

На правах рукописи



Куликов Виктор Александрович

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕДЕНИЯ
ЖИВОТНЫХ В ЭТОЛОГИЧЕСКИХ ТЕСТАХ
ПО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и
комплексы программ»**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск – 2010

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук
Институте автоматики и электрометрии СО РАН

Научный руководитель	доктор технических наук Киричук Валерий Сергеевич
Официальные оппоненты:	доктор технических наук Резник Александр Львович
	кандидат биологических наук Науменко Владимир Сергеевич
Ведущая организация	Новосибирский государственный технический университет

Защита диссертации состоится «___» _____ 2010 г. в ___ часов на заседании диссертационного совета Д 003.005.01 в Институте автоматики и электрометрии СО РАН по адресу: 630090, г. Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института автоматики и электрометрии СО РАН.

Автореферат разослан «___» ноября 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
д. ф.-м. н.



Насыров К.А.

Общая характеристика работы

Актуальность работы

В настоящее время системы технического зрения (СТЗ), позволяющие заменить или упростить рутинный человеческий труд, внедряются в такие области, как контроль качества продукции, системы безопасности, научные исследования и т.д. СТЗ состоит из одной или нескольких видеокамер, подключенных к компьютеру, и программного обеспечения, осуществляющего анализ и интерпретацию получаемой последовательности изображений.

Одной из актуальных задач технического зрения является оценивание координат объектов по последовательности изображений (трассировка). Важную роль в трассировке объектов играют математические модели объектов и их поведения.

В биологических исследованиях трассировка применяется для измерения параметров, характеризующих поведение лабораторных животных, а также при проведении тестирования фармакологических препаратов. Автоматические оценки параметров поведения имеют большую повторяемость и объективность по сравнению с субъективными оценками наблюдателя, так как они не зависят от физического состояния и мнения экспериментатора.

Важность и актуальность автоматизации измерения параметров поведения обусловлена ключевой ролью поведения животных в современном нейробиологическом и фармакологическом экспериментах. Нейробиологический эксперимент проводится большим коллективом специалистов, включает самые современные методы молекулярной биологии и имеет чрезвычайно высокую стоимость. Неточности оценки параметров поведения животных резко снижают ценность результатов всего эксперимента и приводят к значительным финансовым тратам. Поэтому во всем мире активно ведутся разработки систем автоматической регистрации и оценки поведения.

На данный момент разработано несколько систем автоматизации этологического (поведенческого) эксперимента на основе систем технического зрения, из которых наибольшей известностью пользуются системы фирм Noldus (Голландия) и San Diego Instruments (США).

Однако эти системы имеют ряд недостатков:

- сложность трассировки слабоконтрастных объектов, которая выражается в проблеме обнаружения белого животного на белом фоне, без нанесения специальных меток на тело животного;
- отсутствие методов регистрации сложных шаблонов, таких как гигиеническое поведение, агрессия и т.п.;
- субъективность критериев оценки времени пребывания животного в заданной области (оценка пространственного предпочтения);
- произвольный выбор порога для разделения подвижности и неподвижности в тесте принудительного плавания;

- завышение оценки пройденного животным пути в тесте открытого поля из-за шумов, вызванных мелкими движениями животного на одном месте.

Основной причиной этих недостатков является отсутствие теоретической модели поведения животного, обосновывающей выбор параметров и алгоритмов их оценки. Большинство используемых в настоящее время оценок поведения не имеют ни биологического, ни статистического обоснования и, следовательно, являются произвольными, допускающими неоднозначную интерпретацию.

Таким образом, является актуальной задача разработки и теоретического обоснования конструктивных показателей, описывающих поведение животных в стандартных этологических экспериментах, а также разработка аппаратно-программного комплекса, реализующего оценку и анализ предложенных показателей.

Работа проводилась в лаборатории цифровых методов обработки изображений Института автоматики и электрометрии СО РАН в сотрудничестве с лабораторией нерогеномики поведения Института цитологии и генетики СО РАН и была поддержана грантами: междисциплинарный проект СО РАН № 18 «Комплексное исследование генетических, молекулярных и физиологических механизмов депрессии и разработка новых методов ее фармакологической коррекции. Роль наследственных изменений в цитокиновой и серотониновой системах мозга» (2009-2011 г.г.) и интеграционный грант СО РАН № 6 «Закономерности поведения байкальского омуля и гидроакустическая оценка динамики его популяций как ключевого промыслового вида» (2009-2011 г.г.)

Введение в предметную область

Цель этологического эксперимента: получение знаний о функциональности определенных механизмов головного мозга животного через реакцию на воздействие. Любой этологический эксперимент состоит из трех этапов: проектирование эксперимента, получение данных, анализ и классификация данных.

