

УДК 681.3

С.А. Зори, С.В. Ковальский

## АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ РЕАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ НА ОСНОВЕ ФОТОГРАФИЙ

*Аннотация.* Зори С.А., Ковальский С.В. Автоматизация создания трехмерных моделей реальных ландшафтов на основе фотографий. Предложена модификация алгоритма реконструкции трехмерной модели ландшафтов по их фотографиям, исследованы характеристики предложенного алгоритма.

*Ключевые слова.* Ландшафт, реконструкция, модель, алгоритм, модификация.

*Abstract.* Zori S.A., Kowalski S.V. Automation of creation of three-dimensional models of real landscapes on the basis of photos. Modification of algorithm of landscapes- three-dimensional model reconstruction is offered, characteristics of the offered algorithm is given.

*Keywords.* A landscape, reconstruction, model, algorithm, modification.

### **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, которые будут оказывать 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 характеристиках их субстанций.

### **1. Создание 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 [2]. Задача реконструкции трехмерной сцены по имеющимся фотоизображениям была впервые поставлена в [3] под названием Structure-from-Motion – SFM (Структура из движения – СИД). Исследования в данной области проводятся и в настоящее время [4-6], 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 [4] 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 1.

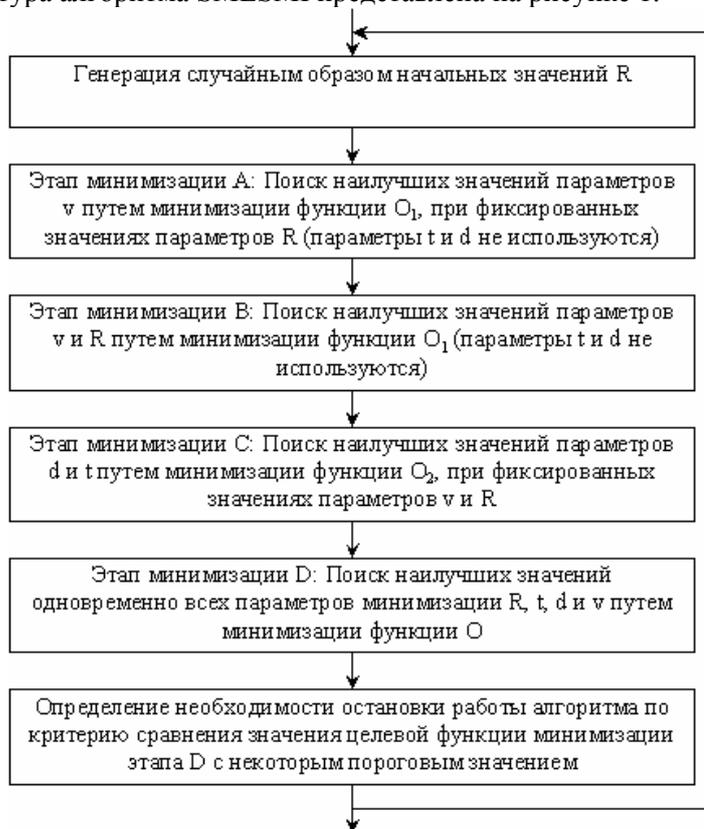


Рис.1 – Структура алгоритма SMLSMI

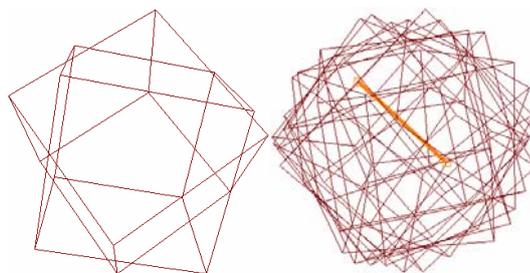


Рис.2 – Примеры реконструируемых сцен

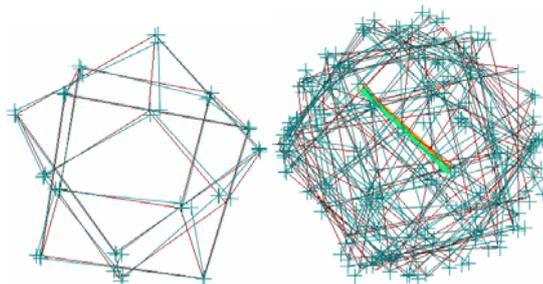


Рис.3 – Примеры результатов реконструкции



Рис.4 – Разметка опорных отрезков на фотографическом изображении

На рисунке 2 представлены примеры реконструируемых сцен, состоящие из наборов “проволочных” кубов. На рисунке 3 представлены результаты реконструкции исходной сцены алгоритмом SMLSMT, совмещенные с исходными сценами. На рисунке 4 представлен пример разметки опорных отрезков на исходном фотографическом изображении реконструируемой сцены.

## ***2. Анализ и предложения по модификации алгоритма SMLSMT***

Алгоритм SMLSMT предполагает выполнение минимизации ряда целевых функций:  $O$ ,  $O_1$ ,  $O_2$ . В [7] 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 [4], была найдена неправомерность одной из формул, приводящая в процессе реализации алгоритма к неадекватным результатам реконструкции.

В [8] 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 [9] был предложен ряд алгоритмов одномерной минимизации и ряд соответствующих алгоритмов минимизации методом наискорейшего спуска. В [10] была показана возможность повышения эффективности работы алгоритма SMLSMI путем распараллеливания вычислений, приведены коэффициенты ускорения в зависимости от порядка реализованного метода минимизации (см. табл. 1).

