

УДК 004.93 + 629.78.01

МЕТОДЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА ПОСАДОЧНОЙ ПЛОЩАДКИ НА МАЛОМ КОСМИЧЕСКОМ ОБЪЕКТЕ

Б.М. Суховилов, Е.А. Григорова, Е.М. Сартасов, Е.Н. Горных

Рассматривается способ выбора площадки для посадки аппарата на малом космическом объекте. Предлагается построить 3D-модель объекта в виде плотного облака точек и на его основе выбрать площадку для посадки космического аппарата.

Ключевые слова: малый космический объект, 3D-модель объекта, плотное облако точек, посадочная площадка.

Для посадки на малый космический объект (МКО), например астероид или ядро кометы, необходимо выбрать посадочную площадку. Сложность выбора площадки связана с тем, что поверхность МКО имеет существенные неровности и частично покрыта крупными камнями. На рис. 1 показана поверхность ядра кометы Чурюмова–Герасименко.

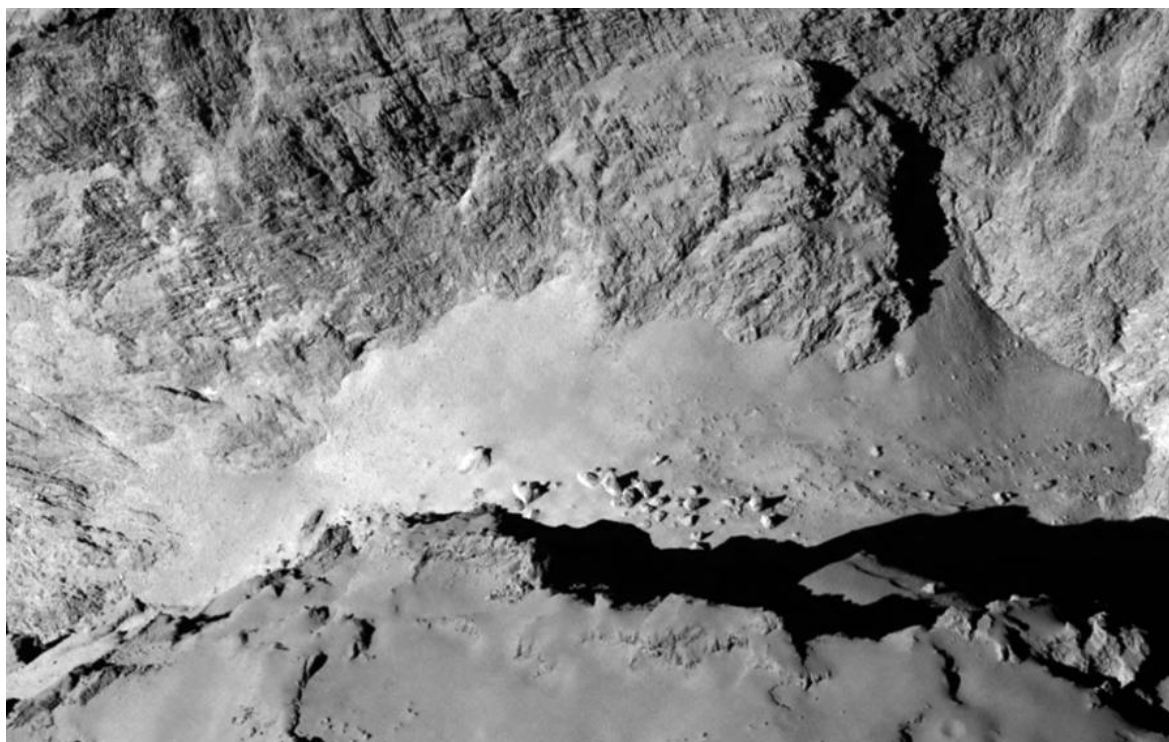


Рис. 1. Поверхность ядра кометы Чурюмова–Герасименко

Из-за большого расстояния до МКО невозможно с Земли рассмотреть поверхность и определить место посадки, поэтому выбирать место посадки нужно в процессе подлёта космического аппарата к МКО и его дальнейше-

