Dies ist der oben beschriebene Zustand, wenn der Fokus der Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Funktion gerichtet ist und die anderen POs ne-benher schwingen.
3. Keine Synchronisation. Es schwingen alle Oszillatoren in ihrer Eigenfrequenz, das heißt, keine Funktion ist fokussiert. Wie die globale Synchronisation ist auch dies meist ein Zwischenzustand.

### **3. Übertragung auf ein Rechenmodell**

Nun sollen diese theoretischen Erkenntnisse auf ein Modell übertragen werden, das den menschlichen visuellen Wahrnehmungsprozess nach den folgenden, schon in der Einleitung erwähnten Punkten nachbildet:

1. Die Abgrenzung verschiedener Objekte aufgrund ihrer räumlichen Ausdehnung.
2. Die Fixierung der Objekte ihrer Reihenfolge nach.
3. Die Auskopplung ihrer Eigenschaften.
4. Das Speichern der Objekte im Arbeitsspeicher.
5. Das Entscheiden, ob ein Objekt neu ist, oder schon gesehen wurde.

Anhand des im letzten Abschnitt behandelten synchronisationsbasierten Modells wurde der in Abbildung 1 gezeigte Modellaufbau entwickelt.

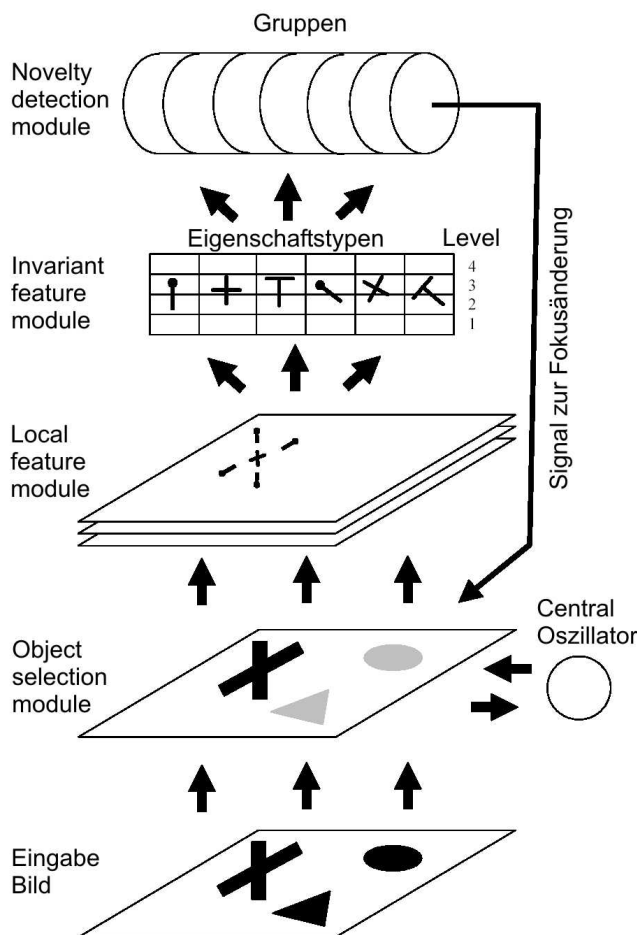


Abbildung 1:

Aufbau des Systems. Das Eingabebild besteht aus drei Objekten. Im OSM ist das fixierte Objekt schwarz dargestellt, die anderen grau. Im LFM ist das im Fokus befindliche Objekt in seine fünf Eigenschaftstypen aufgespalten, vier Endpunkte verschiedener Orientierung und eine Kreuzung aus zwei Linien. Das IFM registriert diese Eigenschaften unabhängig von der Verteilung im Bild. Das NDM ist horizontal in Gruppen aufgeteilt, die Eigenschaftskombinationen wiedererkennen.

Das Modell ist aus einer Hierarchie interaktiver Module aufgebaut, die durch synchronisierende und desynchronisierende Verbindungen derer Oszillatoren interagieren. Der Zustand eines Oszillators im System wird durch drei Variablen beschrieben: der Phase, der Amplitude und der Eigenfrequenz. Je nach Arbeitsschritt, in dem sich das System befindet, ändern sich die Werte dieser Variablen.

