

УДК 612:8:007

Модель управления ритмической активностью виртуального робота - рыбы

Мигалев Александр Сергеевич^{1,2}

alexander.migalev@mail.ru

SPIN-код: 4157-6582

Готовцев Павел Михайлович^{1,2}

alexander.migalev@mail.ru

¹ Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва, Россия² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Предложена виртуальная модель многосегментного робота-рыбы для исследования различных архитектур ритм-генерирующих моделей нейронных сетей при управлении передвижением. Предложенная конструкция содержит две степени свободы на сегмент и может управляться двумя гидроцилиндрами двойного действия на сегмент. Такая особенность позволяет без дополнительных плавников менять направление тяги при волнообразных движениях не только в горизонтальной плоскости, но и в вертикальной, что обеспечивает широкие возможности моделирования на таком исследовательском роботе различных моделей нейронных сетей спинного мозга рыб. В докладе рассматриваются существующие модели нейронных сетей для управления волнообразными движениями тела рыбы при поступательном движении и предлагаются на их основе архитектура способная управлять выбранной конструкцией. Для предложенной модели исследуются методы адаптации, управления, изменения скорости и фазы моторных программ.

Ключевые слова: робот-рыба, центральные-генераторы ритма, импульсные модели нейронных сетей, модулирование ионных каналов, модульная организация нейросетей спинного мозга, переключение моторных программ

Введение. Роботы-рыбы часто становятся модельными объектами при поиске новых алгоритмов управления бионическими конструкциями [1, 2]. У рыб можно выделить четыре группы мышц на каждом сегменте позвоночника, по две относительно позвоночника с каждой стороны. Сегменты позвоночника соединены в виде шарниров с тремя степенями свободы и эти четыре группы мышц способны обеспечивать вращение сегмента по трем осям. Такая функция для рыб без выраженных спинных плавников как речные угри *Anguilla* и позволяет перемещаться вверх и вниз только за счет волнообразных движений тела или хвоста.

Методы и материалы; результаты. Для воспроизведения способа передвижения рыб допущены упрощения: количество степеней свободы на сегмент сокращено до двух, и количество сегментов уменьшено, но максимально возможный угол их поворота увеличен. В докладе представлена виртуальная модель робота-рыбы. Для поворота сегментов предлагается использовать два гидроцилиндра двойного действия на каждый сегмент. Особенность структуры тела рассматриваемого виртуального робота рыбы пред-

полагает наличие двух ритм-генерирующих популяций на каждую сторону сегмента. Эти популяции состоят из независимых центральных генераторов ритма типа полуцентр, связанные с мотонейронами отдельных групп мышц одного сегмента и других интернейронов, модулирующих активность сети [3]. Предложенная архитектура нейронной сети спинного мозга построена с учетом существующих моделей организации и взаимодействия различных типов клеток [4]. Запуск моторных программ у рыб управляется мезоэнцефальным локомоторным регионом среднего мозга за счет стимуляции глутаматных рецепторов ритм-генерирующих нейронов, формирующий моторные программы. Для предложенной модели рассматриваются возможные клеточные механизмы управления и адаптации при формировании моторных программ, позволяющие управлять передвижением робота-рыбы.

Заключение. Предложенная виртуальная модель робота-рыбы позволяет проводить модельные эксперименты с различными архитектурами моделей нейронных сетей спинного мозга. Для выбранной конструкции была предложена модель ритм-генерирующей сети, воспроизводящая основные характеристики биологических нейронных сетей: модульная архитектура, модуляция скорости и фазы за счет модулирующих сигналов от дофаминергических и серотонинергических нейронов, способность к адаптации.

Список источников

- [1] Tsybina Yu.A., Gordleeva S.Yu., Zharinov A.I., Kastalskiy I.A. et al. Toward biomorphic robotics: A review on swimming central pattern generators. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2022, vol. 165, pp. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2022.112864>
- [2] Angelidis E., Buchholz E., Arreguit J., Rougé A. et al. A spiking central pattern generator for the control of a simulated lamprey robot running on SpiNNaker and Loihi neuromorphic boards. *Neuromorphic Computing and Engineering*, 2021, no. 1, pp. 1–18. <https://doi.org/10.1088/2634-4386/ac1b76>
- [3] Kiehn O. Decoding the organization of spinal circuits that control locomotion. *Nature*, 2016, vol. 11, pp. 224–238. <https://doi.org/10.1038/nrn.2016.9>
- [4] Roussel Y., Gaudreau S. F., Kacer E. R., Sengupta M., Bui T. V. Modeling spinal locomotor circuits for movements in developing zebrafish. *eLife*, 2021, vol. 10, pp. 1–35. <https://doi.org/10.7554/eLife.67453>