

УДК [577.35,38, 612.8:004.89]

Модель формирования собственного генератора паттерна активности

© Авторы, 2017

© ООО «Издательство «Радиотехника», 2017

В.В. Андрианов – к.б.н., ст. науч. сотрудник, Казанский федеральный университет, Казанский физико-технический институт КазНЦ РАН
E-mail: *slava_snail@yahoo.com*

Х.Л. Гайнутдинов – д.б.н., ст. науч. сотрудник, Казанский федеральный университет, Казанский физико-технический институт КазНЦ РАН
E-mail: *kh_gainutdinov@mail.ru*

И.А. Лавров – к.м.н., вед. науч. сотрудник, Казанский федеральный университет
E-mail: *igor.lavrov@gmail.com*

Представлена модель нейронной сети, которая позволяет в результате повторов моторной программы формирование собственного генератора паттерна активности эффектора с формой профиля активности, задаваемой внешней моторной программой.

Ключевые слова: *нейронная сеть, центральный генератор паттерна, клеточные механизмы поведения, обучение, синапс Хебба.*

The model of the artificial neural network providing simplification of the implementation of the "external" motor program is proposed. As a result of repetitions of this motor program, the formation of the own pattern generator of muscular activity with the profile of the activity of the prescribed shape for each effectors occurs.

Keywords: *neural network, cellular mechanisms of behavioral plasticity, Central pattern generators, Hebb synapse.*

В распоряжении исследователей и разработчиков имеется достаточно хорошо проработанная теория для создания специализированных нейронных сетей под конкретные задачи, исходя из типа информации и задач по ее обработке. Как правило, это касается задач распознавания статичных образов. В то же время все еще нет адекватных структурно-функциональных моделей сложных генераторов паттернов мышечной активности, позволяющих объяснить многообразие и высокую степень адаптивности моторного поведения биологических моделей к внешним изменениям. Различными авторами предлагаются модели, концептуально соответствующие разноуровневым нейронным системам, имитирующим генераторы двигательной активности (центральных генераторов паттерна, CPG) [1], но основой большинства подобных моделей остаются простые триггерные схемы. Основным недостатком существующих моделей является то, что подобные системы не позволяют осуществлять автономное формирование сложных адаптивных профилей паттернов активности эффекторных систем, что лежит за границами функциональных возможностей таких классических моделей [1].

Ц е л ь р а б о т ы – предложить вариант нейронной сети, обеспечивающий динамическое облегчение реализации управляемой «извне» моторной программы. Основной подход заключается в том, что в формировании облегчения моторной программы и, соответственно, в появлении отдельных генераторов эффекторной активности, участвуют все структуры сети, задействованные в моторной программе, – задействованные как в формировании управляющего сигнала, так и в восприятии информации о данной активности.

Подобные взгляды на природу CPG, отличные от классических теорий, сегодня также появляются [2]. Сеть состоит из взаимосвязанных блоков, обеспечивающих ее пластичность в плане обуславливания сигналов; в данной сети реализуются принципы Хебба (рис. 1). Пластичность при этом связана как с изменением возбудимости отдельных нейронов, так и с эффективностью синаптической передачи [3, 4]. В результате повторных предъявлений одной и той же моторной программы происходит автоматическое формирование собственного генератора паттерна эффекторной активности, дополнительного к внешнему. В модели присутствует момент стохастичности, выражающийся в разбросе параметров элементов, как ключевая возможность неодновременной, после-

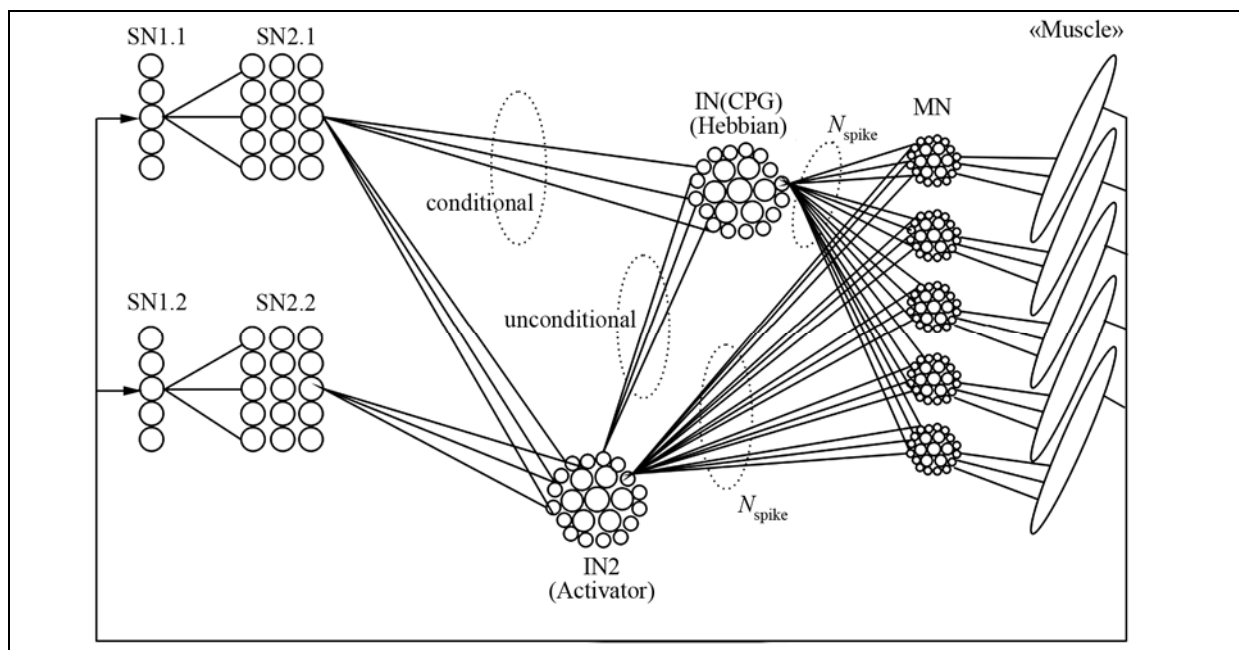


Рис. 1. Общая схема сети, обеспечивающая формирование собственного генератора паттерна моторной активности: SN1 – первичносенсорные нейроны; SN2 – вторичносенсорные нейроны; IN2 (Activator) – блок активации паттерна; IN(CPG) – блок формирования моторной программы; MN – мотонейроны; «Muscle» – эффекторы