Die einzelnen Module des Systems werden „object selection module“ (OSM), „local feature module“ (LFM), „invariant feature module“ (IFM) und „novelty detection module“ (NDM) genannt. Analog bezeichnen wir die arbeitenden Oszillatoren als OSO, LFO, IFO und NDO. Weiterhin gibt es noch ein Zentrales Element, den Central Oszillator (CO), der in unserem Fall nur mit dem OSM kommuniziert, da ein Objekt während des ganzen Erkennungsprozesses fixiert bleiben muss. Die anderen Funktionen laufen nacheinander automatisch ab, ohne dass ihnen explizite Beachtung geschenkt werden muss. Im Folgenden werden das OSM, das LFM, das IFM und das NDM in ihrer Funktionsweise und Interaktion näher beleuchtet.

### 3.1 Das „object selection module“

Das OSM ist dafür zuständig, das Eingabebild in verschiedene Bereiche zu unterteilen. Dies geschieht aufgrund der örtlichen Verteilung der Objekte auf dem Bild.

Um die Objekte erkennen zu können ist das gesamte Blickfeld in Pixel gerastert, wobei für jeden Pixel ein einzelner OSO vorhanden ist. Ein OSO mit den Koordinaten (x,y) wird also

durch den Pixel  $(x,y)$  auf dem Eingabebild aktiviert. Eine Anhäufung von aktivierten Oszillatoren stellt so ein Objekt dar. Durch Synchronisation der OSOs über deren lokalen Verbindungen wird dann das Objekt als ganzes erfasst. Das heißt, für jedes Objekt auf dem Eingabebild schwingen eine Gruppe von OSOs in einer bestimmten Eigenfrequenz synchron.

Um nun ein so erkanntes Objekt in den Fokus zu rücken, wird der CO gebraucht. Er tritt in der Art in Aktion, dass er mit einer Gruppe A von OSOs, die ein Objekt repräsentieren, in gleicher Frequenz schwingt und dadurch ein Resonanzfall hervorgerufen wird. Dadurch steigt die Amplitude dieser Oszillatoren, wohingegen die der anderen OSOs niedrig gehalten wird. Dieser Resonanzzustand wird nur durch ein Signal vom NDM unterbrochen, das ausgesendet wird, wenn ein Objekt als neu erkannt und gespeichert, oder wiedererkannt wurde. Dieses Signal blockiert die Interaktion der OSOs mit dem CO permanent bis das komplette Bild analysiert wurde. Dadurch ist es dem CO nicht mehr möglich, mit dieser Gruppierung A von OSOs in Resonanz zu kommen. Der CO muss also mit einer anderen Gruppe B von OSOs in Interaktion treten und mit dieser in den Resonanzfall kommen.

Dieser Ablauf wird nun für jedes Objekt auf dem Eingabebild wiederholt, bis die komplette Szene analysiert wurde. Die Reihenfolge der fokussierten Objekte wird durch ihre Größe und Kontrast bestimmt. Größere und kontrastreichere Objekte haben Vorrang vor kleineren und schwächeren.

### 3.2 Das „local feature module“

Mit dem OSM sind nun die Eigenschaften des fokussierten Objektes in Pixelform gegeben. Diese Eigenschaften müssen in lokale geometrische Eigenschaften umgeformt werden, wofür das LFM zuständig ist.

Die Oszillatoren im LFM sind nicht wie im OSM in einer Ebene angeordnet, sondern dreidimensional in mehreren Ebenen. Jede Ebene hat die Aufgabe eine bestimmte Eigenschaft des Objektes zu suchen. Dazu befinden sich in jeder Ebene Detektoren mit vorprogrammierten Mustern. Findet ein Detektor sein Muster im ausgewählten Objekt, aktiviert er einen LFO. Dass ein Objekt vorher vom OSM ausgewählt und in den Fokus gesetzt worden ist, erkennt das LFM anhand der Amplitude der OSOs. Objekte, die durch OSOs mit niedriger Amplitude repräsentiert werden, werden dadurch ausgeblendet.