Тест открытого поля (ОП) является самым распространенным тестом для изучения двигательной активности и тревожности животного и он обязателен при скрининге любого фармакологического препарата с потенциальной психотропной активностью. Тестирование животного проводят на ярко освещенной арене белого цвета. Животное помещают на эту арену и в течение определенного времени измеряют его двигательную активность, заходы в центр и выраженность амбивалентного поведения.

Приподнятый крестообразный лабиринт (ПКЛ) используется для изучения механизмов патологической тревожности и поиска анксиолитических (понижающих тревожность) и седативных препаратов. Этот тест основан на конфликте между стремлением исследовать новую территорию и страхом высоты.

Тест принудительного плавания (ПП) является самым распространенным и обязательным лабораторным тестом для проверки эффективности

потенциальных антидепрессантов, которая оценивается по их способности уменьшать время неподвижности животного, помещенного в сосуд с водой.

Цель и задачи диссертационной работы. Целью работы являлось обоснование и разработка моделей и алгоритмов, объективно описывающих поведение животных в тестах: открытое поле, принудительное плавание, приподнятый крестообразный лабиринт.

Были поставлены следующие **задачи** исследования:

1. Провести обзор существующих систем автоматической трассировки животных и анализ возможностей данных систем.
2. Создать аппаратные средства для улучшения качества изображений, не меняя идеологию тестов ОП, ПП и ПКЛ.
3. Разработать метод для объективной оценки пространственного предпочтения животного в тестах ОП и ПКЛ.
4. Создать метод для оценки неподвижности животного в тесте ПП.
5. Разработать метод для оценки пройденного пути в тестах ОП и ПКЛ.
6. Доказать допустимость использования предложенных методов и сравнить с существующими методами.
7. Реализовать программное обеспечение для регистрации, обработки и анализа данных в этологических экспериментах ОП, ПКЛ и ПП с использованием предложенных методов.

В результате работы был создан программно-аппаратный комплекс для автоматического анализа поведения животных EthoStudio, который является основным инструментом для наблюдения за поведением животных в Институте цитологии и генетики СО РАН, Лимнологическом институте СО РАН и Институте физиологии им. И.П. Павлова УРАН.

В ходе работы использовались методы теории вероятности, математической статистики, математического моделирования и теории алгоритмов.

Научная новизна работы заключается в том, что:

1. Метод оценки пространственного предпочтения животного по выборочной карте плотности вероятности учитывает положение мелких деталей тела животного;
2. Двухфазная модель движения животного в тестах ОП и ПКЛ позволяет более точно измерять поступательное движение животного, чем это делают существующие алгоритмы;
3. Метод для оценки поведения в тесте ПП, использующий распределение изменения силуэта животного, оптимально определяет параметры неподвижности животного в смысле метода максимального правдоподобия;
4. Система инвертированного освещения, защищенная патентом, максимально увеличивает контраст между объектом и фоном, делая возможным трассировку белых животных на белом фоне.

Практическая ценность работы заключается в автоматизации ряда рутинных процедур по анализу поведения животных, требующих внимательности и постоянного напряжения экспериментатора, и приводит к большей объективности и повторяемости результатов. Удобный пользовательский интерфейс позволяет сравнивать статистики по выбранным показателям между группами животных, что упрощает последующую работу экспериментатора. Создаваемый архив видеофайлов делает возможным вести обработку и анализ эксперимента в любое удобное время. Введение математических моделей формализует поведение животного в виде численных характеристик.

Апробация работы. Основные научные результаты докладывались и получили одобрение на международной конференции «Pattern recognition and image analysis: new information technologies» (ННГУ, Нижний Новгород, сентябрь 2008), на международной конференции «Международная научно-студенческая конференция (МНСК)» (НГУ, Новосибирск, 2007) и на конференции «Математическое моделирование» (ИВТ, Новосибирск, февраль 2007). Основные практические результаты докладывались на конференции «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» (НГУ, Новосибирск, февраль 2007) и на VI Сибирском физиологическом съезде (Барнаул, июнь 2008), где получили одобрение программистов и биологов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Оценка пространственного предпочтения в тестах ОП и ПКЛ, основанная на плотности вероятности, учитывает положения мелких деталей тела животного.
2. Способ оценки пройденного пути животным в тестах ОП и ПКЛ, основанный на двухфазной модели движения животного, обеспечивает существенное уменьшение среднеквадратичного отклонения.
3. Метод оценки неподвижности в тесте ПП, использующий распределение изменения силуэта животного, является оптимальным в смысле метода максимального правдоподобия.
4. Инвертированное освещение повышает качество видеоданных, контрастность и исключает фиксацию ложных контуров в этологических исследованиях.
5. Предложенные алгоритмы нахождения границ поля наблюдения, установки порога бинаризации и идентификации объектов наблюдения обеспечивают автоматическую калибровку системы.

Личный вклад автора. Все научные результаты, выносимые на защиту и изложенные в тексте диссертации, получены автором лично либо при его непосредственном участии.

