

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

Санкт-Петербургского

государственного университета

Сушев

«

020 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» на диссертацию Беляевского Кирилла Олеговича «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 по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы)

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ НОВИЗНА

Диссертационное исследование Беляевского К. О. посвящено разработке методов повышения эффективности компьютерной обработки и хранения больших массивов трехмерных данных, которые получают в результате применения лазерного сканирования в различных областях, включая картографию, геодезию, строительство, оцифровку объектов историко-культурного наследия и др. Вследствие большой разрешающей способности и высокой производительности современных лазерных сканеров, объем получаемой от сканера информации (облака точек) может составлять десятки и сотни гигабайт. Такой размер облака точек обычно превышает объем доступной оперативной памяти компьютера, предназначенной для

данных сканирования и приводит к необходимости размещения данных во внешней (вторичной) памяти, что может существенно замедлять процесс обработки данных как результат использования более медленной внешней памяти и усложнения общей архитектуры системы управления данными.

Эффективность алгоритмов управления данными, которые могут располагаться в двухуровневой (основной и вторичной) памяти, зависит от применяемой модели данных. Для представления трехмерных данных широкое распространение получила структура восьмеричного дерева (октодерева), предложенная в 1980-х годах для применения в алгоритмах трехмерной компьютерной графики. Однако существующие алгоритмы и программные средства в основном ориентированы на обработку данных, которые полностью размещены в оперативной памяти, и не обеспечивают эффективного управления двухуровневой памяти. Поэтому тема настоящей работы, посвященной исследованию и развитию эффективных методов хранения и обработки больших массивов трехмерных данных на основе октодерева в двухуровневой памяти, а также применению полученных результатов для решения задач обработки облака точек лазерного сканирования, представляется весьма актуальной.

Основные результаты работы являются новыми и состоят в следующем.

1. Проведен системный анализ процессов формирования и использования октодерева в оперативной и внешней памяти. Построены концептуальные модели, описывающие отдельные компоненты и общую организацию процедур построения и обработки октодерева для облака точек лазерного сканирования. На основе указанных концептуальных моделей разработаны модели с использованием аппарата сетей Петри.

2. Построены модели иерархической структуры данных октодерева и механизмов взаимодействия оперативной и внешней памяти, разработаны методы и алгоритмы построения октодерева, которые позволяют выполнять обработку больших облаков точек с использованием вторичной памяти.



Построенная модель структуры октодеревя допускает масштабирования для работы с данными произвольной размерности, а также динамическое расширение структуры октодеревя без увеличения его глубины.

3. Разработаны структуры данных и алгоритмы для построения октодеревя и обработки облака точек лазерного сканирования в условиях ограниченного объема оперативной памяти и использовании внешней памяти. Предложены методы и алгоритмы обработки облака точек с использованием октодеревя, построенного с применением асинхронной системой двухуровневого кеширования, а также октодеревя, построенного на основе механизма отображения памяти.

4. На основе предложенных в диссертации методов, построенных алгоритмов и практических рекомендаций разработан комплекс программных средств для обработки облака точек лазерного сканирования. Разработанные программные средства прошли апробацию и внедрены для применения на практике.

5. Проведено экспериментальное исследование с целью оценки эффективности и анализа производительности разработанных методов формирования октодеревя, а также основанных на них алгоритмов обработки облаков точек. В результате исследования получено подтверждение эффективность предложенных решений.

Результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. Достоверность результатов обеспечивается анализом опубликованных исследований по теме работы, корректным применением методов программирования и вычислительных алгоритмов, а также подтверждается результатами экспериментального исследования, апробацией основных положений работы в печатных трудах и докладах, и успешным внедрением разработанных технических решений на практике.

## ЗНАЧИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЛЯ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА

В диссертационной работе предложены новые методы и алгоритмы управления большими наборами данных в условиях ограниченного объема оперативной памяти, которые представляют научный интерес для развития методов обработки информации и имеют практическое значение для решения задач обработки результатов трехмерного компьютерного сканирования.

Исследования проводились 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».

Разработанные модели и алгоритмы реализованы в виде комплекса программных средств обработки, хранения и визуализации данных лазерного сканирования и фотосъемки, апробированного компанией ООО «ЭкоСкан».

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДОВ ДИССЕРТАЦИИ

Предложенные в работе модели, алгоритмы, программное обеспечение, а также методы анализа эффективности представления и обработки в оперативной и внешней памяти больших наборов данных на основе октодеревьев будут полезны при разработке программных и аппаратных средств на предприятиях и в организациях, занятых развитием и применением инструментов лазерного сканирования в различных областях народного хозяйства, включая ООО «Геоскан», ООО НВК «Горная Геомеханика» и др.

Результаты диссертационной работы найдут применение в научной и учебной работе в исследовательских и учебных учреждениях, включая Санкт-Петербургский государственный технический университет, Санкт-Петербургский государственный университет, Национальный исследовательский университет ИТМО.



## ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИИ И АВТОРЕФЕРАТУ

1. В тексте диссертации и автореферате ряд обозначений и понятий используется без предварительных определений или пояснений. Например, в формуле (1.1) на С.18 (строка 1) обозначение  $s$  не определено. Не ясно, какой смысл на С.30 (строка 16) имеет индекс  $x$  в обозначении  $s_{k,x}$ .

