

Реконструкция обобщенных цилиндров по двум изображениям

О.В. Сеньюкова, А.А. Якубенко, А. А. Дегтярева

Лаборатория компьютерной графики и мультимедиа факультета ВМиК,
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
olsen222@yandex.ru, toh_yakubenko@mail.ru, adegtiareva@graphics.cs.msu.ru

Аннотация

Задача трехмерной реконструкции объектов по изображениям чрезвычайно актуальна в наше время. Мы предлагаем новый алгоритм для реконструкции объектов формы обобщенного цилиндра по двум изображениям. Под обобщенным цилиндром будем понимать тело, ось которого – произвольная пространственная кривая, сечение – произвольная замкнутая плоская кривая. Сечение перпендикулярно оси в каждой точке. Сечение постоянно по форме, но его масштаб может изменяться вдоль оси.

Алгоритм состоит из двух основных шагов. На первом шаге на основе эпиполярной геометрии по двум изображениям строится ось обобщенного цилиндра в трехмерном пространстве. На втором шаге по введенным пользователем данным рассчитывается форма сечения и далее аналитически вычисляются перпендикулярные оси сечения реконструируемой модели обобщенного цилиндра, по которому полностью восстанавливается геометрия модели.

Ключевые слова: реконструкция по наброскам, трехмерная реконструкция, обобщенный цилиндр.

1. ВВЕДЕНИЕ

Задача трехмерной реконструкции объектов по изображениям чрезвычайно актуальна в наше время в связи с тем, что необходимы быстрые и точные методы построения фотореалистичных моделей объектов реального мира, а фотографии являются наиболее простым способом получения информации об объекте интереса.

Восстанавливать трехмерную форму объекта можно как по одному изображению, так и по последовательности его изображений с разных ракурсов. При этом, регулируя количество изображений объекта, можно получить различные соотношения сложности и скорости процесса моделирования и его точности.

Для реконструкции объектов произвольной формы используются некоторые универсальные методы, которые на текущий момент не позволяют быстро получить качественный результат. Для реконструкции объектов определенных классов, для которых априори известны некоторые свойства формы, используются специально разработанные алгоритмы, учитывающие особенности объектов данного класса тел. В данном случае можно строить различные комбинации универсальности алгоритма и его точности.

Алгоритм, предложенный в данной статье, стремится к компромиссу между сложностью процесса моделирования, выражаемой в количестве взаимодействий с пользователем, универсальностью реконструируемых объектов и точностью результата.

Данный алгоритм позволяет реконструировать обобщенные цилиндры по наброскам пользователя по двум изображениям. Под обобщенным цилиндром будем понимать тело, у которого ось – произвольная пространственная кривая, сечение – произвольная замкнутая плоская кривая. Сечение перпендикулярно оси в каждой точке. Мы будем рассматривать сечение, постоянное по форме, масштаб которого может изменяться вдоль оси.

Внутренние и внешние калибровочные данные для камер известны заранее. Для их получения использовался инструмент калибровки камеры по шаблону [7].

Статья имеет следующую структуру. Часть 2 представляет собой краткий обзор существующих методов трехмерной реконструкции объектов по изображениям. В части 3 описан процесс интерактивного выделения объекта на входных изображениях. Часть 4 посвящена восстановлению оси тела в пространстве. Часть 5 посвящена моделированию сечений обобщенного цилиндра в два этапа и получению результирующей модели. В заключительной части 6 проведен анализ предложенного метода, показаны результаты работы на реальных данных, а также указаны возможные направления дальнейших исследований.

2. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ

Предполагая ряд ограничений на объекты интереса, например, такие как гладкость контура или возможность параметризации, можно реконструировать широкий класс объектов реального мира.

В [1] предлагается общий подход для реконструкции нескольких классов тел. На двух или более изображениях выделяются соответствующие друг другу кривые, характеризующие объект. Если это тело вращения, то необходимо выделить образующую и ось. Если обобщенный цилиндр – то сечение и ось. Далее эти кривые восстанавливаются в пространстве при помощи алгоритмов стереовидения. Затем строится поверхность типа NURBS по соответствующей формуле. В первом случае образующая вращается вокруг оси, образуя таким образом тело вращения. Во втором случае сечение движется вдоль траектории, задаваемой осью, образуя обобщенный цилиндр.

Более точный, но ресурсоемкий метод заключается в построении объекта, поверхность которого обладает наибольшей гладкостью, исходя из дополнительной информации, такой как силуэт объекта на изображении, нормали к некоторым точкам поверхности [2]. Условие максимизации гладкости записывается в форме лагранжиана и решается в матричной форме.

