

В объединенный диссертационный совет  
**99.2.029.03**, созданный на базе  
Юго-Западного государственного  
университета,  
Орловского государственного  
университета имени И.С. Тургенева,  
Белгородского государственного  
национального исследовательского  
университета,  
305000, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

### **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертацию Милостной Натальи Анатольевны  
«МЕТОДОЛОГИЯ СИНТЕЗА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ НЕЙРО-НЕЧЁТКИХ СИСТЕМ  
ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ»,

представленную на соискание учёной степени  
доктора технических наук по специальности:

#### **2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика**

**Актуальность.** Развитие промышленного производства, его автоматизация и роботизация требуют новых, современных подходов к решению целого спектра научных проблем, связанных с применением программно-аппаратных решений, в том числе, в области технического зрения. Так при разработке новых моделей машинного обучения, используемых в системах технического зрения, возникают задачи, связанные с построением трёхмерных сцен по вычисленным картам глубин стереоизображений и определением взаимного расположения объектов, расположенных на них с целью формирования маршрутов перемещения ассистивных роботов и работы промышленных роботизированных комплексов. Для решения указанной задачи в качестве систем технического зрения используются лазерные дальномеры, системы стереозрения или их сочетание. При этом для получения данных о местоположении объектов и углов относительно установленных стереокамер формируется карта глубин – растровое изображение с градациями оттенков серого цвета, на которой яркость отдельных предметов указывает пропорциональное расстояние до них. Для этих целей используют известные алгоритмы полуглобального соответствия (Semi-Global Matching Algorithm – SGMA) и суммы абсолютных разностей (Sum of Absolute Differences – SAD), которые при своей программной реализации на ЭВМ требуют больших временных ресурсов и не предоставляют качественного решения задач, возникающих при обработке полихроматических растровых изображений. Поэтому, одним из возможных способов оптимального решения задач является применение интеллектуальных моделей в системах технического зрения, однако, существующие нейронечёткие системы технического зрения не обеспечивают принятие управляющих решений за требуемое время, что существенно ограничивает их промышленное применение в режиме реального времени.

Таким образом, **актуальность** диссертационного исследования определяется необходимостью выполнения комплексных изысканий и решения важной научной проблемы, заключающейся в развитии теоретических основ обработки стереоизображений на основе нейро-нечёткого подхода, обеспечивающего увеличение быстродействия обработки стереоинформации в нейро-нечётких моделях при соблюдении требуемой точности и скорости вычислений.

**Целью работы** Милостной Н.А. является разработка программно-математических методов и алгоритмов, направленных на повышение быстродействия вычислительного процесса обработки стереоизображений путём разработки методологии синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения.

Для достижения цели, поставленной в диссертационной работе, соискателем рассмотрены и решены следующие **научные задачи**:

1. Произведён анализ систем технического зрения на основе нейро-нечётких систем вывода для выявления критериев оценки точности и быстродействия функционирования высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения.

2. Разработана методология синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения на основе математических моделей распознавания цветowych меток и построения карт глубин.

3. Разработан метод отношения площадей для дефаззификации в нечётко-логическом выводе и его быстродействующих модификаций.

4. Разработан метод построения адаптивной нейро-нечёткой системы вывода на основе метода отношения площадей.

5. Выполнен синтез математической модели распознавания цветowych меток для определения трёхмерных координат расположения исполнительных механизмов роботизированного комплекса при помощи одной видеокамеры.

6. Разработана математическая модель построения карт глубин на основе трёхуровневой нейро-нечёткой системы вывода для построения трёхмерной сцены расположения объектов вокруг роботизированного комплекса.

7. Разработана оптимизационная модель, обеспечивающая сокращение числа проходов при обработке изображений окном  $3 \times 3$ .

8. Разработаны алгоритмы и специализированное программное обеспечение для синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения для обнаружения объектов в трёхмерном пространстве.

