

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ БЕСКОНТАКТНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Черников Б.В.^{1,2}, Гайдук И.О.³, Борисова Е.А.²

¹ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ²РЭУ им. Г.В. Плеханова,

³Московский институт электронной техники
bor-cher@yandex.ru, igolgai@mail.ru, lb20062006@yandex.ru

Аннотация: С каждым днем растет интерес к технологиям трехмерного сканирования. Приоритетными являются технологии бесконтактного сканирования, так как они не разрушают объект исследования. Статья посвящена анализу основных методов трехмерного бесконтактного сканирования с целью определения наиболее сложных этапов.

Ключевые слова: бесконтактное сканирование, облако точек, совмещение.

Введение

В настоящее время все большую популярность набирают технологии 3D-печати и, как следствие, трехмерного сканирования. Согласно материалов различных интернет-ресурсов рынок 3D-сканеров должен достичь отметки приблизительно в \$5 млрд. в 2020 году и показать темпы роста годовой прибыли около 12%.

На текущий момент трехмерное сканирование применяется в промышленности в задачах виртуального испытания предлагаемых конструкций и для составления документации по существующим объектам. В архитектуре, строительстве и археологии с помощью данной технологии получают точные копии имеющихся объектов, что позволяет проводить ремонт и реставрацию в случае отсутствия официальной документации [1]. А также задача распознавания образов, которая применима как в военной сфере для обнаружения техники противника, так и в повседневной жизни в активно разрабатываемых в данный момент автопилотах и системах идентификации по лицу [2]. И это далеко не все возможные сферы применения.

Характеристика процесса формирования модели

Основная сложность процесса сканирования заключается в том, что любой объект, как микро, так и макроуровня невозможно полностью отсканировать с одного ракурса. Результатом сканирования, проведенного с одного ракурса, является набор координат поверхности объекта относительно сканирующего устройства, однако итогом сканирования объекта должна выступать единая модель, для получения которой проводится слияние облаков точек полученных с разных ракурсов в единое облако, которое в результате триангуляции станет трехмерной моделью. Процесс слияния – сложная и ресурсоемкая математическая задача.

Составление единой трехмерной модели на основе данных многокурсного бесконтактного сканирования происходит в несколько этапов (рис.1).

Проблема полноты покрытия сканируемого пространства возникает во всех областях задачи сканирования. С высокой точностью можно сканировать лишь относительно небольшие участки поверхности из-за ограниченной чувствительности аппаратных решений. Это приводит к необходимости проводить сканирование каждого фрагмента объекта с нескольких ракурсов, что значительно увеличивает количество сканов.



Рис. 1. Этапы составления единой трехмерной модели [3]

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее трудоемким и ресурсозатратным этапом при создании единого облака точек на основе данных бесконтактного трехмерного сканирования является совмещение нескольких сканов в единую модель.

Актуальность и цель исследования

В связи с активным расширением потребности рынка в технологии трехмерного сканирования возникает необходимость совершенствования технологии в аспекте доступности и быстродействия. Трехмерное сканирование уже значительно повысило качество контроля выхода годных деталей на конвейерах, упростило жизнь дизайнерам и позволило сделать первые шаги к действующим системам автопилотирования. В то же время решение ряда весьма важных задач, обрабатываемых существующими разработками, может быть значительно упрощено благодаря повышению эффективности применяемого инструментария.

Целью данной статьи является анализ существующих методов совмещения нескольких облаков точек и определение подходов к формированию единой модели, а также определение задач дальнейшего исследования.

Совмещение с применением геолокации

Наиболее «непопулярным» методом на данный момент является совмещение облаков точек по геолокации. Сама по себе идея выглядит очень привлекательно, так как, зная положение сканирующего устройства в пространстве, для сборки единой трехмерной модели было бы необходимо лишь сместить матрицу координат облака точек на вычисленные координаты (X;Y;Z) и повернуть относительно начала координат в соответствии с показаниями встроенного компаса. Ключевой проблемой стала точность геолокации: нет никакого смысла в сканировании, проводимом с точностью до миллиметров, если способ совмещения дает погрешность в пару метров в лучшем случае.