Dieses explizite Ausblenden nichtfixierter Objekte verhindert auch eine fehlerhafte Verknüpfung der Eigenschaften der verschiedenen Objekte während der Speicherung, da nicht versehentlich Teile anderer Objekte mitanalysiert werden können. Ferner dient die übergebene Amplitude des OSMs auch zur Synchronisation der LFOs. Das LFM darf nur die Frequenzen derjenigen LFOs synchronisieren, die auch zu dem Objekt gehören, welches im Bereich der Aufmerksamkeit liegt. Alle anderen Oszillatoren dürfen keine Informationen an das nächste Modul weitergeben.

### 3.3 Das „invariant feature module“

Das IFM hat die Aufgabe, die vom LFM erkannten geometrischen Eigenschaften des Objektes unabhängig von Position und Größe in einem Satz von Eigenschaften zu repräsentieren.

Um dies zu realisieren, besteht das IFM aus  $K$  Spalten von Oszillatoren, wobei  $K$  die Anzahl der verschiedenen Muster ist, die das LFM suchen kann. Eine Spalte hat  $i$  Level,  $i$  ist die Anzahl, wie oft ein bestimmtes Muster im ausgewählten Objekt vorkommt. Das heißt, wenn ein Muster  $k$   $i$ -mal im Objekt vorkommt, wird der Oszillator in Spalte  $k$  auf Level  $i$  aktiviert. Pro Spalte ist daher immer nur ein oder gar kein IFO aktiv.

Durch diese Darstellung der Eigenschaften in einer Matrix, ist automatisch deren Unabhängigkeit von ihrer Position im Objekt gegeben. Eine Unabhängigkeit von der Skalierung kann nur durch eine entsprechende Wahl der vom LFO erkennbaren Muster gegeben werden. Gut eignen sich beispielsweise End-, Eck- und Kreuzpunkte von Linien. Ein Beispiel hierfür wird später in Punkt „Durchführung einer Simulation“ dieser Ausarbeitung gezeigt.

Als Grundlage für die Synchronisation der IFOs dienen wiederum die synchronisierten Oszillatoren des LFMs. An diesem Punkt zeigt sich, dass die ursprüngliche Synchronisation der Oszillatoren im OSM sich bis hierher fortpflanzt. Das Objekt wird jetzt durch eine kohärente Schwingung im System repräsentiert. Viele Oszillatoren schwingen nun gleichphasig mit einer bestimmten Frequenz, jeder Oszillator hat eine bestimmte Aufgabe sodass genug Informationen über das Objekt vorhanden sind um es eindeutig identifizieren zu können.

### 3.4 Das „novelty detection module“

Das NDM dient zur Speicherung der Objekte im Arbeitsspeicher und zur Wiedererkennung bekannter Objekte.

Eine Entscheidung über die Neuheit oder Bekanntheit eines Objektes wird über die Schwingungsdauer der Oszillatoren im NDM gefällt. Ist ein Objekt neu, so fällt die Reaktion des NDM lang aus, ist es bereits bekannt, gibt es eine kurze Antwort. Eine Speicherung der Eigenschaften eines Objektes geschieht durch die Ausprägung fester Verbindungen zwischen den NDOs, welche durch geeignete Modifikation dessen interner Parameter erreicht werden. Auf diese Modifikationen wird hier aber nicht weiter eingegangen.

Aufgebaut ist das NDM aus eigenständigen, nicht miteinander verknüpften Gruppen von Oszillatoren, die nebeneinander entlang der horizontalen Achse angeordnet sind. In jeder Gruppe befinden sich mehrere NDOs, die so miteinander verbunden sind, dass eine Synchronisation innerhalb jeder Gruppe erzielt werden kann. Die Gruppen selbst sind wiederum alle mit dem IFM verbunden. Diese Verbindungen werden allerdings durch zufällige Phasenverschiebungen teilweise unterbrochen, damit nicht immer eine Interaktion zwischen IFM und allen Gruppen des NDM vorhanden ist.

