

К ВЫБОРУ АЛГОРИТМОВ МИНИМИЗАЦИИ ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА SMLSMI РЕКОНСТРУКЦИИ ТРЕХМЕРНОЙ СЦЕНЫ ПО ЕЕ ФОТОИЗОБРАЖЕНИЯМ

Ковальский С.В., Зори С.В.

Донецкий национальный технический университет

В роботі розглянуті основні результати моделювання алгоритму реконструкції тривимірних сцен по їх фотозображеннях з використанням ряду методів мінімізації з метою визначення алгоритму, що забезпечує найбільшу продуктивність

Современные навигационные системы, летные тренажеры и другие системы виртуальной и дополненной реальности строятся с применением трехмерных виртуальных сред, основанных на реальных ландшафтах. При этом возникает задача автоматизации создания трехмерных моделей реальных ландшафтов на основе имеющегося фото- или видео-ряда. Задача реконструкции трехмерной сцены по имеющимся фотоизображениям была впервые поставлена в [1] под названием Structure-from-Motion – SFM (Структура из движения – СИД). Исследования в данной области проводятся и в настоящее время [2-4], 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 [5] 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. Реконструированные прямые описываются парами векторов – направляющим вектором (единичным вектором, параллельным прямой) и вектором, соединяющим начало координат с

ближайшей к началу координат точкой на прямой. Реконструированные положения камер описываются координатами камер в пространстве и матрицами поворота, задающими ориентацию камер. Алгоритм SMLSMI выполняет реконструкцию путем минимизации целевой функции, определяющей отклонение получаемой модели сцены от исходных данных.

Ранее авторами были сделаны теоретические оценки скорости работы алгоритма SMLSMI в зависимости от порядка используемого алгоритма минимизации. Также авторами был проведен ряд экспериментов, на основе которых было сделано предположение о возможности модификации алгоритма SMLSMI с целью повышения его производительности [6].

При реализации алгоритма SMLSMI с использованием метода минимизации наискорейшего спуска (метод минимизации 1-го порядка) необходимо решить задачу выбора длины шага минимизации. Для этого, как правило, применяется некоторый метод одномерной минимизации [7]. Авторами предлагается ряд алгоритмов одномерной минимизации, представляющих собой модификации метода половинного деления. На рисунках 1-3 представлены алгоритмы минимизации методом наискорейшего спуска, использующие предложенные алгоритмы одномерной минимизации.

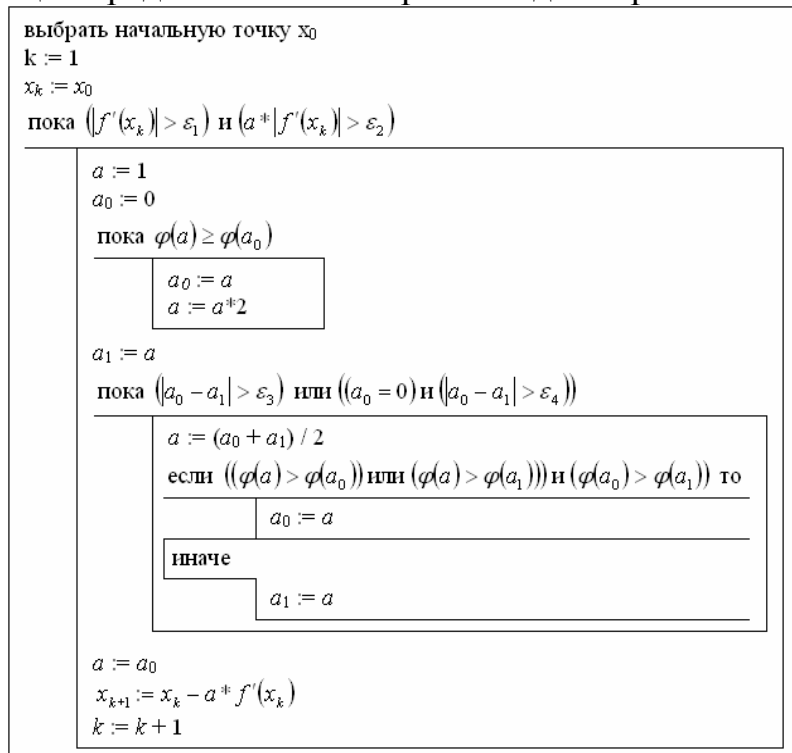


Рисунок 1 – Алгоритм минимизации методом наискорейшего спуска, использующий алгоритм №1 одномерной минимизации

