

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ СШИВКИ ЛАЗЕРНЫХ СКАНОВ

В работе представлен обобщенный обзор существующих методов сшивки лазерных сканов при выполнении наземного лазерного сканирования. Указаны основные преимущества и недостатки существующих методов сшивки и главные условия реализации того или иного метода.

Постановка проблемы Технологии наземного лазерного сканирования являются одним из наиболее динамично развивающихся направлений современной геодезии. На данном этапе мы имеем дело с так называемым "третьим поколением" наземных лазерных сканеров. На рынок геодезических приборов вышли компании до этого неизвестные большинству геодезистов. Производители лазерных сканеров предлагают множество различных моделей сканеров, которые кроме чисто конструктивных особенностей разнятся по многим параметрам, таким как: точность измерения углов и расстояний, точность компенсации углов наклона, угол поля зрения сканера, максимальное расстояние сканирования и программное обеспечение для обработки результатов сканирования. Главными особенностями того или иного программного обеспечения являются методы и алгоритмы камеральной обработки материалов сканирования, а именно: фильтрация грубых ошибок лазерных сканов, построение пространственных моделей объектов по данным сканирования, объединение отдельных сканов в одну общую систему координат. Заметим, что в случае, когда объект может быть целиком захвачен с одной точки сканирования последний из пунктов, а именно объединение отдельных сканов в одну общую систему координат, отпадает. Однако в практике инженерных работ это случается весьма редко. Поэтому реализации различных вариантов объединения отдельных сканов в одну общую систему координат представляет собою актуальную проблему, анализу и исследованию которой мы хотим уделить значительное внимание.

Обзор предыдущих публикаций Количество публикаций и научных работ, которые связаны с поставленной нами проблемой довольно велико. Большинство работ, однако, посвящены реализации того или иного метода сшивки сканов, в общую систему координат исходя из модели конкретного лазерного сканера, и не указывают вид задач, для решения которых может применяться тот или иной метод сшивки сканов. Следует в первую очередь указать на работы [5, 6], в которых выполнен обзор некоторых методов сшивки сканов, а также [5], где предложен свой оригинальный метод. Попытка выполнить, небольшой анализ сделана также в работе [7], правда, без конкретных выводов. В работах [1-4, 8] проведено исследование точности отдельных методов сшивки сканов для решения конкретных инженерных задач.

Цель работы выполнить обобщенный обзор существующих методов сшивки лазерных сканов при выполнении наземного лазерного сканирования. Указать основные преимущества и недостатки существующих методов сшивки.

Основное содержание работы Технологическая схема выполнения работ по наземному лазерному сканированию во многом напоминает технологию наземной фотогеодолитной съемки. Комплекс работ в классическом варианте включает в себя такие основные процессы: рекогносцировка и выбор точек стояния сканера; определение зон перекрытия соседних сканов и расположение в зонах перекрытия опорных точек; по-

строение планово-высотной сети с определением пространственных координат точек стояния сканера и опорных точек; непосредственное выполнение лазерного сканирования; камеральная обработка отдельных сканов; сшивка сканов в одну точечную модель и геодезическое ориентирование этой модели; создание модели объекта методом триангуляции Делоне, либо выделение конкретных моделей объектов на сканах методами аппроксимации поверхностей; получение конкретных данных по полученной модели. Обобщенная технологическая схема выполнения работ по лазерному сканированию представлена на рис. 1.

