

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.199.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 24.11.2020 г. № 1

О присуждении Беляевскому Кириллу Олеговичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методы и алгоритмы формирования и использования октодерев для обработки облака точек лазерного сканирования в ограниченном объеме оперативной памяти» по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы) принята к защите 22 сентября 2020 г., протокол № 1 диссертационным советом Д 002.199.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 199178, Россия, Санкт-Петербург, 14 линия ВО, дом 39, утвержден приказом Минобрнауки России №105/нк от 11 апреля 2012 г. (с изменениями согласно приказам №574/нк от 15 октября 2014 г., № 386/нк от 27 апреля 2017 г., №748/нк от 12 июля 2017 г., №301/нк от 23 ноября 2018 г., №467/нк от 4 августа 2020 г.).

Соискатель Беляевский Кирилл Олегович, 1991 года рождения, в 2014 г. окончил Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра Великого по специальности «Проектирование аппаратно-программных средств вычислительной техники» (диплом №107824 0333849), в 2018 г. окончил очную аспирантуру в ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (диплом об окончании аспирантуры №107824 3810346). В настоящее время Беляевский Кирилл Олегович работает в

должности программиста в лаборатории «Промышленные системы потоковой обработки данных» Центра НТИ федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Диссертация выполнена в Высшей школе интеллектуальных систем и суперкомпьютерных технологий Института компьютерных наук и технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор МЕЛЕХИН Виктор Федорович, основное место работы: Высшая школа интеллектуальных систем и суперкомпьютерных технологий Института компьютерных наук и технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», профессор.

**Официальные оппоненты:**

ОРЛОВА Юлия Александровна, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», заведующая кафедрой «Программное обеспечение автоматизированных систем»;

ЯВОРСКИЙ Ростислав Эдуардович, кандидат физико-математических наук, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», советник ректора

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ), г. Санкт-Петербург в своем положительном отзыве, подписанном Ермаковым Сергеем Михайловичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой статистического моделирования математико-механического факультета СПбГУ, Голяндиной Ниной Эдуардовной, кандидатом физико-математических наук, доцентом, секретарем кафедры, и утвержденном Микушевым Сергеем

Владимировичем, кандидатом физико-математических наук, доцентом, проректором по научной работе СПбГУ, указала, что в целом диссертационная работа Беляевского К.О. представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему, отличается научной новизной и практической значимостью полученных результатов. Автором в диссертации сформулирована и решена важная научно-техническая задача разработки методов повышения эффективности хранения и обработки больших объемов трехмерных данных, а также приложения этих методов для решения актуальных практических задач обработки результатов трехмерного лазерного сканирования в различных областях народного хозяйства.

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы на предприятиях и в организациях, занимающихся получением и обработкой облаков точек лазерного сканирования, в которых необходимо повысить эффективность используемого аппаратного обеспечения для обработки данных. Разработанные алгоритмы, методы и программное обеспечение могут быть использованы занимающимися разработкой прикладного программного обеспечения компаниями для реализации механизмов пространственного поиска и динамической загрузки/сохранения данных в оперативную память при взаимодействии с облаками точек. Полученные результаты также могут найти применение в учебном процессе технических вузов, занимающихся подготовкой специалистов в области разработки программного обеспечения или обработки данных лазерного сканирования. Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. Диссертационное исследование «Методы и алгоритмы формирования и использования октодерев для обработки облака точек лазерного сканирования в ограниченном объеме оперативной памяти» является научно-квалификационной работой и соответствует критериям, изложенным в п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемых к кандидатским диссертациям, а его автор Беляевский Кирилл Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы).

Соискатель имеет 17 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 7 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 4, из них опубликованных в изданиях, рекомендуемых ВАК – 2, индексируемых в WoS/Scopus – 2, имеется 7 свидетельств о результатах интеллектуальной деятельности.

