

УДК 625.7/8

ЗАДАЧИ, МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ И СКАНИРОВАНИЯ В ДОРОЖНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

¹Челпанов И.Б., ¹Балабан О.М., ¹Аржанухина С.П., ²Гарибов Р.Б.,
³Кочетков А.В., ³Янковский Л.В.

¹ООО «Научно-исследовательский центр технического регулирования»,
Саратов, e-mail: soni.81@mail.ru;

²ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»,
Министерство образования и науки Российской Федерации, Пенза, e-mail: volgapsb@mail.ru;

³ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
Министерство образования и науки Российской Федерации, Пермь, e-mail: yanekperm@yandex.ru

В качестве средств измерения для задач 3D-сканирования могут применяться лазерные сканирующие дальномеры, которые работают на принципе измерения дальностей до точек поверхностей объекта на основе измерения интервала времени между посланным и отраженным сигналом, либо на измерении сдвига фаз. Получение измерений множества точек поверхности обеспечивается сканирующей системой дальнометрического сканера, разворачивающей луч лазера по двум углам, что позволяет получить массив дальностей до поверхности объекта в заданном телесном угле. Традиционно применение лазерных сканирующих дальнометров для определения размеров и привязки внутренних закрытых и полукрытых пространств естественных и искусственных объектов, таких как ущелья, туннели, заводские помещения, карьеры и т.п.

Ключевые слова: объемное моделирование, триангуляция, трехмерная модель

PROBLEMS, METHODS AND MEANS 3D-MODELLING AND SCANNINGS IN THE ROAD ECONOMY

¹Chelpanov I.B., ¹Balaban O.M., ¹Arganuhina S.P., ²Garibov R.B.,
³Kochetkov A.V., ³Jankovskij L.V.

¹Open Company «Research center of technical regulation», Saratov, e-mail: soni.81@mail.ru;

²Penza state university of architecture and building, Penza, e-mail: volgapsb@mail.ru;

³Perm national research polytechnical university, Perm, e-mail: yanekperm@yandex.ru.

The short summary: As gages laser scanning range finders which work on a principle of measurement of ranges to points of surfaces of object on the basis of measurement of an interval of time between the sent and reflected signal, or on measurement of shift of phases can be applied to 3D-scanning problems. Reception of measurements of set of points of a surface is provided with scanning system the scanner, developing a laser beam on two corners that allows to receive a file of ranges to an object surface in the set space angle. Application of laser scanning range finders is traditional for definition of the sizes and a binding of the internal closed and half-open spaces of natural and artificial objects, such as gorges, tunnels, factory premises, open-cast mines, etc.

Keywords: volume modeling, triangulation, three-dimensional model

Трехмерное сканирование или 3D-сканирование (моделирование) представляет собой процесс автоматизированного создания трехмерных математических моделей реальных объектов по результатам измерения координат точек поверхностей различных объектов. Трехмерное лазерное сканирование используется в различных отраслях техники и с разными целями [1]. Общий алгоритм создания трехмерной модели любого геометрического объекта, где исходными данными являются координаты (как правило, используется прямоугольная декартова система координат) точек данного объекта следующий:

1. Координаты точек поверхности, как правило, это «особые» точки – вершины многогранников, точки экстремума для поверхностей, которые представлены в аналитической форме, записываются особым табличным образом.

2. Определяется порядок соединения известных точек – составляется «матрица соединения».

3. Определяется, какими геометрическими примитивами соединяются точки, на базе выработанного алгоритма. Самое простое – соединение отрезками прямых. Если нужна более точная, «сглаженная модель» применяются или кривые 2-го порядка, или сплайны. Таким образом, получается «каркасная» модель.

4. На базе каркасной модели создается «граничная (гранная)» модель. Здесь выделяются и записываются замкнутые участки 3D-поверхности, минимум по трем точкам или более. Именно на такой модели возможно решение инженерно-технических задач.

Ниже перечислены основные ситуации, типичные для дорожного хозяйства [2].

1. Крупномасштабными объектами 3D-сканирования являются участки мест-

ности с естественными формами рельефа и/или искусственными объектами, результаты сканирования могут быть визуализованы, но, возможно, по ним должен выполняться макет. Результаты сканирования вместе с данными геологических исследований используются для планирования прокладки дорог и обеспечения их функционирования.

2. Сканирование указанных крупномасштабных проектов осуществляется после аварий и катастроф для оперативной передачи информации об этих событиях экспертам, возможно, находящимся на больших расстояниях.

