

Система сбора наборов фотоизображений и подходы к обучению нейросетей для решения практических задач цифрового управления высокопроизводительной аквафермой на принципах замкнутого водообращения

А.А. Агарков, К.А. Самсонов, В.Н. Малышев, Г.В. Свердлик

Аннотация– Целью настоящей работ была отработка базовых технологии для создания полноценного промышленного робота в сфере аквабиотехнологии для высокоинтенсивных рыбных ферм с системами замкнутого водообращения. Спроектирована, изготовлена и испытана управляемая система передвижения робота, а также система сбора наборов видео-датасетов для обучения нейронных сетей с целью принятия технологических решений. Интегрированный комплекс управления роботизированной платформой базируется на архитектуре микрокомпьютер -микроконтроллер-драйвер. Система обеспечивает позиционирование платформы с точностью до 5 сантиметров и передачу видеоизображения с разрешением 4К с задержкой 150 миллисекунд. Механическая схема системы перемещения робота требует доработки по результатам испытаний для обеспечения устойчивого перемещение на криволинейных участках траектории. Разметка датасетов будет производиться квалифицированным персоналом. На основании накопленного когнитивного опыта. Подобран и испытан первый вариант нейросети, успешно решающий задачу определения размеров объектов на изображениях в условиях высокой концентрации и значительного взаимного перекрытия. Для решения задачи использована модель сверточной нейронной сети YOLOv8. На простейших наборах объектов точность определения размера варьируется в пределах 97,8 – 99,2%. Получен набор реальных видеоизображений с промышленной площадки для испытания метода на реальных данных.

Ключевые слова–высокоинтенсивное рыбководство, замкнутое водообращение, цифровая трансформация, технология промышленного интернета вещей, IoT, искусственный интеллект, нейросети.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на наших глазах происходит акт фундаментальной трансформация практически последней сферы экономики, доставшейся нам от до-

цивилизационного хозяйства. Речь идёт о трансформация от рыболовства к промышленному производству аквакультуры. Практически во всех сферах производство продуктов питания это трансформация совершилась в глубокой древности, от 8000 до 2000 лет назад. Однако в сфере получения пищевых продуктов из водоёмов до второй половины XX века сохранялся присваивающий, а не производящий тип хозяйства. Однако в последние десятилетия в данной сфере происходят глубокие изменения. Наилучшим образом данные тенденции видны на рисунке 1. В 1950 году целенаправленное выращивание аквакультуры в водоёмах составляло менее 3% общего производства. Однако примерно с девяностых годов XX века вылов рыбы в естественных условиях практически не растёт. Весь значительный, почти двухкратный прирост производства обеспечивает целенаправленное промышленное разведение аквакультуры в различных формах. Уже в 2018 году доля aquaculture достигло 46% общего производства, а по прогнозу ФАО к 2030 году оценивается уже в 53%. При сохранении подобных тенденций, во второй половине XXI века присваивающая форма хозяйствования (рыболовство) в отрасли может снизиться до 20% общего производства. Значимость и актуальность данного перехода хорошо понимается и активно обсуждается на различных уровнях принятия стратегических решений [1-4]

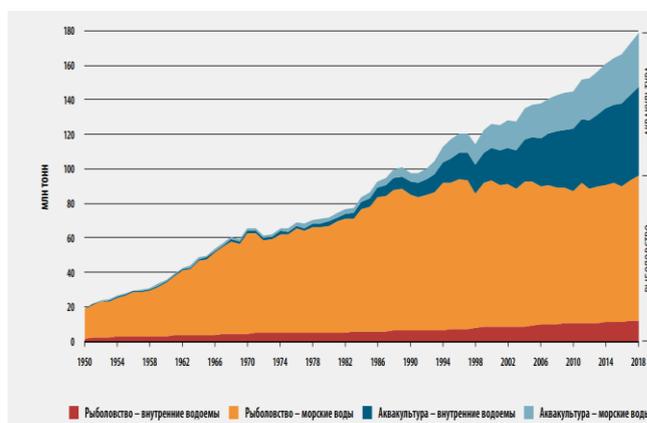


Рисунок 1. Динамика различных моделей производства аквакультуры.

Статья получена 10 июля 2023.

