

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623482>

Автоматический анализ поведения животных в соотношении с ключевыми аспектами среды выявляет новые когнитивные специализации нейронов

В.В. Плюснин^{1*}, Н.А. Поспелов¹, В.П. Сотсков¹, Н.В. Докукин¹, О.С. Рогожникова¹,
К.А. Торопова¹, О.И. Ивашкина¹, К.В. Анохин^{1, 2}

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация;

² Институт нормальной физиологии имени П.К. Анохина, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Анализ специфических активаций нейронов относительно элементов внешней среды, поведения или внутреннего состояния животных невозможен без детального анализа поведенческих актов экспериментального животного. В настоящее время достигнуты некоторые успехи в автоматической сегментации поведения животных с использованием методов машинного обучения [1–3] на основе данных о местоположении частей тела животного [3]. При этом на данном этапе такие методы не позволяют достичь желаемого уровня точности в сегментации поведения, а также соотносить поведенческие акты животного с целевыми и мотивационными аспектами среды. В связи с этим авторами был разработан комплекс программных средств для извлечения широкого спектра поведенческих переменных из видеозаписей поведения животных в экспериментальных обстановках и математического анализа континуума поведенческих актов.

Для извлечения широкого спектра поведенческих переменных необходима детекция отдельных частей тела животного. Для той задачи нами был использован DeepLabCut — открытый тулбокс для поведенческого трекинга экспериментальных животных, основанный на принципе трансферного обучения с использованием глубоких нейронных сетей. Нами была отработана методика определения местоположения частей тела животного в различных поведенческих средах и сформирован набор частей тела животного, удовлетворяющий двум требованиям: высокая чувствительность к мелким моторным движениям животного и высокий процент точного определения местоположения части тела. В случае съёмки камерой сверху такой набор включает кончик носа, уши, основание хвоста, центр тела мыши, передние и задние конечности, левый и правый бок туловища животного.

Далее нами был разработан комплекс программных средств извлечения и детальной аннотации поведенческих переменных из данных о кинематике частей тела животного в различных когнитивных задачах. Разработанная автоматизированная система состоит из двух основных скриптовых модулей: CreatePreset и BehaviorAnalyzer. Модуль CreatePreset осуществляет взаимодействие с пользователем, в ходе которого происходит выбор типа геометрии арены и расположения в ней объектов, указание необходимых для анализа временных и пространственных параметров. Результат работы скрипта сохраняется в виде mat-файла, который может быть использован для анализа поведения во всех видео эксперимента при условии постоянства взаимного расположения арены и видеокамеры, а также дизайна эксперимента. Модуль BehaviorAnalyzer осуществляет предварительную обработку временных рядов координат частей тела животных, формирует массив данных о кинематике частей тела — кинематограмму, выделяет дискретные поведенческие акты животного и аннотирует его поведение в соотношении с мотивационными и целевыми аспектами среды.

С помощью методов на основе взаимной информации нами был проведён анализ специализаций нейронов CA1 гиппокампа при обследовании животными арены с разным уровнем новизны. В результате анализа выявлены нейроны, селективные относительно определённых значений непрерывных кинематических параметров позы и траектории животного, таких как местоположение в пространстве арены (координаты X и Y), а также скорости и угла поворота головы (т.е. абсолютной ориентации в пространстве арены). Выявлены также нейроны, специализированные относительно дискретных актов поведения, а именно: остановки, побежки, замирание (фризинг), стойки и акты взаимодействия с объектами. Кроме того, были обнаружены нейроны, селективно активирующиеся относительно дополнительного набора дискретных параметров, представляющих собой комбинацию местоположения животного в арене и скорости.

Рукопись получена: 15.05.2023

Рукопись одобрена: 26.11.2023

Опубликована online: 20.01.2024

Ключевые слова: аннотация поведения; кальциевый имиджинг; клетки места; навигация; специализации нейронов.

Как цитировать:

Плюснин В.В., Поспелов Н.А., Сотсков В.П., Докукин Н.В., Рогожникова О.С., Торопова К.А., Ивашкина О.И., Анохин К.В. Автоматический анализ поведения животных в соотношении с ключевыми аспектами среды выявляет новые когнитивные специализации нейронов // Гены и клетки. 2023. Т. 18, № 4. С. 874–877. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623482>

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Мозг, когнитивные системы, искусственный интеллект» и некоммерческого фонда развития науки и образования «Интеллект».