3. Объектами 3D-сканирования являются сооружения (например, мосты, туннели), которые находятся в эксплуатации, но техническая документация на них недоступна или утрачена. Для ремонтных или восстановительных работ бывает необходимо построение достаточно полной трехмерной модели объектов в целом и более подробных моделей отдельных узлов.

4. Техническая документация, чертежи сооружений существуют и доступны, но известно, что на различных этапах на длинном пути до изготовления не были внесены незарегистрированные изменения и добавления.

5. Для новых проектов желательно изучить уже существующие сооружения в том состоянии, в котором они дошли до нашего времени, в том числе и после ремонтов и реконструкций, вследствие осадки осно-

ваний, воздействия климатических факторов и пр.

6. Требуется в максимально наглядном виде представить для экспертов информацию об износе, локальных повреждениях и неровности дорожного полотна, наслоении посторонних материалов и т.п. Например, могут быть важны прогрессирующая осадка фундаментов, увеличение наклонов стен, башен, колонн, заводских труб, мачт и пр., деформации конструкций мостов, провисание проводов линий электропередач или контактных сетей транспорта.

Цель исследования

Студентами Санкт-Петербургского государственного технического университета, Пермского национального исследовательского политехнического университета, Саратовского государственного технического университета в рамках совместной темы проводится сбор фотоизображений и 3D-моделей мостовых сооружений, имеющихся в Интернет-ресурсе GOOGL Планета Земля. Собраны и проанализированы несколько тысяч фотоизображений и 3D-моделей мостовых сооружений, проведена их классификация с точки зрения объемного моделирования. Помимо этого в рамках курсовых и дипломных работ студенты составляют 3D-модели мостовых сооружений. Пример 3D-моделирования, проведенного в рамках курсовой работы, приведен на рис. 1.

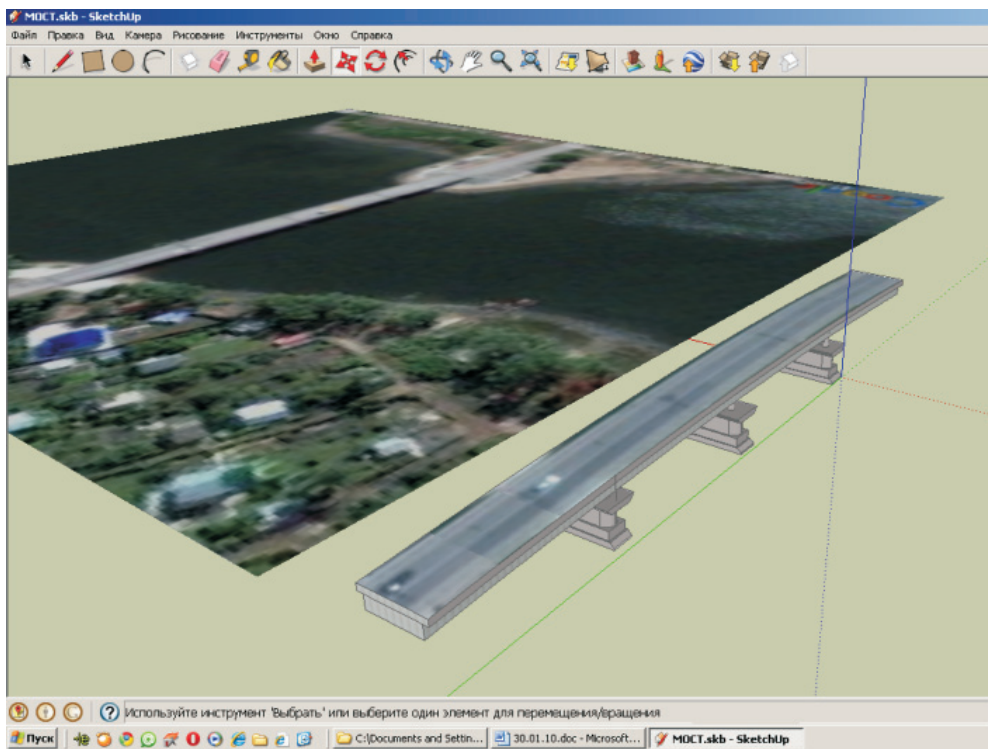


Рис. 1. Пример 3D-моделирования мостового сооружения

В данном интернет ресурсе имеются сведения о наличии 3D-моделей мостовых объектов на территории различных государств (рис. 2).