Агарков Александр Алексеевич, магистр ВИШ МИФИ, uncle.psih@yandex.ru

Самсонов Константин Александрович, магистр ВИШ МИФИ, konstantin.s99.mail@gmail.com

Малышев Владимир Николаевич, ООО «Панинское», v-malyshv@yandex.ru

Свердлик Григорий Владимирович, к.т.н., ВИШ МИФИ, promexpress@bk.ru



Рисунок 1. Прогноз изменения структуры производства.

Аква биотехнологические решения могут быть реализованы в различных вариантах - в садках в открытом море, в замкнутых водоемах, даже на рисовых чеках. Но наиболее перспективными представляются высокоинтенсивные решения по технологии замкнутого водообращения. В этой ситуации кардинально (в 10-100 раз) возрастает плотность посадки биологического материала на единицу объема рыбоводческой емкости. Однако, в этих случаях должен быть обеспечен жесткий контроль технологических режимов по параметрам водной среды обитания аквакультуры, а также по кормовым режимам.

Проблемой для всех видов высокоинтенсивного сельского хозяйства (и растениеводства, и животноводства) является сравнительно медленное протекание технологических процессов роста живых организмов по сравнению с промышленными технологическими процессами. Так, цикл выращивания африканского сома от 50 грамм до товарного размера 1500 грамм занимает примерно 6 месяцев при четком соблюдении технологических режимов. Соответствует 30 кратному росту массы за 180 дней. По упрощенной экспоненциальной модели, ежедневный привес составляет около 2%. Кормовой коэффициент (отношения привеса рыбы к массе затраченного корма) составляет порядка 0,8 – 1,2. В структуре издержек доля затрат на корм примерно равна 70%. Таким образом, для успешного выращивания нужно на протяжении нескольких месяцев постоянно контролировать параметры технологического процесса с высокой точностью. При стандартном подходе, базирующимся на принятии решений техником-рыбоводом эффективность производства попадает в жесткую зависимость от квалификации, дисциплины и добросовестности персонала. Кроме того, цена единичной не слишком грубой технологической ошибки сразу плохо заметна, а в целом -они могут накапливаться. Интегрально, при одинаковых условиях у разных бригад рыбоводов себестоимость продукции может отличаться до 50%. Управления персоналом в данных условиях имеет ряд основных проблем. Кроме проблемы ответственности и дисциплины для персонала предприятия, расположена в сельской местности есть проблема слабых сигналов (малозаметные изменения для персонала) и проблема длинных треков (устойчивое поддержание технологического режима на протяжении нескольких месяцев).

Важно также понимать принципиальную особенно биотехнологической системы в отличие от инженерных систем без живых компонентов. Процесс в биологической системе не может быть остановлен. Частично готовая изделие в машиностроении может быть отложено в производстве до получения заказа на него и ожидать

решения возобновления производства общем случае произвольное время. В сельском хозяйстве в целом и в рыбоводстве в частности такое невозможно в принципе. У факта закономерного саморазвития биологических систем есть еще одна сторона – невозможно эффективное биотехнологическое производство без учета реакции системы на внешние воздействия (параметры водной среды обитания и операции кормления). Причем заранее предсказать эти реакции на современном уровне знаний удастся совсем не всегда. Даже у промышленно разводимых видов рыб может «пропасть аппетит» как реакция на неконтролируемая климатические параметры, малые добавки в составе питательной воды и другие, зачастую не идентифицируемые факторы. При этом, в существующих в мире технологиях производства аквакультур, реакция биологической системы улавливается «талантливым» рыбоводом и плохо передается путем объяснений коллегам.

Таким образом, для отрасли интенсивного промышленного рыбоводства остро стоит задача технологического перехода на новый уровень, получивший наименование «precision fish farming» в соответствии с программной статьей по данной тематике [5]. В разных вариантах данные подходы широко обсуждаются учеными и практиками [6-8]. По сути, смысл этого перехода эквивалентен магистральному направлению - цифровой трансформации производственной деятельности.

Настоящая работа продолжает серию публикаций, посвященных цифровой трансформации интенсивного рыбоводства на примере конкретного технологического партнера – ООО «Панинское» {9-13}. Предметом обсуждения будет возможность внедрения технологии искусственного интеллекта как альтернативы человеку-рыбоводу на примере конкретной рыбоводческой фермы с интенсивным производством по технологии замкнутого водообращения.

