

Исследование применения фотограмметрии для анализа характеристик поверхности объекта

А.Е. Викторенков¹, П.Ю. Якимов^{1,2}

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

²Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

Аннотация. В данной статье рассматриваются существующие решения для составления 3D модели поверхности объекта предназначенной для последующей оценки поверхностных характеристик этого объекта. Также рассматривается возможность применения фотограмметрического метода: Structure from Motion (SfM), для получения 3D модели объекта. Производится реконструкция 3D модели с помощью библиотек OpenMVG, OpenMVS реализующих метод SfM.

1. Введение

В современном машиностроении одним из важнейшим показателем качества изготовленной детали является оценка качества её поверхности, которая определяется такими характеристиками как: шероховатость и волнистость. Измерить эти характеристики возможно с помощью контактных приборов, однако это не всегда возможно или приемлемо из-за сложности рельефа поверхности детали или возможности повредить её поверхность при контакте. Существуют оптические методы использующие лазерные установки и интерференционные методы. Однако эти методы требуют относительно дорогостоящих технологий и трудоемкой настройки оборудования. Поэтому фотограмметрия – научно-техническая дисциплина, изучающая методы оценки размеров, положения и других геометрических характеристик объектов по их фотоизображениям, позволяет избежать этого. Использование фотограмметрии удобно тем что предполагается использование цифровой фотоаппаратуры, которая в настоящее время широко распространена, имеет приемлемый ценовой диапазон и проста в использовании.

В данной работе исследуется возможность применение метода фотограмметрии для реконструкции 3D модели поверхности объекта по его двумерным изображениям.

2. Аналитический обзор существующих решений

Advanced Topometric Sensor (ATOS) 3D Digitizer – это промышленная оптическая измерительная система для получения трехмерных геометрических данных о сканируемом объекте и последующей обработки их [1]. Эта система основана на использовании датчика ATOS. Датчик ATOS состоит из проектора, и двух камер, расположенных по обе стороны от него. Принцип действия оптической системы ATOS 3D Digitizer изображен на рисунке 1.

С помощью проектора на поверхность сканируемого объекта проецируются специальный узор – сетка. Поверхность объекта с сеткой записывается на камеры. Так выполняется сканирование

всего объекта. Сканирование двумя камерами позволяет избежать областей, скрытых за неровностью поверхности и получить полное представление об исследуемой поверхности. Так как изображения проекции сетки, сделанные с разных положений датчика ATOS относительно объекта, отличаются, то сравнивая изображения, сделанные под разными ракурсами для левой и правой камеры соответственно можно оценить передвижение датчика относительно объекта. Основываясь на знании характера передвижения можно получить 3D модель объекта. Это позволяет осуществить метод Structure from motion (SfM) [2].

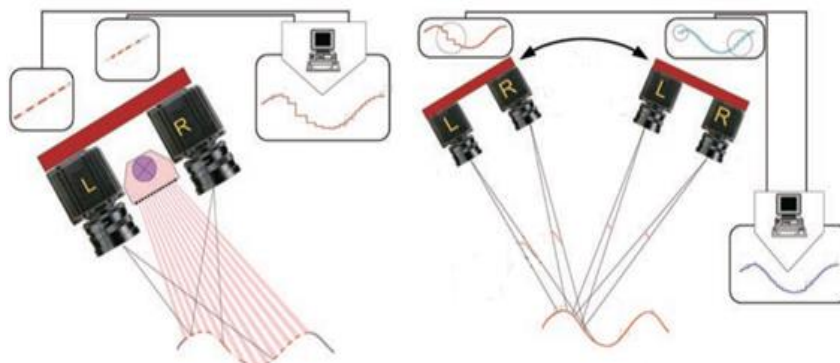


Рисунок 1. Принцип действия датчика ATOS [1].

