

Геоинформационное моделирование объектов транспортной инфраструктуры по данным мобильного лазерного сканирования

© 2020 г. В.Я. Цветков^{2*}, О.А. Андреева¹

¹Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

²Российский технологический университет, Москва, Россия

*cvj2@mail.ru

Geoinformation modeling of transport infrastructure facilities according to mobile laser scanning

V.Ya. Tsvetkov^{2*}, O.A. Andreeva¹

¹Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

²Russian Technological University, Moscow, Russia

*cvj2@mail.ru

Received Desember 5, 2019

Revised Mars 2, 2020

Accepted June 1, 2020

Keywords: geoinformatics, infrastructure corridor, measurement trajectory model, spatial database, three-dimensional models.

Summary. The article explores geographic information technology, including the construction of three-dimensional objects. The features of three-dimensional modeling using modern technologies for collecting information are described. The object of study is transport infrastructure. A feature of this object is the large extent, large amounts of data obtained during the collection of information. Large volumes cause a big data problem. To solve the problems of geographic information modeling of transport infrastructure and the resulting "big data" problem, technological and methodological solutions are proposed. New models have been introduced: an integrated geo-information model of transport infrastructure, a geo-information model of the measurement path, measurement units. The necessity of breaking into blocks of the scanned section of the route is proved. The integrated technology of geographic information modeling is described. The stage of importing spatial information into a geographic information database is described.

Citation: Tsvetkov V.Ya., Andreeva O.A. Geoinformation modeling of transport infrastructure facilities according to mobile laser scanning. *Izvestia vuzov «Geodesy and Aerophotosurveying»*. 2020, 64 (3): 354–360. [In Russian]. DOI:10.30533/0536-101X-2020-64-3-354-360.

Поступила 5 декабря 2019 г.

После доработки 2 марта 2020 г.

Принята к печати 1 июня 2020 г.

Ключевые слова: база пространственных данных, геоинформатика, инфраструктурный коридор, модель траектории измерений, трехмерные модели.

Для решения задач геоинформационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры и возникающей при этом проблемы «больших данных» предложены технологические и методические решения. Доказана необходимость разбиения на блоки сканируемого участка трассы. Описаны интегрированная технология геоинформационного моделирования и этап импорта пространственной информации в геоинформационную базу данных.

Для цитирования: Цветков В.Я., Андреева О.А. Геоинформационное моделирование объектов транспортной инфраструктуры по данным мобильного лазерного сканирования // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2020. Т. 64. № 3. С. 354–360. DOI:10.30533/0536-101X-2020-64-3-354-360.

Введение

В современных технологиях геоинформационного моделирования большое значение приобретает трехмерное моделирование. При

этом различают три подхода трехмерного моделирования: поточечный, групповой и массовый.

Первый подход включает последовательный поточечный сбор информации, ввод се-

мантики на объект и построение трехмерной модели из отдельно измеренных точек. После построения модели она подвергается атрибутированию, то есть вводятся необходимые атрибуты и визуально модель становится аналогом исследуемого пространственного объекта.

Второй подход включает в себя групповой сбор информации по паре снимков стереопары. На снимках находится группа точек, описывающих пространственный объект, и в процессе обработки снимка строится пространственная модель. Недостаток подхода — наличие мертвых зон. Как правило, одной стереопары не хватает для съемки объектов транспортной инфраструктуры. Если объект протяженный (километры и десятки километров), то возникают технологические и временные трудности получения информации фотограмметрическим и геодезическим методами и последующей ее стыковки.

Третий подход приспособлен для исследования и моделирования больших протяженных объектов. Он разделяется на стационарное и мобильное лазерное сканирование (МЛС). Стационарное лазерное сканирование проводят с одной точки. Мобильное лазерное сканирование [1] осуществляют с подвижного (мобильного) объекта. Повторяя процесс сканирования несколько миллионов раз, лазерный сканер создает пространственный массив, который называют «облако точек». Это облако точек является точным измерением размеров и формы пространственного объекта и может быть импортировано в компьютер для дальнейшей обработки и визуализации с использованием обычных снимков. Облако точек можно просматривать в многоцветных цветах (в зависимости от интенсивности сигнала) или в реальном цвете с цифровой камеры. Этот метод обеспечивает измерение недоступных поверхностей или сложных геометрических деталей. В отличие от других технологий сканирования, это технология получения высокоточных трехмерных пространственных данных объектов лазерными сканерами в движении с использованием различных наземных транспортных средств.

