

УДК 681.3

СОВРЕМЕННОЕ АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ ОБСТАНОВКИ

Башков Е.А., Зори С.А., Ковальский С.В.

Донецкий национальный технический университет

bashkov@pmi.dgtu.donetsk.ua, zori@pmi.dgtu.donetsk.ua, skovalsky@yandex.ru

Abstract

Bashkov E., Zori S., Kovalsky S. Modern algorithms and hardware of virtual systems for 3D-modeling of surround. In article the brief- analysis of researches of modern algorithms and hardware of virtual systems for 3D- modeling of surround, that are executed on faculty of computer science Donetsk National Technical University is given.

Введение

Компьютерная графика, синтез и обработка изображений определяют сегодня уровень развития не только вычислительной техники в целом, но и достижения и эффективность решения множества важных прикладных задач из самых разнообразных областей. Современные навигационные системы, летные тренажеры, системы визуального моделирования и другие самые разнообразные системы виртуальной и дополненной реальности, которые были признаны [1] одной из технологий, оказывающих наиболее сильное влияние на развитие IT-отрасли в ближайшие годы и плотно проникшие сегодня в повседневную деятельность человека, строятся с применением трехмерных виртуальных сред, основанных на реальных ландшафтах и фактических характеристиках «тонких» сигнальных субстанций.

Коллектив ученых кафедры прикладной математики и информатики под руководством проф. Е.А. Башкова несколько лет ведет интенсивные исследования и разработки в этой области, некоторые результаты которых описываются в этой статье.

1. Визуальное моделирование земной поверхности

Важнейшими показателями процесса визуального моделирования, обусловленными необходимостью обеспечения информационного и динамического подобия реально наблюдаемой окружающей обстановки и синтезируемого изображения, являются качество синтезируемых изображений и временные характеристики процесса их генерации. При визуальном моделировании окружающей обстановки в современных компьютерных системах возникает необходимость качественного отображения земной поверхности, причем очень часто это необходимо делать в режиме реального времени.

При визуальном моделировании земных поверхностей особенно важной задачей является адекватное отображение топологии, геометрии и динамики для получения наиболее реалистичной визуальной картины окружающей обстановки и достижения связанных с ней множества сопутствующих целей (обучение, навигация, моделирование, виртуальная имитация и т.п.). Применяемые на сегодняшний день методы и системы имеют следующие основные недостатки - большое время вычислений и не достаточная адекватность изображений [2, 3]. В связи с этим представляется актуальным решение задачи визуального моделирования земных поверхностей в реальном масштабе времени за счет организации эффективных алгоритмических и аппаратных средств со специализированной архитектурой.

Сегодня известны несколько основных методов, применяемых в системах компьютерной графики для этой цели. Применение того или иного метода зависит от требований, предъявляемых к системе визуализации. Эти требования заключаются в обеспечении заданной степени реализма и заданного ограничения на время синтеза сцены [2 - 6]. Для повышения реалистичности синтезируемых изображений применяют методы расчета освещения, генерации собственных теней и методы текстурирования с использованием фотоснимков местности.

В своих работах авторами были подробно рассмотрены основные методы генерации изображений этих геометрически сложных объектов и их характеристики [7 - 13], выполнена классификация основных методов синтеза изображений земных поверхностей. Методы условно можно классифицировать следующим образом:

— без использования полных данных о топологии и характеристиках реальной местности (упрощенное, "условное" моделирование, только по опорным точкам);

– с использованием полных данных о топологии и характеристиках реальной местности, включающих цифровые модели местности и их фотоснимки ("реальное" моделирование).

При этом методы синтеза изображения земной поверхности могут использовать:

– аппроксимацию поверхности полигонами (классический случай) - триангуляция, метод иерархических иррегулярных триангуляционных сетей (HTINs) и пр.;

– аппроксимацию участками криволинейных поверхностями (параметрические сплайны);

– аппроксимацию виртуальными примитивами и поверхностями с использованием стохастических процессов (стохастическое моделирование) - фрактальный и пр. методы;

– аппроксимации поверхностями и полигонами на основе использования реальных цифровых моделей местности и их фотоснимков для текстурирования (с учетом вычисленной освещенности и геометрии) - методы приоритетного маскирования (Dungan), растровый (scan-line) метод (Robertson), метод контурных радиальных сетей, алгоритм вычисления горизонта FHCA (Stewart) и др..

Авторами проведено исследование и моделирование современных алгоритмов синтеза изображений земных поверхностей, разработаны их модификации (растрового алгоритма – МРА и алгоритма вычисления горизонта FHCA), которые обладают лучшими характеристиками, на их основе предложены и исследованы структуры специализированных вычислительных систем аппаратной поддержки для организации визуального моделирования в реальном времени. Результаты исследований неоднократно публиковались и докладывались на международных научных конференциях [11, 12, 13]. Некоторые результаты моделирования и структуры специализированных вычислительных систем для разработанных модифицированных алгоритмов синтеза изображений земных поверхностей, представлены ниже.

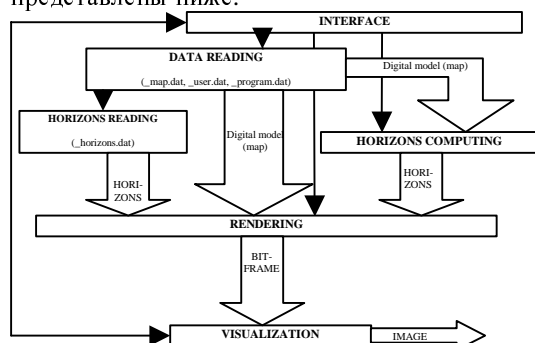
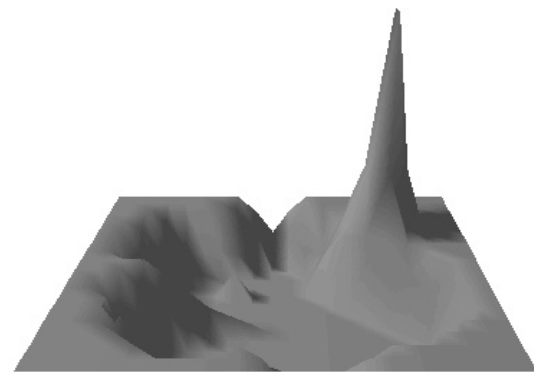
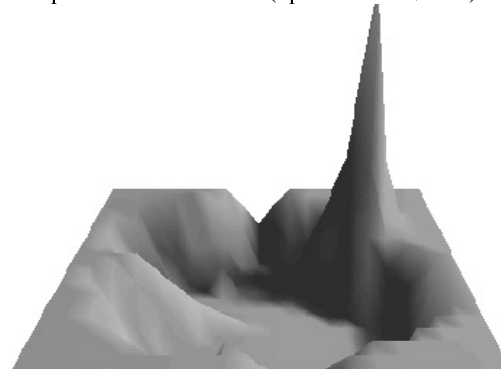


