

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор Пензенского
государственного университета



Д. В. Артамонов

2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Милостной Натальи Анатольевны на тему «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 темы диссертационной работы и её связь с научными программами

Работа Милостной Натальи Анатольевны «Методология синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения» посвящена решению актуальной проблемы увеличения быстродействия обработки видео и стереоинформации в нейро-нечётких системах технического зрения при обеспечении их аддитивности и требуемой точности вычислений.

При разработке информационных, управляющих и навигационных систем возникают проблемы, связанные с определением траектории перемещения роботизированных комплексов для исключения их столкновений с подвижными и/или неподвижными объектами. С целью исключения подобных условий в роботизированных комплексах используются системы оучувствления, основанные на моделях стереозрения, позволяющие с помощью карт глубин формировать пространственное положение роботизированного комплекса, его исполнительных механизмов и объектов на 3d сценах. Поэтому к интеллектуальным системам управления

роботизированными комплексами предъявляются высокие требования по точности и скорости обработки стереоинформации.

Значительного повышения производительности интеллектуальных систем технического зрения при решении поставленной научной проблемы диссертационного исследования можно достичь, объединив методы формирования нечётко-логического вывода с новыми моделями обработки стереоизображений. Такое объединение возможно обеспечить за счёт разработки и комбинации новых взаимосвязанных методов и математических моделей: метода отношения площадей, метода построения адаптивной нейро-нечёткой системы вывода, модели нечёткой фильтрации сигналов, модели оптимизации числа проходов при обработке изображений свёрточной матрицей 3×3 , математической модели распознавания цветных меток, интеллектуальной математической модели построения карт глубин и модифицированного алгоритма A^* . Решением научно-технической проблемы является разработка совокупности методов, позволяющих повысить производительность обработки видео и стереоинформации в нейро-нечётких моделях, которая определена в работе, как методология синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения на основе мягких вычислений, что обуславливает актуальность данного диссертационного исследования.

Актуальность исследования подтверждается его выполнением в Юго-Западном государственном университете в рамках грантов Президента РФ МК-277.2012.8 по теме «Разработка теоретических основ адаптации сложных технических систем методами нечёткой логики с прогнозированием вероятных состояний», МК-470.2009.8 по теме «Теоретические основы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами на основе нечёткой логики», в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (государственный контракт №14.740.11.1003) по теме «Разработка теоретических основ, принципов и алгоритмов адаптации сложных информационно-технических систем методами нечёткой логики с учетом прогнозирования возможных состояний», по Госзаданию Минобрнауки России по теме «Разработка теоретических основ и алгоритмов адаптации сложных технических систем с прогнозированием вероятных состояний» (соглашение №7.3522.2011), Госзаданию Минобрнауки России

по теме «Разработка методов обеспечения живучести интеллектуальных бортовых систем управления беспилотных транспортных средств» (соглашение № 2.3440.2017/4.6), Госзаданию Минобрнауки России по теме «Исследование алгоритмов, моделей и методов повышения эффективности функционирования сложных технических систем» (соглашение № 0851-2020-0032), в рамках выполнения гранта Российского научного фонда № 23-21-00071 «Разработка модели компьютерного зрения для интеллектуальной навигации робототехнических систем, основанной на построении трёхмерных сцен по картам глубин», а также соответствием Указу Президента РФ от 7.07.2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в РФ и перечня критических технологий РФ» в части технологии информационных, управляющих, навигационных систем (обеспечение перехода к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, создания систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта).

Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа Милостной Натальи Анатольевны состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературных источников и приложений.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована научная проблема, цель и задачи исследований, научная новизна и практическая значимость, приведены результаты реализации работы.

В первой главе выполнен анализ современного состояния проблемы и развития научных исследований интеллектуального управления роботизированными комплексами, основанного на нейро-нечётких системах вывода и системах технического зрения. Приводится обзор свойств функционирования адаптивных нейро-нечётких систем вывода. Выявлены критерии, ограничивающие их применение в современных системах управления роботизированными комплексами в реальном времени. С целью компенсации недостатков нечётких фильтров и повышения чувствительности нечёткой системы создан новый метод отношения площадей для дефазификации нечёткого вывода. Предложены пути применения в

системах технического зрения новых методов и алгоритмов, обеспечивающих повышение точности распознавания карт глубин с локализацией объектов на них и формирования маршрутов передвижения роботизированных комплексов, а также позволяющих повысить быстродействие адаптивных нейро-нечётких систем вывода. Также в первой главе определена технология создания системы технического зрения для роботизированного комплекса, включающая 8 этапов и критерии оценки её эффективности.