Grundsätzlich funktioniert das NDM so, dass ein NDO durch Synchronisation und Resonanz mit einem aktiven IFO einen hohen Amplitudenwert erreicht und hält. Dieser Fall tritt aber nur ein, wenn das Signal aus dem IFM das NDM in Phase erreicht. Durch die erwähnte zufällige Phasenverschiebung in der Verbindung der Module ist dies nur bei wenigen quasi zufällig ausgewählten Gruppen so. Die Oszillatoren in den anderen Gruppen können nicht in den Resonanzfall kommen und bleiben daher inaktiv. Daraus folgt nun, dass jedes Objekt im NDM durch eine kleine Anzahl von Oszillatoren repräsentiert wird, die speziell mit dem Objekt im Focus verknüpft sind. Da sich die Phasenverschiebungen nach dem Zufallsprinzip ändern und ein aktiviertes NDO seinen Amplitudenwert hält, wächst jedoch die Anzahl der gleichschwingenden Oszillatoren langsam an, solange es ein gleichbleibendes Signal vom IFM gibt.

Sobald die Anzahl der aktiven NDOs einen bestimmten Grenzwert  $H$  erreicht hat, sendet das NDM das blockierende Signal an das OSM, damit der Fokus geändert wird. Das entscheidende an diesem Vorgang ist nun die Zeit  $\Delta t$ , die das Objekt im Fokus war. Ist das Objekt neu, so dauert es einen gewisse Zeitraum  $\Delta t$ , bis dieser Grenzwert erreicht wird. Ist dagegen das Objekt schon bekannt, wurden durch die Speicherung vom letzten Objekt der selben Art die Oszillatoren dahingehend modifiziert, dass sie schneller in Resonanz mit dem IFM treten können und somit der Grenzwert  $H$  wesentlich schneller erreicht werden kann.



## 4. Durchführung einer Simulation

Nun soll anhand einer Simulation gezeigt werden, dass das hier vorgestellte Modell auch realisierbar ist und funktioniert. Das wird anhand eines einfachen schwarz-weiß Bildes, das die Buchstaben des Wortes „HELLO“ darstellt gemacht.

Zur angemessenen Deutung des Experimentes werden zu den Zeitpunkten an denen ein bestimmtes Objekt im Fokus ist, die Amplituden der OSOs im OSM, abgedruckt. Zusätzlich wird die Dauer  $\Delta t$ , die das Objekt im Fokus ist, angegeben (siehe Abbildung 3). Dies sind die wesentlichen Parameter, um zu sehen, ob das vorgestellte Modell auch wirklich das macht, was es soll.

### 4.1 Aufbau und Erwartungen

Wie schon erwähnt, wird als Eingabebild das Wort „HELLO“ verwendet. Es eignet sich sehr gut für einen Test dieser Art, da es aus vier verschiedenen Objekten besteht, wobei eines davon zwei mal vorkommt. Das Bild wird mit einer Dauer von 35 Zeiteinheiten in das Eingabefeld der Apparatur gesetzt. Die Reihenfolge, nach der die einzelnen Buchstaben analysiert werden, wird hierbei von deren Größe bestimmt. Damit das IFM die Eigenschaften jedes Buchstabens unabhängig von deren Skalierung codieren kann, werden die in Abbildung 2 gezeigten Muster in das LFM programmiert.



Abbildung 2

Die Eigenschaften die in das LFM programmiert werden, um die Form des Wortes „HELLO“ zu codieren.

Der Buchstabe H beispielsweise wird dann im LFM durch sechs aktive LFOs repräsentiert, vier Endpunkte, jeweils zwei oben und unten, und zwei T-Kreuzungen, eine rechts und eine links. Im IFM wird das dann durch vier aktive Oszillatoren codiert, nämlich einem Endpunkt oben auf Level 2, einem Endpunkt unten auf Level 2, einer T-Kreuzung rechts auf Level 1 und einer T-Kreuzung links auf Level 1.

