

Цифровой двойник территории и методы геокогнитивного моделирования

Д. В. Лисицкий¹, А. Г. Осипов¹, В. Н. Савиных^{2}*

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

² Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск,
Российская Федерация

* e-mail: savinslav@inbox.ru

Аннотация. Рассматриваются подходы к формированию цифрового двойника местности (Digital Twin of Terrain – DTT) заданной территории в сочетании с методами геокогнитивного моделирования для дальнейшего его использования в решении геопрограмственных задач. Показано, что DTT представляют собой регулируемое динамическое равновесие информационных потоков между цифровым и физическим объектами местности, которое является постоянно действующим генератором новых знаний о местности в реальном режиме времени. Обозначено различие понятий: цифровая модель местности, цифровая тень местности, цифровой двойник местности в геокогнитивном анализе местности как основного аспекта любой изучаемой территории. Выявлено, что с помощью DTT можно моделировать изменения, происходящие в территориальной системе в целом, а также в результате изменения ее отдельных фрагментов за счет эффекта эмерджентности. Определена возможность использования методов геокогнитивного моделирования местности для оценки эффективности управления территорией и устранения рисков её развития. Указано на необходимость комбинирования имитационных моделей и геокогнитивных методов с использованием искусственного интеллекта.

Ключевые слова: геокогнитивный анализ, цифровой двойник местности, эффект эмерджентности, искусственный интеллект, цифровая модель местности, цифровая тень местности

Digital Twin of the Terrain and methods geocognitive modeling

D. V. Lisitsky¹, A. G. Osipov¹, V. N. Savinykh^{2}*

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

² Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation,

* e-mail: savinslav@inbox.ru

Abstract. Approaches to the formation of a Digital Twin of Terrain (DTT) of a given territory are considered in combination with methods of geocognitive modeling for its further use in solving geospatial problems. It is shown that DTT is an adjustable dynamic balance of information flows between digital and physical objects of the area, which is a permanent generator of new knowledge about the area in real time. The difference between the concepts is indicated: a digital terrain model, a digital terrain shadow, a digital twin of the terrain in the geocognitive analysis of the terrain as the main aspect of any study area. It was revealed that with the help of DTT it is possible to model the changes occurring in the territorial system as a whole, as well as as a result of changes in its individual fragments due to the emergence effect. The possibility of using methods of geocognitive terrain modeling to assess the effectiveness of territory management and eliminate the risks of its development is determined. The necessity of combining simulation models and geocognitive methods with the use of artificial intelligence is indicated.

Keywords: geocognitive analysis, digital twin of the terrain, emergence effect, artificial intelligence, digital terrain model, digital terrain shadow

9-12 мая 2022 года в Амстердаме прошел Всемирный геопространственный форум, на котором был сделан вывод о том, что «Для того чтобы общество стало полностью цифровым, инфраструктура геопространственных знаний, цифровые двойники и пространственный анализ с использованием методов искусственного интеллекта признаются критически важными активами» [1].

Одно из указанных стратегически важных понятий для развития человечества – понятие «цифровой двойник территории», существенно реже – «цифровой двойник местности» – в настоящее время начинает входить в лексикон самого широкого круга специалистов. Тем не менее, до сих пор по поводу его содержания идет непрерывная дискуссия. Мы со своей стороны попытаемся выразить свою точку зрения по этому вопросу и наметить направления освоения этого понятия на практике.

Концепция «цифрового двойника» была впервые сформулирована Майклом Гривзом в 2002 году, но тогда она была названа «моделью зеркальных пространств» (mirrored spaces model) [2]. Этим понятием он предсказал перспективы появления новых знаний, открывающихся при создании специального виртуального пространства, которое зеркально бы отражало реальное физическое пространство и обменивалось с ним оперативной информацией. После этого термин «цифровой двойник» (англ. Digital Twin) прочно вошел в обиход и с каждым годом получает новое развитие.

Digital Twin (далее – DT) в исходном виде описывается как «цифровая информационная модель физической системы, созданная как самостоятельная сущность и связанная с соответствующей существующей или проектируемой физической системой» [3]. Ключевой момент, который следует подчеркнуть в приведенном выше определении, заключается в том, что модели DT должны обеспечивать сопряжение между физической и виртуальной системой или объектом и наоборот. С этой целью все данные, которые могут быть получены от физического объекта, могут быть извлечены из его цифровой копии (цифрового объекта) [2]. Таким образом, DT представляют собой динамическое равновесие информационных потоков между цифровыми и физическими объектами, а также всех процедур, срабатываний и визуализации всего их жизненного цикла [4, 5].

