

УДК 004.9:528.92

DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-4-83-90

Разработка концепции моделирования и симуляции цифровых двойников городской территории для решения практических задач

А. А. Басаргин¹✉

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: abaspirant@mail.ru

Аннотация. Роль информационных и коммуникационных технологий в разработке концепции «умного города» позволила городам стать «умнее» в последние годы. Для разработки концепции «умного города» можно внедрить технологию цифровых двойников с целью мониторинга и моделирования городских условий. Более того, он может функционировать как точная система поддержки принятия решений. Цифровые двойники можно объединить с технологией дополненной реальности для разработки концепции «умного города». Однако цифровой двойник все больше получает признание как концепция, которая выходит за рамки трехмерных моделей городов и позволяет моделировать отдельные элементы городской среды на единой аппаратно-программной платформе. Основная проблема при создании «умного города» возникает в необходимости создания надежной платформы с поддержкой цифровых двойников, которая может эффективно отслеживать городские условия и предоставлять важную информацию для принятия решений. Актуальность данного исследования заключается в разработке концепции «умного города» с цифровыми двойниками в качестве основы, что обеспечит визуализацию данных в реальном времени в среде, которая будет способствовать четкой и эффективной передаче информации пользователям. Растущая доступность датчиков для сбора трехмерных геопространственных данных также способствует развитию технологии цифровых двойников. Полученные цифровые двойники позволяют хранить различные представления города с разными уровнями детализации (геометрическое разрешение) для разных целей, а также для анализа и определения того, как изменения могут сделать городские районы более пригодными для жизни, навигации и устойчивого развития. В исследовании также предлагается архитектура, которая станет основой разработки платформы цифровых двойников. Результатом разработки концепции является платформа «умного города» на основе цифрового двойника, которую можно использовать для мониторинга состояния города. Эта платформа может быть использована пользователями при планировании своей повседневной деятельности, а также может оказать поддержку в принятии решений по развитию города.

Ключевые слова: цифровой двойник, «умный город», городское управление, алгоритмы искусственного интеллекта, интеллектуальный анализ данных, датчики, стандарт CityGML

Для цитирования:

Басаргин А. А. Разработка концепции моделирования и симуляции цифровых двойников городской территории для решения практических задач // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 4. – С. 83–90. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-4-83-90

Введение

Сегодня информационные технологии стали основной движущей силой социально-экономического развития. Используя точный и актуальный анализ данных, муниципальные власти могут принимать обоснованные решения для эффективного реагирования на чрезвычайные ситуации, максимального развития инфраструктуры, улучшения государственных услуг и создания эффективной и устойчивой городской среды [1].

Мониторинг и поддержка принятия решений в рамках платформы «умного города» предполагает использование технологических инструментов для сбора и анализа данных от различных датчиков и источников информации, распределенных по городской территории. Собранные данные охватывают такие аспекты, как характер дорожного движения, измерение качества воздуха, уровни шумового загрязнения, использование энергии и другие сопутствующие факторы [2–5].

Многочисленные исследования доказали преимущества, связанные с внедрением умных городов, включая сокращение выбросов углекислого газа, снижение дорожно-транспортных происшествий и улучшение качества жизни городских жителей [6–8].

Цифровой двойник – это интегрированное виртуальное представление физической системы, который представляет цифровой аналог физического объекта или процесса в реальном времени и реализован с помощью данных и симуляторов для прогнозирования, оптимизации, мониторинга, контроля и улучшения принятия решений в реальном времени.

«Умный город» – это представление объекта или системы, которое охватывает весь его жизненный цикл, обновляется на основе данных в реальном времени, которые могут быть обогащены семантическими данными и использованы в качестве основы для анализа, включая, например, анализ дневного света и энергопотребления, а также моделирование движения транспорта и машинное обучение для помощи в принятии управленческих решений [8–17].

Кроме того, участие и вовлечение граждан являются важнейшими элементами в контек-

сте платформ «умного города», поскольку они могут предлагать информацию в режиме реального времени и способствовать успешному решению местных проблем. Включение принятия решений на основе данных в среду «умного города» демонстрирует значительный потенциал в повышении уровня городской жизни и решении сложных городских проблем.

Цифровой двойник будет содержать все основные геопространственные объекты, что позволит отображать соответствующие процессы целостно и во взаимосвязи друг с другом на основе общей базы данных. Это предназначено для поддержки более быстрого, более информированного принятия решений.