Для реализации этой необходимо, чтобы робот-рыбовод был способен осуществлять ряд функций с фиксацией результата цифровой системе управления предприятия. Такими функциями могут являться:

1. Контроль и принятие решений:

- Контроль популяций товарной рыбной продукции в конкретной рыбоводческой емкости (общая масса популяции и размер особей в ней). На основании этих данных прогнозируется выход товарной продукции и фиксируются отклонения от оптимальных траекторий развития популяции

- Контроль параметров водной среды обитания в конкретной рыбоводческой емкости. На основании этих данных принимается решение о режиме работы исполнительных механизмов.

- Контроль «кормовой активности» - реакция популяции на малые вбросы корма. На основании этих реакций корректируются режимы кормления индивидуально для конкретной популяции.

2. Выполнение технологических операций (манипулирование):

- Операции кормления.

- Транспортировка контрольно-измерительных систем и наблюдательных систем.

- Периодическая сортировка популяций по размеру

для обеспечения однородности и исключения каннибализма.

- Подготовка к вылову партии товарной продукции.
- Вылов и транспортировка товарной рыбной продукции.

Предполагается, что на современном уровне развития технологий искусственного интеллекта возможны настройка и обучение нейросети для анализа фото видеоизображения для решения описанных выше задач на уровне квалифицированного техника-рыбовода.

В настоящей работе решались задачи первого этапа, а именно:

- Была разработана физическая и логическая архитектура роботизированной системы, совмещающей транспортную компоненту в производственном помещении с модулем видеофиксации конкретных рыбоводных емкостей и популяции в высоком разрешении.
- Был сконструирован, изготовлен и испытан универсальный модуль транспортировки роботизированной системы в любую заданную точку производства.
- Был сконструирован, изготовлен и испытан модуль видеонаблюдения и видеофиксации событий в каждой рыбоводной емкости. Данный модуль будет использоваться как для сбора наборов данных для обучения нейросетей, так и для постоянного мониторинга каждого рыбоводного бассейна для принятия технологических решений в соответствии с параметрами особей в популяции и их поведением при внешних воздействиях.
- Были проведены эксперименты по распознаванию размеров объектов на изображениях условия высокой концентрации и значительно взаимного перекрытия путем настройки и обучения нейросетей.

II. Физическая и логическая архитектура роботизированного комплекса

На производстве индустриального партнера транспортировка различных грузов осуществляется по подвесной трассе, проложенный над рыбоводными емкостями. Схема расположения рыбоводных емкостей для одного из цехов предприятия приведена на рисунке 3.

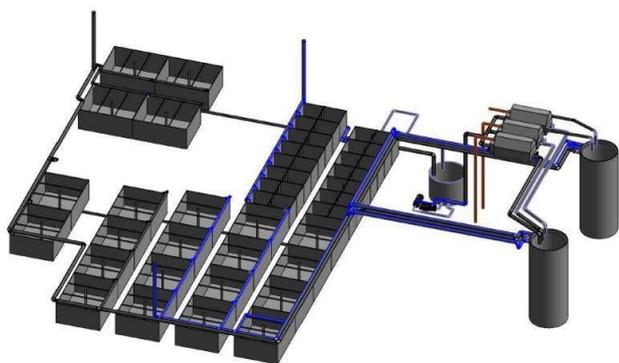


Рисунок 3. Схема расположения рыбоводных емкостей и системы водоочистки.

Подвесная трасса представляет из себя двутавр, подвешенный на постоянной высоте и проходящий над всеми бассейнами на высоте 2 метров. Общая длина трассы для одного цеха составляет порядка 100 метров.

Устройство транспортировки должно обеспечивать уверенное передвижение грузов различной массы (от комплексов видеофиксации массой в единицы килограмм до бункеров с кормами массой до пятисот килограмм). Для выполнения измерительных и технологических операций необходимо позиционировать устройство транспортирования над бассейном с точностью порядка 5 сантиметров.

Для сбора видео-датасетов для настройки нейросетей и последующего мониторинга рыбоводных бассейна и рыбных популяций необходимо видеофиксация в высоком разрешении (в формате 4K). Данные съемки должны беспроводным образом передаваться в централизованную систему хранения для дальнейшей обработки удаленными компьютерами. Реальная логическая архитектура разработаны системы представлена на рисунке 4, а ее физическая архитектура - на рисунке 5. При разработке и реализации системы использовались подходы и результаты работ [14-19].

