

GIBT ES EIN ZUR STARKEN WECHSELWIRKUNG ANALOGES PRINZIP BEI DER NEURONALEN INFORMATIONSVERARBEITUNG?

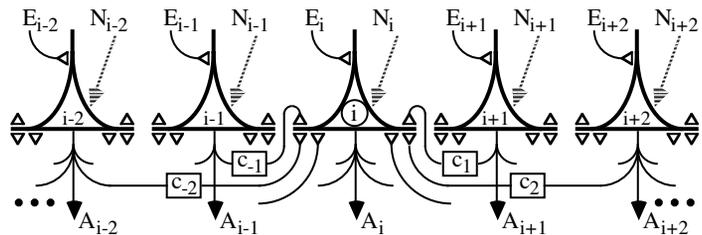
Alfred NISCHWITZ, Helmut GLÜNDER**

Lehrstuhl für Nachrichtentechnik, Technische Universität, Arcisstr. 21, 8000 München 2
 email: alfred@Int.e-technik.tu-muenchen.de

*Institut für Med. Psychologie, Ludwig-Maximilians-Universität, Goethestr. 31, 8000 München 2

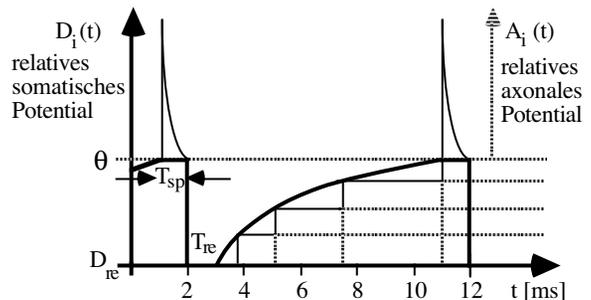
Neuere Ergebnisse elektrophysiologischer Untersuchungen am primären visuellen Cortex der Katze lassen vermuten, daß zeitlichen Korrelationen einzelner Nervenimpulse bzw. Impulsgruppen eine wichtige Rolle bei der Verarbeitung visueller Reize zukommt. Man nimmt gegenwärtig an, daß auf der Sensorfläche zusammengehörige, z.B. benachbarte (Objekt-)Merkmale gleicher Qualität, wie Bewegungsrichtung, Kontrast, Orientierung der Konturtangente, Kontur-Krümmung, Textur, Farbe, etc., zentralnervös durch synchronisierte Aktivität derjenigen Neuronen markiert sind, die diese Merkmale sowie deren Lage im Cortex repräsentieren [1,2]. Fehlt reizbedingt diese Zusammengehörigkeit, z.B. bei unterschiedlich bewegten Objekten, so erzeugen die entsprechenden Neuronen oder Neuronen-Populationen ihre Impulse nicht mehr synchron, jedoch durchaus mit gleicher Rate. Eine in diesem Kontext wichtige Frage ist daher die nach den Mechanismen dieser Synchronisation.

Abb.1 Lateral gekoppeltes eindimensionales Netzwerk mit zeitlich konstant anliegenden externen Gesamterregungen E und den Ausgängen A



Die bekannten Erklärungskonzepte basieren meistens auf erregenden, sehr selten hemmenden, in jedem Fall aber merkmals-spezifischen Kopplungen von Neuronen [3,4,5,6,7]. Einen Sonderfall stellt die hier nicht weiter betrachtete divergente Vorwärtskopplung dar [8]. Wir haben Netzstrukturen der in Abb.1 skizzierten Art untersucht. Das Verhalten eines einzelnen Modellneurons geht aus Abb.2 hervor: Die an allen Neuronen anliegende, zeitlich konstante externe Erregung E wird gemäß einer Exponentialfunktion (RC-Glied) aufintegriert und beim Erreichen der Schwelle θ ein Impuls erzeugt, worauf der Integrationsprozeß vom Startwert D_{re} aus neu beginnt. Von Nachbarzellen eintreffende Impulse verändern das momentane Integrationsergebnis zusätzlich um einen konstanten Betrag, wie dies in idealisierter Form für zu verschiedenen Zeiten auftretende und jeweils gleichstarke hemmende oder erregende Einflüsse in Abb.2 eingezeichnet ist.

Abb.2 Zeitliche Integrations-Charakteristik und Impulsgenerierung beim verwendeten Neuronenmodell. Abhängig vom Zeitpunkt des Eintreffens einer ideal wirkenden impulsförmigen Hemmung oder Erregung wird die Impulserzeugung offensichtlich unterschiedlich stark verzögert, bzw. beschleunigt



Es zeigt sich, daß sowohl über erregende als auch hemmende laterale Kopplungen die Synchronisation der Ausgangsimpulse von Modellneuronen möglich ist, wobei sich allerdings das Synchronisationsverhalten in beiden Fällen stark unterscheidet.

** gefördert durch die "Volkswagen-Stiftung" im Rahmen des 'Synergetik'-Programms, Projekt I/65 914

Bei erregender Übertragung ohne nennenswerte Verzögerung nimmt die synchronisierende Wirkung lateral übermittelter Impulse mit dem Synchronisationsgrad zu. Demzufolge stellt sich hierbei nach einer Einlaufphase sehr gute Synchronizität ein [7]. Ursache für dieses Verhalten ist die exponentielle Integrationscharakteristik der Neurone: Weichen die Integrationszustände D_i nur wenig voneinander ab, so werden die Impulse der zuerst überschwellig gewordenen Neurone ausreichen um ihre schon nahe der Schwelle befindlichen Nachbarn sofort überschwellig zu machen. Offensichtlich sinkt die Wahrscheinlichkeit für diese Impulstriggerung mit abnehmender Synchronizität.