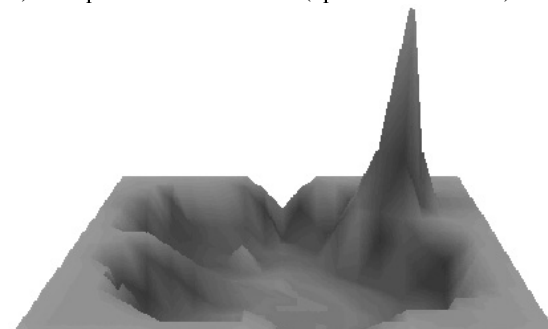
Рисунок 1 – Структура программного моделирования земных поверхностей алгоритмом вычисления горизонтов



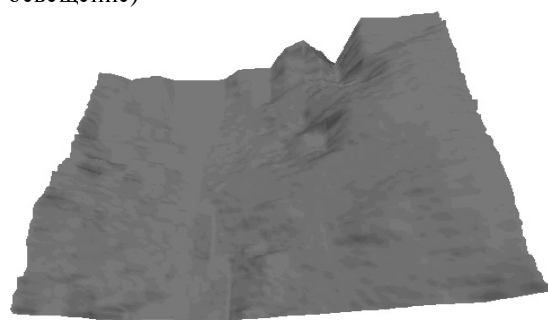
а) абстрактная местность (яркое освещение)



б) абстрактная местность (яркое освещение)



в) абстрактная местность (рассеянное освещение)



г) реальная местность (рассеянное освещение)

Рисунок 2 – Примеры синтезированных изображений ландшафтов алгоритмом вычисления горизонтов

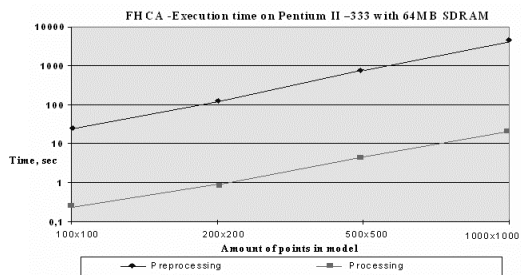


Рисунок 3 – Временные характеристики программного моделирования земных поверхностей алгоритмом вычисления горизонтов (показывает необходимость аппаратной поддержки процесса для достижения реального времени)

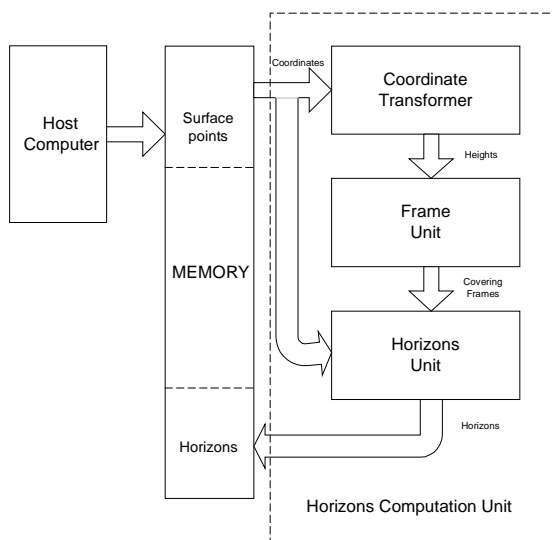


Рисунок 4 – Структура вычислительной системы (процессор вычисления горизонтов) для моделирования земных поверхностей алгоритмом вычисления горизонтов

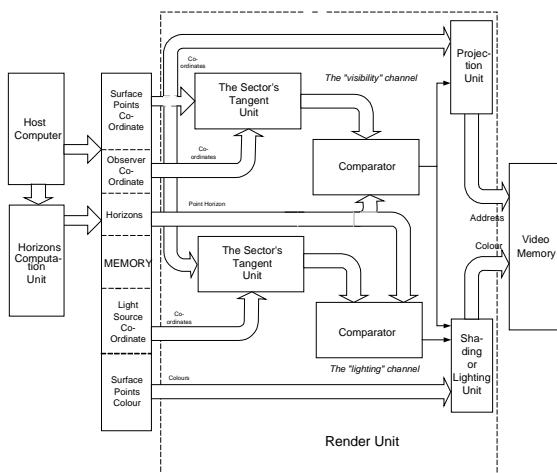


Рисунок 5 – Структура вычислительной системы (процессор рендеринга) для моделирования земных поверхностей алгоритмом вычисления горизонтов

Таблица 1. Время синтеза абстрактной сцены модифицированным растровым алгоритмом (МРА) и алгоритмом вычисления горизонтов (FHCA), программный способ, секунды

| Число точек | FHCA | | МРА | |
|-----------------------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| | Препроцессор | Рендеринг | Препроцессор | Рендеринг |
| 1 неподвижный источник освещения | | | | |
| 100x100 | 43 | 0,63 | 0,2 | 1,5 |
| 250x250 | 215 | 2,5 | 0,8 | 6,25 |
| 500x500 | 1425 | 13 | 3,2 | 24 |
| 1000x1000 | 95551 | 58 | 12,8 | 96 |
| 1 подвижный источник освещения | | | | |
| 100x100 | 43 | 0,63 | - | 1,7 |
| 250x250 | 215 | 2,5 | - | 7,05 |
| 500x500 | 1425 | 13 | - | 27,2 |
| 1000x1000 | 95551 | 58 | - | 108,8 |
| 3 неподвижных источника освещения | | | | |
| 100x100 | 43 | 1,55 | 0,6 | 1,5 |
| 250x250 | 215 | 7,06 | 2,4 | 6,25 |
| 500x500 | 1425 | 31,6 | 9,6 | 24 |
| 1000x1000 | 95551 | 140,8 | 38,4 | 96 |
| 3 подвижных источника освещения | | | | |
| 100x100 | 43 | 1,55 | - | 2,1 |
| 250x250 | 215 | 7,06 | - | 8,65 |
| 500x500 | 1425 | 31,6 | - | 33,6 |
| 1000x1000 | 95551 | 140,8 | - | 134,4 |