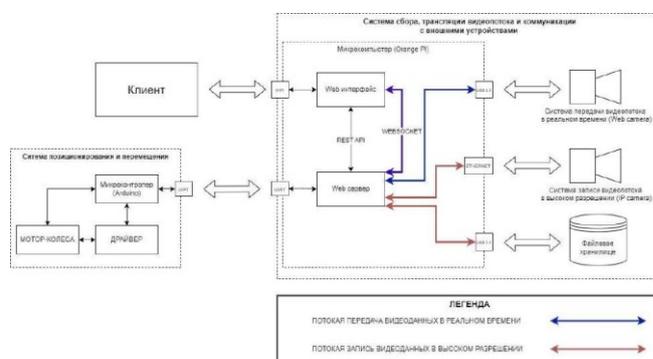


Рисунок 4 – Концептуальная логическая архитектура.

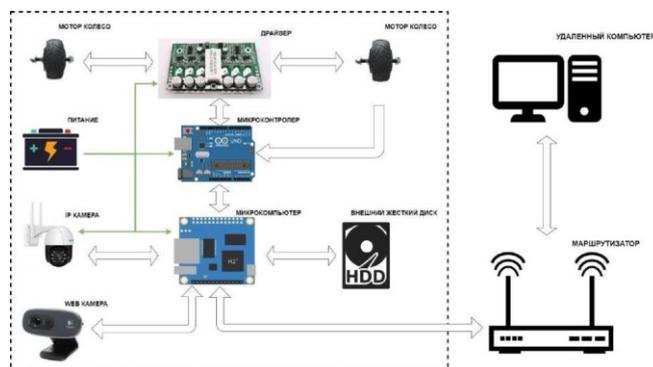


Рисунок 5 – Концептуальная схема физической архитектуры

По результатам анализа имеющегося на рынке оборудования, в качестве компонентов системы были выбраны следующие:

- Микрокомпьютер Orange Pi 2 Zero (Single Board Computer, SBC) - чипсет Allwinner H2+, 4-ядерный ARM Cortex-A7 процессор частотой 1,5 ГГц, графический процессор Mali400MP2, RAM 512 МБ, слот для microSD расширения памяти, для проводное подключение 10/100M Ethernet, беспроводное подключение Wi-Fi (стандарт 802.11b/g/n), HDMI-порт, USB 2.0 порт, разъем GPIO для периферийных устройств, различные ОС Ubuntu, Debian, Android и другие [20].

- Микроконтроллер Arduino Uno - ATmega328P, архитектура AVR RISC, тактовая частота 16 МГц, флэш-память 32 КБ для программного кода, RAM 2 КБ, 14 цифровых входов/выходов, 6 аналоговых входов/выходов, USB-интерфейс, UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) – интерфейс, ОС Arduino IDE (Integrated Development Environment) [21].
- Драйвер двигателей JYQD-YL02D - напряжение питания 18-24В DC, ток до 20, А, управление скоростью и направлением вращения BLDC двигателя, принимает аналоговые сигналы управления скоростью и цифровые сигналы управления направлением движения, режимы без фазы (sensorless) и режим с обратной связью от датчиков Холла, защита от перегрева, перегрузки и короткого замыкания) [22].
- Мотор-колесо Annoy Bike - диаметр 4 дюйма (около 10 см), мощность 250 Вт, напряжение 24 В, одностороннее крепление [23].
- IP-камера Besder - разрешение 8 Мп, видео в формате 4К, напряжением питания 12 В DC, ток 1А, модуль Wi-Fi, 5-кратный цифровой зум, встроенная система освещения на основе анализа освещенности [24].
- Веб-камера Logitech C270 - разрешение HD 720p, видео с частотой до 30 кадров в секунду, фотографии разрешением 3 Мп, автофокусная функция, совместима с ОС Windows, macOS и Linux.
- Внешний жесткий диск WD Elements SE - USB 3.0, 1 ТБ, обратно совместим с USB 2.0, совместим с ОС Windows, macOS и Linux.

С точки зрения программная компонента построена как набор программных модулей, которые отвечают за получение, сбор, хранение и передачу видеоданных, а также управление перемещением:

Модуль управления перемещением и позиционированием на плате Arduino. Разработан на языке C/C++. Обеспечивает выполнение следующих функций:

- Считывание команд с микрокомпьютера через UART.
- Управление драйверами.
- Считывание данных с мотор-колеса.
- Отправка данных через UART в микрокомпьютер.

