

УДК 528.952.

Шаповалов А.

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ГОРОДСКОГО 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ

Возрастающий рост потребностей к точности трехмерного моделирования, обеспеченный развитием методов интерактивного пространственного анализа, выводит на передний план проблему оптимизации затрат для производства 3D моделей. Несмотря на развитие исследований в области автоматизации информационного обеспечения реконструкции зданий, автоматические технологии создания моделей для больших территорий по-прежнему уступают менее затратным полуавтоматическим методам. В данной статье рассмотрены основные пути совершенствования методологии применения трехмерного анализа по данным ДЗЗ на различных стадиях обработки данных. Проведено описание возможностей пиктометрии, автоматической аэротриангуляции, стереофотограмметрического анализа и определены направления теоретических исследований для разработки интегрированных программных инструментов для оптимизации процесса обработки данных.

Ключевые слова: трехмерная модель, картографическое моделирование, стереофотограмметрический анализ, LIDAR-съемка.

Вступление. Моделирование городских территорий, в соответствии с ростом возможностей и сфер применения геопространственного анализа, а следовательно и требований к точности моделей плотнозастроенных территорий, эволюционировало в очень краткий период от двухмерных карт до 2,5-мерных и, в последствии, высокоточных трехмерных моделей. 3D модели городских территорий, встречающиеся в научной практике под термином Virtual City Model (VCM), объединяют цифровые модели местности высокой точности (более 10 м для

трехмерных объектов), основным элементом которых является высотная модель строений и препятствий, и которые обеспечивают информационную поддержку процессов контроля, планирования и принятия решений в сферах, связанных с пространственным анализом и визуализацией объектов городского ландшафта. Первые модели местности данного типа появились более 10 лет назад, и на сегодняшний день усилиями государственных и коммерческих структур завершено производство 1187 подобных моделей во всем мире [16]. С учетом факторов разнообразия высотных объектов, роста и динамики изменений в ландшафтах плотно застроенных территорий, стоимость и скорость обработки данных играют ключевую роль при создании VCM.

Разнообразие технологий создания городских 3D моделей и отсутствие их полной классификации обусловлено широким спектром их применения, возрастающей заинтересованностью научных разработок проблемами трехмерного моделирования объектов и индивидуальностью моделей – приспособленностью под решение задач, методика решения которых не изучена в соответствующей степени.

Анализ последних публикаций. Основной проблемой, на решение которой направлены исследования в сфере трехмерного городского моделирования, является оптимизация автоматизированности процесса производства при сохранении точности и интегрированности данных [6, 7, 12, 15]. При этом большинство исследований фокусируются на интеграции производственных стадий, оставляя вне предмета исследования экономический интерес. Ряд научных разработок указывают на возможности интеграции данных LIDAR-съемки и данных аэрофотосъемки как основное направление автоматизации моделирования застроенных территорий [8, 13, 14]. Наиболее систематизировано технологии автоматизации трехмерного моделирования изложены в научных работах Клауса Бренера [3, 4, 5].

Постановка проблемы. Основными задачами в процессе создания городской трехмерной модели являются создание точной геометрической конфигурации наземных объектов, обеспечение ее функциональности – имплементация классификатора данных для инструментов пространственного анализа и фотореалистичности.

Методы дистанционного зондирования земли остаются наиболее выгодным решением с точки зрения экономической эффективности. Развитие возможностей анализа данных, полученных такими методами, минимизирует потребность в ручных операциях. С другой стороны, измерения, производимые по данным стереофотограмметрии, представляют собой точечные массивы, неприспособленные к дальнейшему построению трехмерной геоинформационной системы.

Несмотря на стремительное развитие программных продуктов для 3D моделирования, расширивших инструментарий для анализа и обработки данных стереофотограмметрии, данные лидарной съемки, требующие значительных затрат на техническое обеспечение съемки и ручную обработку данных, остаются предпочтительнее в силу обеспечения более высокой точности. В то же время дальнейшая интеграция методов обработки и анализа данных аэрофото- и наземной съемки; усовершенствование соответствующих программных инструментов значительно повышают точность и фотореалистичность трехмерных городских моделей.