Публикации работы. По результатам выполненных исследований опубликовано 8 печатных работ, отражающих основное содержание диссертации, в том числе, 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, один патент на полезную модель и одно свидетельство о государственной регистрации программного обеспечения.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 5-ти глав, заключения, списка литературы и приложения. Содержит 105 страниц основного текста, 37 рисунков и 2 таблицы. Список литературы содержит 72 наименования.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, формулируется цель и задачи исследования, отмечена научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе рассмотрены основные методы и подходы к анализу и описанию поведения биологических объектов в тестах ОП, ПП и ПКЛ. Представлен обзор аппаратных и программных средств автоматизации данных тестов. Исследованы алгоритмы технического зрения и существующие программные пакеты для работы с последовательностями изображений.

Первой методологией изучения поведения животных было визуальное наблюдение, где исследователь вручную отмечал количество поведенческих актов, произведенных животным, и их длительность. Затем этот процесс был автоматизирован с помощью этографов. Данный подход получил название «полуавтоматическая регистрация». Хотя полуавтоматическая регистрация является единственно возможным способом измерения выраженности сложных поведенческих актов, она имеет ряд недостатков, обусловленных психическими и физическими характеристиками наблюдателя: его опытом, реакцией, внимательностью и утомляемостью. Первые системы с электронными датчиками, такие как Animex и актометры, были способны трассировать только одно животное, помещенное на специальную арену. В последнее время широкое распространение получают системы, использующие цифровое видео для трассировки животных. Принцип работы таких устройств заключается в следующем: животное помещают на арену под объектив видеокамеры, которая фиксирует его перемещения и передает видеоинформацию в компьютер. У этого подхода есть ряд преимуществ: 1) метод может быть применен для изучения различных форм поведения; 2) гибкость работы с аренами различной формы; 3) высокая точность (до миллиметров) и повторяемость результатов; 4) избыточная информация и низкая стоимость.

Основной задачей для систем, основанных на цифровом видео, является разработка алгоритмов для получения и анализа данных, описывающих

поведение животных. Первой проблемой является задача сегментации изображения для отделения животного от фона. Данная проблема была математически формализована Мамфордом и Шахом как задача минимизации функционала энергии, оптимизирующего отклонения от однородности выделяемых областей (объектов) и длины границ этих областей. Разделение изображения на объект – фон оптимально в статистическом смысле, осуществляется по яркостной гистограмме изображения алгоритмом Отцу. После разделения изображения на объект – фон нужно найти интересующий нас объект и исключить влияние шума и грязи – это задача маркировки бинарного изображения, которая была решена с помощью двухпроходного алгоритма Розенфильдом и Платцом. Для связи объектов во времени были разработаны алгоритмы трассировки, такие как Mean-Shift и Cam-Shift. Некоторые из этих алгоритмов реализованы в открытых программных библиотеках, таких как OpenCV и Itk.

Основной проблемой, с которой сталкиваются исследователи, является создание адекватных моделей и методов анализа оцененных параметров. В ходе анализа работ в области автоматизации тестов ОП, ПП и ПКЛ было показано, что основным направлением является имитация оценок, удобных для человеческого восприятия. Пространственное предпочтение животного обычно оценивают по числу заходов и времени пребывания в выбранной области. Однако не существует способа однозначной оценки, каков процент бинарного изображения животного или какие части тела животного должны при этом находиться в данной области. В тесте ПП критерием неподвижности является скорость центра масс бинарного изображения животного ниже порога 2 см/с. Существующие методы вычисления пути по траектории основываются на использовании координат центра масс животного, при этом завышается оценка двигательной активности за счет движения отдельных частей тела, которые вносят шум в оценку координат центра масс животного. Методы, разработанные для визуальной регистрации поведения, переносятся в виде программного кода в систему технического зрения. При этом игнорируются принципиальные различия в алгоритмах обработки зрительной информации человеческим мозгом и компьютером.

Вторая глава посвящена аппаратной реализации системы с инвертированным освещением, позволяющей повысить контраст между объектом и фоном. В большинстве случаев арена имеет белый цвет и поэтому белые мыши и крысы плохо различимы на этом фоне. Использование черной арены делает неразличимым на ней животных черного цвета и агутти и не соответствует правилам проведения эксперимента. Во всех существующих стендах освещение организуется над ареной, в которой происходит тестирование. Этот подход имеет несколько существенных недостатков: 1) отражение животного от поверхности арены значительно искажает форму и размеры его растрового изображения; 2) непредсказуемые изменения яркости поверхностей фона и шерсти животного или блики; 3) низкий контраст животного с фоном (рис. 1, а, б).

