

Использование низкополигональных трехмерных моделей в строительстве

Н. В. Князева, А.П. Смородова

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет»*

Аннотация: В статье рассматриваются области и перспективы использования низкополигональных геометрических моделей в строительной сфере. Приведены данные о зарубежных исследованиях в рассматриваемой области. Перечисляются основные отличия подобного типа моделей от трехмерных составляющих информационных моделей, описывается различие способов их разработки. Проведен анализ актуальных на сегодняшний день сфер применения данных моделей в строительной сфере, названы ключевые особенности, которыми должны обладать модели для использования их в данных сферах.

Ключевые слова: гражданское строительство, низкополигональные модели, архитектурные и градостроительные решения, виртуальная реальность, 3D-кадастр, геоинформационные системы.

Введение. На сегодняшний день проектирование объектов строительства ведется с использованием технологий информационного моделирования (ТИМ). Данный процесс включает в себя разработку подробной геометрической модели объекта и наполнение ее необходимой информацией. Отличительным свойством такой модели является возможность ее постоянной доработки и использования на различных этапах жизненного цикла объекта строительства.

Тем не менее, для решения определенных проблем в отдельных направлениях градостроительной деятельности сохраняется потребность в геометрических моделях с более низким уровнем проработки, чем используется при разработке ТИМ – это так называемые низкополигональные модели. Их не нужно наполнять информацией, они представляют собой чистую геометрию. Для формирования низкополигональной модели недостаточно просто использовать 3D-составляющую ТИМ, так как полученная таким способом геометрия весьма громоздка и нуждается в серьезной оптимизации в соответствии с задачами,

для решения которых она предназначена. Сравнение выгруженной из среды Revit модели типового жилого дома и построенной на ее основе низкополигональной приведено на рисунке 1 [1]. В первом случае число полигонов превышает 185 000, во втором – приблизительно равно 34 000, то есть уменьшено более чем в 5 раз.



Рис. 1. - Слева – 3D составляющая ТИМ модели здания, справа – сформированная на ее основе низкополигональная модель [1].

В настоящий момент процесс формирования корректных моделей на основе готовых ТИМ решений никак не автоматизирован и представляет собой полностью ручной труд. Построение, как правило, ведется с нуля по геометрическим параметрам, для этого используются специальные программы для работы с 3D-графикой - наиболее популярными, согласно данным Яндекса, являются Blender, Google SketchUp и Autodesk Maya. Подобный подход к работе влечет за собой значительные временные затраты со стороны архитектора/проектировщика, а развитие технологий, использующих подобные модели, ведет к росту запросов на их разработку. Как следствие – все большую актуальность приобретает проблема автоматизации процесса их построения.

Материалы и методы. Основным методом при написании данной работы являлся поиск статей по ключевым словам и темам и анализ информации из них. Среди зарубежных статей интересное исследование приведено в области интеграция рабочих процессов от цифровой съемки до оптимизированных 3D-моделей городов, где упрощенные низкополигональные версии культурно-исторических зон применялись для оптимизирования данных 3D-модели [2]. Другое исследование было направлено на эффективную визуализацию информационной модели, полученной в Autodesk Revit с метаданными путем оптимизации геометрической информации модели с использованием алгоритма реконструкции сетки на базе Unity 3D, а также на повышение эффективности принятия решений и обработки проектов руководителями строительства [3].

Основная часть. Необходимость в использовании низкополигональных моделей существует в различных направлениях градостроительной деятельности.

Архитектурно-градостроительные решения

С 31 октября 2019 года в г. Москва были изменены правила получения свидетельства по архитектурно-градостроительным решениям (АГР). После вступления изменений в силу для получения данного свидетельства стало необходимо предоставлять подготовленную 3D-модель здания и участка. Эти файлы необходимы для включения в интерактивную 3D-карту Москвы, которая разрабатывается Мосгоргеотрестом по заказу Москомархитектуры [1].

Архитектурно-градостроительное решение объекта капитального строительства предоставляется в виде трехмерной цифровой модели в отдельном файле. К нему выдвигается ряд требований, в числе которых:

- привязка объектов к Московской системе координат и высот;
- метрическая система координат модели;

- использование растровых текстур разрешением не выше 2К пикселей

и др.