Основной материал. Процесс автоматизации состоит в минимизации процессов полуавтоматического и ручного моделирования, проведения качественного контроля при сохранении основных параметров точности модели – точность географической привязки, точность высотной модели и точности локализации контрольных точек.

Основными направлениями процесса автоматизации трехмерного моделирования являются:

- 1) разработка и имплементация интеграционных программных инструментов, позволяющих объединять информацию из различных источников данных;
- 2) автоматизация контроля качества – процессов обновления и повторной обработки данных;
- 3) развитие возможностей анализа и автоматизации обработки данных дистанционного зондирования Земли.

Использование методов дистанционного зондирования для автоматизации предполагает:

- замена ручного процесса обработки данных лазерного сканирования стереофотограмметрическим анализом;

- автоматическую генерацию векторных данных по анализу стереоизображений;
- внедрение автоматической аэотриангуляции и извлечения модели поверхности по построенной геометрии;
- развитие аппаратного комплекса для максимальной точности перспективной обработки (TLS-сканирование, пиктометрия и др.) [11].

В результате эмпирических исследований процессов контроля производственным процессом трехмерных городских моделей, автором были рассчитаны сокращения в издержках при производстве модели плотно застроенной территории площадью 10 км² используя полуавтоматический (использование программного обеспечения для трехмерного моделирования, обработка фотоснимков) и автоматический методы (с использованием данных лидарной съемки). Так, при условии постоянности издержек на извлечение и подготовку данных, время, затраченное на обработку и измерение полученной информации, снижается по мере автоматизации на величины в диапазоне 45-55%; общие финансовые затраты на обеспечение данных работ, в свою очередь, снижаются на 21-26%. Тем временем, ряд ведущих производителей на рынке 3D картографии, таких как C3 Technologies и Vision-Me предоставили отчеты о сокращении времени на обработку данных на 98% при использовании исключительно наклонных фотоснимков как источника данных.

Методы автоматизации могут быть введены на разных этапах подготовки данных, что представлено на блок-схеме (рис. 1).

Автоматическая аэотриангуляция автоматизирует процесс построения цифровой модели рельефа, по которой строится модель поверхности (DSM). Основной целью этого метода является воспроизводство из точек наземного контроля достаточного количества контрольных точек для обеспечения точной ориентированности модели, как этого требует ортофотоизображение. Процесс аэотриангуляции состоит из фаз подготовки (идентификация точек, ввод данных), измерений (внутреннее ориентирование снимка, автоматическое определение связующих точек, измерение наземных контрольных точек), и уравнивания. Автоматическая аэотриангуляция отличается от полуавтоматической наличием подуровня генерации