Концепция Digital Twins (DT) – это развивающаяся система понятий, которая становится центром внимания специалистов в сфере геоинформатики и научного сообщества в целом. Ее можно описать как варианты сочетания цифрового и физического пространства, соединенных между собой для обмена данными и знаниями. В этом плане DT является ключевым фактором для применения технологий Индустрии 4.0, в частности, в процессах оцифровки и визуализации местности. Хотя термин DT прочно вошел в научный оборот, налицо множество различных его интерпретаций, поскольку взгляды специалистов на него существенно различаются в зависимости от характера копируемого физического объекта или процесса. DT органически связан с проблемой когнитивной обработки

и осмысления больших данных (далее – BD). Эти данные генерируются, собираются и обрабатываются различными структурами, в том числе и структурами, которые конструируют цифровые двойники.

Кроме того DT тесно связан с технологией Интернета вещей (далее - IoT). Именно Интернет вещей определяет физические объекты, связанные с датчиками, исполнительными механизмами, обрабатывающим оборудованием и другими соответствующими технологиями непосредственно на местности. Они связывают устройства и другие датчики в Интернете или других сетях [6]. Такие специалисты как Фридеманн и Маттерн [7] определяют IoT как «элементы, подключенные к виртуальному миру, где они управляются удаленно и могут выступать в качестве физических точек доступа к интернет-сервисам». Кроме того, технология IoT предоставляет основные инструменты получения DT.

Для репрезентации цифровых двойников местности следует иметь в виду, что цифровой двойник — это интегрированная вычислительная модель, которая используется для прогнозирования и моделирования различных проекций местности. Но при этом требуется более точное видение этих проекций. Но эта задача вытекает из требований предлагаемой модели DT [8]. Так, пользователи, работающие над прототипированием территории/местности могут использовать первоначальные динамические модели в качестве стартовой вычислительной копии создаваемого физического объекта.

В данном аспекте термин «модель» относится к использованию набора математических формул. Когда же речь идет об управлении и контроле, операторы в основном сосредотачиваются на когнитивной обработке данных о местности, использующей такие технологии, как машинное обучение и искусственный интеллект. Такой подход уже реализует термин «модель» как систему логического вывода, которая оценивает информацию и формирует новые знания о характере местности. Следует отметить, что различные интерпретации DT не являются редкостью между профессионалами с разным опытом, поскольку цели применения этого понятия могут быть совершенно разными.

С учетом вышесказанного, можно сделать вывод, что в любом случае DT является цифровым объектом как аналогом физического объекта [3]. Однако из-за разных уровней когнитивной обработки и обмена данных между этими двумя объектами возникает потребность в терминах, которые отличают разные типы цифровых аналогов физического объекта. Например, есть случаи, когда когнитивная обработка данных проходит без участия искусственного интеллекта, как бы вручную, в то время как в других случаях этот процесс полностью автоматизирован. Эта автоматизация обеспечивает когнитивную обработку геоинформации между физическим и цифровым пространствами в режиме реального времени. Поэтому рассмотрим отличия между определениями цифровой модели местности (DMT), цифровой тени местности (DST) и цифрового двойника местности (DTT) [3]. Классификацию цифровых аналогов местности дадим на основе уровней когнитивной обработки потока информации от них к физическому объекту и наоборот.

Необходимо отметить, что цифровая модель местности (DMT), в отличие от DT, обычно представляет собой трехмерную репрезентацию реальной местности, которая выстраивается в результате ручной когнитивной обработки встречных потоков данных между реальным и цифровым объектом местности, причем без соблюдения режима реального времени (Рис. 1).

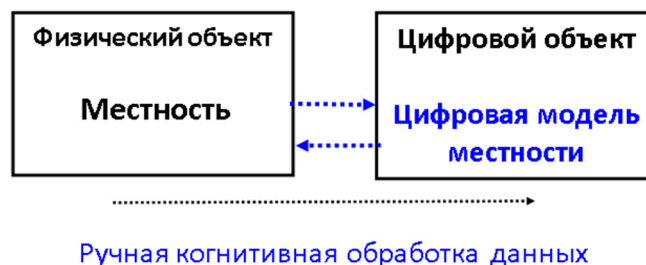


Рис. 1. Обработка данных в цифровой модели местности

DMT может отображаться в различных типах уровня детализации, что означает, что пользователи могут документировать, формулировать и специфицировать 3D-модель в соответствии со своими требованиями. Без какой-либо автоматической когнитивной обработки потоков данных между реальным объектом и цифровым образом DMT может описывать несколько различных аспектов и проекций, составляющих физический объект местности. Если когнитивная обработка данных существует, она выполняется вручную, поэтому изменение состояния любого из этой пары объектов не будет автоматически отражаться на его аналоге.

