

УДК 004.352.4

**СОВМЕЩЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ,
ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ РУЧНОГО
ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

И.В. Цапко, М.Ю. Омелянюк

Томский политехнический университет

E-mail: Irina@aics.ru

Цапко Ирина Валериевна,
доцент кафедры автоматики и
компьютерных систем Инсти-
тута кибернетики ТПУ.
E-mail: Irina@aics.ru

Область научных интересов:
обработка трехмерных графиче-
ских изображений.

**Омелянюк Михаил Юрье-
вич**, магистрант кафедры
автоматики и компьютерных
систем Института кибернети-
ки ТПУ.

E-mail: rackman@sibmail.com
Область научных интересов:
обработка графических изо-
бражений. Разработка мо-
бильных приложений.

Рассмотрен итеративный алгоритм нахождения ближайшей точки, применяемый для взаимного ориентирования точечных трехмерных моделей. Указаны его недостатки в виде необходимости начального приближения и возможные способы их разрешения за счет оценки матрицы угловой ориентации и вектора сдвига для трехмерных моделей, имеющих воксельное представление. Представлен модифицированный алгоритм начального приближения для трехмерных моделей, полученных в результате трехмерного сканирования и заданных в триангулированном виде. Рассмотрены этапы построения ориентационных гистограмм совмещаемых моделей, их сравнение, последующая оценка угловой ориентации и линейного сдвига, а также дальнейшие преобразования в виде поворота и дальнейшего совмещения моделей. Разработана программа, реализующая указанные алгоритмы. Показаны пути дальнейшего ее совершенствования.

Ключевые слова:

Трехмерные изображения, ориентационная гистограмма, взаимное ориентирование трехмерных моделей, обработка изображений.

Введение

Технология быстрого прототипирования в последнее время нашла широкое применение в различных областях человеческой деятельности. Для создания трехмерных моделей объектов используют лазерные сканеры – устройства, анализирующие физический объект и создающие его трехмерную модель в виде координат точек, принадлежащих поверхностям с целью дальнейшего их представления в виде пространственных математических моделей с возможной последующей их модификацией с помощью CAD (Computer-Aided Design) – систем или САПР (систем автоматизированного проектирования).

Технология лазерного сканирования имеет ряд недостатков, в числе которых большое количество исходной информации, получаемой при сканировании данным устройством. Вопрос автоматизации обработки такого объема информации является крайне важным для будущего развития этой технологии. В связи с этим в последние годы было направлено множество исследований на нахождение способа автоматизации, который позволил бы ускорить либо упростить процесс обработки результатов, полученных при сканировании. Большое количество научных работ зарубежных и российских ученых посвящено основным аспектам обработки данных, полученных при лазерном сканировании земной поверхности. Однако достаточное количество аналогичных задач возникает и при обработке сравнительно небольших объектов, полученных путем ручного лазерного сканирования. В частности, одной из основных на начальном этапе обработки отсканированных изображений является проблема совмещения в единую систему координат облаков точек одного объекта, представленных с различных ракурсов. Данный процесс принято называть регистрацией, или взаимным ориентированием. Целью регистрации является нахождение взаимного расположения и ориентации одного изображения сцены относительно другого и наиболее точное совмещение перекрывающихся областей точек.

В данной статье рассматривается алгоритм совмещения трехмерных изображений одного объекта, полученных при его сканировании ручным лазерным сканером фирмы **Z Corporation**.

Разрешение сканера **Zscanner 700** составляет 0,1 мм, а точность XY – до 80 микрон. Сканер «рисует» объект при помощи лазера и затем сканирует бинокулярными камерами. В комплекте со сканером поставляется программное обеспечение ZScan Lite, автоматически создающее файлы в формате .STL для импорта в системы трехмерного моделирования или вывода на трехмерный принтер. Программное обеспечение сканера позволяет получить результат на экране компьютера в реальном времени [1].