Da der Buchstabe L zweimal vorkommt, ist zu erwarten, dass er, wenn er zum zweiten mal fixiert wird, wiedererkannt wird. Das müsste sich darin widerspiegeln, dass das zweite L schneller analysiert wird als das erste. Alle anderen Buchstaben sollte die Apparatur als unbekannt erkennen und somit deren in Fokus befindliche Zeitraum  $\Delta t$  größer sein.

### 4.2 Auswertung der Ergebnisse

Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, entspricht das Ergebnis den Vorhersagen.

Nachfolgend sind sechs Zustände der Amplituden im OSM dargestellt. Schön zu sehen ist auch das 2D-Raster, das die OSOs abdecken um das Eingabebild in Pixel umzusetzen. Zum Zeitpunkt  $t=0$  ist das Eingabebild bereits in Regionen aufgeteilt, was anhand der niedrigen, aber doch erkennbaren Amplituden der OSOs sichtbar ist. Das OSM hat also wie erwartet

fünf Objekte, die die einzelnen Buchstaben repräsentieren erkannt. Im nächsten Zeitabschnitt ist die Synchronisation zwischen OSM und CO eingetreten, sodass das größte Objekt in den Fokus gerückt wurde. Dies ist erkennbar an der wesentlich höheren Amplitude der Oszillatoren, die den Buchstaben O repräsentieren.

Die einzelnen Buchstaben rücken so nacheinander in der Reihenfolge O, H, E, L, L in den Fokus. Wie erwartet, ist der Zeitraum  $\Delta t$  für die neu erkannten Objekte O, H, E und L größer als für das wiedererkannte zweite L. Für die neuen Buchstaben bewegt sich  $\Delta t$  im Bereich von 4,1 bis 5,8 Zeiteinheiten, für das zweite L jedoch wurde nur noch ein  $\Delta t$  von 1,6 Zeiteinheiten gebraucht. Das heißt, die Wiedererkennung ging dreimal so schnell wie die Neuerkennung eines Objektes. Dieser offensichtliche Erfolg der Simulation untermauert die Richtigkeit des oben vorgestellten Modells.

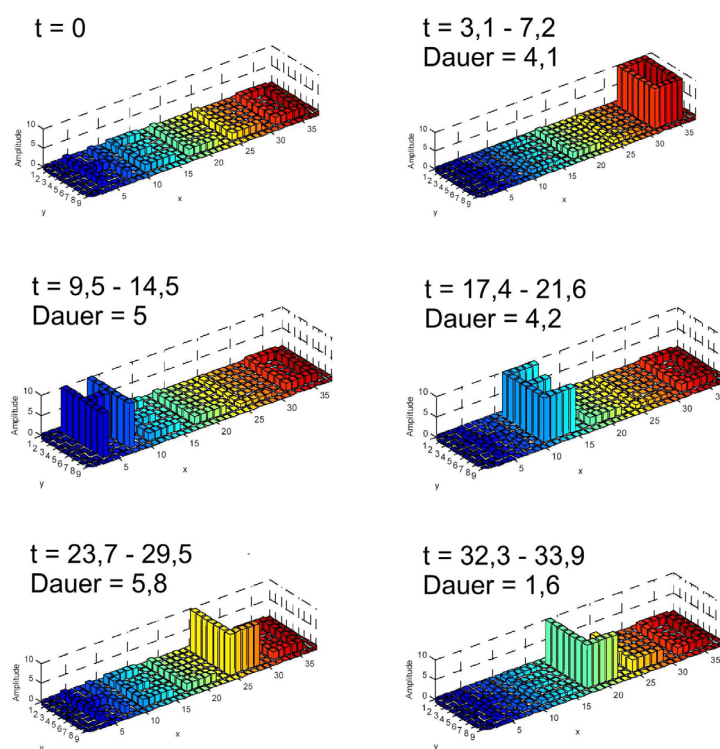


Abbildung 3

Diagramm der Amplituden des Oszillators im OSM.  $t$  entspricht dem Zeitpunkt, an dem das Objekt in bzw. aus dem Fokus gekommen ist. Die Dauer entspricht  $\Delta t$ , also dem Zeitraum, während dem das Objekt im Fokus war.

