

В.А. Пантюшин, А.С. Старостин

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ ПРИ ТАМОЖЕННОМ КОНТРОЛЕ В СИСТЕМАХ ВИЗУАЛЬНОГО НАБЛЮДЕНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрены алгоритмы, особенности и условия создания трехмерных моделей объектов по цифровым изображениям инспекционно-досмотровых комплексов в системах таможенного контроля. Результаты моделирования обеспечивают визуализацию, детальный и качественный анализ изображений объектов с использованием цифровых технологий. Обработка изображений выполнена с использованием фотограмметрической программы создания облака точек VisualSfM, а также программы создания, просмотра и редактирования полигональной сетки (меша) MeshLab. Выбор данных программных средств обусловлен их доступностью, открытым кодом, минимальными требованиями ресурсов к аппаратному обеспечению и возможностью конвертирования в распространенные форматы обработки 3D-моделирования.

Ключевые слова: облако точек, полигональная сетка (меш), фотограмметрия, фототриангуляция, конвертер моделей, 3D-модель.

V.A. Pantyushin, A.S. Starostin

METHODOLOGY FOR CREATING 3D MODELS FOR CUSTOMS CONTROL IN VISUAL SURVEILLANCE SYSTEMS

Abstract. The article discusses algorithms, features and conditions for creating three-dimensional models of objects from digital images of inspection and inspection complexes in customs control systems. The modeling results provide visualization, detailed and high-quality image analysis of objects using digital technologies. Image processing was performed using the photogrammetric program for creating a point cloud VisualSfM, as well as the program for creating, viewing and editing a polygonal mesh (mesh) MeshLab. The choice of these software tools is based on their availability, open source, minimal hardware resource requirements and the ability to convert into common 3D modeling processing formats.

Keywords: point cloud, polygonal mesh, photogrammetry, phototriangulation, model converter, 3D model.

Технические средства визуального наблюдения, используемые при проведении таможенного контроля (досмотра), в основном предполагают обработку двумерных изображений, создаваемых аналоговыми телевизионными, фотографическими, ультразвуковыми и лазерными детекторами¹. Исключение составляют рентгеновские системы сканирования, которые позволяют получать 2,5D-изображение объекта в результате соединения отдельных проекций сечений или разрезов, слайсов в единую картинку [1; 2]. Однако качество воспроизведения таких изображений, полученных аналоговыми датчиками, остается низким, значительно уступающим по информативности цифровым изображениям метрологических и медицинских сканеров. Но существенным недостатком цифровых сканеров является необходимость использования фирменного узкоспециализированного

¹ Об утверждении перечня технических средств таможенного контроля, используемых при проведении таможенного контроля : Приказ Министерства Финансов Российской Федерации от 1 марта 2019 года № 33н (ред. от 20.05.2024) // СПС КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_324453/ (дата обращения: 17.10.2024).

Пантюшин Валерий Алексеевич

кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики, Российская таможенная академия, город Люберцы. Сфера научных интересов: применение информационных технологий в образовательной деятельности и деятельности таможенных органов. Автор более 30 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: v.pantushin@customs-academy.ru

Старостин Анатолий Сергеевич

кандидат технических наук, заведующий кафедрой прикладной информатики, Российская таможенная академия, город Люберцы. Сфера научных интересов: применение информационных технологий в образовательной деятельности и деятельности таможенных органов. Автор более 20 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: as.starostin@customs-academy.ru

программного обеспечения (далее – ПО), поставляемого совместно с цифровым датчиком. Если необходимого для обработки сканов ПО нет в комплекте, то это может потребовать значительных дополнительных финансовых вложений.

В целях совершенствования технологий таможенного контроля и досмотра предлагается методика съемки и создания 3D-моделей объектов по изображениям цифровых камер оптического диапазона и инспекционно-досмотровых комплексов в системах таможенного контроля.

Методика создания 3D-моделей объектов таможенного контроля по изображениям цифровых камер оптического диапазона включает следующие этапы:

- 1) цифровая съемка в оптическом диапазоне объекта таможенного контроля;
- 2) создание облака точек фотограмметрическими приложениями;
- 3) создание и редактирование полигональной сетки (меша), сформированной по облаку точек;
- 4) создание и редактирование 3D-модели объекта программами и алгоритмами компьютерной графики.

Цифровая съемка для создания 3D-моделей объектов имеет ряд особенностей, которые необходимо соблюдать для успешной обработки полученных изображений фотограмметрическими алгоритмами.