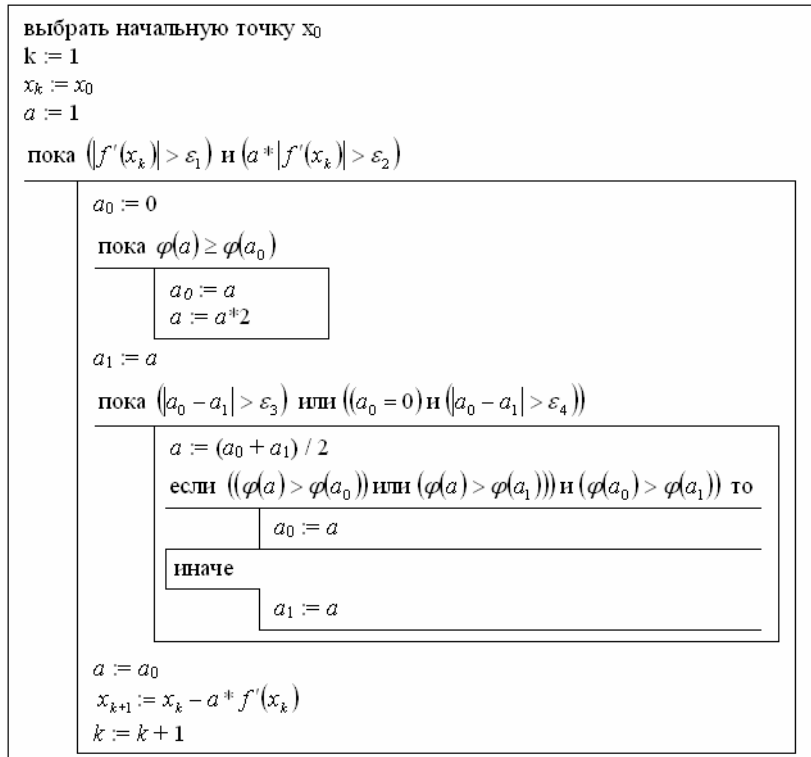


Рисунок 2 – Алгоритм минимизации методом наискорейшего списка, использующий алгоритм №2 одномерной минимизации

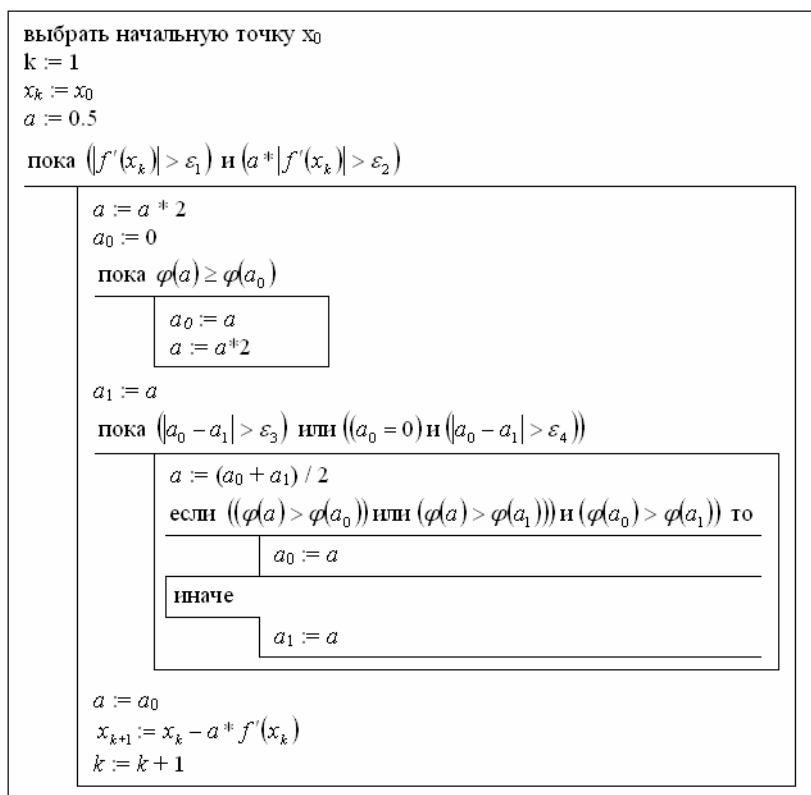


Рисунок 3 – Алгоритм минимизации методом наискорейшего списка, использующий алгоритм №3 одномерной минимизации

На рисунках 1-3 используются следующие обозначения:

x – вектор переменных минимизируемой функций;

$f(x)$ – минимизируемая функция;

k – номер итерации в алгоритме наискорейшего спуска

x_k – вектор переменных минимизируемой функций на k -й итерации

$f'(x_k)$ – градиент функции $f(x)$ в точке x_k (вектор, компоненты которого являются частными производными функции $f(x)$, рассчитанными в точке x_k)

a – величина шага на текущей итерации в алгоритме наискорейшего спуска

a_0, a_1 – промежуточные значения шага, используемые алгоритмом одномерной минимизации

$\varphi(a) = f(x_k - a * f'(x_k))$ – функция, минимизируемая в ходе одномерной минимизации

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$ – величины, определяющие точность минимизации

В целях проверки сделанных оценок и подтверждения предположений был составлен план проведения экспериментов, который должен был позволить:

- выяснить, использование метода минимизации какого порядка (0-го или 1-го) обеспечивает лучшую производительность алгоритма SMLSMI;
- определить, какой алгоритм одномерной минимизации, используемый градиентным методом минимизации 1-го порядка, обеспечивает лучшую производительность алгоритма SMLSMI;
- уточнить зависимость качества реконструкции алгоритма SMLSMI от количества опорных фотоизображений;
- уточнить оценку ускорения процесса реконструкции при использовании предложенного авторами алгоритма MSMLSMI [6] по сравнению с алгоритмом SMLSMI.

