

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

*доктора технических наук, профессора Болодуриной Ирины Павловны
на диссертацию Ручая Алексея Николаевича на тему «Методология
компьютерного анализа цифровых изображений биологических макрообъектов»,
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации,
статистика.*

Актуальность темы диссертации

В последние годы наблюдается значительное увеличение объемов биологических данных, включая цифровые изображения, получаемые с помощью различных методов визуализации (микроскопия, фотосъемка и т.д.). Эффективный анализ этих данных становится критически важным для научных исследований и практики. Оценка физических и морфологических характеристик биологических макрообъектов является трудоемкой и субъективной. При этом традиционный подход к оценке животного основан на результатах визуального осмотра, ощупывания и, как правило, контактных измерениях. Современные технологии, такие как машинное обучение и искусственный интеллект, открывают новые возможности для анализа биологических данных. Методология компьютерного зрения позволяет автоматизировать процессы, повышая их точность и скорость. Данный подход позволяет снизить влияние человеческого фактора, что приводит к более объективным результатам и улучшению качества научных исследований. Однако существуют определенные проблемы и вызовы, связанные с обработкой и анализом больших объемов изображений, такие как шум, вариабельность данных и необходимость в стандартизации методов. Исследование этих вопросов является важной задачей для повышения эффективности анализа.

Таким образом, выбранная А.Н. Ручаем тема диссертации является актуальной и нацелена на решение важной задачи разработки методологии и новых подходов к мониторингу состояния и поведения животных, а также новой технологии автоматической экспертной оценки животных на основе методов бесконтактного измерения двухмерных и трехмерных морфологических характеристик с использованием анализа изображений.

Степень обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций, сформулированных в диссертации

Положения и выводы диссертации базируются на фундаментальных основах теории распознавания образов, машинного обучения, моделях глубоких нейронных сетей, методов цифровой обработки изображений, методов прикладной математической статистики, методов интерполяции и аппроксимации функций. Методология исследования включает подробный

анализ предмета и объекта исследования, систематизацию результатов анализа научных и практических исследований российских и зарубежных ученых, качественное сравнение и синтез существующих подходов, сбор и анализ материала.

Выстроенная автором последовательность и логика в изложении текста диссертации и структурировании материалов исследования позволили добиться целостности при подготовке диссертации и автореферата, а также обеспечить высокую аргументированность выводов и положений. Диссертация целостно построена и ее содержание соответствует логике исследования. Поставленные проблемы в работе полностью раскрыты и предложены авторские методы их решения.

Достоверность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием известных математических методов, адекватных задачам исследования, а также их согласованностью с результатами, полученными другими авторами и с экспертными оценками специалистов. Разработанные методы и алгоритмы подтверждены вычислительными экспериментами на реальных и синтетических данных, проведенных в соответствии с общепринятыми стандартами.

Основные научные результаты диссертации отражены в 41 работе, из них 31 статья опубликована в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, включая 30 статей в изданиях, входящих в международные цитатно-аналитические базы Scopus и Web of Science; 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ; 6 свидетельств о государственной регистрации баз данных.

Предложенный программно-аппаратный комплекс ведения и управления отрасли животноводства прошел апробацию и внедрение в деятельности двух предприятий: Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук и ООО «ЗОО-ИНЖИНИРИНГ», о чём свидетельствуют соответствующие справки об использовании результатов диссертационной работы.

Все изложенное позволяет сделать заключение о достоверности положений, выносимых на защиту.

Характеристика структуры и содержания диссертации

Диссертационное исследование содержит введение, восемь глав, заключение и приложение, библиографический список из 237 наименований. Диссертация изложена на 245 страницах машинописного текста, содержит 97 рисунков и 12 таблиц.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований,

показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения.

Первая глава «Анализ состояния предметной области. Постановка задач исследования» посвящена общим вопросам использования методов обработки и анализа изображений для оценки физических и морфологических параметров биологических макрообъектов. В главе приводится обзор типовых задач обработки и анализа изображений в биологии, биотехнологии, сельском хозяйстве и других научно-технических областях. Рассмотрены современные методы и подходы бесконтактного автоматического измерения физических и морфологических характеристик биологических макрообъектов по изображениям. Дается обзор публикаций, наиболее близко относящихся к теме диссертации.

Вторая глава «Разработка моделей, методов и алгоритмов измерения морфологических характеристик биологических макрообъектов» рассматривает задачу реконструкции трехмерных моделей биологических макрообъектов. Были предложены методы и алгоритмы нежесткой трехмерной реконструкции с использованием данных трех камер глубины, способные создавать точную трехмерную модель биологических макрообъектов. При уровне доверия 90 % ошибки измерения в предлагаемом методе среди всех измеренных характеристик составляют менее 3 %. Результаты экспериментов показывают, что предложенный метод может служить новым надежным методом бесконтактного измерения биологических макрообъектов.