1. Объект съемки всегда должен находиться в фокусе. Расстояние до объекта должно строго выдерживаться. Лучше всего расположить его на подвижной платформе, а камеру статично закрепить на небольшом расстоянии (если объект маленький). Это позволит вращать объект на заданный угол, и он всегда будет в центре.

2. Если объект слишком большой и его неудобно вращать (например, машина), необходимо вращать камеру – метод съемки по последовательности изображений в движении. Это сильно усложняет процесс съемки, так как в каждом ракурсе нужно строго выдерживать расстояние до объекта, что требует проведения дополнительных расчетов.

3. Съёмочная камера должна быть оснащена уровнем для строгого позиционирования в вертикальной и горизонтальной плоскости.

4. Съёмку необходимо выполнять круговыми маршрутами в разных ракурсах, выдерживая перекрытия изображений не менее чем на 60 % относительно продольной стороны

Методика создания 3D-моделей при таможенном контроле в системах визуального...

кадра вдоль маршрута и не менее чем на 30 % относительно стороны кадра между смежными маршрутами (см. Рисунок 1).

5. Маршруты должны заканчиваться в том же месте или точке съемки, откуда они начались.

6. После маршрутной съемки необходимо выполнить съемку деталей объекта, изменяя расстояние фотографирования.



Рисунок 1. Расположение камеры при цифровой съемке

Источник: рисунок выполнен авторами.

Обработка полученных изображений может быть выполнена с использованием фотограмметрических программ, позволяющих автоматически выявлять общие точки на нескольких изображениях и вычислять расстояния между точками в трехмерном пространстве. В результате формируется совокупность точек – облако точек.

Созданное фотограмметрическими программами облако точек используется для построения полигональной сетки.

Полигональная сетка (меш – жарг. от англ. polygon mesh) – совокупность вершин, ребер и граней, которые определяют форму многогранного объекта в трехмерной компьютерной графике и объемном моделировании (см. Рисунок 2). Математический эквивалент полигональных сеток – неструктурированные сетки – изучаются методами комбинаторной геометрии.



Рисунок 2. Элементы полигональной сетки

Гранями обычно являются треугольники, четырехугольники, пятиугольники или другие простые выпуклые многоугольники (полигоны), так как это упрощает рендеринг – отрисовку (англ. rendering – визуализация), или процесс получения изображения по модели с помощью разработанных алгоритмов².

² ГОСТ 27817–88. Системы обработки информации. Машинная графика. Функциональное описание ядра графической системы. М. : Издательство стандартов, 1989. 295 с.

Качество формирования объемной модели зависит от разрешения – количества полигонов на единицу площади. Чем больше полигонов на площадь модели, тем точнее модель. На Рисунке 3 левое изображение содержит меньше полигонов, чем правое, и разрешение (детальность) объемной модели, соответственно, меньше. Также полигональные сетки с очень высоким разрешением менее подвержены проблемам, для решения которых требуются группы сглаживания, так как их полигоны настолько малы, что нужда в них пропадает.

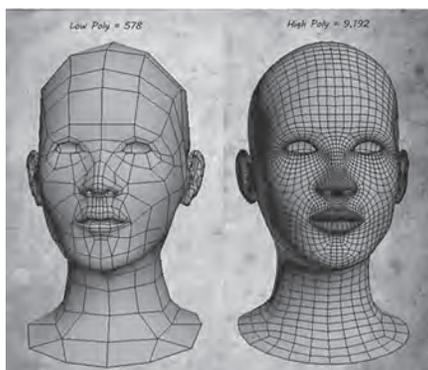


Рисунок 3. Соотношение количества полигонов полигональной сетки при формировании объемной модели

Обычно качество получаемых 3D-моделей пропорционально количеству используемых фотографий. Некоторые продвинутые программы предлагают инструменты уплотнения облаков точек, повышающие качество мешей.

Экспериментальная проверка методики создания 3D-моделей объектов таможенного контроля выполнена с использованием цифровых изображений, полученных съемочной камерой смартфона. Обработка изображений выполнена с использованием фотограмметрической программы создания облака точек VisualSfM и программы создания и редактирования полигональной сетки MeshLab (среда просмотра и конвертер моделей). Выбор данных программ обусловлен исключительно минимальными требованиями программ к аппаратному обеспечению.