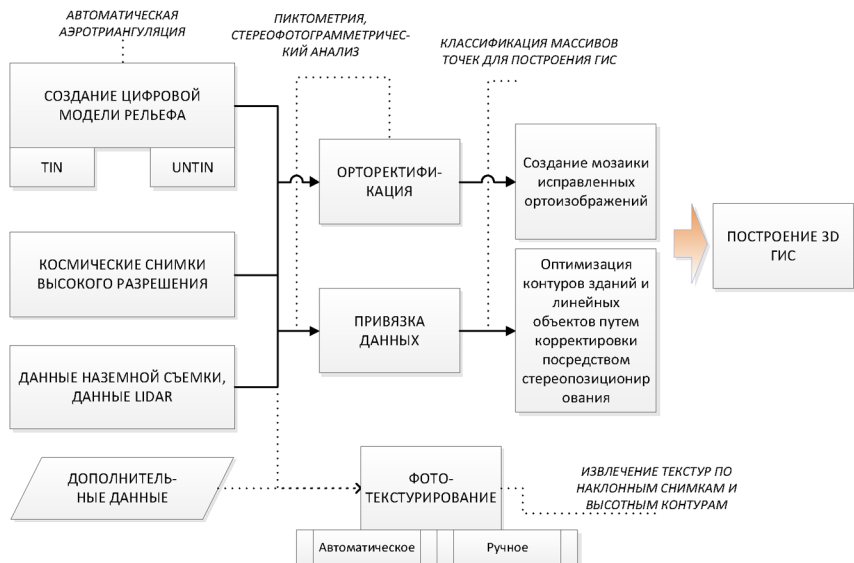


Рис.1. Основные элементы технологического процесса производства трехмерной городской модели

аппроксимаций, а не только модулем автоматического поиска связующих точек. От оператора требуется лишь задать исходные аппроксимации (блок-конфигурации, оверлепы). Данный метод был внедрен в производство и еще в середине 90х годов прошлого века и широко применяется для производства моделей построенных по модели поверхности (DSM-based модели).

Разработка *алгоритмов воссоздания геометрической конфигурации объектов по стереоизображениям с использованием данных лазерного сканирования* при построении цифровой модели рельефа позволяет получить трехмерную модель с наложением текстур. По автоматическому анализу снимков удается получить описывающее облако точек, на которое выносятся 3D контура, после чего они привязываются к данным лазерного сканирования, при этом образуя два отдельных массива данных – высотную модель и модель поверхности.

Для получения стереоизображений используются интегрированные системы наклонных цифровых камер – четырех камер с осью наклона 50 градусов, получающих перспективные снимки, и одна – вертикальные. В течение одного часа полёта на

полукилометровой высоте такой системой возможно выполнить съемку около 100 кв. км. земной поверхности. Данная система технического обеспечения аэрофотосъемки была запатентована компанией Pictometry International (с 2013 года – EagleView Pictometry), и сам метод получил название «пиктометрия».

Ручной процесс сводится к обработке данных воздушного и наземного сканирования для уточнения геометрии зданий. Учитывая это возможно достижение более полной автоматизации производства, используя ***исключительно наклонные фотоснимки, и избегав использование данных лидарной съемки*** – данный метод лег в основу разработки программного обеспечения компанией C3 Technologies [17]. В данной технологии так же используется система обеспечения аэрофотосъемки, методически близкая к пиктометрии, однако дополненная определенным количеством камер, расположенных под точно рассчитанными углами относительно местности, которые обеспечивают перекрытия снимков, достаточные для полномерного охвата 3D контуров. Высокодетализированные трехмерные объекты генерируются специальным программным обеспечением, которое проводит компарацию зон перекрытий, определяет глубину объектов подобно механизму восприятия пространства стереоскопического зрения. В результате генерируется облако точек, формирующих 3D контура, которые посредством триангуляции преобразуются в массив поверхности. В полученной поверхности выполняется автоматический анализ и расчет плоскостей для проектирования на них фасадных элементов сооружений. Высокая точность (15 см /пиксель) изображения обеспечивает максимальную фотореалистичность моделей, а автоматический анализ проектируемых плоскостей позволяет отобразить с одинаковой точностью все объекты географической действительности.

С другой стороны, модели, полученные по описанной методике, не являются приспособленными для получения моделей землепользования и построения трехмерной ГИС, так как автоматическое распознавание не может предоставить массив точек, приспособленный для сегментизации, привязки атрибутивных данных – данные представляют собой сплошную поверхность. Данный факт ограничивает сферы применения таких продуктов, делая невозможным построение расчетной модели. Для

решения этой проблемы необходимо внедрение модулей анализа изображения, описанных в следующем процессе.