Разработанная установка является оригинальным решением всех трех проблем, которое заключается в использовании проходящего света, а не отраженного, как это делается в имеющихся приборах. Система превращает изображение животного в теневое, что позволяет отчетливо наблюдать активность белого животного на белом фоне (рис. 1, б, г). Свет от люминесцентных ламп рассеивается и выравнивается матовым органическим стеклом. Затем равномерный поток света проходит через прозрачное дно арены и проецируется в объектив цифровой видеокамеры. Поскольку животное вне зависимости от цвета его тела непрозрачно для лучей света, его очертания проецируются в объектив камеры на фоне ярко и равномерно освещенной арены. Использование проходящего освещения полностью устраняет физические условия возникновения отражения мыши от дна арены и бликов. Таким образом, использование проходящего света решает три основные проблемы трассировки животных. Данное решение защищено патентом РФ.

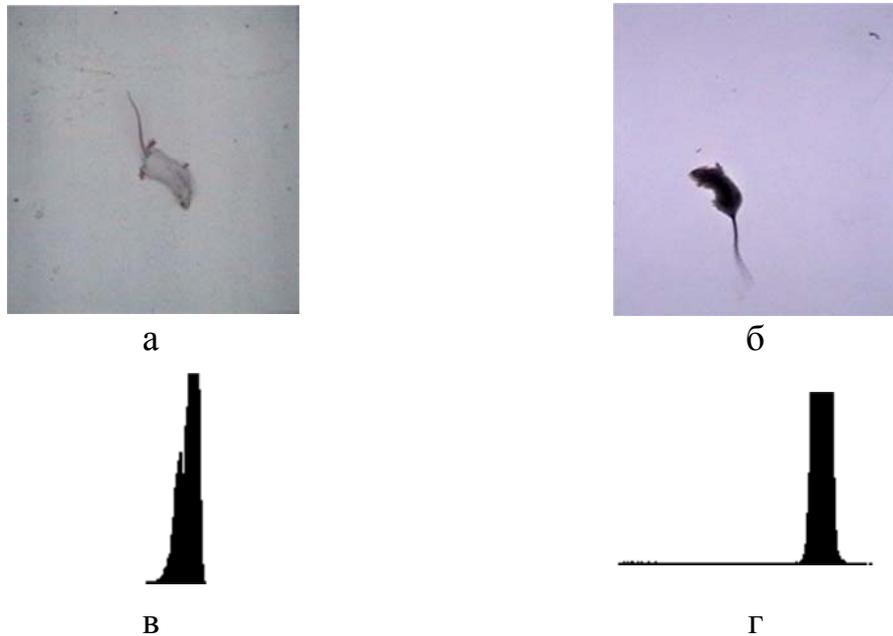


Рис.1. Изображения животных и их гистограммы яркости в отраженном (а, в) и проходящем (б, г) свете

В третьей главе приводится детальный обзор архитектуры программного решения.

В силу сложности разрабатываемого программного обеспечения в качестве парадигмы программирования было принято решение использовать объектно-ориентированное программирование (ООП). Для разработки программного продукта была выбрана методология Rational unified process (RUP), вследствие чего были выделены следующие этапы: сбор требований по программному решению, проектирование системы на языке UML, выбор программных инструментов и реализация. Проектирование системы делится обычно на три этапа: построение модели вариантов использования (прецедентов), аналитические модели и дизайн системы.

Модель вариантов использования: уровень проектирования программного обеспечения, обозначаемый как варианты использования, превращает требования пользователей в диаграмму, элементами которой являются действия, возможные над системой, и ее основные функции. Были выделены следующие варианты использования системы: 1) управление видео, включающее в себя запись с камеры, обработку изображений и работу с видеофайлами; 2) работа с данными, состоящая из оценки поведения по полученным измерениям, и хранение данных; 3) полуавтоматическая регистрация поведения.

Аналитическая модель. Задача аналитической модели заключается в описании реализаций вариантов использования через сущности высокого уровня и их взаимоотношения. Различают три типа сущностей: управления, границ и объектов. Это представление аналогично парадигме Model, View, Controller. В тексте диссертации детально рассмотрены варианты использования системы: «запись с видеокamеры», «обработка изображений» и «оценка поведения». Все объекты аналитической модели размещаются в пакетах, которые обладают свойствами инкапсуляции или просто совместно используются. Связи между пакетами отображают их зависимости. На рис. 2 представлена диаграмма пакетов системы.