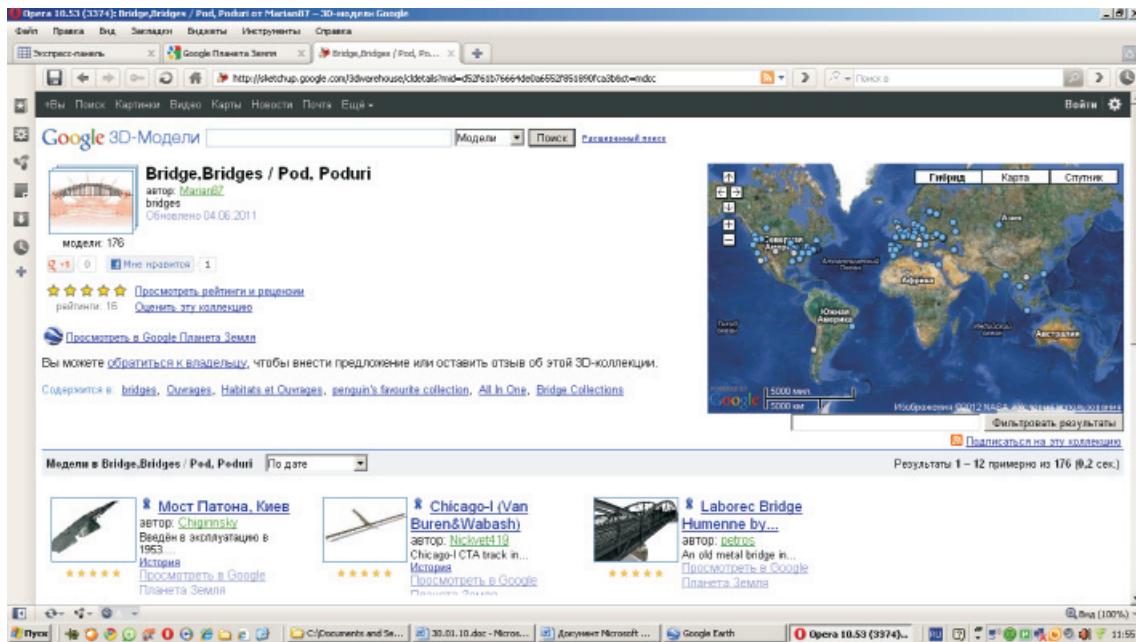


Рис. 2. Наличие 3D-моделей мостовых объектов на территории различных государств

Материал и методы исследования

3D-модель строится следующим образом. Скачивается GOOGLE Earth и GOOGLE Sketch Up последней версии и устанавливается на компьютер. Первая программа предназначена для просмотра Планеты Земля со снимков космических спутников, а также она является средой размещения 3D-моделей. Вторая среда является средой моделирования 3D-моделей. Запускается GOOGLE Sketch Up. В предлагаемом списке выбирается «моделирование 3D-модели для GOOLE Планета Земля». В открывшемся рабочем поле ищется колонка «привязать местность».

Запускается программа GOOGLE Earth. В открывшемся окне фиксируется нужный объект для проектирования. Фотоснимок зафиксированного участка переносится в рабочее поле GOOGLE Sketch Up. Выставляются оси координат объекта (если требуется). Используются фотографии объекта с учетом его размеров. Начертив контур, с помощью инструмента «тяни/толкай», «поднимаем» плоскость, получая объемный объект. Подобными действиями проектируем весь объем проектируемого объекта. «Заливаем» грани фотографиями, придавая 3D-модели требуемый внешний вид. Загружается 3D-модель, предварительно проходя экспертизу сотрудниками GOOLE.

В качестве средств измерения для задач 3D-сканирования могут применяться лазерные сканирующие дальномеры, которые работают на принципе измерения дальностей до точек поверхностей объекта на основе измерения интервала времени между посланным и отраженным сигналом, либо на измерении сдвига фаз. Получение измерений множества точек поверхности обеспечивается сканирующей системой дальномерного сканера, разворачивающей луч лазера по двум углам, что позволяет получить массив дальностей до поверхности объекта в заданном телесном угле. Производительность измерений современных

лазерных сканеров составляет 100–500 тысяч точек в секунду. Промышленно выпускаемые приборы для трехмерного сканирования крупных объектов также называют тахеометрами или дигитайзерами («оцифровывателями»). Традиционно применение лазерных сканирующих дальномеров для определения размеров и привязки внутренних закрытых и полукрытых пространств естественных и искусственных объектов, таких как ущелья, тоннели, заводские помещения, карьеры и т.п.

Электронными тахеометр объединяет в себе функции теодолита (горизонтальных и вертикальных углов) и дальномера (для измерения расстояний). Максимальная дальность линейных измерений может быть до одного или пяти километров. Типаж тахеометров разнообразен, основным параметром является дальность. Для тахеометров высшего класса Погрешности по углам современных тахеометров имеют порядок половины угловой секунды, погрешности расстояний – до 1 мм на 1 км. Некоторые современные модели дополнительно оснащены спутниковой системой привязки GPS. Произведенные вычисления сохраняются в памяти этого устройства и могут быть переведены в компьютер для профессиональной обработки. Профессиональные тахеометры способны оперативно генерировать высококачественные изображения объектов.

