

АЛГОРИТМ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ТРЕКИНГА ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ В УСТАНОВКЕ «ВОДНЫЙ ЛАБИРИНТ МОРРИСА»

Т. Ж. Бежанян^{1,2,}, О. И. Стрельцова^{1,2}, С. Шадмехри¹,
А. В. Стадник³, Д. В. Подгайный¹, М. Ю. Бондарев^{1,2},
М. И. Зуев¹, Ю. С. Северюхин^{1,2}, И. А. Колесникова^{1,2}*

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

² Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия

³ ООО «Норникель Спутник», Москва, Россия

Одной из основных задач при анализе видеоданных, получаемых в поведенческих экспериментах на мелких лабораторных животных с использованием тест-системы «Водный лабиринт Морриса», является задача трекинга, для решения которой необходимо построение траектории в привязке к разметке тест-системы. Задача трекинга ранее решалась нами с использованием методов компьютерного зрения, однако для построения более универсального алгоритма в настоящей работе представлен алгоритм построения траектории на базе модели глубокого обучения YOLO11, используемой для покадровой детекции объекта. Данная работа ведется в рамках совместного проекта ЛИТ и ЛРБ ОИЯИ, который направлен на создание информационной системы для анализа данных радиобиологических исследований.

The “Morris water maze” behavioral test presents a crucial challenge for tracking the moving small laboratory animal. Previously, we had solved the problem of obtaining the trajectory by analyzing video data using computer vision methods. To develop a more universal algorithm, this paper presents a trajectory construction algorithm based on the YOLO11 deep learning model, which is used for frame-by-frame object detection. The developed method shows promising results in overcoming the shortcomings of the previous approach.

PACS: 84.35.+i; 87.18.Sn

ВВЕДЕНИЕ

Поведенческий тест «Водный лабиринт Морриса» широко применяется при изучении нарушений когнитивных функций и изменений в центральной нервной системе у млекопитающих, подверженных влиянию различных факторов [1]. В ЛРБ ОИЯИ тест-система используется в экспериментах по исследованию влияния ионизирующего излучения

* E-mail: bezhanyan@jinr.ru

на биологические объекты [2]. Тест-установка представляет собой круглый бассейн диаметром 150 см с платформой диаметром 10 см (установка «Водный лабиринт (тест Морриса)» НПК «Открытая Наука», Россия). Методика исследования пространственной памяти у грызунов с использованием установки заключается в следующем: в определенной части наполненного окрашенной водой бассейна устанавливается платформа, и, в зависимости от протоколов проведения экспериментов, грызун, помещенный в воду в определенный сектор (выделяют 4 сектора: один, где установлена платформа, и остальные три), в течение 60 с должен найти платформу и подняться на нее. Грызун проходит тест три раза — из трех секторов без платформы, т.е. стартовая точка начала движения меняется трижды. Во время эксперимента ведется видеосъемка. Отметим, что в зависимости от проводимого исследования измеряются различные показатели, такие как латентное время (время, за которое грызун находит платформу), пройденный путь, вид траектории движения, по которому определяется стратегия поиска платформы, и др. [3]. Для получения всех необходимых для дальнейшего анализа параметров требуется восстановление траектории объекта в привязке к геометрии тест-системы и времени прохождения теста. Для автоматизации анализа данных нами разработан веб-сервис на базе методов компьютерного зрения [4], функционал которого позволяет проводить разметку арены установки (границы бассейна и платформы, разметка секторов), восстанавливать траекторию, на основе анализа которой возможно находить требуемые числовые показатели. Разработанный на базе компьютерного зрения алгоритм трекинга показал хорошие результаты [5]. Так, из проанализированных 1390 видеофайлов только в 30 некорректно отображалась траектория мелкого лабораторного животного, что составило 2,15 %. Недостатками этого алгоритма являлась необходимость фиксации начального кадра, поскольку во время опускания животного в воду иногда рука экспериментатора продолжительное время находится в кадре, что приводит к помехам для построения траекторий, а также потерям в небольших случаях объекта при глубоком заныревании его в бассейн. В свете возникшей необходимости усовершенствования вышеуказанного алгоритма был разработан алгоритм на базе нейросетевого подхода для задач трекинга мелкого лабораторного животного в установке «Водный лабиринт Морриса».

