Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и тоннелей

УДК 625.76

© С. А. Евтюков, д-р техн. наук, профессор
© Н. В. Перевалов, студент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: evtyukovs@gmail.com, laym96@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-4-132-137

© S. A. Evtyukov, Dr. Sci. Tech., Professor
© N. V. Perevalov, student
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: evtyukovs@gmail.com, laym96@mail.ru

ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

LASER SCANNER TECHNOLOGIES AT ROAD CONSTRUCTION AND RECONSTRUCTION WORKS

Освещена прикладная методика использования инновационной технологии лазерного сканирования и выявлен наиболее полезный тип лазерного сканирования для работ, связанных со строительством автомобильных дорог.

Ключевые слова: лазерное сканирование, инновации, 3D-моделирование, облако точек.

The article highlights the applied method of innovative laser scanning technology and reveals the most useful type of laser scanning for works related to the construction of motor roads.

Keywords: mobile laser scanning, innovations, 3D-modeling, cloud of points.

Для обоснования выбора оптимальных проектных решений конструкций автомобильной дороги, рациональной технологии строительства, правильной эксплуатации и своевременного ремонта необходима разработка проектной документации на всех стадиях жизненного цикла автомобильной дороги: на стадиях проектирования, строительства, эксплуатации. В настоящее время все это осуществляется на основе данных геодезических съемок, выполненных традиционным способом (GPS, тахеометр, нивелир). Съёмочные точки при этом не полностью описывают поверхность и ее дефекты, а из-за возросшего транспортного потока некоторые участки дорог отснять невозможно. Но применение персональных компьютеров позволило автоматизировать этот процесс и привлечь новые технологии. Для проектирования автомобильных дорог с применением комплексов автоматизированного проектирования (САПР — систем автоматизированного проектирования (CAD — Computer

Aided Design)) необходимо отображение существующей ситуации в цифровом виде, т. е. проведение инженерно-геодезических изысканий, результатом которых является цифровая модель рельефа (ЦМР) или цифровая модель местности (ЦММ). Технология лазерного сканирования позволяет получать трехмерные модели местности в кратчайшие сроки с высокой точностью.

Среди обилия информации о процессе лазерного сканирования автомобильных дорог и методике его выполнения нет понимания применения результатов сканирования на конкретных объектах строительства. И на нынешний день в этой сфере задействовано множество различных видов этой технологии, что создает дополнительные затруднения при разработке конкретной, закреплённой законом, последовательности работ.

Выделяют три основных вида лазерного сканирования автомобильных дорог как линейно-протяженных геопространственных объектов:

- НЛС — наземное лазерное сканирование (сканирование происходит стационарным сканером);

- ВЛС — воздушное лазерное сканирование (сканер устанавливается на летательный аппарат);

- МЛС — мобильное лазерное сканирование (сканер устанавливается на автомобиль).

В процессе сканирования регистрируется направление распространения лазерного луча и расстояние до точек объекта. В результате имеем массив точек лазерных отражений (ТЛО) от объектов, находящихся в поле зрения сканера, и пять их характеристик:

- координаты в пространстве (x, y, z);

- интенсивность;

- реальный цвет.

Исходя из задач строительства и ремонта автомобильных дорог, а также на основе достоинств и недостатков различных сканирующих систем, приведенных в табл. 1 и 2, для целей строительства, реконструкции и ремонта автодорог наиболее подходящей и перспективной технологией съемки является мобильное лазерное сканирование.

Технические характеристики различных видов лазерного сканирования

Мобильный лазерный сканер — это геодезический прибор, устанавливаемый на крышу автомобиля. Автомобиль, перемещаясь по дороге

