

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук,
профессора Ронжина Андрея Леонидовича
на диссертационную работу Милостной Натальи Анатольевны
«Методология синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-
нечётких систем технического зрения», выполненную на соискание учёной
степени доктора технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ,
управление и обработка информации, статистика

Актуальность темы исследования. Диссертация посвящена разработке методологии синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения, созданию комплексных методов и методик исследования, поддержки принятия решений, как в выбранной области практического применения, так и за ее пределами на этапах создания и эксплуатации высокопроизводительных систем технического зрения.

Необходимость и актуальность проведенных исследований связана с усилением требований к точности вычислений и увеличению быстродействия обработки стереоинформации. Соискателем предложено использование в системах технического зрения интеллектуальных моделей, основанных на нейро-нечётких сетях. Повышение быстродействия вычислительного процесса обработки стереоизображений путём разработки методологии синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения является целью диссертационной работы. Для достижения указанной цели в процессе решения задач Н.А. Милостной были предложены новые методы:

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. Метод построения адаптивной нейро-нечёткой системы вывода, использующий мягкие вычисления при композиции нечётких правил, позволяющий повысить точность её обучения более чем в 11 раз по сравнению с классической адаптивной нейро-нечёткой системой вывода Такаги-Сугэно.

Объединив методы формирования нечётко-логического вывода с новыми моделями оптимизации и обработки стереоизображений (модель нечёткой фильтрации сигналов, модель оптимизации числа проходов при обработке изображений свёрточной матрицей 3×3 , математическая модель распознавания цветных меток, математическая модель построения карт глубин), Н.А. Милостная достигла в работе значительного повышения быстродействия интеллектуальных систем технического зрения. Представленная комбинация новых взаимосвязанных методов и математических моделей позволяет в реальном времени из полученной стереоинформации (RGB изображения) определить трёхмерные координаты объекта по синтезируемым картам глубин.

В диссертации предлагается методология синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения, базирующаяся на комбинации новых авторских методов и моделей. Её применение позволяет решить научную проблему создания и развития теоретических основ

обработки стереоизображений на основе нейро-нечёткого подхода, обеспечивающего увеличение быстродействия обработки стереоинформации в нейро-нечётких моделях при соблюдении требуемой точности вычислений. На основании созданной методологии разработаны алгоритмические и программные средства управления сложными роботизированными комплексами, использующими в качестве оцувствления системы технического зрения, основанные на обработке стереоинформации.

Актуальность избранной темы исследования подтверждается выполнением диссертации в рамках грантов Президента РФ, гранта Российского научного фонда, Госзаданий Минобрнауки России и Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», что подчеркивает значимость решаемой в диссертации научной проблемы.

Объектом диссертационного исследования являются системы технического зрения с интегрированными интеллектуальными модулями принятия решений, основанные на нейро-нечётких системах вывода. Практической областью применения являются программно-аппаратные системы технического зрения промышленных роботизированных комплексов. При этом разработанные методы и математические модели могут быть использованы в других направлениях на этапах жизненного цикла создания и эксплуатации технических систем.

При непосредственном участии и под руководством соискателя были созданы программные продукты, апробированные на различных аппаратных архитектурах.

Теоретическая значимость полученных результатов заключается в разработке совокупности методов, моделей, алгоритмов, составляющих предложенную автором методологию синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения, что позволяет говорить о решении научной проблемы развития теоретических основ обработки стереоизображений на основе нейро-нечёткого подхода.

Научно-методические результаты диссертационной работы внедрены в образовательные процессы Юго-Западного государственного университета, Воронежского государственного технического университета, Брянского государственного технического университета, Академии государственной противопожарной службы МЧС России.

Научной новизной диссертационной работы являются следующие результаты:

1. 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 цветных меток, интеллектуальную математическую модель построения карт глубин и модифицированный алгоритм поиска кратчайшего пути A^* .

2. Метод отношения площадей, позволяющий сократить время вычислительного процесса на несколько порядков по сравнению с аналогами.

3. Быстродействующие дефаззификаторы, отличающиеся применением разработанного соискателем метода отношения площадей, позволяющие сократить время вычисления результирующего значения на выходе дефаззификатора.

