

Терехин А.Т., Будилова Е.В., Качалова Л.М., Карпенко М.П. Нейросетевое моделирование когнитивных функций мозга: обзор основных идей



English version: [Terekhin A.T., Budilova E.V., Kachalova L.M., Karpenko M.P. Neural network modeling of brain cognitive functions: review of basic ideas](#)

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

Современная гуманитарная академия, Москва, Россия

[Сведения об авторах](#)
[Ссылка для цитирования](#)

Дан обзор основных идей нейросетевого моделирования когнитивных функций мозга. Описан ряд моделей нейрона (пороговый нейрон Мак-Каллока и Питтса, нейрон с сигмоидальной функцией активации, нейрон с немонотонной функцией активации, стохастический нейрон, импульсный нейрон) и ряд нейросетевых архитектур (перцептрон, сеть обратного распространения, сеть Хопфилда, машина Больцмана). Рассмотрены структурные модели, состоящие из нескольких нейронных сетей и моделирующие функции конкретных систем мозга (гиппокамп, гиппокамп – неокортекс, префронтальная кора – базальные ганглии). Обсуждаются общие проблемы моделирования когнитивных функций мозга.

Ключевые слова: нейросетевое моделирование, нейронная сеть, модель нейрона, перцептрон, сеть обратного распространения, машина Больцмана, когнитивные функции, мозг, гиппокамп, неокортекс, префронтальная кора, базальные ганглии

[Полный текст статьи \[PDF\] >>](#)

Введение

1 Модели нейрона

- 1.1 Пороговый нейрон Мак-Каллока и Питтса
- 1.2 Нейрон с сигмоидной функцией активации
- 1.3 Нейрон с немонотонной функцией активации
- 1.4 Стохастическая модель нейрона
- 1.5 Импульсная модель нейрона

2 Перцептроны и сети обратного распространения

- 2.1 Перцептроны
- 2.2 Сети обратного распространения ошибки

3 Сети Хопфилда

- 3.1 Пороговая функция активации
- 3.2 Сигмоидная функция активации
- 3.3 Машина Больцмана и моделированный отжиг
- 3.4 Запоминание последовательностей

4 Импульсные сети

- 4.1 Обучение
- 4.2 Стохастичность
- 4.3 Запоминание последовательностей

5 Структурные сетевые модели

- 5.1 Гиппокамп
- 5.2 Гиппокамп – неокортекс
- 5.3 Префронтальная кора – базальные ганглии
- 5.4 Основные принципы моделирования мозга

Обсуждение и перспективы исследований

Литература

[Полный текст статьи \[PDF\] >>](#)

Литература

Веденов А.А. Моделирование элементов мышления. М.: Наука, 1988. 159 с.

Виноградова О.С. Нейронаука конца второго тысячелетия: смена парадигм // Журнал высш. нервн. деятел. 2000. Т. 50. С. 743–774.

Дунин-Барковский В.Л., Терехин А.Т. Нейронные сети и нейрокомпьютеры: тенденции развития исследований и разработок // Микропроцессорные средства и системы. 1990. N 2. С. 12–14.

Мак-Каллок У.С., Питтс У. Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности // Автоматы: пер. с англ. / ред. К.Шеннон, Дж.Маккарти. М.: И.Л., 1956. С. 362–384. (Пер. изд.: McCulloch W.S., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in neurons activity // Bull. Math. Biophys. 1943. Vol. 5. P. 115–133.)

Минский М., Пейперт С. Перцептроны: пер. с англ. М.: Мир, 1971. 261 с. (Пер. изд.: Minsky M., Papert S. Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry. Cambridge, MA: MIT Press, 1969.)

Розенблат Ф. Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга: пер. с англ. М.: Мир, 1965. 175 с. (Пер. изд.: Rosenblatt F. Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms. Washington, D.C.: Spartan Books, 1962.)

Терехин А.Т., Будилова Е.В. Сетевые механизмы биологической регуляции // Успехи физиологических наук. 1995. Т. 26. N 4. С. 75–97.

Amari S. Learning patterns and pattern sequences by self-organizing nets of threshold elements // IEEE Trans. Comput. 1972. Vol. 21. P. 1197–1206.

Amit D.J. Modeling brain function. The world of attractor neural networks. New York: Cambridge University Press, 1989.

Ans B., Rousset S. Avoiding catastrophic forgetting by coupling two reverberating neural networks // Comptes Rendus de l'Academie des Sciences – Series III – Sciences de la Vie. 1997. Vol. 320. P. 989–997.