Таблица 1

Преимущества и недостатки различных видов лазерного сканирования

Метод сканирования	Преимущества	Недостатки
Наземное	<ul style="list-style-type: none"> • Достаточная плотность вблизи объекта; • съемка в сложных дорожных условиях, не перекрывающая движение 	<ul style="list-style-type: none"> • Точность и плотность точек уменьшается с увеличением расстояния и угла падения луча до измеряемой поверхности; • чем больше протяженность участка сканирования, тем больше требуется стоянок и марок; при этом накапливается погрешность; • дальность действия наземного лазерного сканера зависит от рельефа и составляет не более 150 м с допустимой точностью 3,5 мм; • для контроля на этапе перехода между стоянками требуется дополнительный геодезический прибор для определения координат марок
Воздушное	<ul style="list-style-type: none"> • Возможно получить высокую плотность точек; • наиболее быстрый, полный и достоверный способ сбора пространственно-геометрической информации о труднодоступных (заболоченных и залесенных) территориях [5] 	<ul style="list-style-type: none"> • Точность не более 10 см в плане и 15 см по высоте; • точность лазерного сканирования — непостоянная величина, поскольку на нее влияет большое количество факторов: нестабильная скорость и высота полета, состояние атмосферы; • необходима классификация облака лазерных точек, т. е. разделение на группы по принадлежности к объектам (неизбежны ошибки при классификации ТЛО) [5]; • зависимость от погодных условий; • необходимость в получении соответствующих разрешений, связанных как с вопросами секретности, так и с вопросами использования воздушного пространства для выполнения сканирования и аэро-съемки; • высокая стоимость комплекта оборудования
Мобильное	<ul style="list-style-type: none"> • Точность в плане и по высоте до 2 см (определение деформаций, колеиности, ровности); • съемка в сложных дорожных условиях, не перекрывающая движение; • равномерно плотное облако точек по всей длине сканируемого участка 	<ul style="list-style-type: none"> • Зависимость от погодных условий (нежелательна работа в дождь и снег, рабочая температура 0...+45 °С); • высокая стоимость комплекта оборудования

Таблица 2

Характеристики методов сканирования

Метод сканирования	Точность абсолютная	Точность относительная	Площадь сканирования в плане	Скорость сканирования автодороги	Предпочтительные цели сканирования
Наземное	2 см (точность определения координат марок)	3,5 мм на 150 м	0,0078 км ² (сканирование в радиусе 50 м)	0,02 км ² в день	Здания и сооружения
Мобильное	2 см (точность GPS-модуля)	3,5 мм на 100 м	10 км ² (100 км шириной сканирования 100 м)	100 км в день	Городские и загородные дороги, транспортные развязки
Воздушное	10 см в плане и 15 см по высоте	10 см в плане и 15 см по высоте	140 км ² (400 км шириной сканирования 350 м)	400 км в день	Залесенные и заболоченные территории со сложным рельефом

со скоростью до 100 км/ч, производит сканирование в радиусе 100 м. Оператор встроенного ПК на экране монитора в режиме реального времени отслеживает полноту и точность получаемых данных.

Принцип сканирования основан на технологии лазерного дальномера, вращающегося вокруг своей оси и регистрирующего свое местоположение. Для точной привязки сканера к существующей системе координат подбирают оптимальное расположение и количество базовых станций в зависимости от длины сканируемого участка.

В результате расчета данных сканера и базовых станций получается траектория, точность которой можно оценить в любой момент времени и местоположения. Данные с фотокамер совмещаются в панорамы, что позволяет идентифицировать объекты на участке (рис. 1).

Рассмотрим основные этапы обработки и применения данных сканирования, выведенные исходя из опыта работы на участках строительства автомобильных дорог:

1. Облако точек

При сканировании автодороги неминуемо возникают шумы (ненужные точки лазерных отражений): от проезжающего попутно и во встречном направлении транспорта, от шлейфа частиц воды за проезжающим автомобилем в плохую погоду, от люминесцентной разметки, содержащей стеклянные гранулы. Для дальнейшего извлечения данных (точек, полилиний, поверхностей) из облака точек необходимо убрать

точки, создающие шумы. Также облако точек содержит избыточную информацию о прилегающей местности (деревья, кусты, здания). Для этой цели подойдет решение от разработчиков компании Adtollo (Швеция) — Toroscad. В этой программе присутствует эксклюзивный функционал, позволяющий использовать интеллектуальные фильтры «по расстоянию» и «по сетке». Фильтр «по сетке»: программа проверяет облако точек и оставляет по одной точке на ячейку сетки, а пользователь задает размер ячейки и приоритет точек (нижние, средние, верхние). Таким образом, при фильтрации по сетке с приоритетом «нижних» точек программа удаляет «верхние» точки — заборы, деревья, столбы. Фильтр «по расстоянию» можно представить в виде сферы заданного пользователем радиуса, которая катится по точкам облака сверху или снизу (выбирает пользователь). Все точки, которые не касаются сферы, удаляются. В результате файл облака точек отсканированного 8-километрового участка дороги уменьшается с 8 Гб до 50 Мб, при этом плотность точек покрытия составляет 1 точка/25 см².

2. Примитивы

Для подсчета объемов работ по объекту ремонта — автодороге на начальном этапе требуются данные в виде точечных, линейных и площадных объектов, отображающих и ограничивающих существующие элементы покрытия, обустройства и инфраструктуры автодороги. В программном продукте от разработчиков ком-

Рис. 1. 3D-модель и панорама, полученные в результате сканирования

пании Topcon (Япония) — Mobile Master Office есть возможность создания, импорта (например, из проекта для сравнения) и экспорта отдельных точек, полилиний и контуров, полученных с соответствующих объектов на фотосферах или в 3D-пространстве облака точек.

