


УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
по научной работе ИТ СО РАН
д. ф.-м. н. Куйбин Павел Анатольевич


«6» сент 2022г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН)

Диссертация на соискание степени кандидата технических наук «Разработка методов реконструкции и анализа трёхмерной структуры движущихся объектов» выполнена в лаборатории физических основ энергетических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН).

В период подготовки диссертации соискатель **Серёдкин Александр Валерьевич** работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук в лаборатории физических основ энергетических технологий в должности младшего научного сотрудника.

В 2016 году Серёдкин Александр Валерьевич окончил магистратуру в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ) по направлению «Физика» по специальности «Информационные процессы и системы».

В 2020 Серёдкин Александр Валерьевич году окончил аспирантуру в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ), Министерство образования и науки Российской Федерации по направлению «Физика и астрономия».

Научный руководитель - д.ф.-м.н., профессор, академик РАН Маркович Дмитрий Маркович, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН).

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Актуальность работы.

Трёхмерная реконструкция – это процесс восстановления трёхмерной «сцены» по нескольким двумерным изображениям. Такие задачи часто встречаются в ситуациях, когда необходимо извлечь информацию об окружающем мире, содержащуюся в изображениях. Например, при измерении расстояния до объекта, восстановлении положения частиц в объеме (обратная задача томографии), восстановлении формы поверхности, выделение фона и т.д.

Зачастую результаты трёхмерной реконструкции представляются в виде списка точек в трёхмерном пространстве (облако точек), либо в виде карты глубины относительно одного из изображений. Обычно подобные данные являются промежуточными и требуют дальнейшей

обработки. Примерами такой обработки могут служить реконструкция траектории и скорости, расчёт поля давления и температуры в жидкости или газе, анализ деформации поверхности, классификация объектов на изображении и т.д.

На сегодняшний день трёхмерная реконструкция используется повсеместно: в физике, химии, биологии, медицине, энергетике, кинематографе, археологии, авиационной и автомобильной промышленности, системах контроля на производстве, технологиях дополненной реальности, индустрии развлечений, системах безопасности и видеонаблюдения. Несмотря на общую формулировку, задачи из различных областей решаются с использованием широкого класса оборудования и методов.

Для количественного анализа процессов и объектов в природных и технических системах создаются специализированные аппаратно-программные комплексы, имеющие в своей основе постоянно совершенствующиеся алгоритмы обработки первичной информации. Однако в каждом случае необходимо учитывать особенности задачи при выборе, реализации и адаптации существующих методов.

Целью данной работы является разработка математических алгоритмов обработки данных для создания новых оптических методов и приборов для измерения геометрических параметров и скоростей перемещения объектов, основанных на современных достижениях в области высокопроизводительных вычислений и позволяющих существенно увеличить точность и быстродействие измерений.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Разработка и программная реализация математических алгоритмов обработки данных камеры светового поля для восстановления трехмерных координат и формы наблюдаемых объектов;
2. Исследование точности метода, реализованного в виде аппаратного комплекса по измерению трехмерных полей скорости частиц-трассеров в турбулентном потоке на основе камеры светового поля;
3. Разработка и программная реализация методов распознавания образов на изображениях и отслеживания их перемещения на основе машинного обучения с целью дальнейшей сортировки роботизированным захватом;
4. Анализ точности алгоритма распознавания пригодных к переработке типов бытовой упаковки, эффективности алгоритма планирования сортировки, реализованных в виде экспериментального образца автоматической сортировки твёрдых коммунальных отходов;
5. Разработка и программная реализация математических алгоритмов измерения формы трехмерных объектов на основе малоракурсной оптической триангуляции для набора из нескольких детекторов;
6. Анализ точности реализованного аппаратного комплекса по измерению формы трехмерных объектов на примере сопла турбореактивного двигателя.

Научная новизна и ценность работы:

1. Разработаны новые способы обработки изображений с камеры светового поля, основанные на впервые предложенной реализации алгоритма перефокусировки “Total focus”, который позволяет использовать одну камеру при применении метода трёхмерной цифровой трассерной визуализации;
2. Впервые реализована автоматизированная система сортировки объектов твёрдых коммунальных отходов по их изображениям на конвейерной ленте на основе обработки изображений нейронной сетью;
3. Предложен и реализован новый алгоритм планировщика для сбора предметов, учитывающий расположение предметов на конвейерной ленте, стоимость предметов и

место сбора каждого предмета, хранящий лучшее найденное решение для использования в случай прерывания (Anytime algorithm);

4. Впервые предложен и реализован оптический метод динамического измерения трёхмерных координат объектов в сложных условиях (при наземных испытаниях газотурбинного двигателя) на основе обработки изображений, полученных со стереопар, с дальнейшей фильтрацией, обнаружением конкретных элементов и вычисления их размеров.

