

DOI 10.32460/ion\_nt-2018-0014

УДК 004.925.84

ББК 32.97

## **Анализ методов визуализации 3D web-коллекций**

*Сотников А. Н., Соболевская И. Н., Кириллов С. А., Чердниченко И. Н.  
(Межведомственный Суперкомпьютерный Центр РАН (МСЦ РАН) –  
филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН)*

Анализируются подходы к решению задачи создания реалистичных интерактивных 3D веб-коллекций музейных экспонатов. Рассматриваются представление 3D-моделей объектов, на основе ориентированных полигональных структур; методы получения 3D-моделей на основе фотограмметрии, интерактивных видеороликов; метод редактируемых поверхностей. Анализируется оценка вычислительной сложности построения реалистичных 3D моделей. Рассмотрен, в частности, подход, основанный на методе фотограмметрии - трехмерной реконструкция объекта по стереотипам фотоизображениям. Описаны подходы, основанные на использовании технологий лазерного 3D-сканирования, а также, рассказано о подходе к построению цифровых 3D-объектов с использованием сканеров со структурированной подсветкой. Описано, для каких наборов данных реконструкция 3D-модели методом фотограмметрии невозможна. Также рассмотрены виды технологий лазерного 3D-сканирования. Предложена технология представления виртуальных коллекций через интернет.

*Ключевые слова:* 3D-модель, фотограмметрия, лазерное сканирование, электронная библиотека, музейный объект, виртуальная выставка

In this article are analyzed some approaches to solving the problem of creating realistic interactive 3D-web collections of museum objects. We consider the representation of 3D-models of objects based on oriented polygonal structures; methods for obtaining 3D-models based on photogrammetry, interactive videos; editable surface method. The evaluation of the computational complexity of constructing realistic 3D

models is analyzed also. Considered an approach based on the method of photogrammetry (a three-dimensional reconstruction of an object according to stereotypes of photographic images). The approaches based on the use of 3D-laser scanning technology are described, as well as an approach to the construction of digital 3D objects using scanners with structured backlighting is described. Described for which data sets the reconstruction of the 3D-model by photogrammetry is impossible. Also considered are the types of 3D-laser scanning technology. The technology of presentation of virtual collections via the Internet is proposed.

*Keywords:* 3D-model, photogrammetry, laser scanning, electronic library, museum object, virtual exhibition

### **Введение**

Развитие и использование компьютерного моделирования в различных областях позволяет разрабатывать программные и аппаратные комплексы для формирования визуального объемного образа объекта. С помощью трёхмерной графики можно создать точную копию конкретного предмета и разработать новое, даже нереальное представление до сего момента не существовавшего объекта.

По мере развития и использования трехмерной графики создаются инструменты, позволяющие внедрить виртуальный контент в физическое пространство, например, музеев.

Формирование цифровых музейных фондов должно осуществляться в режиме обеспечения физической сохранности объекта, в частности, с использованием оборудования для бесконтактной оцифровки.

Задачи трехмерного моделирования можно разделить на два принципиально различных класса:

- создание 3D-модели по заданным рисункам/чертежам, возможно, даже не существующего объекта;
- создание 3D-модели, аппроксимирующей поверхность «реально» существующего объекта.

В данной статье речь пойдет о формировании и построении цифровых 3D-объектов «физически» имеющихся у «реконструктора», то есть, предполагается, что мы имеем дело с самим объектом и наша задача сформировать и визуализировать 3D-модель этого объекта.

Современные методы формирования 3D-моделей основаны на построении полигональной сетки, аппроксимирующей реальную поверхность сканируемого объекта (рис. 1).



*Рис. 1. Построение полигональной сетки, аппроксимирующей реальную поверхность сканируемого объекта*

Такая сетка может быть построена:

- программными средствами на основе обработки связанных пар стереоизображения объекта. Такой подход основан на методе фотограмметрии – трехмерной реконструкции объекта по стереотипам фотоизображениям;
- посредством применения специализированного оборудования – 3D-сканера, обрабатывающего дополнительную информацию о расстоянии до точек привязки, формируемых структурированной сеткой. В результате работы этих устройств полигональная сетка формируется динамически в процессе обработки искажений структурированной сеткой.

Такие сканеры бывают 2-х видов:

- лазерные сканеры, использующие прямое измерение расстояний до опорных точек (рис. 2);



*Рис. 2. Лазерный сканер, использующий прямое измерение расстояний до опорных точек*

- оптические сканеры, использующие внешнюю (структурированную) подсветку, формирующую структурную сетку и обрабатывающую информацию о ее искажениях, связанных с рельефом поверхности сканируемого объекта (рис. 3).