Budilova E.V., Teriokhin A.T. A bibliographic data base on neural networks and neurocomputers // The RNNS/IEEE Symposium on Neuroinformatics and Neurocomputers. Rostov-on-Don, 1992. New York: IEEE, 1992. Vol. 2. P. 1125–1126.

Deniau J.M., Chevalier G. Disinhibition as a basic process in the expression of striatal functions: II. The striato-nigral influence on thalamocortical cells of the ventromedial thalamic nucleus // Brain Research, 1985. Vol. 334. P. 227–233.

Florian R.V. Biologically inspired neural networks for the control of embodied agents [Electronic resource] // Center for Cognitive and Neural Studies (Cluj-Napoca, Romania), Technical Report Coneural-03-03, 2003. URL: <http://www.coneural.org> (date of access: 11.11.2008).

Frank M.J., Loughry B., O'Reilly R.C. Interactions between the frontal cortex and basal ganglia in working memory: A computational model [Electronic resource] // Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience. 2001. Vol. 1. P. 137–160. URL: http://psych.colorado.edu/oreilly/paprers/FrankLoughryOReilly014_fcbg.pdf (date of access: 11.11.2008).

French R.M. Pseudo-recurrent connectionist networks: An approach to the “sensitivity–stability” dilemma

[Electronic resource] // Connection Science. 1997. Vol. 9, Issue 4. P. 353–379.
URL: <http://www.ulg.ac.be/cogsci/rfrench/psdnet.pdf> (date of access: 11.11.2008).

French R.M. Selective memory loss in aphasics: An insight from pseudorecurrent connectionist networks. Connectionist representations [Electronic resource] // Proceedings of the Fourth Neural Computation and Psychology Workshop / ed. by J.Bullinaria, G.Houghton, D.Glasspool. Berlin: Springer-Verlag, 1997. P. 183–195. URL: <http://www.ulg.ac.be/cogsci/rfrench/aphasics.pdf> (date of access: 11.11.2008).

French R.M. Catastrophic forgetting in connectionist networks [Electronic resource] // Trends in Cognitive Sciences. 1999. Vol. 3, Issue 4. P. 128–135. URL: http://www.ulg.ac.be/cogsci/rfrench/TICS_cat_forget.pdf (date of access: 11.11.2008).

French R.M., Ans B., Rousset S. Pseudopatterns and dual-network memory models: Advantages and shortcomings [Electronic resource] // Connectionist Models of Learning, Development and Evolution / ed. by R.French, J.Sougné. London: Springer, 2001. P. 13–22.
URL: http://www.ulg.ac.be/cogsci/rfrench/ncpw6_french_ans_rousset.pdf (date of access: 11.11.2008).

French R.M., Mareschal D. Could category-specific semantic deficits reflect differences in the distributions of features within a unified semantic memory? [Electronic resource] // Proceedings of the Twentieth Annual Cognitive Science Society Conference. NJ: LEA, 1998. P. 374–379.
URL: http://www.ulg.ac.be/cogsci/rfrench/anomia_98.pdf (date of access: 11.11.2008).

Gerstner W. Time structure of the activity in neural network models [Electronic resource] // Phys. Rev. E. Vol. 1995. Vol. 51. P. 738–758.
URL: <http://diwww.epfl.ch/~gerstner/PUBLICATIONS/Gerstner95PRE.pdf> (date of access: 11.11.2008).

Gerstner W. Spiking neurons // Pulsed neural networks / ed. by Maass W., Bishop C.M. Cambridge, MA: MIT Press, 1999. P. 3–53.

Gerstner W., Kempter R., van Hemmen J.L., Wagner H. A neuronal learning rule for sub-millisecond temporal coding [Electronic resource] // Nature. 1996. Vol. 383. P. 76–78.
URL: <http://diwww.epfl.ch/~gerstner/PUBLICATIONS/Nature96-text.pdf> (date of access: 11.11.2008).

Gerstner W., Kistler W. M. Spiking neuron models: Single neurons, populations, plasticity [Electronic resource]. Cambridge, MA: Cambridge Univ. Press, 2002. URL: <http://diwww.epfl.ch/~gerstner/BUCH.html> (date of access: 11.11.2008).

Gerstner W., Ritz R., van Hemmen J.L. Why spikes? Hebbian learning and retrieval of time-resolved excitation patterns // Biol. Cybern. 1993. Vol. 69. P. 503–515.