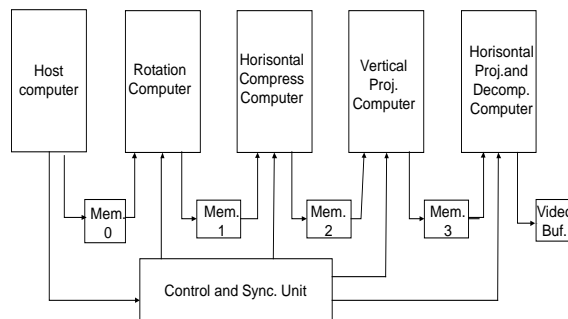
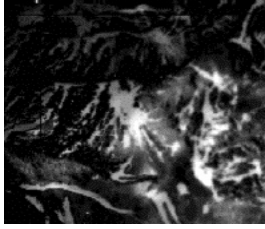


Рисунок 6 – Структура вычислительной системы реального времени с использованием МРА

Исходная фотография местности



Синтезированные изображения местности с различных ракурсов

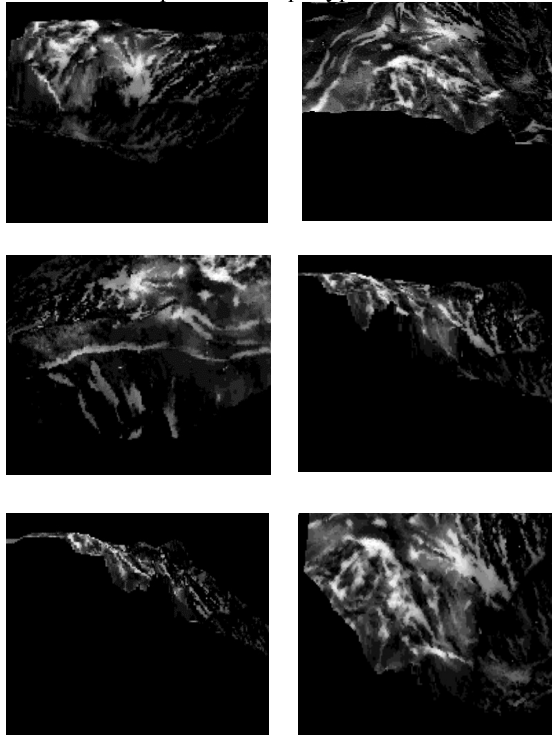


Рисунок 7 – Примеры синтезированных изображений реальной местности модифицированным растровым алгоритмом с текстурированием фотоснимком

2. Автоматизация создания трехмерных моделей реальных ландшафтов на основе фотографий

При построении трехмерных виртуальных сред возникает задача автоматизации создания трехмерных моделей реальных ландшафтов на основе имеющегося фото- или видео-ряда [14]. Задача реконструкции трехмерной сцены по имеющимся фотоизображениям была впервые поставлена в [15] под названием Structure-from-Motion – SFM (Структура из движения – СИД). Исследования в данной области проводятся и в настоящее время [16-18], однако их результаты не позволяют гарантировать высокое качество получаемой трехмерной модели и строить на основе алгоритмов СИД системы реального времени. Это дает возможность говорить об актуальности продолжения исследований по

повышению производительности и качества результатов алгоритмов СИД.

В [16] был представлен алгоритм SMLSMI, позволяющий выполнять реконструкцию трехмерной сцены. Исходными данными для реконструкции являются размеченные на наборе фотоизображений проекции отрезков прямых в пространстве, при этом проекции каждой прямой приведены в соответствие между собой. Результатами реконструкции является набор прямых в пространстве, проекции отрезков которых составляют исходные данные, и набор положений камеры при получении исходных фотоизображений.

Структура алгоритма SMLSMI представлена на рисунке 8. На рисунке 9 представлены примеры реконструируемых сцен, состоящие из наборов "проволочных" кубов. На рисунке 10 представлены результаты реконструкции исходной сцены алгоритмом SMLSMI, совмещенные с исходными сценами.