Результаты исследования и их обсуждение

Как правило, сканирование объекта проводится с переустановкой объекта или сканера несколько раз для полного покрытия поверхностей сканируемых объектов. Для создания единой 3D-модели необходимо произвести объединение («сшивку»).

Получив массивы точек (координат поверхностей), необходимо осуществить их обработку (редактирование) с помощью средств компьютерной графики. Наиболее простыми операциями при этом являются масштабирование (увеличение, уменьшение), зеркальное отражение частей модели и изменение ее ориентации в пространстве. Созданные подобным образом поверхности представляются в стандартных форматах трехмерной графики: *DXF*, *IGES*, *VRML*, *SAT*, *STL*, или *DGN* и соответственно, могут быть экспортированы в любые *CAD*- и *3D*-приложения. Если сканирование сопровождается цифровой видео- или фотосъемкой, то на этапе обработки можно дополнить сканированное изображение объекта, придав фрагментам реальные цвета и текстуру. Необходим специализированный набор программ для поддержки процесса оцифровки программный, чаще все используется пакет Geomagic Qualify.

Для освоения и эффективного использования средств *3D*-сканирования в дорожном хозяйстве необходимо проведение комплекса специальных научных исследований: установить и количественно оценить влияние фактуры, неровностей и шероховатости поверхностей на результаты; разработать методику планирования трех-мерного сканирования с учетом наблюдаемости из различных точек; разработать методики комплексования трехмерных сканеров с другими средствами измерений; проработать различные процедуры сканирования применительно к разным типовым поверхностям объектов. При интерполяции стало модным использование триангуляционной сетки (применительно к *3D*-задачам она соответствует линейной интерполяции).

Представление 3D-данных – это способ цифрового описания пространственных объектов, тип структуры пространственных данных. Под их *графическим форматом* понимается способ машинной реализации представления пространственных данных. Поверхность в принципе можно задавать множеством лежащих на ней точек. Построение *3D*-модели требует вполне определенной *структуры данных*, а исходные точки на поверхностях могут быть по-разному распределены в пространстве. Сбор данных может осуществляться по точкам регулярной сетки, по структурным линиям рельефа или хаотично. Первичные данные с помощью тех или иных операций приводят к одному из наиболее распространенных структур для представления поверхностей: *GRID*, *TIN* или *TGRID*. Помимо широко используемых в компьютерных технологиях векторных и растровых форматов

хранения и формирования компьютерных изображений распространены *регулярно- и нерегулярночистые* форматы. К менее распространенным или применяемым для представления пространственных объектов определенного типа относятся также *гиперграфовая модель*, *модель типа TIN* и ее многомерные расширения.

STL-формат файла был разработан для хранения трехмерных моделей объектов для представления трёхмерных моделей произвольных поверхностей В этом формате используется унифицированный способ приближенного представления (аппроксимации) любых поверхностей системой стыкуемых друг с другом плоских треугольников, треугольных фасет. Таким образом, поверхность объекта покрывается поверхностной сеткой из треугольных ячеек. Поверхность строится триангуляционным методом, получается так называемая *TIN*-поверхность. *TIN (Triangulated Irregular Network)* – нерегулярная триангуляционная сеть, система неперекрывающихся треугольников. *TIN – Triangulated Irregular Network* – сеть неравносторонних треугольников, соответствующая так называемой триангуляции Делоне и используемая в цифровом моделировании.

Вершинами треугольников являются исходные опорные точки, совпадающие с исходной криволинейной поверхностью. Рельеф в общем случае представляется многогранной поверхностью, каждая грань которой описывается либо линейной функцией (полиэдральная или многоугольная модель), либо полиномиальной поверхностью, коэффициенты которой определяются по значениям в вершинах граней треугольников. При правильном построении эта сеть не имеет ни разрывов, ни наложений. При этом информация о поверхности объекта представляет собой список параметров треугольных фасет, которые описывают эту поверхность. Треугольники определяются с учетом направления узлов (вершины треугольников) по часовой стрелке, с учетом подобных узлов в вершинах треугольников.