Во второй главе рассмотрены вопросы, связанные с разработкой математического инструментария, используемого для синтеза интеллектуальных систем технического зрения. Нейро-нечёткая система вывода, основанная на разработанном в диссертации методе отношения площадей, используется для вычисления диспаритета на картах глубин. Модель нечёткой фильтрации позволяет осуществлять фильтрацию на бинаризованных изображениях и исключать ошибки, связанные с нахождением центра тяжести распознанных меток. Модель оптимизации числа проходов при обработке изображений окном 3×3 позволяет повысить производительность наиболее сложных вычислительных операций при фильтрации изображений и вычислении суммы абсолютной разности.

В третьей главе диссертации разработаны модели визуализации пространственного положения роботизированного комплекса: математическая модель распознавания цветowych меток, которая позволяет в режиме реального времени определять XYZ координаты исполнительных механизмов и находить скорость их перемещения, интеллектуальная математическая модель построения карт глубин на основе трёхуровневой адаптивной нейро-нечёткой системы вывода.

Учитывая созданный во второй и третьей главах диссертационного исследования математический аппарат, разработана методология синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения на основе мягких вычислений, предназначенная для роботизированных комплексов, использующих в качестве органов осязания стереокамеры.

В четвёртой главе представлена реализация нейро-нечётких моделей на основе параллельно-конвейерной обработки информации, и анализ их программно-имитационных моделей.

Пятая глава посвящена анализу экспериментальных данных, полученных при обработке стереоинформации на основе нейро-нечёткой системы вывода, основанной на методе отношения площадей, и оценке их быстродействия.

В заключении диссертации содержатся выводы и предложения, обобщающие результаты выполненного исследования, которые отражают достижение основной цели работы на основе решения актуальной проблемы диссертационного исследования.

Оформление и содержание диссертационной работы выполнено в соответствии со всеми требованиями, предъявляемыми к диссертациям, представленным на соискание ученой степени доктора технических наук. Изложение материала логично аргументировано. Существенных замечаний к стилю изложения и качеству оформления диссертации и автореферата нет.

Текст диссертации не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования, результатов научных работ, выполненных в соавторстве, без ссылок на соавторов; не содержит сведений, представляющих государственную тайну, а также информации, распространение которой запрещено действующим законодательством Российской Федерации.

Автореферат диссертации правильно отражает содержание диссертационной работы и дает возможность судить о целях и задачах исследования, научных выводах и результатах.

Таким образом, содержание диссертации позволяет судить о завершенности и необходимой полноте проведенных исследований, а также содержит достаточно материала, свидетельствующего о достоверности и обоснованности полученных выводов.

Научная новизна результатов диссертации

В рамках диссертационной работы получены основные результаты, обладающие научной новизной:

1. Метод отношения площадей, отличающийся исключением ошибки, связанной с сужением интервала дефаззификации в нечётком выводе, позволяющий сократить время вычислительного процесса на несколько порядков по сравнению с аналогами.

2. Быстродействующие дефаззификаторы, отличающиеся применением метода отношения площадей, позволяющие сократить время вычисления результирующего значения на выходе дефаззификатора за счёт исключения из расчёта времени, необходимого для определения ширины верхнего основания усечённого терма выходной функции принадлежности (до 40 нс в первой модификации) и за счёт исключения вычисления двух переменных: ширины терма выходной функции принадлежности и ширины верхнего основания усечённого терма выходной функции принадлежности (до 32,5 нс во второй модификации).

3. Метод построения адаптивной нейро-нечёткой системы вывода, отличающийся использованием мягких вычислений при композиции нечётких правил, модификацией дефаззификации методом отношения площадей и применением метода градиентного спуска при обучении, позволяющий повысить точность её обучения более чем в 11 раз по сравнению с классической адаптивной нейро-нечёткой системой вывода Такаги-Сугэно.

4. Математическая модель нечёткой фильтрации сигналов, основанная на методе отношения площадей, позволяющая исключить расчёт настроечных коэффициентов, свойственных классическому и нечёткому фильтрам Калмана, обеспечивающая адаптацию её параметров к изменениям параметров окружающей среды за счёт автоматической настройки меток входных функций принадлежности, имеющая преимущество по точности при использовании второй быстродействующей модификации метода отношения площадей на 39% по отношению к фильтру Калмана и на 34% по отношению к нечёткому фильтру Калмана.