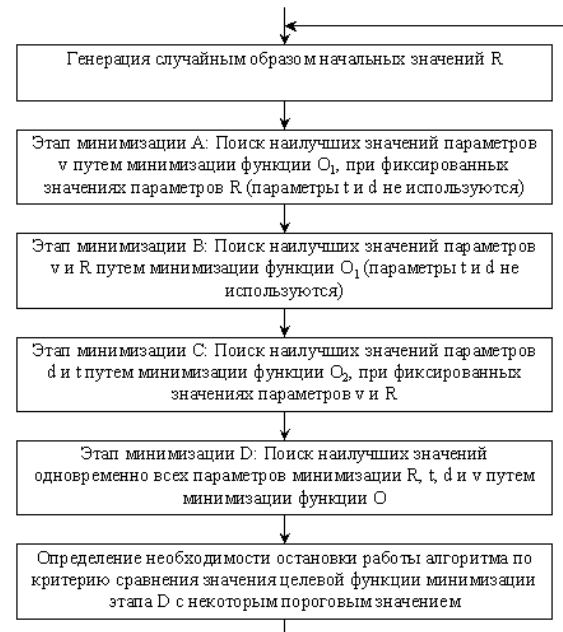


Рисунок 8 – Структура алгоритма SMLSMI

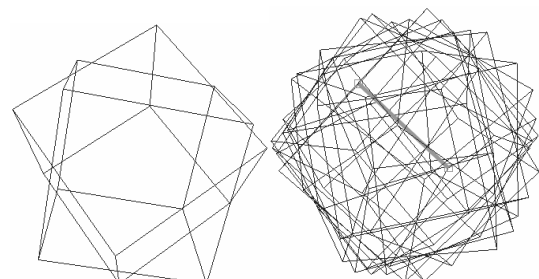


Рисунок 9 – Примеры реконструируемых сцен

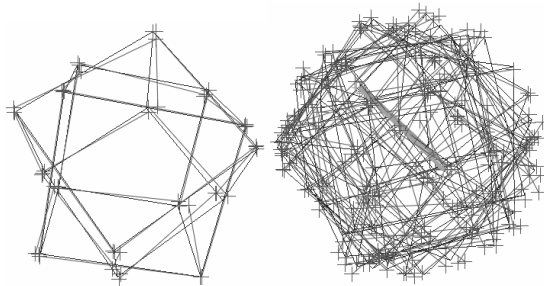


Рисунок 10 – Примеры результатов реконструкции

На рисунке 11 представлен пример разметки опорных отрезков на исходном фотографическом изображении реконструируемой сцены.



Рисунок 11 – Разметка опорных отрезков на фотографическом изображении

Анализ и предложения по модификации алгоритма SMLSMI

Алгоритм SMLSMI предполагает выполнение минимизации ряда целевых функций: O , O_1 , O_2 . В [19] были выделены преимущества и недостатки использования методов минимизации с ограничениями и без ограничений при реализации данного алгоритма, рассмотрены преимущества и недостатки классов методов минимизации без ограничений 0-го, 1-го и 2-го порядков. Также, была описана связь между способом представления параметров минимизации и возможностью применения различных методов минимизации. Выполнен выбор лучших способов представления параметров по критерию минимизации объема вычислений. В процессе верификации математических формул, представленных в [16], была найдена неправомочность одной из формул, приводящая в процессе реализации алгоритма к неадекватным результатам реконструкции. В [20] была предложена замена параметров целевой функции минимизации O . По виду полученной зависимости было сделано предположение об ускорении работы алгоритма

SMLSMI при использовании замены параметров в реализации данного алгоритма.

Использование метода минимизации наискорейшего спуска при реализации алгоритма SMLSMI показало наилучшие временные характеристики по сравнению с другими методами многомерной минимизации. Реализация метода минимизации наискорейшего спуска предполагает использование некоторого метода одномерной минимизации. В [21] был предложен ряд алгоритмов одномерной минимизации и ряд соответствующих алгоритмов минимизации методом наискорейшего спуска. В [22] была показана возможность повышения эффективности работы алгоритма SMLSMI путем распараллеливания вычислений, приведены коэффициенты ускорения в зависимости от порядка реализованного метода минимизации (см. табл. 2.1).

Таблица 2.1 Оценка коэффициентов ускорения работы алгоритма SMLSMI при распараллеливании вычислений

| Порядок метода минимизации | Коэффициент ускорения |
|--|---------------------------|
| 0-й (использование в процессе минимизации только значений целевой функции) | $C_1 * N * M$ |
| 1-й (использование градиента – вектора 1-х производных целевой функции) | $C_2 * N + C_3 * M$ |
| 2-й (использование матрице Гессе – матрицы вторых производных целевой функции) | $((C_2 * N + C_3 * M)^2)$ |

На рисунке 12 представлена структура вычислительной системы, позволяющая выполнять параллельные вычисления для метода минимизации 2-го порядка.

Результатом работы алгоритма SMLSMI является набор прямых в пространстве. В [23] был представлен ряд алгоритмов, преобразующих результаты работы алгоритма SMLSMI в традиционный для систем визуализации трехмерной графики вид, а также выполнен сравнительный анализ эффективности представленных алгоритмов.

На основе результатов проведенного анализа алгоритма SMLSMI в [24] был представлен модифицированный алгоритм MSMLSMI.

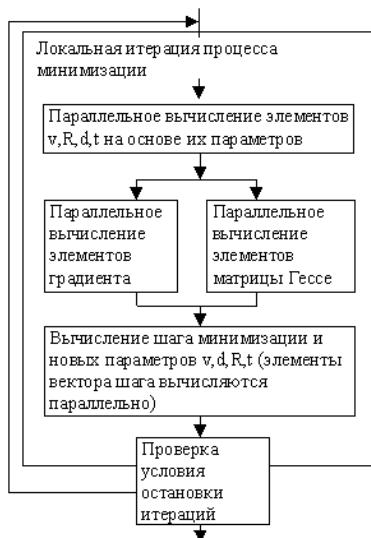


Рисунок 12 – Структура вычислительной системы

Экспериментальное исследование алгоритма SMLSMI

Алгоритм SMLSMI не обеспечивает гарантировано адекватных результатов реконструкции произвольной сцены. С целью определить вид зависимости эффективности реконструкции от конфигурации исходной сцены был проведен ряд экспериментов. Исходная сцена представляла собой набор равносторонних углов в пространстве. На рисунке 13 представлены снимки исходной сцены, полученные из различных точек обзора.

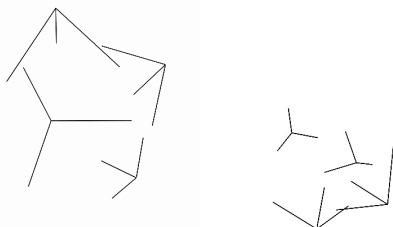


Рисунок 13 – Исходная сцена – набор равносторонних углов в пространстве

В ходе эксперимента варьировались параметры:

- количество углов;
- количество камер;
- количество ребер углов;
- угол между ребрами.

Полученный процент успешности реконструкции при различном количестве углов представлен на рисунке 14. При количестве углов, равном 1, результаты являются практически полностью неадекватными, что связано с малым количеством ребер, равном 3 (алгоритм SMLSMI дает адекватные результаты при количестве ребер не меньшем 4-х [16]). Также, процент успешности мал при количестве углов, равном 2. Начиная с количества углов,

равного 3, можно говорить о значительном проценте успешности, однако говорить о виде зависимости процента успешности от количества углов не представляется возможным.