Для оценки качества полученных в результате проведения экспериментов модели была предложена 4-х балльная система оценки (от 2 до 5 баллов), основанная на измерениях отклонения реконструированной модели от исходного трехмерного объекта. На рисунке 4 приведено количество оценок моделей в 3, 4 и 5 баллов, полученных с использованием различных алгоритмов минимизации.

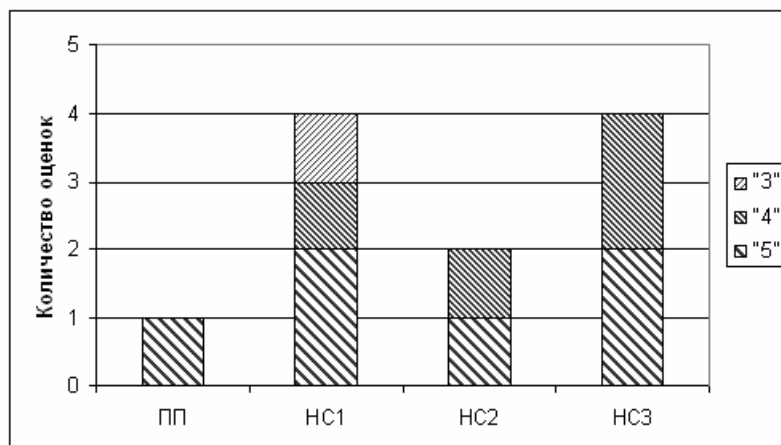


Рисунок 4 – Оценки качества моделей, полученных с использованием различных алгоритмов минимизации

На рисунке 4 используются следующие обозначения алгоритмов минимизации:

- ПП – алгоритм прямого поиска;
- НС1 – алгоритм наискорейшего спуска, использующий алгоритм №1 одномерной минимизации;
- НС2 – алгоритм наискорейшего спуска, использующий алгоритм №2 одномерной минимизации;
- НС3 – алгоритм наискорейшего спуска, использующий алгоритм №3 одномерной минимизации.

Полученные результаты экспериментов позволяют сделать следующие выводы:

- существует тенденция к росту времени работы алгоритма с увеличением количества кадров, однако описать данную тенденцию функциональной зависимостью не представляется возможным;
- алгоритмы SMLSMI и MSMLSMI применимы при количестве опорных кадров не менее 3-х, т.к. при 2-х опорных кадрах в процессе минимизации быстро достигается практически отсутствие отклонения между реконструированными и фактическими проекциями опорных линий на опорных кадрах (значение целевой функции достигает нижней границы области допустимых значений), но даже при визуальной оценке результатов реконструкции очевидно, что реконструированная модель совершенно неадекватна исходной сцене;
- применение в алгоритме SMLSMI метода минимизации наискорейшего спуска обеспечивает лучшую более чем в 650 раз производительность по сравнению с применением метода прямого поиска; среди алгоритмов, реализующих метод

наискорейшего спуска, наилучшую производительность обеспечивает представленный алгоритм №3, время его работы в 1,5 раза меньше времени работы алгоритма №2 и в 2,5 раза меньше времени работы алгоритма №1;

- наилучшее качество реконструкции также обеспечивает алгоритм наискорейшего спуска, использующий алгоритм одномерной минимизации №3 (см. рис. 4);
- алгоритм MSMLSMI выполняет реконструкцию в 1,4-2,8 раз быстрее и не менее качественно, чем алгоритм SMLSMI.

Также, результаты экспериментов позволяют сделать предположение, что качество реконструкции на отдельных итерациях алгоритмов SMLSMI и MSMLSMI зависит от начальной точки минимизации. Поэтому в дальнейшем предполагается рассмотреть возможность разработки алгоритма, генерирующего начальные точки минимизации, с целью повышения качества реконструкции.

Литература:

1. S. Ulman, The Interpretation of Visual Motion. The MIT Press, Cambridge, MA, 1979.
2. 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.
3. E. Grossmann and J. Santos-Victor. Maximum likelihood 3D reconstruction from one or more images under geometric constraints. BMVC 2002, Cardiff.
4. Z. Zhang and Y. Shan. Incremental Motion Estimation Through Local Bundle Adjustment. Technical Report MSR-TR-01-54, Microsoft Research, Microsoft Corporation One Microsoft Way, Redmond, WA 98052, May 2001.
5. 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.
6. Ковальский 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.
7. Д. Химмельблау. Прикладное нелинейное программирование. пер. с англ. И.М. Быховской, М.: Мир, 1975, 535 с.