



Индор-Лаб

Мобильное
лазерное
сканирование

Сарычев Д.С., к.т.н., директор по развитию ООО «ИндорСофт» (г. Томск)

В данной статье проводится обзор новой технологии геодезических изысканий и съёмок автомобильных дорог — мобильное лазерное сканирование. Рассматриваются сферы применения в дорожной отрасли и практические приёмы выполнения съёмки. Проводится краткий обзор основных решений от фирм-производителей мобильных лазерных сканеров.

Введение

Мобильное лазерное сканирование появилось около 10 лет назад и с тех пор сделало огромный технологический рывок от экспериментальных установок до законченных геодезических приборов. В России пионером мобильного лазерного сканирования является НПО «Регион», начавшее разработку собственной лаборатории в середине двухтысячных годов. Мобильное лазерное сканирование лучше всего подходит для выполнения измерений линейно-протяжённых объектов и в первую очередь, — автомобильных дорог. Результатом сканирования является очень подробный (плотный) набор (облако) трёхмер-

ных точек поверхности — сотни и тысячи измерений на 1 м^2 . Пример представлен на рис. 1. Сканирование производится, как правило, с автомобиля со скоростями от 10 до 90 км/ч в зависимости от требуемой плотности облака точек.

Главная причина выбора именно мобильного лазерного сканирования для изысканий — выполнение полевых измерений с очень высокой скоростью и подробностью.

В 2012 году под эгидой Государственной компании Российские автомобильные дороги были проведены сопоставительные испытания основных видов мобильных лазерных сканеров на участке автомобильной дороги М-4. Была про-