Характеристики цифровых изображений, полученных камерой смартфона, представлены на Рисунке 4. Данные характеристики, сохраняемые в EXIF-файле в момент съемки, используются для расчета исходного фокусного расстояния и размера пикселя сенсора съемочной камеры. Достоверные EXIF-данные, таким образом, необходимы для точной автоматической калибровки камеры и, соответственно, получения корректных результатов 3D-моделирования.

Этап фотограмметрической обработки в VisualSfM представляет собой блочную фототриангуляцию методом независимых связей в целях создания облака точек по изображениям [3; 4]. Он включает следующую последовательность операций:

1. Вычисление недостающих совпадений. Запускается процедура распознавания образов «особых» (связующих) точек, и выполняется взаимное ориентирование (полное попарное сопоставление) изображений (см. Рисунок 5).

2. Разреженная реконструкция – внешнее ориентирование точек фотографирования и восстановление связей проектирующих лучей – внутреннее ориентирование снимков (см. Рисунок 6).

Методика создания 3D-моделей при таможенном контроле в системах визуального...

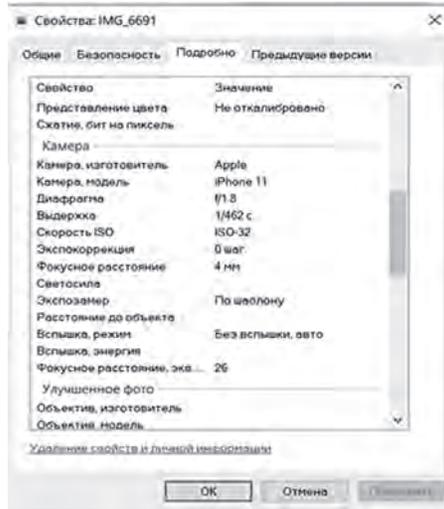


Рисунок 4. Параметры камеры и снимков, используемых при создании модели



Рисунок 5. Распознавание образов связующих точек

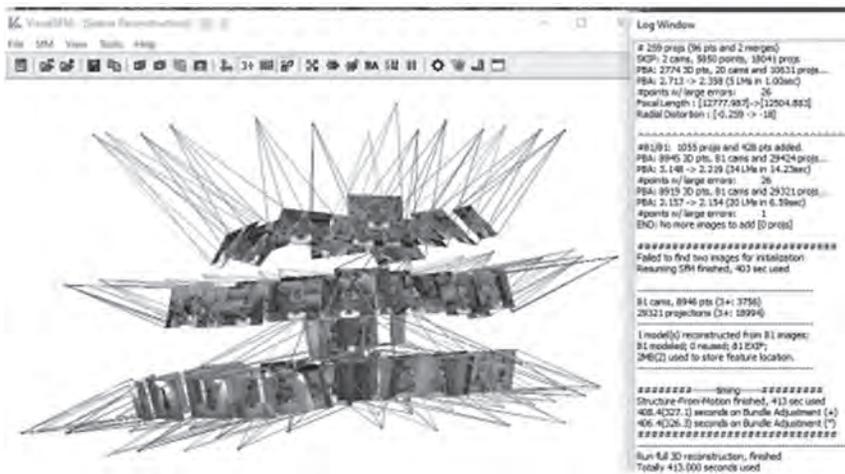


Рисунок 6. Определение элементов внутреннего и внешнего ориентирования снимков

На этом этапе определяются общие точки снимков и по ним вычисляются параметры камер: положение, ориентация, внутренняя геометрия (фокусное расстояние, параметры дисторсии и др.). Элементы внутреннего и внешнего ориентирования рассчитываются при помощи фототриангуляции методом независимых связей. Для вычисления используются уравнения коллинеарности.

3. Построение плотного облака точек – плотная реконструкция – заключается в определении пространственных координат связующих точек по вычисленным элементам внутреннего и внешнего ориентирования камеры (см. Рисунок 7).

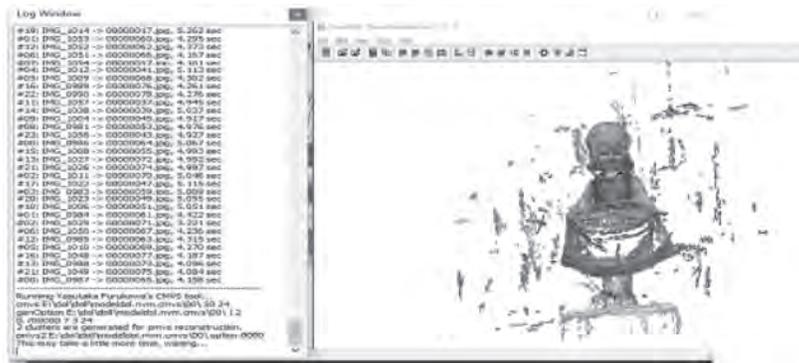


Рисунок 7. Результат построения плотного облака точек

Результаты созданного плотного облака точек (пространственные координаты всех точек фототриангуляции) сохраняются в каталоге Model в файле с расширением *.nvm и являются исходными данными для создания полигональной сетки.