9. Выполнены экспериментальные исследования высокопроизводительной нейро-нечёткой системы технического зрения с её последующей реализацией для управления роботизированными комплексами в промышленных условиях.

По мнению официального оппонента, **научная новизна** диссертационной работы заключается в:

1. Создании методологии синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения, включающая в себя метод отношения площадей, метод построения адаптивной нейро-нечёткой системы вывода, модель нечёткой фильтрации сигналов, модель оптимизации числа проходов при обработке изображений свёрточной матрицей  $3 \times 3$ , математическую модель распознавания цветowych меток, интеллектуальную математическую модель построения карт глубин и модифицированный алгоритм поиска кратчайшего пути  $A^*$ , позволяющих в режиме

реального времени детектировать объекты, находящиеся на пути движения роботизированного комплекса, и формировать траектории их обхода.

2. Разработке метода отношения площадей, отличающийся исключением ошибки, связанной с сужением интервала дефаззификации в нечётком выводе, позволяющим сократить время вычислительного процесса по сравнению с аналогами.

3. Разработке быстродействующих дефаззификаторов, отличающихся применением метода отношения площадей, который, в свою очередь, позволяет сократить время вычисления результирующего значения на выходе дефаззификатора.

4. Создании метода построения адаптивной нейро-нечёткой системы вывода, отличающегося использованием мягких вычислений при композиции нечётких правил, модификацией дефаззификации методом отношения площадей и применением метода градиентного спуска при обучении.

5. Разработке математической модели нечёткой фильтрации сигналов, основанной на методе отношения площадей, позволяющей исключить расчёт настроенных коэффициентов, свойственных классическому и нечёткому фильтрам Калмана, обеспечивающей адаптацию её параметров к изменениям параметров окружающей среды.

6. Разработке модели оптимизации числа проходов при обработке изображений свёрточной матрицей с окном  $3 \times 3$ , основанной на известном методе акселерации с использованием интегрального изображения, отличающейся наличием обратного прохода на основе сформулированной и доказанной теоремы об эквивалентности расчёта суммы элементов в окне  $3 \times 3$ .

7. Разработке математической модели распознавания цветowych меток, позволяющей определить пространственное трёхмерное положение исполнительных механизмов роботизированного комплекса с помощью одной видеокамеры, увеличивающая точность распознавания цветowych меток.

8. Разработке математической модели построения карт глубин, отличающейся использованием для вычисления диспарантности трёхуровневой нейро-нечёткой системы вывода, использующей метод детектирования границ объектов при его реализации в параллельно-конвейерных вычислительных устройствах.

9. Определении вектора целевых критериев, которые позволяют оценить качество функционирования высокопроизводительной нейро-нечёткой системы технического зрения, основанной на интеллектуальных моделях распознавания цветowych меток и построении карт глубин.

**Практическая значимость** диссертационной работы заключается в развитии средств моделирования и интеллектуального анализа данных, а именно: предложены и исследованы новые методы и алгоритмы анализа данных на основе инструментария интеллектуальной обработки информации и нейро-нечеткого моделирования системы технического зрения. Практическое значение имеет разработанное соискателем программное обеспечение, реализующее предложенные в диссертационной работе модели, методы и алгоритмы и позволяющее использовать их при решении широкого круга практических задач, связанных с разработкой программно-аппаратных систем технического зрения ассистивных мобильных роботов и промышленных роботизированных комплексов.

**Объектом исследования** диссертационной работы являются системы технического зрения с интегрированными интеллектуальными модулями принятия решений, основанные на нейро-нечётких системах вывода.

**Предметом исследования** диссертационной работы является методология синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения, основанная на математических моделях распознавания цветowych меток и построения карт глубин.

**Диссертационная работа состоит** из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 262 наименований. Диссертация изложена на 350 страницах машинописного текста, содержит 49 таблиц и 116 рисунков. Общий объём работы составляет 350 страниц.