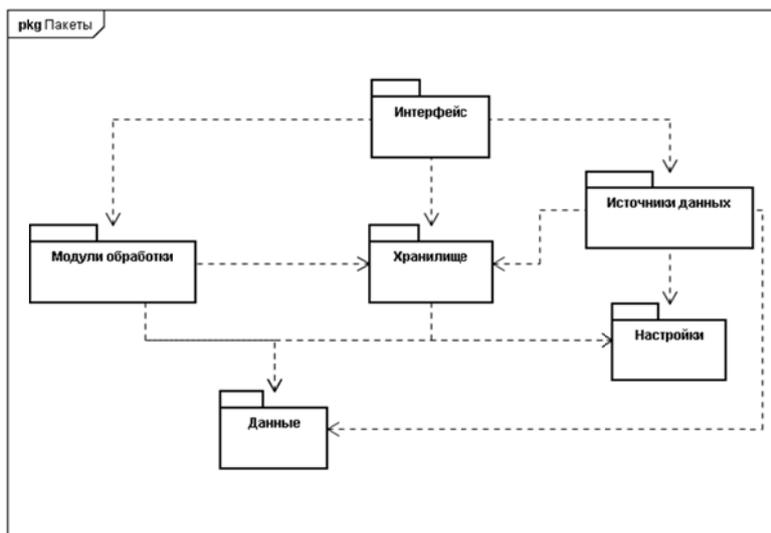


Рис.2. Иерархия пакетов разрабатываемой системы

Объектно-ориентированный дизайн системы требует тщательного рассмотрения каждого элемента системы, но в данной работе рассмотрена только система обработки видеопоследовательности, так как она необходима для понимания особенности разработанных алгоритмов обработки изображений. В качестве языка программирования был выбран C++. Для сохранения возможности компиляции и запуска на разных платформах в качестве библиотеки пользовательского интерфейса была выбрана библиотека Qt.

На рис. 3 изображена диаграмма пакетов подсистемы трассировки животного по последовательности изображений. Пакет «оценка фона» содержит алгоритмы выделения животного на изображении и интерфейсы,

необходимые для эффективного повторного использования данных алгоритмов в различных приложениях. «Обнаружение» содержит классы для работы с бинарными изображениями, среди которых класс для маркировки бинарных изображений, класс для удаления шумов, а также класс для вычисления моментов. Пакет «Трассировка» предоставляет инструменты траекторной классификации объектов при одновременной трассировке нескольких животных в тесте принудительного плавания. Предложенный дизайн системы позволяет изменять методы, используемые на каждом из трех этапов трассировки, без вмешательств в работу других алгоритмов. Это делает архитектуру удобной для автоматизации тестов ОП, ПП и ПКЛ, так как для автоматизации данных тестов различия между программами заключаются в функциях трассировки и методах обнаружения объектов.

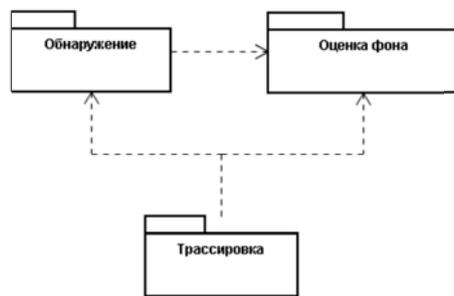


Рис.3. Диаграмма пакетов дизайна подсистемы трассировки

Четвертая глава посвящена алгоритмам обработки изображений, используемых в программном обеспечении. Задача построения системы трассировки животных состоит из множества более мелких задач, разбитых в соответствии с предложенной в предыдущей главе архитектурой программного обеспечения. Предварительно осуществляется выбор зоны наблюдения, которая задается вручную экспериментатором с помощью пользовательского интерфейса либо специально разработанных алгоритмов. Итогом выбора поля наблюдения служит бинарная маска размером с изображение, на которой ненулевые элементы соответствуют пикселям, принадлежащим объекту. Затем для каждого полученного кадра вычисляется порог бинаризации по поступившему изображению с учетом маски зоны наблюдения. Если порог бинаризации задан, то проводится простое разделение на объект – фон. На полученном изображении алгоритмом маркировки ищутся связанные компоненты и передаются в программу трассировки, которая их фильтрует и сопоставляет с предыдущими кадрами. Трассировка необходима при наблюдении за более чем одним животным на изображении. Далее в соответствии с оцененными параметрами происходит визуализация. При необходимости дополнительно происходит построение выборочной карты плотности вероятности нахождения животного или вычисляется разность силуэтов для оценки активности в тесте принудительного плавания.

В пятой главе предложены и обоснованы новые модели для оценки поведения в тестах ОП, ПП и ПКЛ. В начале главы даны базовые обозначения, относящиеся к оценке поведения животных по последовательности изображений, необходимые для понимания дальнейшего изложения.

Пусть имеется последовательность двуградационных (бинаризованных) изображений арены с находящимся на ней животным, построенная по порогу Θ , который максимальным образом дискриминирует пиксели, ассоциированные с телом животного, от таковых, ассоциированных с ареной:

$$B(\Theta, x, y, t) = \begin{cases} 1 \in obj \\ 0 - иначе \end{cases},$$

где Θ - порог бинаризации, x и y – координаты пикселя в момент времени t . Размер и координаты изображения животного определены для каждого изображения по формулам:

$$\begin{aligned} s(B, t) &= \sum_y \sum_x B(\Theta, x, y, t), \\ x(B, t) &= \frac{1}{s(B)} \sum_y \sum_x x B(\Theta, x, y, t), \\ y(B, t) &= \frac{1}{s(B)} \sum_y \sum_x y B(\Theta, x, y, t). \end{aligned}$$

Измерение пространственного предпочтения

В работе приводятся обоснование и экспериментальная верификация нового конструктивного критерия для автоматической оценки пространственного предпочтения животного в тестах ОП и ПКЛ. Критерий основан на функции оценки плотности вероятности пространственного распределения пикселей, ассоциированных с животным:

$$\Pi(\Theta, x, y) = \sum_{t=0}^T B(\Theta, x, y, t),$$

где T – общее время эксперимента.