Алгоритмы совмещения трехмерных моделей

Допустим, имеются две точечные модели P_1 и P_2 , которые описывают один трехмерный объект, полученный с различных точек зрения при помощи лазерного сканера. Для перевода любой точки модели P_1 в систему координат модели P_2 используется выражение

$$u' = R \cdot u + T$$

$3 \times 1 \quad 3 \times 3 \quad 3 \times 1 \quad 3 \times 1$

где T – вектор переноса; R – матрица поворота между системами координат точечных моделей P_1 и P_2 ; u – произвольная точка из P_1 ; u' – координаты точки u в системе координат P_2 .

Первые методы взаимного ориентирования двух точечных моделей, полученных наземным лазерным сканером, появились в начале 90-х годов прошлого века. Один из наиболее известных – это итеративный алгоритм ближайшей точки (ICP – Iterative Closest Point), предложенный в 1992 году Paul J. Besl и Neil D. McKay [2]. Базовый алгоритм состоит из следующих основных шагов:

1. Для каждой точки из множества P_1 определяется пара из множества P_2 с использованием критерия поиска ближайшего соседа согласно некоторой функции близости.

2. Осуществляется преобразование путем смещения и поворота одной из точечных моделей, расчет и оценка среднеквадратического расстояния между парными точками:

$$E(R, T) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \|u_i - R \cdot v_i - T\|^2,$$

$$N = \sum_{i=1}^{N_{P_1}} \sum_{j=1}^{N_{P_2}} w_{i,j},$$

где u_i и v_i – соответствующие точки моделей P_1 и P_2 ; N_{P_1} и N_{P_2} – количество точек в соответствующих моделях P_1 и P_2 ; $w_{i,j}$ – веса пар точек.

Значения весов определяются по следующему принципу:

$w_{i,j} = 1$, если u_i является ближайшей точкой к v_i , иначе $w_{i,j} = 0$.

3. Данные шаги повторяются до тех пор, пока среднеквадратическое расстояние не станет меньше некоторого значения ε .

При практическом применении исходного алгоритма задача усложняется за счет того, что исходные фрагменты P_1 и P_2 одной модели не идентичны, а имеют лишь некоторую область перекрытия. Те точки, которые не принадлежат области перекрытия, создают дополнительные помехи и мешают корректной работе алгоритма, поэтому перед применением данного алгоритма необходимо провести предварительную обработку исходных моделей с целью отсеивания указанных точек (рис. 1).

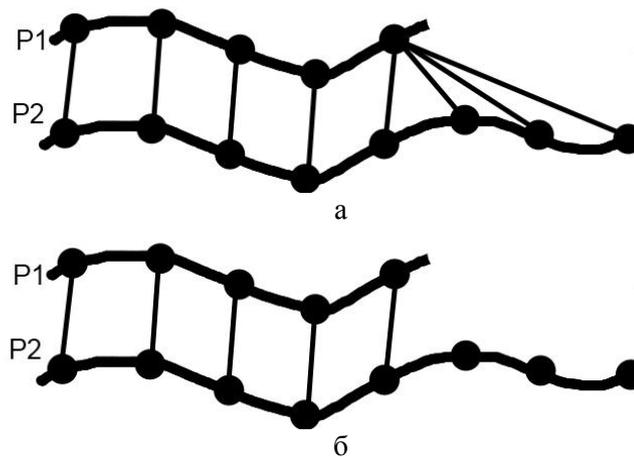


Рис. 1. Исходные фрагменты P_1 и P_2 : a – все пары ближайших точек; $б$ – пары ближайших точек из области перекрытия

Существует большое количество вариаций рассмотренного выше алгоритма для его применения с теми или иными примерами трехмерных моделей, но основной недостаток – необходимость указания начального приближения значений T и R для первой итерации остается нерешенным.

Один из вариантов решения этой проблемы был предложен в [3], где решение задачи взаимной ориентации двух трехмерных моделей, имеющих воксельное (от англ. *Volume Element*) представление, разбивается на два отдельных этапа:

- оценка матрицы угловой ориентации R ;
- оценка вектора сдвига T .

Применительно к моделям, полученным в результате лазерного сканирования и представленным в формате .STL (от англ. *stereolithography*), последовательность выполняемых действий будет состоять из следующих шагов:

1. Построение ориентационных гистограмм моделей P_1 и P_2 .
2. Сравнение полученных гистограмм и оценка угловой ориентации моделей.
3. Поворот точечной модели P_2 в соответствии с найденными углами.
4. Сравнение представленных моделей, оценка линейного сдвига.