5. Модель оптимизации числа проходов при обработке изображений свёрточной матрицей с окном 3×3 , основанная на известном методе акселерации с использованием интегрального изображения, отличающаяся наличием обратного прохода на основе сформулированной теоремы об эквивалентности расчёта суммы элементов в окне 3×3 с представлением её доказательства, позволяющая снижением вычислительной сложности алгоритма при определении суммы элементов в окне, как минимум, в два раза снизить время при обработке изображения окном 3×3 по сравнению с прямым методом свёртки, использующим единичный фильтр.

6. Математическая модель распознавания цветowych меток, позволяющая определить пространственное трёхмерное положение исполнительных механизмов роботизированного комплекса с помощью одной видеокамеры, увеличивающая точность распознавания цветowych меток на 12% по отношению к существующим аналогам и используемая для построения маршрута передвижения исполнительных механизмов роботизированных комплексов, обеспечивающая в 1,38 раза увеличение производительности технологического процесса складирования изделий по сравнению с существующими решениями.

7. Математическая модель построения карт глубин, отличающаяся использованием для вычисления диспарантности трёхуровневой нейро-нечёткой системы вывода, использующей метод детектирования границ объектов на первом уровне, особенностью реализации второго и третьего уровней которой является использование одинаковых функций принадлежности и базы нечётких правил, что позволяет уменьшить количество вычислительных операций за счёт использования одних и тех же блоков при программной реализации данной системы в параллельно-конвейерных устройствах, обеспечивающая повышение точности при построении карт глубин не менее чем в 1,5 раза по отношению к известным решениям.

8. Методология 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 3×3 , 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.

9. Вектор целевых критериев, позволяющих оценить качество функционирования высокопроизводительной нейро-нечёткой системы технического зрения, основанной на интеллектуальных моделях распознавания цветowych меток и построения карт глубин.

Значимость для науки и практики полученных результатов работы

Теоретическая значимость работы Милостной Натальи Анатольевны заключается в развитии методологии нейро-нечёткого управления сложными техническими объектами, направленной на расширение и углубление спектра знаний в области разработки новых моделей машинного обучения за счёт комбинации метода обучения адаптивной нейро-нечёткой системы вывода с быстродействующим дефаззификатором, основанном на методе отношения площадей, а также минимизации времени обучения нейро-нечёткой сети за счёт распараллеливания вычислительных процедур и средств динамического программирования при построении трёхмерных сцен с разработкой новых методов оптимальной обработки информации в системе управления навигацией роботизированного комплекса. По экспериментальным оценкам время вычислений в нейро-нечёткой сети для обработки одного пикселя сокращается на несколько порядков по отношению к существующим моделям и составляет 32 нс. Результаты исследования используются в образовательном процессе Юго-Западного государственного университета, Воронежского государственного технического университета, Брянского государственного технического университета, научной и образовательной деятельности Академии Государственной противопожарной службы МЧС России.

Практическая значимость работы подтверждается реализацией быстродействующих дефаззификаторов и адаптивной нейро-нечёткой системы вывода, построенных на основе метода отношения площадей и его модификаций, моделей распознавания цветowych меток и построения карт глубин, подтверждёнными отчетами НИР в Госреестре, 3 патентами на изобретения и 14 программами для ЭВМ; внедрением результатов диссертационной работы в производственные системы АО «Авиаавтоматика» им. В.В. Тарасова» (г.Курск), Проектно-изыскательского и научно-исследовательского института морского транспорта «НовоморНИИпроект» (г. Новороссийск), ООО «Софт-Кристалл» (г. Томск), ОАО «Курскмедстекло» (г.Курск), Научно-исследовательского центра (г. Курск) ФГУП «18 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации, вносящим значительный вклад в развитие страны.

Полученные в диссертационной работе результаты теоретических и прикладных исследований апробированы, прошли технические испытания и внедрены в производство, что подтверждено соответствующими актами о внедрении.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций диссертации

Достоверность научных положений, теоретических выводов и практических результатов диссертационной работы подтверждается корректным использованием аппарата математической статистики, нечёткого логического вывода и нейросетевого моделирования, регрессионного анализа; соответствием результатов экспериментальных исследований выдвигаемым гипотезам, качественным и количественным результатам предшествующих исследований; публикациями в научных рецензируемых изданиях высокого уровня

Достоверность и обоснованность научных положений, результатов и выводов, приведенных в диссертационной работе, подтверждается апробацией на 30 международных и всероссийских научно-технических конференциях, рецензированием и научно-технической экспертизой 25 статей в научных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ по специальности диссертации, 13 публикаций в изданиях, индексируемых в наукометрических базах Scopus и Web of Science (из них 3 статьи в журналах квартиля Q1); 2 монографий и глав в 4 международных коллективных монографиях, индексируемых в базе Scopus.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы для управления сложными роботизированными комплексами, использующими в качестве оцувствления системы технического зрения, основанные на обработке стереоинформации.