Данная функция описывает пространственное распределение местонахождения животного на арене в виде карты, состоящей из сумм пикселей, ассоциированных с животным в каждом кадре, за время наблюдения (рис. 4).

Оценка плотности вероятности $p(x, y)$ для пикселя с координатами x и y можно вычислить как значение функции $\Pi(\Theta, x, y)$, нормированной на сумму по всей арене:

$$p(x, y) = \Pi(\Theta, x, y) / \sum_y \sum_x \Pi(\Theta, x, y).$$

Вероятность $P(d)$ нахождения пикселей изображения животного в произвольной области d

$$P(d) = \sum \sum_{y,x \in d} p(x, y),$$

служит мерой предпочтения данной области животным.

В существующей литературе пространственное предпочтение определенной области (обычно центр арены) вычисляется через центр масс животного как количество заходов и время пребывания в определенной области. Поэтому возникла задача сопоставления данных подходов для

подтверждения допустимости метода, основанного на плотности вероятности. Для этой цели координаты центра масс изображений животного и карта плотности вероятности были переведены в сферическую систему координат с началом в центре арены и проинтегрированы по углу. Полученные распределения были нормированы и сравнивались по критерию Колмогорова-Смирнова.

Было показано, что при выборках с размером классов, равным 5 пикселям, критерий согласия Колмогорова-Смирнова подтверждает гипотезу о схожести данных распределений.

Были проведены эксперименты, подтверждающие применимость данного критерия к оценке пространственного предпочтения в тестах ОП и ПКЛ.

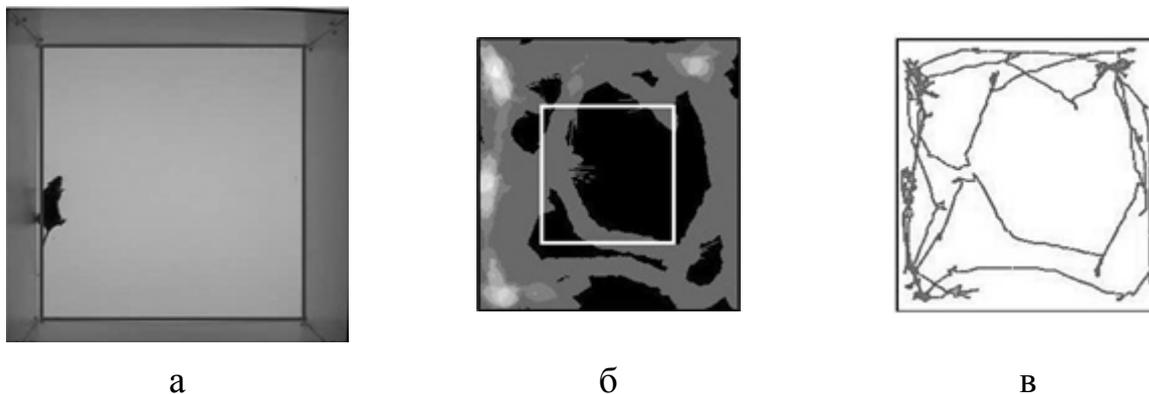


Рис. 4. Фото арены открытого поля (а), карта плотности (б) и трассировка пути мыши (в)

Измерение активности животного в тесте принудительного плавания

Оценка активности животного в тесте ПП долгое время основывалась на оценке скорости животного, но данный показатель неверен, так как он регистрировал высокую оценку активности животного при пассивном дрейфе и низкую при активных попытках выбраться из сосуда.

Исследование изменения силуэта животного позволяет устранить эти недостатки.

Для заданной области d степень изменения силуэта объекта по последовательности бинарных изображений в моменты времени $t1$ и $t2$ может быть оценена как

$$I(\theta, t1, t2) = \sum \sum_{j,i \in d} B(\theta, j + x(B, t1) - x(B, t2), i + y(B, t1) - y(B, t2), t1) \otimes B(\theta, j, i, t2),$$

где \otimes - исключающее «или».

Подвижность животного автоматически оценивалась по изменению силуэта. Для сравнения была проведена ручная регистрация неподвижности:

эксперт удерживал нажатой клавишу клавиатуры в момент неподвижности животного.