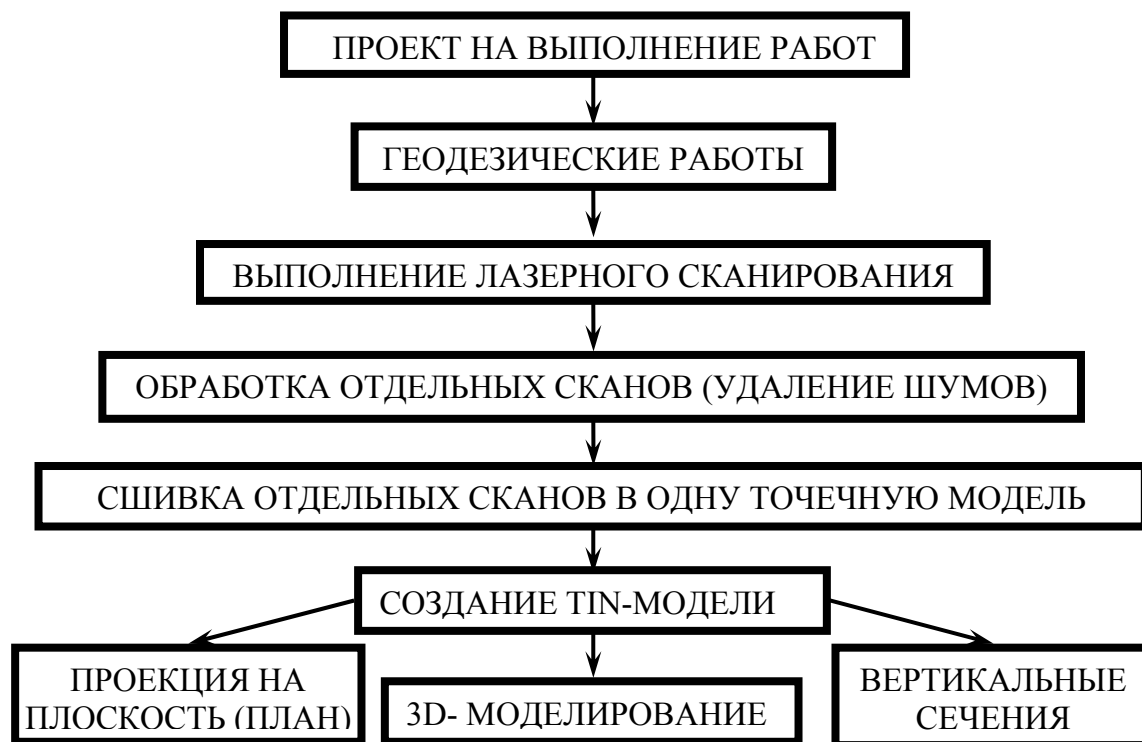


Рис. 1. Технологическая схема выполнения работ по лазерному сканированию

Говоря теперь о возможных методах сшивки лазерных сканов в одну точечную модель в одной системе координат, целесообразно привести принципиальную схему определения координат лазерным сканером.

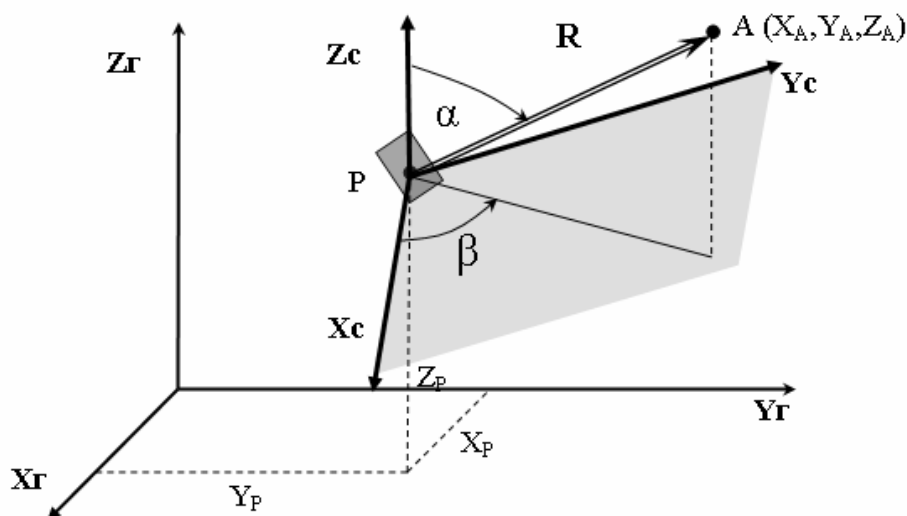


Рис. 2. Принципиальная схема определения координат лазерным сканером

В соответствии с рис. 2 координаты точек каждого отдельного скана, полученного с точки стояния P имеют свою собственную систему координат, а именно пространственные координаты точки начала P , углы ориентации и при наличии систематического влияния на измеренные расстояния, свой масштабный коэффициент. Благодаря наличию устройства для компенсации углов наклона измерительной системы сканера, значительное значение имеет только угол разворота одной системы координат относительно другой в плоскости XU .