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ И АННОТИРОВАНИЕ ДАННЫХ

В последние годы подходы на базе глубокого обучения стали одними из наиболее эффективных инструментов для решения задач детектирования и отслеживания движущихся объектов. Для усовершенствования алгоритма трекинга лабораторных животных в установке «Водный лабиринт Морриса» в качестве предобученной модели была выбрана нейросетевая модель YOLO11 (You Only Look Once) [6] для кадровой

детекции объекта и реализации подхода «трекинг на базе детекции». Выбранная версия модели YOLO предоставляет возможность извлечения признаков для более точного обнаружения объектов и выполнения сложных задач. Применительно к разработке алгоритма трекинга в нашем случае это является существенным улучшением, поскольку лабораторное животное имеет малый размер по сравнению с размером бассейна, вода непрозрачная и при погружении на большую глубину объекта возникает трудность в его детектировании. Отметим также сложные условия проведения экспериментов, а именно наличие шумов и движения воды — факторов, характерных для поведенческого теста «Водный лабиринт Морриса».

Для дообучения нейросетевой модели YOLO11 был подготовлен набор данных, проаннотированных на платформе CVAT (Computer Vision Annotation Tool) [7]. Для разметки были выбраны видеофайлы, на которых получали корректные и некорректные результаты при использовании алгоритма на базе компьютерного зрения. Всего было размечено 7 видеофайлов с общим количеством 7960 кадров с одним классом (мелкое лабораторное животное) под задачу детекции объектов: для каждого кадра лабораторное животное было отмечено ограничивающим прямоугольником. Данные сохранялись в формате Ultralytics YOLO detection. При этом 6900 проаннотированных кадров использовались для обучения модели YOLO11, 708 для валидации, а 352 кадра — для тестирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Эффективность модели YOLO11 оценивалась с использованием метрик детекции объектов, таких как Precision, Recall, F1-score, mAP@0,5 (Mean Average Precision при Intersection over Union (IoU), равным 0,5) и mAP@0,5:0,95 (усредненный mAP для IoU от 0,5 до 0,95 с шагом 0,05) [6]. Результаты тестирования по этим метрикам показаны в таблице.

Таблица ключевых метрик модели YOLO11 для детекции объектов в тестовом наборе данных

Precision	Recall	F1-score	mAP@0,5	mAP@0,5:0,95
0,991	1,000	0,995	0,992	0,703

Обученная модель была интегрирована в веб-сервис с добавлением сглаживания траектории на основе скользящего среднего с размером окна, равным 20, для более гладкого представления получаемой траектории. Этот метод позволяет получить интерполированную линию трекинга, которая максимально приближена к реальному движению лабораторного животного, эффективно сглаживая «аномальные» точки, которые могут возникнуть при сильных бликах на поверхности воды.

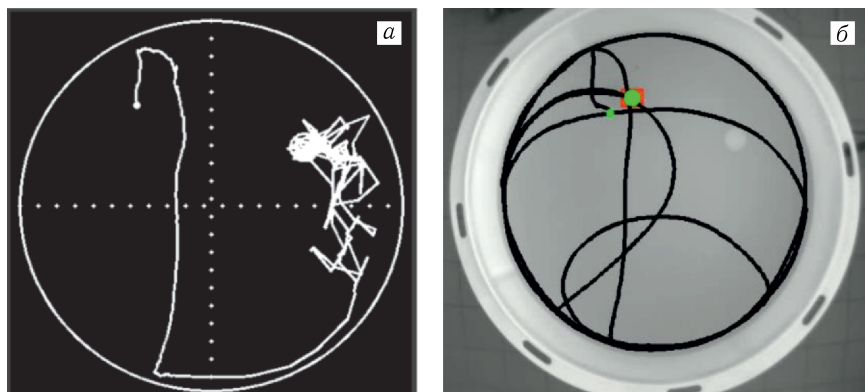


Рис. 1. а) Примеры траектории, некорректно определяемой с помощью алгоритма на основе компьютерного зрения; б) пример траектории, построенной на основе нейросетевой модели YOLO11