Предметом исследования данной статьи является геоинформационное моделирование объектов транспортной инфраструктуры с учетом их особенностей и особенностей их съемки.

В качестве материалов использованы результаты исследований в области фотограмметрической съемки, технологий спутниковой навигации, применения инерциальных устройств для измерения траекторий подвижных объектов, трехмерного моделирования и технологий применения лидаров. В качестве методов применен пространственный, системный и геоинформационный анализ.

Особенности геоинформационной технологии трехмерного моделирования объектов транспортной инфраструктуры

Существует заблуждение, при котором к объектам транспортной инфраструктуры относят только здания и сооружения, а сам путь не считают объектом транспортной инфраструктуры. На самом деле железнодорожный путь — есть важнейший объект транспортной инфраструктуры. Обеспечивающие движения объекты (контактная сеть, светофоры, устройства сигнализации, переезды) также являются объектами транспортной инфраструктуры. Все эти объекты включены в геоинформационное моделирование. Таким образом, *первое отличие* геоинформационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры — необходимость массового моделирования, а не моделирования отдельно взятых объектов.

В геоинформатике и в геоинформационных системах (ГИС) существует понятие буферная зона, которую строят только на основе имеющейся пространственной модели. В ГИС буферная зона строится на основе пространственной модели, которая создана после сбора и обработки информации. Железнодорожный путь — важнейший объект инфраструктуры, и информацию собирают вдоль железнодорожного пути. Фактически информацию собирают вдоль буферной зоны.

Второе отличие геоинформационного моделирования объектов транспортной инфра-

структуры — сбор целевой информации вдоль буферной зоны, которая сама по себе представляет важный объект исследования при организации движения. Значение буферной зоны, как самостоятельного объекта, привело к понятию и новой пространственной модели — инфраструктурный коридор. Таким образом, в области транспорта существует специализированная задача и геоинформационная технология ее решения: съемка инфраструктурных коридоров [3], включая автомобильные, железнодорожные, трубопроводные и силовые линии.

Третье отличие геоинформационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры — построение протяженной (десятки и сотни километров) пространственной модели транспортного коридора, то есть только тех объектов, которые влияют на движение транспорта, и объектов, удаленных от трассы.

За рубежом различают две пространственные модели: инфраструктурный коридор [4, 5] и транспортный коридор [6, 7]. Инфраструктурный коридор определяют как составные пространственные модели, которые связывают две или более городские или дорожные зоны. Транспортный коридор — это пространственная модель, обеспечивающая движение подвижного транспорта.

В нормальных условиях мобильный лазерный 3D-сканер может идентифицировать, определять местоположение и отображать такие небольшие объекты как вывески и источники света на расстоянии до 30 м от центра трека с очень высокой точностью. Из обзора LiDAR можно получить полную карту транспортного коридора. Состояние балласта железнодорожного пути в коридоре легко определяется и оценивается системами МЛС путем проверки профилей поперечного сечения балласта с интервалами вдоль профиля рельса. Инфраструктурный коридор может включать транспортный коридор, а транспортный коридор включает в себя железнодорожный коридор.

Четвертое отличие состоит в необходимости создания дополнительной геоинформа-

ционной (пространственной) модели, которая при геодезических и фотограмметрических методах сбора не создается. Поскольку процесс сбора осуществляется в пространстве и времени [8], то возникает проблема обеспечения единой координатной среды и единства времени при сборе пространственной информации. Сбор информации с использованием мобильного лазерного сканирования качественно отличается от фотограмметрического, геодезического методов измерений и стационарного лазерного сканирования. В случаях мобильного лазерного сканирования точки съемки измеряют непосредственно прямыми измерениями, что обеспечивает необходимую точность. При массовом методе сбора пространственной информации измерения осуществляют непрерывно, по мере перемещения объекта — носителя аппаратуры. В силу этого, понятие точки съемки заменяется понятием траектории измерений, то есть траектории, по которой перемещается съемочная аппаратура для получения массовой информации.

Как дополнительный этап геоинформационного моделирования при массовом способе возникает технологический этап предварительного измерения траектории измерений. Для решения этой задачи перед непосредственно съемкой подвижный объект с аппаратурой прогоняют в холостом режиме (без проведения съемки) в прямом и обратном направлениях по участку съемки. Положение съемочной аппаратуры фиксируют с помощью инерциальных и спутниковых устройств. Данные измерений обрабатывают и создают дополнительную геоинформационную модель — трехмерную модель траектории измерений. В процессе съемки она используется, измеряется и корректируется. Это отличие можно сформулировать как создание дополнительной геоинформационной модели траектории измерений.