Gwyddion [3] - это модульная программа анализа данных сканирующей зондовой микроскопии. Она предназначена для анализа высот полей, полученных различными техниками сканирующей зондовой микроскопии. Также Gwyddion можно использовать для анализа любых полей высот по 2D изображению. Gwyddion является свободным программным обеспечением с открытым исходным кодом, выпущенным под лицензией GNU General Public License (GNU GPL). Для измерения характеристик поверхности используется статистический анализ интенсивности пикселей изображения. Под статистическим анализом понимается оценка корреляции интенсивности пикселей между собой. Пиксель черного цвета соответствует точке с наименьшей высотой, чем яркость пикселя выше, тем выше точка поверхности. Для получения точных данных необходима калибровка изображения – указание размера изображенной поверхности на изображении. На рисунке 2 представлен результат работы Gwyddion для получения карты высот фотографируемого объекта. На котором слева – фотография поверхности объекта, справа – полученная карта высот.

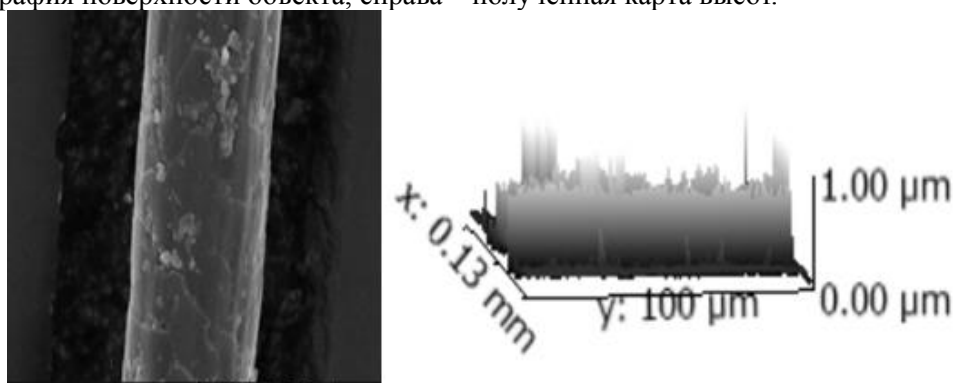


Рисунок 2. Результат работы Gwyddion [3].

3. Методы реконструкции трехмерных моделей при помощи двумерных изображений поверхности

Основным решением задачи реконструкции трехмерных моделей при помощи двумерных изображений поверхности является метод Structure for Motion. Данный метод основывается на сопоставлении изображений объекта, сделанных под разным ракурсом между собой для выделения общих черт между этими изображениями. Эти черты используются в дальнейшем для определения параметров сдвига камеры и ориентации фотографируемого объекта

относительно положения камеры. Результатом применения этого метода является 3D облако точек. Необходимым условием работоспособности данного метода является статичность наблюдаемого объекта.

Метод SfM состоит из следующих основных этапов:

- 1) поиск особых характеристик изображений (ключевых точек);
- 2) поиск соответствий изображений между собой по ключевым точкам;
- 3) создание трехмерной структуры.

3.1 Поиск ключевых точек

На начальном этапе происходит выделение особых характеристик изображения – ключевых точек. Ключевые точки – это точки изображения (пиксели), окрестность которых можно отличить от окрестности любой другой точки изображения в некоторой окрестности других ключевых точек. Необходимо чтобы одни и те же ключевые точки можно было распознать под разным углом зрения (на разных изображениях). Такие особые точки позволят сравнить и сопоставить изображения между собой. В основном используются алгоритмы для выявления ключевых точек такие как SIFT [4], FAST [5]. На рисунке 3 приведен пример найденной ключевой точки p алгоритмом FAST с окрестностью из 16 пикселей.

