

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Российский университет транспорта»**

На правах рукописи

Багутдинов Равиль Анатольевич

**АГРЕГИРОВАНИЕ И КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ РАЗНОРОДНОЙ
ИНФОРМАЦИИ В МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ ЭКСПЕРТНЫХ
СИСТЕМАХ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации

**Автореферат
Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Сочи - 2020

Научный руководитель: к.т.н, доцент **Белецкий Андрей Валерьевич**

Официальные оппоненты: **ФИО**

ФИО

Ведущая организация:

Защита состоится «__» июня 20__ г. в __ часов __ минут на заседании диссертационного совета

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке

Автореферат разослан «__» _____ 20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,

Актуальность работы. Разработка мультисенсорных систем, их конструкция и технические возможности усложняются с каждым годом, в результате чего требуется решение задач оптимизации, быстродействия и точности воспринимаемой информации, ее полноты и достоверности. Возникает необходимость проработки сценариев действий роботов с множеством датчиков различного назначения и очувствления, объединенных в единую целостную мультисенсорную систему, необходимую для получения полноценной информации и дальнейшего эффективного использования. Все это указывает на необходимость решения актуальной задачи разработки новых подходов, методов, алгоритмов и систем программной и аппаратной части роботов, модернизации управления, мониторинга и обработки разнородных данных.

До 1988 года термин «мультисенсорные системы» в своей нынешней интерпретации почти не встречался, одно из первых упоминаний такого термина согласно поисковой системе Google Scholar относится к международному симпозиуму ИФАК (Международной федерацией по автоматическому управлению) по управлению роботами (СИРОКО-88), который состоялся в октябре 1988 г. в г. Карлсруэ (Германия). Это был второй симпозиум, посвященный рассмотрению проблем управления роботами (первый был организован в 1985 г. в Барселона (Испания)). О России в симпозиуме Карлсруэ заслушивалось всего два доклада. Теме мультисенсорной системы роботов были тогда посвящены доклады Р. Дилмана (Германия), в работе которого были рассмотрены общие концепции обучения автономных робототехнических систем, оснащенных средствами очувствления; И. Троха и П. Копачека (Австрия), в работе рассматривались проблемы ориентации роботов в пространстве с использованием различных сенсоров; Е. Пуэнте и др. (Испания), в работе которых была описана интегрированная мультисенсорная система, включающая силомоментные, тактильные, дистанционные сенсоры и систему технического зрения; Я. Рашковский, К. Миттенблюхер и К. Фохлер (Германия), которые предложили метод моделирования систем технического зрения для промышленного робота. Работы российских ученых А. Петровой и И. Сироты были посвящены неэвристическим алгоритмам планирования траектории для мобильных роботов с использованием локальной информации. Значительный вклад в исследовании методов, средств разработки мультисенсорных систем внесли как российские, так и зарубежные ученые: Кругленко И.В., Снопков Б.А., Ширшов Ю. М., Венгер Е.Ф., Власов Ю. Г., Ермоленко Ю. Е., Хорсов П.Н., Легин А.В., Мурзина, Колчин М.А., Сидельников А.В., Ю. Г. Каляев И.А., Котов В. Н., Кливдухов В. Г., Севастьянов Е. Ю., Замятин Н. В., Рудницкая А.М., Кисин В.В., Сысоев В.В., Ворошилов С.А., Кирсанов Д.О., Польшин Е.Н., D. Patranabis, Tsahi Gozani, Patrik M. Shea, Z. P. Sawa, Bamberg S.J., Corder K., Dalpote M., Deng Z.-L., Smith D., Lin J., Gao T. и другие.

Разработка мультисенсорных систем роботов и обработки их данных довольно сложны, имеют массу проблем, не только с точки зрения

теоретического обоснования и практической реализации, но и экономических затрат, сложной системой программирования.

Сенсоры (датчики) необходимы для того, чтобы роботы могли получать информацию, как о состоянии своей системы, так и о пространстве, в котором они находятся. На данный момент существует огромное количество датчиков, предназначенных для широкого круга задач, от замеров физических величин (температуры, тока, напряжения, светового потока, радиоактивных и магнитных полей, акустики, газоанализаторов и других) до систем технического зрения. Причем большинство из них работают на совершенно различных физических принципах, определяющих соответствующий диапазон условий, в которых может быть выполнено требуемое количество и качество измерений.

Проблема исследования, таким образом, заключается в необходимости агрегирования и комплексирования информации в мультисенсорных экспертных системах, которые бы позволяли получить максимально ценную информацию из данных мультисенсорной системы робота. При этом характерной особенностью является не только рост объема данных, но и увеличение их неоднородности, отсутствие четкой структуры данных, имеющих различные типы и источники происхождения.

Цель работы: агрегирование и комплексирование информации в мультисенсорных экспертных системах.

Для достижения поставленной цели и получения соответствующего результата, необходимо решение следующих задач:

1. Проанализировать современное состояние в сфере исследований технического зрения мультисенсорных систем, выявить недостатки современных мультисенсорных систем и предложить методы их решения;
2. Произвести анализ существующих методов и средств мультисенсорных систем с использованием систем технического зрения.
3. Выполнить расчет оптического потока с использованием двумерного подхода, отличающейся от традиционного применением методов динамики движения частиц.
4. Определить оптический поток в среде Unity3D на C#, с целью предпосылок организации разработок обучающихся тренажеров по использованию мультисенсорных систем.
5. Создать классификацию существующих методов, задач и данных мультисенсорных систем, преимуществом которой является рассмотрение и учет разнообразных научных областей и направлений.
6. Реализовать классификационную характеристику разнородных данных мультисенсорной системы, отличительной чертой которой является применение её к различным областям науки и техники.
7. Разработать информационную модель выбора методов обработки разнородных данных мультисенсорной системы.

8. Составить алгоритмы обработки разнородных данных для мультисенсорной системы.
9. Осуществить математическое обоснование выбора методов обработки данных в зависимости от типа данных и класса задач.
10. Сформировать базу знаний и базу данных, способствующих унифицированной организации агрегирования и комплексирования информации в мультисенсорных экспертных системах.

Объектом исследования является визуализация, трансформация и анализ информации в процессе агрегирования и комплексирования информации в мультисенсорных экспертных системах.

Предметом исследования является агрегирование и комплексирование информации в мультисенсорных экспертных системах.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Предложен алгоритм расчета для задачи моделирования оптического потока, отличающийся от традиционного применением методов динамики движения частиц, что позволяет фиксировать мельчайшие движения в кадре в режиме реального времени.