На основе анализа можно выделить следующие возможные методы сшивки лазерных сканов:

1. Сшивка по маркам-сферам производителя конкретного лазерного сканера;
2. Сшивка по плоским маркам-отражателям на поверхности объекта;
3. Сшивка по характерным точкам объекта;
4. Непосредственная геодезическая привязка сканера;
5. Мобильная лазерная съемка;
6. Итерационный метод ближайшей точки;
7. Сшивка по выделенным структурным линиям;
8. Сшивка по выделенным поверхностям и объектам;
9. Методы, основанные на использовании фотографических изображений.

Выполним теперь детальный анализ каждого из методов. Во-первых, разделим методы сшивки на две группы. Первая группа включает в себя методы 1-5, и позволяет получить точечную модель сразу в принятой геодезической системе координат. Вторая группа включает методы 6-9 и позволяет построить точечную модель, которая будет произвольно ориентирована относительно геодезической системы координат. Каждый метод будем характеризовать по четырем основным пунктам: реализация метода, преимущества, недостатки, сфера применения.

Метод 1. Реализация. Использует специальные сферические марки-отражатели, которые устанавливаются на штативы. Такие марки автоматически распознаются на сканах с помощью программного обеспечения данного лазерного сканера. Если марки установлены на точки с известными геодезическими координатами, то отдельный скан можно сразу сориентировать в геодезической системе координат. В общем, этот метод представляет собой аналог фототриангуляции с использованием координат опорных точек.

Преимущества. Метод прост с вычислительной точки зрения и обеспечивает высокую точность сшивки сканов.

Недостатки. Требуется покупка соответствующих марок-сфер и использования геодезического оборудования соответствующей точности. Комплекс полевых работ занимает большое количество времени. В каждом перекрытии соседних сканов должно быть минимум 3 марки-сферы.

Сфера применения. Благодаря высокой точности и возможности получения геодезических координат объекта метод может применяться для решения большинства задач инженерной геодезии, где точность находится на уровне 2-5 мм.

Метод 2. Реализация. Использует специальные марки-отражатели, которые крепятся на поверхности объекта. Марки распознаются на сканах в интерактивном режиме. Если координаты марок определены геодезическими методами, то отдельный скан можно сразу сориентировать в геодезической системе координат. Этот метод также представляет собой аналог фототриангуляции с использованием координат опорных точек.

Преимущества. Метод прост с вычислительной точки зрения и обеспечивает высокую точность сшивки сканов.

Недостатки. Требуется много времени на закрепление отражательных марок и использования геодезического оборудования соответствующей точности. Комплекс полевых работ занимает большое количество времени. В каждом перекрытии соседних сканов должно быть минимум 3 марки-отражателя.

Сфера применения. Сфера применения аналогична *Методу 1*.

Метод 3. Реализация. Использует характерные точки на поверхность объекта. Точки распознаются на сканах в интерактивном режиме. Если точки определены геодезическими методами, то отдельный скан можно сразу сориентировать в геодезической системе координат. В качестве характерных точек могут браться объекты с определенной отражающей способностью, а также контурные элементы.

Преимущества. Метод прост с вычислительной точки зрения и не требует размещения контрольных точек на объекте.

Недостатки. Поскольку точно идентифицировать положение характерных точек нельзя, то точность метода значительно ниже в сравнении с *Методом 1* и *Методом 2*. Комплекс геодезических работ занимает большое количество времени.

Сфера применения. Точность метода ниже в сравнении с первыми двумя и находится на уровне 3-10 см. Метод может применяться для создания архитектурных чертежей, 3D - моделирования зданий и памятников архитектуры.

