

Gibt es ein zur starken Wechselwirkung analoges Prinzip bei der neuronalen Informationsverarbeitung?

Alfred Nischwitz, Helmut Glünder*‡

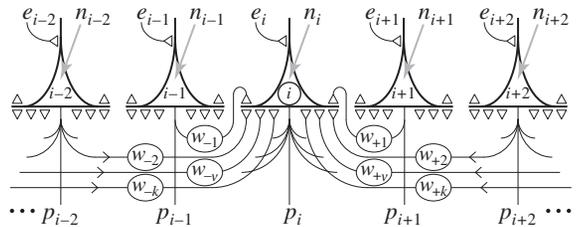
Lehrstuhl für Nachrichtentechnik, Technische Universität, Arcisstr. 21, D-8000 München 2

email: alfred@Int.e-technik.tu-muenchen.de

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

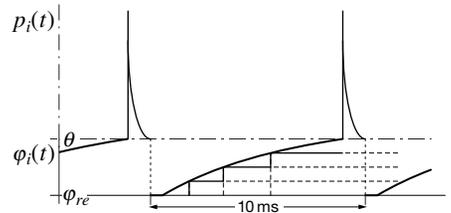
Neuere Ergebnisse elektrophysiologischer Untersuchungen am primären visuellen Cortex der Katze lassen vermuten, daß zeitlichen Korrelationen einzelner Nervenimpulse oder Impulsgruppen eine wichtige Rolle bei der Verarbeitung visueller Reize zukommt. Man nimmt gegenwärtig an, daß auf der Sensorfläche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

Abb. 1 Lateral gekoppelte Kette aus formalen Neuronen mit zeitlich konstanter Anregung $e_i = E$, Rauschanteilen n_i und Impulsausgängen p_i



Die bekannten Erklärungskonzepte basieren meistens auf erregenden, sehr selten hemmenden, in jedem Fall aber merkmals-spezifischen Kopplungen von Neuronen [3-7]. Ein Sonderfall ist die hier nicht weiter betrachtete divergente Vorwärtskopplung [8]. Es wurden Netzstrukturen der in Abb. 1 skizzierten Art untersucht. Das Verhalten des einzelnen formalen Neurons geht aus Abb. 2 hervor: Es integriert die zeitlich konstante externe Anregung E gemäß einer Exponentialfunktion (RC-Glied) und erzeugt bei Erreichen des Schwellwerts θ einen Impuls, worauf der Integrationsprozeß vom Wert φ_{re} aus neu beginnt. Von benachbarten Neuronen eintreffende Impulse ändern den momentanen Integrationswert zusätzlich um einen konstanten Betrag, wie es in idealisierter Form für zu verschiedenen Zeiten auftretende und jeweils gleichstarke hemmende oder erregende Einflüsse Abb. 2 zu entnehmen ist.

Abb. 2 Unterschwelliges Integrationsverhalten $\varphi_i(t)$ und Auslösung von Impulsen $p_i(t)$ bei Erreichen des Schwellwerts θ des formalen Neurons. Abhängig vom Zeitpunkt des Eintreffens ideal impulsförmig wirkender lateraler Erregung oder Hemmung wird die Impulserzeugung unterschiedlich stark beschleunigt bzw. verzögert



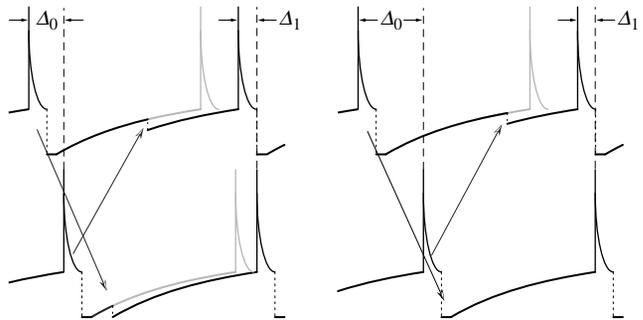
Es zeigt sich, daß sowohl über erregende als auch hemmende laterale Kopplungen die Synchronisation der Ausgangsimpulse formaler Neurone möglich ist, wobei sich allerdings das Synchronisationsverhalten in beiden Fällen deutlich unterscheidet.

‡ gefördert durch die „Volkswagen“-Stiftung im Rahmen des „Synergetik“-Programms, Projekt I/65 914

Bei erregender Kopplung ohne nennenswerte Laufzeit nimmt die synchronisierende Wirkung lateral übermittelter Impulse mit dem Synchronisationsgrad zu, so daß sich nach einer Einlaufphase sehr gute Synchronie einstellt [7]. Ursache ist das exponentielle Integrationsverhalten der Neurone: Weichen die Integrationszustände φ_i nur wenig voneinander ab, so reichen Impulse der zuerst überschwellig werdenden Neurone aus, um ihre schon nahe der Schwelle befindlichen Nachbarn sofort überschwellig zu machen. Natürlich sinkt die Wahrscheinlichkeit für diese Impulsauslösung mit abnehmender Synchronie.

Im Gegensatz zur erregenden wirkt hemmende Kopplung ohne Laufzeit desynchronisierend. Weil biologische Netzwerke aber Interneurone zur Umsetzung von Erregung auf Hemmung benötigen, wodurch Laufzeiten entstehen, ist es sinnvoll das Synchronisationsverhalten für diese Kopplungsart zu untersuchen. Für Laufzeiten 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 beiden Beispielen in Abb. 3 hervorgeht, ist die Verlängerung der Impulsperiode durch laterale Hemmung bei starker Asynchronie sehr effektiv. Folglich wird rasch moderate Synchronie erreicht und Ausreißer werden rasch korrigiert, wogegen mit zunehmender Synchronie die Bindung des Zeitpunktes der individuellen Impulsauslösung an den des Kollektivs abnimmt.

Abb. 3 Verhalten gleichartig laufzeitbehaftet und hemmend gekoppelter Neuronenpaare für zwei unterschiedliche Anfangs-Asynchronien Δ_0



Die betrachteten Wechselwirkungen gekoppelter formaler Neurone 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 mit der Annäherung zweier „Farbladungen“ von Quarks. Folglich kommt Quarks innerhalb eines Hadrons sogenannte asymptotische Freiheit zu: Sie können sich nicht beliebig weit voneinander entfernen, weil dazu 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? *Biological Cybernetics* **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. *International Journal of 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.