



**МИНОБРАЗОВАНИЯ 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, С.-Петербург, 195251  
Телефон (812) 297-20-95, факс 552-60-80  
E-mail: office@spbstu.ru

14.09.2015 № \_\_\_\_\_

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

доктор технических наук



### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Аксенова Алексея Юрьевича на тему «Модели и методы обработки и представления сложных пространственных объектов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы).

#### Актуальность темы диссертация

Появление нового класса цифровых устройств – 3D-сканеров, способных создавать «цифровые сканы» материальных объектов, расширило возможности проектирования объемных объектов, переводя процесс проектирования от работы с чертежной доской и САД-системами к непосредственной работе с точками объекта в трехмерном пространстве, тем самым упрощая работу в тех областях деятельности, где традиционный подход был затруднен.

Основным недостатком цифрового скана является его большой битовый объем, так как в его цифровом представлении приходится перечислять все элементы сетки, относящиеся к объекту и не относящиеся к нему. Особенно сильно увеличение объема проявляется при трехмерном представлении сложных пространственных объектов с высокой детализацией.

Особо остро этот недостаток проявляется в тех случаях, когда сканирование производится без доступа к достаточным вычислительным ресурсам, при использовании «тонких клиентов», а также в задачах дистанционного мониторинга, сканирования при необходимости дистанционной обработки «сырых» цифровых сканов.

В диссертационной работе Аксенова А.Ю. проводится сравнительный анализ существующих систем получения 3D-данных, который свидетельствует о необходимости применения сжатия к получаемым данным в связи с их значительным битовым объемом. Кроме того, анализ актуальных исследований выявил практически полное отсутствие готовых комплексных решений для оптимизации цифрового скана сложного пространственного объекта.

Актуальной задачей является поиск путей уменьшения битового объема без потерь для отсканированных 3D-объектов, представленных в форме облаков точек, в пределах разрешающей способности, что и составляет суть диссертационной работы.

Тема диссертационной работы Аксенова А.Ю., посвященная разработке модели и методов обработки и представления сложных пространственных объектов, является актуальной научно-технической проблемой, решение которой имеет существенное значение для науки и практики.

### **Анализ содержания диссертационной работы**

Текст диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Материал диссертационного исследования изложен на 110 страницах машинописного текста. Список литературы включает 95 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, а также результаты, выносимые на защиту, дается список сокращений.

В **первой главе** проводится анализ современных методов получения пространственных данных. Дается общее понятие о процессе перевода пространственных объектов в трехмерный цифровой образ. Рассматриваются методы получения трехмерных данных на базе программного синтеза, 3D-сканирования, методов компьютерной томографии.

Далее приводится обзор существующих моделей и методов представления трехмерных объектов, дается анализ их достоинств и недостатков, а также применимости к решению задачи хранения цифровых сканов и возможности их сжатия.

В конце главы кратко дается анализ современных форматов представления трехмерных данных.

Во **второй главе** рассматриваются актуальные методы решения задачи сжатия 3D-данных. Выделяются две основные группы методов сжатия данных, полученных в результате 3D-сканирования:

- 1) методы, требующие для работы предварительного перевода облака точек в набор полигонов (восстановление поверхностей объекта);
- 2) методы, ориентированные на работу непосредственно с облаками точек без предварительной интерполяции поверхности набором полигонов.

Анализ существующих методов сжатия, работающих непосредственно с облаками точек, показал, что все они используют различные алгоритмы обхода точек пространства, принадлежащих сканируемому объекту, а главным недостатком является снижение степени сжатия для объектов, имеющих сложный рельеф поверхности и внутреннюю структуру.

В **третьей главе** разрабатывается метод эффективного представления пространственных данных, учитывающий особенности 3D-сканирования, предназначенный для повышения компактности хранения 3D-моделей в цифровых архивах и упрощения передачи 3D-данных по каналам связи.

Решается задача выбора развертки (способов перечисления точек при выборке), наиболее согласующейся с последующими этапами сжатия, обосновывается применение заполняющей пространство кривой в качестве такой развертки.

Далее дается описание разрабатываемого метода динамического разбиения и масштабирования пространства облаков точек, а также модели представления пространственных объектов.