Несмотря на перечисленные недостатки нельзя сказать, что геолокация абсолютно игнорируется современными методами совмещения нескольких облаков точек. Чаще всего она используется как вспомогательный инструмент для ориентировочного сопоставления данных, после чего запускаются более точные и эффективные, однако и более ресурсоемкие, методы.

Совмещение по совокупности положений сканера

Метод, осуществляющий сборку модели по строго заданной очередности прохода состояний и расстояний между ними, во многом напоминает метод сканирования с использованием данных геолокации. Итоговое облако создается в процессе сканирования без дополнительных затрат на совмещение, но это справедливо только для объектов сопоставимых с габаритами установки.

Подобный алгоритм применяется в сканерах объектов с поворотным столом либо системой перемещения по координатной сетке. Но даже в случае совпадения размеров сканируемого предмета и возможностей установки могут возникнуть трудности. В частности, хоть точность шаговых

двигателей и червячных механизмов гораздо выше, чем определение положения по геолокации, они обладают погрешностью, которая для данных механизмов накапливается на сотые доли процента от размера шага. Это вносит серьезную погрешность при малом размере шага и может быть устранено только при проходе калибровочных отметок, что было выяснено при проведении собственного натурального эксперимента.

Оптимально метод, осуществляющий сборку модели на основе строго заданной очередности прохода состояний и расстояний между ними, использовать в задачах, не требующих высокой точности. К таким задачам можно отнести, например, перенос реальных объектов в виртуальную реальность в сфере развлечений, поскольку никакого особого влияния на результат небольшое несоответствие модели реальному объекту не повлечет. В задачах же, имеющих высокие требования к достоверности объекта, данный метод допустим к использованию, но лишь с условием последующей дополнительной обработки одним из более точных алгоритмов совмещения.

Совмещение по маркерам

Наиболее быструю сборку единой трехмерной модели на основе данных сканирования обеспечивает метод совмещения облаков точек по маркерам. В основе данного метода лежит предварительное расположение маркеров на объекте исследования, которые будут выступать в качестве опорных объектов. Простановка трех маркеров в области видимости двух устройств позволяет однозначно идентифицировать взаимное расположение сканирующих модулей относительно друг друга.

С точки зрения совмещения нескольких облаков точек метод с маркерами представляется идеальным, однако существует несколько аспектов, которые делают перечисленные достоинства не столь значительными.

Во-первых, метки на объекте должны располагаться таким образом, чтобы в области видимости сканера постоянно находилось как минимум три маркера. Во-вторых, серьезной проблемой становится конструкция меток и их определение в области видимости устройства.

Метод идентификации положения устройства относительно объекта по маркерам является одним из приоритетных для данной области, однако необходимость предварительной простановки меток существенно снижает его достоинства.

Совмещение по опорным объектам

Последним из рассматриваемых методов совмещения нескольких облаков точек в единую трехмерную модель является метод алгоритмического совмещения по опорным объектам.

Данный метод работает схожим образом с упоминавшейся модификацией метода, использующего маркеры определенной формы, только форма предмета-метки заранее неизвестна. Форма опорных объектов выбирается в зависимости от конфигурации контуров объекта исследования. Поскольку расположение этих объектов относительно сканирующего модуля однозначно характеризует его местоположение, они выступают в качестве маркеров естественного происхождения.

К недостаткам данного метода относится, в первую очередь, необходимость проведения предварительной триангуляции облака точек для поиска опорных объектов. Таким образом, вместо однократного вычисления триангуляционной модели, объем вычислений вырастает в $N * k$ раз, где N – количество облаков точек для совмещения, k – отношение количества точек в облаке к общему количеству точек в итоговой модели. Во-вторых, следует обратить внимание на необходимость задания формы опорных объектов в зависимости от типа сканируемого объекта. В-третьих, общая вычислительная сложность метода является достаточно высокой, как в области поиска опорных объектов, так и в области последующего сравнения произвольных точек с целью определения корректности проведенного слияния.