Модуль управления перемещением интегрирован с модулем обработки видеопотоков. Серверная часть размещена и выполняется на микрокомпьютере Orange Pi. Для разработки данного модуля использовался Visual Studio Code. Модуль обеспечивает выполнение следующих функций:

- Получение данных с Arduino через UART.
- Отправка команд на Arduino через UART.
- Получение видеопотока с WEB-камеры через USB 2.
- Отправка видеопотока с WEB-камеры через WEBSOCKET.
- Получение видеопотока высокого качества с IP-камеры через ETHERNET.
- Запись видеопотока высокого качества на внешний жесткий диск.

- Получение видеоданных с внешнего жесткого диска.
- Удаление видеоданных с внешнего жесткого диска.
- Синхронизация с удаленным сервером: отправка и получение данных.
- Отправка данных на веб-интерфейс.
- получение данных на веб-интерфейс.
- Визуализация веб-интерфейса.

Микроконтроллер Arduino выполняет функции управления и сбора данных, а микрокомпьютер Orange Pi осуществляет обработку, хранение, передачу видеоданных и управление системой в целом.

Описанная система была реализована, прошла лабораторное тестирование и была испытана в условиях реального производства аквафермы «Паннинское» Курской области. По результатам испытаний подтверждена полная функциональность работы системы съемки видео данных с сетов, их накопления и передачи по беспроводным каналам связи для дальнейшей обработки. Также полностью функциональной является система управления перемещением. Однако доработки требуют механическая часть транспортной системы. Выявлено два дефекта. Во-первых, первый вариант конструкции плохо проходит криволинейные участки с относительно малым радиусом кривизны. Транспортный рельс имеет поворотные участки с радиусом кривизны порядка одного метра. Во-вторых, неудовлетворительно работает система позиционирования, поскольку без прижимного ролика реализуется проскальзывание мотор-колес. По результатам испытаний принята программа доработки прототипа, включающая в себя изменение механической конструкции транспортной тележки и оборудование ее дополнительными датчиками для позиционирования (видео датчиками для распознавания штриховой разметки или устройствами регистрации магнитных меток).

По результатам испытаний сняты пробные видеодатасеты, которые будут использованы для подбора нейросетей, определяющих размер особей в популяции по результатам видеофиксации.

III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Одной из базовых задач обработки результатов видеонаблюдения рыбных популяций является определение размера особей. Анализ подходов к решению задачи с использованием результатов [26-28]. В полном объеме данная задача будет решаться после сбора и разметки видео-датасетов реальных популяций. В рамках данной работы мы рассматривали упрощенную задачу определения размеров объектов на изображениях в условиях высокой концентрации и значительного взаимного перекрытия. В качестве простейшего объекта для отработки методики были взяты круглые в вертикальный проекции объекты - монеты различного номинала. Для реализации данного метода была использована модель сверточной нейронной сети YOLOv8. YOLOv8 является новейшим семейством моделей обнаружения объектов на базе YOLO от Ultralytics и реализует самые современные качества распознавания. По сравнению с предыдущими версиями YOLO, модель YOLOv8 рабо-

