

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Захаровой Алёны Александровны

на диссертационную работу Шакаева Вячеслава Дмитриевича

«Моделирование воксельных ландшафтов
для автоматизации проектирования систем виртуальной реальности»,

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 «Системы автоматизации проектирования (информационные технологии и промышленность)».

1. Актуальность темы. Моделирование и интерактивная визуализация ландшафтов требуются в таких приложениях как архитектурные и ландшафтные редакторы, военные и аэрокосмические тренажёры, симуляторы наземного транспорта, биомедицинские системы, а также системы виртуальной реальности и видеоигры с большими открытыми пространствами.

Для представления ландшафтов в вышеуказанных приложениях традиционно используются карты высот. Однако они не дают возможность описания сложных трёхмерных особенностей ландшафта (пещеры, нависающие арки) и его внутреннего геологического строения. Поэтому детали ландшафта и искусственные объекты, которые не могут быть представлены картой высот, разрабатываются с использованием внешних САПР и импортируются в ландшафтный редактор, что создаёт проблемы бесшовной интеграции моделей с ландшафтом, обеспечения целостности ландшафта после выполнения операций редактирования, задачи обеспечения параметрической связи вне одного пакета и т.д. Данные проблемы могут быть решены с помощью унифицированного воксельного представления как природного рельефа, так и искусственных элементов ландшафта. Следует отметить, что возрастающие требования к огромным виртуальным средам будущего делают актуальным сдвиг парадигмы в сторону волюметрической сэмплируемой геометрии.

Вместе с тем, использование воксельного представления для моделирования и визуализации ландшафтов в интерактивном режиме сопряжено с рядом технических трудностей: чрезвычайное потребление памяти, высокая вычислительная сложность алгоритмов обработки воксельных данных, избыточное количество треугольников в построенной поверхностной сетке, реконструкция острых рёбер и углов поверхности для возможности моделирования искусственных объектов, необходимость в сшивке смежных блоков с различными уровнями детализации и генерации упрощённых уровней детализации после редактирования ландшафта.

Таким образом, тематика диссертационной работы Шакаева В.Д., посвященной разработке алгоритмов и методов для интерактивного моделирования и визуализации воксельных ландшафтов в условиях жёстких требований, предъявляемых системой виртуальной реальности, представляется **актуальной**, а результаты – практически значимыми.

2. Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (160 наименований) и пяти приложений. Основной текст работы занимает 191 страницу, в том числе 91 рисунок и 6 таблиц. Общий объём работы составляет 207 страниц.

В первой главе проанализировано современное состояние исследований в области интерактивной визуализации воксельных ландшафтов в системах виртуальной реальности, перечислены существующие программные решения для интерактивной визуализации и моделирования воксельных ландшафтов, а также используемые в них алгоритмы триангуляции. Рассмотрены основные методы извлечения изоповерхностей с реконструкцией острых рёбер и углов. Показано, что прямая реализация рассмотренных методов для триангуляции воксельных ландшафтов недостаточно эффективна и мало исследована, а использование этих методов для триангуляции воксельных ландшафтов сопряжено с рядом трудностей и особенностей.

Во второй главе сформулированы требования к алгоритму триангуляции, который может быть использован для построения поверхности воксельного ландшафта, и предлагает алгоритм триангуляции, основанный на методе дуальных контуров. Предложенный алгоритм разработан для триангуляции воксельного ландшафта с внешней памятью («по частям»), оперирует с линейным представлением октодеревя и отличается простотой реализации. Проведено экспериментальное сравнение предложенного алгоритма с исходным вариантом, и показано, что новый алгоритм потребляет в несколько раз меньше рабочей памяти, и незначительно уступает в скорости при небольших разрешениях (до 64^3 ячеек) воксельной решётки.

В третьей главе определены требования к редактируемому формату хранения воксельных данных, и проанализированы различные способы представления трёхмерных объектов и форматы хранения объёмных данных, которые в настоящее время применяются для геометрического моделирования в САПР и могут быть использованы для работы с воксельными ландшафтами. Разработан метод для компактного хранения блоков ландшафта в различных уровнях детализации, который заключается в использовании линейных октодеревьев, ячейки которых содержат позицию острой вершины на поверхности и значения «внутри»/«снаружи» в углах ячейки.

В четвёртой главе приведён краткий анализ методов визуализации ландшафтов с различными уровнями детализации, и предложен алгоритм для адаптации иерархии уровней детализации к позиции камеры наблюдателя, который лучше масштабируется с увеличением размеров сцены, чем традиционные рекурсивные алгоритмы. Разработан алгоритм для бесшовного соединения блоков ландшафта, обладающих различными уровнями детализации. Предложен модифицированный алгоритм дуальных контуров, устраняющий зависимости по данным между смежными блоками воксельного ландшафта в процессе триангуляции.

Пятая глава посвящена аспектам программной реализации разработанных автором моделей и алгоритмов в виде набора библиотек – фреймворка.

В заключении приведены основные выводы и результаты работы.

