

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

*доктора технических наук, профессора, член-корреспондента РАН  
Арлазарова Владимира Львовича на диссертацию Ручая Алексея Николаевича  
на тему «Методология компьютерного анализа цифровых изображений  
биологических макрообъектов», представленную на соискание ученой  
степени доктора технических наук по специальности 2.3.1 «Системный  
анализ, управление и обработка информации, статистика».*

### **Актуальность темы диссертации**

Для экспертной оценки животного традиционно используются результаты визуального осмотра, ощупывания и контактных линейных обмеров профессиональными специалистами. Существующие системы бесконтактных обмеров животных используют, как правило, линейные характеристики. Техническое зрение существующих систем мониторинга состояния и поведения животных основывается на обычных двухмерных цветных изображениях. Однако для формирования комплексной оценки животного, его состояния и поведения двухмерной информации (линейных характеристик) недостаточно, так как в этом случае не учитываются трехмерные морфологические характеристики обмеряемого животного, изменения положения животного в трехмерном пространстве. Принимая во внимание трудоемкость и неточность традиционных подходов к экспертному оцениванию, контролю состояния и поведения животных, разработка новых методов автоматического экспертного оценивания, мониторинга состояния и поведения животных с учетом современных технологий (возможность использования доступной трехмерной информации) является актуальной научной и практически важной задачей.

### **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 нескольких камер глубины, способные создавать трехмерную модель изучаемых животных.

Третья глава «Разработка моделей, методов и алгоритмов нормализации позы биологических макрообъектов» рассматривает задачи поиска линий симметрии и нормализации позы трехмерных моделей биологических макрообъектов. Был предложен быстрый алгоритм обнаружения симметрии для облака точек. Был предложен новый метод нормализации позы трехмерных моделей биологических макрообъектов на основе слияния двухмерного и трехмерного подходов.

Четвертая глава «Разработка моделей, методов и алгоритмов автоматического измерения трехмерной модели биологических макрообъектов на основе обнаружения ключевых точек» рассматривает 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.

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 наблюдений, получаемых при помощи регистрации изображений с обычных цифровых камер и камер глубины.

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 методами извлечения скелета, были исключены ошибки соединения. Кроме того, предложенный метод имеет преимущества при обработке плотных облаков точек. Результаты проведенных экспериментов показывают высокую надежность и универсальность предложенного метода.

В седьмой главе «Разработка моделей, методов и алгоритмов оценки показателя состояния биологических макрообъектов» представлен новый метод количественного анализа локальных особенностей трехмерной формы животного для оценки показателя состояния его организма. Это универсальный метод, который может быть применен к различным видам животных. Он использует сопоставление точек трехмерной формы для точного расчета разницы между формами, а затем сопоставляет значение

разницы с диапазоном оценки состояния тела. По результатам экспериментального исследования показано, что 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 выносимых на защиту результатов**

В диссертации Ручая А.Н. развивается методология и подходы к повышению эффективности технологии автоматической экспертной оценки животных на основе методов бесконтактного измерения двухмерных и трехмерных морфологических характеристик с использованием анализа изображений. Получены следующие основные результаты, обладающие на мой взгляд, научной новизной:

1. Предложен новый подход к созданию точной трехмерной модели биологических макрообъектов, основанный на нежесткой трехмерной реконструкции формы с использованием данных трех камер глубины и методов компьютерного зрения. По результатам проведенных экспериментальных исследований, при уровне доверия 90% максимальные ошибки измерения морфологических характеристик составляют менее 3%, то есть предложенный подход является новым точным методом бесконтактного измерения тела.
2. Предложен новый метод надежной нормализации позы трехмерных моделей на основе одновременного использования двумерной и трехмерной информации об облаках точек, снятых при помощи нескольких цифровых камер с возможностью измерения глубины.
3. Предложен новый метод автоматического измерения морфологических характеристик тела биологического макрообъекта (длина, ширина, высота и обхват груди) с использованием сверточной нейронной сети для обнаружения ключевых точек на двухмерных изображениях с последующим проецированием этих точек на трехмерную поверхность. Предложенный метод является перспективным для измерения морфологических характеристик тела различных видов животных.
4. Предложена новая модель прогнозирования живого веса крупных биологических макрообъектов на основе регрессии признаков, наблюдаемых как на двухмерных изображениях, так и на картах глубины.