Hasselmo M.E., Cannon R.C., Koene R. A simulation of parahippocampal and hippocampal structures guiding spatial navigation of a virtual rat in a virtual environment: A functional framework for theta theory // The Parahippocampal Region: Organization and Role in Cognitive Function / ed. by M.P.Witter, F.Wouterlood. London: Oxford Univ. Press, 2002.

Hasselmo M.E., McClelland J.L. Neural models of memory [Electronic resource] // Current Opinion in Neurobiology. 1999. Vol. 9. P. 184–188. URL: <http://biomednet.com/elecref/0959438800900184> (date of access: 11.11.2008).

Hasselmo M.E., Wyble B.P. Simulation of the effects of scopolamine on free recall and recognition in a network model of the hippocampus // Behav. Brain Res. 1997. Vol. 89. P. 1–34.

Hasselmo M.E., Wyble B.P., Cannon R.C. From spike frequency to free recall: How neural circuits perform encoding and retrieval [Electronic resource] // The Cognitive Neuroscience of Memory: Encoding and Retrieval / ed. by A.Parker, T.J.Bussey, E.Wilding. London: Psychology Press, 2001.
URL: <http://people.bu.edu/hasselmo/BusseyChapterFinal.pdf> (date of access: 11.11.2008).

Hebb D.O. The organization of behavior. A neuropsychological theory. New York: Wiley, 1949.

- Herz A.V.M., Sulzer B., Kühn R., van Hemmen J.L.* Hebbian learning reconsidered: Representation of static and dynamic objects in associative neural nets // *Biol. Cybern.* 1989. Vol. 60. P. 457–467.
- Hinton G.E., Sejnowski T.J.* Learning and relearning in Boltzman machines // *Parallel Distributed Processing. Explorations in the Microstructure of Cognition.* Cambridge, MA: MIT Press, 1986. Vol. 1. P. 282–317.
- Hinton G.E., McClelland J.L.* Learning representations by recirculation // *Neural information processing systems* / ed. by D.Z.Anderson. New York: American Institute of Physics, 1988. P. 358–366.
- Hodgkin A.L., Huxley A.F.* A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve // *Journal of Physiology.* 1952. Vol. 117. P. 500–544.
- Hopfield J.J.* Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities [Electronic resource] // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1982. Vol. 79, Issue 8. P. 2554–2558.
URL: <http://www.pnas.org/cgi/reprint/79/8/2554> (date of access: 11.11.2008).
- Hopfield J.J.* Neurons with graded response have collective computational properties like those of two-stat neurons [Electronic resource] // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1984. Vol. 81. P. 3088–3092.
URL: <http://www.pnas.org> (date of access: 11.11.2008).
- Izhikevich E.M.* Simple model of spiking neurons [Electronic resource] // *IEEE Transactions on Neural Networks.* 2003. Vol. 14, Issue 6. P. 1569–1572.
URL: <http://www.nsi.edu/users/izhikevich/publications/spikes.htm> (date of access: 11.11.2008).
- Izhikevich E.M.* Which model to use for cortical spiking neurons [Electronic resource] // *IEEE Transactions on Neural Networks.* 2003. Vol. 15. P. 1063–1070.
URL: <http://www.nsi.edu/users/izhikevich/publications/whichmod.htm> (date of access: 11.11.2008).
- Kirkpatrick S., Gelatt C.D., Vecchi M.P.* Optimization by simulated annealing // *Science.* 1983. Vol. 220. P. 671–680.
- Kleinfeld D.* Sequential state generation by model neural networks [Electronic resource] // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* 1986. Vol. 83. P. 9469–9473. URL: <http://www.pnas.org> (date of access: 11.11.2008).
- Maass W.* Networks of spiking neurons: The third generation of neural network models [Electronic resource] // *Neural Networks.* 1997. Vol. 10, Issue 9. P. 1659–1671. URL: <http://www.eccc.uni-trier.de/eccc> (date of access: 11.11.2008).
- Maass W., Natschläger T.* Associative memory with networks of spiking neurons in temporal coding [Electronic resource] // *Neuromorphic Systems: Engineering Silicon from Neurobiology* / ed. by L.S.Smith, A.Hamilton. Amsrerdam: WorldScientific, 1998. P. 21–32.
URL: <http://www.cis.tugraz.at/igi/maass/psfiles/htc-ewns1.ps.gz> (date of access: 11.11.2008).
- Marian I., Reilly R.G., Mackey D.* Efficient event-driven simulation of spiking neural networks [Electronic resource] // *Proceedings of 3rd WSES International Conference on Neural Networks and Applications.* Interlaken, Switzerland, February 2002.
URL: http://cortex.cs.nuim.ie/papers/IM_RR_DM_EventDrivenSim.pdf (date of access: 11.11.2008).
- Mattia M., Del Giudice P.* Efficient event-driven simulation of large networks of spiking neurons and dynamical synapses [Electronic resource] // *Neural Comp.* 2000. Vol. 12. P. 2305–2329.
URL: <http://neural.iss.infn.it/Papers/asynsimu.pdf> (date of access: 11.11.2008).
- McClelland J., McNaughton B., O'Reilly R.* Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex: Insights from the successes and failures of connectionist models of learning and memory [Electronic resource] // *Psychological Review.* 1995. Vol. 102. P. 419–457.
URL: <http://www.cnbc.cmu.edu/~jlm/papers/McCMcNaughtonOReilly95.pdf> (date of access: 11.11.2008).