Цифровые двойники уже давно стали надежным инструментом в промышленном производстве для полного зеркального отображения процессов. При моделировании учитываются все соответствующие аспекты, функции и свойства объекта или производственного процесса, что позволяет моделировать или отслеживать альтернативы. Перенос этой концепции на более широкий географический охват, например, на всю страну, создает проблемы, начиная от технологического масштабирования и моделирования и заканчивая управлением информацией и интеграцией данных. Однако последние достижения в области информационных технологий, такие как расширение возможностей обработки данных с помощью облачных вычислений и искусственного интеллекта, а также усовершенствованные методы съемки, позволяют обеспечить точный сбор реальных данных в качестве входных для цифрового двойника [7–11].

Методы и материалы

Отправной точкой для создания цифрового двойника города является доступ к необработанным данным. Эти данные могут быть созданы на основе аэрофотосъемки в виде массивов точек. Затем массивы точек обрабатываются для создания 2D- или 3D-моделей города. Доступ к данным варьируется в зависимости от страны и не всегда может быть открытым или свободным.

Чтобы создать цифровой двойник определенной сложности и использования, важно учитывать, какая модель данных используется для определения цифрового двойника. Известно, что это отличается от математической модели, используемой для моделирования и прогнозирования. Выбор модели данных определяет, какие данные могут быть представлены и какие варианты использования могут поддерживаться цифровым двойником. Модель данных – это реализация определенной онтологии, а также явной или неявной реализацией. Онтология определяет, как данные цифрового двойника могут быть описаны и поняты с точки зрения классов, атрибутов и отношений. Для моделирования городов было предложено несколько моделей данных и соответствующих форматов обмена. Одним из наиболее известных является CityGML.

Стандарт CityGML определяет концептуальную модель и формат обмена для представления, хранения и обмена виртуальными трехмерными моделями городов. Он облегчает интеграцию городских данных для различных приложений «умных городов» и городских цифровых двойников, включая городское и ландшафтное планирование; информационное моделирование зданий (BIM); мобильная связь; управление стихийными бедствиями; 3D-кадастр; туризм; автомобильная и пешеходная навигация; автоном-

ное вождение и помощь при вождении; управление объектом; моделирование энергетики, дорожного движения и окружающей среды [12–14].

Основываясь на описании потребности в платформе цифрового двойника для «умного города», основная задача заключается в том, как построить платформу «умного города» на основе цифровых двойников, которую можно использовать для мониторинга условий города, а также в качестве исходных данных для принятия решений. Использование технологии цифровых двойников при разработке платформ «умного города» повысит операционную эффективность, качество государственных услуг и экологическую устойчивость городов.

Эта среда также является основой для моделирования текущего состояния города и плана развития. Эта визуализация может стать вкладом в предоставление рекомендаций по будущему улучшению или развитию города.

В качестве примера таких источников можно выделить следующие (рис. 1):

- информация о транспортном потоке жителей города;
- информация о физических параметрах городской среды;
- данные камер наружного наблюдения позволяют интеллектуально анализировать такие характеристики городской среды;
- данные из открытых источников [15].