**Во введении** (стр. 9-24) обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируется научная проблема, цели и задачи диссертационного исследования, определяется практическая значимость, приводятся сведения об апробации и внедрении работы.

**В первой главе «Анализ интеллектуальных систем технического зрения»** (стр. 25-94) соискателем проводится анализ современных систем технического зрения и развития научных исследований, связанных с использованием их в интеллектуальных роботизированных комплексах.

Выполнен обзор свойств функционирования адаптивных нейро-нечётких систем вывода и факторы, ограничивающие их применение в современных роботизированных комплексах, в том числе, промышленного применения.

Представлена технология создания системы технического зрения для роботизированного комплекса, включающая 8 (восемь) этапов и критерии оценки её эффективности, такие, как: точность распознавания, скорость обработки изображений, надёжность работы, удобство использования на практике, стоимость разработки и владения системой технического зрения.

В конце главы соискателем отмечается, что решение научной проблемы диссертационного исследования, связанной с увеличением быстродействия принятия управляющих решений в интеллектуальных роботизированных системах управления, возможно за счёт сокращения циклов настройки и оптимизации системы технического зрения. Для этого требуется разработка новой методологии, основанной на сочетании быстродействующих методов дефаззификации результирующей переменной в нейро-нечётких сетях, позволяющих компенсировать ошибку сужения интервала дефаззификации, при этом, замена модели центра тяжести в адаптивных нейро-нечётких системах вывода за счёт исключения зон нечувствительности позволит увеличить их скорость обучения, тем самым повысить быстродействие в структуре программно-аппаратных комплексов.

**Во второй главе «Разработка теоретического базиса для интеллектуализации процесса принятия управляющих решений в высокопроизводительных нейро-нечётких системах технического зрения»** (стр. 96-133) представлен разработанный математический инструментарий, использующийся для синтеза интеллектуальных систем технического зрения, даны рекомендации для распараллеливания вычислительных процессов.

Соискателем формулируется, обосновывается и последовательно реализуется предложенный в диссертационной работе «Метод отношения площадей» (МОП), который

заключается в применении универсальной формулы для нахождения площадей фигур функций принадлежности, которые в процессе глобальной агрегации трансформируются из треугольной формы в трапециевидную. Применение универсальной формулы для нахождения площадей фигур функций принадлежности позволяет при реализации данного метода в программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) использовать один и тот же блок для вычисления площадей, как для треугольных, так и для трапециевидных фигур, что в значительной мере сокращает общее время вычисления результирующей переменной.

Рассматривается математическая модель нейро-нечёткой системы вывода, основанной на МОП, которая реализует последовательность вычислительных операций.

Определяются этапы реализации метода построения адаптивной нейро-нечёткой системы вывода, основанного на МОП с использованием мягких вычислений, позволяющего компенсировать ошибку «проклятия размерности». Отмечается, что указанный выше метод получил аббревиатуру MAR-ANFIS (Method of Area's Ratio for Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System), а для реализации фильтрации как логических цифровых сигналов, так и аналоговых сигналов, разработан нечёткий фильтр, который в свою очередь получил аббревиатуру FF-MAR (Fuzzy Filter Based on the Method of Area's Ratio). Указанные выше аббревиатуры введены в международные словари терминов.

Соискателем отмечается, что при реализации систем технического зрения и фильтрации цифровых изображений возникает задача обработки всех пикселей исходного изображения окном  $3 \times 3$ . В ходе экспериментальных исследований с использованием специализированного программного обеспечения было установлено, что эта операция является наиболее трудоёмкой при построении систем стереозрения, работающих в режиме реального времени. С целью повышения быстродействия обработки стереоизображений разработана модель оптимизации числа проходов, которая основана на реализации двух проходов в прямом и обратном направлениях, использующихся вместо девяти операций поэлементного суммирования элементов в окне  $3 \times 3$ .