3. Поверхности

Используя отфильтрованное облако точек и примитивы, при помощи программного комплекса Topomatic Robur (Россия) возможно создать проект ремонта автодороги, учитывающий дефекты существующего покрытия (в продольном и поперечном профиле), обладающий всеми необходимыми данными для подсчета объемов и видов работ (рис. 2). Например, картограмма фрезерования и выравнивания покрытия по заданным оптимальным условиям поверхности толщин с любым шагом (до 5 см) позволяет добиться идеальной ровности уже после прохода фрезы и точнее рассчитывать объемы асфальтобетона на выравнивание и верхние слои покрытия, тем самым экономить средства без лишнего износа техники. При необходимости контроля процесса строительства возможно осуществлять съемку сканером послойно. Подгружая каждую снятую поверхность, можно сверять проект-

ные данные с фактическими, измерять ровность в продольном и поперечном профиле (рис. 3).

Выводы

1. Использование мобильного лазерного сканирования при строительстве и ремонте автодорог позволяет:

- сократить время и расходы;
- свести к минимуму влияние человеческого фактора (операции выполняются в полуавтоматическом режиме);

Рис. 2. Схема дефектов покрытия, полученная на основе облака точек лазерного сканирования

Рис. 3. Поперечный профиль, полученный на основе облака точек лазерного сканирования

- иметь необходимую полноту данных об объекте строительства и сопутствующей инфраструктуре;

- выполнять сканирование без перекрытия движения (не создает пробки, безопасно для рабочих и окружающего транспорта).

2. Разработанный алгоритм получения и применения данных мобильного лазерного сканирования апробирован и применяется на участках строительства, реконструкции и ремонта автодорог Санкт-Петербурга, Ленинградской области, Республики Карелия, Мурманской области, Республики Крым в 2016–2018 гг.

Библиографический список

1. Рахимова И. А. Основы проектирования автомобильных дорог. Вологда: ВоГУ, 2014. 123 с.
2. Бойков В. Н., Федотов Г. А., Пуркин В. И. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог. М.: МАДИ (ГТУ), 2005. 224 с.
3. Байгулов А. Н., Романескул М. А., Шумилов Б. М., Губская М. М. Метод проектирования ремонтов автомобильных дорог на основе мобильного лазерного сканирования // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. № 1 (1). С. 29–32.
4. Середович В. А., Комиссаров А. В., Комиссаров Д. В., Широкова Т. А. Наземное лазерное сканирование. Новосибирск: СГГА, 2009. 18 с.
5. Кочнева А. А. Обоснование методики оценки качества построения цифровых моделей рельефа по данным воздушного лазерного сканирования при проектировании автодорог. СПб.: СПбГУ, 2016. 120 с.
6. Комиссаров А. В. Теория и технология лазерного сканирования для пространственного моделирования территорий. Новосибирск: СГГА, 2015. 103 с.
7. Рыльский И. А., Калинин И. В. Сравнение пригодности данных воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки с БПЛА для обеспечения проектных работ // Материалы Междунар. конф. «ИнтерКарто/ИнтерГИС», 2017. С. 31–46.
8. Медведев В. И., Сарычев Д. С., Скворцов А. В. Предварительная обработка данных мобильного лазерного сканирования в системе IndorCloud // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2 (3). С. 67–74.
9. Сарычев Д. С. Мобильное лазерное сканирование // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. № 1 (1). С. 37–41.
10. Мотуз В. О., Сарычев Д. С. Применение лазерного сканирования и 3D-моделей в жизненном цикле автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 1 (2). С. 12–15.
11. Бойков В. Н., Нефедов А. В., Шамраев Л. Г., Кравец Н. В., Дьяков Г. Г. Технический отчет по результатам сопоставительных испытаний лабораторий мобильного лазерного сканирования. М.: Автодор, 2013. 57 с.
12. Лигоцкий А. Н. Информационное моделирование при разработке проектной документации // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2016. № 2 (5). С. 12–18.
13. Ульрих А. Информационное наполнение облака точек при воздушном лазерном сканировании // Геоматика. 2015. № 4 (29). С. 25–31.

14. Ковач Н. С. Современные методы инженерно-геодезических изысканий для проектирования реконструкции и ремонта автомобильных дорог. М.: НИПИСтройТЭК, 2015. 71 с.

15. Скворцов А. В., Сарычев Д. С. Жизненный цикл проектов автомобильных дорог в контексте информационного моделирования BIM // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1 (4). С. 4–14.