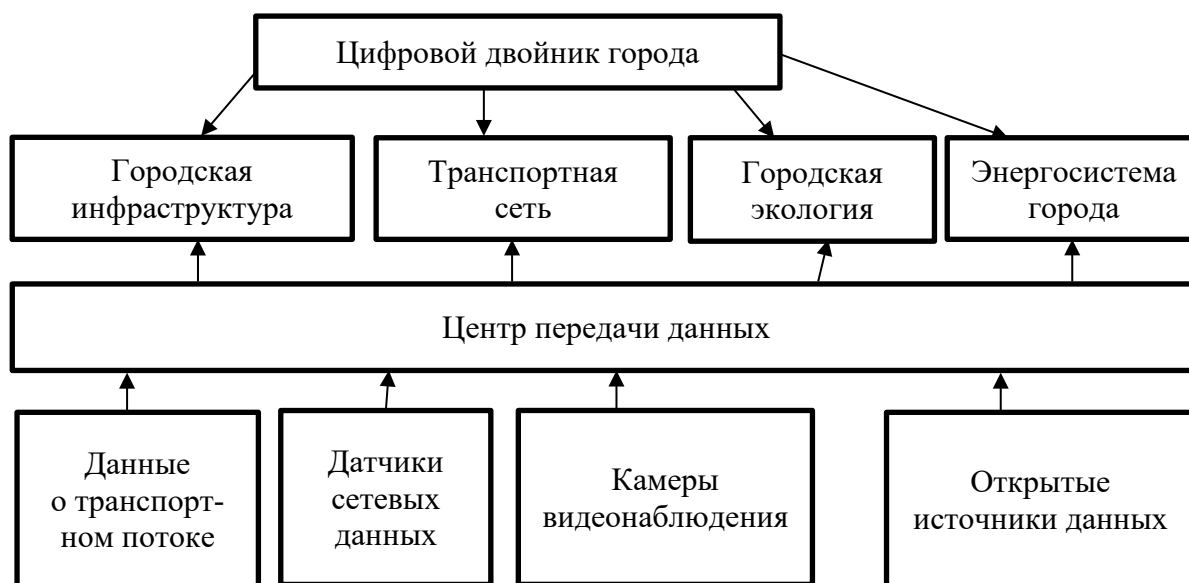


Рис. 1. Источники данных для создания цифрового двойника города

Цифровой двойник отличается четырьмя основными характеристиками: точным картографированием, виртуально-реальным взаимодействием, определением программного обеспечения и интеллектуальной обратной связью. Точное картографирование означает, что цифровые города реализуют комплексное цифровое моделирование городских дорог, мостов, зданий и другой инфраструктуры.

Цифровой двойник может управлять датчиками в воздухе, на земле, под землей и на реках в городах, чтобы отслеживать рабочее состояние города и, наконец, формировать точную информацию. Взаимодействие виртуального и реального мира позволяет искать различные следы, в том числе оставленные отдельными людьми, а также логистику и автомобили, увиденные в реальном городе. Программное определение «умного города» указывает на то, что оно основано на виртуальном представлении реального города и использует программное обеспечение для имитации городских жителей, видов деятельности и инфраструктуры. С другой стороны, интеллектуальная обратная связь – это раннее предупреждение о непредвиденных последствиях, конфликтах и городских опасностях, которые могут быть использованы с помощью таких средств, как стратегическое планирование, проектирование, моделирование и др. [17].

Результаты

Создавая детализированные виртуальные копии городских территорий, можно управлять пробками на дорогах, что становится критически важным для мобильности и торговли.

На этапе разработки платформы движок Unity служил благоприятной средой для интеграции различных источников данных, таких как данные видеонаблюдения, видеоаналитика, датчики и другие соответствующие источники информации. В данном случае рекомендуется использовать OpenStreetMap в качестве основного слоя базовой карты. Более того, в дополнение к базовому слою в указанную область были включены трехмерные элементы. 3D-модель создавалась на основе данных шейп-файла в географической информа-

ционной системе (ГИС), что позволило точно моделировать координаты, расположение и размеры физических объектов.

Цифровые двойники являются основой развития этой платформы «умного города». Полученная платформа может отображать 3D-изображение города и данные или информацию на основе датчиков, установленных в городе. Один из дисплеев на этой платформе предназначен для отображения количества транспортных средств в режиме реального времени. Изображение получено с камер видеонаблюдения, установленных на нескольких перекрестках города. Он использует видеоаналитику для расчета количества транспортных средств по типам, а именно легковых автомобилей, мотоциклов, автобусов, грузовиков и велосипедов. Одним из примеров решения практических задач – обнаружение дорожного просвета автомобиля – показано на рис. 2.



Рис. 2. Обнаружение дорожного просвета автомобиля

На построенной платформе можно увидеть три вида трехмерного изображения города. Во-первых, трехмерный город можно просмотреть с помощью базовой карты, чтобы точно определить местоположение каждого объекта. Во-вторых, 3D-изображение города можно просмотреть без базовой карты, но дорожная сеть все равно существует. В-третьих, 3D-изображение города можно увидеть, объединив их все. Платформа может отображать или визуализировать информацию о подсчете транспортных средств в режиме реального времени на уровне цифрового двойника (рис. 3).

Кроме того, эта платформа может продолжать расти, поскольку в будущем она сможет добавлять визуализацию данных в реальном времени на основе входных данных датчиков, установленных в физическом городе. С помощью этой платформы пользователи могут следить за состоянием города в режиме реального времени, не находясь физически непосредственно в городе.

Следовательно, чтобы усовершенствовать эту платформу, необходимо заполнить данные или информацию, которые можно визуализировать в режиме реального времени. Городское правительство может использовать полноту и точность отображаемых данных для определения состояния города, чтобы оно могло принимать точные решения по развитию города в будущем.