Пятое отличие обусловлено большим количеством информации при массовом сборе и ограниченностью вычислительных средств обработки этой информации. Приведем данные: при скорости съемки 60 км/ч достигается

точность на уровне нескольких сантиметров и плотности около 3000 точек на один квадратный метр. Это означает, что на один километр пути получают не менее 9 млн точек, что создает проблему «больших данных». В силу этого участок сканирования требуется разбивать на блоки для уменьшения объема обрабатываемых данных. Для повышения точности и полноты данных съемка производится в прямом и обратном направлениях. Совместно со сканированием производится фотосъемка сканируемой территории четырьмя широкоугольными камерами с частотой съемки до 20 кадров в секунду. Данные с фотокамер позволяют улучшить визуальное восприятие объектов и присваивать истинные цвета точкам и атрибутику объектам. Такое обстоятельство приводит к необходимости создания проекта геоинформационного моделирования трассы железнодорожного пути. Этот проект геоинформационного моделирования перед съемкой необходимо разбить на участки или блоки.

Таким образом, при моделировании объектов транспортной инфраструктуры необходимо использовать новые понятия и модели: модель инфраструктурного коридора, модель транспортного коридора, модель траектории измерений, геоинформационный проект для сбора информации, модели блоков измерений, цепочка измерений. Особенности пространственного моделирования объектов транспортной инфраструктуры и разнообразие технологий, применяемых при этом моделировании, дают основание ввести новое понятие «интегрированное геоинформационное моделирование объектов транспортной инфраструктуры».

Интегрированное геоинформационное моделирование объектов транспортной инфраструктуры — это комплексная технология, включающая технологические процессы по измерению, проектированию, рекогносцировке, трансформации данных и измерениям, некоторые из которых лежат в области информатики, т.е. за рамками геоинформатики, но только в интегрированном комплексе позволяют решать сложные прикладные задачи.

Принципы интегрированного геоинформационного моделирования

С учетом отмеченных особенностей технология интегрированного геоинформационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры включает в себя следующие этапы.

1. Создание проекта плоской геоинформационной модели на весь участок трассы или объекта по априорной информации.
2. Создание трехмерной геоинформационной модели траектории измерений.
3. Декомпозиция участка измерений на блоки.
4. Сбор массовой информации с помощью технологий МЛС.
5. Сбор семантической информации об объекте съемки.
6. Первичная (пространственная) обработка пространственной информации.
7. Вторичная (семантическая) обработка информации и создание трехмерных моделей инфраструктуры железнодорожного транспорта.
8. Импортирование трехмерных моделей в базу геоданных или пространственную базу данных (БД).

Создание проекта на участок трассы осуществляется на основе изучения цифровых и картографических материалов. Эти работы позволяют получить первичную пространственную модель [9] для последующего сканирования. В связи с большим объемом данных [10] и для устранения проблемы «больших данных» проект трассы разбивают на участки минимальной кривизны и минимального объема данных. Создание траектории измерений выполняют с использованием двух блоков системы МЛС: навигационного (ГНСС) и инерциального (ИНС).

Для получения точных данных навигационных систем до начала мобильного лазерного сканирования выполняют дополнительные измерения. Процедура состоит из двух этапов. На первом этапе, на протяжении 5–10 мин, выполняют ГНСС-измерения [11] в режиме статики. В это время система мобильного лазерного сканирования находится в состоянии покоя. На

втором этапе, при включенной системе МЛС, в течение 30–45 мин проводят перемещения на расстояние не менее 1 км, то набирая скорость, то осуществляя торможение.

При сканировании и фотосъемке используют систему мобильного сканирования RIEGL VMX-450, которая состоит из двух сканеров, от 2 до 6 широкоугольных камер с частотой фотографирования до 18 кадров в секунду и разрешением снимков 2452×2056 пикселей, инерциального, навигационного и вычислительного блоков. В основе мобильной сканирующей системы лежит использование импульсного лазерного дальномера. Измеряются следующие параметры для каждого лазерного отражения: наклонная дальность D -расстояния от сканера до снимаемого объекта, пространственные координаты X , Y , Z положения сканера, угловые отклонения сканирующего луча и время фиксирования измерений. На их основе при проведении последующей обработки данных осуществляется переход к пространственным координатам каждой точки лазерного отражения. Одновременно с проведением мобильного лазерного сканирования пути, выполнялась съемка транспортного коридора. Основные параметры мобильного лазерного сканирования ж/д пути и окружающих объектов следующие: частота сканирования 600 кГц; скорость сканирования 50–60 км/ч; ширина полосы сканирования до 100 м; плотность измерений 1500 точек/м².