Ключевые требования к модели устанавливаются в Постановлении Правительства Москвы № 1370-ПП от 18.10.2019 «О внесении изменений в постановление Правительства Москвы от 30 апреля 2013 г. № 284-ПП». Согласно требованиям, изложенным в данном документе, она должна быть низкополигональной: допустимое количество полигонов в модели может варьироваться в границах 3-5 тысяч. В случае работы с крупным объектом или особо сложным архитектурным решением разрешается увеличение числа полигонов до 20-30 тысяч. Такие ограничения вводятся с связи со спецификой макета города, разрабатываемого в системе Unigine. Концепция проекта предполагает, что это будет весьма подробная интерактивная среда, просматривать которую можно будет непосредственно из браузера. Требования к оптимизации геометрии и низкому числу полигонов в каждой модели обуславливаются целью обеспечения корректной работы интерактивного макета в целом [4].

В данном случае быстрое и корректное построение модели весьма важно – в противном случае проект не пройдет экспертизу и будет возвращен на доработку, что может привести к нежелательным задержкам в процессе проектирования.

Геоинформационные системы

Геоинформационные системы (ГИС) объединяют в себе геометрические модели с базами данных о различных объектах с целью создания единой интерактивной геоинформационной среды. С развитием технологий трехмерного моделирования все большее распространение получают 3D-ГИС, которые в сравнении с двумерными аналогами имеют ряд преимуществ, в числе которых возможность пространственного анализа

объемных данных, а не просто представление их на плоскости [5]. Характерной особенностью ГИС-систем является высокая точность координат размещаемых объектов и, как следствие, максимальное соответствие моделей их реальным прототипам.

При работе с городскими пространствами возникает потребность в большом количестве трехмерных моделей зданий для формирования застройки. Так как ГИС являются интерактивными системами, важно поддерживать скорость работы на комфортном для пользователя уровне. Число объектов в особо загруженных сценах ГИС достигает нескольких сотен, и при максимальном соответствии каждой модели реальным геометрическим параметрам её прототипа число полигонов в сцене будет стремиться к сотням тысяч или миллионов [6]. Подобная нагрузка может привести к значительным просадкам в производительности системы и, как следствие, дискомфорту пользователя при работе с такой системой [7].

Следовательно, для разработки производительных геоинформационных систем также существует потребность в создании низкополигональных моделей зданий. А учитывая их количество, требуемое для построения больших фрагментов градостроительного окружения, проблема автоматизации построения такого рода моделей остается актуальной.

Виртуальная и дополненная реальность

Виртуальная реальность (virtual reality, VR) – технология, которая формирует полностью искусственную среду, имитирующую некоторые процессы реального мира.

Дополненная реальность (augmented reality, AR) – технология, которая формирует среду, дополняющую реальный мир цифровыми данными с помощью различных программ и устройств [8]. Дополнение производится путем наложения цифровых изображений и видео на объекты реального мира [9].

Виртуальная и дополненная реальность являются перспективными технологиями для внедрения в строительный процесс. В качестве сфер использования их возможностей можно выделить:

- обучение сотрудников строительного процесса;
- виртуальное макетирование;
- наглядная демонстрация проекта и отдельных его элементов в пространстве и др. [10].

Важно, что работа с виртуальной и дополненной реальностью ведется в реальном времени, то есть приложение должно отслеживать перемещения пользователя в пространстве и реагировать на изменения, при этом стоит учитывать, что вычислительные ресурсы VR и AR ограничены. Для комфортной работы необходимо обеспечение частоты кадров, как минимум 90 кадров в секунду. В связи с этим возникает потребность в серьезной оптимизации не только программного кода приложения, в котором производится работа, но и самих демонстрируемых моделей. В случае работы с большими нагруженными сценами обычного понижения полигонажа используемой геометрии может быть недостаточно. Создаются уровни детализации (level of detail, LOD), при помощи которых производится «подмена» модели на менее детализированную по мере удаления ее от пользователя [11].

Из перечисленных выше условий следует, что для корректной работы больших сцен в AR и VR-приложениях также недостаточно просто импортировать геометрическую составляющую ТИМ-модели. Предварительно она должна подвергнуться серьезной оптимизации либо полностью создаваться заново в соответствии с требованиями к разработке VR/AR сцены.

Кадастровый учёт

Современная кадастровая система представляет собой преимущественно двумерное отражение земельных участков и зданий на кадастровой карте. Такой подход к ведению кадастрового учета имеет ряд недостатков, в числе которых самым существенным является недостаточная точность границ зданий и участков, что впоследствии ведет к серьезным последствиям вплоть до невозможности реализации прав собственников [12].