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Weinreb C., Osman M.A.M., Zhang L., et al. Keypoint-MoSeq: parsing behavior by linking point tracking to pose dynamics // bioRxiv. 2023. Vol. 2023. P. 03.16.532307. doi: 10.1101/2023.03.16.532307
2. Hsu A., Yttri E. B-SOiD, an open-source unsupervised algorithm for identification and fast prediction of behaviors // Nat Commun. 2021. Vol. 12, N 1. P. 5188. doi: 10.1038/s41467-021-25420-x
3. Mathis A., Mamidanna P., Cury K.M., et al. DeepLabCut: markerless pose estimation of user-defined body parts with deep learning // Nat Neurosci. 2018. Vol. 21, N 9. P. 1281–1289. doi: 10.1038/s41593-018-0209-y

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

* В.В. Плюснин; адрес: Российская Федерация, 119192, Москва, Ломоносовский пр-т, д. 27, кор. 1; e-mail: witkah@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623482>

Automated analysis of animal behavior and its relation to key aspects of the environment reveals new cognitive specializations of neurons

V.V. Plusnin^{1*}, N.A. Pospelov¹, V.P. Sotskov¹, N.V. Dokukin¹, O.S. Rogozhnikova¹, K.A. Toropova¹, O.I. Ivashkina¹, K.V. Anokhin^{1,2}

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation;

² Research Institute of Normal Physiology named after P.K. Anokhin, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

A thorough analysis of animal behavior is essential for examining the relationship between specific neuron activations with the elements of the external environment, behavior, or internal state. Machine learning techniques have made some advancements in automatic segmentation of animal behavior based on data concerning the location of animal body parts [1–3]. At present, these methods cannot achieve the level of segmentation accuracy desired or make correlations between an animal's behavioral acts and key environmental factors. To address this issue, the authors have created a software package that can extract a variety of behavioral variables from video recordings of animals in experimental settings, enabling mathematical analysis of a behavioral act continuum.

The identification of specific aspects of an animal's anatomy is crucial for extracting a vast array of behavioral variables. In order to accomplish this task, our team employed DeepLabCut, an accessible toolkit for tracking experimental animal behavior that operates on the principle of transfer learning through deep neural networks. We have devised a technique to ascertain the positions of animal body parts in diverse behavioral situations, resulting in a body parts collection meeting two criteria: offering superior responsiveness to small motor movements of the animal and delivering a high percentage of correct body part locations. In scenarios employing camera shooting from above, such a collection encompasses the nose, ears, tail base, body center, forelimbs, hind limbs, and both flanks of the animal's body.

Next, we created software tools to extract and annotate behavioral variables from data on animal kinematics in various cognitive tasks. Our automated system comprises two main scripting modules: CreatePreset and BehaviorAnalyzer. The CreatePreset module interacts with users to select the type of arena geometry, object location, and necessary temporal and spatial parameters for analysis. The script's result saves as a mat-file for analyzing the behavior of all experiment videos, assuming a constant relative position of the arena and the video camera alongside the experiment's design. The BehaviorAnalyzer module conducts initial processing on time series data consisting of coordinates of an animal's body parts. This results in the formation of a kinematogram, which details the kinematics of the body parts. The module then isolates individual behavioral acts of the animal and annotates its behavior based on motivational and environmental factors.

Using mutual information-based methods, we analyzed the specialization of hippocampal CA1 neurons in animals as they explored arenas with varying degrees of novelty. Through the analysis, we have identified neurons that exhibit selectivity in relation to specific continuous kinematic parameters governing the posture and trajectory of the animal. These parameters include the animal's location in the arena space (X and Y coordinates), as well as the speed and angle of rotation of the animal's head (i.e. absolute orientation in the arena). Neurons specialized in discrete acts of behavior were identified, including rests, locomotions, freezing, rears, and acts of interaction with objects. Furthermore, a selective activation of neurons was found with regard to an additional set of distinct parameters, which combine the animal's location in the arena and its speed.

Keywords: behavior annotation; calcium imaging; place cells; navigation; neuron specializations.

To cite this article:

Plusnin VV, Pospelov NA, Sotskov VP, Dokukin NV, Rogozhnikova OS, Toropova KA, Ivashkina OI, Anokhin KV. Automated analysis of animal behavior and its relation to key aspects of the environment reveals new cognitive specializations of neurons. *Genes & cells*. 2023;18(4):874–877. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623482>

Received: 15.05.2023

Accepted: 26.11.2023

Published online: 20.01.2024

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Funding sources. This work was supported by the Interdisciplinary Scientific and Educational School of Moscow University "Brain, Cognitive Systems, Artificial Intelligence" and by Nonprofit Foundation for the Development of Science and Education "Intellect".

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

REFERENCES

1. Weinreb C, Osman MAM, Zhang L, et al. Keypoint-MoSeq: parsing behavior by linking point tracking to pose dynamics. *bioRxiv*. 2023;2023.03.16.532307. doi: 10.1101/2023.03.16.532307
2. Hsu AI, Yttri EA. B-SOiD, an open-source unsupervised algorithm for identification and fast prediction of behaviors. *Nat Commun*. 2021;12(1):5188. doi: 10.1038/s41467-021-25420-x
3. Mathis A, Mamidanna P, Cury KM, et al. DeepLabCut: markerless pose estimation of user-defined body parts with deep learning. *Nat Neurosci*. 2018;21(9):1281–1289. doi: 10.1038/s41593-018-0209-y

AUTHORS' CONTACT INFO

* V.V. Plusnin; address: 27 bldg 1 Lomonosovskij avenue, 119192 Moscow, Russian Federation; e-mail: witkax@mail.ru