- [3] Федеральное агентство по рыболовству.09.07.2021 [Электронный ресурс]. – URL: <https://fish.gov.ru/news/2021/07/09/mirovoepotreblenierybuvvelichilos-do-212-kg-na-cheloveka-k2030-godu-fao/> (дата обращения: 02.04.2022).
- [4] Федеральное агентство по рыболовству. 11.04.2022 [Электронный ресурс]. – URL: <https://fish.gov.ru/news/2022/04/11/proizvodstvorybnojprodukcziiv-strane-vyroslo-na-2-i-dostiglo-628-tys-tonn-v-tom-chisle-zashyotvy>
- [5] Fore, M., Frank, K., Norton, T., Svendsen, E., Alfredsen, J.A., Dempster, T., Eguiraun, H., Watson, W., Stahl, A., Sunde, L.M., Schellewald, C., Skoien, K.R., Alver, M.O., Berckmans, D. (2018) Precision fish farming: A new framework to improve production in aquaculture Biosystems Engineering, 173, pp. 176- 193
- [6] Sabanchieva A A 2019 Situation and prospects of biotechnology development in the digital economy Modern world economy: Problems and prospects in the era of digital technologies and biotechnology development 104 655
- [7] Migunov R A 2019 Digital technologies in Russian agriculture. Rural territories in the spatial development of the country: potential, problems, prospects. Nikon Readings-2019: Proceedings of the XIV International Scientific Journal 362-363
- [8] Digital Farming: what does it really mean? Retrieved from: https://www.cemaagri.org/images/publications/position-papers/CEMA_Digital_Farming_-_Agriculture_4.0_13.02.2017
- [9] Zhabitskii M.G., Andryenko Y.A., Malyshev V.N., Chuykova S.V., Zhosanov A.A., Digital transformation model based on the digital twin concept for intensive aquaculture production using closed water circulation technology, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 723 (2021) 032064 doi:10.1088/1755-1315/723/3/032064
- [10] Mikhail Zhabitskii, Yuriy Andrienko, Vladimir Malyshev, Svetlana Chuykova, Aleksey Zhosanov, A Digital Twin of Intensive Aquabiotechnological Production Based on a Closed Ecosystem Modeling & Simulation, 33rd European Modeling & Simulation Symposium, 18th International Multidisciplinary Modeling & Simulation Multiconference, ISSN 2724-0029 ISBN 978-88-85741-57-7 doi: 10.46354/i3m.2021.emss.034, 2021
- [11] Григорьев Д.М., Болгова Д.Л., Концептуальный проект частичной автоматизации установки замкнутого водоснабжения для рыбной фермы, International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 9, no. 8, 2021, стр. 52-57
- [12] Хуртина Т.В., Жабицкий М.Г., Андриенко Ю.А., Разработка прототипа цифровой платформы системы управления и мониторинга технологических процессов биотехнической системы, International Journal of Open Information Technologies. 2022. Т. 10. № 8. С. 62-67
- [13] Мокшин К.Ю., Жабицкий М.Г., Андриенко Ю.А., Цифровая модель развития популяции рыб вида *Clarias gariepinus* (Африканский клариевый сом) для создания цифрового двойника промышленного рыбоводческого комплекса на базе технологии IoT с возможностью предиктивной аналитики, International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 10, no. 8, 2022, стр. 68-76
- [14] Implementing a System Architecture for Data and Multimedia Transmission in a Multi-UAV System [сайт]. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-02931-9_20 (дата обращения 10.05.2023).
- [15] IoT Based Automated Fish Farm Aquaculture Monitoring System [Электронный ресурс] // Researchgate. — URL: https://www.researchgate.net/publication/334091423_IoT_Based_Automated_Fish_Farm_Aquaculture_Monitoring_System (дата обращения 25.05.2023).
- [16] Cyber Aqua Culture Monitoring System Using Arduinio And Raspberry Pi [сайт] // International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. — URL: http://ijareeie.com/upload/2015/may/97_CYBER.pdf (дата обращения 25.04.2023).
- [17] Andrea Zanella, senior member, IEEE, Nicola Bui, Angelo Castellani, Lorenzo Vangelista and Michele Zorzi, “Internet of things for smart cities”, “IEEE internet of things journal, vol.1, no.1, February 2014.”
- [18] BodepudiSrinivasaRao, U JyothiKameswari, Department of ECM, K.L University. “Design an monitoring system for aquaculture with multienvironmental factors using ARM-7.” International Journal of computer science and information technology vol.3, 2012. 87
- [19] Daudi S. Simbeye and Shi Feng Yang, College of electronic information and automation, “Water quality monitoring and control for aquaculture based on wireless sensor networks.” Journal of networks, vol.9, no.4, April 2014.
- [20] Orange Pi Zero2 <http://www.orangepi.org/html/hardWare/computerAndMicrocontrollers/details/Orange-Pi-Zero-2.html>
- [21] Arduino Uno Rev3 Internet: <https://store.arduino.cc/usa/arduinouno-rev3> , [March 14, 2018] (PDF)
- [22] Browse Electronic Parts By Brands <https://crossic.com/product/jyqdy102d/>
- [23] ANNOYBIKE Official <https://annoybike-official-store.axyl.ru/>
- [24] Shenzhen Besder Technology Co.,Ltd <https://besder.tech/>
- [25] Chuan Luo, Wei Yang, Panling Huang, Jun Zhou. Overview of Image Matching Based on ORB Algorithm. Journal of Physics: Conference Series, 2019, Department of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1237/3/032020/pdf> (дата обращения: 08.04.2023).
- [26] Ross Girshick, Jeff Donahue, Trevor Darrell, Jitendra Malik. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation, Tech report (v5), 2014, UC Berkeley. Available at: <https://arxiv.org/abs/1311.2524> (дата обращения: 18.04.2023).
- [27] Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick, Jian Sun. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks, 2016. Available at: <https://arxiv.org/abs/1506.01497> (дата обращения: 25.04.2023).
- [28] Wei Liu1, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, Alexander C. Berg. SSD: Single Shot MultiBox 84 Detector, 2016. Available at: <https://arxiv.org/abs/1512.02325> (дата обращения 28.04.2023).
- [29] Уроки компьютерного зрения на Python + OpenCV с самых азов. Часть 3 [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/post/654663/> (дата обращения: 12.05.2023).
- [30] Perspective Transformation [Электронный ресурс]. – URL: <https://theailearner.com/tag/cv2-getperspectivetransform/> (дата обращения: 25.05.2023).