Рис. 3. 3D-изображение города

Цифровой двойник может быть дополнен данными в реальном времени для повышения эффективности работы. Об этом свидетельствует появившаяся платформа для получения данных, которая использует систему видеонаблюдения. Затем добавляется видеоаналитика для отображения количества транспортных средств в режиме реального времени или в зависимости от условий реального мира.

Построенная платформа цифрового двойника также может претерпеть архитектурную доработку, если в будущем будут предусмотрены исполнительные механизмы для управления физическими объектами, установленными в городской инфраструктуре (рис. 4). На основании этих усло-

вий, когда построенная архитектура допускает изменения, или идут разработки в нескольких секторах, платформы цифровых двойников могут продолжать повышать свое взаимодействие для более интуитивной и эффективной передачи информации.



Рис. 4. Планирование строительства

Заключение

Разработка платформы «умного города» на основе цифровых двойников позволила визуализировать данные в реальном времени. Однако некоторые моменты требуют особого внимания. Во-первых, визуализация данных зависит от готовности городской инфраструктуры, поскольку, если городская инфраструктура работает хорошо и в полном объеме, данные можно получать точно и обрабатывать в режиме реального времени. Без хорошей городской инфраструктуры получить точный цифровой двойник города непросто. Уровень готовности города стать цифровым можно узнать по полноте доступной городской инфраструктуре, такой как датчики, системы видеонаблюдения и другие сенсорные инструменты, а также по тому, как она установлена и продолжает ли работать хорошо.

Цифровые двойники предоставляют более широкий спектр решений бизнес-задач, создавая связи и оптимизируя рабочие процессы. Цифровые двойники оптимизируют операционную эффективность и процесс принятия решений за счет автоматизации для прогнозирования результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савиных В. П. Космические исследования как средство формирования картины мира // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 1. – С. 56–62.
2. Tsvetkov V. Ya. Worldview Model as the Result of Education // World Applied Sciences Journal. – 2014. – Vol. 31 (2). – P. 211–215.
3. Что такое Big Data: как работать с большими данными? [Электронный ресурс]. – URL: <https://medianation.ru/blog/analitika/chto-takoe-big-data-prostymi-slovami>.
4. Big Data [Electronic resource]. – URL: <https://www.unisender.com/ru/glossary/chto-takoe-bigdata/#anchor-1>.
5. Guide to Big Data Visualization [Electronic resource]. – URL: <https://piktochart.com/blog/big-data-visualization>.
6. Junghoon Ki. GIS and Big Data Visualization [Electronic resource] // Geographic Information Systems and Science. Jorge Rocha and Patrícia Abrantes (Eds.). – URL: <https://www.intechopen.com/chapters/64243>.
7. Анкин Д. В. Теория познания : учеб. пособие. – Екатеринбург : Изд. Уральского университета, 2019. – 192 с.
8. Чувственное и рациональное познание [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.grandars.ru/college/filosofiya/chuvstvennoe-poznanie.html>.
9. Бучило Н. Ф., Чумаков А. Н. Философия. – М : Саратов : ПЕР СЭ, Ай Пи Эр Медиа, 2019. – 448 с.
10. Научное познание [Электронный ресурс]. – URL: <https://foxford.ru/wiki/obshchestvoznание/nauchnoe-poznanie>.
11. Радченко Л. К., Николаева О. Н. Познавательный аспект в картографии: особенности рационального и чувственного познания при создании и использовании карт // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 3. – С. 108–115.
12. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий : монография. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 260 с.
13. Об утверждении методики определения возрастных групп населения [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/560682671>.
14. Народонаселение. Энциклопедический словарь / Гл. ред. Г. Г. Меликьян. – М. : Большая Российская энциклопедия, 1994. – 640 с.
15. Население мира. Демографический справочник. – М. : Мысль, 1989. – 477 с.
16. Радченко Л. К. Познавательный аспект в картографии // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 138–145.
17. Баталов Р. Н., Радченко Л. К. Обзор основных направлений использования ГИС технологий в историко-картографических исследованиях // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 119–135.

Об авторах

Андрей Александрович Басаргин – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных систем.