Полученный процент успешности реконструкции при различном количестве камер представлен на рисунке 15. При количестве камер, равном 2, адекватные результаты отсутствуют, что соответствует свойству алгоритма выполнять реконструкцию при количестве камер не меньшем 3-х [16]. При количестве камер, большем 2-х, процент успешности в целом достаточно стабилен, однако при этом существуют отдельные значительные отклонения (например, при количестве камер, равном 5).

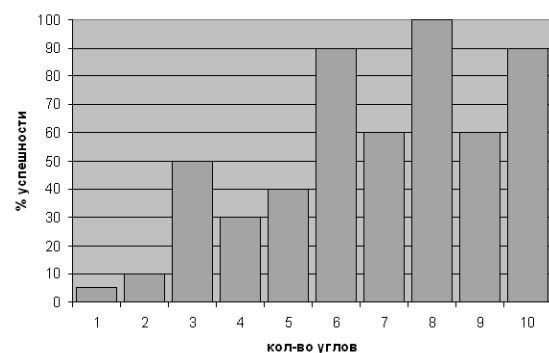


Рисунок 14 – Показатель успешности реконструкции при различном количестве углов

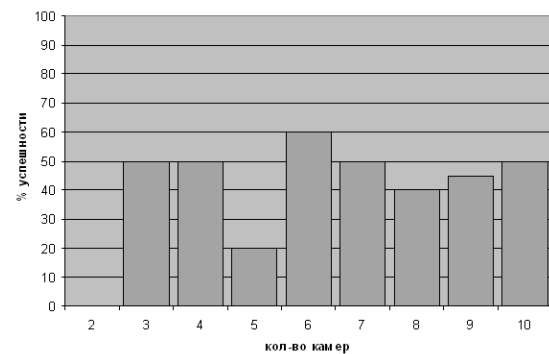


Рисунок 15 – Показатель успешности реконструкции при различном количестве камер

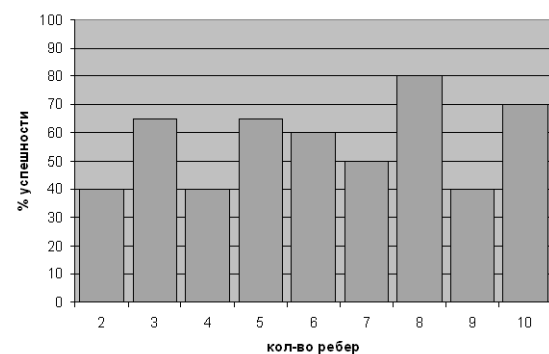


Рисунок 16 – Показатель успешности реконструкции при различном количестве ребер углов

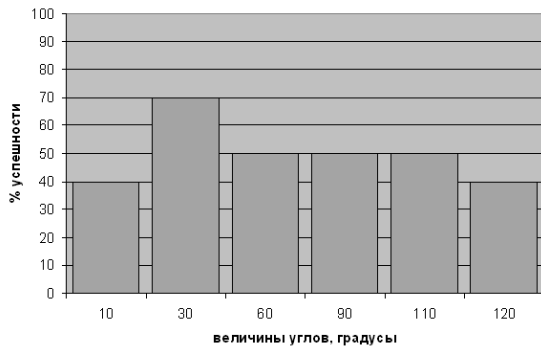


Рисунок 17 – Показатель успешности реконструкции при различных величинах углов

Полученный процент успешности реконструкции при различном количестве ребер углов представлен на рисунке 16. Процент успешности значителен на всем векторе, однако отдельные величины процента успешности имеют высокую степень разброса, что не позволяет сделать вывод о виде зависимости.

Полученный процент успешности реконструкции при различных величинах углов между ребрами углов представлен на рисунке 17. Процент успешности несколько ниже при наименьшем и наибольшем значениях угла между ребрами, это позволяет сделать предположение, что лучшие результаты могут быть получены, если реконструируемая сцена состоит из прямых, векторы ориентации которых распределены в пространстве (вращения) более равномерно.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что в целом сцена, состоящая из равносторонних углов в пространстве, реконструируется достаточно успешно. Однако, использованное количество запусков алгоритма на идентичном наборе значений параметров недостаточно для определения вида зависимости эффективности реконструкции от представленного ряда параметров исходной сцены.

Модификация структуры алгоритма SMLSMI

Экспериментальные исследования алгоритма SMLSMI показали, что этап D локальной минимизации имеет значительно большую вычислительную сложность и, соответственно, большее время работы по сравнению с этапами A, B и C вместе взятыми. Кроме того, проведенные исследования говорят о том, что рассчитанное по результатам трех первых этапов локальной минимизации (A, B, C) значение целевой функции O прямо пропорционально значению функции O, получаемому по окончании последующей работы этапа D (рис. 18).

Таким образом, в ходе отдельной локальной итерации меньшее значение функции

O по окончании этапа C позволяет предположить получение меньшего значения функции O по окончании этапа D. На основе данного вывода предлагается модифицированная структура алгоритма SMLSMI (см. рис. 19).

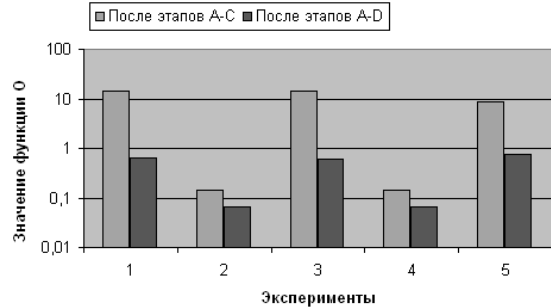


Рисунок 18 – Сравнение значений функции O, полученных на этапах C и D

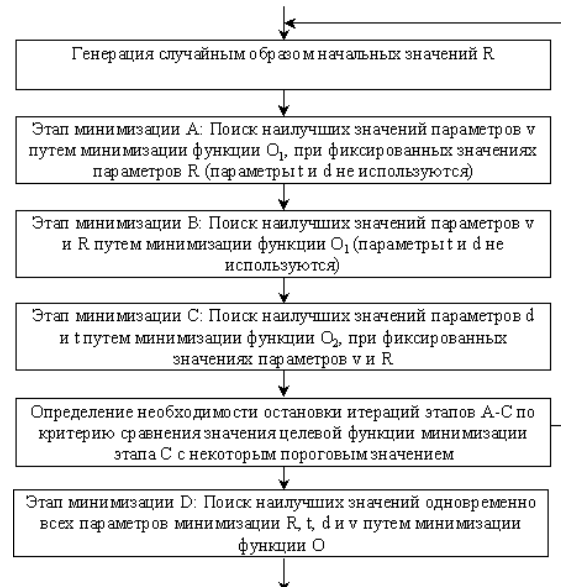


Рисунок 19 – Модифицированная структура алгоритма SMLSMI

Модифицированная структура предполагает итеративное выполнение локальной минимизации, включающей этапы A, B, C, до выполнения некоторого условия остановки, с последующим единственным выполнением этапа D.