Приводится описание разрабатываемых метода и алгоритма сжатия облака точек, а также реализации системы.

**Четвертая глава** содержит описание экспериментальной апробации и оценку эффективности разработанного метода сжатия.

В рамках экспериментальной части работы приводятся результаты исследований особенностей технической системы «3D-сканер – программное обеспечение сканера – система сжатия», позволяющие, с одной стороны, определить особенности целевой технической системы, а с другой – показать правильность принятия решений при выборе развертки, а также при разработке методологии диссертационного исследования.

Представленный в конце главы результат применения метода компрессии в виде численных значений степени сжатия позволяет сделать заключение о корректности выдвинутых теоретических положений и эффективности их практической применимости.

**Список литературы** включает в себя работы как отечественных, так и зарубежных авторов. Достаточно полно представлены основные работы по теме исследования.

#### **Новизна исследований и полученных результатов**

Научная новизна диссертации заключается в разработке модели представления пространственных объектов и основ методологии представления и сжатия пространственных объектов, полученных в результате сканирования.

В целом научную новизну диссертации составляют следующие положения.

Предложен метод переупорядочения облака точек в битовый поток, имеющий упорядоченную структуру, отличающийся сохранением локальных особенностей областей пространств, что позволяет использовать методы группового кодирования для уменьшения битового объема. В отличие от методов, использующие линейные развертки (способов перечисления точек при выборке) предлагается особый вид выборки точек, ориентированный на привлечение локальных областей трехмерного пространства, хорошо согласующийся с известными способами кодирования битовых групп и позволяющий значительно уменьшать занимаемый 3D-объектом объем памяти.

Разработанный метод динамического разбиения и масштабирования пространства облаков точек основан на выявленных особенностях технической системы «3D-сканер – программное обеспечение сканера», таких как влияние разрешающей способности системы цифрового сканирования на точность мелких элементов, появление цифровых артефактов, влияние оптической системы сканера и ряда других.

Разработан алгоритм сжатия облака точек, отличающийся применением указанного выше метода переупорядочения (трансформации) с использованием заполняющей пространство кривой и последующим применением группового кодирования и вторичного энтропийного сжатия. Особенностью разработанного алгоритма является его нечувствительность к неоднозначной операции восстановления полигональной сетки объекта.

Разработана модель представления пространственных объектов, использующая упорядоченное одномерное представление облаков точек на основе заполняющей пространство кривой.

Разработана интерактивная система сжатия облаков точек, отличающаяся применением перечисленных методов динамического разбиения и масштабирования пространства и переупорядочения облака точек в битовый поток, имеющий упорядоченную структуру, с использованием заполняющей пространство кривой, дающая значительное уменьшение занимаемого 3D-объектом объема памяти.

### **Практическая значимость результатов исследования**

Методологические и прикладные основы решаемой в диссертации задачи позволяют перейти на новый, отвечающий современным потребностям уровень представления и манипулирования 3D-данными, являющимися цифровыми сканами реальных физических тел, а не синтезированными в «удобной» для компьютера форме виртуальных объектов.

Практическая ценность диссертационного исследования состоит в том, что теоретические результаты доведены до уровня интерактивной программной системы, предназначенной для работы с цифровыми сканами и уменьшения объема занимаемой ими памяти.

Предложенные в диссертационной работе подходы, методы и алгоритмы позволяют повысить (в 2 и более раз по сравнению с аналогами, являющимися отраслевым стандартом) эффективность представления и передачи пространственных данных, полученных при 3D-сканировании.

### **Достоверность и обоснованность результатов исследований**

Достоверность основных выводов и результатов диссертации обеспечивается тщательным анализом состояния исследований в данной области. Корректность предложенных методов и алгоритмов подтверждается согласованностью теоретических положений диссертационной работы и результатов, полученных при практической реализации этих методов и алгоритмов, а также апробацией основных теоретических положений диссертации в печатных трудах и докладах на российских и международных научных конференциях.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Разработанные в ходе диссертационного исследования модель, методы, а также построенные на их основе программы могут найти практическое применение в достаточно широком круге предметных областей, таких как системы оцифровки предметов культуры и искусства, системы быстрого прототи-

пирования при проведении опытно-конструкторских работ и на производстве. Это подчеркивает важность расширения сферы практических приложений проводимых исследований и позволяет рекомендовать их продолжение и развитие в конструкторских бюро, занимающихся двигателестроением, авиастроением и космической тематикой, а также в качестве эксперимента, в составе мобильных археологических групп и реставрационных лабораторий.