В последнее время приобретает популярность практика внедрения трехмерных моделей в кадастровый учет, т.к. для корректного учета современных зданий часто бывает недостаточно 2D-чертежей (например, при наличии висячих надземных или подземных частей зданий). Данный подход уже достаточно широко используется в ряде зарубежных стран. Родоначальником 3D-кадастра является Швеция, где возможность кадастрового учета 3D-моделей существует с 2004 года. До 2019 года сведения в кадастр вносились все-таки в виде плоских объектов, но в 2019 году была запущена система “Smart Built Environment” (SBE), которая уже предусматривала учет 3D-модели как объемного объекта [13].

Для постановки объекта на учет необходимо с достаточно высокой точностью определить и координировать контур объекта, провести внутренние обмеры и составить поэтажные планы. Причем это делается как на основе самого реального объекта, так и проектных данных, то есть, в том числе, и информационной модели. При этом излишняя избыточность используемой модели усложняет работу по учету объекта, так как для составления модели для использования ее в 3D-кадастре не требуются точные координаты конструктивных элементов – достаточно иметь координаты характерных точек объекта [14].

Наиболее предпочтительным вариантом для России является построение общей 3D-модели, когда моделирование объекта производится

путем построения совокупности горизонтальных, вертикальных и наклонных граней, проходящих через конструктивные элементы объекта. Подобный подход к моделированию учитывает все выступающие и перекрывающие друг друга части объекта и достаточно точно описывает его внешнюю поверхность [14]. Создание модели таким способом представляет собой весьма трудоемкий процесс в случае, если измерения снимаются с реального объекта либо точки вводятся вручную по проектным данным. Было бы разумно автоматизировать создание таких моделей на основе 3D-составляющей ТИМ-модели разрабатываемого объекта.

Выводы. На основании вышеизложенных пунктов можно сделать вывод, что на сегодняшний день в сфере строительства есть потребность в низкополигональных трехмерных моделях зданий, отличающихся по структуре и наполненности информацией от ТИМ-моделей, использующихся на различных этапах жизненного цикла строительства. С развитием ГИС, трехмерного кадастра, а также технологий виртуальной и дополненной реальности в прикладной сфере, потребность в таких моделях будет только расти, следовательно, изучение возможности автоматизации процесса их построения в соответствии с нормативными документами той или иной сферы их применения является перспективным направлением для исследований.

Литература

1. Захаров А.А. Подготовка 3D-модели к сдаче материалов на АГР в соответствии с новыми правилами URL: 3ddd.ru/blog/post/podgotovka_3d_modeli_k_sdache_materialov_na_agr_v_sootvetstvii_s_novymi_pravilami.
2. Bertacchi S., Bertacchi G., Cipriani L. Chiuro laboratory: integration of workflows from digital survey to optimised 3D urban models for interactive

exploration //Applied Geomatics. – № 14, 2022. – с. 131–150. URL: doi.org/10.1007/s12518-020-00352-1

3. Aung P. P. W. et al. Three-Dimensional Engine-Based Geometric Model Optimization Algorithm for BIM Visualization with Augmented Reality //Sensors. – 2022. – V. 22. – №. 19. – С. 7622. URL: doi.org/10.3390/s22197622

4. Митакович С.А., Митакович А.А. Создание 3D моделей объектов с использованием ГИС. // Башкирский экологический вестник, 2010. – №3 (24), 2010. – с. 30-35.

5. Еремин И.Е., Дубинин М.В., Мишаченко К.Г., Пузанов П.И. Реалистичная модель городского пространства. // Ученые заметки ТОГУ, 2014. – Том 5, №4, 2014. – с. 1379-1384.

6. Жигалов К.Ю. Использование игровых визуализаторов графики в современных геоинформационных системах. // CLOUD OF SCIENCE, 2016. – Том 3, №1, 2016. – с. 71-80.

7. Дубинин М. В., Еремин И. Е., Мишаченко К. Г., Пузанов П. И. Проект 3D ГИС городского пространства URL: habr.com/ru/post/249487/.

8. Маевв. AR — Дополненная Реальность URL: habr.com/ru/post/419437/.

9. Симченко О.Л., Сунцов А.С., Чазов Е.Л., Куделина А.А., Малышева Е.Н. Проблемы и перспективы применения технологий виртуальной и дополненной реальности в строительстве. // Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденция развития. - Петрозаводск, 05 марта 2020 года. – с.91-98.