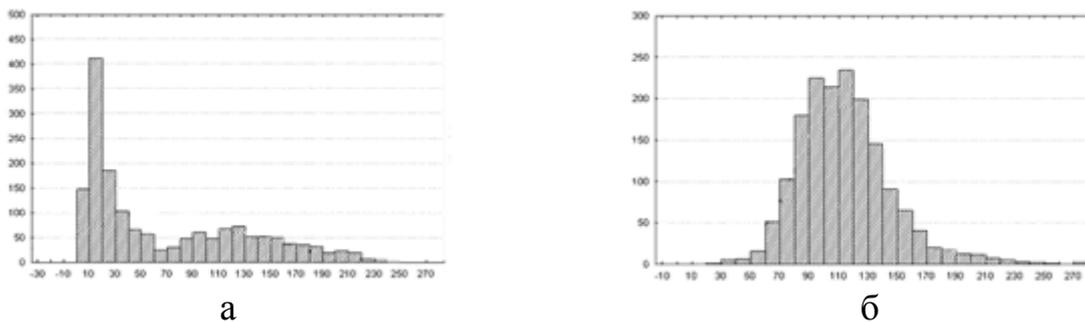


Рис. 5. Возможные распределения значений межкадровой разности: бимодальное распределение (а), унимодальное распределение (б)

Распределение площади изменения силуэта каждого бинарного изображения анализировалось с помощью метода максимального правдоподобия, исходя из предположения, что данное распределение может состоять из двух гауссовых распределений (рис. 5, а, б). В большинстве случаев первая мода распределения активности животного соответствует состоянию относительной неподвижности. Полученные параметры распределений использовались при построении байесовского классификатора.

Было проведено сравнение данных, полученных предложенным методом и методом с заданной скоростью относительно эталонных данных, зарегистрированных вручную. В итоге получена средняя оценка вероятности ошибки: 0,248 – предложенным методом и 0,501 – методом с заданным порогом скорости центра масс.

Оценка пройденного животным пути

По полученной траектории движения животного можно вычислить пройденный путь. Существующие методы вычисления пути по траектории основываются на использовании координат центра масс животного. Однако при таком подходе возникают проблемы, связанные с завышением двигательной активности за счет движений отдельных частей тела животного, изменяющих координаты центра масс.

Активность животных в тесте открытого поля делится на два класса: исследовательскую активность (когда животное пытается найти выход с арены) и небольшие перемещения на одном месте (будем называть данное состояние покоем).

Для описания перехода животного из одного класса активности в другой использовалась марковская цепь из двух состояний. Исходя из данной модели, можно утверждать, что путь L , пройденный животным за время эксперимента, будет равен суммарному пути, пройденному животным в активном состоянии:

$$L = \sum_{i=1}^N \begin{cases} \sqrt{(dx_i^2 + dy_i^2)}, & \mathbf{data}_i \in A, \\ 0, & \mathbf{data}_i \in P \end{cases},$$

где A – активное состояние, P – состояние покоя, \mathbf{data}_i – вектор данных, описывающий состояние животного в момент времени i .

Предложенные рекуррентные соотношения для математической модели движения животного позволяют получать значения параметров модели в следующий момент времени исходя из предыдущего значения и вектора, описывающего поведение объекта в текущем состоянии. Они использовались для моделирования.

Для классификации в соответствии с моделью выбран вектор $\mathbf{p}(|V|, \theta', ds)$ со следующими независимыми параметрами: $|V|$ – модуль вектора скорости биологического объекта, θ' – производная угла главной оси эллипса, ds – производная площади бинаризованного изображения животного. Данный вектор более устойчивый к шумам, чем использованный для определения неподвижности в тесте ПП параметр изменения силуэта I . При классификации полученного пространства использовался алгоритм k-means, так как вычисление максимума функции правдоподобия в трехмерном пространстве занимает намного больше времени.

Оценки среднеквадратичного отклонения (СКО) классификации точек траектории объекта по известным данным, полученные путем моделирования, приведены на рис. 6. Первый столбец соответствует СКО предложенного метода, основанного на алгоритме k-means. Второй столбец – СКО оценки суммарного пути, пройденного животным в обоих состояниях, от эталонных данных. Третий – оценка по сглаженному пути, который аналогичен морфологическим операциям над силуэтом животного. Подробнее следует рассмотреть метод сглаживания траектории окном определенного радиуса. Основная идея этого метода заключается в суммировании изменений векторов координат объекта, пока модуль полученного вектора не будет превышать заданный радиус. Затем его значение суммируется с величиной пути.

Тестирование данного метода проводилось с окном радиусами 1, 10, 40 элементов изображения (СКО – четвертый, пятый и шестой столбцы соответственно). Видно, что предложенная методика оценки пути в контексте данной модели дает наилучшие результаты. По полученным данным (рис. 6) предложенный метод дает СКО в 5 раз меньше, чем наилучший из конкурентных методов на модельных данных.