На основе результатов диссертации может быть создан электронный облачный сервис, предоставляющий услуги по загрузке, обработке и облачному хранению библиотек 3D-объектов.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Из работы не ясно влияние расположения пространственных объектов в системе координат на результаты работы алгоритма сжатия облака точек.
2. Несколько странным выглядит деление диссертации на главы. С одной стороны, можно считать, что вторая глава является продолжением аналитического обзора, приведенного в первой главе, и рассматривает существующие методы сжатия. С другой стороны, во второй главе начинается описание решения задачи сжатия данных путем рассмотрения недостатков существующих методов и формулировки задачи разработки нового метода, описанию которого посвящена третья глава.
3. Из текста четвертой главы остается непонятным, рассматриваются ли особенности технической системы «Сканер – программное обеспечение сканера» уже с применением разработанного алгоритма сжатия и влияет ли его применение на выявленные и описанные в главе особенности системы, в частности, на появление артефактов или изменение точности представления.
4. Автор использует понятие «битовый объем» вместо более привычных понятий «объем данных», «размер файла», что частично объясняется спецификой его работы с битовыми последовательностями, но выглядит непривычно.

5. В таблице 3.1 автор, приводя сравнительную оценку времени выполнения и потребного количества памяти при генерации заполняющей пространства кривой, указывает время выполнения в миллисекундах на некотором абстрактном вычислителе, не конкретизируя его параметры (тип процессора, рабочая частота и т.п.). То же замечание относится к таблице 3.2.

6. В работе отсутствуют данные о влиянии разрешающей способности используемых 3D-сканеров на возможность использования модели представления пространственных объектов и рабочие пределы допустимых значений разрешающей способности для разработанного метода динамического разбиения и масштабирования пространства облаков точек.

Перечисленные замечания не снижают высокий научный уровень проведенных исследований и не влияют на общий положительный вывод о качестве представленной к защите диссертации. Замечания носят рекомендательный характер и могут быть учтены автором в дальнейших публикациях по теме исследования.

### **Вывод**

Учитывая вышеизложенное, можно сформулировать вывод о том, что диссертационная работа Аксенова Алексея Юрьевича является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на актуальную тему, отличается научной новизной и практической значимостью полученных результатов.

В диссертационной работе автором сформулирована и решена важная научно-техническая проблема представления и сжатия 3D-данных, имеющая большое значение для развития инфокоммуникационных технологий в области компьютерного моделирования и быстрого прототипирования.

Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате, который достаточно полно отражает содержание диссертации. По ма-



териалам диссертационной работы опубликовано 11 научных работ, в том числе 6 в периодических журналах, рекомендованных ВАК.

Тематика диссертации, формулировка ее целей, научной новизны и областей применения полученных результатов подтверждают соответствие диссертации специальности 05.13.01.

Диссертационная работа отвечает критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» и соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Аксенов Алексей Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы).

Диссертационная работа и отзыв обсуждены и одобрены на заседании научно-технического совета кафедры «Системы и технологии управления» СПбПУ, присутствовало 13 человек, протокол № 1 от 8 сентября 2015г.

Заведующий кафедрой «Системы и технологии управления»  
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого  
профессор, доктор технических наук  
Почтовый адрес: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29  
Телефон: +7 (812) 329-47-90  
Электронная почта: [Shkodyrev@mail.ru](mailto:Shkodyrev@mail.ru)

  
В. П. Шкодырев

Доцент кафедры «Системы и технологии управления»  
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого  
доцент, кандидат технических наук  
Почтовый адрес: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29  
Телефон: +7 (812) 329-47-45  
Электронная почта: [slava.potekhin@mail.ru](mailto:slava.potekhin@mail.ru)

В. В. Потехин