

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623314>

Исследование центральных генераторов ритма для применения в плавающих роботах

А.И. Жаринов^{1, 2 *}, И.А. Потапов¹, Д.В. Курганов¹, С.А. Лобов^{1, 2}¹ Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Российская Федерация;² Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Как правило, строение каркаса роботов-рыб имеет достаточно серьёзные отличия от реального организма. Одним из них является большая разница в количестве сегментов тела. Если живые рыбы имеют от 16 (рыба-луна) до 400 (рыба-ремень) [1], то роботы редко имеют больше 5–6 сегментов. Это обусловливается отсутствием необходимости хирургической точности при конструировании для имитации движения. Вместе с тем такой подход приводит также к рестрикции существенной части структуры управляющего контура в сравнении с нервной системой рыб, поскольку контролировать необходимо существенно меньшее число узлов-сегментов тела.

Было продемонстрировано, что системы управления на основе осцилляторов различного типа способны имитировать работу центральных генераторов рыб [2–4]. В общем случае ЦГР рыб представляет собой взаимосвязанные и взаимотормозящие друг друга полуцентры, каждый из которых отвечает за мышцы-антагонисты. В таком случае характеристики паттерна, воспроизводимого генератором, определяются благодаря взаимному влиянию связанных между собой пар осцилляторов-антагонистов. При этом механизм взаимодействия полуцентров друг на друга подбирается таким образом, чтобы соответствовать конечным желаемым параметрам паттерна движения.

Такой «искусственный» подход совершенно не подходит при работе со спайковыми нейронами. Связано это с тем, что механизмы взаимодействия между клетками чётко определены. Кроме того, изменение характеристик воздействия клеток друг на друга нежелательно при создании биологически релевантной модели. Здесь мы демонстрируем, что применение некоторых физиологических особенностей рыб при дизайне структуры ЦГР на основе спайковых нейронов способно расширить возможности такой системы.

Ранее нами была продемонстрирована полуцентровая модель ЦГР на основе нейронов Ижикевича [5], способная выполнять функции управляющего контура для робота тунца. Несмотря на то, что данная разработка отражает основные принципы организации ЦГР у рыб, воспроизвести на ней режим работы генераторов, характерный для щуки, оказалось затруднительно. Связано это с тем, что ангулиформный тип локомоций предполагает наличие движущейся волны, а значит отставание по фазе в активации полуцентров.

Ключевой особенностью физиологии рыб, которая стала возможным решением проблемы, является характер соединения мышечных волокон в теле рыбы. Отдельный мышечный сегмент называется миомером, а их количество соответствует числу позвонков, а значит и спинальных центров, составляющих ЦГР. При этом миомеры имеют зигзагообразную форму. В результате для сгибания тела в одной точке необходимо синергичное взаимодействие нескольких миомеров и, соответственно, сегментов ЦГР.

В то время, как наша модель предполагает использование лишь 5 сегментов ЦГР для управления всей рыбой, у настоящей щуки число сегментов равно 56–65. Поэтому мы предположили, что достижение необходимой разницы в фазе активации между частями генератора возможно при увеличении количества узлов генератора, отвечающих за работу одного движителя.

Действительно, увеличение количества передаточных сегментов, привело к созданию постоянной разности фаз активации следующих друг за другом частей ЦГР.

Тем не менее использование дополнительных сегментов не решает задачу управления частотой работы ЦГР и переключения между паттернами. Поэтому в дальнейшем мы планируем включить в модель нейроны различных типов, описанных для ЦГР, а также добавить обратную связь для коррекции режимов его работы.

Ключевые слова: центральный генератор ритма; плавающие роботы; локомоции; нейронные сети; спайковые нейронные сети.

Как цитировать:

Жаринов А.И., Потапов И.А., Курганов Д.В., Лобов С.А. Исследование центральных генераторов ритма для применения в плавающих роботах // Гены и клетки. 2023. Т. 18, № 4. С. 748–751. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623314>

Рукопись получена: 19.06.2023

Рукопись одобрена: 26.11.2023

Опубликована online: 20.01.2024

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 21-12-00246.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сухаренко Е.В., Максимов В.И. Физиология рыб. Керчь : КГМТУ, 2021. 156 с.
2. Wang W., Guo J., Wang Z., Xie G. Neural controller for swimming modes and gait transition on an ostraciiform fish robot. In: 2013 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), 2013; Wollongong, Australia. Jul 9–12; 2013. P. 1564–1569.
3. Yu J., Wang C., Xie G. Coordination of Multiple Robotic Fish with Applications to Underwater Robot Competition // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2016. Vol. 63, N 2. P. 1280–1288. doi: 10.1109/TIE.2015.2425359
4. Bal C., Ozmen Koca G., Korkmaz D., et al. CPG-based autonomous swimming control for multi-tasks of a biomimetic robotic fish // Ocean Engineering. 2019. Vol. 189. P. 106334. doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.106334
5. Zharinov A.I., Kurganov D.P., Potapov I.A., et al. Self-organizing CPGs in the control loop of a biomorphic fish robot. In: 2022 Fourth International Conference Neurotechnologies and Neurointerfaces (CNN), 2022; Kaliningrad, Russia. Sept 14–16; 2022. P. 219–222. doi: 10.1109/CNN56452.2022.9912568