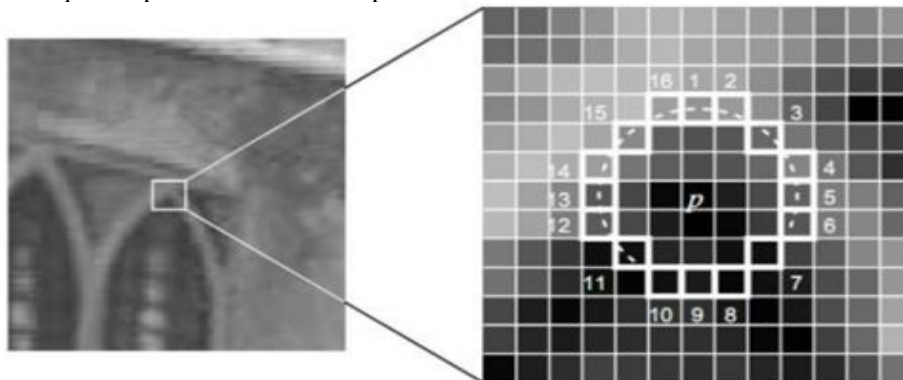


Рисунок 3. Ключевая точка p , найденная с помощью алгоритма FAST [4].

3.2 Поиск соответствий изображений между собой по ключевым точкам

После выделения ключевых точек производится сравнение всех изображений между собой на предмет наличия одинаковых ключевых точек. К каждой ключевой точке прилагается её описание (дескриптор). Если дескрипторы точек на разных изображениях близки, то можно считать, что эта ключевая точка описывает одну и ту же область фотографируемой сцены. Такие изображения связываются между собой. В результате получается связанное множество изображений. Пример такого множества изображений представлен на рисунке 4.

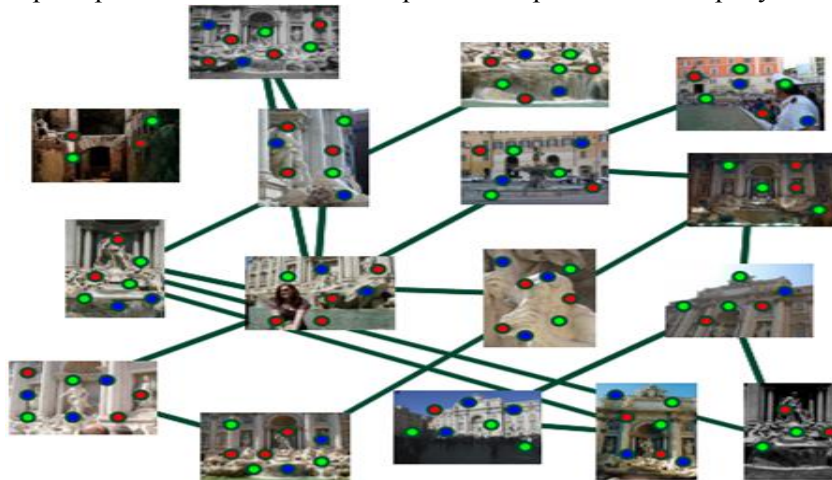


Рисунок 4. Результат извлечения и отслеживания ключевых точек [2].

Так как алгоритмы выявления точек не идеальны, то существуют ложные соответствия и их необходимо отфильтровать. Наиболее часто использую фильтрацию по эпиполярному ограничению которая реализована алгоритмом RANSAC [6].

3.3 Создание трехмерной структуры

На этом этапе происходит вычисление трехмерных координат ключевых точек по найденным соответствиям ключевых точек разным изображениям с помощью проективного преобразования.

Рассмотрим геометрические параметры камеры:

1) Параметры камеры, определяющие её положение в пространстве: матрица поворота R размерностью 3×3 и вектор сдвига t размерностью 3×1 .

2) Внутренние параметры камеры, которые определяют проекцию изображения на матрицу камеры: искажения, масштаб – k .

Связь трехмерных координат X, Y, Z , точки и её координат u, v на изображении можно записать следующим образом [2]:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = k \left\{ (R) \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + t \right\} = M \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + kt \quad (1)$$

Исходя из уравнения (1) необходимо подобрать геометрические параметры камеры так чтобы это уравнение выполнялось для большинства ключевых точек двух изображений. Эта задача в основном решается численным методом с помощью алгоритма Bundle adjustment [7].