Photographic images sets collecting system and approaches to training neural networks for digital management practical problems solving for a high-performance aquafarm based on the principles of closed water circulation

A.A. Agarkov, K.A. Samsonov, V.N. Malyshev, G.V. Sverdlik

Abstract– The purpose of this work was to develop basic technologies for creating a full-fledged industrial robot in the field of aquabiotechnology for high-intensity fish farms with closed water circulation systems. A controlled robot movement system has been designed, manufactured and tested, as well as a system for collecting sets of video datasets for training neural networks in order to make technological decisions. The integrated control complex of the robotic platform is based on the microcomputer-microcontroller-driver architecture. The system provides positioning of the platform with an accuracy of 5 centimeters and the transmission of a 4K video image with a delay of 150 milliseconds. The mechanical scheme of the robot movement system requires refinement based on the test results to ensure stable movement on curved sections of the trajectory. The layout of the datasets will be carried out by qualified personnel. Based on accumulated cognitive experience. The first version of the neural network has been selected and tested, which successfully solves the problem of determining the size of objects in images in conditions of high concentration and significant mutual overlap. The YOLOv8 convolutional neural network model was used to solve the problem. On the simplest sets of objects, the accuracy of determining the size varies between 97.8 – 99.2%. A set of real video images from an industrial site was obtained for testing the method on real data.

Keywords–regular languages, codes, maximal prefix codes, semigroups, morphisms, inverse morphisms.