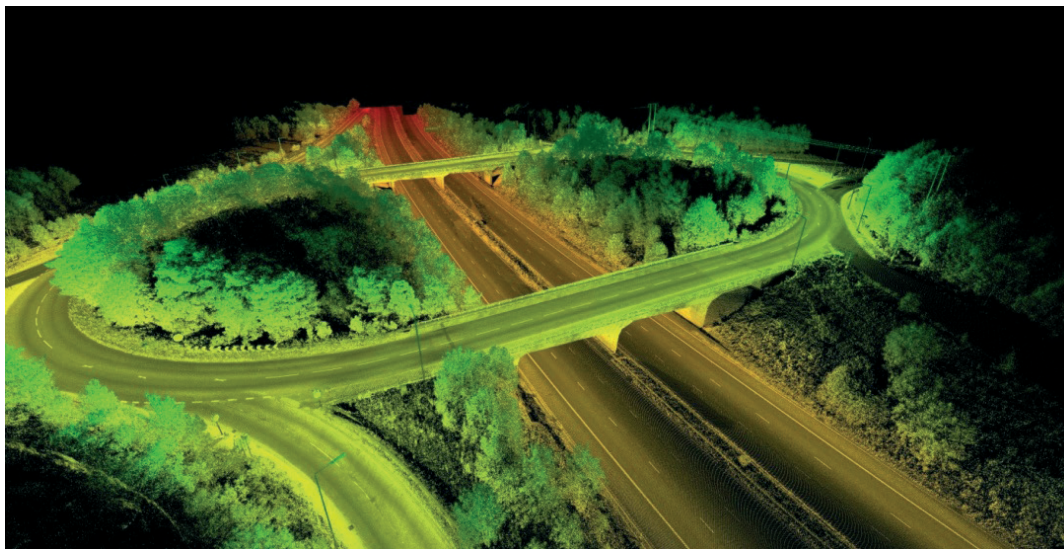


Рис. 1. Пример облака точек двухуровневой развязки на дороге I категории

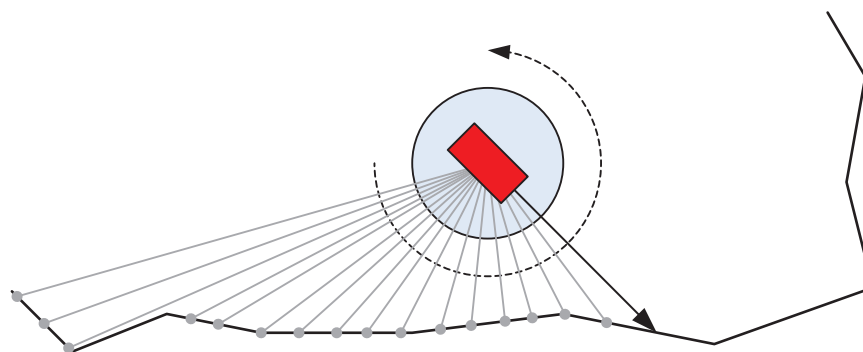


Рис. 2. Принцип работы лазерного сканера с вращающейся головкой

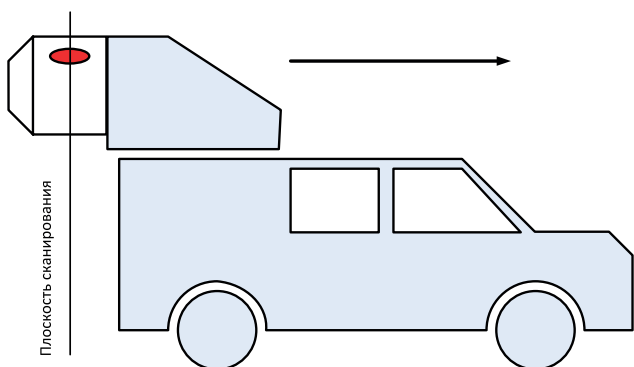


Рис. 3. Принцип работы мобильного лазерного сканера

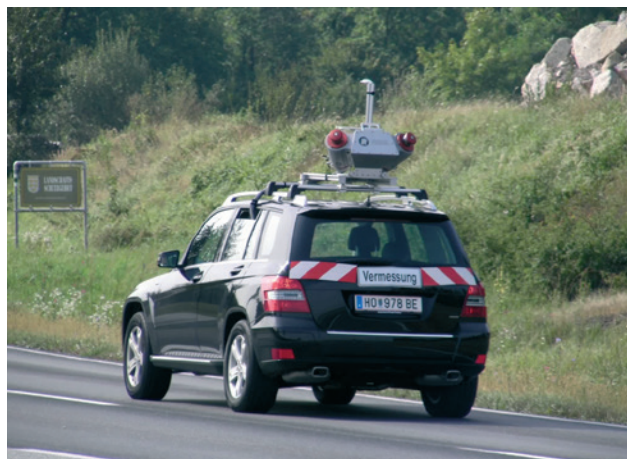


Рис. 4. Мобильный лазерный сканер фирмы Riegl



Рис. 5. Мобильный лазерный сканер фирмы IGI



Рис. 6. Мобильный лазерный сканер фирмы Optech



Рис. 7. Мобильный лазерный сканер фирмы Topcon



Рис. 8. Мобильный лазерный сканер фирмы MDL

демонстрирована готовность данной технологии для геодезических изысканий, в том числе таких ответственных, как для проектов ремонтов.

Принцип работы

Принцип работы мобильного лазерного сканирования достаточно прост. Высокоскоростной лазерный дальномер или его отклоняющее зеркало устанавливаются на вращающейся основе (обычно это называется «лазерная головка»). За один оборот головки дальномер делает тысячи измерений, что даёт «разрез» окружающего пространства в одной плоскости (рис. 2).

Если установить лазерную головку на шасси и начать поступательное движение под углом к плоскости сканирования, дальномер, по сути, с каждым оборотом головки будет снимать новую плоскость. В результате получится множество поперечных «разрезов» (сканов) вдоль направления движения (рис. 3).

Для вычисления координат отдельных точек лазерных сканов необходимо знать точное положение и ориентацию головки в пространстве в момент каждого измерения. Для этого используются инерциальные навигационные системы (ИНС), совмещённые с GPS/ГЛОНАСС-приёмником геодезического класса.

Обзор решений

Riegl

Riegl VMX-250, VMX-450 Mobile Laser Scanning System — компактная, гибкая и высокопроизводительная система мобильного лазерного сканирования. Просто и быстро монтируется и запускается в работу. Используется два сканера RIEGL VQ-250 или VQ-450, большая плотность точек (до 600 000 в секунду и 1 100 000 в секунду соответственно), расстояние измерений

до 300 м, учёт нескольких отражений одного импульса от поверхности. Онлайн-мониторинг процесса съёмки. Камеры (до 6 шт.), до 5 Мпикс/15 fps. Используемая ИНС — Applanix.