2. Создана классификация существующих методов, задач и данных с учетом специфики разработки мультисенсорных экспертных систем, оперирующих разнородными и разномасштабными данными, отличительной чертой которой является применение её к различным областям науки и техники.

3. Реализована классификационная характеристика данных, упрощающая выполнение обработки разнородных данных.

4. Разработана информационная модель зависимости разнородных данных от методов и задач обработки данных с учетом специфики мультисенсорных систем роботов, которая позволяет выявить неявные связи между данными и решать качественно иные типы задач.

5. Предлагается унифицированная организация агрегирования и комплексирования информации в мультисенсорных экспертных системах.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач в работе использованы методы: системного анализа, теории управления, методы теории восприятия, преобразования Фурье, метод наименьших квадратов, метод многокритериального анализа, теория цифровой фильтрации сигналов, компьютерной графики, искусственного интеллекта, объектно-ориентированного проектирования. Организована интегрированная работа и доступ к данным на основе библиотек технического зрения OpenCV, EmguCV, баз данных на основе SQL-server и языка программирования C#.

Надежность и обоснованность теоретических и практических результатов и соответствующих выводов, полученных в работе, обеспечиваются строгостью математических расчетов, интегральным и дифференциальным исчислениями, теорией вероятности и математической статистики. Действительность выводов об эффективности предлагаемой

системы подтверждается соответствующим статистическим моделированием, экспериментальной и методической интерпретацией реальных результатов. Верификация модели и алгоритмов проводилась экспериментально, с применением разработанной мультисенсорной системы на базе языка программирования С#.

Теоретическая значимость работы заключается в подробном описании научно-исследовательских оснований разработки унифицированной организации агрегирования и комплексирования информации в мультисенсорных экспертных системах, новых подходов к решению проблем обработки разнородных и разномасштабных данных, симуляции системы технического зрения робота на основе принципа вычисления оптического потока.

Практическая значимость работы полученных в работе результатов заключается в том, что агрегирование и комплексирование информации в мультисенсорных экспертных система позволяет упростить создание и сопровождение мультисенсорных экспертных систем, в том числе на основе систем технического зрения. Созданы алгоритмы и модель зависимости типа данных, методов и класса задач обработки разнородных данных. На основе предложенной организации могут быть реализованы профессиональные мультисенсорные экспертные системы, симуляторы, компьютерные обучающие тренажеры, виртуальные лаборатории. Создана единая мультисенсорная экспертная система, которую можно использовать как при проектировании и отладке, так и уже исправленные модели при создании новых алгоритмов управления. Данная разработка также могут использоваться при моделировании ситуаций, требующих быстрого реагирования, таких как: внедрение предотвращения несчастных случаев, моделирование эвакуации людей из зданий в чрезвычайных ситуациях, моделирование ситуаций при террористических атаках.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Алгоритм расчета для задачи моделирования оптического потока на основе динамики движения частиц (соответствует паспорту специальности 05.13.01 п.12 - Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации).

2. Классификация методов, задач и данных с учетом специфики разработки мультисенсорных системы роботов, оперирующих разнородными и разномасштабными данными. (соответствует паспорту специальности 05.13.01 п.3 - Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации)

3. Классификационная характеристика данных, упрощающая выполнение обработки разнородных данных. (соответствует паспорту специальности 05.13.01 п.3 - Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации).

4. Математическое обоснование выбора методов обработки информации (соответствует паспорту специальности 05.13.01 п.5 - Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации и п.6 - Методы идентификации систем управления на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации).

5. Информационная модель зависимости разнородных данных от методов и задач обработки данных с учетом специфики мультисенсорных систем. (соответствует паспорту специальности 05.13.01 п.4 - Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации).

6. Организация сбора, обработки и комплексирования информации в мультисенсорных экспертных системах (соответствует паспорту специальности 05.13.01 п.13 Методы получения, анализа и обработки экспертной информации и п.8 - Теоретико-множественный и теоретико-информационный анализ сложных систем).

Апробация результатов работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на следующих международных и российских конференциях и семинарах:

1. XIII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии», от 13.11.2015. г. Томск
2. IV Международная научно-практическая конференция «Фундаментальная и прикладные научные исследования: Актуальные вопросы, достижения и инновации», 25-27.03.2017. г. Пенза.
3. Международная научно-практическая конференция «Наукоёмкие технологии и интеллектуальные системы», с 10-12.09.2017. г. Омск.
4. XV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии», с 04-07.12.2017. г. Томск
5. XVI Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии», с 03-07.12.2018. г. Томск

Личный вклад автора. Классификация данных, методов и задач, обзор методов, алгоритмов и подходов к обработке разнородных данных, зависимость разнородных данных от методов и задач обработки данных с учетом специфики мультисенсорных систем роботов, математическое обоснование, разработка модуля изъятия разнородных данных и программного средства обработки разнородных данных, а также формирование базы данных и результаты экспериментов получены лично автором

Опубликовано 33 научных работ, которые отображены в научной электронной библиотеке Elibrary, из них по теме диссертационной работы 10 научных статей в журналах, в том числе 6 статей в журналах, входящих в

перечень ВАК, 13 тезиса докладов. Индекс Хирша цитирования по всем публикациям в Elibrary = 7.

Внедрение результатов. Методическое описание по работе с данным программным обеспечением были внедрены в образовательный процесс ОГБПОУ «ТКСТ», ПОО ЧУ «АДК» и ОГБПОУ «ТомИнТех» для проведения лабораторных работ и факультативных занятий по робототехнике в рамках специальностей: 10.02.01 «Организация и технология защиты информации», 10.02.04 «Обеспечение информационной безопасности телекоммуникационных систем», 09.02.06 «Сетевое и системное администрирование». Внедренный программный продукт позволил сформировать ключевые компетенции по робототехнике и приобщению студентов к грамотному и обоснованному решению проблем, возникающих в производственной деятельности, что в свою очередь повысило интерес студентов к избранной профессии.

Научные и практические результаты диссертации используются в коммерческой деятельности ООО «Томская коллегия юристов «Мисс Марпл» и их партнеров. Авторская разработка используется при фиксации минимальных движений в кадрах видеосъемки в реальном времени, способные нести информацию о фактических обстоятельствах, имеющих значение для экспертной оценки в качестве доказательств в совершении преступлений.

Получено 4 акта о внедрении разработанной программной системы об использовании результатов.

