

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА РЫБЫ



Д. М. Литвищенко, студент, гр. 23 ВТ/м
E-mail: litvishhenko2002@mail.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

А. В. Снытников, доктор тех. наук, профессор
E-mail: aleksej.snytnikov@klgtu.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

В статье описывается процесс разработки системы автоматического определения возраста рыбы на основе анализа изображений отолитов. Приведена реализация методов цифровой обработки изображений и машинного обучения, которые позволяют повысить скорость анализа и точность результатов. Предложенная система обеспечивает автоматизацию трудоемкого процесса, снижает влияние субъективного фактора и может быть использована в исследованиях, направленных на оценку состояния водных биоресурсов.

Ключевые слова: автоматизация, отолит, возраст рыбы, цифровая обработка изображений, нейронная сеть, ихтиология, биоресурсы, сверточная сеть, машинное обучение.

ВВЕДЕНИЕ

Определение возраста рыбы играет важную роль в управлении водными биоресурсами, мониторинге состояния популяций и экосистем, а также в научных исследованиях [1]. Наиболее распространенным методом определения возраста является анализ отолитов – костных структур, формирующихся в ухе рыбы. В процессе роста рыбы отолиты образуют слои, которые накладываются друг на друга. Эти слои отолита позволяют оценить возраст особи по чередованиям светлых и темных кольцевых структур [2]. Однако традиционный способ, основанный на визуальной оценке отолитов под микроскопом, требует высокой квалификации, опыта, значительных временных ресурсов и подвержен субъективным ошибкам, особенно при обработке больших объемов данных [3].

Идея разработки программного обеспечения, автоматизирующего процесс анализа отолитов, была инициирована кафедрой водных биоресурсов и аквакультуры КГТУ в связи с актуальностью и перспективностью развития этого направления в области рыбохозяйственной науки. Основной целью стало упрощение и ускорение работы ихтиологов при массовой обработке данных о возрастной структуре промысловых рыб.

После тщательного анализа деятельности ихтиологов были составлены определенные требования к функционалу и принято решение о создании системы, автоматизирующей процесс определения возраста рыбы с использованием цифровой обработки изображений и сверточной нейронной сети, интегрированной в графический пользовательский интерфейс.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Разработанная система автоматического определения возраста рыбы включает три ключевых модуля: автоматическую обработку изображений, нейронную сеть и графический интерфейс для взаимодействия с пользователем. Все компоненты взаимодействуют в одной программе на языке Python.

1. Обработка изображений

Обработка изображений отолитов является важным фактором в обеспечении корректной работы нейросетевой модели. Исходные изображения отолитов, полученные с помощью микроскопа, содержат множество шумов, неравномерности фона и артефактов, затрудняющих машинный анализ [4]. Чтобы устранить эти проблемы, применяется последовательность операций цифровой фильтрации и подготовки данных, реализованных с использованием библиотек OpenCV и NumPy.

Алгоритм обработки изображения включает следующие этапы.

Сглаживание (Gaussian Blur) – применяется фильтр Гаусса (размер ядра 5×5), что позволяет устранить высокочастотный шум и мелкие нерелевантные детали, сохранив при этом крупномасштабные элементы структуры отолита [5].

Пороговая фильтрация (Thresholding) – используется простой порог по значению яркости, чтобы отделить фон от потенциальных участков интереса [6].

Поиск контуров (findContours) – на бинаризованном изображении находятся все внешние контуры. Выбирается самый крупный контур, который соответствует границе отолита.

Обрезка изображения (boundingRect) – выделяется прямоугольная область вокруг выбранного контура, позволяющая исключить посторонние элементы и оставить только сам отолит.

Выравнивание цветовой гистограммы (equalizeHist) – применяется гистограммная коррекция, которая равномерно распределяет яркость, увеличивая контраст между кольцами отолита.

Мягкое размытие (GaussianBlur) – вторичное размытие (ядро 3×3) помогает усилить различие между темными и светлыми зонами внутри отолита, улучшая восприятие кольцевой структуры.

Адаптивная пороговая обработка (adaptiveThreshold) – используется метод, основанный на среднем значении яркости в локальных областях, что позволяет компенсировать неравномерное освещение и выделить ключевые текстурные элементы.

Маскировка краевых шумов – создается маска, ограничивающая анализ центральной области изображения, исключая артефакты по краям.

Эрозия (erode) – морфологическая операция, удаляющая мелкие белые шумы и сужающая границы объектов для устранения трещин и дефектов отолита.

Масштабирование (resize) – итоговое изображение приводится к стандартному размеру 1280×960 пикселей, что обеспечивает унифицированный входной формат для нейросети без потери значимых признаков.

Таким образом, обработка направлена на усиление визуального представления слоев роста отолита, что напрямую влияет на точность возрастной классификации.

2. Нейронная сеть

Для анализа отолитов была разработана сверточная нейронная сеть [7], реализованная с использованием библиотеки PyTorch. Архитектура адаптирована под задачу предсказания числового значения возраста по изображению.

Сеть состоит из следующих компонентов.

Первый сверточный слой (Conv2d):

Вход: одноканальное изображение (оттенки серого).