5. Предложен новый метод выделения криволинейного скелета, специально разработанный для неполных облаков точек биологических макрообъектов, имеющий важное значение для нормализации процесса съемки животных и выбора пригодных для анализа комплектов изображений.
6. Предложен новый метод количественного анализа локальных особенностей трехмерной формы животного для оценки показателя состояния его организма. По сравнению с предыдущими методами оценки состояния тела, предложенный метод является более точным и универсальным.
7. Разработан новый 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. Технология селекционной части основана на автоматизации комплексной ценности животного, проведения мониторинга селекционно-статистических параметров популяции. 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.

### **Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы**

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в следующем. В работе предложены новые модели, методы и алгоритмы обработки изображений для автоматической оценки биологических макрообъектов на основе методов бесконтактного измерения физических и морфологических характеристик. В дополнение к этому, в рамках диссертационного исследования автором был подготовлен ряд значимых баз данных и открытых пакетов экспериментальных данных, которые могут быть использованы научным сообществом для дальнейших исследований в этой области.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в возможности применения предложенных новых методов и алгоритмов в области животноводства. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы для постоянной информационно-технологической поддержки и квалифицированного мониторинга фенотипического и функционального состояния биологических макрообъектов.

### **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.

По теме диссертации автором подготовлено 41 работа, 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. Кроме того, автором получены 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и 6 свидетельств о государственной регистрации баз данных.

### **Вопросы и замечания**

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. Поскольку структурно диссертация изложена в виде набора глав, отражающих отдельные исследования, ведущие к построению и апробации того или иного метода автоматического измерения характеристик биологических макрообъектов, либо проведения каких-либо подготовительных шагов, недостаточно прозрачно представлен синтез общего методологического подхода к измерению биологических макрообъектов. И хотя в главах представленной диссертации описаны основные принципы, которые легли в основу построенных методов, их систематизация могла бы быть представлена в более явном виде.

2. Несколько методов, предложенных автором в рамках диссертационного исследования, решают ту или иную вспомогательную задачу, необходимую для построения более комплексного решения для измерения характеристик биологического макрообъекта (к примеру, задача нормализации позы животного, задача извлечения криволинейного скелета, задача вычитания облака точек земли и т.п.). Хотя такие методы обладают явной теоретической и практической значимостью самостоятельно, в диссертационном исследовании недостаточно внимания уделяется анализу их влияния на качество решения основных задач. Другими словами, хотя автором представлены убедительные результаты решения задач измерения характеристик биологических макрообъектов при помощи предложенных комплексных методов, из текста диссертации недостаточно ясен отдельный вклад составных частей этих методов в качество решения.

3. Некоторые из предложенных и описанных автором методов могут быть использованы для решения одной и той же задачи (или схожих задач). К примеру, детектирование частей тела животного на основе нейросетевых моделей типа "YOLO" с проекцией на облако точек может быть

использовано для исключения облака точек земли (что решается автором другим способом); методы из глав 2 и 4 предназначены для измерения схожих характеристик и т.п. Хотя различные методы в отдельности обладают теоретической и практической значимостью, в исследовании могло бы уделяться больше внимания взаимной проверке и сравнению разработанных альтернативных методов между собой.

### 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. 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, профессор, член-корреспондент РАН,  
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»  
Российской Академии Наук, руководитель отделения  
Арлазаров Владимир Львович

#### Контактная информация:

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»



117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9

+7 (499) 135-53-57

vladimir.arlazarov@gmail.com