McCloskey M., Cohen N. Catastrophic interference in connectionist networks: The sequential learning problem // *The Psychology of Learning and Motivation*. 1989. Vol. 24. P. 109–165.

Morita M. Associative memory with nonmonotone dynamics [Electronic resource] // *Neural Networks*. 1993. Vol. 6. P. 115–126. URL: <http://volga.esys.tsukuba.ac.jp/~mor/paper/> (date of access: 11.11.2008).

Morita M. Smooth recollection of a pattern sequence by nonmonotone analog neural networks // *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, Orlando, 1994*. Vol. 2. P. 1032–1037.

Morita M. Memory and learning of sequential patterns by nonmonotone neural networks [Electronic resource] // *Neural Networks*. 1996. Vol. 9, Issue 8. P. 1477–1489. URL: <http://volga.esys.tsukuba.ac.jp/~mor/paper/mor1996a.pdf> (date of access: 11.11.2008).

Morita M. Computational study on the neural mechanism of sequential pattern memory [Electronic resource] // *Cognitive Brain Research*. 1996. Vol. 5. P. 137–146. URL: <http://volga.esys.tsukuba.ac.jp/~mor/paper/mor1996b.pdf> (date of access: 11.11.2008).

Morita M., Murata K., Morokami S. Context-dependent sequential recall by a trajectory attractor network with selective desensitization [Electronic resource] // *Proceedings of the Third International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence, Minsk, 2003*. P. 235–238. URL: <http://volga.esys.tsukuba.ac.jp/~mor/paper/ICNNAI2003.pdf> (date of access: 11.11.2008).

O'Reilly R.C. Biologically plausible error-driven learning using local activation differences: The generalized recirculation algorithm [Electronic resource] // *Neural Computation*. 1996. Vol. 8. P. 895–938. URL: http://psych.colorado.edu/~oreilly/papers/OREilly98_6princip_tics.pdf (date of access: 11.11.2008).

O'Reilly R.C. Six principles for biologically-based computational models of cortical cognition [Electronic resource] // *Trends in Cognitive Sciences*. 1998. Vol. 2. P. 455–462. URL: http://psych.colorado.edu/~oreilly/papers/OREilly98_6princip_tics.pdf (date of access: 11.11.2008).

O'Reilly R.C., Frank M.J. Making working memory work: A computational model of learning in the frontal cortex and basal ganglia [Electronic resource] // *Neural Computation*. 2006. Vol. 18. P. 283–328. URL: <http://www.u.arizona.edu/~mfrank/papers/OREillyFrank06.pdf> (date of access: 11.11.2008).

O'Reilly R.C., Munakata Y. Computational neuroscience and cognitive modeling [Electronic resource] // *Encyclopedia of Cognitive Sciences* / ed. by L.Nadel. London: Macmillan, 2003. URL: http://psych.colorado.edu/~oreilly/papers/OREillyMunakata01_ecs_encyc.pdf (date of access: 11.11.2008).

Perrett D.I., Rolls E.T., Caan W.C. Visual neurons responsive to faces in the monkey temporal cortex // *Experimental Brain Research*. 1982. Vol. 47. P. 329–342.

Ratcliff R. Connectionist models of recognition memory: Constraints imposed by learning and forgetting functions // *Psychological Review*. 1990. Vol. 97. P. 285–308.

Robins A. Catastrophic forgetting, rehearsal, and pseudorehearsal // *Connection Science*. 1995. Vol. 7. P. 123–146.

Robins A. Consolidation in neural networks and in the sleeping brain // *Connection Science*. 1996. Vol. 8. P. 259–275.

Robins A., McCallum S. Pseudorehearsal and the catastrophic forgetting solution in Hopfield type networks // *Connection Science*. 1998. Vol. 10. P. 121–135.

