



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
В.В. Сергеев

___ 2020г.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

ИНН 7804040077, ОГРН 1027802505279,
ОКПО 02068574

Политехническая ул., 29, Санкт-Петербург, 195251
тел.: +7(812)297 2095, факс: +7(812)552 6080
office@spbstu.ru

ВЫПИСКА

из протокола № 2 заседания
Высшей школы интеллектуальных систем
и суперкомпьютерных технологий (ВШИСиСТ)

от 10.12.2019 г.

Председатель – директор Высшей школы интеллектуальных систем и суперкомпьютерных технологий, к.т.н., доцент Ицыксон В.М.
Секретарь заседания – доцент, к.т.н., доцент Душутина Е.В.

Присутствовало 38 человек из состава ППС ВШИСиСТ

СЛУШАЛИ:

Доклад соискателя Беляевского Кирилла Олеговича по диссертационной работе на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему: “Методы и алгоритмы формирования и использования октодерев для обработки облака точек лазерного сканирования в ограниченном объеме оперативной памяти”. Научный руководитель Мелехин В.Ф., д.т.н., профессор.

ЗАДАЛИ ВОПРОСЫ И ПРИНЯЛИ УЧАСТИЕ В ОБСУЖДЕНИИ:

д.т.н., проф. Мелехин В.Ф., к.т.н. доц. Ицыксон В.М., ст. преп. Ахин М.Х., ст. преп. Малышев И.А., к.т.н., доц. Болсуновская М.В., к.т.н., доц. Лавров А.А., к.т.н., доц. Пак В.Г., к.т.н. доц. Филиппов А.С. к.т.н. доц. Кочетков Ю.Д. На все вопросы получены исчерпывающие ответы.

ПОСТАНОВИЛИ:

1. Одобрить работу Беляевского К.О. и рекомендовать диссертацию на тему “Методы и алгоритмы формирования и использования октодерев для обработки облака точек лазерного сканирования в ограниченном объеме оперативной памяти”, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук, к защите по специальности 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы).
2. Утвердить нижеприведенное Заключение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Высшей школы интеллектуальных систем и суперкомпьютерных технологий о диссертации Беляевского Кирилла Олеговича на тему: “Методы и алгоритмы формирования и использования октодерев для обработки облака точек лазерного сканирования в ограниченном объеме оперативной памяти”, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы) по техническим наукам

1. Актуальность темы. Лазерное сканирование (ЛС) является быстро развивающимся методом сбора пространственной информации в цифровом виде, имеющим широкий спектр применений. Современные лазерные сканирующие системы позволяют производить миллионы измерений в секунду, а размеры получаемых облаков точек могут достигать нескольких сотен гигабайт, что предъявляет высокие требования к вычислительным ресурсам при обработке такого объема данных. В результате имеет место очевидное противоречие между быстрым развитием технологий ЛС и возможностями обработки результатов, на разрешение которого направлена работа соискателя.

Так как объемы доступной оперативной памяти могут варьироваться, и, зачастую, не способны вместить требуемое количество данных, а рост объемов оперативной памяти значительно отстает от роста объемов облаков точек, вызванным развитием технологий ЛС, задача ограничения потребляемой оперативной памяти при обработке облаков точек является актуальной.

Каждая точка облака содержит информацию о ее пространственном положении и ряд других параметров (цвет и пр.), точки в облаке не упорядочены. При обработке требуется построение геометрических моделей объектов, измерения их параметров, визуализация и пр. При этом требуется многократное использование близко расположенных точек. В связи с этим для повышения скорости обработки предварительно требуется упорядочивание точек облака, то есть формирование определенной структуры данных. Одной из наиболее эффективных структур является октодерево.

В диссертационной работе представлены результаты разработки методов и алгоритмов решения задачи обработки больших облаков точек с использованием структурирования информации при помощи октодерев и различных подходов к выделению (аллокации) памяти, что позволяет разрешить противоречие между все возрастающим объемом данных ЛС и ограничений по оперативной памяти.

Тема диссертации согласуется с перечнем критических технологий Российской Федерации: “Технологии информационных, управляющих, навигационных систем”, утвержденным Президентом Российской Федерации 7 июля 2011 года, а также совпадает с направлением проводимых в Высшей школе интеллектуальных систем и суперкомпьютерных технологий научно-исследовательских работ.

2. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации. Автором разработана структура и основные этапы методов предобработки информации облака точек лазерного сканирования на базе асинхронной двухуровневой системы кеширования и на базе механизма отображения памяти. На основе описанных в диссертации методов автором предложена технология, которая успешно применена для разработки алгоритмов и программного обеспечения по созданию растровых проекций больших облаков точек, поиск цилиндрических объектов, представленных трубопроводом, в облаке точек, чем доказана инженерная применимость изложенных в диссертации результатов. Все результаты, выносимые на защиту, получены автором лично.

3. **Степень достоверности результатов проведенных исследований** подтверждаются всесторонним анализом состояния исследований в данной области. Корректность предложенных методов и алгоритмов подтверждается согласованностью теоретических положений и результатов, полученных при практической реализации предложенных методов и алгоритмов, апробацией основных теоретических положений диссертации в печатных трудах и докладах, а также положительными результатами внедрения основных положений диссертационной работы.

4. **Наиболее существенные результаты, полученные лично автором, и их новизна:**

- Разработаны формальные онтологические модели организации обработки облака точек, формирования октодерева, компонентов вычислительного процесса обработки облака точек во внешней памяти, позволяющие за счет декомпозиции этих процессов выделить операции, выполнение которых может быть ускорено за счет новых способов организации доступа к блокам данных.
- В результате анализа организации данных и вычислительного процесса предложена модель иерархической структуры данных октодерева, используемая при обработке облака точек в оперативной или внешней памяти, и позволяющая повысить производительность операций доступа к данным октодерева, а также отличающаяся возможностью адаптации к более широкому диапазону входных данных.
- Разработаны два метода, позволяющие добиться снижения временных затрат на использование внешней памяти при ограничении потребления оперативной памяти в процессе обработки облака точек, основанные на выдвинутой гипотезе о изменении способов доступа, размещения и идентификации блоков данных октодерева во внешней памяти. Первый метод использует предположение об использовании асинхронной системы кеширования, модификации процедуры формирования октодерева и снижении количества создаваемых файлов, и отличается возможностью присоединения узлов октодерева к общему файлу и, как следствие, сокращением количества создаваемых в процессе формирования файлов и уменьшением затрачиваемого времени на обмен данными. Второй метод использует предположение об использовании механизма отображения памяти совместно с алгоритмом динамической аллокации и применении целочисленной иерархической модели октодерева для ускорения доступа к данным, и отличается возможностью прямого доступа к данным во внешней памяти, сокращением количества создаваемых в процессе формирования файлов до одного, и как следствие, уменьшением затрачиваемого времени на обмен данными.
- Предложен способ 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. Получены экспериментальные результаты, подтверждающие возможность такой обработки без существенного падения производительности в сравнении с обработкой информации только в основной памяти, и доказывающие возможность работы с облаком точек, превышающим объемы оперативной памяти.

5. **Публикации автора.** По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ:

- 1) Беляевский К.О. Формирование октодерева по облаку точек при ограничении объема оперативной памяти // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2019. Т. 12. № 4. С. 97–110.
- 2) Баденко В.Л., Беляевский К.О., Волгин Д.Ю., Зотов Д.К., Федотов А.А. Гибридный подход к 3D реконструкции сложных промышленных объектов из облака точек // Мягкие вычисления и измерения: сборник трудов XXI Международной конференции, 2018. Т. 1. С. 308-311.
- 3) Беляевский К.О., Болсуновская М.В. Использование целочисленной арифметики для формирования октодерева // Неделя науки СПбПУ. 2019. Т. 1. С. 122-125.

- 4) Беляевский К.О., Болсуновская М.В. Использование механизма отображения памяти при формировании октодерева облака точек // Неделя науки СПбПУ. 2019. Т. 1. С. 125-128.
- 5) Bolsunovskaya M., Tammsaar S., Beliaevskii K., 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.
- 6) Badenko V., Tammsaar S., Beliaevskii K., 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.