4. Метод построения адаптивной нейро-нечёткой системы вывода, позволяющий повысить точность её обучения по сравнению с классическими системами вывода.

5. Математическая модель нечёткой фильтрации сигналов, имеющая преимущество по точности по отношению к фильтру Калмана.

6. Модель оптимизации числа проходов при обработке изображений свёрточной матрицей, позволяющая снизить время вычисления суммы элементов в окне 3×3 по сравнению с прямым методом свёртки, использующим единичный фильтр.

7. Математическая модель распознавания цветowych меток, позволяющая определить пространственное трёхмерное положение исполнительных механизмов роботизированного комплекса, увеличивающая точность распознавания цветowych меток на 12% по отношению к существующим аналогам.

8. Математическая модель построения карт глубин, обеспечивающая повышение точности при построении карт глубин не менее чем в 1,5 раза по отношению к известным решениям.

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.

Предложенные Н.А. Милостной новые решения строго аргументированы и объективно оценены по сравнению с другими известными решениями в этой научной области.

Практическая значимость научного исследования подтверждается апробацией и внедрением результатов диссертационной работы на производственных предприятиях разных регионов: АО «Авиаавтоматика» им. В.В. Тарасова», Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт морского транспорта «НовоморНИИпроект» (г. Новороссийск), ООО «Софт-Кристалл» (г. Томск), ОАО «Курскмедстекло», Научно-исследовательский центр (г. Курск) ФГУП «18 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации.

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 (25 статей в научных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ по специальности диссертации категории К1 и К2; 13 публикаций в изданиях, индексируемых в наукометрических базах Scopus и Web of Science, из них 3 статьи в журналах квартиля Q1).

Объем и содержание публикаций отражает **основные защищаемые**

положения диссертации:

1. Методология синтеза высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения, основанная 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 их перемещения или обхода.

2. Дефаззификатор, основанный на новом методе отношения площадей, и его модификации позволяют сократить время вычислительного процесса для принятия управляющих решений в системах технического зрения интеллектуальных роботизированных комплексов до 32,5 нс при частоте 200 МГц.

3. 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, позволяет повысить точность её обучения более чем в 11 раз по сравнению с моделью Такаги-Сугэно.

4. Математическая модель нечёткой фильтрации, применяемая в процессе обучения адаптивной нейро-нечёткой системы вывода, основанная на методе отношения площадей, позволяет повысить точность процесса фильтрации 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, основанная на известном методе акселерации интегрального изображения, отличающаяся наличием обратного прохода, базирующаяся на теореме об эквивалентности расчёта суммы элементов в окне 3×3 , позволяет сократить вычислительную сложность процесса распознавания цветowych меток при реализации операции фильтрации бинаризованного изображения и процесса построения карт глубин при расчёте разности уровней интенсивности стереоизображений в 2,5 раза по сравнению с прямым методом свёртки, использующим единичный фильтр.

6. Математическая модель распознавания цветowych меток, основанная на модифицированном методе отношения площадей и использовании активных заключений из базы нечётких правил в его структуре, позволяет на 12% увеличить точность распознавания по отношению к детектору Кэнни, обеспечивает увеличение в 1,38 раза производительности процесса автоматизации и управления роботизированным комплексом и увеличение точности распознавания цветowych меток на 12% по отношению к существующим аналогам.

7. Математическая модель построения карт глубин, основанная на трёхуровневой нейро-нечёткой системе вывода, использующая при дефаззификации метод отношения площадей, позволяющая на первом уровне детектировать границы объекта, на втором уровне вычислять диспарантность с помощью модифицированного алгоритма суммы абсолютных разностей, на третьем уровне вычислять диспарантность на основе градиента разности контуров левого и правого изображения, обеспечивает повышение точности построения карт глубин не менее чем в 1,5 раза по отношению к известным решениям.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается правильным применением

методов исследования диссертационной работы: системного анализа, теории искусственного интеллекта и автоматического управления, методов нечёткой логики и нечётких множеств, теории проектирования нейро-нечётких сетей, матричной алгебры, методов теории вероятности и корреляционно-регрессионного анализа, вычислительной математики и математической статистики. Адекватность и достоверность предложенных методов и алгоритмов подтверждается результатами компьютерного моделирования и экспериментами с реальными данными.