Rolls E.T., Tovee M.J. Processing speed in the cerebral cortex and the neurophysiology of visual backward masking // *Proc. Roy. Soc. B*. 1994. Vol. 257. P. 9–15.

Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.G. Learning representation by back-propagating error // *Nature*.

1986. Vol. 323, Issue 6088. P. 533–536.

Ruppin E. Evolutionary embodied agents: A neuroscience perspective [Electronic resource] // Nature Reviews Neuroscience. 2002. Vol. 3. P. 132–142. URL: http://www.cs.tau.ac.il/~ruppin/evol_age_rev.pdf (date of access: 11.11.2008).

Senn W., Schneider M., Ruf B. Activity-dependent development of axonal and dendritic delays or, why synaptic transmission should be unreliable [Electronic resource] // Neural Comput. 2002. Vol. 14, Issue 3, 583–619. URL: http://www.cns.unibe.ch/publications/ftp/paper_DelayNECO.pdf (date of access: 11.11.2008).

Sommer F.T., Wennekers T. Associative memory in networks of spiking neurons [Electronic resource] // Neural networks. 2001. Vol. 14. P. 825–834. URL: <https://redwood.berkeley.edu/fsommer/papers/sommerwennekers01.pdf> (date of access: 11.11.2008).

Sompolinsky H., Kanter I. Temporal association in asymmetric neural networks // Phys. Rev. Lett., 1986. Vol. 57. P. 2861–2864.

Stickgold R. Sleep: off-line memory reprocessing // Trends in Cognitive Sciences. 1999. Vol. 2, Issue 12. P. 484–492.

Suemitsu A., Morita M. A model of memory formation in the pair-association task [Electronic resource] // Proceedings of the 2000 International Conference on Neural Information Processing, Taejon. 2000. Vol. 2. P. 915–919. URL: <http://volga.esys.tsukuba.ac.jp/~mor/paper/ICONIP2000.pdf> (date of access: 11.11.2008).

Sutherland G., McNaughton B. Memory trace reactivation in hippocampal and neocortical neuronal ensembles // Current Opinions in Neurobiology. 2000. Vol. 10. P. 180–186.

Thorpe S.T., Imbert M. Biological constraints on connectionist modelling // Connectionism in Perspective / ed. by R.Pfeifer, Z.Schreter, F.Fogelman-Soulie, L.Steels. North-Holland: Elsevier, 1989.

Williams R.J., Zipser D. A learning algorithm for continually running fully recurrent neural networks [Electronic resource] // Neural Comput. 1989. Vol. 1. P. 270–280. URL: <http://citeseer.ist.psu.edu/williams89learning.html> (date of access: 11.11.2008).

Yoshizawa S., Morita M., Amari S. Capacity of associative memory using a nonmonotonic neuron model [Electronic resource] // Neural Networks. 1993. Vol. 6. P. 167–176. URL: <http://volga.esys.tsukuba.ac.jp/~mor/paper/yoshi1993.html> (date of access: 11.11.2008).

Дата публикации 19 апреля 2009 г.

[Полный текст статьи PDF >>](#)

[Сведения об авторах](#)

Терехин Анатолий Тимофеевич. Доктор биологических наук, профессор кафедры общей экологии, биологический факультет, Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, 119991 Москва, Россия
E-mail: terekhin_a@mail.ru

Будилова Елена Вениаминовна. Кандидат технических наук, ст. научн. сотр. кафедры общей экологии, биологический факультет, Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, 119991 Москва, Россия.
E-mail: evbudilova@mail.ru

Качалова Лариса Андреевна. Кандидат биологических наук, директор Института когнитивной нейрологии, Современная гуманитарная академия, Нижегородская, д. 32, 109029 Москва, Россия.
E-mail: lefti@muh.ru

Карпенко Михаил Петрович. Доктор технических наук, профессор, президент Современной гуманитарной академии; Современная гуманитарная академия, Нижегородская, д. 32, 109029 Москва, Россия.

E-mail: rectorat@muh.ru

[Ссылка для цитирования](#)

Терехин А.Т., Будилова Е.В., Качалова Л.М., Карпенко М.П. Нейросетевое моделирование когнитивных функций мозга: обзор основных идей [Электронный ресурс] // Психологические исследования: электрон. науч. журн. 2009. N 2(4). URL: <http://psystudy.ru> (дата обращения: чч.мм.гггг).

[Полный текст статьи PDF >>](#)

[К началу страницы >>](#)