Полученная модель оптимизации числа проходов при обработке изображений свёрточной матрицей  $3 \times 3$  позволила сформулировать и доказать теорему, которая звучит следующим образом: «Суммарное значение элементов в матрице, обработанной окном  $3 \times 3$ , при реализации двух проходов в прямом и обратном направлениях эквивалентно суммарному значению элементов в окне  $3 \times 3$ , полученному поэлементным сложением значений ячеек этого окна».

**В третьей главе «Теоретический анализ и разработка методологии синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения» (стр. 134-182) рассматривается разработка моделей визуализации пространственного положения роботизированного комплекса, его исполнительных механизмов и объектов, окружающих его на 3D-сцене.**

С этой целью соискателем разработана математическая модель распознавания цветовых меток, которая в режиме реального времени позволяет определять XYZ-координаты исполнительных механизмов и вычислять скорость их перемещения, а также – математическая модель построения карт глубин по стереоинформации. Определена и представлена последовательность выполнения математических расчётов для получения требуемого результата.

Разработана методология синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения, которая состоит из последовательности этапов и применяется для роботизированных комплексов, использующих в качестве органов очувствления (сенсоров) одну видеокамеру или две видеокамеры (стереокамеры), представлены полученные соискателем результаты применения методологии.

**В четвёртой главе «Разработка параллельно-конвейерных устройств обработки информации для высокопроизводительной нейро-нечёткой системы технического зрения, их программно-имитационных моделей и алгоритмов»** (стр. 183-245) соискателем освещены вопросы, связанные с реализацией нейро-нечётких моделей в системах технического зрения на основе параллельно-конвейерной обработки информации и анализом их имитационных моделей.

Представлены структурные схемы быстродействующих дефазсификаторов и нейро-нечёткой системы вывода на основе МОП, которые реализованы в виде программного обеспечения. Выполняется анализ моделей с указанием их свойств и отличий для эффективного решения поставленных в работе задач.

Осуществляются серии вычислительных экспериментов, по результатам которых проводится анализ времени обработки изображения окном 3x3 при использовании модели оптимизации числа проходов. На основании анализа результатов моделирования соискателем делается вывод о том, что предложенный в работе метод обеспечивает быстродействие не менее, чем в 2 раза выше по сравнению с прямым методом свёртки.

**В пятой главе «Экспериментальный анализ высокопроизводительной нейро-нечёткой системы технического зрения для обработки изображений с одной и двумя видеокамера и их сравнительный анализ»** (стр. 246-296) представлен анализ экспериментальных данных, полученных при обработке информации в высокопроизводительной нейро-нечёткой системе технического зрения, основанной на математических моделях распознавания цветowych меток и построения карт глубин.

Проводится анализ и оценка полученных экспериментальных данных по целевым критериям таким, как: точность распознавания меток, точность построения карт глубин, скорость обработки изображений (для процесса обучения адаптивной нейро-нечёткой системы вывода), надёжность работы предложенной интеллектуальной системы технического зрения.

Соискателем выполнены исследования математической модели распознавания цветowych меток, результаты вычислительных экспериментов систематизированы, представлены и проанализированы.

В работе приводится мехатронный комплекс, при помощи которого осуществляется последовательность действий (исследований) с логированием событий и формированием набора данных для их последующего моделирования и анализа.

Анализ полученных результатов показал, что предложенная система технического зрения на основе математической модели распознавания цветowych меток имеет лучшие характеристики по сравнению с существующими моделями.

Далее, на основе разработанных моделей соискателем выполняется ряд вычислительных экспериментов по оценке методов детектирования границ объектов на изображениях точности формирования карт глубин.

Отмечается, что при детектировании границ объектов на изображениях время, необходимое для их определения, сокращается в среднем на 12%. Разработанная

трёхуровневая нечёткая система построения карт глубин по стереоизображениям позволяет повысить точность их построения не менее чем в 1,5 раза по сравнению с существующими моделями и подходами.