Проведенные эксперименты показали, что алгоритм с модифицированной структурой выполняет реконструкцию быстрее (рис. 20) и не менее качественно, чем алгоритм SMLSMI.

Результаты ряда экспериментов содержат случаи, когда реконструированный отрезок находится за экранной плоскостью камеры, положение которой было реконструировано, хотя проекция данного отрезка присутствует в соответствующем данному положению камеры опорному кадру (т.е. данный отрезок находился перед экранной

плоскостю камери при отриманні опорного кадра).

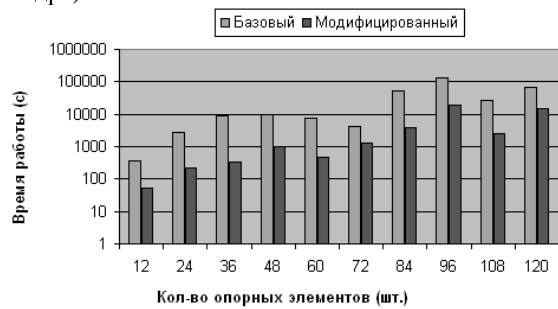


Рисунок 20 – Сравнение временных характеристик базового алгоритма SMLSMT с алгоритмом, имеющим модифицированную структуру

Анализ показал, что данные случаи обусловлены спецификой целевой функции минимизации алгоритма SMLSMT, которая не учитывает, где располагается реконструированный отрезок – за или перед экранной плоскостью камеры, положение которой реконструировается. На рисунке 21 изображены отрезки A_1B_1 , A_2B_2 и A_3B_3 , располагающиеся перед экранной плоскостью камеры, между ее точкой фокуса и экранной плоскостью и за точкой фокуса соответственно. Данные отрезки имеют одну и ту же проекцию $A'B'$ на экранную плоскость реконструируемой камеры и поэтому дают одинаковый взнос в величину целевой функции минимизации базового алгоритма.

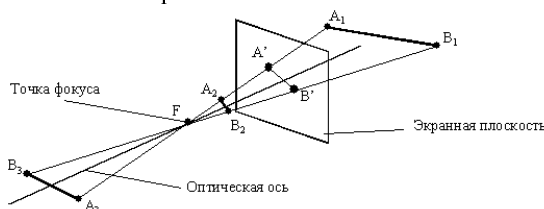


Рисунок 21 – Расположение реконструируемых отрезков за экранной плоскостью

В отдельных кадрах описанному случаю соответствуют некоторые из имеющихся проекций опорных отрезков, а в отдельных кадрах и все имеющиеся проекции. При этом существуют результаты экспериментов, в которых в отдельных кадрах все имеющиеся проекции соответствуют описанному случаю, а конфигурация опорных отрезков реконструированной модели с высокой степенью достоверности соответствует исходной сцене.

Для повышения степени адекватности реконструируемых моделей исходным сценам предполагается целесообразным модифицировать базовый алгоритм таким образом, чтобы обеспечить положение опорных отрезков перед экранной плоскостью тех кадров, в которых присутствуют их проекции. Таким образом, авторами был выполнен анализ алгоритма SMLSMT, а также проведено его

экспериментальное исследование. Анализ позволил получить следующие результаты:

- выявлена неправомочность одной из формул [16];
- сделано предположение о возможности ускорения работы алгоритма путем модификации целевой функции минимизации;
- выработаны рекомендации по реализации метода наискорейшего спуска в алгоритме SMLSMT;
- показана возможность повышения эффективности работы алгоритма SMLSMT путем распараллеливания вычислений;
- предложен ряд алгоритмов преобразования результатов алгоритма SMLSMT в традиционный для систем визуализации трехмерной графики вид.

На основе результатов экспериментального исследования была предложена модифицированная структура алгоритма, обеспечивающая большую производительность алгоритма, а также указана возможность модификации, повышающей адекватность реконструируемых моделей.

3. Визуальная идентификация сигналов на основе их комплексных частотно-временных характеристик

Основной задачей специальных технических комплексов и систем мониторинга радиоэлектронной обстановки является эффективное обнаружение и идентификация (распознавание) в реальном времени типов объектов по определяющим комплексным информативным параметрам их сигналов. Основным этапом решения задачи идентификации объектов источников сигналов по их параметрам связан с комплексным анализом оператором полученных результатов измерения информативных параметров сигналов и принятия им решения о принадлежности наблюдаемого объекта к заданному типу. В существующих системах решение этой задачи целиком возложено на оператора, который осуществляет мониторинг количественных показателей характеристик источников сигналов и, на их основе, идентификацию типа источника [23, 24, 25]. С учетом ограниченного количества признаков, которые воспринимает оператор в системах обработки информации, а также существенной зависимости качества идентификации от психофизического состояния оператора и динамики поступления информации от источников сигналов, в современных условиях необходимо применение специализированных автоматизированных информационных систем. При этом в таких системах наиболее эффективным является визуальное представление информации в виртуализированной окружающей среде для

образной визуализации и обработки информации [23, 24, 26]. Авторами предложена к исследованию информационная система поддержки идентификации, представленная на рис. 22.

При этом информационная система должна осуществлять:

1. Последовательную процедуру получения и анализа характеристик сигналов (блок комплексного анализа).

2. Накопление в базе данных информативных комплексных оценок и характеристик сигнала (база данных типовых источников сигналов).

3. Количественно - частотно-временную визуализацию информативных характеристик и параметров сигнала (блок визуализации характеристик).