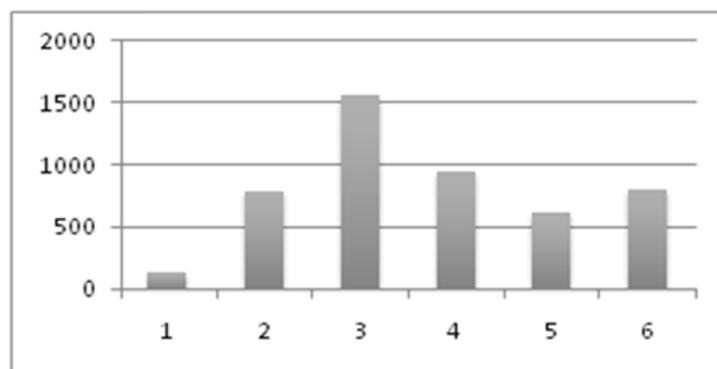


Рис.6. Среднеквадратичное отклонение от модельных данных, полученных в 100 разных симуляциях с различными параметрами

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

1. Предложен и обоснован новый метод оценки пространственного предпочтения животного в тестах ОП и ПКЛ, который позволяет оценить предпочтение животного с учетом положения мелких деталей его тела.
2. Разработан способ оценки пройденного пути животным в тестах ОП и ПКЛ, основанный на двухфазной модели движения животного. Сравнение на модельных данных с другими алгоритмами показало уменьшение среднеквадратичного отклонения в 5 раз.
3. Предложен метод оценки поведения в тесте ПП, использующий распределение изменения силуэта животного, который в 2 раза уменьшает СКО от данных полученных экспертом, чем алгоритм, использующий оценку скорости центра масс объекта.
4. Создан стенд с инвертированным освещением, повышающий качество видеоданных, контрастность и исключающий фиксацию ложных контуров.
5. Разработаны алгоритмы нахождения границ поля наблюдения, определения порога бинаризации, идентификации объектов наблюдения, трассировки, построения карты плотности вероятности и измерения активности по последовательности изображений.
6. Реализовано программное обеспечение, позволяющее автоматически обрабатывать и анализировать видеоданные для тестов ОП, ПКЛ и ПП и других этологических экспериментов.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Куликов В. А., Киричук В. С., Тихонова М. А., Куликов А. В. Использование плотности вероятности для автоматизации измерения пространственного предпочтения в этологическом эксперименте // Доклады Академии наук, 2007, т. 417, № 2. С. 279-282.
2. Куликов В.А. Автоматизация измерения «депрессивности» лабораторных животных в тесте принудительного плавания // Тезисы VIII Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (Новосибирск, 27-29 ноября 2007). Институт вычислительных технологий СО РАН, 2007. С. 55.
3. Куликов В.А., Куликов А.В. Пат. 70 105 РФ. Устройство для трассировки перемещения лабораторных животных. 2008, Бюл. № 2. С. 965.
4. Куликов А.В., Куликов В.А, Базовкина Д.В. Цифровая обработка визуальной информации в поведенческом эксперименте //Журнал Высшей нервной деятельности, 2005, т. 55, № 1. С. 126-132.
5. Куликов В.А. Интегрированная система для автоматизации этологических экспериментов. // Тезисы докладов конференции-конкурса «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» (Новосибирск, НГУ, 1–2 марта 2008 г.). Бердск, Центр оперативной печати «Оригинал-2», 2008. С. 15-16.
6. V.A. Kulikov Modeling and analysis of biological object velocity using image sequence from ethological test on motion activity // Materials 9th international conference on pattern recognition and image analysis: new information technologies. (Nizhni Novgorod, September 14-20, 2008) Издательство «Диалог Культур», 2008, v. 1, pg. 372-374.
7. Куликов В.А., Куликов А.В., Тихонова М.А., Киричук В.С. Автоматизация измерений действия антидепрессантов в тесте принудительного плавания // Автометрия, 2009, т. 45, № 6. С. 46-51.
8. Куликов В.А. Программа для регистрации и анализа поведения животных в лабораторном эксперименте (Этостудия) // The tool for registration and analysis of animal behavior in laboratory test (EthoStudio) № 2008610447. Дата подачи заявления 3 октября 2007 г. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 23 января 2008 г.
9. Куликов В.А., Иванов В.А., Киричук В.С. Моделирование и анализ движения биологических объектов по последовательности изображений, полученных при исследовании двигательной активности // Автометрия, 2010, т. 46, № 1. С. 79-85.

Куликов Виктор Александрович

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕДЕНИЯ ЖИВОТНЫХ В
ЭТОЛОГИЧЕСКИХ ТЕСТАХ ПО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Автореф. дисс. на соискание учёной степени кандидата технических наук.

Подписано в печать 10.11.2010. Заказ №92. Формат 60x84/16. Усл. печ.л. 1. Тираж 100 экз.

Отпечатано на полиграфическом участке Института катализа СО РАН
630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 5