В **заключении** (стр. 297-299) приводятся основные результаты и выводы по диссертационной работе, даются рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования, определяются перспективы дальнейшей разработки заявленной соискателем темы.

**Приложения** (стр. 330-350) содержат псевдокод работы математической модели нечеткого фильтра, основанного на методе отношения площадей и псевдокод для реализации математической модели построения карты глубин.

**Стилистика работы.** Диссертационная работа и автореферат написаны ясным языком, соискатель показал хороший научный стиль изложения. В работе достаточно формул, рисунков и примеров, которые уместны, оформлены и представлены. Текст диссертации не содержит избыточной информации, не относящейся к объекту и предмету научного исследования.

### **Общая характеристика работы**

Одним из основных качеств работы является ее широта и комплексность, тесная взаимосвязь с российскими государственными заданиями, научными программами и грантами.

Соискатель затрагивает практически все ключевые аспекты, связанные с разработкой и масштабным применением систем технического зрения роботизированных комплексов с решающими модулями на основе нейро-нечётких сетей, а именно: методологию синтеза высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения, основанную на моделях распознавания цветowych меток и построения карт глубин, позволяющих в режиме реального времени детектировать объекты, находящиеся на пути движения роботизированного комплекса, и формировать траектории перемещения или обхода; дефаззификатор, основанный на новом МОП, и его модификации позволяют существенно сократить время вычислительного процесса для принятия управляющих решений в системах технического зрения интеллектуальных роботизированных комплексов; метод построения адаптивной нейро-нечёткой системы вывода, использующий мягкие вычисления при композиции нечётких правил, метод отношения площадей при дефаззификации и метод градиентного спуска при обучении нейросети; математическую модель нечёткой фильтрации, применяемую в процессе обучения адаптивной нейро-нечёткой системы вывода, основанную на МОП; модель оптимизации числа проходов при обработке изображений свёрточной матрицей, основанную на известном методе акселерации интегрального изображения; математическую модель распознавания цветowych меток, основанную на модифицированном МОП и использовании активных заключений из базы нечётких правил в его структуре; математическую модель построения карт глубин, основанную на трёхуровневой нейро-нечёткой системе вывода.

Все положения, выносимые на защиту, опубликованы в 76 научных работах, в том числе в 25 статьях по научной специальности диссертации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук, в 13 публикациях в изданиях,

индексируемых в наукометрических базах данных Scopus и Web of Science (из них в 3 статьях в научных журналах квартиля Q1); в 2 монографиях и в отдельных главах 4 международных коллективных монографий, индексируемых в наукометрической базе данных Scopus. Как результат диссертационного исследования соискатель имеет 3 Патента на изобретение и 14 Свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ.

В материалах международных научно-практических конференций и иных источниках подробно описываются созданные соискателем методы, алгоритмы и программная реализация систем технического зрения роботизированных комплексов с решающими модулями на основе нейро-нечётких сетей.

В тексте диссертации корректно приведены ссылки на авторов и источники, откуда заимствованы материалы или отдельные результаты выполненных исследований.

Диссертация содержит ряд новых, практически значимых, научных результатов, имеет внутреннее единство и свидетельствует о личном вкладе соискателя в прикладную науку. Предложенные соискателем новые решения строго аргументированы и объективно оценены по сравнению с другими известными решениями в этой научной области.

**Автореферат** соответствует диссертации и в целом отражает её содержание. В автореферате изложены основные научные положения, результаты и выводы диссертации, показаны: вклад соискателя в проведенное исследование, степень новизны и практическая значимость полученных результатов исследований.

Проведенный анализ научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, показал их обоснованность и доказанность.

**Научная значимость диссертации** определяется тем, что её результаты применимы для решения целого спектра инженерно-технических задач в различных предметных областях и сферах деятельности, где широко используются системы технического зрения.