Создание и редактирование полигональной сетки выполняется в программе MeshLab в следующей последовательности.

1. Открываем файл, ранее сгенерированный в программе VisualSFM и сохраненный в папке Model – *.nvm, и загружаем в программу плотное облако точек (см. Рисунок 8).



Рисунок 8. Загрузка плотного облака точек в редактор программы

Методика создания 3D-моделей при таможенном контроле в системах визуального...

2. После удаления лишних точек переходим в строку меню **Filters**, в выпадающем списке выбираем **Point Set** и выбираем строку **Surface Reconstruction Poisson** – реконструкция поверхности по плотному облаку точек (см. Рисунок 9).

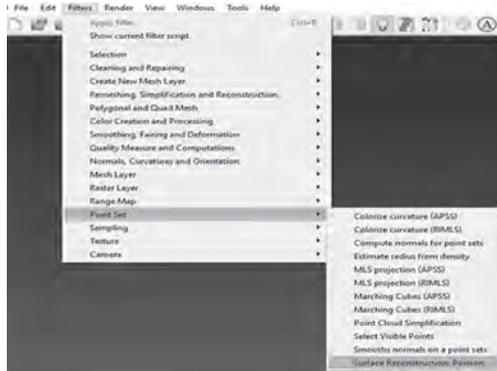


Рисунок 9. Реконструкция поверхности по плотному облаку точек

3. Выставляем параметры построения полигональной модели (см. Рисунок 10).



Рисунок 10. Установка параметров построения полигональной сетки

4. После установки параметров построения полигональной модели переходим к ее построению. Результат построения показан на Рисунке 11.

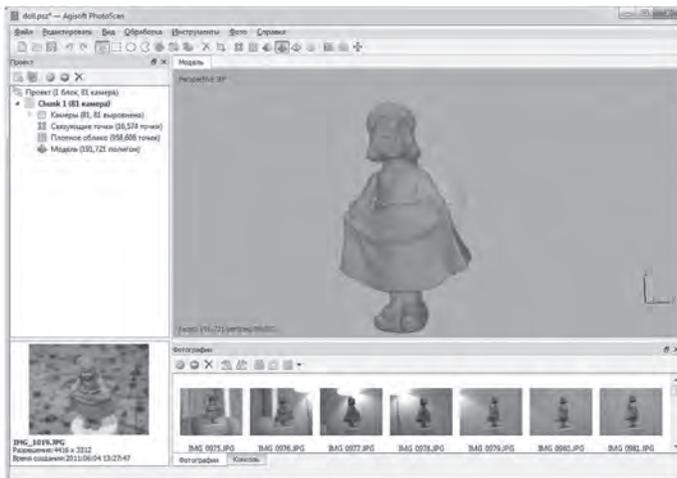


Рисунок 11. Построение полигональной сетки

5. Построение текстуры заключается в наложении зарегистрированных растров на созданную полигональную сетку. После наложения текстуры из материалов съемки переходим в меню «Фильтры->Текстура->Параметризация + Текстура из зарегистрированных растров» (см. Рисунок 12).