Разработаны программные продукты:

1. Модуль изъятия разнородных данных с мультисенсорной системы мобильного робота;
2. Программное средство обработки разнородных данных мультисенсорной системы мобильного робота SimHDP.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 182 страницах машинописного текста, содержит 10 таблиц, 53 рисунка, список литературы из 150 наименований.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность работы в данном научном направлении, формулируются цель и задачи исследования, приводится краткое содержание работы по главам.

В первой главе проанализированы цели и задачи исследования, проведен обзор и анализ литературных источников по теме исследования, методов и алгоритмов, связанных с агрегированием (организацией сбора, обработки) и комплексирования информации в мультисенсорных экспертных системах.

Указывается, что для того чтобы учесть все факторы внешнего воздействия на функциональность мультисенсорной системы в

робототехнике, необходимо обеспечить качественную возможность восприятия окружающего пространства. Для этого требуется установка и модернизация мультисенсорной системы различными датчиками, которые образуют искусственные ощущения робота по аналогии с чувствами человека. Выбор этих датчиков напрямую зависит от конкретных практических задач.

При этом важнейшим и неотъемлемым элементов любого робота является именно системы технического зрения (СТЗ), т.к. они позволяют роботу воспринимать информацию об окружающем пространстве, могут иметь функции обработки и анализа изображений в автоматическом режиме для последующего выполнения команд управления роботом.

Проведен обзор существующих методов получения с помощью СТЗ исходных данных, необходимых для управления роботами.

Существует достаточно большое множество методов и алгоритмов СТЗ, тем не менее, самыми актуальными являются методы фиксации движения в кадрах за счет вычисления разности между кадрами (оптический поток).

В отличие от стандартных подходов, в данной задаче оптический поток рассматривался в виде потока частиц. В качестве расчетов была обозначена область с условными размерами L_x и L_y . Алгоритм расчета основан на методе установления (развивающегося во времени процесса) путем решения задачи (1.1) с целью получения стационарного распределения. На каждом шаге по времени уравнение для потенциала решается до установления при заданном распределении концентрации частиц.

$$\frac{\partial n}{\partial t} + u \frac{\partial n}{\partial x} + v \frac{\partial n}{\partial y} = 0 \quad (1.1)$$

здесь n – концентрация, u и v – компоненты скорости перемещения (скорость изменения оптического потока по соответствующим координатам).

В качестве примера ставилась задача определения распределения векторного поля и концентрации частиц яркости света. Необходимое векторное поле частиц потенциально, и было представлено как градиент некоторого потенциала φ . Для введенного потенциала ставилась краевая задача, которая решалась с помощью уравнения Лапласа:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \quad (1.2)$$

Каждый вектор задан для каждого пикселя изображения. Начальное граничное условие для потенциала на границах устанавливалось равным нулю. Для решения задачи использовалось разложение потенциала в ряд Фурье, которое получается из аналитического решения задачи о распределении потенциала векторного поля:

$$\frac{\varphi_{i-1,j} - 2\varphi_{i,j} + \varphi_{i+1,j}}{L_x^2} + \frac{\varphi_{i,j-1} - 2\varphi_{i,j} + \varphi_{i,j+1}}{L_y^2} = 0 \quad (1.3)$$

Решая методом разделения переменных, получено представление искомой функции в полярных координатах:

$$\varphi = V + \sum_{i=0}^{\infty} C_i r^{\left(\frac{1}{2}+i\right)} \sin\left(\frac{1}{2}+i\right)\omega, \quad (1.4)$$

где коэффициенты ряда определяются по общему правилу как коэффициенты ряда Фурье.

Расчетная область представляет собой прямоугольную сетку с постоянным шагом h ($h_x=l_x/(n_x-1)$, $h_y=l_y/(n_y-1)$). Расчет производился на сетках 32x32, 64x64, 80x80, что позволило определить влияние сгущения узлов сетки на точность определения векторного поля оптического потока. Дифференциальное уравнение аппроксимировалось общепринятой центральной разностной схемой типа «крест», и его решение определяется итерационным методом Гаусса-Зейделя. На границах задавались параметры решения уравнения Лапласа. При расчете концентрации использовался метод Лакса, который имеет второй порядок и имеет характер сглаживания. Расчетное время также определялось двумя компонентами:

$$\Delta t(x) = \frac{0.85 \cdot h_x}{u_{\max}} \quad \Delta t(y) = \frac{0.85 \cdot h_y}{v_{\max}} \dots \dots \dots (1.5)$$

Расчеты проходили в несколько этапов: загрузка изображения; определение методом Гаусса-Зейделя значений функции в расчетной области; вычисления значений потенциала; вычисление времени, скоростей и концентрации распространения частиц в расчетной области; вычисление коэффициентов разложения C_1, C_2 ; вычисление значений векторов, построение векторного поля. В качестве результата работы приведены рисунки, на которых найдены вектора смещений в изображении (рис. 1.1).

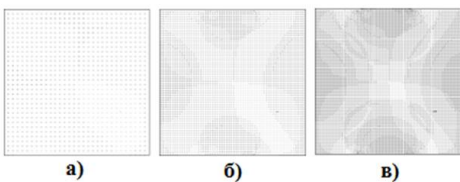
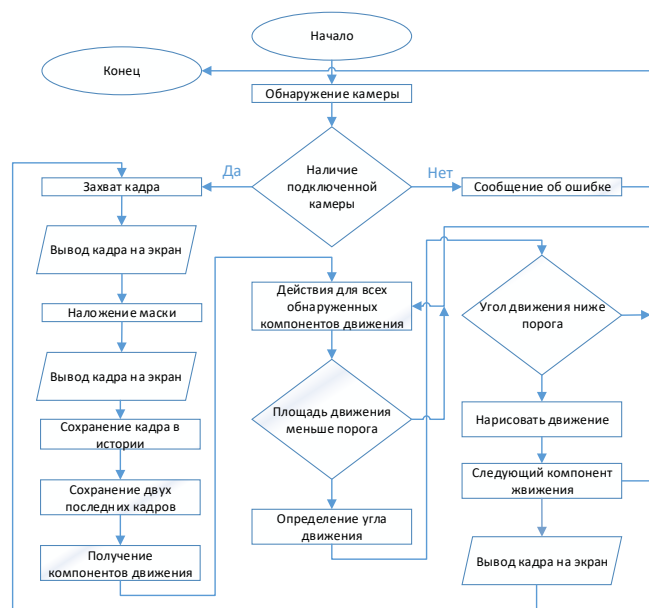


Рис.1.1 Пример изображения «лист клевера»: а) - в сетке 32x32, б) - в сетке 64x64, в) - в сетке 80x80.