Формирование траектории измерений как основы пространственного моделирования

После сбора массовой информации проводится обработка полученных данных, которая включает расчет траекторий измерения. Для повышения точности пространственного положения проводится совместная обработка инерциальных данных и спутниковых данных. По итогам измерений информация о траектории преобразуется в формат (SBET), который применяют при обработке точек. Файлы этого формата используются при формировании исходного массива точек отражений лазерного

луча. Построение трехмерной модели траектории включает два этапа. Сначала обрабатываются ГНСС-траектории относительно базовых станций, при этом не учитываются инерциальные данные. Затем, последние совмещают с обработанной ГНСС-траекторией. На втором этапе обработки осуществляют уравнивание и пространственное преобразование точек лазерных отражений и данных, полученных фотокамерами, в пространственную геоинформационную модель. На рисунке показана пространственная геоинформационная модель, полученная по результатам обработки снимков и облака точек.

На последней стадии геоинформационного моделирования результаты моделирования импортируют в базу геоданных или пространственную БД. Импортирование трехмерных моделей в базу геоданных включает четыре основных этапа. На первом этапе осуществляют конвертирование трехмерной модели из формата *.DGN (BentleyMicrostation) в формат *.GDB (ESRI GeoDataBase), выполняется с использованием программного продукта FME (SafeSoftware). На втором этапе вводят семантическую информацию. Эту процедуру иногда называют атрибутированием (ее суть в наполнении модели атрибутивной информацией). Однако в терминах геоинформатики эта процедура называется семантикой или вводом семантической информации или вводом атри-



Синтезированная геоинформационная модель, полученная по результатам совместной обработки
Synthesized digital model obtained from the results of joint processing

бутивной информации. Ввод атрибутивной информации [12] заключается в заполнении полей базы данных, дополнительно к метрической информации — семантической информации. Для этого применяют ручное или автоматизированное геокодирование. В процессе ввода семантики создается ряд дополнительных объектов и слоев, необходимых для корректной работы базы геоданных (БГД). Для этого используют стандартные инструменты ArcGIS.

На третьем этапе осуществляют проверку заполнения БД согласно правилам формирования и заполнения таблиц и полей. Проверку осуществляют в автоматическом режиме с использованием утилиты, которая включает в себя более 40 правил. Эти правила группируют по трем группам: проверка структуры БД, проверка геометрии объектов, проверка заполнения полей информацией.

На четвертом этапе проводят исправление ошибок, выявленных на третьем этапе. В результате работы программы на третьем этапе создается отчет, в котором отмечены найденные ошибки. Найденные ошибки разделяют на классы: предупреждения (сообщения о разногласиях между правилами, заслуживает внимания оператора); ошибки исключения, которые может содержать БД; критические ошибки (ошибки, недопустимые в базе данных). Кроме того, существует возможность на основе правил создавать шейп-файл, в который заносят координаты мест ошибок для анализа и исправления.

Заключение

Для создания трехмерных моделей объектов транспортной инфраструктуры необходимо применять ряд новых дополнительных технологических и методических решений. Целесообразно ввести понятие «массовый

сбор пространственной информации», который обозначает появление проблемы «больших данных». Целесообразно ввести новую пространственную модель — «траекторию измерений», которая обозначает основу интеграции данных при построении моделей протяженных объектов. Для решения проблемы «больших данных» при сборе пространственной информации о протяженных объектах целесообразно ввести технологию разбиения участка измерений на блоки. Общий вывод для сбора пространственной информации об объектах транспортной инфраструктуры: целесообразно применение технологии МЛС. Только технология МЛС решает задачу массового сбора информации. При исследовании объектов транспортной инфраструктуры методами геоинформатики целесообразно введение новых геоинформационных моделей: инфраструктурный коридор и транспортный коридор, интегрированная геоинформационная модель и технология. Мобильное лазерное сканирование можно рассматривать как геоинформационную технологию сбора информации. Интегрированная геоинформационная модель — это пространственная модель, которая включает в себя и использует другие модели: геоинформационную модель траектории измерений, картографическую модель местности, цифровую модель отдельных объектов, модели информационных пространственных единиц. Можно говорить об интегрированной геоинформационной технологии пространственного моделирования как о более общей технологии, включающей частную технологию мобильного сканирования. Перспективой развития данных исследований следует считать исследование — применения пространственных информационных единиц для моделирования объектов транспортной инфраструктуры.