Третья глава «Разработка моделей, методов и алгоритмов нормализации позы биологических макрообъектов» рассматривает следующие задачи поиска линий симметрии и нормализации позы трехмерных моделей биологических макрообъектов. Был предложен быстрый алгоритм обнаружения симметрии для облака точек. Был предложен новый метод надежной нормализации позы трехмерных моделей биологических макрообъектов на основе слияния двухмерного и трехмерного подходов. Этот метод объединяет информацию из двухмерных изображений и трехмерных данных для повышения надежности метода. В частности, благодаря внедрению алгоритма обнаружения двухмерных объектов, оптимизируются оценка и сегментация животных на основе двухмерных изображений. Обширные эксперименты показывают, что предложенный метод является более надежным, чем существующие методы.

Четвертая глава «Разработка моделей, методов и алгоритмов автоматического измерения трехмерной модели биологических макрообъектов на основе обнаружения ключевых точек» рассматривает следующие задачи автоматического измерения морфологических характеристик трехмерных моделей биологических макрообъектов. Был предложен новый метод автоматического измерения тела животного на основе обнаружения ключевых точек на двухмерных изображениях, основанный на слиянии двухмерного и трехмерного подходов. Основной особенностью этого метода является использование сверточной нейронной

сети для обнаружения ключевых точек на двумерных изображениях и проецирование этих точек на поверхность облаков точек. Комбинируя процесс интерполяции и метод нормализации позы, были измерены длина, ширина, высота и обхват груди. По сравнению с ручными измерениями, средняя абсолютная процентная ошибка четырех измерений тела крупного рогатого скота и двух измерений тела свиней составила менее 10 %. По сравнению с известным методом измерения обхвата груди, предложенный метод является более точным и надежным для набора данных крупного рогатого скота. Результаты показывают, что предложенный метод перспективен для измерения тела различных видов животных.

В пятой главе «Разработка моделей, методов и алгоритмов оценки живой массы биологических макрообъектов на основе изображений» представлены модели прогнозирования живого веса крупного и мелкого рогатого скота на основе изображений. Предложена модель прогнозирования живого веса герефордских коров на основе регрессии изображений. Используются только RGB изображения и карты глубины для прогнозирования живого веса крупного рогатого скота. Лучшей моделью для исследования является предложенная модель с MAPE 9,1 %, использующая RGB изображения и карты глубины. Были показаны результаты экспериментов на реальных наборах данных, которые демонстрируют, что предложенная модель может достичь уровня точности измерения веса, сравнимого с тем, который достигается при традиционном взвешивании.

В шестой главе «Разработка методов и алгоритмов оценки скелета биологических макрообъектов» представлен новый метод выделения скелета кривой, специально разработанный для неполных облаков точек. По сравнению с известными и общими методами извлечения скелета, были исключены ошибки соединения. Кроме того, предложенный метод эффективен и имеет важные преимущества при обработке плотных облаков точек с большим количеством точек. Результаты экспериментов показывают высокую надежность и универсальность предложенного метода выделения скелета.

В седьмой главе «Разработка моделей, методов и алгоритмов оценки показателя состояния биологических макрообъектов» представлен новый метод количественного анализа локальной трехмерной формы животного для оценки показателя состояния его организма. Это универсальный метод, который может быть применен к различным видам животных. Он использует метод соответствия точек в трехмерной форме для точного расчета разницы между формами, а затем сопоставляет значение разницы с диапазоном оценки состояния тела. Точность оценки показателей состояния тела в пределах 0,5, 1 и 0,5 составила 100 %, 87,61 % и 92,09 % соответственно для 198 молочных коров, 100 голов крупного рогатого скота и 201 свиньи. По сравнению с предыдущими методами оценки состояния тела, предложенный метод является более точным и универсальным.

В восьмой главе «Разработка прототипа программно-аппаратного комплекса для отрасли мясного скотоводства» представлен программно-

аппаратный комплекс ведения и управления отрасли животноводства, а именно мясного скотоводства путем автоматизации учетной и селекционной оценок племенных животных, позволяющей проводить визуализацию данных племенного учета. Данный подход приведет к сокращению времени проведения экстерьерной оценки, автоматизации определения живой массы, проведению квалифицированного анализа и оценки селекционных процессов в стадах разных мясных пород скота.