Таблица 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 5 представлена структура вычислительной системы, позволяющая выполнять параллельные вычисления для метода минимизации 2-го порядка.

Результатом работы алгоритма SMLSMI является набор прямых в пространстве. В [10] 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 [4] был представлен модифицированный алгоритм MSMLSMI, т.к. алгоритм SMLSMI не обеспечивает гарантировано адекватных результатов реконструкции произвольной сцены.

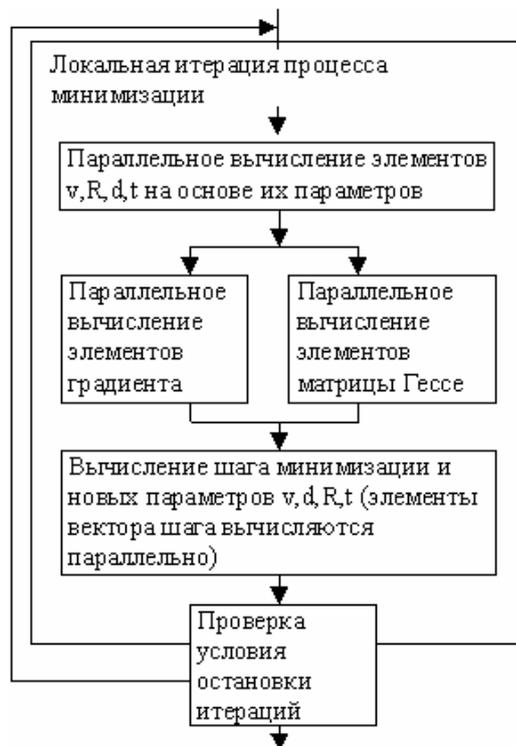


Рис.5 – Структура вычислительной системы

### 3. 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. 6).

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. 7).

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 и не менее качественно, чем алгоритм SMLSMI.

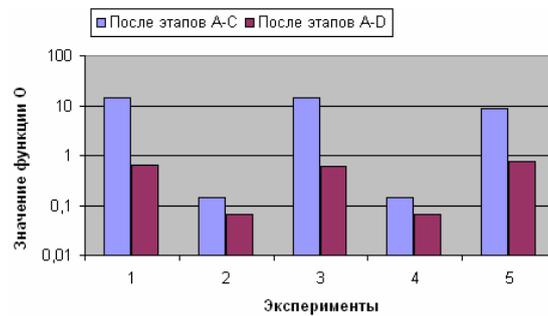


Рис.6 – Сравнение значений функции  $O$ , полученных на этапах C и D

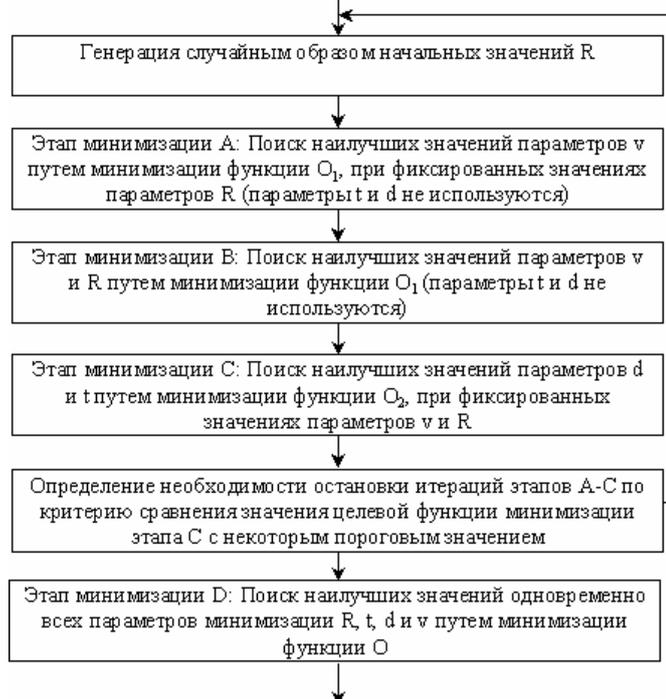


Рис. 7 – Модифицированная структура алгоритма SMLSMI

### **Выводы**

Выполнен анализ и проведено экспериментальное исследование алгоритма SMLSMI, что позволило получить следующие результаты:

- выявлена неправомерность одной из формул [4];
- сделано предположение о возможности ускорения работы алгоритма путем модификации целевой функции минимизации;
- выработаны рекомендации по реализации метода наискорейшего спуска в алгоритме SMLSMI;
- показана возможность повышения эффективности работы алгоритма SMLSMI путем распараллеливания вычислений;
- предложен ряд алгоритмов преобразования результатов алгоритма 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.

#### **Библиографический список**

1. <http://science.compulenta.ru/354009/>
2. 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.
3. S. Ulman, The Interpretation of Visual Motion. The MIT Press, Cambridge, MA, 1979.
4. 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.
5. 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.
6. E. Grossmann and J. Santos-Victor. Maximum likelihood 3D reconstruction from one or more images under geometric constraints. BMVC 2002, Cardiff.
7. 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.
8. 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, ИКВТ-2007: - Донецьк: ДонНТУ. - 2007- 6 с
9. Ковальський С.В., Зори С.А. Исследование возможностей распараллеливания вычислений в алгоритме извлечения трехмерной структуры сцены из ее фотоизображений/ Роботи VII Міжнародної молодіжної науково-практично конференції «Людина і космос», м. Дніпропетровськ, НЦЛОМУ, 2005, 2 с.
10. 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 - Донецк, ДонНТУ, Министерство образования и науки Украины, 2005. - с. 70-76.