Автоматическое генерирование трехмерных моделей по наклонным аэрофотоснимкам и высотным контурам сооружений – высокотехнологический метод, основанный на анализе изображения, с внедрением мощного программного инструмента, построенном на модуле распознавания образов. Позволяет быстро создавать фотореалистичные модели городской местности посредством восстановления текстур по задаваемой вручную геометрической перспективе. Данный метод автоматизации технологически состоит из следующих процессов:

- 1) Получение исходных данных – наклонных аэрофотоснимков; возможно использование фотографических изображений для создания модели отдельного объекта;
- 2) Ручное задание трехмерной системы координат для получения ректифицированных прямоугольных текстур;
- 3) Автоматическое проектирование и привязка извлеченных текстур на заданные плоскости;
- 4) Редактирование и синтез полученной текстурной поверхности.

На данный момент существует один программный комплекс, использующий данный подход – 3D Urban Modeller, разработанный российской компанией GeoCV, широко используется для создания текстурированных моделей по фотоизображениям и данным наземной съемки [18]. Возможности использования этого метода для больших плотнозастроенных территорий остается практически необоснованным и требует исследования возможностей синтеза инструментов трехмерного пространственного анализа и теории распознавания образов.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Развитие процесса обработки данных дистанционного зондирования позволяет оптимизировать издержки производства при сохранении требуемых параметров точности. Приведенные в статье процессы показывают, что 3D картография находится в преддверии революции, качественного преобразования технологического процесса. Результатом этой революции должна стать оптимизация использования теории распознавания образов и методов дистанционного зондирования для полностью автоматического, высокоточного производства моделей местности.

Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на заполнение разрыва между прикладными разработками теоретическим обоснованием в сфере 3D картографии:

- создание надежной системы классификатора облачных данных для обеспечения построения трехмерной ГИС;

- интеграция программных инструментов обработки данных дистанционного зондирования;

- адаптация программной среды обработки данных ДЗЗ для выполнения оперативного обновления трехмерной модели;

- исследование методов синтеза данных лидарной съемки и стереофотограмметрии.

Рецензент – кандидат географічних наук, молодший науковий співробітник А. В. Орещенко

Литература:

1. *Ball, M.*, Rapid Urbanization Reinforces the Need for 3D Cadastres / *Ball M.* // *ASM Magazine*. – 2012. – №1.

2. *Becker, S. & Haala, N.* Combined Feature Extraction for Façade Reconstruction // *Proceedings Workshop on Laser Scanning*. – 2007.

3. *Brenner, C.* Towards Fully Automatic Generation of City Models, in: ‘IAPRS, Vol. 33 Part 3, Amsterdam’, 85–92. – 2000.

4. *Brenner, C. & Haala, N.*: Automated reconstruction of 3D city models, book chapter, in: *M. Abdelguerfi, Ed., ‘3D Synthetic Environment Reconstruction’, Vol. 611 of The Kluwer International Series in Engineering and Computer Science, Kluwer Academic Publishers, Boston, 75–101. – 2005.*

5. *Brenner, C., Dold, C.* Automatic relative orientation of terrestrial laser scans using planar structures and angle constraints. *IAPRS Vol. XXXVI, Part 3/W52, 84-89. – 2007.*

6. *Emgard, L. and Zlatanova, S.* «Implementation alternatives for an integrated 3D Information Model,» / *P. van Oosterom, S. Zlatanova, F. Penninga and E. Fendel (Eds.) // Advances in 3D Geoinformation Systems, Springer, Chapter 17. – 2008. – pp. 313-329.*

7. *Flamanc, D., Maillet, G., Jibrini, H.* 3D City Models: An Operational Approach Using Aerial Images and Cadastral Maps // *SPRS Archives, Vol. XXXIV, Part 3/W8, Munich, 17-19. Sept. 2003.*

8. *Gajdamowicz, K. Ohman, D., Horemuz, M.* Mapping and 3D Modeling of Urban Environment Based on LIDAR, GPS/IMU and Image

Data. – Stockholm, Sweden. – 2010.

