

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, доцента Савченко Андрея Владимировича 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 тематики диссертации

Диссертационная работа Ручая А.Н. посвящена применению методов компьютерного зрения для бесконтактного мониторинга состояния и поведения животных по данным видеонаблюдения. Хорошо известно, что оценка физических и морфологических характеристик большого числа животных на фермах являются трудоёмкой и субъективной. Традиционный подход основан на результатах визуального осмотра, ощупывания и, как правило, контактных измерениях. Для формирования комплексной оценки животного, его состояния и поведения двухмерной информации может оказаться недостаточно, так как в этом случае не учитываются объёмные характеристики обмеряемого животного и изменения его положения в трехмерном пространстве. Поэтому считаю, что проведенные в диссертации исследования, направленные на автоматизацию и повышение эффективности систем мониторинга поведения, состояния и экспертного оценивания животных на основе бесконтактного измерения трехмерных морфологических характеристик, перспективны и **актуальны**.

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.

В первой главе рассматривается актуальность задачи мониторинга поведения и автоматического оценивания физических и морфологических характеристик биологических макрообъектов на основе методов компьютерного зрения.

Во второй главе описан метод предобработки RGB-D изображений, включая внешнюю калибровку, а также грубое и точное выравнивание.

Представлены алгоритмы измерения морфологических параметров, такие как длина, ширина, высота и обхват груди животных с использованием сверточной нейронной сети для обнаружения ключевых точек.

В третьей главе рассмотрены методы нормализации позы и обнаружений линий симметрии трехмерных моделей животных. Подробно описаны быстрый алгоритм обнаружения симметрии для облака точек и метод надежной нормализации позы трехмерных моделей.

Четвертая глава посвящена методам обнаружения ключевых точек и автоматическому измерению морфологических характеристик, таких как длина, ширина и обхват тела биологических макрообъектов.

Пятая глава описывает модель прогнозирования массы животных на основе анализа изображений. Описывается выбор входных переменных модели, модель обучения и вывод результатов.

Шестая глава посвящена разработке методов выделения криволинейного скелета для неполных облаков точек животных, в котором исключаются ошибки соединения, возникающие в известных методах. Приведен анализ результатов экспериментальной апробации методов и алгоритмов.

Седьмая глава посвящена разработанному методу количественной оценки состояния организма животных на основе анализа локальной трехмерной формы животного. Предложен метод на основе обнаружения ключевых точек с помощью DeepLabCut и оценки соответствия точек в трехмерной форме для точного расчета разницы между формами.

В восьмой главе представлен прототип программно-аппаратного комплекса для отрасли мясного скотоводства, основанный на автоматизации учетной и селекционной оценок племенных животных, позволяющей проводить визуализацию данных племенного учета.

Заключительная часть содержит выводы и рекомендации по результатам проведенного исследования, а также общие выводы по всей работе.

Научная новизна выносимых на защиту результатов

В диссертации Ручая А.Н. развиваются подходы к повышению эффективности автоматической бесконтактной оценки животных на основе методов анализа изображений для измерения двухмерных и трехмерных морфологических характеристик. Получены следующие основные результаты, характеризующиеся, на мой взгляд, **научной новизной**:

1. Разработан новый метод бесконтактной оценки морфологических характеристик биологических макрообъектов, основанный на нежесткой трехмерной реконструкции формы с использованием трех камер глубины и методов нежесткого (non-rigid) выравнивания.

2. Предложен метод измерения морфологических параметров (длина, ширина, высота, обхват груди и т.п.) биологических макрообъектов по данным с нескольких камер глубины на основе обнаружения ключевых точек с помощью сверточной нейронной сети (ResNet-50) и известной программной библиотеки DeepLabCut и проецированием найденных в 2D точек на 3D-поверхность

3. Разработан метод высокоточной нормализации позы трехмерных моделей животных с использованием как двухмерной, так и трехмерной информации с нескольких RGB-D камер типа Kinect, основанный на сегментации животных, оценках плоскости симметрии и направления, а также жесткой трансформации.

4. Предложена модель MRGBDM (Model RGB and Depth Map) на основе нейросетевой сверточной архитектуры для прогнозирования живого веса коровы по 2D-изображениям и картам глубины, обученная с использованием специально собранного набора данных

5. Разработан метод предсказания состояния животных (body condition score, BCS) с использованием анализа локальной трехмерной формы, в котором выполняется оценка соответствия найденных ключевых точек и проецированных в трехмерной форме для расчета разницы между формами и ее сравнения с известными диапазонами BCS.

Достоверность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность научных результатов диссертационной работы подтверждается адекватной постановкой задачи, формальными построениями предложенных методов и алгоритмов, использованием известных математических методов, адекватных задачам исследования, а также их согласованностью с результатами, полученными другими авторами и с экспертными оценками специалистов. Качество разработанных методов и алгоритмов подтверждены результатами практических экспериментов и их апробацией на реальных и синтетических данных, проведенных в соответствии с общепринятыми стандартами.