Работа Милостной Н.А. носит теоретический и прикладной характер. Научно-технические решения, предложенные в диссертации, внедрены в интеллектуальные системы технического зрения отечественных предприятий.

Результаты работы могут быть использованы в системах очувствления интеллектуальных роботизированных комплексов, а также в их управляющих и навигационных системах: в НИИ РиПУ ЮФУ (г. Таганрог), АО «НИКИМТ-Атомстрой» (г. Москва), НПО «Андроидная техника» (г. Магнитогорск), ООО «АРКОДИМ-Про» (г. Казань), ООО «Эйдос-Робототехника» (г. Казань).

Замечания по работе

Замечания по диссертационной работе и автореферату заключаются в следующем:

1. В работе уделено недостаточное внимание анализу возможности использования нейронных сетей в задачах построения карт глубин и распознавания цветowych меток.

2. В диссертационном исследовании наряду с анализом ошибки, возникающей в работе дефаззификаторов, такой как интервал сужения дефаззификации, необходимо было указать и другие ошибки, ведущие к ухудшению их чувствительности, с представлением количественных показателей.

3. В главе 3 не достаточно описаны методы корреляционно-регрессионного анализа, позволяющие в режиме реального времени получать уравнения зависимости между координатой Z и площадью распознанной цветовой метки.

4. В автореферате (рис. 9а) и диссертации (рис. 3.15, а) необходимо было более подробно описать, как формируются трапециевидные функции принадлежности для входной переменной второго уровня иерархической нечеткой модели построения карт глубин.

5. В автореферате рисунок 10а и диссертации (рисунок 3.20, а) представлены треугольные функции принадлежности, но не указано являются ли термы A_1 и A_3 треугольными функциями или только их частью? Необходимо пояснить, какие формулы формируют данные функции принадлежности.

Указанные замечания не снижают ценности проведенных автором исследований и работы в целом.

Общая оценка работы и соответствие паспорту научной специальности

Работа Милостной Натальи Анатольевны «Методология синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения» по глубине и актуальности сформулированной и решенной научной проблемы, поставленным научно-техническим задачам, степени проработанности, спектру задействованных методов и приемов теоретических и прикладных исследований соответствует уровню диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Сделанные выводы и заключения обоснованы и подкреплены результатами экспериментов. Результаты, полученные в ходе работы, обладают научной новизной и практической ценностью. Имеется внедрение в производственные системы российских предприятий. Глубина исследования подтверждается публикациями в высоко рейтинговых журналах и реализацией научных проектов, проводимых в рамках исследования.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, а именно п.1 «Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»; п.4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»; п.12 «Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Милостной Натальи Анатольевны на тему «Методология синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения» является логически завешенной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном и техническом уровне, и посвящена решению актуальной научной проблемы.

Диссертация «Методология синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения» в полной мере удовлетворяет требованиям Министерства науки и высшего

образования Российской Федерации, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, в частности пп.9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (ред. от 18.03.2023), и соответствует паспорту научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, а её автор, Милостная Наталья Анатольевна, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук.

Диссертация и отзыв обсуждены на расширенном заседании кафедр «Вычислительная техника» и «Компьютерные технологии», Пензенского государственного университета, протокол № 1 от «01» 09 2023 года.

Заведующий кафедрой
«Вычислительная техника»
доктор технических наук, доцент



Митрохин Максим Александрович

Заведующий кафедрой
«Компьютерные технологии»
доктор технических наук, профессор



Горбаченко Владимир Иванович

Контактные данные:

Митрохин Максим Александрович,
доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Вычислительная техника»
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет».
Специальность, по которой присуждена ученая степень – 05.13.01
Телефон: (841-2) 66-65-89
e-mail: vt@pnzgu.ru
Адрес: 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40, учебный корпус № 7, ПГУ

Горбаченко Владимир Иванович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Компьютерные технологии»
Пензенского государственного университета.
Специальность, по которой присуждена ученая степень – 05.13.15
Телефон: (841-2) 66-65-69
e-mail: gorvi@mail.ru
Адрес: 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40, учебный корпус № 7, ПГУ