9. *Gorte, B.G.H., and J. Lesparre.* «Representation and reconstruction of triangular Irregular Networks with Vertical Walls». // 7th International 3D GeoInfo Conference. – Québec, Canada. – 2012.

10. *Groger, G. and Plumer, L.* «How to Achieve Consistency for 3D City Models» // Institute of Geodesy and Geoinformation, University of Bonn. №1. – 2010.

11. *Guen, A., Hang Li, Xinhua Wang.* 3D City Modeling with TLS (Three-Line Scanner) Data // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV-5/W10. – Zurich, Switzerland. – 2003.

12. *Kokkas, N. and Smith, M.* «Automated 3D City Modelling and the Importance of Quality Assurance Techniques. // IESSG. – Nottingham, UK. – 2011.

13. *Linsinger, S.* «3D laser» versus «stereo photogrammetry» for documentation And diagnosis of buildings and monuments / CIPA 2005 XX International Symposium. – Torino, Italy. – 2005.

14. *Sirmacek, B., Taubenboeck, H., Reinartz, P.* A Novel 3D City Modelling For Satellite Stereo Data Using 3D Active Shape Models On DSMS // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B3, 2012 XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia.

15. *Zhang Zuxun, Zhang Jianqing, Zhang Li.* «Opportunities and Challenges for Development of Digital Photogrammetry» // Journal of Technical University of Surveying and Mapping . – 2000. – Vol.25, No.1. – pp. 7-11.

16. Virtual City Models [Electron source]. – Access mode: <http://www.virtualcitymodels.co.uk/>

17. Заяц А. С3 — предвестник 3D-революции в компьютерной картографии / Заяц А. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ixbt.com/td/c3-technologies-3d-maps.shtml>

18. 3D Urban Modeller [Electron source]. – Access mode: <http://www.geocv.com>.

О. Шаповалов

**ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ДИСТАНЦІЙНОГО
ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ПІД ЧАС АВТОМАТИЗАЦІЇ
МІСЬКОГО 3D МОДЕЛЮВАННЯ**

Зростаючий ріст вимог до точності тривимірного моделювання внаслідок розвитку методів інтерактивного просторового аналізу виводить на перший план проблему оптимізації витрат для виробництва 3D моделей. Незважаючи на розвиток досліджень в галузі автоматизації інформаційного забезпечення реконструкції будинків, автоматичні технології створення моделей для більших територій, як і раніше, поступаються менш витратним напівавтоматичним методам. У цій статті розглянуті основні шляхи вдосконалення методології застосування тривимірного аналізу по даним ДЗЗ на різних стадіях обробки даних. Проведено опис можливостей піктометрії, автоматичної аеротріангуляції, стереофотограмметричного аналізу й визначені напрями теоретичних досліджень для розроблення інтегрованих програмних інструментів для оптимізації процесу обробки даних.

Ключові слова: тривимірна модель, картографічне моделювання, стереофотограмметричний аналіз, LIDAR-зйомка

Shapovalov O.

USAGE OF REMOTE SENSING METHODS IN AUTOMATION OF 3D URBAN MODELING:

The increasing growth of requirements for 3D models accuracy which is secured by progress of interactive spatial analysis methods brings to the foreground the cost optimization in production process of 3D models. Despite the theoretic advances in the field of buildings' restoration process information support, automatic technologies of 3D urban models for large areas are still inferior to less expensive semiautomatic methods. This paper demonstrates the main techniques of advancing the methodology of three-dimensional analysis based on using remote sensing data at different production stages. The capabilities of pictometry, automatic aerial triangulation, stereophotogrammetric analysis are described as well as directions of theoretical research for the development of integrated software tools which are required to optimize data processing.

Keywords: three-dimensional model, urban cartographic modeling, stereophotogrammetric analysis, LIDAR

Надійшла до редакції 25 лютого 2013 р.