Среднее время расчетов при использовании данного метода составляет 4,116 с. по сравнению со стандартным методом расчета на тех же сетках в 6,242 с. Преимущества работы с использованием данного метода значительно увеличивает скорость обработки изображений и не требует большого количество памяти.

Далее для ускорения вычислений и оптимизации процесса обработки изображений применялась библиотека EmguCV. Программа писалась на базе языка C# в среде Unity3D.

В данной задаче расчет оптического потока основывается на вычислении значения и направления смещения отдельно взятых точек на изображении в двух кадрах, которые получаем из видеопотока с установленной камеры в режиме реального времени.



Авторский алгоритм приведен на рисунке 1.2.

Рисунок 1.2. Алгоритм реализованной программы для определения оптического потока.

В качестве результата работы приведены рисунки (Рисунок 1.3 а,б,с).

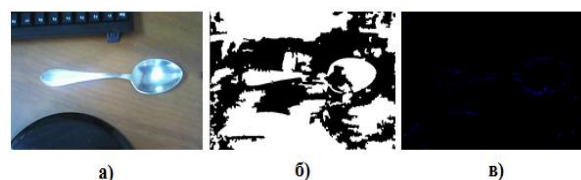


Рисунок 1.3. Результаты проведенного эксперимента: а) -

исходное изображение; б) - исходное изображение с наложением маски; в) - изображение оптического потока.

В отличие от традиционных методов расчета, рассматривалась задача интегрированной работы модуля технического зрения по определению оптического потока в среде Unity3D. Преимущества работы с использованием данного метода значительно увеличивает скорость обработки изображений в среднем на 4,86 % в отличие от традиционных методов. В ходе проведения эксперимента, выяснилось, что точность обрисовки контуров объектов напрямую зависит от освещения объекта, чем лучше освещение, тем лучше качество получаемого изображения.

Результаты данной работы могут быть реализованы при проектировании робототехнических систем и использованы в различных сферах применения технического зрения.

Во второй главе приводится классификация методов и задач обработки разнородных данных мультисенсорной системы, а также классификационная характеристика данных.

Сейчас существует достаточно большое количество методов обработки данных и их модификаций. Описание и анализ применимости всех их, безусловно, сложная задача, и явно выходит за рамки данной работы. Сложность составляет постоянный рост количества модификаций и развития этих методов. Происходит постоянная корректировка процедур сбора и обработки данных в зависимости от конкретных требований и условий задач. Тем не менее, важность классификации существующих методов обработки данных относительно именно разработки новых мультисенсорной системы (МС), является актуальным. Существует множество классификаций и попытки упорядочивания методов обработки данных, но все они сконцентрированы в конкретной практической области науки и техники, нет унифицированных классификаций, которые бы позволили получить всю ясность картины обработки данных МС в любой области знаний в виду специфики неоднородности обрабатываемых данных.

В данном случае под классификацией будет подразумеваться систематизация элементов по категориям относительно определенных выдвигаемых критерий. Имея знания о том, какие практические задачи необходимо решать с помощью МС, можно вывести какие методы обработки для этого подходят и какие данные при этом должны поступать на вход МС, а данные в свою очередь можно свести к определенным группам или кластерам. Такая классификация позволит провести характеристику данных в отношении качественного анализа. Если в комплексе к классификации добавить математическое моделирование, то можно заключить построение различия между классами и принять решение о принадлежности данных к тому или другому классу, выявить границу применимости. С помощью такой границы каждый новый поток данных может быть сопоставлен конкретному классу.

Данные поступают с датчиков, проводится их первичная обработка, в соответствии с каждым набором данных выводится их классификационная характеристика, в соответствии с которой впоследствии предлагается наиболее подходящий метод или методы обработки данных, которые приводят к получению наиболее полной ценной информации обо всей совокупности разнородных данных. Более подробно весь процесс представлен в работе [5].

В третьей главе представлены условия и требования к организации сбора, обработки и комплексирования информации в мультисенсорных экспертных системах, алгоритм обработки информации мультисенсорной системы и математическое обоснование зависимости данных, методов и задач.

С увеличением большого объема разнородных данных, системы и методы лишь усложняются, этот путь необратим, но встает вопрос, а если ли вероятность другого пути решения, можно ли обработать большие разнородные данные другими способами. Поэтому возникает актуальная задача создания некой системы или методики, в которой тот или иной элемент можно заменять и порой найти неожиданные решения (не тривиальные). Но, это глобальная задача – пока не решаемая, для её решения требуется колоссальные ресурсы по времени, данным, людям. Исходя из выше сказанного, учитывая принцип модульности такой системы, планируется реализовать всего несколько модулей и показать сам общий принцип взаимодействия элементов, прописать соответствующие правила, требования, провести классификацию, предложить реализацию в одном-двух примерах.

На начальных этапах проектирования МС сложным является процесс изъятия данных, это связано с тем, что базы данных (БД) могут содержать неполную, нечеткую или противоречивую информацию. Помимо этого при решении разнотипных практических задач постоянно требуется модернизация существующих МС или покупка новых комплектов аппаратного обеспечения, или приобретение абсолютно новой МС, как следствие - большие расходы и самое главное время.

Здесь стоит выделить задачи поиска зависимостей и закономерностей в данных, построение моделей, правил объясняющих эти закономерности в той или иной степени – это без сомнения является перспективным подходом для решения указанной проблемы. Проблема заключается в том, какова зависимость и насколько лучше будет один метод от другого с учетом всех других параметров. Для решения этой проблемы возможно полное или частичное применение следующих математических методов: метод многокритериального ранжирования; метод стратификации картежей; метод Картежей Паретто; метод Борда.

В данном случае, для математического обоснования зависимости данных, методов и задач выбран метод многокритериального ранжирования, выбор обусловлен гибкостью этого метода применительно к различным классам задач.

Для подтверждения нахождения зависимостей в разнородных данных мультисенсорной системы поставлен эксперимент, в ходе которого проводились замеры концентрации диоксида азота и температуры газовой смеси. Выдвигалась следующая гипотеза: данные, полученные с газоанализатора, должны иметь линейную зависимость от распределения тепла, что следует из свойств газа, на физическое состояние которого прямо влияют его температурные показатели.

Разнородные и разномасштабные данные, полученные с газоанализатора, содержат информацию о составе газовой смеси различных газов, количество этих данных увеличивается с увеличением количества самих датчиков, в результате для рассмотренного эксперимента данные концентрации газов получены в каждой из десяти ключевых точек. В свою очередь данные, полученные с тепловизора, имеют графическую информацию и информацию о характере изменения температуры в ключевых точках.