Полученные параметры камеры основаны на каком-то одном наборе ключевых точек, например, на ключевых точках двух изображений, поэтому для составления глобальной трехмерной структуры необходимо найти пересекающийся набор ключевых точек со следующей парой изображений. Это можно сделать, учитывая соответствия, полученные на втором этапе метода SfM.

4. Реализация метода SfM с помощью библиотеки OpenMVG

Для реализации метода SfM была выбрана библиотека Open Multiple View Geometry (MVG) [8]. Так как эта библиотека разработана как набор модулей и алгоритмов, библиотек и двоичных файлов, которые могут использоваться независимо и как блоки для построения более крупных систем. Также OpenMVG имеет поддержку множества библиотек, позволяющих ускорить вычисления в том числе и поддержку технологии Nvidia CUDA.

В OpenMVG метод SfM реализован следующим образом:

- 1) анализ поступивших изображений – выполняется определение внутренних параметров камеры по exif данным файлов изображений;
- 2) поиск ключевых точек;
- 3) нахождение соответствий между изображениями по ключевым точкам;
- 4) создание трехмерной структуры по нескольким изображениям;
- 5) наложение цвета пикселей исходных изображений на трехмерную структуру;
- 6) глобальная трехмерная реконструкция;
- 7) наложение цвета пикселей на точки глобальной реконструкции.

5. Экспериментальные исследования

В качестве объекта по которому будет построена 3D модель выбрана деталь, изображенная на рисунке 5.

Для фотографирования детали изображенной на рисунке 5 использовалась камера Canon IXUS 105. Было сделано 40 фотографий детали с разных ракурсов. Размер каждой фотографии составляет 4000×3000 пикселей.

В результате работы OpenMVG получен файл с расширением .ply, который хранит облако 3D точек изображенное на рисунке 6. Так как это облако точек, разрезено то, воспользуемся

библиотекой Open Multiple View Stereovision (OpenMVS) [9] позволяющей по 3D облаку точек построить плотную 3D модель.



Рисунок 5. Изображение детали 3D модель которой необходимо построить.

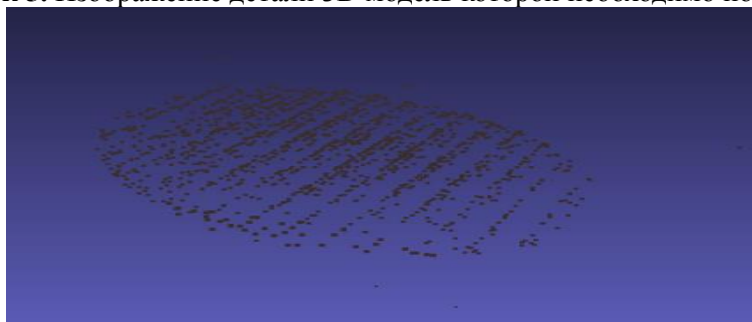


Рисунок 6. Результат работы OpenMVG.

Результат работы OpenMVG и OpenMVS представлен на рисунке 7.

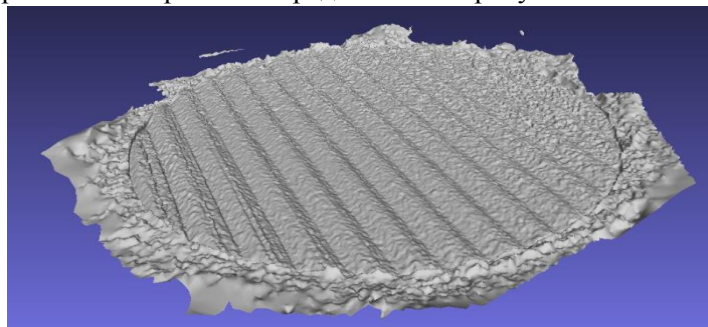


Рисунок 7. Результат работы OpenMVG и OpenMVS.