го облёта. Для выбора посадочной площадки предлагается использовать фотограмметрический метод. Суть этого метода заключается в фотографировании поверхности МКО с различных позиций в процессе облёта. По получившимся снимкам строится 3D-модель МКО. На основании этой модели выбирается участок поверхности, который подходит под параметры посадочной площадки. Для фотографирования поверхности МКО на космическом аппарате устанавливается фотографическая камера. Снимки с этой камеры поступают в бортовой компьютер, где и происходит построение 3D-модели объекта. Программное обеспечение (ПО) для построения 3D-модели разработано авторами статьи. Кроме того, используется свободно распространяемое ПО: библиотека OpenMVG – open multiple view geometry [1] и OpenMVS – open Multi-View Stereo [2].

Библиотека OpenMVG позволяет по снимкам объекта с различных позиций получить разреженное 3D-облако точек и взаимные положения систем координат снимков в пространстве. Рис. 2 иллюстрирует работу модулей библиотеки OpenMVG.

1. На каждом снимке осуществляется поиск «особых» точек, обычно это углы, края и изгибы линий или какие-либо другие заметные точки.
2. Производится поиск соответствия «особых» точек на разных снимках.
3. По соответствиям «особых» точек осуществляется определение взаимного расположения камер в пространстве.
4. С помощью триангуляции определяются 3D-координаты «особых» точек, которые и представляют собой разреженное облако точек.
5. На заключительном этапе выполняется уравнивание 3D-координат и положений камер через метод связок (англ. *bundle adjustment*) [3, 4].

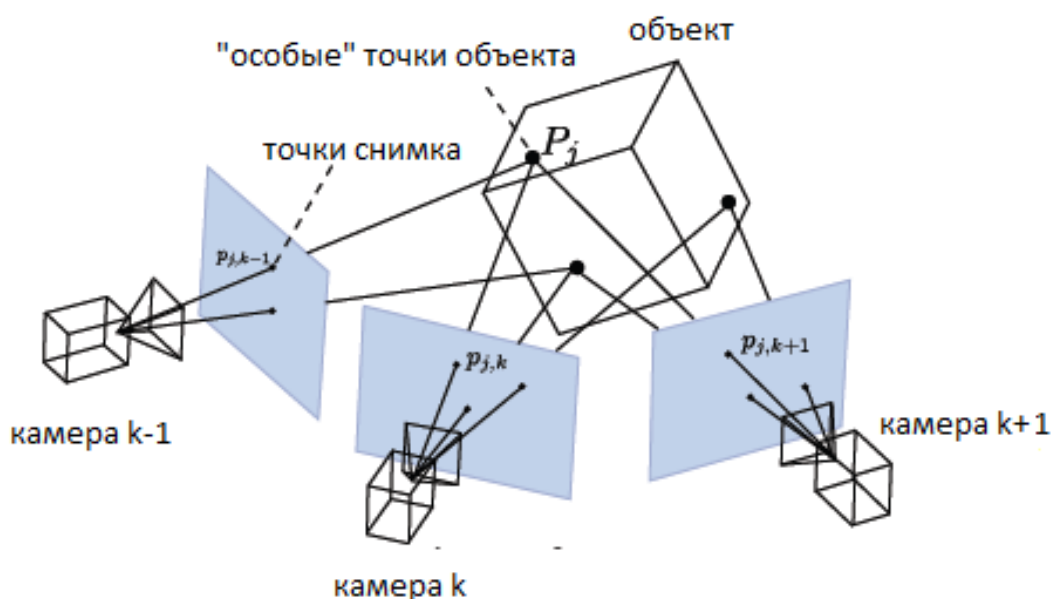


Рис. 2. Иллюстрация работы модулей библиотеки OpenMVG

Для построения плотного облака используется *OpenMVS*. Библиотека *OpenMVS* на входе получает взаимное расположение камер и разреженное облако точек, а на выходе строит плотное облако точек, по тройкам соседних точек плотного облака строит треугольники mesh-поверхности и накладывает на них текстуру.