References

1. Rakhimova I. A. *Osnovy proektirovaniya avtomobil'nykh dorog* [Basics of design of highways]. Vologda, VoGU Publ., 2014, 123 p.
2. Boykov V. N., Fedotov G. A., Purkin V. I. *Avtomatizirovannoe proektirovanie avtomobil'nykh dorog* [Automated design of highways]. Moscow, MADI (GTU) Publ., 2005, 224 p.
3. Baygulov A. N., Romaneskul M. A., Shumilov B. M., Gubskaya M. M. *Metod proektirovaniya remontov avtomobil'nykh dorog na osnove mobil'nogo lazernogo skanirovaniya* [Design method of repair works at highways on the basis of mobile laser scanning]. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog – CAD and GIS of highways*, 2013, no. 1 (1), pp. 29–32.
4. Seredovich V. A., Komissarov A. V., Komissarov D. V., Shirokova T. A. *Nazemnoe lazernoe skanirovanie* [Land laser scanning]. Novosibirsk, SGGA Publ., 2009, 18 p.
5. Kochneva A. A. *Obosnovanie metodiki otsenki kachestva postroeniya tsifrovyykh modeley reliefa po dannym vozdušnogo lazernogo skanirovaniya pri proektirovanii avtodorog* [Substantiation of the technique of assessing the quality of digital terrain models using the air laser scanning data at design of highways]. St. Petersburg, SPbGU Publ., 2016, 120 p.
6. Komissarov A. V. *Teoriya i tekhnologiya lazernogo skanirovaniya dlya prostranstvennogo modelirovaniya territoriy* [Laser scanning theory and technology for spatial terrain modeling]. Novosibirsk, SGGA Publ., 2015, 103 p.
7. Ryl'skiy I. A., Kalinkin I. V. *Sravnenie prigodnosti dannykh vozdušnogo lazernogo skanirovaniya i aërofotos'ëmki s BPLA dlya obespecheniya proektnykh rabot* [Comparison of suitability of data of air laser scanning and aerial photography with unmanned aerial vehicles (UAV) for ensuring project works]. *Trudy Mezhdunar. konf. «InterKarto/InterGIS»* [Proc. of the Int. conf. "Interkarto/InterGIS"]. 2017, pp. 31–46.
8. Medvedev V. I., Sarychev D. S., Skvortsov A. V. *Predvaritel'naya obrabotka dannykh mobil'nogo lazernogo skanirovaniya v sisteme IndorCloud* [Preliminary data processing of mobile laser scanning in the IndorCloud system]. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog – CAD and GIS of highways*, 2014, no. 2 (3), pp. 67–74.
9. Sarychev D. S. *Mobil'noe lazernoe skanirovanie* [Mobile laser scanning]. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog – CAD and GIS of highways*, 2013, no. 1 (1), pp. 37–41.
10. Motuz V. O., Sarychev D. S. *Primenenie lazernogo skanirovaniya i 3D-modeley v zhiznennom tsikle avtomobil'nykh dorog* [Application of laser scanning and 3D models in life cycle of highways]. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog – CAD and GIS of highways*, 2014, no. 1 (2), pp. 12–15.
11. Boykov V. N., et al. *Tekhnicheskiy otchet po rezul'tatam sopostavitel'nykh ispytaniy laboratoriy mobil'nogo lazernogo skanirovaniya* [Technical report on the results of comparative tests of mobile laser scanning laboratories]. Moscow, Avtodor Publ., 2013, 57 p.
12. Ligotskiy A. N. *Informatsionnoe modelirovanie pri razrabotke proektnoy dokumentatsii* [Information modeling at development of project documentation]. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog – CAD and GIS of highways*, 2016, no. 2 (5), pp. 12–18.
13. Ul'rikh A. *Informatsionnoe napolnenie oblaka tochek pri vozdušnom lazernom skanirovanii* [Information content of point cloud at air laser scanning]. *Geomatika – Geomatics*, 2015, no.4 (29), pp. 25–31.
14. Kovach N. S. *Sovremennyye metody inzhenerno-geodezicheskikh izyskaniy dlya proektirovaniya rekonstruktsii i remonta avtomobil'nykh dorog* [Modern methods of engineering and geodetic research for design of reconstruction and repair of highways]. Moscow, NIPIStroyTEhK Publ., 2015, 71 p.
15. Skvortsov A. V., Sarychev D. S. *Zhiznennyy tsikl proektov avtomobil'nykh dorog v kontekste informatsionnogo modelirovaniya BIM* [Life cycle of projects of highways in the context of information modeling of BIM]. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog – CAD and GIS of highways*, 2015, no. 1 (4), pp. 4–14.