На основе сравнения полученных экспериментальных данных предложен алгоритм определения тепловых потерь газа в газовой смеси произвольного состава в замкнутой области за счет теплопроводности и теплового излучения по данным датчиков температуры и концентрации. Ключевые значения данных с газоанализатора сравнивались с картинкой, полученной с тепловизора путем наложения изображений. Разработанный алгоритм использует потоки разнородной информации с двух синхронизированных по времени датчиков и позволяет сделать заключение о характеристиках анализируемого газа уже на основании статистического анализа в режиме реального времени. Такой алгоритм может быть использован также для определения неизвестного газа путем смешения с известным газом и мониторинга их температур и диффузии различными датчиками в составе мультисенсорной системы.

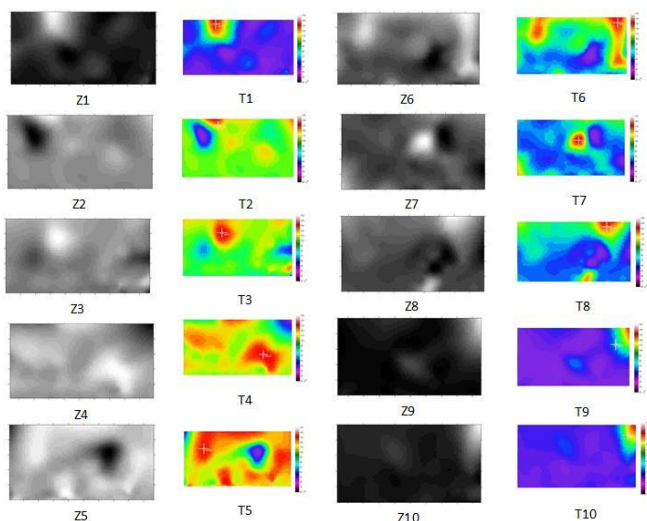


Рисунок 3.1 Сравнительный графический анализ (чёрно-белые изображения Z1-Z10 – по данным газоанализатора, цветные T1-T10 – по данным тепловизора).

По данным, полученным в ходе эксперимента выявлена прямая корреляция показаний датчиков температуры и концентрации, что свидетельствует о диффузионном процессе, близком к изотермическому, тепловые

потери равны 12% от исходного количества теплоты. Более подробно весь процесс представлен в работе [12].

Если результаты анализа показывают слабую корреляцию на уровне областей, т.е. возникает аномалия соотношения температуры и концентрации газа, то можно говорить о том, что в этих точках, вероятно, произошла утечка газа, изменились внешние условия среды или граничные условия. В этом случае можно в режиме реального времени, не дожидаясь критического увеличения концентрации газа и его распространения в комнате, оперативно определить пространственную локализацию источника, принять решения по её ликвидации и поднять тревогу.

Мультисенсорная система построена на базе чипа Atmega 2560, в системе установлены различные датчики, данные с которых считываются через авторский скетч, скрипт для передачи данных, программный комплекс с базой данных для автоматизации обработки разнородных данных.

Платформа Arduino с установленным чипсетом Atmega 2560 – представляет собой программируемую полноценную платформу для работы с широким спектром физических датчиков, поэтому выбор для реализации МС пал имеемо на это конструктивное решение. Помимо прочего платформа может быть использована для различного типа интерактивных систем мониторинга. Такие системы могут быть как самостоятельными, так и входит в кластер аналогичных систем, т.к. это предусмотрено не только на аппаратном, но и программном уровне (открытый исходный код), взаимодействие с системой может, происходит почти через любой компьютер с поддержкой Flash, Processing, MaxMSP. Язык программирования системы аналогичен платформе Wring и может использоваться совместно с языками семейства C, в том числе с C# (C Sharp). Аналогов платформы существует множество, среди них можно выделить средства Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Phidgets, MIT's

Nandyboard и другие, но в отличие от них система Arduino более адаптирована для начинающих исследователей и радиолюбителей.

К МСР подключены следующие датчики:

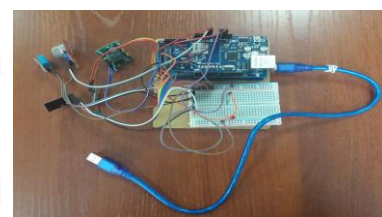
1. Фото-резистивный сенсор PhotoPin. Позволяет определять уровень освещения помещения (один поток данных).
2. Датчик газа и задымления MQ-2. Его принцип работы основан на выявлении углеводородов в воздухе (шесть потоков данных): MQ2 (общее содержание газовой смеси); Ratio (сопротивление датчика); LPG (Liquified Petroleum Gas) – сжиженный газ (пропан-бутан), получаемый обычно при добыче и переработке нефти; Methane (метан); Smoke (задымленность); Hydrogen (значение содержания водорода в воздухе).
3. Датчик влажности и температуры HDT11 (два потока данных)
4. Пирозлектрический датчик присутствия PIR (один поток данных).

Все данные газа нормируются по формату ppm, синхронизация датчиков происходит по времени. Все измерения проводились при комнатной температуре (20 ± 2 °C). Чувствительность сенсоров изучалась методом калибровки. Сама МС установлена на мобильном роботе Keystudio 4WD Bluetooth Multy functional Car (рисунок 3.2). Функциональность робота позволяет отслеживать линии для перемещения, обходить препятствия и столкновение, управлять движением за счет Bluetooth, а также проводить измерения расстояния за счет ультразвукового дальномера. Функциональные возможности робота были расширены за счет подключения дополнительных модулей, образующих МС, рассмотренную в данной работе.



Рисунок 3.2. Мобильный робот с установленной мультисенсорной системой.

Рисунок 3.3. Изображение мультисенсорной системы без подключения к роботу.



В рамках текущей работы проведена работа по алгоритмизации и методики проведения операций, основанных на изъятии данных из МС, приведение их в соответствующий необходимый формат и структуру, которые в свою очередь позволяют и дальше работать с этими данными.

По результатам проведенной работы получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Модуль изъятия разнородных данных с мультисенсорной системы мобильного робота».

В четвертой главе представлены результаты экспериментов для проверки организации сбора, обработки и комплексирования информации в мультисенсорных экспертных системах в робототехнике, приведена апробация результатов работы.

Если в обработке информации используются стандартные наиболее часто используемые методы обработки, то они подключаются из встроенных

библиотек, если нет, то происходит подключение соответствующих модулей, которые могут быть в дальнейшем доработаны и усовершенствованы.