Для реконструкции тел, обладающих осевой симметрией, данный метод может быть развит в [3]. Используя факт симметрии объекта, количество необходимой дополнительной информации можно уменьшить. Предусловием служит совпадение проекции модели с границами объекта на изображении и условие ортогональности нормали к реконструированному образующим и оси направления камеры.

Еще одним методом реконструкции произвольных объектов является классический метод деформируемых моделей [5]. Метод деформируемых моделей основан на минимизации функционала-энергии. Энергией в данном случае служат ограничения, аналогичные предыдущему подходу, например, степень близости силуэта реконструируемой модели к данным на изображении.

3. ВЫДЕЛЕНИЕ ОБОБЩЕННОГО ЦИЛИНДРА

На этапе подготовки к реконструкции необходимо на входных изображениях отделить объект от фона, то есть выделить границы обобщенного цилиндра. Предполагается, что пользователь вручную задает боковые контуры на обоих входных изображениях, и верхнее или нижнее сечение объекта на одном из изображений. Для моделирования кривых были выбраны кубические сплайны, так как они позволяют с достаточной точностью описывать непрерывные гладкие кривые, в том числе замкнутые, какими обычно являются контуры и сечение обобщенных цилиндров.

Пользователь последовательно вводит точки, находящиеся на сечении объекта. По ним строится кубический сплайн.

То же самое повторяется для левой и для правой границ и для другого изображения.

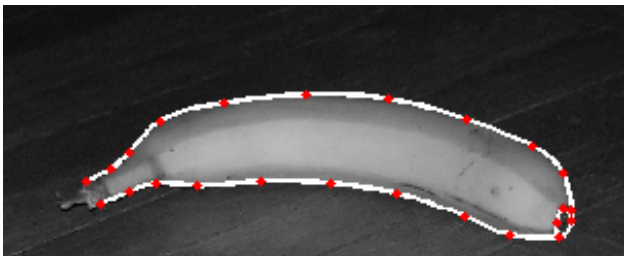


Рис. 1. Обобщенный цилиндр с выделенными пользователем сечением и образующими, представленными кубическими сплайнами.

4. ПОСТРОЕНИЕ ОСИ ОБОБЩЕННОГО ЦИЛИНДРА

Предварительным этапом построения оси обобщенного цилиндра в трехмерном пространстве является нахождение плоских осей тела на изображениях, исходя из выделенных пользователем боковых контуров.

Для объекта на каждом изображении находится скелет – набор кратчайших отрезков, соединяющих соответствующие точки на левом и на правом контурах. Алгоритм поиска скелета описан в [6]. Плоская ось есть совокупность серединных точек найденных отрезков.

Трехмерная ось тела в пространстве строится методом пересечения видимых оболочек, проходящих через центры камер и точки плоских осей.

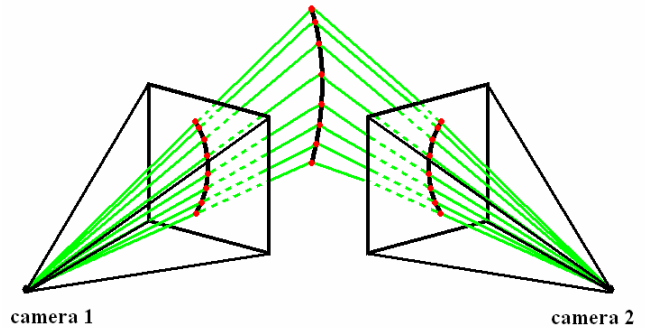


Рис. 2. Трехмерная ось тела в пространстве, полученная пересечением видимых оболочек, проходящих через центры камер и точки плоских осей.

5. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЧЕНИЙ ОБОБЩЕННОГО ЦИЛИНДРА

5.1 Расчет формы сечений

На данном этапе в пространстве строится одно из сечений тела, которое соответствует тому сечению, которое выделил пользователь.

Используя предположение о том, что сечение обобщенного цилиндра перпендикулярно его оси, оно может быть получено проекцией выделенного пользователем контура сечения на плоскость, перпендикулярную восстановленной оси в верхней (или, соответственно, нижней) точке. Сечение, находящееся на данной плоскости суть пересечение лучей, проходящих через камеру и точки сечения на картинной плоскости, с данной плоскостью.

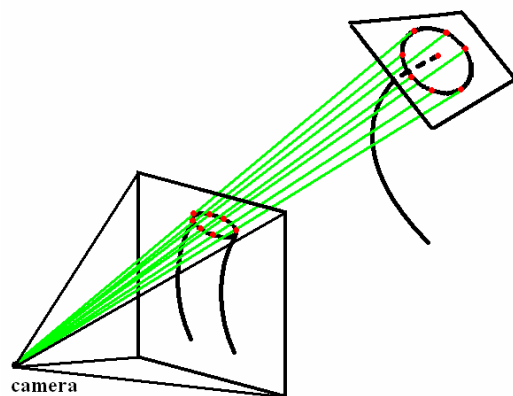


Рис. 3. Построение плоского сечения по выделенному пользователем контуру.