REFERENCES

1. *Gerald F. Marshall Handbook of Optical and Laser Scanning*, Marcel Dekker, Inc., 2004. 248 p.
2. *Dassot M., Constant T., Fournier M.* The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges. *Annals of forest science*, 2011. 68(5). P. 959–974.

1. *Gerald F. Marshall Handbook of Optical and Laser Scanning*, Marcel Dekker, Inc., 2004: 248 p.
2. *Dassot M., Constant T., Fournier M.* The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges. *Annals of forest science*, 2011.68(5): 959–974.

3. Hubbard T.D., RD Combellick R.A. High-resolution lidar data for Alaska infrastructure corridors. 2011. 144 p.
4. Priemus H., Zonneveld W. What are corridors and what are the issues? Introduction to special issue: the governance of corridors //Journal of Transport Geography. 2003. V. 11. №. 3. P. 167–177.
5. Szimba, Eckhard, Rothengatter, Werner, Schoch, Michael, Guglielminetti, Paolo. Evaluation of transport infrastructure projects on corridors by a Strategic Assessment Framework //10th World Conference on Transport ResearchWorld Conference on Transport Research SocietyIstanbul Technical University. 2004. Accession Number: 01087938.
6. Patrick Witte, Frank Van Oort, Bart Wiegman Tejo Spit. Capitalising on Spatiality in European Transport Corridors // Tijdschrift voor economische en sociale geografie. 2013. V. 104. №. 4. P. 510–517.
7. Nechaev G., Slobodyanyuk M. Development of transport infrastructure in Eastern Ukraine and its interaction with the international transport corridors // Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. –2011. 11B, 95□101.
8. Ознамец В.В. Геомониторинг на транспорте с использованием БПЛА // Наука и технологии железных дорог. 2018. 1(5). С. 43–53.
9. Tsvetkov V.Ya. Spatial Information Models // European researcher. Series A. 2013. №10-1(60). С. 2386–2392.
10. Павлов А.И. Большие данные в фотограмметрии и геодезии // Образовательные ресурсы и технологии. 2015. №4 (12). С. 96–100.
11. Grewal M.S., Weill L.R., Andrews A.P. Global positioning systems, inertial navigation, and integration. – John Wiley & Sons, 2007. 539 p.
12. Ipek Ozkaya, Len Bass, Raghvinder S. Sangwan ; Robert L. Nord. Making practical use of quality attribute information //IEEE Software. 2008. V. 25. №. 2. P. 25□33.
3. Hubbard T.D., RD Combellick R.A. High-resolution lidar data for Alaska infrastructure corridors. 2011: 144 p.
4. Priemus H., Zonneveld W. What are corridors and what are the issues? Introduction to special issue: the governance of corridors. Journal of Transport Geography. 2003. 11(3): 167–177.
5. Szimba, Eckhard, Rothengatter, Werner, Schoch, Michael, Guglielminetti, Paolo. Evaluation of transport infrastructure projects on corridors by a Strategic Assessment Framework. 10th World Conference on Transport ResearchWorld Conference on Transport Research SocietyIstanbul Technical University. 2004. Accession Number: 01087938.
6. Patrick Witte, Frank Van Oort, Bart Wiegman Tejo Spit. Capitalising on Spatiality in European Transport Corridors. Tijdschrift voor economische en sociale geografie. 2013. 104(4): 510–517.
7. Nechaev G., Slobodyanyuk M. Development of transport infrastructure in Eastern Ukraine and its interaction with the international transport corridors. Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. 2011. 11B: 95□101.
8. Oznamec V.V. Geomonitoring in transport using UAVs. Nauka i tekhnologii zheleznih dorog. 2018. 1(5): 43–53. [In Russian].
9. Tsvetkov V.Ya. Spatial Information Models. European researcher. Series A. 2013. 10-1(60): 2386–2392.
10. Pavlov A.I. Big data in photogrammetry and geodesy. Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii. 2015. 4 (12): 96–100. [In Russian].
11. Grewal M.S., Weill L.R., Andrews A.P. Global positioning systems, inertial navigation, and integration. – John Wiley & Sons, 2007: 539 p.
12. Ipek Ozkaya, Len Bass, Raghvinder S. Sangwan ; Robert L. Nord. Making practical use of quality attribute information. IEEE Software. 2008. 25(2): 25□33.