На С.25 (строки 1-7 снизу) смысл обозначения  $n$  не определен. Кроме того, не указано в терминах каких элементарных операций определяется сложность, что затрудняет понимание приведенных оценок сложности. См. также текст на С.26 (строки 1-9), а также на С.76.

2. Описание алгоритма (листинг 1.1) на С.30 (снизу) не содержит необходимых пояснений о назначении используемых переменных. Формулы (1.3) включают обозначения, которые не были предварительно определены, а потому не совсем понятны. Смысл формулы (1.4) не вполне ясен. Возможно, последнее неравенство слева следует заменить на противоположное.

3. На С.110 в формуле (14) обозначения  $M^{RAM}(P, x_3^{ram}, t_i)$  и  $K_{time}(P, x_3^{ram})$  не определены. См. также формулы (15) и (16) на С.111 и 112.

4. В некоторых случаях в тексте отсутствуют необходимые пояснения. Например, на С.18 (строки 2-3) не указано, о каких нормалях идет речь. На С.19 (строки 1-2 снизу) не ясно, интенсивность каких величин подразумевается.

5. Из текста не вполне понятно, что такое «тайловый массив» («тайл») и в чем состоит алгоритм, который обсуждается в разделе 1.3.3. В частности, на С.28 (строки 1-4 снизу) трудно понять, о каком «алгоритме поиска для неструктурированных данных, описанном выше», идет речь. Какую процедуру необходимо повторить для соседей ячейки?

6. Из описания компонентов модели (1.5) на С.48-49 не вполне ясно, как определяются множества отношений между узлами, листьями и узлами,

точками и листьями, а также какой имеют элементы этих множеств. Что такое блоки данных и почему их количество ( $k$ ) совпадает с числом листьев?

7. Из формального описания исследования эффективности организации процесса обработки на С.61-62 трудно понять, как определяется показатель общих затрат времени обработки  $K_{\chi}^{time}$ .

8. На С.78 не понятно, что означают обозначения (2.3) и (2.4) и как они связаны с временной сложностью.

9. Не совсем ясно, как еще, кроме формального описания и графической визуализации алгоритмов обработки, использовались модели сетей Петри.

10. Стиль оформления работы не свободен от некоторых недостатков. В частности, при включении в текст ссылок на такие элементы текста, как таблица, рисунок, листинг, соответствующие слова начинаются с заглавной буквы (Таблица, Рисунок, Листинг), что не соответствует стандартам, принятым в отечественной литературе.

11. Указание в тексте полного названия работ (статей) рядом с обычной цифровой ссылкой на работу в списке литературы как на С.37 (строка 2 и строка 18), на С.38 (строка 1) и в других случаях, выглядит излишним и не соответствует общепринятым стандартам.

## ОБЩАЯ ОЦЕНКА ДИССЕРТАЦИИ

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку проведенного исследования. В целом диссертация Беляевского К. О. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая содержит решения научных и практических задач, имеющих значение для развития методов повышения эффективности хранения и обработки больших объемов трехмерных данных, а также приложений этих методов для решения актуальных практических задач обработки результатов трехмерного лазерного сканирования в различных областях народного хозяйства.



Диссертационная работа Беляевского К.О. соответствует паспорту специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы), 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» и п. 12 – «Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации».

Оформление диссертации отвечает установленным требованиям. Структура и содержание работы соответствуют поставленным целям и задачам исследования. Автореферат вполне отражает содержание диссертации. Основные результаты опубликованы в рецензируемых научных изданиях из перечня, утвержденного Минобрнауки России, в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus, и в других. Разработанные программы прошли государственную регистрацию. Полученные результаты апробированы на международных научных конференциях и подтверждены актами об их внедрении на производстве.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа «Методы и алгоритмы формирования и использования октодера для обработки облака точек лазерного сканирования в ограниченном объеме оперативной памяти» соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, а ее автор, Беляевский Кирилл Олегович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы).

Отзыв составлен профессором кафедры статистического моделирования СПбГУ, доктором физико-математических наук, доцентом Кривулиным Н. К.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры статистического моделирования, протокол № 79.08/19-04-3 от 27 октября 2020 г.

Заведующий кафедрой статистического моделирования математико-механического факультета СПбГУ, доктор физико-математических наук, профессор

С. М. Ермаков

Секретарь кафедры, кандидат физико-математических наук, доцент

Н. Э. Голяндина

*Копию отзыва С.М. Ермакова, Н.Э. Голяндиной  
завещано 24.10.2020  
Голубов*

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»  
Адрес: 199034, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9.

Телефон: +7(812)328 97-01

E-mail: [spbu@spbu.ru](mailto:spbu@spbu.ru)



**Сведения о составителе отзыва:**

ФИО: Кривулин Николай Кимович

уч. степень, уч. звание: доктор физико-математических наук, доцент

должность: профессор кафедры статистического моделирования математико-механического факультета СПбГУ

**Сведения о подписавших отзыв:**

ФИО: Ермаков Сергей Михайлович

уч. степень, уч. звание: доктор физико-математических наук, профессор

должность: заведующий кафедрой статистического моделирования математико-механического факультета СПбГУ

ФИО: Голяндина Нина Эдуардовна

уч. степень, уч. звание: кандидат физико-математических наук, доцент

должность: доцент, секретарь кафедры статистического моделирования математико-механического факультета СПбГУ