В качестве примера эффективной работы нейросетевого алгоритма на рис. 1 приведен результат построенных траекторий, полученных с использованием алгоритма на базе компьютерного зрения (пример некорректной работы (рис. 1, а) и на базе модели YOLO11 (рис. 1, б)). Применение нейросетевой модели позволило избежать необходимости в ручном регулировании выбора первого кадра для построения траекторий из-за наличия экспериментатора в кадре: алгоритм позволяет корректно детектировать мелкое лабораторное животное с первого кадра.

Разметка данных, разработка алгоритма и развертывание веб-сервиса проводилось на базе экосистемы ML/DL/HPC гетерогенной вычислительной платформы HybriLIT (ЛИТ ОИЯИ) [8].

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124112200072-2).

Соблюдение этических стандартов. Все экспериментальные процедуры проводились в соответствии с рекомендациями и нормативными требованиями директивы 2010/63/EU от 22 сентября 2010 г. Европейского парламента и Совета по охране животных, используемых в научных целях. Процедуры, выполненные на животных, соответствовали правилам работы, утвержденным биоэтическим советом (протокол № 19-3 Научно-технического совета Лаборатории радиационной биологии).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vorhees C. V., Williams M. T. Morris Water Maze: Procedures for Assessing Spatial and Related Forms of Learning and Memory // *Nature Protocols*. 2006. V. 1, No. 2. P. 848–858.

2. *Lyakhova K.N., Utina D.M., Severyukhin Y.S.* Use of Computer Vision Algorithms to Analyze Experimental Data Obtained in Studying the Behavioural Reactions of Laboratory Animals // Proc. of the Workshop on Information Systems for the Radiation Biology Tasks. 2020. V. 2743. P. 17–25.
3. *Chernyuk D.P., Bol'shakova A.V. et al.* Possibilities and Prospects of the Behavioural Test "Morris Water Maze" // J. Evolutionary Biochem. Physiol. 2021. V. 57, No. 2. P. 289–303.
4. *Bezhanyan T.Zh., Shadmehri S.A., Streltsova O.I., Zuev M.I., Bondarev M. Yu., Kolesnikova I. A., Severyukhin Yu. S.* The Algorithm for the Analysis of the Laboratory Animal Trajectories in the "Morris Water Maze" and Its Implementation as a Web Service // Proc. Intern. Conf. "Math. Modeling and Comput. Physics" (MMCP), Yerevan, Armenia, Oct. 21–25, 2024. P. 66.
5. *Bezhanyan T.Zh., Streltsova O.I., Zuev M.I., Kolesnikova I. A., Severyukhin Yu. S., Utina D.M.* Web-Service for Creating Annotated Data Set of Small Laboratory Animals Trajectories in "Morris Water Maze" Behavioural Test // Матер. Всерос. конф. с международным участием «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем». Москва, РУДН, 8–12 апр. 2024 г. М.: РУДН, 2024. С. 462–467; <https://elibrary.ru/item.asp?id=67981119>.
6. *Jocher G., Qiu J.* Ultralytics YOLO11. <https://github.com/ultralytics/ultralytics>. 2024.
7. *Sekachev B. et al.* opencv/cvat: v1.1.0. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4009388>. 2020.
8. *Anikina A. et al.* Structure and Features of the Software and Information Environment of the HybriLIT Heterogeneous Platform // Intern. Conf. on Distributed Computer and Commun. Networks. Springer, 2024. P. 444–457.