10. Особенности VR-разработки. Часть 3 — Создание графики для VR-игр. URL: dtf.ru/gamedev/643188-osobennosti-vr-razrabotki-chast-3-sozдание-grafiki-dlya-vr-igr.

11. Нех Ю.И. Сравнение системы 2D кадастра и 3D кадастра в России. // Моя профессиональная карьера, 2019. - Том 2, №4, 2019. – с.249-252.
12. Жадан М.С., Чернов А.В., Гоголев Д.В. Аналитический обзор зарубежного опыта учета 3D-моделей в кадастре. // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2019. – Том 23, №3, 2018. – с. 201-209.
13. Чуприн М.С. Уровень проработки модели объекта недвижимости для включения в трехмерный кадастр с учетом правил информационного моделирования в строительстве. // Приложение к журналу «Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка». Сборник статей по итогам научно-технической конференции, 2020. - №11, 2020. – с. 165-167.
14. Чернов А.В. Исследование вариантов построения 3D-модели объектов недвижимости для целей кадастра. // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий), 2018. – 2018. – с. 192-210.

References

1. Zaharov A.A. Podgotovka 3D-modeli k sdache materialov na AGR v sootvetstvii s novymi pravilami [Preparation of a 3D model for the delivery of materials to the AGR in accordance with the new rules]. URL: 3ddd.ru/blog/post/podgotovka_3d_modeli_k_sdache_materialov_na_agr_v_sootvetstvii_s_novymi_pравilami.
 2. Bertacchi, S., Bertacchi, G. & Cipriani, L. Chiuro laboratory: integration of workflows from digital survey to optimised 3D urban models for interactive exploration. Applied Geomatics 14 (Suppl 1), 131–150 (2022). URL: doi.org/10.1007/s12518-020-00352-1
 3. Aung, P.P.W., Choi, W., Kulinan, A.S., Cha, G., Park, S. Three-Dimensional Engine-Based Geometric Model Optimization Algorithm for BIM
-

Visualization with Augmented Reality. Sensors 2022, 22, 7622. URL: doi.org/10.3390/s22197622

4. Mitakovich S.A., Mitakovich A.A. Bashkirskij ekologicheskiy vestnik, 2010. №3 (24), pp. 30-35.
 5. Eremin I.E., Dubinin M.V., Mishachenko K.G., Puzanov P.I. Uchenye zametki TOGU, 2014. V. 5, №4, pp. 1379-1384.
 6. Zhigalov K.Yu. Ispol'zovanie igrovyyh vizualizatorov grafiki v sovremennyh geoinformacionnyh sistemah. [The use of game graphics visualizers in modern geoinformation systems] CLOUD OF SCIENCE, 2016. V. 3, №1, pp. 71-80.
 7. Dubinin M. V., Eremin I. E., Mishachenko K. G., Puzanov P. I. Proekt 3D GIS gorodskogo prostranstva [3D GIS Urban Space Project]. URL: habr.com/ru/post/249487/.
 8. Maevv. AR — Dopolnennaya Real'nost' [AR — Augmented Reality]. URL: habr.com/ru/post/419437/.
 9. Simchenko O.L., Suncov A.S., Chazov E.L., Kudelina A.A., Malysheva E.N. Problemy i perspektivy primeneniya tekhnologiy virtual'noj i dopolnennoj real'nosti v stroitel'stve. [Problems and prospects of application of virtual and augmented reality technologies in construction]. Fundamental'naya i prikladnaya nauka: sostoyanie i tendenciya razvitiya. Petrozavodsk, 05 marta 2020 goda. pp. 91-98.
 10. Osobennosti VR-razrabotki. Chast' 3 — Sozdanie grafiki dlya VR-igr [Features of VR development. Part 3 — Creating graphics for VR games]. URL: ddf.ru/gamedev/643188-osobennosti-vr-razrabotki-chast-3-sozdanie-grafiki-dlya-vr-igr.
 11. Nekh Yu.I. Moya professional'naya kar'era, 2019. V. 2, №4, pp.249-252.
-



12. Zhadan M.S., Chernov A.V., Gogolev D.V. Interekspo Geo-Sibir', 2019. V. 23, №3, pp. 201-209.

13. Chuprin M.S. Prilozhenie k zhurnalu «Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka». Sbornik statej po itogam nauchno-tehnicheskoy konferencii, 2020. №11, pp. 165-167.

14. Chernov A.V. Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologij), 2018. pp. 192-210.