Внешний вид системы представлен на рис. 4.

Дистрибьюторы в России — «АртГео», НИПИ «Стройтек».

IGI

StreetMapper 360, совместная разработка британцев и немцев. 360-градусное поле зрения. Расстояние съёмки до 300 метров, плотность точек до 300 000 в секунду. Сканеры — те же RIEGL VQ-250 / VQ-450. Заявленная точность пикетов — не хуже 10 мм. Внешний вид системы представлен на рис. 5.

Дистрибьютор в России — не известно.

Ortech

Платформа Lynx разработана фирмой Ortech. Два сканера, до 4-х камер (5 Мпикс, 5 fps). Имеется две модификации — G1 (геодезического класса) и M1 (картографического класса). Сканеры собственного производства, частота измерений — до 1 200 000 точек в секунду. Известно, что используется ИНС Landis фирмы Ixsea. Внешний вид системы представлен на рис. 6.

Дистрибьютор Lynx в России — «Йена инструмент».

Topcon

Система IP-S2 Mobile Mapping System разработана фирмой Topcon. Используются достаточно известные и зарекомендовавшие себя компоненты: сканеры Sick LMS/Velodyne/Riegl, ИНС — FSAS SPAN или Honeywell H1700, ГНСС — собственная разработка, камера сферического обзора — PointGrey Ladybug.

Внешний вид системы представлен на рис. 7.

Дистрибьютор в России — «Геострой-изыскания».

MDL

MDL Dynascan Mobile Mapping System. Имеется несколько модификаций — с одной или двумя лазерными головками, ИНС «геодезического» или «ГИС-овского» классов.

Дальность до 250 м, СК точность 5 см/1 см, 36000–72000 точек/сек. Опция — тройная камера для «окрашивания» точек в естественные цвета.

Используемая ИНС — OxtS 3000 с ГНСС-приёмником Novatel. Внешний вид системы представлен на рис. 8.

Дилер в России — «ИндорСофт».

Области применения в дорожной отрасли

В дорожной отрасли лазерное сканирование эффективно применяется в трёх широких областях: в инженерно-геодезических изысканиях при проектировании и исполнительной съёмке; для паспортизации, инвентаризации существующей инфраструктуры; для создания ГИС и геопространственных баз дорожных данных.

Проектирование и исполнительная съёмка

В данном случае необходима максимальная точность, особенно по высоте. Это достигается, во-первых, планированием проведения измерений и применением нескольких базовых станций в районе работ; во-вторых, введением опорных точек для уравнивания траекторий.

Паспортизация и инвентаризация

В данном случае необходим максимальный охват, особенно придорож-

Вид работ	Проектирование, исполнительная съёмка	Паспортизация, инвентаризация	ГИС и геопространственные базы данных
Точность высотных отметок ВЗП	1 см на точку; 0,2 см после усреднения	50 см; 10 см после усреднения	5 см; 1 см после усреднения
Точность плановых отметок элементов инженерного обустройства	10 см	50 см; 10 см после усреднения	10 см; 2 см после усреднения
Плотность точек на ВЗП, штук на м ²	1000	10	100
Плотность точек вне ВЗП, штук на м ²	100 (при необходимости)	10	10-100
Наличие базовых станций	1-2 на расстоянии до 10 км	не обязательно	1-2 на расстоянии до 30 км
Скорость движения	10-30 км/ч	60-80 км/ч	40-60 км/ч