Основные научные результаты опубликованы в 7 научных трудах общим объемом 3,52 п.л., из которых объем личного вклада соискателя составляет 2,53 п.л. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. **Беляевский К.О.** Формирование октодеревя по облаку точек при ограничении объема оперативной памяти // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2019. Т. 12. № 4. С. 97–110. (Перечень ВАК)
2. **Беляевский К.О.** Применение динамической аллокации на отображаемой памяти для обработки больших облаков точек в библиотеке PCL // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2020. Т. 22, № 1. С. 56–64. (Перечень ВАК)
3. **Beliaevskii K.,** Badenko V., Tammsaar S., Fedotov A., Vinogradov K. Multithreading in Laser Scanning Data Processing // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) 11619 LNCS, 2019. Pp. 289–305. (Scopus). *Личный вклад соискателя – 50%.*
4. **Beliaevskii K.,** Bolsunovskaya M., Tammsaar S., Fedotov A., Gintciak A. Experimental sample of a software module for processing of a cloud of laser scanning points for natural-technical systems development // Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020, 2019. Pp. 8619–8627. (Scopus). *Личный вклад соискателя – 38%.*
5. **Беляевский К.О.,** Болсуновская М.В. Использование механизма отображения памяти при формировании октодеревя облака точек // Неделя науки СПбПУ. 2019. Т. 1. С. 125–128. *Личный вклад соискателя – 86%.*

Оригинальность содержания диссертации составляет не менее 79%, объем самоцитирования – 11% от общего объёма текста; цитирование оформлено корректно; заимствованного материала, использованного в диссертации без

ссылки на автора либо источник заимствования, не обнаружено; научных работ, выполненных соискателем учёной степени в соавторстве без ссылок на соавторов не выявлено. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах в диссертации отсутствуют.

На автореферат диссертации поступило 6 отзывов, все отзывы положительные:

- 1) ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина). Отзыв составил профессор кафедры робототехники и автоматизации производственных систем, д.т.н., профессор Прокофьев Г.И. Замечания: концептуальные модели рисунков 1 и 2 реферата не раскрывают сути концепций - в системном анализе используются более выразительные аспекты и нотации концептуальных моделей, например, аспекты структуры и сценария; рисунки автореферата плохо читаются.
- 2) ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт». Отзыв составил д.т.н., главный научный сотрудник Михайленко И.М. Замечаний нет.
- 3) ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения». Отзыв составила доцент кафедры Информационных технологий предпринимательства, к.т.н., доцент Усикова И.В. Замечания: из текста автореферата не понятно, по какой причине предложены методы обработки именно на основе системы кеширования и механизма отображения; не хватает промежуточных по размеру облаков точек при анализе эффективности; не понятно, рассматривались ли облака точек, чей размер превышает 53 Гб.
- 4) ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». Отзыв составил д.т.н., профессор Поршнева С.В. Замечания: в автореферате достаточно кратко представлено описание реализации предложенных методов, что затрудняет их понимание; из текста автореферата не понятно, почему среди прочих способов сокращения потребления оперативной памяти

не было применено сжатие данных; на некоторых иллюстрациях (рис. 3, 7) текст плохо читаем ввиду малого размера.