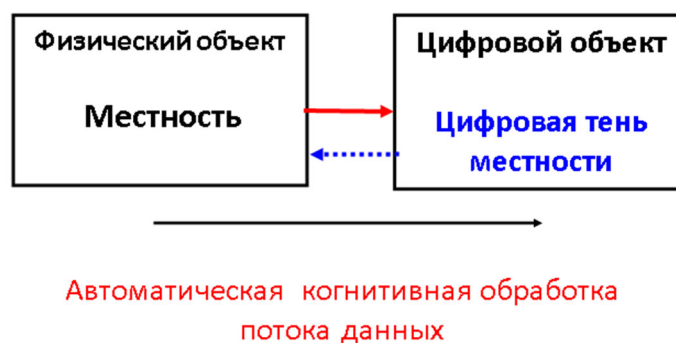


Рис. 2. Обработка данных в цифровой тени местности.

Теперь обратимся к такому понятию как цифровая тень или прототип местности. В отличие от DTT, когда происходит автоматическая когнитивная обработка потоков данных от физического/реального к цифровому объекту и наоборот, наблюдается так называемая цифровая тень местности (DST). Таким образом, в DST состояние физического объекта определяет текущее состояние цифрового объекта и соответственно автоматически инициирует в нем любые изменения, а не наоборот (Рис. 2).

Поэтому, расширяя рамки определения цифровой тени, если автоматическая когнитивная обработка потока данных между реальным физическим объектом и его цифровым аналогом происходит на двусторонней основе, как показано на (Рис. 3), то можно считать, что мы наблюдаем цифрового двойника местности. Следовательно, от цифрового объекта также может исходить информация, в известной мере влияющая на физический объект.

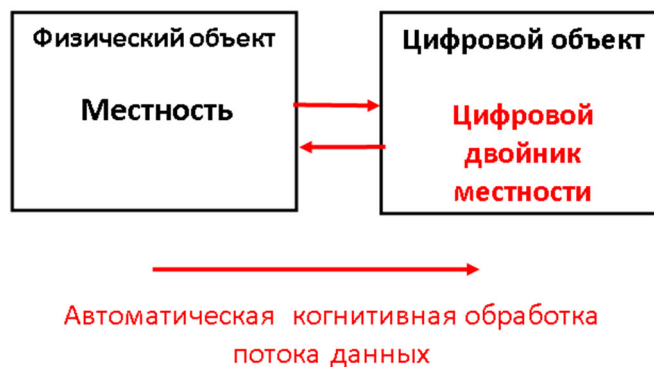


Рис. 3. Обработка данных в цифровом двойнике местности

Технологии цифровых двойников местности (ДТТ) могут быть использованы в широком диапазоне практических приложений. В частности весьма перспективно использование цифровых двойников местности в процессе формирования умных городов. Города мира быстро растут в размерах и населении, что приводит к значительным последствиям для нашего финансового, экологического и промышленного будущего, которые затрагивают глобальные сообщества. Чтобы справиться с негативными последствиями с точки зрения глобальной устойчивости, многие сообщества применяют высокотехнологичные достижения в своих структурах для интеллектуального управления, включая в свои стратегии программу разумного роста [9-11]. Появление концепции цифровых двойников местности, подпитываемое техническими возможностями, предлагаемыми IoT, является основой для создания цифровых двойников для умного города [12].

Цифровой город-двойник, который обновляется за счет производительности естественной городской инфраструктуры и человеческой энергии, предоставляет возможность прогнозировать изменения состояния в системах и планировать адекватные предстоящие действия. Такой механизм прогнозирования может работать в режиме реального времени и позволит собирать историческую информацию об инфраструктурных системах, установленных по всему физическому городу [13]. Кроме того, ДТТ в умном городе может изучать сценарии «что, если» в системе, оценивать результат и предлагать соответствующие превентивные действия [14-16]. Это может помочь аналитикам понять, как умные города могут достичь высокой степени устойчивости и приспособляемости к изменениям экономических, экологических и социальных условий, выявляя потенциальные сбои в работе. Способность услуг и инфраструктуры в умном городе

иметь датчики и контролироваться с помощью устройств IoT имеет большое значение для всех видов защиты устойчивого развития нынешних и будущих умных городов [9].