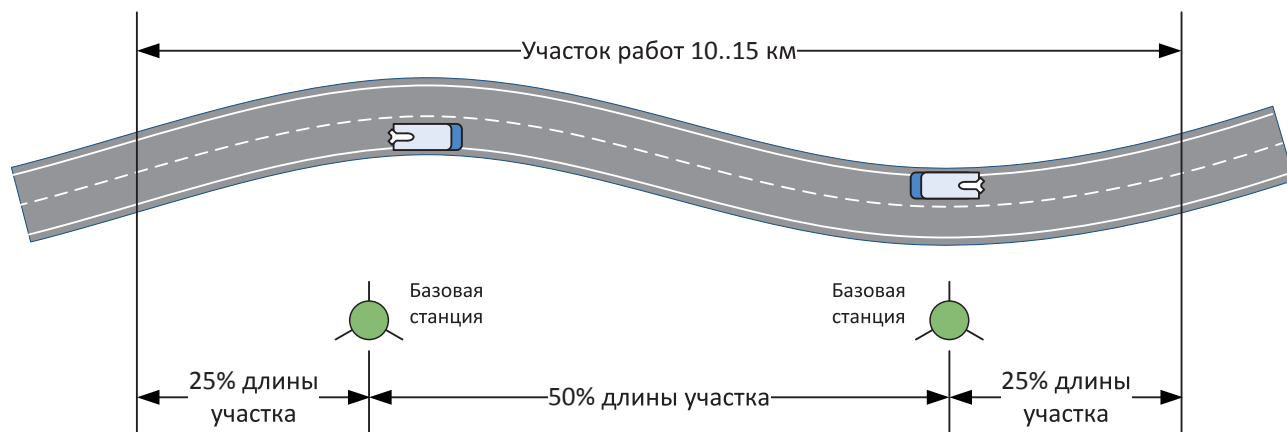


Рис. 9. Расположение базовых станций в районе работ



а) «Шахматка»



б) Полоса

Рис. 10. Варианты маркировки опорных точек для лазерного сканирования

ной полосы, объектов сервиса и инженерного обустройства. Лазерное сканирование здесь эффективно совмещать с панорамной видеосъемкой (для камеральной дешифровки объектов). Высокая точность не нужна; возможна работа без базовых станций и высокая скорость движения.

Создание ГИС и геопространственных баз дорожных данных

Создание ГИС и геопространственных баз дорожных данных требует промежуточной точности, но при этом высокой подробности и максимального охвата, в частности придорожной полосы, объектов сервиса и инженерного обустройства. Отдельное внимание уделяется съемке откосов насыпи, оголовков труб, элементов мостовых сооружений. Необходимым является использование базовых станций, а также планирование траекторий движения на сложных участках для полного покрытия окружающей обстановки.

Наш опыт работ

В наших проектах мы используем MDL Dynascan S250 X-plane с ИНС/ГНСС геодезического класса.

За последний год нами была отработана технология выполнения мобильного лазерного сканирования для проектирования ремонтов, паспортизации и создания ГИС и геопространственных баз дорожных данных. Рассмотрим технологические приемы и условия съемки для этих задач.

Съемка для проектирования

Для проектирования ремонтов наиболее сложным и важным является подробное моделирование существующей поверхности автомобильной дороги с высокой точностью по высоте. Традиционная нивелировка даёт высокую точность, однако не даёт подробной модели проезжей части, учитывающей колеи, небольшие просадки и подобные малые дефекты — в силу того, что точек съемки достаточно мало. Лазерное сканирование снимает такое ограничение.

Для получения подробного и высокоточного результата мы снимаем участками по 10-15 км. В районе работ выставляем 2 базовые станции (рис. 9). Обязательным является планирование работы при ожидаемом PDOP не хуже 1,5 в течение сеанса измерений. В случае необходимости съемки насыпи

согласовываем покос травы на откосах (иначе высокая трава не позволит точно определить подошву откоса и его форму). Для ремонтов покрытия скорость движения лаборатории ограничиваем 20 км/ч, для прочих проектов — 30 км/ч при съемке.

Для повышения абсолютной точности и усиления контроля через каждые 200 м на краевой полосе делаются «опорные точки» с обеих сторон дороги; они маркируются световозвращающей краской (рис. 10а и 10б), выполняется их нивелировка.

После съемки уравниваем траектории по базовым станциям с помощью программного обеспечения Novatel; далее облако точек «сажаем» на опорные точки в IndorCAD, при этом невязки распределяются по траектории. После этого получаем окончательное облако точек, которое используем в IndorCAD либо непосредственно для построения подробной ЦМР, либо после фильтрации и классификации в TerraScan.