- 5) ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет». Отзыв составила научный руководитель Института управления в экономических, экологических и социальных системах, д.т.н., профессор Горелова Г.В. Замечания: в тексте автореферата отсутствует пояснение деталей программной реализации, приведенных на рисунке 4 (стр. 16); не понятно, чем обусловлен выбор библиотек и программ, с которыми производится сравнение в таблице 3.
- 6) АО «ПКБ «РИО». Отзыв составил заместитель генерального директора – начальник НТЦ ИКС НК, к.т.н. Полковников И.А. Замечания: в таблице 3 автореферата присутствуют некорректные данные, в строке «октодерево на базе системы кеширования» для облака «five.las» указано потребление памяти в 0.0334 ГБ, что не соотносится с 111%; из содержания автореферата не вполне ясно, почему нельзя выполнять обработку большого облака точек частями, размер которых не превышает объемы оперативной памяти.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что д.т.н., доцент Орлова Ю.А. является известным ученым в области нечетких систем и моделей, распознавания образов и анализа изображений, распознавания и анализа движений человека; к.ф.-м.н. Яворский Р.Э. – известный специалист по моделям вычислений, теории первого порядка, логике доказуемости; ведущая организация, Санкт-Петербургский государственный университет, является известной как в России, так и за рубежом в области информатики и обработки данных, а ее сотрудники д.ф.-м.н., доцент Кривулин Н.К., д.ф.-м.н., профессор Ермаков С.М., к.ф.-м.н., доцент Голяндина Н.Э. являются признанными специалистами в области имитационного моделирования, моделирования сложных систем, регрессионного анализа и динамических систем с дискретными событиями.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны** модели, методы и алгоритмы, позволяющие снизить объем задействованной оперативной памяти в процессе обработки облаков точек за счет

использования внешней памяти, и обеспечивающие снижение временных расходов на обмен данными с внешней памятью при организации хранения и доступа к информации облаков точек;

**предложены:**

концептуальные модели организации обработки облака точек, формирования октодерев, компонентов вычислительного процесса обработки облака точек во внешней памяти, позволившие за счет декомпозиции этих процессов выделить операции, выполнение которых с использованием предложенных способов организации доступа к блокам данных дало возможность существенно ускорить обработку получаемых данных;

модели вычислительного процесса обработки облака точек, анализ которых позволил предложить ряд модификаций существующих методов, повышающих эффективность процесса обработки;

модель иерархической структуры данных октодерев, используемая при обработке облака точек в оперативной или внешней памяти, позволяющая ускорить выполнение операций доступа к данным октодерев, а также отличающаяся возможностью своего масштабирования для работы с данными произвольной размерности и возможностью динамического расширения структуры октодерев без увеличения его глубины;

метод, позволяющий добиться снижения временных затрат на использование внешней памяти при ограничении потребления оперативной памяти в процессе обработки облака точек за счет использования асинхронной системы кеширования, модифицированной процедуры формирования октодерев и возможности присоединения узлов октодерев к общему файлу. Как следствие, он характеризуется сокращением количества создаваемых в процессе формирования файлов и уменьшением времени на обмен данными;

метод, позволяющий добиться снижения временных затрат на использование внешней памяти при ограничении потребления оперативной памяти в процессе обработки облака точек за счет применения механизма отображения памяти совместно с алгоритмом динамической аллокации и целочисленной иерархической модели октодерев для ускорения доступа к данным. Отличается

возможностью прямого доступа к данным во внешней памяти, сокращением количества создаваемых в процессе формирования файлов до одного и, как следствие, уменьшением времени на обмен данными;

способ обработки больших облаков точек в сторонних библиотеках, позволяющий помимо оперативной памяти использовать внешнюю память, обеспечивая прямой доступ к данным за счет механизмов отображения памяти и динамической аллокации;

**доказана** перспективность использования предложенных методов и алгоритмов для задачи обработки облаков точек с использованием внешней памяти при сохранении требуемой производительности обработки;

**введены:**

- новые расширения методов пространственного разбиения облаков точек, направленные на повышение эффективности взаимодействия с внешней памятью и операций обхода и формирования используемых иерархических структур данных;

- требования к выбору параметров октодерева в зависимости от целевой направленности обработки.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**доказана** возможность повышения эффективности обработки облака точек при использовании внешней памяти за счет применения методов на основе системы кеширования или механизма отображения памяти, снижающих общее количество создаваемых файлов и упорядочивающих доступ к данным при помощи октодерева;

**применительно к проблематике диссертации результативно использованы** методы системного анализа и обработки информации, теории множеств и отношений, теории сетей Петри, математические методы принятия оптимальных решений;

**изложены** методологические и методические основы использования средств пространственного разбиения и работы с внешней памятью при обработке данных лазерного сканирования;