## 5. Diskussion und Ausblick

Es wurde erfolgreich demonstriert, dass es möglich ist, die Grundprinzipien der auf Schwingung basierenden Informationsverarbeitung auf die Modellierung komplexer kognitiver Funktionen zu übertragen. Das hier vorgestellte Modell, welches auf diesen Grundprinzipien basiert, bildet in einer sehr vereinfachten Form die grundlegenden Funktionsweisen der Verarbeitung visueller Informationen im Gehirn nach. Anhand einer Computersimulation wurde außerdem gezeigt, dass das System die Fähigkeit hat, nacheinander einzelne Objekte aus dem Eingabebild auszuwählen und zu entscheiden, ob es neu oder bereits bekannt ist.

Wie schon in der Einleitung erwähnt, wurden bereits Modelle entwickelt, die die einzelnen kognitiven Funktionen simulieren. Das Herausragende an diesem Modell ist allerdings, dass

es mehrere dieser Funktionen kombiniert um einen ganzen komplexen Prozess nachzubilden. Vor allem die Kombination von spezieller Objektauswahl und Wiedererkennung von Objekten sei hier hervorgehoben. Eine weitere Neuheit an diesem Modell ist außerdem, dass im primären Erkennungsprozess das Objekt als Pixel dargestellt wird und erst danach lokale Eigenschaften herausgefiltert werden. Dies hat den Vorteil, dass sich als Eingabe jegliche Art von Bildern eignen, nicht nur Linienobjekte, die durch ihre Kontur charakterisiert sind. Ferner wird hier die Idee der Interaktion einzelner Module durch Resonanz anders als in bisherigen Studien umgesetzt. Hier geschieht diese dynamische Verbindung durch explizite Kopplung der Frequenzen von Oszillatoren mit anderen, die sich schon im Resonanzfall befinden. Im Gegensatz dazu war in Früheren Modellen für diesen Vorgang der CO verantwortlich. Auch hier spielt der CO die Rolle eines zentralen Steuerelementes, jedoch interagiert er nur bei dem Fixierungsprozess mit anderen Oszillatoren. Jede andere Kommunikation funktioniert ohne Hilfe des CO. Die Veränderung der Eigenfrequenz von Oszillatoren wurde schon früher für Lern- und Speichermechanismen benutzt. Neben dieser Funktion übernimmt dieses Manipulationsprinzip hier auch die Funktion zur Auswahl der Objekte aus dem Eingabebild, da ja dafür der Resonanzfall zwischen CO und Oszillatoren im OSM erreicht werden muss.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die hier vorgestellte Arbeit von Roman Borisyuk und Yakov Kazanovich sehr innovativ auf dem Gebiet der Entwicklung von neuronalen Systemen ist. Die Beiden entwickeln grundlegende Modelle zur Nachbildung von Mechanismen im menschlichen Gehirn. Man kann wohl davon ausgehen, dass in absehbarer Zukunft komplexere Modelle entwickelt werden, wenn man einmal bedenkt, dass zwischen der Vorstellung der synchronisationsbasierten Modelle aus [Lit2] und dem hier vorgestellten Modell aus [Lit1] gerade mal drei Jahre liegen. Sind diese Systeme erst einmal ausgereift, so wird es dafür zahlreiche Anwendungsgebiete beispielsweise in der Robotik geben. Sich selbst orientierende und lernende Maschinen werden dadurch in greifbare Nähe gerückt. Aber auch in einfacheren Systemen wie beispielsweise der Schrifterkennung oder Bildanalyse könnten diese Prinzipien in Zukunft integriert werden.

## Literaturreferenzen

[Lit1] Roman Borisyuk, Yakov Kazanovich, 2004, URL: [pdf-file](#)

[Lit2] Roman Borisyuk, Galina Borisyuk, Yakov Kazanovich, 2001, URL: [pdf-file](#)