5.2 Расчет масштаба сечений

Предполагая, что форма сечения вдоль оси не меняется, а меняется только его масштаб, можно аналитически вычислить масштаб всех остальных сечений модели, как такой минимальный масштаб сечения t , при котором его проекция пересечет боковые контуры объекта.

Для упрощения расчетов контуры, сечение и ось объекта, представленные сплайнами, разбиваются на отрезки. При повышении частоты дискретизации можно добиться любой желаемой точности.

Пусть трехмерная точка C – центр исходного сечения; трехмерная точка A_i – точка сечения, $i=1..N$, где N – число точек в сечении; t_i – параметр масштаба сечения.

Тогда B_i – трехмерная точка сечения, соответствующая параметру t может быть представлена следующим образом:

$$B_i = (A_i - C) \cdot t_i + C.$$

Пусть матрица P_j размерности 3×4 – матрица проекции для изображения $j=1,2$. Тогда проекция точки B_i на изображение j есть точка $b_i = (x_i, y_i)$, координаты которой могут быть вычислены следующим образом:

$$B_i = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = P_j \cdot B_i, b_i = \begin{bmatrix} X'/Z' \\ Y'/Z' \end{bmatrix}.$$

Таким образом, координаты точки b_i являются дробями, в числителе и знаменателе которых линейные выражения, зависящие от искомого параметра t_i . Далее необходимо определить такой параметр t_i , при котором точка b_i будет принадлежать выделенному контуру, например, левой границе. Пусть данный контур задан последовательностью отрезков, концы которых заданы точками $d_k = (x_k, y_k)$, $k=1..M$, где M – число точек в контуре. Тогда для всех отрезков с концами в точках d_k и d_{k+1} , $k=1..M-1$, составим систему, описывающую условия принадлежности точки b_i данному отрезку:

$$\begin{cases} A_k \cdot x_i + B_k \cdot y_i + C_k = 0, \\ \min(x_k, x_{k+1}) \leq x_i \leq \max(x_k, x_{k+1}), \\ \min(y_k, y_{k+1}) \leq y_i \leq \max(y_k, y_{k+1}), \end{cases}$$

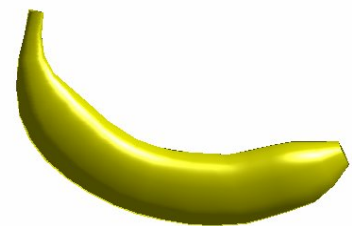
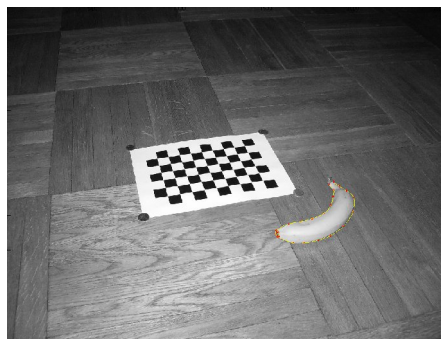
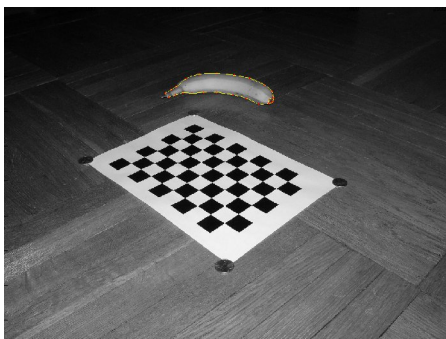


Рис. 4. Пример работы алгоритма. Два исходных изображения (слева) и полученная модель (справа)

где коэффициенты A_k , B_k и C_k задают прямую, соответствующую отрезку.

Если данная система имеет решения, то найденным для данного отрезка параметром t_i будет наименьшее из них.

Искомым параметром t_i будет наименьшее среди всех найденных значений параметра для всех отрезков. Проведя аналогичные вычисления для всех точек b_i , $i=1..N$, мы получим соответствующие значения параметров t_i . Искомым параметром t для левого контура на первом изображении будет минимум среди всех найденных параметров t_i .

Аналогичные вычисления должны быть проведены и для второго контура на данном изображении. Проведя подобные вычисления для обоих контуров и на втором изображении, мы получим четыре значения параметра t . Для нивелирования неточностей калибровки камеры и выделений пользователя, следует считать искомым параметром t не минимум среди четырех найденных его значений, а их среднее арифметическое.