Упрощенно всю схему зависимости обработки данных от методов и задач можно представить в виде схемы, изображенной на рисунке 4.1.

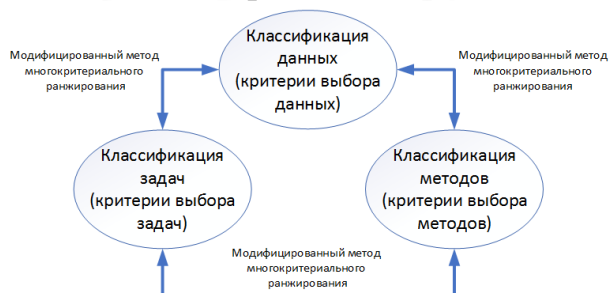


Рисунок 4.1. Упрощенная схема зависимости обработки данных, методов и задач.

В каждом блоке схемы зависимости обработки данных, методов и задач разработана соответствующая классификация и критерии выбора, в случае с данными

и методами разработана матрица знаний, которая согласно выставленным критериям позволяет быстро определить соответствие и зависимости типов данных от методов.

Согласно проведенным экспериментам и математической обработки метод многокритериального ранжирования показал, что наиболее подходящими при обработке информации являются методы нетрадиционной обработки («складной нож» (управление выборкой), Бреди Эфрона и Роберта Тибширани (доверительные интервалы, статистическая точность, ошибки), Бредли Эфрона и Гейл Гонга (доверительные интервалы)). Далее идут методы корреляционного, регрессионного и факторного анализа. Это объясняется также, что эти методы разрабатывались в основном для больших объемов. В них излагается перестройки структуры выборки и извлечения нее дополнительной за счет обработки различных частей.

Запись и чтение информации из базы данных идет не напрямую, а считывание и управляющие команды над самой установкой МС через скетч, так как база данных не поддерживает сообщения, которыми обмениваются датчики. Скетч и скрипт позволяют производить преобразования данных в структуру поддерживаемую базой данных и обратно. В базе данных предусмотрено обновление уже существующих данных или получения новых данных (рисунок 4.2).

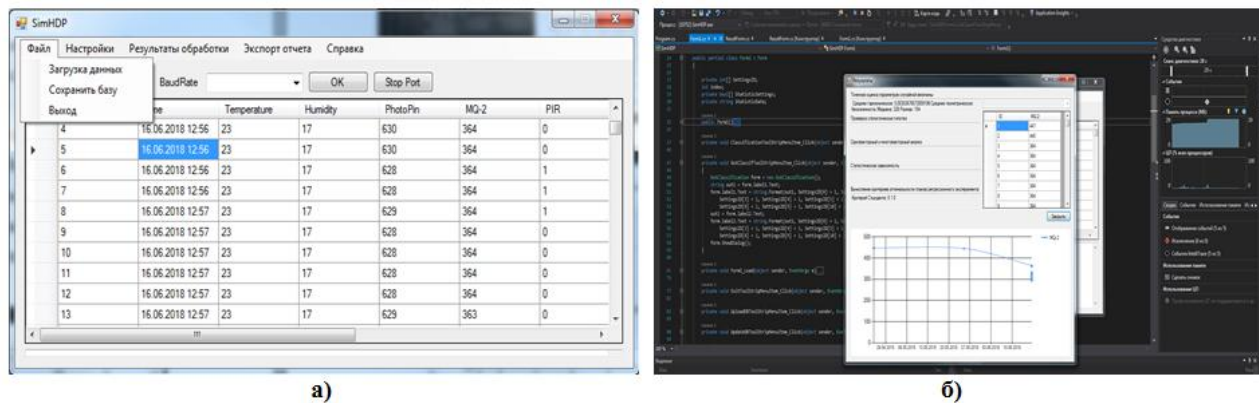


Рисунок 4.2. Программное средство обработки разнородной информации для мультисенсорной системы: а) - интерфейс окна загрузки данных программы обработки информации мультисенсорной экспертной системы, б) - окно

программы с выводом результата обработки мультисенсорной экспертной системы

Методика адаптации включает в себя несколько этапов: разработка или загрузка существующего драйвера для каждой модели датчика; описания и шаблонов для моделирования МС, которые используют модель; генерирование конфигурационного файла настройки и подключения к необходимым датчикам.

В работе использовались различные методы обработки данных, получаемых от массивов разнородных датчиков. Для анализа полученных данных использовались коэффициенты матричной корреляции, канонический корреляционный анализ, МГК. Хорошим свойством корреляции является то, что результаты проведенных вычислений можно с легкостью визуализировать. Разница с МГК заключается в том, что разложение двух матриц происходит взаимно согласованно и при расчете алгоритм стремится «объяснить» максимальное количество дисперсии, рассчитывается матрица регрессионных коэффициентов, затем расчет среднего арифметического для всех данных. Реализация этих методов в данной работе была выполнена в программной среде C#. По результатам проведенной работы получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программное средство обработки разнородных данных мультисенсорной системы SimHDP».

Для реализации эксперимента, подтверждающего эффективность разработанных алгоритмов и методов, проведена серия экспериментов, в течение продолжительного времени использовались различные датчики, являющиеся частью МС, которая в свою очередь подключена к персональному компьютеру. Изъятие и регистрация анализируемых данных выполнялось посекундно, в одну единицу времени снимаются одновременно показания с разных датчиков МС, т.е. необходимо обработать более 28 тыс. значений.

Чтобы сделать процесс обработки наиболее эффективным, необходим процесс оптимизации вычислений по анализу. Для выполнения этого условия требуется определиться со статистическими критериями, за счет которых обработка данных будет осуществляться с необходимым уровнем доверительной вероятности, способствовать минимизации объема обработки порядка 50 значений в каждой выборке данных и провести проверку на основе методов Стьюдента, Фишера и Кохрена.

Предлагается редуکتивно-аккомодативный принцип обработки разнородных данных МС. Под предлагаемым принципом (от лат. *reduction* – сокращение, *accommodatio* – приспособление) понимается сокращение размерности больших разнородных данных за счет выделения ключевых параметров, объясняющих в той или иной степени изменение исходных данных.

При создании классификаций учитывается выбор данных по определенным критериям, относительно времени, часть данных могут переходить из одного типа данных в другой или быть одновременно частью

этих типов. Классификационная характеристика данных вводится для упрощения обработки данных и последующего решения конкретной практической задачи. В процессе классификации выбираются схожие параметры для того или иного типа данных. Т.е. предлагается универсальный способ описания данных и представление характеристики данных в качестве некоего комплекса знаний, в соответствии с которым можно будет предложить именно те методы обработки данных, которые наиболее подходят для решения конкретной задачи.