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

* А.И. Жаринов; адрес: Российская Федерация, 603022, Нижний Новгород, пр-т Гагарина, д. 23; e-mail: zharinov@neuro.nnov.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623314>

Central pattern generators for biomorphic robotics

A.I. Zharinov^{1,2*}, I.A. Potapov¹, D.V. Kurganov¹, S.A. Lobov^{1,2}¹ National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russian Federation;² Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russian Federation

ABSTRACT

Typically, the structure of the robot fish frame significantly differs compared to the real organism. One significant difference is in the number of body segments. While live fish can have between 16 (moon fish) to 400 belt fish [1] segments, robots usually have only 5–6 segments since substantial precision is unnecessary when simulating movement. At the same time, this method limits a significant portion of the control circuit's structure compared to a fish's nervous system because it only requires control over a smaller number of body segments.

Control systems using different oscillators can simulate the functioning of fish central generators [2–4]. Typically, each half-center of the fish's CPGs is interconnected with and mutually inhibitory towards the others, with each being responsible for the antagonist muscles. In this case, the generator's pattern characteristics stem from the mutual influence of oscillator-antagonist pairs connected to each other. The half-centers' interaction mechanism with each other is designed to match the movement pattern's desired final parameters.

This “artificial” approach is unsuitable for working with spike neurons because the mechanisms of cellular interaction are well-defined. Altering how cells interact with each other when creating a biologically relevant model is also undesired. Here we present evidence that incorporating select physiological traits of fish into the design of a CPG structure utilizing spike neurons can enhance the system's functional capacity.

Previously, we demonstrated a half-center CPG model using Izhikevich neurons [5]. This model can serve as a control loop for a tuna robot. Although this development aligns with the fundamental principles of CPG organization in fish, reproducing the typical generator mode of operation for pike on it proved challenging. This is due to the fact that the anguliform type of locomotion implies the presence of a moving wave, which means a phase lag in the activation of half-centers.

One potential solution to the problem lies in the physiology of fish, specifically the structure of their muscle fibers. Fish have muscle segments called myomeres, which correlate with the number of vertebrae and spinal centers that create the CPG. A distinguishing feature of these myomeres is their zigzag shape. To achieve body bending at a single point, it requires a collaborative action between multiple myomeres and corresponding CPG segments.

While our model assumes control of the entire fish with only 5 segments of the CPG, the actual pike includes 56–65 segments. To attain the necessary difference in activation phase between generator segments, we propose increasing the number of generator nodes responsible for operating a single propulsion unit.

Indeed, increasing the number of transmission segments resulted in a steady divergence in activation phases among successive segments of the CPG.

However, the incorporation of supplementary segments fails to address the challenge of managing the frequency of the CPG's operation and shifting between patterns. Consequently, we intend to integrate CPG neurons of diverse types outlined in the model, along with introducing feedback to rectify its modes of operation in the future.

Keywords: central pattern generator; floating robots; locomotion; neural networks; spike neural networks.

To cite this article:

Zharinov AI, Potapov IA, Kurganov DV, Lobov SA. Central pattern generators for biomorphic robotics. *Genes & Cells*. 2023;18(4):748–751. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623314>

ADDITIONAL INFORMATION

Funding sources. This work was supported by the Russian Science Foundation (project No. 21-12-00246).

Received: 19.06.2023

Accepted: 26.11.2023

Published online: 20.01.2024

REFERENCES

1. Suharenko EV, Maksimov VI. *Fiziologiya ryb*. Kerch': KSMTU; 2021. 156 p. (In Russ).
2. Wang W, Guo J, Wang Z, Xie G. Neural controller for swimming modes and gait transition on an ostraciiform fish robot. In: *2013 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), 2013; Wollongong, Australia. Jul 9–12; 2013:1564–1569.*
3. Yu J, Wang C, Xie G. Coordination of Multiple Robotic Fish with Applications to Underwater Robot Competition. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2016;63(2):1280–1288. doi: 10.1109/TIE.2015.2425359
4. Bal C, Ozmen Koca G, Korkmaz D, et al. CPG-based autonomous swimming control for multi-tasks of a biomimetic robotic fish. *Ocean Engineering*. 2019;189:106334. doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.106334
5. Zharinov AI, Kurganov DP, Potapov IA, et al. *Self-organizing CPGs in the control loop of a biomorphic fish robot*. In: *2022 Fourth International Conference Neurotechnologies and Neurointerfaces (CNN), 2022; Kaliningrad, Russia. Sept 14–16; 2022:219–222.* doi: 10.1109/CNN56452.2022.9912568

AUTHORS' CONTACT INFO

* A.I. Zharinov; address: 23 Gagarin avenue, 603022 Nizhny Novgorod, Russian Federation; e-mail: zharinov@neuro.nnov.ru