Сравнительный анализ методов совмещения облаков точек

Для проведения сравнительного анализа методов совмещения нескольких облаков точек в одно необходимо учитывать следующие критерии: точность, наличие подготовки объекта к сканированию, скорость совмещения и допустимые размеры объектов. Метод совмещения облаков точек на основе определения опорных объектов дает наибольшую свободу пользователю в области выбора объекта исследования и общей гибкости алгоритма, что отражено в табл. 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ методов совмещения облаков точек

| Методы | Критерии | | | | |
|------------------------------------|------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Высокая точность | Отсутствует подготовка к сканированию | Быстрый процесс совмещения | Сканирование макрообъектов | Сканирование микрообъектов |
| Использование геолокации | - | + | - | + | - |
| Сканирование с фиксированным шагом | + | - | - | +/- | +/- |
| Совмещение по маркерам | + | - | + | + | +/- |
| Определение опорных объектов | + | + | - | + | +/- |

Обобщая результаты проведенного анализа, необходимо отметить общую проблему всех рассмотренных методов и трехмерного сканирования в целом. Проблема заключается в возникновении областей на итоговой модели, либо не содержащих ни одной точки, либо содержащих слишком малое количество точек для достоверного воспроизведения объекта.

Наименьшие сложности вызывает эта проблема при использовании метода, работающего с маркерами, в силу его наименьшей вычислительной сложности, так как для ее решения нужно будет лишь снять еще одно облако точек с подходящей позиции.

Направления последующего исследования

В настоящее время активно развиваются технологии трехмерной печати биологическими материалами и промышленного прототипирования. Данное развитие стимулирует совершенствование технологий бесконтактного сканирования. Основной упор при разработке новых методов следует сделать на унификацию существующих решений, сокращение времени и ресурсоемкости проведения сканирования.

Направлением дальнейшего развития методов совмещения нескольких облаков точек в единую 3D-модель целесообразно принять разработку эффективных алгоритмов поиска опорных объектов на основе использования искусственных нейронных сетей. Такой подход обеспечит возможность определения опорных объектов на более раннем этапе по сравнению с действующими аналогами. Подобные алгоритмы позволят значительно сократить вычислительную сложность операции совмещения облаков точек и минимизировать участие оператора. В рамках исследований по реализации этого подхода необходимо решить следующие задачи.

1. Проанализировать существующие методы совмещения нескольких облаков точек в единую модель.
2. Разработать и проанализировать архитектуры нейронных сетей, характерных для задач распознавания образов.
3. Сформировать алгоритм и методику нахождения опорных объектов в исходных данных на базе искусственных нейронных сетей.
4. Проанализировать преимущества новой методики по сравнению с существующими.

Выводы

1. На основании проведенного анализа методов решения проблем совмещения нескольких облаков точек в одно и их недостатков наиболее универсальным следует признать метод совмещения на основе определения опорных объектов.

2. В качестве основного недостатка метода совмещения облаков точек через определение опорных объектов выделена высокая вычислительная сложность и чувствительность к выбору геометрических примитивов, фигурирующих в качестве опорных объектов. Высокая загрузка вычислительных ресурсов обуславливает несовершенство существующих методов и требует поиска путей сокращения этой нагрузки.

3. Сформулированы цели и задачи на последующее исследование, направленное на совершенствование методов получения единой 3D-модели на основе использования искусственных нейронных сетей. Предполагается, что совершенствование алгоритмов обработки результатов сканирования позволит степень влияния недостатков методов построения единой 3D-модели.

Литература

1. Вавулин М., Зайцева О., Пушкарев А. Методика и практика 3D сканирования разнотипных археологических артефактов // Сибирские исторические исследования. 2014. № 4. С. 21-37.
2. Жулев Е.Н., Еришов П.Э. Методика контактного 3D сканирования окклюзионной поверхности зубных рядов // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2007. № 2. С. 81-87.

3. *Овечкин Р.М., Финогеев А.Г.* Синтез трехмерных объектов на основе технологий светового и ультразвукового сканирования // Тр. Межд. симпозиума «Надежность и качество». – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2010. Т. 1. С. 20-22.