Фильтры: 32 ядра размером 3×3 .

Функция активации: ReLU (добавляет нелинейности, что помогает модели изучать сложные зависимости).

Цель: выделение первичных признаков – контуры, яркостные перепады, локальные текстуры [8].

MaxPooling (2×2): снижает размерность изображения в 2 раза, сохраняя доминирующие признаки и уменьшая чувствительность к сдвигам.

Второй сверточный слой (Conv2d):

Вход: 32 карты признаков.

Фильтры: 64 ядра размером 3×3 .

Функция активации: ReLU.

Цель: извлечение более сложных признаков, таких как повторяющиеся кольца, изогнутые линии и локальные группы контрастов [9].

MaxPooling (2×2): повторное выделение доминирующих признаков.

AdaptiveAvgPool2d: унифицирует выходной размер признаков вне зависимости от исходного масштаба изображения, адаптируя данные под входной формат полносвязного слоя.

Flatten: преобразует тензор размерности (64, 7, 7) в одномерный вектор длины 3136.

Полносвязный слой (fc1):

Вход: 3136 признаков.

Выход: 128.

Dropout (0,5): предотвращает переобучение, выключая случайные нейроны в процессе обучения.

Выходной слой (fc2):

Вход: 128.

Выход: 1.

Для обучения используется функция потерь MSE (Mean Squared Error), оптимизатор Adam и небольшое число эпох (30) с размером батча 8, что позволяет добиться хорошей сходимости.

3. Графический интерфейс

Графический интерфейс реализован с использованием библиотеки CustomTkinter. Он позволяет пользователю загружать изображения, редактировать их яркость, контрастность и экспозицию, просматривать оригинальные и обработанные снимки, запускать анализ изображения нейросетью, получать результат сразу в виде предсказанного возраста, вводить и автоматически сохранять необходимые данные в Excel-таблицу.

Таким образом, пользователь получает доступ к полному функционалу системы без необходимости взаимодействовать с кодом или дополнительными инструментами анализа (рисунок 1).

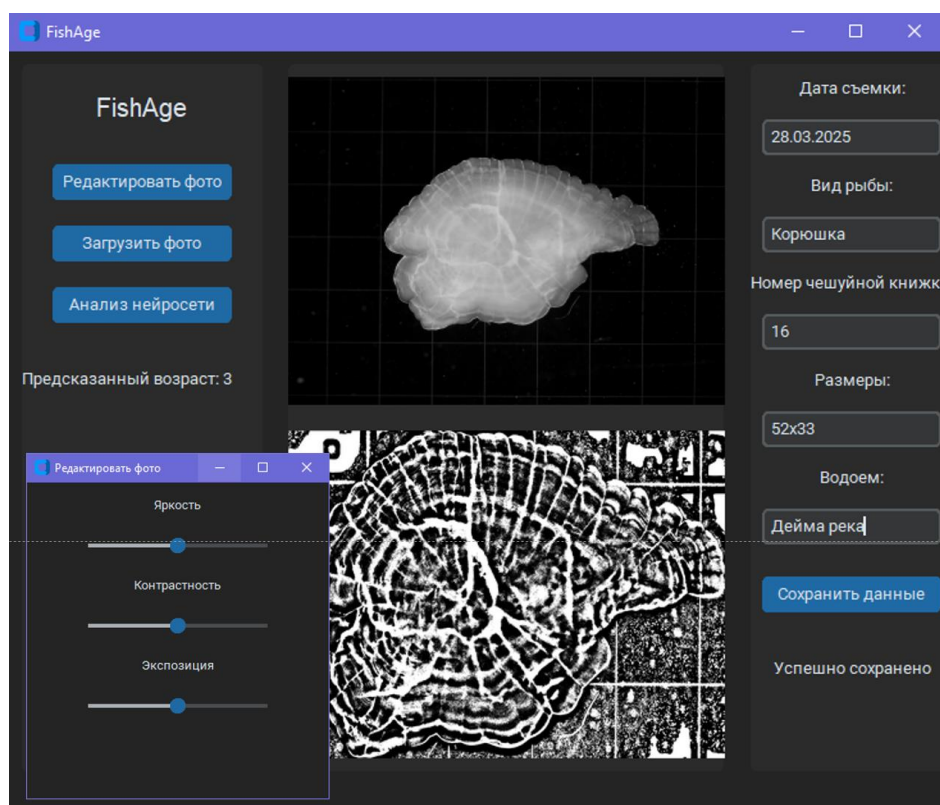


Рисунок 1 – Графический интерфейс

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В ходе реализации проекта была полностью разработана система, включающая функциональный графический интерфейс, модуль обработки изображений отоликов и обученную нейросеть. На основании предварительного анализа работы ихтиологов были сформулированы требования к функционалу системы. В качестве обучающей выборки использовались фотографии отоликов, сделанные на микроскопе и размеченные по возрасту. Предусмотрена возможность дальнейшего расширения базы данных для дообучения модели.

Разработанная нейросеть показала стабильную работу на тестовых изображениях и демонстрирует точность, сопоставимую с экспертной оценкой. За счет стандартизированной обработки фотографий и гибкой архитектуры модели удалось добиться устойчивых результатов без необходимости ручной разметки.