Достоинство ориентационной гистограммы трехмерной модели состоит в ее инвариантности к преобразованию сдвига. Особенности представления трехмерных объектов в формате .STL, где информация о модели хранится в виде списка треугольных граней, описывающих поверхность, и их нормалей, позволяют осуществить построение ориентационной гистограммы, являющейся одним из вариантов расширенного изображения Гаусса (РИГ) [4]. Ориентационная гистограмма представляется в виде изображения H , каждый пиксель которого соответствует клетке, образованной пересечением меридианов и параллелей на гауссовой сфере, а значением в каждом пикселе изображения будет количество нормалей.

После построения ориентационных гистограмм $H_1(M, N)$ и $H_2(M, N)$ для двух моделей P_1 и P_2 соответственно осуществляется их анализ с использованием функции схожести

$$C(H_1, H_2) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M H_1(i, j) H_2(i, j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M H_1^2(i, j) \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M H_2^2(i, j)}}$$

с целью расчета матрицы поворота R , соответствующей максимальному значению функции.

Далее выполняется процедура поворота точечной модели P_2

$$P_2' = R_{Cmax} \cdot P_2,$$

после которой два трехмерных представления имеют одинаковую угловую ориентацию, но их взаимное расположение определяется следующим преобразованием:

$$P_2' = P_1 + T.$$

Практическая реализация алгоритма

На основании рассмотренных алгоритмов был реализован программный продукт с использованием языка программирования C++ и среды разработки Visual Studio 2010, а также библиотека компьютерного зрения OpenCV.

Программный продукт позволяет осуществить:

1. Визуализацию точечных трехмерных объектов.
2. Построение и визуализацию ориентационных гистограмм (рис. 2).
3. Вычисление угловых параметров взаимной ориентации двух точечных моделей.
4. Поворот точечной модели.
5. Нахождение вектора сдвига с последующим преобразованием модели (рис. 3).

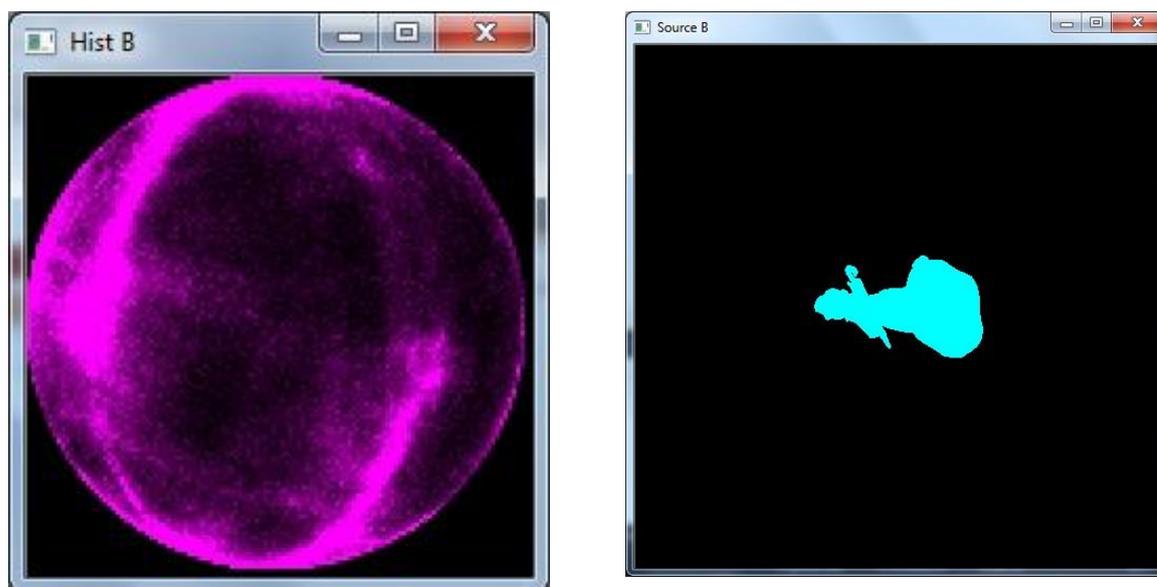


Рис. 2. Дискретная модель фигурки Чехова и соответствующая ей ориентационная гистограмма