Следует также отметить, что результаты диссертационной работы внедрены и используются в деятельности: АО «Авиаавтоматика» им. В.В. Тарасова», Проектно-изыскательского и научно-исследовательского института морского транспорта «НовоморНИИпроект» (г. Новороссийск), ООО «Софт-Кристалл» (г. Томск), ОАО «Курскмедстекло», научно-исследовательского центра ФГУП «18 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации (г. Курск), научно-методические результаты, полученные автором в диссертационном исследовании, широко используются в образовательных процессах множества ВУЗов Российской Федерации по направлениям 09.00.00 – «Информатика и вычислительная техника».

В целом, основные научные результаты диссертации можно квалифицировать как разработку вычислительно надежных математических моделей и алгоритмов, направленных на повышение быстродействия вычислительного процесса обработки стереоизображений путём разработки методологии синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения.

Полученные результаты диссертационного исследования имеют как теоретическую, так практическую значимость.

Диссертация Милостной Натальи Анатольевны является завершённой, научно-квалификационной работой, которая выполнена в соответствии с п.п. «1. Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта», «4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки



информации и искусственного интеллекта», «12. Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации» паспорта научной специальности **2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.**

### **Замечания по диссертационной работе и автореферату**

#### Общие замечания по диссертационной работе и автореферату:

1. С. 30, 46, 66, 184, 212, 221, 226, 274; Главы 1,4,5. Оформление переноса таблиц 1.1, 1.2, 1.6, 4.1, 4.4, 4.8, 4.10, 5.9 не соответствует требованиям ГОСТ Р 2.105—2019 п. 6.8.7.
2. С. 88, 208, 249, 272; Главы 1,4,5. В работе встречаются формулы, дублирующие ранее приведенные, в том числе повторно пронумерованные. Например, формулы MSE на страницах 88, 272; MAPE на страницах 88, 208; RMSE на страницах 88, 208, 249; FOM на страницах 88 и 286.
3. С. 88-89; Глава 1. Приводятся ссылки на таблицы, размещенные в значительно удаленной части документа. Упомянутые на страницах 88-89 таблицы 4.3, 4.5, 4.6, 4.7, 4.10, 4.11, 5.4, 5.5, 5.7, 5.9, 5.10, 5.15 размещены на страницах 209, 213, 214, 226, 229, 258, 260, 265, 274, 277, 286. Согласно ГОСТ Р 7.0.11-2011, п. 5.3.10, таблицы, используемые в диссертации, размещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на них, или на следующей странице, а при необходимости – в приложении к диссертации.
4. С. 92, 93; Глава 1. В таблицах 1.7, 1.8, 1.9 и наименованиях таблиц не указаны единицы измерения результата, что усложняет чтение.
5. С. 227, 273; Главы 4,5. У рисунков 4.29 и 5.16 части представленных иллюстраций разделены границами страниц, что усложняет восприятие информации.
6. С. 228; Глава 4. На рисунке 4.30 элементы интерфейса не подписаны и не расшифрованы использованные обозначения.
7. С. 237; Глава 4. На рисунок 4.38 нет ссылки в тексте диссертации.
8. С. 288; Глава 5. На рисунке 5.23 изображения «ж» и «з» взяты из рисунка 5.22 и не соответствуют рассматриваемой сцене.
9. С. 269; Глава 5. Рисунок 5.14 до степени смещения повторяет рисунок 1.4 со страницы 33.
10. С. 273; Глава 5. В тексте утверждается, что на рисунке 5.15б по оси абсцисс отложено время движения исполнительных механизмов для осуществления фиксации подвижного объекта, хотя, очевидно, что на оси абсцисс приводится расстояние.
11. Автореферат диссертации. С. 14, Рис. 2:
  - а. В аппаратной части не упомянут вычислитель, необходимый для реализации алгоритмов.
  - б. Среди перечисленных в тексте критериев оценки есть стоимость, но на схеме этого критерия нет. Оценка по критерию стоимости реализации СТЗ в работе также не приводится.