REFERENCES

- [1] Fish to 2030. Prospects for Fisheries and Aquaculture [Электронный ресурс]. – URL: fao.org/3/a-i3640e.pdf (дата обращения: 02.04.2022).
- [2] FAO. 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture– URL: <http://www.fao.org/3/i9540EN/i9540en.pdf> (29.03.2022).
- [3] Federal Agency for Fisheries. 09.07.2021 – URL: <https://fish.gov.ru/news/2021/07/09/mirovoepotrebleni-rybyuvlichilos-do-212-kg-na-cheloveka-k2030-godu-fao/> (02.04.2022).
- [4] Federal Agency for Fisheries. 11.04.2022 – URL: <https://fish.gov.ru/news/2022/04/11/proizvodstvorybnojprodukczii-v-strane-vyroslo-na-2-i-dostiglo-628-tys-tonn-v-tom-chisle-zachyotvy>
- [5] Fore, M., Frank, K., Norton, T., Svendsen, E., Alfredsen, J.A., Dempster, T., Eguiraun, H., Watson, W., Stahl, A., Sunde, L.M., Schellewald, C., Skoien, K.R., Alver, M.O., Berckmans, D. (2018) Precision fish farming: A new framework to improve production in aquaculture Biosystems Engineering, 173, pp. 176– 193
- [6] Sabanchieva A A 2019 Situation and prospects of biotechnology development in the digital economy Modern world economy: Problems and prospects in the era of digital technologies and biotechnology development 104 655
- [7] Migunov R A 2019 Digital technologies in Russian agriculture. Rural territories in the spatial development of the country: potential, problems, prospects. Nikon Readings-2019: Proceedings of the XIV International Scientific Journal 362-363
- [8] Digital Farming: what does it really mean? Retrieved from: https://www.cemaagri.org/images/publications/position-papers/CEMA_Digital_Farming_-_Agriculture_4.0_13.02.2017
- [9] Zhabitskii M.G., Andryenko Y.A., Malyshev V.N., Chuykova S.V., Zhosanov A.A., Digital transformation model based on the digital twin concept for intensive aquaculture production using closed water circulation technology, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 723 (2021) 032064 doi:10.1088/1755-1315/723/3/032064
- [10] Mikhail Zhabitskii, Yuriy Andrienko, Vladimir Malyshev, Svetlana Chuykova, Aleksey Zhosanov, A Digital Twin of Intensive Aquabiotechnological Production Based on a Closed Ecosystem Modeling & Simulation, 33rd European Modeling & Simulation Symposium, 18th International Multidisciplinary Modeling & Simulation Multiconference, ISSN 2724-0029 ISBN 978-88-85741-57-7 doi: 10.46354/i3m.2021.emss.034, 2021
- [11] Dmitry Grigorev, Daria Bolgova., Conceptual project of partial automation of recirculation aquaculture farm, International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 9, no. 8, 2021, стр. 52-57
- [12] T.V. Khurtina, M.G. Zhabitsky, Yu.A. Andrienko, Development of a prototype of a digital platform for the control and monitoring of technological processes of a biotechnical system, International Journal of Open Information Technologies. 2022. T. 10. № 8. С. 62-67
- [13] K.U. Mokshin, M.G. Zhabitskii, U.A. Andrienko, A digital model of the fish population *Clarias gariepinus* species development for creation industrial fish farm digital twin based on IIoT technology with the possibility of predictive analytics, International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 10, no. 8, 2022, стр. 68-76
- [14] Implementing a System Architecture for Data and Multimedia Transmission in a Multi-UAV System [сайт]. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-02931-9_20 (дата обращения 10.05.2023).
- [15] IoT Based Automated Fish Farm Aquaculture Monitoring System // Researchgate. — URL: https://www.researchgate.net/publication/334091423_IoT_Based_Automate_d_Fish_Farm_Aquaculture_Monitoring_System (25.05.2023).
- [16] Cyber Aqua Culture Monitoring System Using Arduino And Raspberry Pi [сайт] // International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. — URL: http://ijareeie.com/upload/2015/may/97_CYBER.pdf (дата обращения 25.04.2023).
- [17] Andrea Zanella, senior member, IEEE, Nicola Bui, Angelo Castellani, Lorenzo Vangelista and Michele Zorzi, “Internet of things for smart cities”, “IEEE internet of things journal, vol.1, no.1, February 2014.”
- [18] BodepudiSrinivasaRao, U JyothiKameswari, Department of ECM, K.L University. “Design an monitoring system for aquaculture with multienvironmental factors using ARM-7.” International Journal of computer science and information technology vol.3, 2012. 87
- [19] Daudi S. Simbeye and Shi Feng Yang, College of electronic information and automation, “Water quality monitoring and control for aquaculture based on wireless sensor networks.” Journal of networks, vol.9, no.4, April 2014.
- [20] Orange Pi Zero2 <http://www.orangepi.org/html/hardWare/computerAndMicrocontrollers/details/Orange-Pi-Zero-2.html>
- [21] Arduino Uno Rev3 Internet: <https://store.arduino.cc/usa/arduinouno-rev3> , [March 14, 2018] (PDF)
- [22] Browse Electronic Parts By Brands <https://crossic.com/product/jyqdyi02d/>

- [23] ANNOYBIKE Official <https://annoybike-official-store.axyl.ru/>
- [24] Shenzhen Besder Technology Co.,Ltd <https://besder.tech/>
- [25] Chuan Luo, Wei Yang, Panling Huang, Jun Zhou. Overview of Image Matching Based on ORB Algorithm. Journal of Physics: Conference Series, 2019, Department of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1237/3/032020/pdf> (дата обращения: 08.04.2023).
- [26] Ross Girshick, Jeff Donahue, Trevor Darrell, Jitendra Malik. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation, Tech report (v5), 2014, UC Berkeley. Available at: <https://arxiv.org/abs/1311.2524> (дата обращения: 18.04.2023).
- [27] Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick, Jian Sun. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks, 2016. Available at: <https://arxiv.org/abs/1506.01497> (дата обращения: 25.04.2023).
- [28] Wei Liu1, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, Alexander C. Berg. SSD: Single Shot MultiBox 84 Detector, 2016. Available at: <https://arxiv.org/abs/1512.02325> (дата обращения 28.04.2023).
- [29] Computer vision lessons in Python + OpenCV from the very basics. Part 3– URL: <https://habr.com/ru/post/654663/> (12.05.2023).
- [30] Perspective Transformation [Электронный ресурс]. – URL: <https://theailearner.com/tag/cv2-getperspectivetransform/> (дата обращения: 25.05.2023).