Из рисунка 7 видно, что полученная модель довольно точно описывает поверхность детали, изображенной на рисунке 5. Однако замечаются некоторые искажения и отсутствие областей детали, которые хорошо отполированы и имеют зеркальную поверхность. Так как основой для построения плотной 3D модели являются ключевые точки с высчитанными трехмерными координатами, то увеличение точности можно добиться, используя камеру с большим разрешением и использования большего количества фотографий для обработки. На областях с зеркальной поверхностью обнаруженных ключевых точек очень мало, это связано с тем что использованный алгоритм обнаружения ключевых точек основан на сравнении интенсивностей пикселей, которая значительно отличается для одной и той же области объекта на фотографиях с разного ракурса.

Оценка характеристик поверхности детали таких как шероховатость и волнистость возможна по полученной плотной 3D модели, так как имеются трехмерные координаты точек поверхности.

6. Заключение

В результате выполненной работы была изучена современная научно-техническая литература по методу фотограмметрии – Structure from Motion (SfM). Выполнен аналитический обзор

существующих решений, позволяющих произвести создание трехмерной структуры поверхности объекта по его фотоизображениям.

Произведена реконструкция 3D модели детали по её фотоизображениям с использованием библиотек OpenMVG, OpenMVS, на основании которой можно сделать вывод что применение метода фотограмметрии SfM для реконструкции 3D модели поверхности объекта возможно. Также возможна последующая оценка её характеристик на основе этой модели. В дальнейшем планируется создание прототипа программного обеспечения, которое на основе файла реконструированной 3D модели произведет численную оценку шероховатости и волнистости поверхности этой модели.

7. Литература

- [1] Bizjak, K. Determining the surface roughness coefficient by 3D Scanner // *Določitev koeficienta hrupavosti razpoke s 3D skenerjem Geologija*. – 2010. –Vol. 53. – P. 147-152.
- [2] Abdou, S. Algorithms and Applications of Structure from Motion (SfM): A Survey / S. Abdou, M. Elmogy, A. El-Fetouh // *International Journal of Computer and Information Technology*. – 2017. – Vol. 6.
- [3] Gwyddion [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gwyddion.net/> (22.09.2018).
- [4] David, G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints / G. David, B. Lowe // *International Journal of Computer Vision*. – 2015. –Vol. 10. – P. 91-110.
- [5] FAST Algorithm for Corner Detection [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://docs.opencv.org/3.0beta/doc/py_tutorials/py_feature2d/py_fast/py_fast.html (10.10.2018).
- [6] Civera, J. 1-Point RANSAC for EKF Filtering. Application to Real-Time Structure from Motion and Visual Odometry / J. Civera, O. Grasa, A. Davison, J. Montiel // *Journal of Field Robotics*. – 2010. – Vol. 25. – P. 609-631.
- [7] Ramamurthy, K. Distributed Bundle Adjustment / K. Ramamurthy, C. Lin. A. Aravkin // *Frontiers of information Technology and Electronic Engineering*. – 2018. – Vol. 19. – P. 889-904.
- [8] OpenMVG libraries [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://openmvg.readthedocs.io/en/latest/openMVG/openMVG/> (10.11.2018).
- [9] OpenMVS Open Multiple View Stereovision [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://openmvg.readthedocs.io/en/latest/software/MVS/OpenMVS/> (09.10.2018).

The study of the use of photogrammetry to analyze the characteristics of the object surface

A.E. Victorencov¹, P.Y. Yakimov^{1,2}

¹Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

²Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

Abstract. In this article there are available solutions for the compilation of three-dimensional models of the object surface. The possibility of applying a photogrammetric parameter is also available: Structure from motion (SfM), to obtain 3D models of the object. The 3D model is reconstructed using the OpenMVG libraries that use the OpenMVS SfM method.