Преимущество перед традиционной съемкой «5 точек» — гораздо более подробная модель поверхности, отражающая реальные уклоны на всей поверхности ВЗП, такие дефекты как

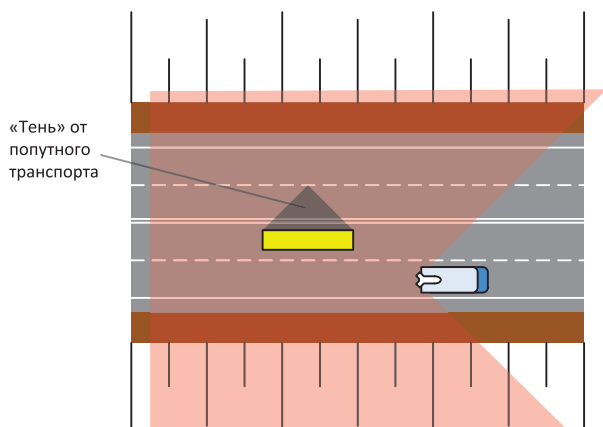


Рис. 11. Покрытие лазерного сканирования при движении по правой полосе

колейность, просадки/пучения, а также высокая скорость работ (20-30 км за день) и безопасность (люди не выходят на проезжую часть для выполнения измерений).

Съёмка для паспортизации

Под съёмкой для паспортизации мы понимаем особый вид съёмки, который не требует высочайшей абсолютной точности, но требует охвата всех элементов дороги и придорожной полосы. Материалы такой съёмки могут применяться как собственно для паспортизации, так и для инвентаризации имущественного комплекса и для проектирования организации дорожного движения.

В данном виде работ мы снимаем участками по 100 км. Планируем работы при ожидаемом PDOP не хуже 2 в течение сеанса измерений. Скорость движения 60-80 км/ч. Одновременно выполняется панорамная видеосъёмка.

Для полного охвата автомобильной дороги выполняются отдельные проезды по всем элементам развязок, заезды на площадки и объекты сервиса. Движение осуществляется по крайней правой полосе для того, чтобы «тень» от попутного транспорта не закрывала обзор вправо и не перекрывалась обратным проездом (рис. 11).

После съёмки уравниваем траектории по точным эфемеридам и моделям атмосферы с помощью программного обеспечения Novatel. Далее облака точек уравниваем друг с другом по связующим точкам в IndorCAD, при этом невязки распределяются по траектории; после этого получаем окончательное облако точек. Облако точек фильтруем и классифицируем в TerraScan, далее используем в IndorRoad для построения упрощённой модели автомобильной дороги и автоматического формирования паспортов.

Съёмка для ГИС и геопространственных баз данных

Снимаем участками по 100 км. В районе работ выставляем 2 базовые станции. Планируем работы при ожидаемом PDOP не хуже 2 в течение сеанса измерений. Скорость движения 40-60 км/ч.

Одновременно выполняется панорамная видеосъёмка.

Выполняются отдельные проезды по всем элементам развязок, заезды на площадки, объекты сервиса, крупные съезды. Движение по крайней правой полосе, с частичным заездом на обочину в границах твёрдого покрытия.

После съёмки уравниваем траектории по базовым станциям с помощью программного обеспечения Novatel. Далее облака точек уравниваем друг с другом по связующим точкам в IndorCAD, при этом невязки распределяются по траектории. После этого облако точек фильтруем и классифицируем в TerraScan и далее используем в IndorRoad и IndorCAD для построения модели автомобильной дороги.

Оценка производительности

Производительность при изысканиях для паспортизации — до 300 км за день полевых работ одной лабораторией.

Производительность при изысканиях для ГИС — до 200 км за день полевых работ одной лаборатории и бригады геодезического обеспечения.

Производительность при изысканиях для проектирования ремонтов — до 50 км за день полевых работ одной лаборатории и бригады геодезического обеспечения.

Как видно, скорость выполнения полевых работ превосходит классические методы в разы, а при съёмке для проектирования ремонтов — на порядок. При учёте высочайшей точности и подробности получаемых данных можно делать однозначный вывод о целесообразности повсеместного применения мобильного лазерного сканирования в дорожном хозяйстве. ■