Структура диссертационной работы соответствует цели диссертационного исследования. Диссертация состоит из пяти глав, содержание которых структурировано и логически связано.

В первой главе приводится анализ существующих методов, методических и алгоритмических средств создания систем технического зрения для интеллектуальных роботизированных комплексов. Отмечены проблемы и потенциальные направления исследования.

Во второй главе диссертационного исследования разработан математический инструментальный методологии синтеза интеллектуальных систем технического зрения для роботизированных комплексов: метод отношения площадей, нейро-нечёткая система вывода, модель нечёткой фильтрации, модель оптимизации числа проходов при обработке изображений.

В третьей главе диссертации разработана методология синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения, предназначенная для роботизированных комплексов, использующих в качестве органов очувствления одну или две стереокамеры в зависимости от поставленных задач.

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

В пятой главе рассмотрен анализ экспериментальных данных, полученных при обработке стереоинформации интеллектуальной высокопроизводительной нейро-нечёткой системой технического зрения.

В заключении диссертации представлены основные выводы и предложения, обобщающие результаты выполненного исследования, которые отражают достижение основной цели работы на основе решения актуальной проблемы диссертационного исследования, даны направления дальнейшего развития исследования.

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

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика по пунктам: 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.

Текст автореферата полностью отражает основное содержание диссертационной работы. Критических замечаний к качеству оформления диссертации и автореферата нет.

Замечания и недостатки диссертационной работы:

1. При описании разработанных решений по оптимизации числа проходов при обработке изображений имеет место терминологическая путаница и нет целостного описания модели. Встречается и модель оптимизации, и оптимизационная модель. При их описании даются только ссылки на разные методы и сразу идет описание алгоритмов или листинги псевдокода.

2. Формально «Динамический метод обработки элементов массива окном 3x3» присутствует только в названии раздела 2.5.2 и выводах второй главы диссертации, следовало описать структуру метода, как он реализован с использованием приведенных методов.

3. В начале заключений автореферата и диссертации следовало в явном виде сформулировать наименование поставленной и решенной научно-технической проблемы, например:

«В диссертационной работе на основе разработанного математического, алгоритмического и аппаратного обеспечения решена научно-техническая проблема повышения быстродействия вычислительного процесса обработки стереоизображений без потери точности. Решенная проблема имеет важное значение для совершенствования методов и технических средств высокопроизводительных нейро-нечетких систем технического зрения, разработки перспективных сенсорных систем и беспилотного транспорта. Совокупность предложенных методологии, моделей, алгоритмов синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечетких систем обработки стереоизображений включает следующие научные результаты:...»

4. Для повышения обоснованности практической значимости результатов диссертационного исследования имело смысл оценить их экономические параметры.

Отмеченные выше недостатки не влияют на общую положительную оценку представленной работы и могут быть приняты во внимание в качестве рекомендаций по дальнейшему развитию данного направления научных исследований.

Заключение

Диссертационная работа Милостной Натальи Анатольевны «Методология синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечетких систем технического зрения» является самостоятельной завершенной научно-исследовательской квалификационной работой, в которой решена важная научно-техническая проблема повышения быстродействия вычислительного процесса обработки стереоизображений без потери точности.

Автореферат в полной мере отражает содержание работы. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика. Все основные результаты диссертации получены автором лично, апробированы, опубликованы и внедрены на производственных предприятиях.

Диссертационная работа «Методология синтеза интеллектуальных высокопроизводительных нейро-нечётких систем технического зрения» обладает новизной, теоретической и практической значимостью, соответствует всем требованиям Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, предъявляемым к диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук, пп.9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (ред. от 18.03.2023), а её автор, Милостная Наталья Анатольевна, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

15.09.2023

Официальный оппонент
доктор технических наук,
профессор, профессор РАН,
исполняющий обязанности директора
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки «Санкт-Петербургский
Федеральный исследовательский центр
Российской академии наук»



Ронжин Андрей Леонидович

Докторская диссертация защищена по научной специальности: 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»

Адрес места основной работы: 199178, г. Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., д. 39, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук»

Рабочий телефон: +7 (812) 328 33 11

Адрес электронной почты: info@spcras.ru