Практическая значимость:

1. Разработанные способы обработки изображений с камеры светового поля могут использоваться при решении научных и прикладных задач;
2. Реализованная автоматизированная система сортировки объектов твёрдых коммунальных отходов по их изображениям на конвейерной ленте позволяет заменить ручную сортировку твёрдых коммунальных отходов на мусороперерабатывающих предприятиях;
3. Использование предложенных бесконтактных оптических методов динамического измерения трёхмерных координат объектов, которые обладают высокой точностью и подходят для мониторинга широкого класса объектов, позволяет решать научные и технические задачи.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Измерения гидродинамических характеристик течения в следе за цилиндром в плоском канале с использованием предложенных методов на базе камеры светового поля численно и качественно согласуются с результатами цифровой трассерной визуализации;
2. Эффективность распознавания объектов при тестировании на изображениях, размеченных вручную, превышает 60 % по метрике "mean Average Precision";
3. По результатам моделирования, эффективность работы предложенного планировщика превышает эффективность планировщика, который не использовал информацию о последующих предметах, на 11 %;
4. При использовании разработанных подходов, относительная погрешность измерения диаметров критического и выходного сечений сопла форсажной камеры неработающего турбореактивного двигателя не превышает 0,5 %;
5. Подтверждена возможность оптических измерений критического и выходного сечений сопла форсажной камеры турбореактивного двигателя на всех режимах работы.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на конференциях:

1. 18th international conference on the methods of aerophysical research (ICMAR 2016);
2. 19th international conference on the methods of aerophysical research (ICMAR 2018);
3. III Всероссийская научная конференция "Теплофизика и физическая гидродинамика" с элементами школы молодых ученых (Ялта 2018);
4. IV Всероссийская научная конференция "Теплофизика и физическая гидродинамика" с элементами школы молодых ученых (Ялта 2019);
5. XX Всероссийская конференция молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям (ИВТ СО РАН 2019);
6. Всероссийская конференция с элементами научной школы для молодых учёных "XXXVI Сибирский теплофизический семинар" (ИТ СО РАН 2020).

Степень достоверности результатов диссертационной работы подтверждается и демонстрируется в сравнении с существующими методами в рамках физических и компьютерных экспериментах. Значения, зафиксированные предложенными в работе методами, сравнивали с результатами прямых измерений, где это было возможно, с данными измерений

альтернативных и классических методов, а также с предсказаниями физических и математических моделей. Описанные в литературе модели использовались корректно, с указанием ссылок на первоисточники.

Личный вклад. Автор разработал и реализовал все алгоритмы, описанные в разделе **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, в том числе алгоритмы калибровки камеры светового поля, алгоритмы восстановления изображений и трехмерных координат по изображениям светового поля. Автор разработал и реализовал алгоритм работы планировщика и алгоритм обработки данных для вычисления диаметра сопла двигателя и реализовал все его этапы. Автор принимал непосредственное участие в создании и отладке системы автоматизированной сортировки твёрдых коммунальных отходов, в обучении нейронной сети для их классификации, а также в построении экспериментального образца автоматизированной системы сортировки твёрдых коммунальных отходов. Автор производил тестирование аппаратного комплекса по измерению формы трехмерных объектов на макете сопла турбореактивного двигателя и лично принимал участие в экспериментах на работающем образце газотурбинного двигателя.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации изложены в 12 печатных изданиях, из них 8 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК, 2 патента на изобретения и 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Список публикаций автора по теме диссертации:

1. Mel'Nik A.V., Seredkin A.V., Tokarev M.P., Gobyzov O.A. Laser line scanning of a shape of moving objects with various degree of transparency // Journal of Physics: Conference Series – 2020 - 1677(1) - 012187 (из перечня ВАК).
2. Seredkin A.V., Bobrov M.S., Tokarev M.P., Gobyzov O.A. Development of the algorithm for the optimization of objects pick up sequence on a conveyor belt // Journal of Physics: Conference Series – 2020 - 1677(1) - 012195 (из перечня ВАК).
3. Seredkin A., Plokhikh I., Mullyadzhyanov R., Malakhov I., Serdyukov V., Surtaev A., Chinak A., Lobanov P., Tokarev M. Pattern recognition for bubbly flows with vapor or gas-liquid interfaces using U-Net architecture // Proceedings – 2020 Science and Artificial Intelligence Conference, S.A.I.ence – 2020 - P. 5-8 - 9303175 (из перечня ВАК).
4. Seredkin A.V., Tokarev M.P., Plohih I.A., Gobyzov O.A., Markovich D.M. Development of a method of detection and classification of waste objects on a conveyor for a robotic sorting system // Journal of Physics: Conference Series – 2019 - 1359(1) - 012127 (из перечня ВАК).
5. Chertovskikh P.A., Seredkin A.V., Gobyzov O.A., Styuf A.S., Pashkevich M.G., Tokarev M.P. An adaptive PID controller with an online auto-tuning by a pretrained neural network // Journal of Physics: Conference Series – 2019 - 1359(1) - 012090 (из перечня ВАК).
6. Токарев М.П., Серёдкин А.В., Хребтов М.Ю., Петкогло Н.П., Вовк М.Ю., Чикишев Л.М., Дулин В.М., Маркович Д.М., Марчуков Е.Ю. Оптическая диагностика геометрии осесимметричного регулируемого сопла газотурбинного двигателя // Автометрия – 2019 - Т. 55. № 6 - С. 94-101 (из перечня ВАК).
7. Tokarev M.P., Abdurakipov S.S., Gobyzov O.A., Seredkin A.V., Dulin V.M. Monitoring of combustion regimes based on the visualization of the flame and machine learning // Journal of Physics: Conference Series – 2018 - 1128(1) – 012138 (из перечня ВАК).
8. Seredkin A.V., Shestakov M.V., Tokarev M.P. An industrial light-field camera applied for 3D velocity measurements in a slot jet // AIP Conference Proceedings – 2016 – 1770 - 030025 (из перечня ВАК).
9. Бобров М.С., Токарев М.П., Плохих И.А., Серёдкин А.В. "Программное обеспечение для детектирования объектов твёрдых коммунальных отходов на ленте конвейера на основе нейронной сети" // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020662465.

10. Абдуракипов С.С., Токарев М.П., Плохих И.А., Гобызов О.А., Серёдкин А.В. Программа мониторинга режимов горения на основе методов машинного обучения (flamesense) // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018666880, 21.12.2018. Заявка № 2018664174 от 10.12.2018.
11. Серёдкин А.В., Токарев М.П., Бобров М.С., Гобызов О.А. Способ оптимизации роботизированной сортировки ТКО путём динамического планирования перемещений робота-сортировщика // Заявка на патент № 2020132021.
12. Гобызов О.А., Абдуракипов С.С., Токарев М.П., Серёдкин А.В., Дулин В.М., Бильский А.В. Система мониторинга режимов горения топлива путем анализа изображений факела при помощи классификатора на основе свёрточной нейронной сети // Патент на изобретение RU 2713850 С1, 07.02.2020. Заявка № 2018143528 от 10.12.2018.

Соответствие специальности.

Данное диссертационное исследование соответствует специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Результаты диссертации соответствуют четырём пунктам паспорта специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»:

1. Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений.
3. Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий.
4. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.
6. Разработка новых математических методов и алгоритмов проверки адекватности математических моделей объектов на основе данных натурального эксперимента.

Общее заключение.

При выполнении диссертационной работы Серёдкин Александр Валерьевич проявил себя самостоятельным, сложившимся научным работником способным решать передовые научные задачи. В работе представлены актуальные, качественные исследования, которые представляют большой интерес для современной науки.

Диссертация Серёдкина Александра Валерьевича «Разработка методов реконструкции и анализа трёхмерной структуры движущихся объектов» рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Заключение принято на общеинститутском семинаре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук под руководством д.ф.-м.н., академик РАН, Алексеенко Сергей Владимирович.

Присутствовало на заседании 20 человек, из них 2 академика РАН, 2 член-корреспондента РАН, 6 докторов наук, 5 кандидатов наук. Результаты голосования: «за» - 20 человека, «против» - 0, «воздержалось» - 0, протокол № 3-2020 от «10» ноября 2020 г.

Председатель семинара
д.ф.-м.н., академик РАН



Алексеенко Сергей Владимирович

Секретарь семинара
к.т.н., с.н.с. ИТ СО РАН



Кабардин Иван Константинович