Данные также могут быть как регулярные, так и не регулярные, т.е. не только разнородные, но и разномасштабные по времени. Для обработки нерегулярных данных, как можно заключить, требуется наиболее сложные методы обработки или комплекс методов. Данные поступают с датчиков, проводится их первичная обработка, в соответствии с каждым набором данных выводится их характеристика, в соответствии с которой впоследствии предлагается наиболее подходящий метод или методы обработки данных, которые приведут к получению наиболее полной ценной информации обо всей совокупности разнородных данных.

Проблема обработки больших разнородных данных зависит от постановки задач, методов обработки, и подходов к решению. В научных исследованиях сформулировано множество условий, определений и методов обработки больших данных. Актуальной задачей является объединение данных, полученных с различных источников, приведение их к общей понятной форме для проведения последующих операций обработки. Но даже сейчас нет четкого соглашения о том, как ускорить этот процесс, упростить работу пользователя с данными, выявить наиболее ценную информацию из огромного потока данных, не потеряв при этом часть информации, которая может быть важна.

Сравниваем последовательно каждую выборку. Для удобства обозначим каждый столбец буквой латинского алфавита (таблица 4.1).

Humidity (%)	PhotoPin (lux)	MQ2 (ppm)	Ratio (Om)	LPG (ppm)	Methane (ppm)	Smoke (ppm)	Hydrogen (ppm)	PIR 0;1]
A	B	C	D	E	F	G	H	I

Таблица 4.1. Условное обозначение каждой выборки данных МС.

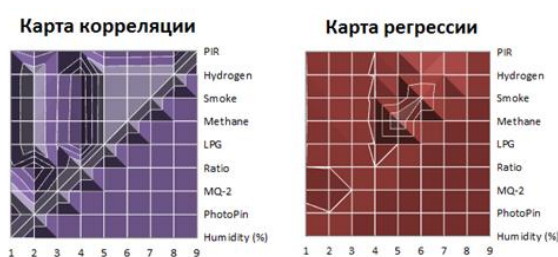
Для того чтобы провести регрессионный анализ со всеми данными, необходимо сравнить значение каждого столбца последовательно со значениями каждого последующего столбца (таблица 4.2):

AB	-	-	-	-	-	-	-
AC	BC	-	-	-	-	-	-
AD	BD	CD	-	-	-	-	-
AE	BE	CE	DE	-	-	-	-
AF	BF	CF	DF	EF	-	-	-
AG	BG	CG	DG	EG	FG	-	-
AH	BH	CH	DH	EH	FH	GH	-
AI	BI	CI	DI	EI	FI	GI	HI

Таблица 4.2. Матрица условных обозначений каждой выборки данных МС для последующей обработки.

Следующим этапом строилась расчетная таблица для расчета параметров регрессии, далее получаем эмпирическое уравнение регрессии для каждой из выборок. Далее находим числовое значение регрессии для каждой из пар выборки, а также корреляцию, карты данных корреляции и регрессии представлены на рисунке 4.3. Карты корреляции и регрессии в данном случае строятся для быстрого визуального анализа применения предлагаемого принципа. На карте корреляции видно (рельефная область изображения), что наибольшее сгущение данных происходит в области водорода, дыма, метана и LPG, карта регрессии подтверждает, что наибольшее значение регрессии наблюдается именно в области углеводородов (пик значений прослеживается в области дыма и метана).

Рисунок 4.3. Карты корреляции и регрессии.



Наибольшее влияние в ходе эксперимента прослеживается между значениями углеводородной смеси, метана, дыма и водорода (в общем, порядка 60-70%). Наименьшее значение между данными влажности, сопротивлением МС и значениями инфракрасного датчика присутствия.

Исходя из рассмотренного примера, можно выдвинуть следующую гипотезу: во многих прикладных задачах, требующих больших объемов разнородных данных для нахождения решения приемлемой точности, есть возможность получить то же решение даже по информации от существенно ограниченного набора датчиков МС при условии правильной интерпретации имеющихся данных и нахождении новых, неявных зависимостей между данными. Другими словами, если с помощью имеющейся МС необходимо решить практическую задачу на основании лишь двух-трех выборок значений данных с газоанализатора, то эту задачу можно решить без установки дорогостоящего дополнительного оборудования. Решение было получено по ограниченному набору датчиков, в данном случае удалось обойтись без датчика температуры, а также доказано, что значения инфракрасного датчика и влажности незначительно влияют на результат.

Другими словами предлагается унифицированное описание к проблеме разработки высокопроизводительных систем обработки разнородных данных под конкретную прикладную задачу и заданные требования. В дальнейшем разработанная система может легко масштабироваться различными наборами данных для применения в конкретных областях технических задач.

Изучена зависимость одной выборки данных от других. Оценка параметров проводилась МНК. Выявлено 0.9% общей вариабельности одних данных изменением других данных.

Для подтверждения эффективности разработанных алгоритмов и методик проведён ряд экспериментов, часть из которых представлены выше. Для реализации экспериментов, проведённых на основе авторской

разработки мультисенсорной системы робота, проведён эксперимент, основные этапы которого:

1. Изъятие данных с аппаратной части мультисенсорной системы робота;
2. Синхронизация, структуризация данных для последующей записи в базу данных;
3. Запись полученных данных в базу данных
4. Классификация данных согласно критериям, вывод классификационной характеристики данных;
5. Обработка полученных разнородных данных в режиме реального времени;
6. Реализация редуцитивно-аккомодативного принципа обработки данных в режиме реального времени;
7. Выбор методов данных в соответствии с классификационной характеристикой данных;
8. Выбор задач в соответствии с методами обработки данных;
9. Реализации многокритериального ранжирования и сравнение эффективности выбора подходящего метода обработки данных;
10. Вывод результатов обработки данных и рекомендуемого метода обработки разнородных данных в зависимости от данных и задач.

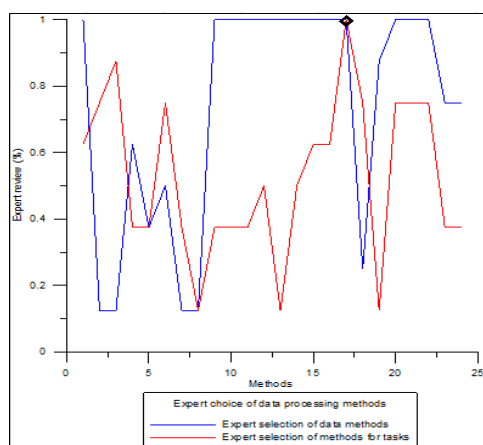


Рисунок 4.4. График соответствия вывода рекомендуемого метода обработки разнородных данных (в верхней области выделено соответствие вывода рекомендуемого метода обработки данных).