4. Экспертную идентификацию на этой основе сигнала (оператор).



Рисунок 22 – Структура ИС идентификации сигналов

Выполненный анализ [25] информативных параметров сигналов различных источников позволяет сделать вывод, что для повышения эффективности и достоверности идентификации типов сигналов, оператору системы должны быть представлены такие характеристики и параметры, как частотно-временное распределение сигнала на основе его спектрального анализа, частота следования импульсов, длительность импульсов, средняя, минимальная, максимальная и мгновенная частота заполнения импульса, девиация частоты, а также данные о наиболее близких по своим характеристикам сигналах.

Разработана структура программной подсистемы визуализации в составе предложенной ИС, исходные данные для которой представляются в виде потока данных, состоящего из срезов комплексных частотно-временных характеристик сигнала. Обобщенная структура программной подсистемы приведена на рис. 23.

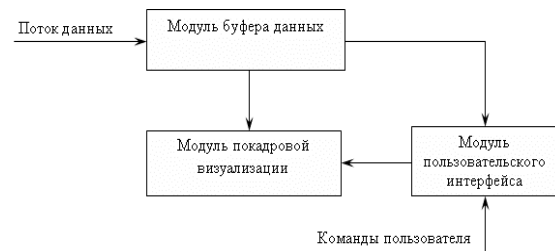


Рисунок 23 - Укрупненная структура программной подсистемы визуализации

Для исследования методов визуализации был использован набор тестовых сигналов РЛС, созданный на основе анализа сигналов типовых РЛС, построены их математические модели и проведено их моделирование. Пример моделирования частотно-временных характеристик тестового сигнала ASR стационарной двух координатной обзорной РЛС приведен на рис. 24 и 25.

$$S(t) = \begin{cases} \cos 2\pi f_0 t, & 0 \leq t < 56 \cdot 10^{-6} \\ \cos 2\pi(f_0 + 7,4 \cdot 10^7)t, & 56 \cdot 10^{-6} \leq t \leq 57,5 \cdot 10^{-6} \end{cases}$$

Рисунок 24 - Модель сигнала ASR

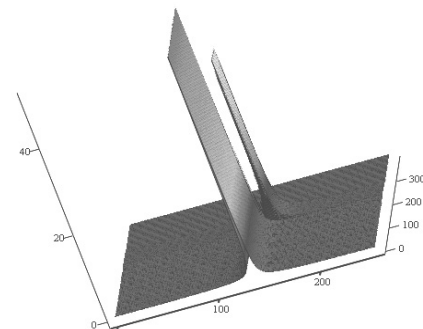


Рисунок 25 - Частотно-временная характеристика сигнала ASR

Создан прототип программной системы, который осуществляет визуализацию в двух режимах - режиме визуализации в виде поля цветности, и режиме геометрической визуализации. Имеется возможность получения точных количественных характеристик визуализируемого сигнала с помощью курсора (рис 26.).

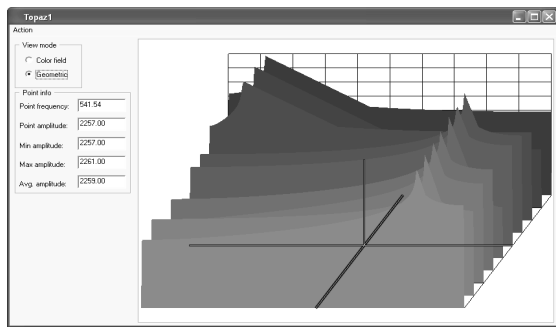


Рисунок 26 - Режим геометрической визуализации

Разработан и прототип системы визуальной идентификации сигналов (рис. 27) на основе сравнительного анализа оператором результатов графической визуализации текущего сигнала и его основных численных характеристик (подсистема визуализации характеристик), и визуального представления в частотно-временной области типовых сигналов (база данных типовых сигналов).

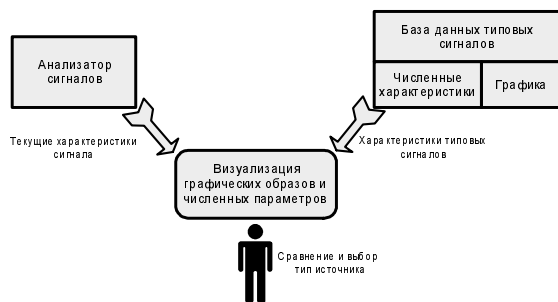


Рисунок 27 – Идентификация источника РИ в советующем режиме

Построена экспериментальная база данных типовых сигналов и разработан программный интерфейс для ее создания и изменения, где предусмотрено: расширение количества полей базы данных дополнительными численными характеристиками, добавление новых записей – типовых сигналов, удаление ненужных (устаревших) типовых сигналов и редактирование значений полей, как численных, так и графических. Отображение характеристик типовых сигналов выполняется при визуализации характеристик текущего (отслеживаемого) сигнала на специальной панели прототипа системы, показанной на рис. 28.

Проведено экспериментальное тестирование системы, которое показало, что при выборе характерных для каждого сигнала визуальных признаков (скачки частоты, скорость девиации и т.п.) и использовании предложенной организации системы идентификации и визуализации значительно облегчается идентификация оператором типа сигнала.