Im Gegensatz zur erregenden wirkt unverzögerte hemmende Übertragung desynchronisierend. Da biologische Netzwerke aber Interneurone zur Umsetzung von Erregung auf Hemmung erfordern und damit Laufzeiten entstehen, ist es sinnvoll das Synchronisationsverhalten für verzögerte hemmende Kopplungen zu untersuchen. Für Verzögerungen τ , die etwa die Hälfte des mittleren Impulsabstandes eines Neurons betragen, nimmt die synchronisierende Wirkung lateral übermittelter hemmender Impulse mit dem Synchronisationsgrad ab. Wie aus den Beispielen in Abb.3 hervorgeht, ist die individuelle Impulsperioden-Verlängerung durch laterale Hemmung bei starker Asynchronizität sehr effektiv. Folglich wird rasch moderate Synchronizität erreicht und Ausreißer werden schnell korrigiert, wogegen bei zunehmender Synchronisation die Bindung des Zeitpunktes der individuellen Impulsauslösung an den des Kollektivs abnimmt.

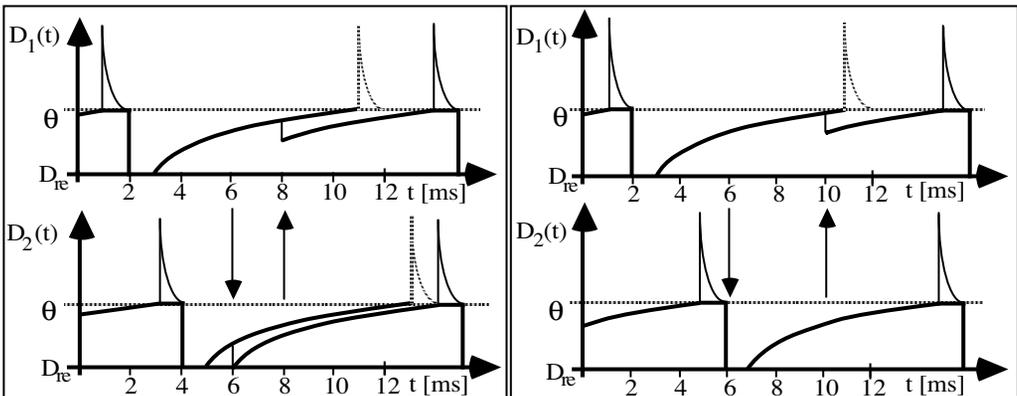


Abb.3 Signalverläufe zweier hemmend und mit $\tau = 5$ ms verzögert gekoppelter Neurone
(links: moderate Anfangssynchronisation; rechts: schlechte Anfangssynchronisation)

Das geschilderte Verhalten der Wechselwirkungen zwischen unterschiedlich gekoppelten Modellneuronen legt Vergleiche mit physikalischen Grundkräften nahe, nämlich mit der elektromagnetischen Wechselwirkung einerseits und der starken andererseits. Bei ersterer wächst bekanntlich die Kraft zwischen zwei Ladungen mit abnehmendem Abstand, bei letzterer sinkt sie dagegen mit der Annäherung zweier 'Farbladungen', d.h. Quarks. Folglich kommt Quarks innerhalb eines Hadrons sogenannte 'asymptotische Freiheit' zu, d.h. sie können sich letztlich nicht beliebig voneinander entfernen, da hierfür mehr Energie nötig wäre, als zur Erzeugung neuer Teilchen/Antiteilchen-Paare.

- [1] Eckhorn R., Bauer R., Jordan W., Brosch M., Kruse W., Munk M. und Reitboeck H. J. (1988) Coherent oscillations: a mechanism of feature linking in the visual cortex? *Biol. Cybern.* **60**: 121-130.
- [2] Gray C. M., König P., Engel A. K. und Singer W. (1989) Oscillatory responses in cat visual cortex exhibit intercolumnar synchronization which reflects global stimulus properties. *Nature* **338**: 334-337.
- [3] Atiya A. und Baldi P. (1989) Oscillations and synchronizations in neural networks: an exploration of the labeling hypothesis. *Int. J. Neural Systems* **1**: 103-124.
- [4] Eckhorn R., Reitboeck H. J., Arndt M. und Dicke P. (1990) Feature linking via synchronization among distributed assemblies: simulations of results from cat visual cortex. *Neural Computation* **2**: 293-307.
- [5] Schillen T. B. (1990) Simulation of delayed oscillators with the *MENS* general purpose modelling environment for network systems. In: Eckmiller R., Hartmann G. und Hauske G. (Hrsg.) *Parallel Processing in Neural Systems and Computers*. North-Holland, Amsterdam, pp. 135-138.
- [6] Bush P. C. und Douglas R. J. (1991) Synchronization of bursting action potential discharge in a model network of neocortical neurons. *Neural Computation* **3**: 19-30.
- [7] Nischwitz A., Glünder H. und Klausner P. (1991) Synchronization of spikes in populations of laterally coupled model neurons. In: Kohonen T., Mäkisara K., Simula O. und Kangas J. (Hrsg.) *Artificial Neural Networks, vol. 2*. North-Holland, Amsterdam, pp. 1771-1774.
- [8] Abeles M. (1982) *Local Cortical Circuits. An Electrophysiological Study*. Springer, Berlin.

D. Krönig M. Lang (Hrsg.)

Physik und Informatik — Informatik und Physik

Arbeitsgespräch

München, 21. / 22. November 1991

Proceedings



ITG



Springer-Verlag

Berlin Heidelberg New York London Paris
Tokyo Hong Kong Barcelona Budapest