Разработанные соискателем методы и алгоритмы основываются на корректном применении современных подходов к анализу изображений, а также нейросетевых архитектур. Выбор инструментария для решения поставленной задачи представляется логичным. В диссертации проведен достаточно подробный обзор современных методов классификации изображений. Цитируемые утверждения подтверждены ссылками на современные источники. Считаю, что научные положения, выводы и рекомендации являются **обоснованными**.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы

Теоретическая значимость результатов диссертации заключается в разработке методов, моделей и алгоритмов компьютерного зрения, использующих одновременно двумерные изображения и трехмерные данные (карты глубины, облака точек) для бесконтактного измерения физических и морфологических характеристик биологических объектов. Доказано утверждение о квадратичной сложности разработанного алгоритма нормализации позы трехмерной модели.

Практическая значимость работы состоит в том, что предложенные методы могут применяться для повышения качества систем бесконтактного измерения характеристик животных на фермах по данным видеонаблюдения. Основные предложенные алгоритмы были реализованы в разработанном программно-аппаратном комплексе. Отдельно стоит отметить, что проведена опытная эксплуатация части результатов диссертационной работы в компании «ЗОО-ИНЖИНИРИНГ», а также использованы в Федеральном научном центре биологических систем и агротехнологий РАН.

Вопросы и замечания

Положительно оценивая диссертацию в целом, следует выделить следующие дискуссионные положения, недостатки и замечания:

1. В диссертации присутствует ряд терминологических расхождений. Например, в теме явно заявлена методология анализа изображений биологических макрообъектов, а в самом начале заключения говорится о создании этой методологии, но явно в тексте диссертации она не представлена. Аналогично, в цели и заключении говорится о не имеющей аналогов разрабатываемой технологии автоматической экспертной оценки животных, но отдельно именно технология нигде не рассматривается, технологическая зрелость разработок тоже не оцениваются. Наконец, главы со 2 по 7 называются «Разработка моделей, методов и алгоритмов», однако новая модель заявлена автором только в главе 5 (модель прогнозирования живой массы).

2. Несмотря на наличие в обзоре публикаций, в которых решаются схожие с диссертацией задачи, для подавляющего большинства разработанных методов не проведено экспериментальное сравнение метрик качества с известными методами для выбранных наборов данных.

3. Часть из разработанных авторов методов решают схожие задачи, о их сравнение в диссертации отсутствует. Во-первых, методы из глав 2 и 4 решают задачу измерения характеристик тела животных, но из текста не понятно, в каком случае необходимо использовать тот или иной подход. Во-вторых, в главе 3 представлены 2 алгоритма нормализации позы трехмерной модели («быстрый» и «надежный»), однако нет численного сравнения их

скорости работы. При этом задача нормализации позы решается еще и в подразделе 2.2.4, и не ясно, как описанный в этом подразделе алгоритм связан с алгоритмами из главы 3.

4. Для многих представленных методов не проводится экспериментальная оценка значимости каждого из предложенных шагов и выбранных для их реализации алгоритмов (Ablation study). Например, метод измерения морфологических характеристик биологических макрообъектов из главы 2 содержит множество этапов обработки изображений, но как выбранные решения влияют на итоговые показатели качества (Таблица 2.3), остается неясным. Кроме того, для предложенной модели MRGBDM (Рисунок 5.10) не пояснено, как выбиралась архитектура сверточной сети (количество слоев, число фильтров и т.п.), как такой выбор повлияет на метрики качества (таблица 5.1)?

5. Одной из важных задач в анализе видео на фермах, особенно в случае, если животных много и не получается выделить каждое с помощью специальных меток, является идентификация животных – первый шаг на блок-схеме разработанной архитектуры программно-аппаратного комплекса (Рисунок 8.4). Однако каких-то деталей такой идентификации и трекинга в работе не приведено.

6. Несмотря на упоминание возможного применения результатов в промышленности, не описано, как и кем могут использоваться предложенные методы и алгоритмы в реальной производственной среде. В обеих справках о внедрении указан планируемый будущий эффект («данный подход приведет к сокращению времени...»), но не понятно, был ли этот эффект достигнут в рамках внедрения.

7. В тексте диссертации присутствуют небольшие неточности. Например, аббревиатура PBCS не расшифрована, а в формуле (6.9) при определении углов альфа пропущена операция арккосинуса.

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. В диссертации разработаны новые подходы к мониторингу состояния и поведения животных с использованием технологий компьютерного зрения для автоматического бесконтактного измерения их двумерных и трехмерных морфологических характеристик.

По теме диссертации автором подготовлена 41 публикация, из них 31 статья опубликована в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, включая 30 статей в изданиях,

входящих в международные базы Scopus и Web of Science (в том числе в ведущих мировых журналах Computers and Electronics in Agriculture и Biosystems Engineering); 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ; 6 свидетельств о государственной регистрации баз данных.

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. Диссертационная работа удовлетворяет требованиям п.9-14 Положения о присуждении 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, доцент, профессор кафедры информационных систем и технологий Нижегородского филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Савченко Андрей Владимирович

(подпись)

27.11.2024

(дата)

Контактная информация:

603155, г. Нижний Новгород, ул. Большая Печерская, д. 25/12

Телефон: +7 (831) 416-95-40

Email: avsavchenko@hse.ru

URL: <https://www.hse.ru/staff/avsavchenko>

«27» ноября 2024 г.