Замечания по главам диссертационной работы:

1. С. 84; Глава 1. Непонятно, что подразумевается под «закрытостью» библиотек OpenCV при описании среды SDK 2.0, используемой с RealSense Depth Camera, ведь на github.com выложен исходный код как SDK 2.0, так и библиотек OpenCV, доступных для использования в рамках приведенных там же лицензионных соглашений. Тот же вопрос касается утверждения о закрытости кода, выложенного на github.com производителями камеры oCamS-1CGN-U. Исходные файлы с кодами программ для Windows, Linux и ROS-платформ на ресурсе приведены наряду с условиями их лицензионного использования.

2. С. 87-89; Глава 1. На рисунке 1.14 среди критериев оценки производительности систем технического зрения (СТЗ) приведена надёжность, но в тексте исследования помимо точности и скорости перечислены лишь удобство и, в рамках того же пункта, стоимость.

Также в числе устройств аппаратной части СТЗ не упоминаются средства вычисления, хотя обработка изображения без этого элемента невозможна.

При оценке эффективности СТЗ, рассматривается оценка точности, но не принимается во внимание ошибка первого рода.

3. С. 91; Глава 1. При расчете времени на обработку пикселя нарушается правило размерности. При делении 40 мс на 0,8 единиц получается 50 мс. Следовало делить 40 мс на  $0,8 \times 10^6$  единиц даже при неявном переводе результата в нс из мс.

4. С. 91; Глава 1. При сравнении подходов к обработке видеоизображения на основе нейронных сетей и нейро-нечетких моделей в параграфе 1.10 подчеркивается, что преимуществом нейронных сетей является точность. Однако в приведенной сравнительной таблице 1.9 на странице 93 можно заметить значительный выигрыш в точности со стороны нейро-нечетких систем. Используя формулу, приведенную на странице 203 при сравнении точности путем расчета отношения значений RMSE, получим, что нейро-нечеткий подход точнее, как минимум, в 19,17 раз при расчетах в MATLAB и в 8,46 раз при расчетах в Microsoft Excel.

5. С. 127; Глава 2. Не до конца понятны вычисления. Согласно тексту примера, сумма элементов массива В (ниже и слева от текущего элемента А в исходном массиве) равна 4. При этом из схемы исходного массива на рисунке 2.10а следует, что сумма не может превышать 3.

6. С. 136, 137; Глава 3. Приведенные под номерами 3.2 и 3.4 формулы вычисления скорости и координаты нарушают согласованность размерностей. Возможно, предполагались формулы следующего вида:  $V = V_0 + a \cdot t$ ;  $S = S_0 + v \cdot t$ .

7. С. 141; Глава 3. Приведена некорректная формула. Согласно приведенной формуле, потребуется минимум  $r=z^w$  нечетких правил вместо  $r=z \cdot w$ , т.е. при  $z=3$ ,  $w=9$  минимальное число правил составило бы 19683 вместо 27.

8. С. 141; Глава 3. Из работы не понятно в каком случае оттенок N примет отрицательное значение, согласно приведенному на странице 141 нечеткому правилу.

9. С. 82, 162, 164, 293; Главы 1, 3, 5. Термин «немаксимальное подавление» при описании детектора границ Кэнни лучше заменить общепринятым «подавление не-максимумов».