6. РЕЗУЛЬТАТЫ

Предложенный алгоритм был реализован в среде Matlab.

Алгоритм был протестирован на реальных объектах и показал хорошие результаты. Примеры работы алгоритма для различных объектов показаны на рис. 4.

В качестве дальнейших путей развития алгоритма можно рассматривать применение более точных методов реконструкции трехмерной оси обобщенного цилиндра, а также адаптацию данного алгоритма для реконструкции объектов более широких классов:

1. сечение переменной формы (сечение имеет непостоянную форму и меняется в разных местах оси)
2. сечение не перпендикулярно оси:
 - 2.1. постоянный угол между сечением и осью
 - 2.2. переменный угол между сечением и осью
3. сечение неплоское
4. ось имеет разветвления

Также в качестве отдельной задачи может рассматриваться вопрос о вычислении калибровки по выделенным пользователем данным, используя априорную информацию о свойствах формы объекта.

7. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Владимиру Вежневцу за ценные замечания и критику во время работы над алгоритмом и по тексту статьи. Авторы также благодарят Антона Конушина за ценные консультации.

8. БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Man Hee Lee, In Kyu Park. Image-based approach for modeling 3D shapes with curved surfaces. 2006
- [2] Zhao Ting, David Dagan Feng, Tan Zheng. 3D reconstruction of single picture. Proceedings of the Pan-Sydney area workshop on Visual information processing, pp.83-86, 2006
- [3] M. Prasad, A. Zisserman, A.W. Fitzgibbon. Fast and Controllable 3D Modelling from Silhouettes. Proceedings of the 26th Annual Conference of the European Association for Graphics, pp.5-12, 2005
- [4] M. Prasad, A. Zisserman, A. W. Fitzgibbon. Single View Reconstruction of Curved Surfaces. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2006
- [5] C. H. Esteban, F. Schmitt. Silhouette and stereo fusion for 3D object modeling. Computer Vision and Image Understanding, Vol. 96, No. 3, pp.367-392, 2004
- [6] Charlie C.L. Wang, Matthew M.F. Yuen. Freeform extrusion by sketched input. Computers & Graphics 27, pp.255-263, 2003
- [7] GML C++ Camera Calibration Toolbox
<http://research.graphicon.ru/calibration/gml-c-camera-calibration-toolbox.html>
- [8] A. Laurentini, "The Visual Hull Concept for Silhouette-Based Image Understanding" IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 16, No. 2, Feb. 1994.

Об авторах

Ольга Викторовна Сеньюкова – студентка четвертого курса лаборатории компьютерной графики и мультимедиа факультета вычислительной математики и кибернетики Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова.

E-mail: olsen222@yandex.ru

Антон Анатольевич Якубенко – студент пятого курса лаборатории компьютерной графики и мультимедиа факультета вычислительной математики и кибернетики Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова.

E-mail: toh_yakubenko@mail.ru

Анна Александровна Дегтярева – инженер лаборатории компьютерной графики и мультимедиа факультета вычислительной математики и кибернетики Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова.

E-mail: adegtiareva@graphics.cs.msu.ru

Адрес: Москва, 119899, Воробьевы горы, МГУ, 2-й учебный корпус, факультет ВМиК, лаборатория компьютерной графики и мультимедиа.

Reconstruction of generalized cylinders from two images

Abstract

Image-based 3D reconstruction is an actual problem in computer vision nowadays. We propose a novel algorithm for 3D reconstruction of generalized cylinders from two calibrated images and user sketches. The axis of the generalized cylinder is assumed to be an arbitrary 3D curve. The plain cross-section of the generalized cylinder is assumed to be an arbitrary closed curve. It is orthogonal to the axis in each point of the axis. The cross-section has constant shape, but its scale may change along the axis.

The proposed algorithm consists of two steps. At first step the 3D axis of the generalized cylinder is reconstructed using epipolar approach. At the second step the plain cross-section shape is computed from the user input and the cross-sections orthogonal to the 3D axis are analytically computed, which allows to reconstruct the whole geometry of the object.

Keywords: *sketch-based, 3D reconstruction, generalized cylinder, image-based modeling.*

About the author(s)

Olga Senyukova is a student at Moscow State University, Department of Computational Mathematics and Cybernetics, Graphics and Media Lab.

Her contact email is olsen222@yandex.ru.

Anton Yakubenko is a student at Moscow State University, Department of Computational Mathematics and Cybernetics, Graphics and Media Lab.

His contact email is toh_yakubenko@mail.ru.

Anna Degtiareva is an engineer at Moscow State University, Department of Computational Mathematics and Cybernetics, Graphics and Media Lab.

Her contact email is adegtiareva@graphics.cs.msu.ru.