По теме диссертации зарегистрировано 7 результатов интеллектуальной деятельности:

- 1) Таммсаар С.В. Программа для создания растровых проекций / С.В. Таммсаар, К.О. Беляевский, Н.С. Чупин. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018665901 от 11.12.2018.
- 2) Таммсаар С.В. Программа для сортировки и фильтрации облака точек / С.В. Таммсаар, К.О. Беляевский, Н.С. Чупин. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018666456 от 17.12.2018.
- 3) Болсуновская М.В. Программа хранения облака точек лазерного сканирования для природно-технических систем / М.В. Болсуновская, А.В. Лексашов, А.М. Гинцяк, К.О. Беляевский. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019660673 от 09.08.2019.
- 4) Болсуновская М.В. Программа визуализации облака точек лазерного сканирования для природно-технических систем / М.В. Болсуновская, А.В. Лексашов, А.М. Гинцяк, К.О. Беляевский. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019619801 от 24.07.2019.
- 5) Таммсаар С.В. Программное средство построения проекций облака точек, полученных от мобильного комплекса лазерного сканирования / С.В. Таммсаар, К.О. Беляевский. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617817 от 22.07.2015.
- 6) Беляевский К.О. Программа для гибридной обработки облака точек / К.О. Беляевский, С.В. Таммсаар. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019665354 от 22.11.2019.
- 7) Беляевский К.О. Программа для визуализации облака точек / К.О. Беляевский, С.В. Таммсаар. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019665556 от 25.11.2019.

Публикации с достаточной степенью полноты отражают основные положения диссертационного исследования. Личный вклад Беляевского К.О. в опубликованные в соавторстве работы состоит в том, что проблемы, составляющие содержание диссертации, были поставлены и решены им самостоятельно.

6. Основные научные и практические **результаты работы докладывались и обсуждались** на следующих конференциях:

- 1) 19th International Conference on Computational Science and its Applications, Saint-Petersburg, 2019;
- 2) XXI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям, Санкт-Петербург, 2018г.

Внедрение представленных алгоритмов и методов было произведено в рамках: проекта 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)

индустриальным партнером ООО “Экоскан” (Соглашение о предоставлении субсидии от 03.10.2017 г. № 14.584.21.0025).

7. Ценность научных работ соискателя. Разработаны онтологические модели организации обработки облака точек, формирования октодерева и компонентов вычислительного процесса обработки облака точек во внешней памяти, позволяющие проводить системный анализ проблемы повышения производительности при использовании внешней памяти для октодерева. Предложена иерархическая модель октодерева с использованием целочисленной арифметики, позволяющая повысить скорость выполнения операции поиска узлов, а также помочь адаптировать иерархию октодерева к более широкому диапазону входных данных. Определены параметры формирования октодерева и методика их оценки, позволяющая принимать решения при разработке программного обеспечения.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в создании программной системы, предназначенной для использования в процессе обработки облаков точек для ограничения потребления оперативной памяти и подтверждающей теоретические результаты работы. Предложенные подходы, методы и алгоритмы позволяют кратно снизить потребление оперативной памяти при выполнении типовых операций обработки облаков точек, сохраняя при этом приемлемую производительность.

Представленные в работе методы, модели и алгоритмы: формальные онтологические модели организации обработки облака точек, формирования октодерева, компонентов вычислительного процесса обработки облака точек во внешней памяти, модель иерархической структуры октодерева на базе целочисленной арифметики, метод и алгоритм предобработки информации облака точек лазерного сканирования при помощи октодерева на базе асинхронной двухуровневой системы кеширования, метод и алгоритм предобработки информации облака точек лазерного сканирования при помощи октодерева на базе механизма отображения памяти, были разработаны в рамках выполнения работ по проекту «Исследование и разработка алгоритмов и программных средств по обработке, хранению и визуализации данных лазерного сканирования и фотосъемки» (Уникальный идентификатор проекта RFMEFI58417X0025) при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

8. Соответствие диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите. Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней и выполнена в соответствии с паспортом специальности 05.13.01 - **Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы)**, а именно соответствует следующим областям (номера соответствуют пунктам в паспорте специальности): п. 4 – Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; п. 5 – Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; п. 12 – Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации.

Диссертация выполнена в Высшей школе интеллектуальных систем и суперкомпьютерных технологий Института компьютерных наук и технологий ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого.

Высшая школа считает, что диссертация Беляевского К.О. выполнена на высоком уровне, содержит значительные теоретические и практические результаты, является самостоятельным и законченным научным исследованием и полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и рекомендует диссертационную работу к защите по специальности 05.13.01 - **Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы)**.

Ицыксон Владимир Михайлович,
к.т.н., доцент, ИКНТ, ВШИСиСТ,
директор