Получено: 30.01.2024

© А. А. Басаргин, 2024

Development of a concept for modeling and simulation of urban areas digital twins to solve practical problems

A. A. Basargin¹✉

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: abaspirant@mail.ru

Abstract. The role of information and communication technologies in the development of the smart city concept has enabled cities to become smarter in recent years. To develop a smart city concept, digital twin technology can be introduced to monitor and simulate urban conditions. Moreover, it can function as an accurate decision support system. Digital twins can be combined with augmented reality technology to develop smart city concepts. However, the digital twin is increasingly gaining recognition as a concept that goes beyond 3D city models and allows the simulation of individual elements of the urban environment on a single hardware and software platform. The main challenge in creating a smart city arises from the need to create a robust digital twin-enabled platform that can effectively monitor urban conditions and provide critical information for decision-making. The relevance of this research is to develop a smart city concept with digital twins as a basis, which will provide real-time data visualization in an environment that will facilitate clear and efficient communication of information to users. The increasing availability of sensors to collect 3D geospatial data is also driving the development of digital twin technology. The resulting digital twins will allow different views of the city to be stored at different levels of detail (geometric resolution) for different purposes, as well as to analyze and determine how changes can make urban areas more suitable for life, navigation and sustainable development. The study also proposes an architecture that will underpin the development of a digital twin platform. The result of the concept development is a “smart city” platform based on a digital twin, which can be used to monitor the state of the city. This platform can be used by users to plan their daily activities and can also support decision-making on city development.

Keywords: digital twin, smart city, urban management, artificial intelligence algorithms, data mining, sensors, CityGML standard

REFERENCES

1. Savinykh, V. P. (2015). Space research as a means of forming a picture of the world. *Perspektivy nauki i obrazovaniya [Perspectives of Science and Education]*, 1, 56–62 [in Russian].
2. Tsvetkov, V. Ya. (2014). Worldview Model as the Result of Education. *World Applied Sciences Journal*, 31(2), 211–215.
3. What is Big Data: how to work with big data? (n. d.). Retrieved from <https://medianation.ru/blog/analitika/chto-takoe-big-data-prostymi-slovami> (accessed October 23, 2023) [in Russian].
4. Big Data. (n. d.). Retrieved from <https://www.unisender.com/ru/glossary/chto-takoe-bigdata/#anchor-1> (accessed October 23, 2023) [in Russian].
5. 2023 Guide to Big Data Visualization. (n. d.). Retrieved from <https://piktochart.com/blog/bigdata-visualization> (accessed October 24, 2023) [in Russian].
6. Junghoon, Ki. GIS and Big Data Visualization. In *Geographic Information Systems and Science*. Jorge Rocha and Patrícia Abrantes (Eds.). Retrieved from <https://www.intechopen.com/chapters/64243> (accessed October 25, 2023).
7. Ankin, D. V. (2019). *Teoriya poznaniya [Theory of knowledge]*. Ekaterinburg: Ural University Publ., 192 p. [in Russian].

8. Sensory and rational cognition. (n. d.). Retrieved from <https://www.grandars.ru/college/filosofiya/chuvstvennoe-poznanie.html> (accessed January 30, 2021) [in Russian].
9. Buchilo, N. F., & Chumakov, A. N. (2019). *Filosofiya [Philosophy]*. Moscow, Saratov: PER SE, IP Er Media, 448 p. [in Russian].
10. Scientific knowledge. (n. d.). Retrieved from <https://foxford.ru/wiki/obshchestvoznaniye/nauchnoe-poznanie> (accessed January 11, 2023) [in Russian].
11. Radchenko, L. K., & Nikolaeva, O. N. (2021). Cognitive aspect in cartography: features of rational and sensory knowledge when creating and using maps. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(3), 108–115 [in Russian].
12. Karpik, A. P. (2004). *Metodologicheskie i tekhnologicheskie osnovy geoinformatsionnogo obespecheniya territoriy [Methodological and technological foundations of geoinformation support for territories]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 260 p. [in Russian].
13. On approval of the methodology for determining age groups of the population. (n. d.). Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/560682671> (accessed November 09, 2023) [in Russian].
14. Melikyan, G. G. (Ed.). (1994). *Narodonaselenie. Entsiklopedicheskiy slovar' [Population. Encyclopedic Dictionary]*. Moscow: Great Russian Encyclopedia Publ., 640 p. [in Russian].
15. *Naselenie mira. Demograficheskiy spravochnik [World population. Demographic reference book]*. (1989). "Mysl" Publ., 477 p. [in Russian].
16. Radchenko, L. K. (2020). Cognitive aspect in cartography. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(4), 138–145 [in Russian].
17. Batalov, R. N., & Radchenko, L. K. (2020). Review of the main directions of using GIS technologies in historical and cartographic research. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(1), 119–135 [in Russian].

Author details

Andrey A. Basargin– Ph. D., Associate Professor, Department of Applied Informatics and Information Systems.

Received 30.01.2024

© A. A. Basargin, 2024