*Рис. 3. Оптический сканер, использующий внешнюю (структурированную) подсветку*

### 1.1. Фотограмметрия – трехмерная реконструкция объекта по фотоизображениям

Задача фотограмметрии заключается в восстановлении трехмерного объекта из набора плоских (двумерных) изображений (фотографий) какого-либо объекта. На сегодняшний день в технологии создания трехмерных моделей высокого качества допустимо использование фотографий, снятых цифровыми фотокамерами с матрицей разрешения менее 5 МПикс. Современные программные комплексы содержат процедуры калибровки объективов. При этом необходимо, чтобы каждый элемент реконструируемой сцены был виден, по крайней мере, с двух позиций съемки.

Задача построения и визуализации 3D-поверхности методом фотограмметрии состоит из четырех этапов:

1. Задание параметров фотокамер: фокусное расстояние, параметры дисторсии, положение в пространстве, ориентацию, внутреннюю геометрию и т. п. В результате обработки этих параметров будет сформирован набор позиций камеры, на основе которого будут выделены особенные точки для формирования разреженного облака точек. Далее, на этом этапе производится расчет геометрии с уплотнением.
2. Построение плотного облака точек, основанное на полученном на первом этапе разреженном облаке.
3. Построение полигональной модели и/или карты высот - трехмерной поверхности. Трехмерная полигональная модель описывает форму объекта, на основании плотного облака точек.
4. Построение текстуры для полигональной модели.

Пусть имеется набор снимков (рис. 4).



*Рис. 4. Набор снимков для построения цифровой 3D-модели объекта программным средством, основанным на методе триангуляции*

Для построения цифровой 3D-модели объекта любым программным средством, основанным на методе фотограмметрии, задается фокусное расстояние камеры, положение и ее ориентация в моменты фотографирования каждого из снимков относительно, например, первого

снимка (базового). Далее выполняется поиск всех одинаковых точек на соседних парах изображений, после чего вычисляется положение точек в пространстве в системе координат базового снимка. И затем решается система нелинейных уравнений, составленная на основе найденных соответствий. Полученное в результате решения системы нелинейных уравнений множество точек представляется в виде полигональных (чаще всего, триангуляционных) каркасов [6] и может быть использовано, например, для текстурирования объекта. Для некоторых наборов данных реконструкция 3D-модели невозможна. Например, при съемке нетекстурированных, отражающих и прозрачных объектов. При обработке таких снимков программные средства, основанные на описанном выше методе, «не видят» смещения камеры [1].

## **1.2. Лазерное 3D-сканирование, использующее прямое измерение расстояний до опорных точек**

Большая часть лазерных сканеров работает на принципе триангуляции. Суть работы триангуляционных 3D-сканеров состоит в том, что высоко контрастная камера «ищет» лазерный луч на поверхности объекта и измеряет расстояние до него. Оптическая ось камеры и лазера разнесены на заданное (известное) расстояние, а также установлены по определенным углом друг к другу. Плавное перемещение лазерной головки сканера над сканируемым объектом позволяет измерять расстояние между текущей точкой головки сканера и сканируемым объектом. С помощью получаемых геометрических измерений записываются координаты всех сканируемых точек объекта. Тем самым формируется облако точек, которое, в свою очередь, после, пересчета и аппроксимации преобразуется в плотное облако точек, описанное выше, что значительно ускоряет процесс построения 3D-модели.

Такая лазерная технология основана на принципе работы лазерных дальномеров. Камера, лазерный излучатель и лазерная точка образуют «треугольник», в котором известны: угол падения лазерного луча на объект, расстояние между камерой и лазерным излучателем, расстояние между лазерным излучателем и лазерной точкой. Эти 3 показателя полностью определяют форму и размер треугольника. Для ускорения процесса получения данных, используется лазерная полоса вместо лазерной точки. Облако точек создаётся с помощью триангуляции лазерной полосой.

### 1.3. Оптическое 3D-сканирование, использующее структурированную подсветку

Работа оптических 3D-сканеров, использующих структурированную подсветку, основана на методе сканирования структурированным светом. Эти устройства состоят из одной или двух видео камер и кинопроектора. При засветке сканируемого объекта «зешрой» или черно-белыми квадратами, которые расположены в шахматном порядке, камеры анализируют искривления полученной картинке, и деформация такой сетки представляет собой полигональную модель сканируемого объекта. Сетка проецируется на объект с помощью постоянного источника света, например, жидкокристаллического проектора. Камера, расположенная чуть в стороне от проектора, фиксирует форму сетки, что позволяет вычислять расстояние до каждой точки в поле ее зрения. Таким образом, в каждый момент времени сканируется несколько точек. Преимущество 3D-сканеров, использующих структурированный свет, заключается в их скорости и точности работы.

Практические эксперименты, проведенные каждым из трех описанных методов, позволили сравнить результаты 3D-моделирования. На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- Применение ни одного из данных методов не дает возможности построить полноценную трехмерную модель объекта, имеющего светопоглощающую, прозрачную, светоотражающую или бликующую поверхность. Построение 3D-моделей таких объектов возможно с применением специального оборудования, например, лазера, создающего опорную сетку подсветки и работающего в таком диапазоне длин волн, в котором «проблемные» поверхности сканируемого объекта непрозрачны. Возможно, что такой источник подсветки опорной сетки должен иметь настраиваемую рабочую частоту для работы с объектами из различных материалов.