**раскрыты**

проблемные аспекты, связанные с ограничениями и применимостью существующих открытых систем и сред обработки данных лазерного сканирования при обработке больших объемов данных;

основные требования и принципы построения систем обработки данных лазерного сканирования при использовании внешней памяти;

особенности применения методов разбиения пространства и структурирования данных облака точек при организации доступа к данным во внешней памяти;

**изучены** существующие методы обработки и предобработки облаков точек, использующие структуры разбиения пространства, и ориентированные на работу с внешней памятью;

**проведена модернизация** существующих методов пространственного разбиения данных облака точек при помощи октодерев, обеспечивающих адресацию и доступ к данным во внешней памяти.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны и внедрены** следующие результаты диссертационной работы:

- метод и алгоритм предобработки информации облака точек лазерного сканирования, заключающийся в ее структурировании путем формирования октодерев на базе асинхронной двухуровневой системы кеширования;

- метод и алгоритм предобработки информации облака точек лазерного сканирования, заключающийся в ее структурировании путем формирования октодерев на базе механизма отображения памяти;

- алгоритм динамической аллокации на отображаемой памяти;

- способ обработки больших облаков точек путем интеграции системы аллокации отображаемой памяти в сторонние библиотеки для linux систем;

внедрены в научный проект Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, выполняемый в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по теме: «Исследование и разработка алгоритмов и программных средств по обработке, хранению и визуализации

данных лазерного сканирования и фотосъемки» (Уникальный идентификатор проекта RFMEFI58417X0025). Представленные в работе методы и алгоритмы использованы в рамках научного проекта в качестве алгоритмического и методического обеспечения для разработки программного комплекса, предназначенного для обработки, хранения и визуализации данных лазерного сканирования. Положительным результатом внедрения является снижение потребляемой оперативной памяти в процессе обработки облаков точек и обеспечение возможности хранения, выборки и поиска точек в обрабатываемых облаках точек;

использованы индустриальным партнером ООО «ЭкоСкан» (Соглашение о предоставлении субсидии от 03.10.2017 г. № 14.584.21.0025) в программном комплексе для обработки, хранения и визуализации данных лазерного сканирования и фотосъемки, а также для снижения загрузки оперативной памяти в процессе работы с облаками точек. Это позволяет выполнять обработку облаков точек лазерных отражений, размер которых значительно превышает доступные объемы оперативной памяти;

**определены** возможности и перспективы практического использования полученных результатов диссертации для повышения эффективности используемого аппаратного обеспечения обработки данных на предприятиях и в организациях, занимающихся получением и обработкой облаков точек лазерного сканирования, а также компаниями, занимающимися разработкой прикладного программного обеспечения, для реализации механизмов пространственного поиска и динамической загрузки/сохранения данных в оперативную память при взаимодействии с облаками точек;

**создана** система обработки результатов лазерного сканирования, обеспечивающая возможность обработки независимо от таких характеристик облаков точек, как количество точек, плотность, порядок съемки (поведение луча сканирования), протяженность сканов, и обеспечивающая при этом приемлемую производительность при работе с внешней памятью;

**представлены** предложения и направления дальнейших перспективных научных исследований по рассматриваемой в диссертации тематике, в основу которых могут быть положены разработанные методы и алгоритмы.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**для экспериментальных работ** достоверность полученных результатов подтверждена результатом многократных экспериментов, выполненных на современном оборудовании, проведением всестороннего анализа работ по исследуемой проблеме, корректным применением научно-методического аппарата в виде использованных методов, апробацией основных результатов диссертации в печатных трудах и докладах на международных и всероссийских конференциях, положительными итогами практической реализации результатов работы;

**теория** построена на известных и предложенных в работе принципах, проверенных данных и фактах с использованием современных известных и апробированных методов исследования, согласуется с опубликованными частными результатами других исследователей;