10. С. 151; Глава 3. Выражение 3.18 описывает зависимость оценки эвристики от координат начальной и целевой ячеек. Исходя из условий, начальная и целевая ячейки «помечены своими координатами  $(x_0, y_0, z_0)$  и  $(x_{target}, y_{target}, z_{target})$ ». Скорректированная зависимость приведена в выражении 3.19, где вычисление расстояния по оси  $z$  осуществляется через целевую координату  $z_{target}$  и дополнительно введенную величину  $Distance$ , оценивающую  $z$  координату ячейки для которой вычисляется оценка эвристики.  $Distance$ , согласно выражению 3.16, оценивается по площади наблюдаемой цветовой метки и определяет « $Z$ -координату распознанной цветовой метки (расстояние от видеокамеры до цветовой метки)». В связи с тем, что ни в описании алгоритма на с. 152, ни на Рис. 3.8 на с. 153 не приводятся дополнительных правил выбора координат  $x_{target}$ ,  $y_{target}$ ,  $z_{target}$ , и расчета  $Distance$ , то возникает вопрос о корректности применения разницы  $Distance - z_{target}$  при оценке расстояния Чебышева в 3.19.

11. С. 154; Глава 3. На рисунке 3.9 приведена графическая интерпретация алгоритма поиска на плоскости, где никак не отражено изменение третьей координаты – дистанции, а также ни численно ни графическими средствами не продемонстрировано изменение оценки используемой на каждом шаге эвристики.

12. С. 295; Глава 5. В работе не приводится обоснование выбора приведенных графических сцен, используемых для анализа методов построения карт глубин, и упомянутых, в том числе, в пункте 4 выводов главы 5.

13. В работе не приводятся описаний специфики, количественных и качественных результатов практического применения разработанных моделей, методов и алгоритмов, полученных в ходе упоминаемых соискателем промышленных внедрений.

14. В работе не приведена информация о полученных в результате программной реализации разработанных моделей и алгоритмов бинарных библиотек классов для использования результатов диссертационного исследования сторонними разработчиками СТЗ.

Отмеченные замечания в целом не снижают общего положительного впечатления от диссертационной работы, а также – теоретическую и практическую значимость научных результатов, полученных Милостной Н.А. в ходе выполненного исследования.

### **Заключение**

Диссертация Милостной Н.А. является законченным научно-исследовательским трудом (научно-квалификационной работой), самостоятельно выполненным автором на достаточно высоком научном уровне. Работа выполнена на актуальную тему, она базируется на репрезентативном объеме данных, примеров, моделей и инженерных расчетов. Сформулированные научные положения и выводы являются обоснованными и достоверными.


Положения, выносимые на защиту, апробированы и хорошо освещены в научной печати, в том числе, в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, а также – в изданиях, индексируемых в международных наукометрических базах данных Web of Science и Scopus, обсуждены на международных

научных конференциях. Автореферат полно отражает основные научные положения и выводы, сделанные в диссертации.

Таким образом, представленная диссертационная работа отвечает требованиям п.п. 9-11 Положения о присуждении учёных степеней (Утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, ред. от 18.03.2023), а её автор – соискатель Милостная Наталья Анатольевна заслуживает присуждения ей учёной степени доктора технических наук по научной специальности **2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика** на основании результатов публичной защиты.

**Официальный оппонент:**

доктор технических наук, профессор



Е.Е. Ковшов  
«04» сентября 2023 года

**Контактная информация:**

Ф.И.О.: Ковшов Евгений Евгеньевич

Организация: Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторский институт монтажной технологии – Атомстрой» (АО «НИКИМТ-Атомстрой»), предприятие Госкорпорации «Росатом»

Почтовый адрес: 127410, г. Москва, Алтуфьевское шоссе, д. 43, стр. 2

Должность: начальник Научно-инженерной и образовательной лаборатории цифровых компьютерных систем и автоматизации НИКИМТ

Телефон: +7 (495) 411-65-50#2269

e-mail: [KovshovEE@atomrus.ru](mailto:KovshovEE@atomrus.ru)

Специальность, по которой защищена докторская диссертация: 05.13.07 – Автоматизация технологических процессов и производств (машиностроение)

Подпись доктора технических наук, профессора Ковшова Е.Е. удостоверяю.

Директор по персоналу  
АО «НИКИМТ-Атомстрой»



Д.Э. Антоненко

«04» сентября 2023 года