Кроме того, имеющиеся на сегодняшний день методы построения 3D-модели «прозрачного» объекта предполагают нанесение на поверхность объекта специального «маркирующего» средства, поглощающего свет, что позволяет получить полигональную сетку для построения 3D-модели такого «прозрачного» объекта. Такой способ построения 3D-модели для музейных объектов невозможен.

Применение метода фотограмметрии требует значительных по сложности и времени вычислений программными комплексами, однако, не требует применения никаких специальных средств, наносимых

на поверхность фотографируемого объекта. Кроме того, построение полноценной 3D-модели методом фотограмметрии менее финансово затратный способ, по сравнению с использованием профессиональных сканеров со структурированной подсветкой.

## **2. Представление цифровых 3D-объектов**

Цифровая 3D-модель содержит больше информации о пространственных характеристиках объекта, по сравнению с текстовым описанием, рисунком, схемой, фото- или кинодокументом. Особенно существенным это преимущество является для объектов со сложной геометрией или рельефом. Сегодня цифровые 3D-модели широко применяются, в том числе, в научно-технических задачах и в культурно-просветительских направлениях.

Цифровая 3D-модель представляет собой объект, который может быть связан посредством взаимных ссылок с другими типами электронных объектов: текстовыми, архивными, аудио- и видеодокументами и т.п. Эти ссылки хранятся на удаленных серверах, доступ к которым может осуществляться через интернет. Такой мультимедийный объект, включающий в себя набор цифровых 3D-моделей, связанную с ними дополнительную информацию, может быть интегрирован в некое общее пространство знаний. Одним из эффективных средств интеграции и представления таких информационных объектов является электронная библиотека. Одной из таких платформ является электронная библиотека «Научное наследие России» (ЭБ ННР). Разработанная и применяемая в ЭБ ННР система представления цифровых образов музейных предметов и коллекций, обеспечивает их интеграцию в единый информационный ресурс и позволяет осуществлять эффективную навигацию в этом ресурсе, а также позволяет формировать тематические коллекции [2]. Кроме того, платформа ЭБ ННР позволяет создавать виртуальные выставки. Для создания цифровой коллекции 3D-моделей и предоставления ее широкому кругу пользователей через интернет используется, так называемая технология интерактивной анимации. Такая технология визуализации основана на программной смене (прокручивании) фиксированного набора видов объекта (кадров). С помощью специализированных программ отображения формируется имитация смены точки взгляда на исходный объект. Для создания такой интерактивной анимации, необходим набор заранее снятых кадров экспозиции.



## Закключение

В настоящее время наблюдается определенный дефицит методов оцифровки музейных предметов, в первую очередь, для построения цифровых 3D моделей, их интеграции в единый тематический ресурс, а также предоставление широкому кругу пользователей средствами современных мультимедийных технологий. Методы формирования тематических коллекций, основанных на фондах архивов, библиотек и музеев, нуждаются в разработке единого подхода к формированию таких коллекций и обеспечения доступа к ним. Однако, технология формирования виртуальных выставок, является принципиально новым эффективным решением задачи представления цифровых 3D-коллекций музейных предметов, интегрированных средствами электронной библиотеки.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 18-07-00893.

## Литература

1. Булычев Ю. Г. Квазиоптимальный метод решения задачи триангуляции в условиях априорной неопределённости / Ю. Г. Булычев., Е. Н. Чепел // *Автометрия*. 2017. Т. 53, № 6. С. 83–91.

2. Каленов Н. Е. Цифровые музейные коллекции и представление объектов естественнонаучного музейного хранения в электронной библиотеке «Научное наследие России» / Н. Е. Каленов, И. Н. Соболевская, А. Н. Сотников // *Научно-техническая информация. Сер. 1*. 2016. № 10. С. 33–38.

3. Сафрошкин М. А. Алгоритмы обработки изображений для систем регистрации трехмерных объектов, использующих структурированную подсветку с цветовым кодированием / М. А. Сафрошкин // *Молодежный научно-технический вестник*. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/749386.html>.

4. Технология лазерного сканирования в 3d проектировании / И. К. Киямов [и др.] // *Экспозиция нефть газ*. 2013. № 7. С. 41–43.

5. Cooper J. P. *From Boatyard to Museum: 3D laser scanning and digital modelling of the Qatar Museums watercraft collection* / J. P. Cooper; A. Wetherelt, C. Zazzaro // *International journal of nautical archaeology*. 2018. Vol. 47, Is. 2. P. 419–442.

6. Yao Yidan. *Rapeseed 3D Reconstruction and Morphological Parameter Measurement Based on Laser Point Cloud* / Yao Yidan, Lin Chengda, Zhai Ruifang // *International Conference on Agro-Geoinformatics*. 2016. P. 187–192.