По построенной 3D модели следует выбрать площадку для посадки космического аппарата. Нам известны размер посадочной площадки и допустимый перепад высот. Авторами предложен следующий алгоритм решения данной задачи:

1. Точки плотного облака группируем по принципу вхождения в сферы (рис. 3). Сферы будут иметь диаметр, равный диаметру посадочной площадки (можно с запасом). Сферы будут пересекаться на величину половины диаметра, поэтому каждая точка будет, как правило, входить в две сферы, но возможно в одну или в три.

2. Для точек, попавших в сферу, строим аппроксимирующую плоскость.

3. Определяем отклонение всех точек, попавших в сферу, от аппроксимирующей плоскости, если отклонение больше половины допустимого перепада высот, то плоскость не подходит.

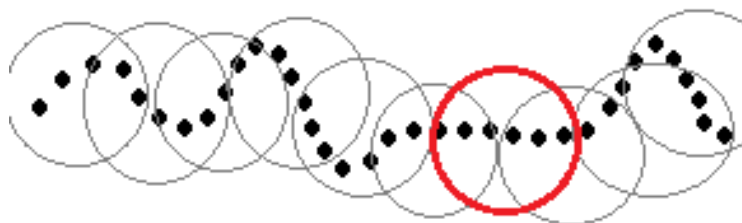


Рис. 3. Группировка точек плотного облака с помощью сфер

4. Возможен случай, когда из-за большого перепада высот точки не попадают в сферу, однако находятся между точками, попавшими в сферу (что-то напоминающее сталактит в пещере). Пункт 3 алгоритма покажет, что все хорошо, однако для посадки это место не пригодно (рис. 4). Для исключения таких ситуаций построим цилиндр, описывающий сферу, ось которого направлена перпендикулярно аппроксимирующей плоскости, а высота достаточна для того, чтобы включить «выпавшие» точки. Если в цилиндр попали точки, не входящие в сферу, то строим новую аппроксимирующую плоскость с учетом новых точек и проверяем отклонения.

Для проверки работоспособности алгоритма и отладки ПО была изготовлена модель МКО (рис. 5).



Рис. 4. Выброс в облаке точек



Рис. 5. Модель МКО

Была проведена фотосессия и получен набор из одиннадцати фотографий, сделанных фотокамерой Nikon D70 (35 мм объектив) с разных ракурсов с перекрытием снимков. По фотографиям, с помощью библиотеки OpenMVG, было определено взаимное расположение камер и построено разреженное облако точек, которое показано на рис. 6.



Рис. 6. Разреженное облако точек

По взаимному расположению камер и разреженному облаку точек, с помощью библиотеки OpenMVS, построено плотное облако точек и mesh-поверхность с текстурой. Результат приведен на рис. 7.



Рис. 7. Mesh-поверхность с текстурой

На последнем этапе, с помощью разработанного авторами ПО, определена посадочная площадка, которая видна на рис. 5 и 7 в виде черного квадрата.

Заключение. Проведенные исследования показали возможность применения рассмотренных методов фотограмметрии для выбора посадочной площадки на МКО, удовлетворяющей заданным требованиям.

Проект выполняется при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.A03.21.0011.

Библиографический список

1. OpenMVG documentation [Электронный ресурс]. – URL: <http://openmvg.readthedocs.io>.
2. OpenMVS [Электронный ресурс]. – URL: <http://cdcseacave.github.io/OpenMVS>.
3. Zisserman, H. Multiple view geometry in computer vision / H. Zisserman, R. Zisserman, A. Zisserman. – Vol. 2. – Cambridge. – 2000.
4. Hartley, R. Bundle Adjustment – A Modern Synthesis. / B. Triggs; P. McLauchlan, A. Fitzgibbon, R. Hartley – ICCV: Proceedings of the International Workshop on Vision Algorithms. Springer-Verlag. – 1999. – Pp. 298–372.

[К содержанию](#)