3. Новизна результатов, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации. Новизну результатов диссертации составляют:

- 1) алгоритм адаптивной триангуляции изоповерхностей, который обеспечивает триангуляцию воксельных ландшафтов с внешней памятью;
- 2) метод компактного хранения уровней детализации воксельного ландшафта с информацией для восстановления его острых углов и рёбер, поддержкой проектируемых областей с различными материалами, возможностью генерации упрощённых уровней детализации, высокой скоростью сжатия, декомпрессии и триангуляции;
- 3) алгоритм для адаптации иерархии уровней детализации;
- 4) метод для бесшовной триангуляции воксельного ландшафта по частям, который обеспечивает возможность «стыковки» блоков с различными разрешениями, высокое качество восстановления острых углов и рёбер поверхности, минимальное количество занимаемого на диске пространства;
- 5) модифицированный алгоритм дуальных контуров, который позволяет выполнять интерактивную триангуляцию смежных блоков параллельно.

4. Степень обоснованности и достоверности научных положений. Достоверность и обоснованность результатов диссертации обусловлены аргументированностью научных положений и выводов, сопоставлением их с имеющимися результатами, экспериментальными данными, обсуждением результатов исследования на международных и всероссийских конференциях и научных семинарах.

5. Полнота опубликования результатов диссертации, соответствие автореферата содержанию диссертации. Основные положения изложены в 10 печатных работах, в том числе 4 статьи в научных журналах, рекомендуемых ВАК РФ и 2 статьи в изданиях, индексируемых в международной библиографической базе Scopus. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Все изложенные в работе результаты исследований получены при непосредственном участии автора. Ведущая роль выполнена автором в интерпретации результатов, формулировании основных научных результатов и выводов.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

6. Теоретическое и практическое значение диссертации. Теоретическое значение имеет математический аппарат для развития волюметрической сэмплируемой геометрии, а именно алгоритмы и методы, повышающие эффективность работы с воксельными ландшафтами, что важно для развития как систем проектирования, так и анализа пространственных данных.

Практическая значимость результатов диссертации заключается в разработке программных инструментов, которые рекомендуется использовать для проектирования систем виртуальной реальности с поддержкой создания, редактирования и визуализации воксельных ландшафтов.

Предлагаемые Шакаевым В.Д. теоретические положения и методы доведены до практических методик, алгоритмов и программ, а выводы подтверждаются результатами экспериментальных исследований.

Характер исследований соответствует паспорту специальности 05.13.12 «Системы автоматизации проектирования (информационные технологии и промышленность)».

7. Замечания и недостатки диссертации

В качестве **замечаний** по работе можно отметить:

1. Количество страниц основного текста составляет 191 стр. (в тексте диссертации и автореферата указано 177 стр.), поскольку список источников также следует учитывать.
2. В описании личного вклада не указана роль соавторов публикаций в реализации исследований. Следовало бы более детально отметить, какие научные результаты были получены автором лично, а какие в соавторстве.
3. В предложенном автором алгоритме триангуляции используются линейные октодеревья, в которых для адресации ячеек используются коды Мортон и Z-кривая (стр. 40). Во многих приложениях для пространственной индексации и поиска успешно применяется кривая Гильберта, которая, в отличие от Z-кривой, не имеет разрывов, обладает большей ссылочной локальностью и может оказаться более эффективной для поиска ближайших соседей, который является ключевой операции в разработанном автором алгоритме триангуляции. Однако, в тексте диссертации не удалось обнаружить упоминания о возможности использования кривой Гильберта для разбиения пространства с целью адаптивной триангуляции.
4. В третьей главе приведены детальный анализ форматов хранения воксельных данных, а также практические рекомендации и выводы по их использованию. Однако, они не подкреплены результатами экспериментов по сравнению форматов по указанным автором критериям: скорость построения адаптивной триангуляции, качество восстановления острых рёбер и углов поверхности, скорость построения из полигональных моделей, скорость редактирования, размер занимаемой памяти, скорость сжатия и распаковки, коэффициент сжатия и т.д.
5. В работе не приводятся результаты использования разработанных методов и алгоритмов в промышленности. Также в рекомендациях по развитию темы работы следовало бы охватить такие важные практические задачи, как применение данного подхода в медицинских САПР (несмотря на актуальность данного направления, автор не указал его в качестве перспективных).

8. Заключение.

Приведенные выше замечания не снижают общей положительной оценки работы. Диссертация Шакаева В.Д. является самостоятельным, завершённым научным исследованием, в котором изложены обоснованные решения научной задачи, имеющей значение для развития систем автоматизированного проектирования и методов моделирования пространственных объектов. Работа соответствует требованиям п. 9, 10 Положения о присуждении ученых степеней, а её автор, Шакаев Вячеслав Дмитриевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 «Системы автоматизации проектирования (информационные технологии и промышленность)».

Доктор технических наук,
заместитель первого проректора по учебной работе,
профессор кафедры «Информатика и программное обеспечение»
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Брянский государственный технический университет»

Захарова Алёна Александровна

тел.: +7-(4832)-560984
e-mail: zaa@tu-bryansk.ru



07.06.2019

Специальность, по которой защищена докторская диссертация:
05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет»,
241035, г. Брянск, бул. 50 лет Октября, д. 7.