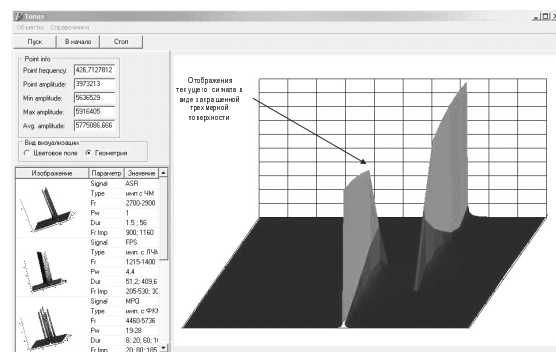


Рисунок 28 – Система идентификации при отображении текущего сигнала

Литература

1. <http://science.compulenta.ru/354009/>
2. “An Algorithm for the Visualization of a Terrain with Objects”, Flávio Szenberg, Marcelo Gattass, Paulo Cezar Pinto Carvalho, http://www.tecgraf.pucRio.br/scripts/cgilua/publications/artigo_algorithm_visualization_terrain.pdf
3. “Terrain Modeling, Rendering and WalkThrough/FlyThrough Using the VolumePro-500 and VolumePro-1000 boards”, Poojan Prabhu, Department of Computer Science State University of New York at Stony Brook, Final Project Report, Advisor: Dr. Arie Kaufman, <http://www.cs.sunysb.edu/~poojan/docs/Masters.pdf>
4. Robertson. Fast Perspective View of Images Using One-Dimensional Operations // IEEE Computer Graphics and Applications.- 1987.- Vol. 7.- N 2.- p. 47-56.
5. Robertson. Spatial Transformation for Rapid Scan-Line Surface Shadowing // IEEE CG & A. Vol. 16, No. 3, March, 1989.-p. 30-38.
6. Stewart J. Fast Horizon Computation at All Points of a Terrain With Visibility and Shading Applications.- IEEE Transactions on visualization and computer graphics, vol.4, no.1, 1999
7. Башков Е.А., Зори С.А. Модифицированный растровый алгоритм синтеза изображений земных поверхностей. В кн.: Информатика, кибернетика и вычислительная техника (ИКВТ-97). Сборник научных трудов Донецкого государственного технического университета. Выпуск 1. Донецк: ДонГТУ, 1997.- с. 90 - 95.
8. Башков Е.А., Зори С. А.. Растровый алгоритм для генерации собственных теней на уступающей поверхности. В кн.: Научные труды Донецкого государственного технического университета. Серия: Информатика, кибернетика и вычислительная техника, (ИКВТ-99) выпуск 6:- Донецк: ДонГТУ, 1999.- с.139-145.
9. Зори С.А. К выбору структурной организации системы реального времени для генерации изображений уступающей поверхности. В кн.: Научные труды Донецкого

- государственного технического университета. Серия «Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем». Выпуск 10:- Донецк: ДонГТУ, 2000.- с. 170-177.
10. Башков Е.А., Зори С.А. Визуальное моделирование земной поверхности алгоритмом вычисления горизонтов – за и против. В кн.: Научные труды Донецкого государственного технического университета. Серия «Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем». Выпуск 29:- Донецк: ДонГТУ, 2001.- с. 64 - 70.
11. Bashkov E., Zori S., Suvorova I. Modern Methods of Environment Visual Simulation.- Simulationstechnik, 14. Symposium in Hamburg, Sept. 2000: SCS-Europe BVBA, Ghent, Belgium, 2000.- p. 509-514.
12. Evgeniy A. Bashkov, Sergey A. Zori Visual Simulation of an Earth Surface by Fast Horizon Computation Algorithm. – Simulation und Visualisierung 2001: Institut fur Simulation und Graphik, Magdeburg, Deutschland, 2001.- p. 203 – 215
13. E.A. Bashkov, S.A. Zori Computer System Architecture for Terrain Visual Simulation in Real Time. - Frontiers in Simulation. Simulationstechnik, 17. Symposium in Magdeburg, Sept. 2003: SCS-Europe BVBA (ISBN 3-936150-27-3), Magdeburg, Germany, 2003.- p. 519-524.
14. Зори С.А., Ковальський С.В. Современные алгоритмы извлечения геометрической структуры объектов из фотографических снимков для пространственного моделирования городских ландшафтов. В кн.: Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія "Проблеми моделювання та автоматизації проектування динамічних систем" (МАП-2004). Випуск: 74 - Донецьк: ДонНТУ. - 2004- 7 с.
15. S. Ulman, The Interpretation of Visual Motion. The MIT Press, Cambridge, MA, 1979.
16. C.J. Taylor and D.J. Kriegman. Structure and motion from line segments in multiple images. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 17(11), November 1995.
17. A. Bartoli, P. Sturm. Multiple-View Structure and Motion From Line Correspondences. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Nice, France, October 2003.
18. E. Grossmann and J. Santos-Victor. Maximum likelihood 3D reconstruction from one or more images under geometric constraints. BMVC 2002, Cardiff.
19. Ковальський С.В., Зори С.А. Исследование алгоритма извлечения трехмерной структуры объектов из их фотоизображений для реконструкции геометрических моделей сцен городских ландшафтов/ В кн.: Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія "Інформатика, кібернетика і обчислювальна техніка, випуск 93: - Донецьк: ДонНТУ. - 2005- 12-22 с.
20. Ковальський С.В., Зори С.А. Исследование и выбор функции минимизации отклонения реконструируемой модели от фактических данных в алгоритме извлечения трехмерной структуры объектов из их фотоизображений. В кн.: Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія "Інформатика, кібернетика і обчислювальна техніка, ІКВТ-2007: - Донецьк: ДонНТУ. - 2007- 6 с/
21. Ковальський С.В., Зори С.А. Исследование возможностей распараллеливания вычислений в алгоритме извлечения трехмерной структуры сцены из ее фотоизображений. Роботи VII Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Людина і космос», м. Дніпропетровськ, НЦЛОНУ, 2005, 2 с.
22. Ковальський С.В., Зори С.А. Модифицированный алгоритм реконструкции трехмерных сцен городских ландшафтов на основе фотоизображений / Моделирование и компьютерная графика: Материалы 1-й международной научно-технической конференции, г Донецк, 04-07 октября 2005 г. - Донецк, ДонНТУ, Министерство образования и науки Украины, 2005. - с. 70-76.
23. Баяковский Ю.М., Томилини А.Н. Моделирование сложных систем и виртуальная реальность.// Вопросы кибернетики. РАН, 1995.
24. Зенков А.И. Реализация модульного подхода при построении унифицированной системы научной визуализации.- Сборник трудов научной международной конференции по компьютерной графике и анимации "Графикон-2002", г. Нижний Новгород, 2002.
25. Рябкин Ю.В., Зори С.А., Ковальський С.В. Визуальная идентификация источников сигналов радиолокационных станций на основе их комплексных частотно-временных характеристик В кн.: Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія "Інформатика, кібернетика і обчислювальна техніка, ІКВТ-2007: - Донецьк: ДонНТУ. - 2007- 8 с.

Поступила в редколлегию 03.03.2009