Метод 4. Реализация. При реализации метода используется комплект геодезического оборудования, который может включать: GPS приемники, датчики наклона и разворота, электронный тахеометр. Положение и ориентация сканера определяются на местности с помощью геодезического оборудования. Метод представляет собой аналог фототриангуляции с известных элементов внешнего ориентирования.

Преимущества. Метод прост с вычислительной точки зрения, поскольку каждый скан уже ориентирован в геодезической системе координат. Перекрытие между сканами может быть всего 5%.

Недостатки. Требуется наличия дорогого геодезического оборудования. Комплекс полевых работ занимает большое количество времени.

Сфера применения. Точность метода ниже в сравнении с первыми двумя и находится на уровне 2-5 см. Метод может применяться для создания архитектурных чертежей, 3D - моделирования зданий и памятников архитектуры, топографической съемки, определения объемов земляных работ и пр.

Метод 5. Реализация. При реализации метода используется комплект геодезического оборудования и транспортное средство. В комплект геодезического оборудования входят: GPS приемники, инерциальная навигационная система. Положение и ориентация сканера определяются на местности с помощью геодезического оборудования. Метод представляет собой аналог мобильной картографической системы с использованием вместо цифровых камер лазерного сканера.

Преимущества. Каждый скан уже ориентирован в геодезической системе координат. Перекрытие между сканами может быть всего 5%.

Недостатки. Требуется наличия дорогого геодезического оборудования. С вычислительной точки зрения является достаточно сложным, особенно при обработке геодезических измерений.

Сфера применения. Точность метода находится на уровне 5-10 см. Метод может применяться для решения задач мониторинга состояния объектов, 3D - моделирования зданий и памятников архитектуры, топографической съемки, определения объемов земляных работ и пр.

Метод 6. Реализация. Метод не требует наличия искусственных марок или контурных точек. Перекрытие между сканами задается интерактивно. В основе вычислительного алгоритма метода лежит процесс поиска двух ближайших точек на смеж-

ных сканах и вычислении для них параметров преобразования. Существует несколько разновидностей данного метода: соответствие точки к точке, соответствие точки к касательной и соответствие точки к ее проекции. Конкретную реализацию каждого из этих алгоритмов можно найти в литературе [5]. После нахождения элементов преобразования между каждой парой точек, первый скан принимается за неподвижный, а второй разворачивается относительно первого.

Преимущества. Не требует проведения никаких полевых работ, кроме непосредственно сканирования.

Недостатки. Требуется наличия значительного перекрытия между сканами. Одновременно можно ориентировать только два скана. Грубые ошибки должны быть полностью удалены до начала сшивки сканов. Точки получают в условной системе координат.

Сфера применения. Точность метода находится в пределах 10-20 см. Основное применение данного метода может иметь при 3D - моделировании объектов в информационных системах.

Метод 7. Реализация. При реализации метода используются алгоритмы выделения граней (прямых) объектов на каждом отдельном лазерном скане. После процедуры выделения или сегментации прямой следует аппроксимация прямой. Взаимная ориентация сканов определяется минимум по трем прямым, которые находятся в перекрытии. Метод не использует искусственные марки, но требует наличия четких граней на объекте.

Преимущества. Не требует проведения никаких полевых работ, кроме непосредственно сканирования.

Недостатки. Требуется наличия значительного перекрытия между сканами. Точки получают в условной системе координат. Большое отрицательное значение на точность метода имеет разрешающая способность сканера.

Сфера применения. Точность метода находится в пределах 5-20 см. Основное применение данного метода может иметь при 3D - моделировании объектов в информационных системах и архитектурных обмерах зданий.

Метод 8. Реализация. При реализации метода используются алгоритмы выделения конкретных объектов (плоскость, сфера, цилиндр, конус, тор) на каждом отдельном лазерном скане. В данном методе последовательность действий следующая: сегментация, аппроксимация поверхности, сшивка. Для реализации метода необходимо наличие минимум двух объектов в перекрытии соседних сканов. Метод не использует искусственные марки, но требует наличия перечисленных выше объектов в перекрытии соседних сканов.

Преимущества. Не требует проведения никаких полевых работ, кроме непосредственно сканирования.