На основании множества экспериментов, проведенных в рамках данной работы выявлено, что наиболее подходящей группой методов для обработки разнородных данных являются методы нестандартной обработки данных.

Сравнение результатов по выбору подходящего метода обработки данных приведено на рисунке 4.4.

Тестирование работоспособности программной реализации авторских модулей обработки данных и эффективности методов и алгоритмов проведено на реальных данных.

Был проведен анализ с помощью стандартных методов с различными временными интервалами.

В результате сужения области анализа и упрощения самой обработки данных часть ложных срабатываний аппаратной и программной части МС стало незначительной. Общее число вычислительных процессов стало меньше благодаря применению авторских разработок.

Максимальное значение данных в 60000 строк не оказало влияния на конечное время обработки данных. В тестовых примерах предложенные авторские разработки не требуют дополнительных вычислений. Тем не

менее, это не коем образом не мешает применить иные методы обработки данных для повышения точности анализа данных в целом.

Результаты и выводы. В работе предлагается подход к выбору методов обработки разнородной информации МС, основанный на применении методов многокритериального ранжирования и других, которые показали значительные результаты в достижении цели настоящей диссертационной работы и решению поставленных задач. Результаты позволяли получить максимально ценную информацию из данных МСР не прибегая к постоянной дорогостоящей модернизации оборудования.

Проведен анализ существующих методов и средств робототехнических комплексов на основе МС, в том числе с использованием СТЗ. Выполнен расчет оптического потока с использованием двумерного подхода с точки зрения динамики движения частиц. Написана программа для определения оптического потока в среде Unity3D на C#. Предложен алгоритм разработки МС с использованием СТЗ. Выполнена классификация существующих методов, задач и данных мультисенсорной системы робота. Разработана классификационная характеристика разнородных данных, интеллектуальную информационную модель выбора методов обработки разнородных данных, специальные алгоритмы обработки разнородных данных с учетом применения их в МС. Выполнено математическое обоснования выбора методов обработки данных в зависимости от типа данных и класса задач. Разработана мультисенсорная система и унифицированное описание данных для автоматизации проектирования МС.

На основании различных примерах, рассмотренных в данной работе, было проведена апробация результатов и подтверждена возможность применения авторских разработок, алгоритмов и методов для решения обозначенной выше проблемы. В ходе экспериментов на реальных данных показано, что МС, включающая в себя БД хранения разнородных данных в сравнении с аналогичными стандартными методами обработки данных, основанными на использовании отдельно взятых датчиков, более гибкая и адаптированная для задач автоматизации обработки данных. Предложенный подход к выбору методов обработки данных, получаемых для МС, позволяет находить адекватные решения задач качественного и количественного анализа.

Достоверность полученных результатов исследования обеспечивалась непротиворечивостью исходных теоретико-методологических позиций; структурой, содержательной целостностью и логической последовательностью изложения материала; применением комплексной совокупности методов и средств исследования; сочетанием теоретического анализа с практической реализацией исследования; преимуществом результатов на различных этапах исследования; аргументированностью теоретических положений и логических выводов работы. Соответствие полученных экспериментальных результатов общепринятым научным критериям валидности и надежности достигалось репрезентативностью выборки, применением методов, адекватным целям исследования,

проведением содержательного анализа результатов, а также использованием статистических методов обработки данных.

Публикации по теме диссертации

Статьи в журналах, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертации:

1. Багутдинов Р.А. Задача моделирования оптического потока на основе динамики движения частиц / Кибернетика и программирование. 2016. №5. С.10-15.

2. Багутдинов Р.А. Принцип разработки алгоритмического обеспечения системы технического зрения роботов / Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. №5. С. 66-71.

3. Багутдинов Р.А. Идея многоакурсной системы технического зрения для формирования 3D-моделей поверхности объекта в задачах разработки мобильных роботов / Программные системы и вычислительные методы. 2017. №4. С. 1-6.

4. Багутдинов Р.А. Гносеологические аспекты к определению назначения и состава СТЗ в задачах проектирования и разработки робототехнических комплексов / Программные системы и вычислительные методы. 2017. №1. С. 39-45.

5. Багутдинов Р.А. Классификационная характеристика для задач обработки разнородных данных / International Journal of Open Information Technologies. 2018. Т. 6. №8. С. 14-18.

6. Багутдинов Р.А. Разработка мультисенсорной системы для задач мониторинга и интерпретации разнородных данных / Системный администратор. 2019. №3(196). С. 82-85.

Другие публикации:

7. Багутдинов Р.А. Результаты исследований использования многомерного подхода при моделировании процессов в полевых транзисторах / Современные научные исследования и инновации. 2015. №10(54). С. 21-29.

8. Bagutdinov R.A., Narimanov R.K. The calculating the fet based Schottky hydrodynamic model / В сборнике: The First European Conference on Informational Technology and Computer Science 2015. С. 17-22.

9. Багутдинов Р.А. Подход комплексирования обработки сенсорной информации в многосенсорных системах при проектировании робототехнических комплексов / В сборнике: Научные технологии и интеллектуальные системы сборник статей Международной научно-практической конференции. 2017. С. 4-6.

10. Багутдинов Р.А. Подход к алгоритмизации адаптивных систем технического зрения, применяемых в робототехнике / В сборнике: Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные

вопросы, достижения и инновации Сборник статей победителей IV Международной научно-практической конференции. 2017. С. 20-22.

11. Петренко Н.А., Багутдинов Р.А. Анализ мультисенсорных систем и сенсорного слияния данных / В сборнике: Молодёжь и современные информационные технологии сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2018. С. 73-74.

12. Bagutdinov R.A. The processing of heterogeneous data for multisensor systems of technical vision on the example of analysis of temperature and gas concentration / В сборнике: Молодёжь и современные информационные технологии сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2018. С. 25-26.

13. Bagutdinov R.A. The program script for processing heterogeneous data multisensory system / В сборнике: Молодёжь и современные информационные технологии сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2018. С. 24-25.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ:

1. Модуль изъятия разнородных данных с мультисенсорной системы мобильного робота;
2. Программное средство обработки разнородных данных мультисенсорной системы мобильного робота SimHDP.