Точность предсказаний сверточной нейронной сети была оценена на независимой тестовой выборке, составленной из 50 заранее размеченных изображений отоликов. В качестве основной метрики был выбран показатель точности в виде доли правильных предсказаний при погрешности в 1 год (разница между предсказанным и истинным возрастом не превышает одного года).

По графику на рисунке 2 видно, что на 42 изображениях отоликов возраст определен верно, на 4 изображениях наблюдается отклонение в 1 год, что считается допустимым, а на двух оставшихся изображениях отклонение составляет 2 года. Тем самым, на тестовой выборке из 50 изображений модель достигла точности в 92 % (46 из 50). Это означает, что в 92 % случаев нейросеть определяет возраст рыбы с погрешностью не более одного года, что сопоставимо с результатами опытных специалистов и значительно превосходит показатели ручного подсчета по скорости.



Рисунок 2 – График распределения ошибок предсказания возраста

Кроме того, созданный интерфейс делает использование системы интуитивно понятным для сотрудников, не обладающих специальной подготовкой в области машинного обуче-

ния, а также обеспечивает сохранность и систематизацию введенной информации. Таким образом, система решает актуальную задачу автоматизации анализа отоликов в лабораторных условиях и может быть использована в ихтиологических исследованиях [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная система автоматического определения возраста рыбы по структуре отоликов обеспечивает высокую степень автоматизации, сокращает время анализа и снижает влияние человеческого фактора. Полученные результаты подтверждают достижение поставленной цели, а также демонстрируют практическую применимость метода в научной и прикладной ихтиологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Campana, S. E. Stock discrimination using otolith shape analysis / S. E. Campana, J. M. Casselman // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 1993. – Vol. 50, Iss. 5. – P. 1062–1083.
2. Бурбах, А. С. Рост корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) в реках бассейна Куршского залива Балтийского моря / А. С. Бурбах, С. В. Шибанов // *Балтийский морской форум: Материалы VII Международного Балтийского морского форума (Калининград, 7–12 октября 2019 г.)*. В 6 т. – Т. 3. – Калининград: БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019. – С. 101–107. – EDN WSEGGN.
3. Михеев, П. Б. Применение анализа микроэлементного состава кальцинированных структур рыб для решения фундаментальных и прикладных научных задач / П. Б. Михеев, Т. А. Шеина // *Известия ТИНРО*. – 2020. – Т. 200, Вып. 3. – 688–729.
4. Automatic recognition of fish behavior with a fusion of RGB and optical flow data based on deep learning / W. Guangxu, M. Akhter, L. Chang [et al.] // *Animals*. – 2021. – № 11. – P. 2774.
5. Zymonas, N. D. Comparison of pelvic fin rays, scales and otoliths for estimating age and growth of bull trout, *Salvelinus confluentus* / N. D. Zymonas, T. E. McMahon // *Fish. Manag. Ecol.* – 2009. – Vol. 16, Iss. 2. – P. 155–164.
6. Using trace elements in pectoral fin rays to assess life history movements in sturgeon: Estimating age at initial seawater entry in Klamath River green sturgeon / P. J. Allen, J. A. Hobbs, J. J. Cech [et al.] // *Transact. Amer. Fish. Soc.* – 2009. – Vol. 138, Iss. 2. – P. 240–250.
7. Бахтеев, О. Ю. Выбор моделей глубокого обучения субоптимальной сложности / О. Ю. Бахтеев, В. В. Стрижов // *Автоматика и телемеханика*. – 2018. – Вып. 8. – С. 129–147.
8. Пучков, А. Ю. Алгоритм настройки гиперпараметров сверточной нейронной сети в задаче классификации объектов / А. Ю. Пучков, М. И. Длин // *Математические методы в технике и технологиях-ММТТ*. – 2018. – Т. 4. – С. 47–50.
9. Киселева, Т. В. Машинное обучение в задачах распознавания изображений / Т. В. Киселева, Е. В. Маслова, А. Г. Бычков // *Информатизация и связь*. – 2021. – № 8.
10. Opportunities to improve fisheries management through innovative technology and advanced data systems / D. Bradley, M. Merrifield, K. M. Miller [et al.] // *Fish and Fisheries*. – 2019. – № 20. – С. 564–583.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR AUTOMATIC DETERMINATION OF FISH AGE

D. M. Litvishchenko, student
E-mail: litvishchenko2002@mail.com
Kaliningrad State Technical University

A. V. Snytnikov, DSc (Tech.), Professor
E-mail: aleksej.snytnikov@klgtu.ru
Kaliningrad State Technical University

The article describes the development of a system for automatic determination of fish age based on the analysis of otolith images. The approach utilizes methods of digital image processing and machine learning, which significantly improve the speed and accuracy of results. The proposed system automates a labor-intensive process, reduces the influence of subjective factors, and can be applied in research aimed at assessing the condition of aquatic biological resources.

Keywords: *Automation, otolith, fish age, digital image processing, neural network, ichthyology, biological resources, convolutional network, machine learning.*