Недостатки. Требуется наличия значительного перекрытия между сканами. Точки получают в условной системе координат. Главным условием метода есть наличие минимум двух объектов (плоскостей, сфер, цилиндров и т.д.) в зоне перекрытия.

Сфера применения. Точность метода находится в пределах 3-5 см. Основное применение данного метода может иметь съемке промышленных объектов, где присутствует большое количество геометрически правильных объектов.

Метод 9. Реализация. При реализации метода используется цифровая фотокамера. В основе вычислительного алгоритма находится процедура поиска взаимного соответствия точек на фотоизображении и лазерном скане. Критерием соответствия может быть, например яркость изображения точки на снимке и интенсивность отражения точки на лазерном скане. Таким образом, определяют пары соответственных точек на

соседних сканов. Метод не использует искусственные марки, но требует наличия объектов с различной отражательной способностью.

Преимущества. Не требует проведения никаких полевых работ, кроме непосредственно сканирования и цифровой фотосъемки.

Недостатки. Точки получают в условной системе координат. Главным условием метода есть наличие объектов с различной отражательной способностью в зоне перекрытия.

Сфера применения. Точность метода находится в пределах 3-5 см. Метод может применяться для решения задач мониторинга состояния объектов, 3D - моделирования зданий и памятников архитектуры, топографической съемки и пр.

В заключение хочется отметить, что перечисленные выше методы являются базовыми при сшивке лазерных сканов. В зависимости от условий конкретного проекта возможна полная или частичная комбинация перечисленных выше методов.

Выводы. В работе представлен обзор базовых методов сшивки лазерных сканов с указанием специфики их реализации и основных преимуществ и недостатков каждого конкретного метода. Значительное внимание уделено необходимым условиям реализации различных методов сшивки лазерных сканов.

Перспективы. Очевидно, что представленная в работе тема исследования является перспективной сразу по нескольким направлениям. Первое это исследование точности изложенных выше методов и возможностей ее повышения. Второе, наличие большого количества методов сшивки свидетельствует об отсутствии оптимального метода, поиск которого становится самостоятельной задачей.

Библиографический список

1. **Коугия В., Канахин Н.** Исследование точности объединения облаков точек, полученных по данным лазерного сканирования. // Сучасні досягнення геодезичної науки і техніки, Львів, 2008 р. – С. 87-912. **Milev I., Gruendig L.** Terrestrial Laser Scanning Applied for Reverse Engineering and Monitoring of Historical Buildings. // Integrating Generations FIG Working Week 2008, Stockholm, Sweden 14-19 June 2008, TS 5C – Structural Monitoring.
3. **Paffenholz J-A., Kutterer H.** Direct Georeferencing of Static Terrestrial Laser Scans. // Integrating Generations FIG Working Week 2008, Stockholm, Sweden 14-19 June 2008, TS 1HC – Developments in Scanner and Sensor Technologies.
4. **Brenner C., Dold C., Ripperda N.** Coarse Orientation Terrestrial Laser Scans in urban environments. // Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, - 2008, - № 63 - p 4-18.
5. **Elkhrachy I.**, Towards an Automatic Registration for Terrestrial Laser Scanner Data. Thesis for the Degree of Master of Science. Institut fur Geodasie und Photogrammetrie, Technische Universitat Braunschweig, Germany, - 2008, - p. 128.
6. **Rabbani T.**, Automatic Reconstruction of Industrial Installations Using Point Clouds and Images. Thesis for the Degree of Doctor of Science. Nederlandse Commissie voor Geodesie Netherlands Geodetic Commission Delft, May 2006, p. 175.
7. **Волкович Е. В.** Разработка технологии получения электронных крупномасштабных планов сложных инженерных сооружений по результатам наземной лазерной съемки: Автореф. дис. кандидата техн. наук: 25.00.35/ Московский Государственный Университет Геодезии и Картографии – М., — 2007 г. - 22 с.
8. **Комиссаров Д.В., Комиссаров А.В.** Разработка и исследование методики прокладки сканерных ходов. // Геодезия и картография, Москва, - 2008. - №4. – С. 14-16.

© Шульц Р. В., 2009