довательной активации интернейронов, обеспечивающая формирование для каждого последующего элемента своего входного образа, содержащего ближайшую предысторию.

Формирование сложной выходной динамической активности, соответствующей динамическому входному образу, обеспечивается благодаря сенсорной информации, межнейронным связям в блоке IN(CPF), а также связи IN(CPG) с блоком IN2, управляющим активностью мотонейронов при выполнении некой внешней моторной программы (рис. 1). В качестве модели нейрона выбран формальный пороговый элемент, обладающий формальной спайковой активностью без детального описания формы спайков [4].

- Текущая модель нейронной сети и предлагаемый подход в целом позволили приблизиться к объяснению некоторых вопросов, возникающих при анализе данных электрофизиологических экспериментов. В частности, это касается наблюдаемых поздних ответов при частотной стимуляции в электрофизиологических экспериментах при выполнении хорошо знакомой субъекту моторной программы, зависимой от контекста.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров и при поддержке РФФИ (грант № 15-44-02697).

Литература

1. Rybak I.A., Shevtsova N.A., Lafreniere-Roula M., McCrea D.A. Modelling spinal circuitry involved in locomotor pattern generation: insights from deletions during fictive locomotion // J.Physiol. 2006. V. 577. № 2. P. 617–639.
2. Сидоров А.В. Центральные генераторы ритма и функциональная активность нейронных сетей мозга // Новости медико-биологических наук. 2010. Т. 1. № 2. С. 243–250.
3. Tarasova E.A. The electrical characteristics of command and motor neurons during acquisition of a conditioned defensive reflex and formation of long-term sensitization in snails // Neuroscience and Behavioral Physiology. 2000. V. 30. № 1. P. 81–88.
4. Андрианов В.В., Гайнутдинов Х.Л. Модель пластичной нейронной сети оборонительного поведения виноградной улитки на основе спайковых формальных нейронов с формальной активностью // Нейрокompьютеры: разработка, применение. 2015. № 4. С. 16–17.

Поступила 19 июля 2017 г.

Model of formation of the generator of the pattern of activity

© Authors, 2017

© Radiotekhnika, 2017

V.V. Andrianov – Ph.D.(Biol.), Senior Research Scientist, Kazan Federal University (Kazan), Zavoisky Physical-Technical Institute (Kazan)
E-mail: slava_snail@yahoo.com

Kh.L. Gainutdinov – Dr. Sc. (Biol.), Senior Research Scientist, Kazan Federal University (Kazan), Zavoisky Physical-Technical Institute (Kazan)
E-mail: kh_gainutdinov@mail.ru

I.A. Lavrov – Ph.D. (Biol.), Leading Research Scientist, Kazan Federal University (Kazan)
E-mail: igor.lavrov@gmail.com

On the basis of the original software the variants of the neural structures configurations have been tested. These networks provide plasticity on the level of conditioning the signals coming from the neural blocks of different functions, which allows the implementation of the principle of Hebbian plasticity. It was found a principal architecture of dynamic stochastic artificial neural network, which provides facilitation of the execution of the motor program. It was shown forming of the pattern generator of muscle activity with the activity profile of the single muscle of any specified waveform. The interconnections between the elements, which lead to the sequential activation of elements during the formation of the motor activity patterns present in proposed model. These interconnections allow for explaining the modulation polysynaptic responses observed in the electrophysiological experiments after applying of frequency stimulation. The described scheme also explains the necessity of optimal sensory input in restoring pre-existing motor programs, including motor programs after injuries, as well as the necessity of the additional activation or loading for improving of the motor response.

The work is performed according to the Russian Government Program of Competitive Growth of Kazan Federal University and supported by RFBR (grant No. 15-44-02697).

REFERENCES

1. Rybak I.A., Shevtsova N.A., Lafreniere-Roula M., McCrear D.A. Modelling spinal circuitry involved in locomotor pattern generation: insights from deletions during fictive locomotion // J.Physiol. 2006. V. 577. № 2. P. 617–639.
2. Sidorov A.V. Central'ny'e generatory' ritma i funkczional'naya aktivnost' nejronny'x setej mozga // Novosti mediko-biologicheskix nauk. 2010. T. 1. № 2. S. 243–250.
3. Tarasova E.A. The electrical characteristics of command and motor neurons during acquisition of a conditioned defensive reflex and formation of long-term sensitization in snails // Neuroscience and Behavioral Physiology. 2000. V. 30. № 1. P. 81–88.
4. Andrianov V.V., Gajnutdinov X.L. Model' plastichnoj nejronnoj seti oboronitel'nogo povedeniya vinogradnoj ulitki na osnove spajkovy'x formal'ny'x nejronov s formal'noj aktivnost'yu // Nejrokomp'yutery': razrabotka, primenenie. 2015. № 4. S. 16–17.