**идея базируется** на анализе работ отечественных и зарубежных исследователей в области обработки облаков точек лазерного сканирования, чей размер превышает доступные объемы оперативной памяти, а также на предложенной в диссертации эвристике, снижающей затраты времени на обращения к внешней памяти при обработке облака точек за счет изменения способов доступа, размещения и идентификации блоков данных октодеревя во внешней памяти;

**использованы** труды отечественных и зарубежных ученых в таких областях, как обработка облаков точек, системы пространственного разбиения, низкоуровневая работа с памятью, системы кеширования, системное программирование и проектирование информационных систем;

**установлено** качественное и количественное соответствие результатов решения задачи обработки данных лазерного сканирования в ограниченном объеме оперативной памяти с использованием октодеревя. При этом

подтверждено преимущество предложенных методов перед результатами, полученными другими авторами;

**использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации, представительные выборочные совокупности с обоснованием подбора объектов (единиц) наблюдения и измерения и т.п.

**Личный вклад соискателя состоит в:**

- анализе современного состояния исследований в области предобработки и обработки данных лазерного сканирования большого объема за счет использования внешней памяти и методов разбиения пространства;
- исследовании и классифицировании существующих методов пространственного разбиения и обработки облаков точек при наличии ограничений на объем потребляемой оперативной памяти;
- постановке задачи снижения затрат времени на обмен с внешней памятью за счет организации хранения октодеревя облака точек в оперативной и внешней памяти и организации управления обработкой информации с учетом особенностей структуры октодеревя;
- формировании эвристик изменения способов доступа, размещения и идентификации блоков данных октодеревя во внешней памяти позволяющих сократить временные затраты на использование внешних систем хранения;
- разработке моделей организации обработки облака точек, формирования октодеревя, компонентов вычислительного процесса обработки облака точек во внешней памяти, позволивших за счет декомпозиции этих процессов выделить операции, выполнение которых с использованием предложенных способов организации доступа к блокам данных дало возможность существенно ускорить обработку;
- разработке модели иерархической структуры данных октодеревя, позволяющей ускорить выполнение операций доступа к данным октодеревя, а также отличающейся возможностью масштабирования для работы с данными произвольной размерности и возможностью динамического расширения структуры октодеревя без увеличения его глубины;

- разработке и обосновании двух методов, позволяющих добиться снижения временных затрат на использование внешней памяти при ограничении потребления оперативной памяти в процессе обработки облака точек, основанных на предложенной эвристике изменения способов доступа, размещения и идентификации блоков данных октодерева во внешней памяти;
- разработке алгоритмов предобработки данных облака точек, основанных на предложенных методах;
- разработке способа обработки больших облаков точек в сторонних библиотеках, ориентированных на работу в оперативной памяти, позволяющий помимо ограниченной оперативной памяти использовать внешнюю память, обеспечивая прямой доступ к данным за счет механизмов отображения памяти и динамической аллокации;
- разработке и проведении экспериментов, подтверждающие возможность обработки облака точек без существенного падения производительности в сравнении с обработкой информации только в основной памяти и доказывающие возможность работы с облаком точек, превышающим объемы оперативной памяти;
- подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертационный совет считает, что в соответствии с требованиями п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемыми к кандидатским диссертациям, и пп. 4, 5, 12 паспорта научной специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации, Беляевский К.О. в своей диссертационной работе решил научную задачу разработки методов и алгоритмов, позволяющих снизить потребление оперативной памяти в процессе обработки облаков точек за счет использования внешней памяти, и обеспечивающих снижение временных расходов на обмен данными с внешней памятью при организации хранения и доступа к информации облаков точек, имеющую важное значение для развития геоинформационных технологий и компьютерного моделирования в отрасли технических наук.

На заседании 24.11.2020 г. диссертационный совет принял решение присудить Беляевскому К.О. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 18, против нет, недействительных бюллетеней 1.

Зам. председателя диссертационного совета

доктор технических наук

профессор

Смирнов Александр Викторович

Ученый секретарь диссертационного совета

кандидат технических наук

24.11.2020 г.

Зайцева Александра Алексеевна