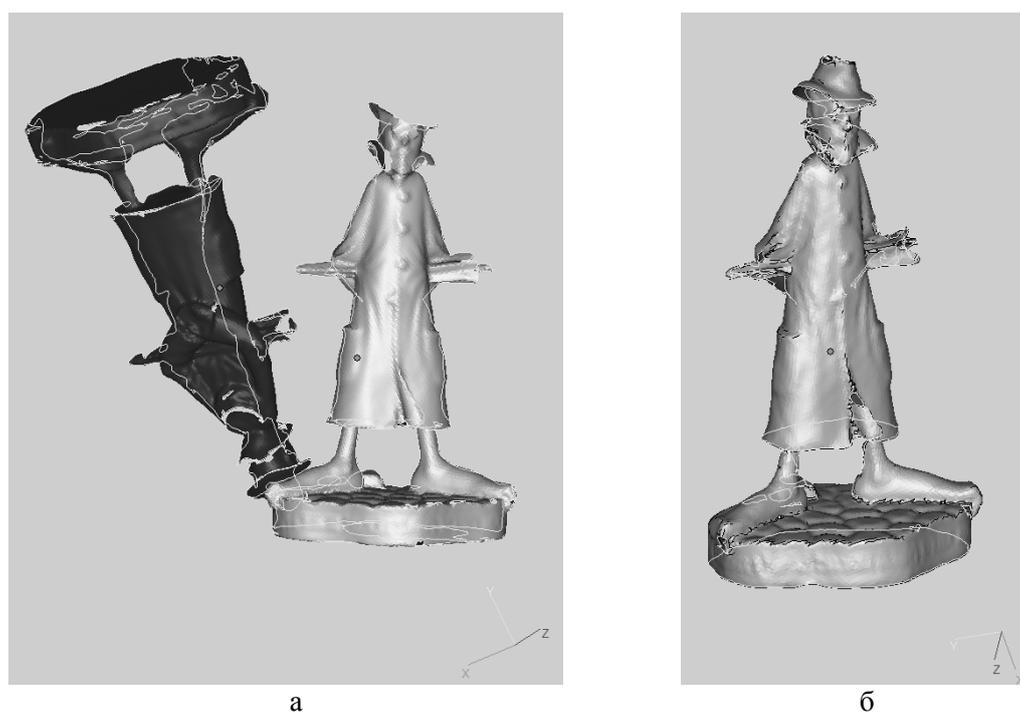


Рис. 3. Исходные модели P_1 и P_2 (а) и результат их совмещения (б) (изображения моделей представлены в программе отображения MiniMagics 2.0)

Заключение

В работе рассмотрен итеративный алгоритм ближайшей точки, применяемый для взаимного ориентирования двух точечных моделей трехмерных объектов. Указаны его недостатки в виде необходимости указания начальных значений матрицы поворота и вектора сдвига. Рассмотрен вариант модификации алгоритма, предложенного в [3] для преобразования моделей, представленных в триангулированном виде. Разработана программа, реализующая данный метод.

Предполагается проведение дальнейших исследований, направленных на улучшение визуализации отображаемых объектов и увеличение скорости обрабатываемых данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт компании Z Corporation. – URL: <http://www.zcorp.com/ru/Products/3D-Scanners> (дата обращения: 05.09.2014).
2. Besl, P.J., McKay, Neil D. A Method for Registration of 3-D Shapes // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – V. 14 (2). – 1992. – P. 239–256.
3. Велижев А.Б. Разработка и исследование алгоритмов автоматического взаимного ориентирования трехмерных дискретных моделей объектов, полученных в результате лазерного сканирования: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2008. – 78 с.
4. Horn B.K.P. Extended Gaussian images // Proceedings of the IEEE. – 1984. – V. 72 (12). – P. 1671–1686.

Поступила 06.10.2014