Научная новизна исследования

- 1) Методы и алгоритмы нежесткой трехмерной реконструкции с использованием данных трех камер глубины способны создавать точную трехмерную модель биологических макрообъектов (Пункт 4 паспорта специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика).
- 2) Одновременное использование двухмерной и трехмерной информации об облаках точек, снятых с нескольких камер глубины, ведет к надежной нормализации позы биологических макрообъектов (Пункт 12 паспорта специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика).
- 3) Использование сверточной нейронной сети для обнаружения ключевых точек на двухмерных изображениях с последующим проецированием этих точек на трехмерную поверхность биологического макрообъекта позволяет получить точные количественные оценки морфологических характеристик тела по его математической модели (Пункт 4 паспорта специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика).
- 4) Регрессионная модель позволяет получить точные оценки живого веса биологических макрообъектов по их математическим моделям с использованием, как двухмерных изображений, так и карты глубины (Пункт 4 паспорта специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика).
- 5) Метод выделения криволинейного скелета из неполных облаков точек позволяет эффективно получать качественные кривые скелета с малыми топологическими ошибками, вызванными особенностями формы животного (Пункт 12 паспорта специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика).
- 6) Метод количественного анализа локальной трехмерной формы животного является точным и универсальным методом для оценки показателя состояния тела животного (Пункт 4 паспорта специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика).
- 7) Программно-аппаратный комплекс для автоматической оценки животных существенно сократит временные затраты на получение оценки, позволит прогнозировать продуктивность животного, исключит

необходимые контактные измерения линейных промеров, живой массы и др., что уменьшит стресс и потерю веса животных (Пункт 5 паспорта специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика).

Замечания по диссертации

Положительно оценивая диссертацию в целом, ее логику, обоснованность, достоверность, полученные новые научные результаты, теоретическую и эмпирическую базу исследования, следует выделить следующие дискуссионные положения, недостатки и замечания:

1. Для экспериментальной апробации моделей и алгоритмов измерения морфологических характеристик биологических макрообъектов (раздел 2.4) описана методика сбора данных и построения обучающей выборки. Автор допускает перемещение животного в кадре, однако не рассматривает вопросы частичного или полного захвата камерами других животных. При этом на практике отделение животного от стада для проведения неинвазивного трехмерного мониторинга в одном оборудованном месте является трудозатратным по времени, а размещение дополнительных камер приведет к удорожанию данного процесса. Каким образом автор предполагает решать данную проблему при крупномасштабном распространении разработанной системы?

2. В рамках 3 главы для построения алгоритма обнаружения области головы, бедра и тела использована модель YOLOv4 для анализа нескольких областей разного размера на одном двухмерном изображении. При этом автор не проводит сравнительный анализ альтернативных моделей (R-CNN, Fast R-CNN, Faster R-CNN и других), которые могут демонстрировать не менее высокую эффективность в схожих задачах.

3. В работе производится анализ цифровых изображений для автоматической оценки физических и морфологических характеристик крупного рогатого скота одной породы. При этом не рассматривается вопрос об адекватности результатов работы системы на других породах КРС, а также не оценено влияние условий содержания (пастбищное, стойловое, комбинированное), различий в возрастных и половых группах.

4. В 8 главе указывается, что разработанный прототип программно-аппаратного комплекса для отрасли мясного скотоводства приведет к «сокращению времени проведения экстерьерной оценки». Однако стоит отметить, что в рамках диссертационного исследования не была проведена количественная оценка затрат рабочего времени, что ограничивает возможность подтверждения данного вывода.

Заключение

Диссертация Ручая Алексея Николаевича на тему «Методология компьютерного анализа цифровых изображений биологических макрообъектов», представленная на соискание ученой степени доктора

технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне. Достижение поставленной в диссертационном исследовании цели сопряжено с решением целого комплекса задач, имеющих теоретическое и прикладное значение. В результате диссертантом разработаны новые подходы к мониторингу состояния и поведения животных, а также новые технологии автоматической экспертной оценки животных на основе методов бесконтактного измерения двухмерных и трехмерных морфологических характеристик с использованием анализа изображений.

Диссертация и автореферат соответствуют пунктам Паспорта специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Автореферат диссертации А.Н. Ручая полностью соответствует тексту диссертации, отражает ее основное содержание, имеет логически грамотное построение и последовательность изложения результатов исследования.

По результатам диссертационного исследования автором опубликовано достаточное количество научных работ. Таким образом, диссертационная работа Ручая Алексея Николаевича на тему: «Методология компьютерного анализа цифровых изображений биологических макрообъектов» удовлетворяет требованиям, п. 9-14 Положения присуждения ученых степеней в УрФУ, а ее автор, Ручай Алексей Николаевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», заведующий кафедрой прикладной математики, научная специальность докторской диссертации 05.13.10 Управление в социальных и экономических системах

Ирина Павловна Болодурина

Контактная информация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»
460018, Оренбургская область, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13,
+7 (3532) 372536

Адрес электронной почты: ipbolodurina@yandex.ru

« 11 » 11 2024 г.

Подпись Болодуриной И.П. заверяю
Главный ученый секретарь – начальник отдела диссертационных советов,
Доктор технических наук, профессор

Андрей Петрович Фот