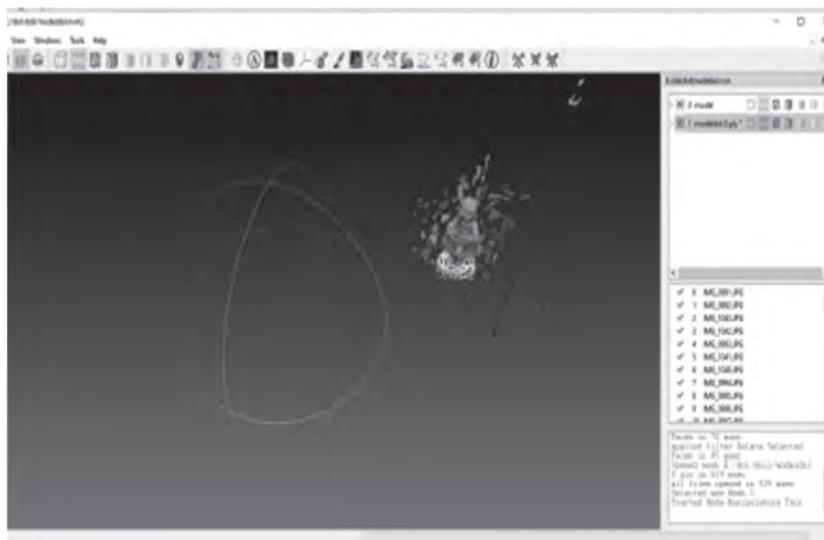


Рисунок 12. Результат наложения текстуры на полигональную сетку

Сформированная по облаку точек полигональная сетка определяет форму объекта таможенного контроля, полученного в результате съемки камерой в оптическом диапазоне. Разные представления полигональных сеток используются для разных целей и приложений. Объемные сетки отличаются от полигональных тем, что они явно представляют и поверхность, и объем, тогда как полигональные сетки явно представляют лишь поверхность, но не объем. На этапе создания и редактирования 3D-модели объекта по облаку точек и полигональным сеткам широко используются программы и алгоритмы трассировки лучей, обнаружения столкновений и динамики твердых тел, текстурирования, освещения, динамической симуляции, композитинга. Предлагаемая методика может быть включена в программное обеспечение цифровых программно-аппаратных комплексов автоматизированных бесконтактных измерений технических средств таможенного контроля.

Литература

1. *Афонин П.Н., Афонин Д.Н. Гамидуллаев С.Н.* Основы применения технических средств таможенного контроля : учебник / Под общ. ред. С.Н. Гамидуллаева. СПб. : Интермедия, 2018. 288 с. ISBN 978-5-4383-0167-7.
2. *Афонин Д.Н., Афонин П.Н.* Применение рентгеновских сканеров для персонального досмотра : учебное пособие. СПб. : Интермедия, 2018. 88 с. ISBN 978-5-4383-0163-9. URL: https://intermedia-publishing.ru/p/Afonin_Scanners/Afonin_Scanners.pdf?ysclid=m54dn2lwvz70350442 (дата обращения: 17.10.2024).
3. *Евстратова Л.Г.* Структурная модель изменения точности при фотограмметрической обработке аэрокосмических снимков // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли :

Сборник трудов VI Междунар. науч. конф. Красноярск, 10–13 сентября 2019 г. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2019. С. 92–95. EDN UCVDSY.

4. Пеньшин И.Н., Евстратова Л.Г. Разработка алгоритма построения пространственной маршрутизации для точек панорамной съемки в условиях отсутствия дорожного графа // Приложение к журналу «Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка». Сборник статей по итогам научно-технической конференции. 2020. № 11. С. 151–154. EDN VDMYQX

References

1. Afonin P.N., Afonin D.N., Gamidullaev S.N. (2018) *Osnovy primeneniya tekhnicheskikh sredstv tamozhennogo kontrolya* [Fundamentals of the application of technical means of customs control]: Textbook. St. Petersburg : Intermedia Publ. 288 p. ISBN 978-5-4383-0167-7. (In Russian).
2. Afonin D.N., Afonin P.N. (2018) *Primenenie rentgenovskikh skanerov dlya personal'nogo dosmotra* [Application of X-ray scanners for personal inspection] : Textbook. St. Petersburg : Intermedia Publ. 88 p. ISBN 978-5-4383-0163-9. URL: https://intermedia-publishing.ru/p/Afonin_Scanners/Afonin_Scanners.pdf?ysclid=m54dn2lwvz70350442 (accessed 17.10.2024). (In Russian).
3. Evstratova L.G. (2019) Structural model of accuracy change in photogrammetric processing of aerospace images. In: Tsibulskii G.M. (Ed) *Regional'nye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Regional problems of remote sensing of the Earth] : Proceedings of the VI Int. Sci. Conf. Krasnoyarsk, September 10–13, 2019. Krasnoyarsk : Siberian Federal University Publ. Pp. 92–95. (In Russian).
4. Peshin I.N., Evstratova L.G. (2020) Development of an algorithm for constructing spatial routing for panoramic shooting points in the absence of a road graph. In: *Supplement to the journal Izvestiya vuzov. Geodesy and aerial photography* : Collection of conference papers. No. 11. Pp. 151–154. URL: <https://www.elibrary.ru/VDMYQX> (accessed 17.10.2024). (In Russian).