На использовании *TIN*-поверхностей строятся аппроксимации в большом числе более ранее распространенных приложений, например, в геодезии таким образом представляется рельеф участков поверхности Земли. Триангуляция Делоне в приложении к двумерному пространству формулируется следующим образом: система взаимосвязанных неперекрывающихся треугольников имеет наименьший периметр, если ни одна из вершин не попадает внутрь ни одной из окружностей, описанных во-

круг образованных треугольников (рис. 3). Образовавшиеся треугольники при такой триангуляции максимально приближаются к равносторонним, а каждая из сторон образовавшихся треугольников из противоположащей вершины видна под максимальным углом из всех возможных точек соответствующей полуплоскости. Интерполяция выполняется по образованным ребрам. Отличительной особенностью и преимуществом триангуляционной модели является то, что в ней нет преобразований исходных данных. С одной стороны, это не дает ис-

пользовать такие модели для детального анализа, но с другой стороны, исследователь всегда знает, что в этой модели нет привнесенных ошибок, которыми грешат модели, полученные при использовании других методов интерполяции. Немаловажен и тот факт, что это самый быстрый и универсально применимый метод интерполяции. Однако, если в ранних версиях большинства ГИС триангуляционный метод был основной, то сегодня большое распространение получили модели в виде регулярной матрицы значений высот.

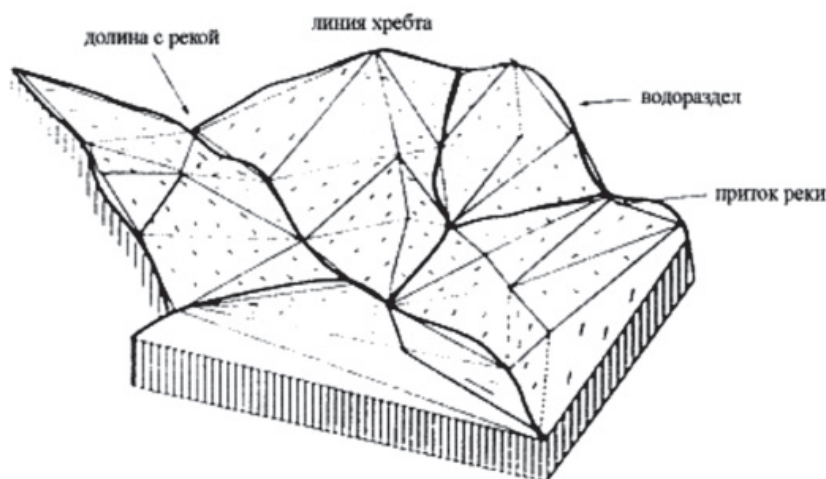


Рис. 3

Основное достоинство *STL*-формата – это универсальность и простота по сравнению с другими форматами. Алгоритм построения горизонтальных сечений и соответствующей вычислительной процедуры в быстром прототипировании сводится к определению тех треугольников, которых заданная горизонтальная плоскость пересекает (одна вершина каждого такого треугольника должна иметь координату z по другую сторону от плоскости, чем две другие), а затем из двух линейных уравнений определяется линия пересечения с плоскостью, т.е. участок границы контура. В результате граница горизонтального сечения получается состоящей из отрезков прямых линий.

Заключение

Задачи 3D-моделирования и сканирования получили свое развитие при моделировании и исследовании макрошероховатых дорожных покрытий, в том числе исследовании процесса взаимодействия колеса транспортного средства с покрытием, а также распределением материала дорожной

разметки во впадинах макрошероховатости. Это позволило обосновать важность введения таких параметров как разновысотность активных выступов и разноглубинность впадин макрошероховатости [3–5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационный сборник о применении прогрессивных технологий в органах управления дорожным хозяйством / А.В. Чванов, С.В. Карпеев, А.В. Кочетков и др. – М.: Федеральное дорожное агентство, 2006. – 308 с.
2. 3D-сканирование и прототипирование в дорожном хозяйстве / И.Б. Челпанов, С.М. Евтеева, М.В. Степанов и др. // Дороги. Инновации в строительстве. – 2010. – № 2. – С. 38–43.
3. Чванов А.В. Научные основы нормирования шероховатых поверхностей дорожных покрытий / А.В. Кочетков, А.В. Чванов, С.П. Аржанухина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2009. – Вып. 14 (33). – С. 80–86.
4. Чванов А.В. Обоснование новых параметров геометрических характеристик макрошероховатого дорожного покрытия / А.В. Чванов, А.А. Сухов, С.М. Евтеева // Дороги и мосты. – 2010. – № 1. – С. 105–116.
5. Чванов А.В. Технические решения обеспечения зимнего противоскольжения (антигололедные дорожные покрытия с шероховатой поверхностью) // Дороги и мосты. – 2009. – № 1. – С. 139–148.