Таким образом ДТТ становится важным не только для моделирования местности для самых различных целей пространственного анализа, но инструментом для принятия управленческих решений. Ведь в современных условиях требуется не только обработка колоссального объема геопространственных данных, но и оперативное превращение их в знания, в том числе и методами геокогнитивного моделирования. Полученные этими методами соответствующие геофрагменты территориальных локализаций могут быть объединены в систему, которую можно рассматривать как цифровой двойник местности всей изучаемой территории. Иными словами образуется цифровая трехмерная копия реальной среды. Это могут быть города, здания, железнодорожные проекты или сельскохозяйственные нивы, где все доступные геопространственные данные представлены с геопривязкой и в объектно-ориентированном виде. Первоначально эти объекты преобразуются в геокогнитивные путем моделирования, а затем интегрируются в цифровой двойник территории - в динамическую виртуальную модель системы, процесса или услуги.

Можно моделировать изменения, происходящие в территориальной системе, так как изменение положения и связей её отдельных фрагментов дает эффект эмерджентности и меняет поведение системы в целом.

Важно иметь в виду, что задачи обеспечения анализа, оперативного решения проблем территориальной системы на базе ДТТ требуют включения в виртуальную модель контекстных данных и информации от датчиков из физических систем (или процессов). ДТТ позволяет в реальном времени выполнять мониторинг системы и процессы, рассматривать различные варианты их поведения в зависимости от изменений в геокогнитивных фрагментах, а следовательно вести своевременный анализ данных для предотвращения проблем до их возникновения (т.н. предиктивная аналитика); планировать будущие обновления и осуществление новых подходов к решению территориальных вопросов.

В этом плане технологии формирования цифрового двойника органически входят в современные системы управления территориями, опирающиеся на прогнозирование тенденций, позитивно влияющих на возможности достижения целевых ориентиров, на практики стратегирования различного уровня. При этом, методологией, представляющей эффективные технологические решения является геокогнитивное моделирование сложных, слабоструктурированных территориальных цифровых экосистем. Особую роль в геокогнитивном подходе играют форма и способы репрезентации, визуализации знаний. Такие технологические решения предполагает широкое использование искусственного интеллекта (ИИ), геокогнитивной аналитики, цифровой визуализации, виртуальных образов исследуемой территориальной системы, зафиксированной в форме геокогнитивной модели. Следует подчеркнуть, что в теоретико-методологическом плане геокогнитивные методы в известной степени базируются на системно-синергетическом подходе.

ДТТ с применением геокогнитивного моделирования процессов и использования на местности формируется в качестве самостоятельной отрасли этого вида геознания. Налицо существенное расширение использования в планировании и управлении странами и регионами когнитивных моделей, геоинформационных систем (ГИС), геопространственных знаний и геопространственной аналитики. По линии ООН настоятельно рекомендуется всем странам мира, и в первую очередь развивающимся странам, осуществлять мероприятия по разработке и укреплению механизмов управления национальной геопространственной информацией для улучшения и координации деятельности лиц, принимающих решения в правительстве, учреждениях и организациях, для достижения согласованности между существующими возможностями и инфраструктурой национальных учреждений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. This Week: Geospatial World Forum 2022: It's a Wrap! URL: https://groups.google.com/a/co.larimer.co.us/g/commissioner_kefalas_public/c/QBCfS5T0pWc?pli=1 (дата обращения: 18.05. 2022).
2. Grieves M, Vickers J: Digital Twin: Mitigating unpredictable undesirable emergent behavior in complex systems. Springer International Publishing Switzerland. 2017.
3. Kritzinger W, Karner M, Traar G, et al.: Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine. 2018; 51(11): 1016-1022.
4. Feng H, Chen D, Lv H: Sensible and secure IoT communication for digital twins, cyber twins, web twins. Internet of Things and Cyber-Physical Systems. 2021.
5. Babun L, Denney K, Celik ZB, et al.: A survey on IoT platforms: Communication, security, and privacy perspectives. Comput Netw. 2021; 192: 108040.
6. Koohang A, Sargent CS, Nord JH, et al.: Internet of Things (IoT): From awareness to continued use. Int J Inform Manage. 2022; 62: 102442.
7. Mattern F, Floerkemeier C: From the Internet of Computers to the Internet of Things. In From Active Data Management to Event-Based Systems Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010; 242-259.
8. Howard D: The digital twin: Virtual validation in electronics development and design. In: Proc Pan Pacific Microelectron Symp (Pan Pacific). 2019; 1-9.
9. Fuller A, Fan Z, Day C, et al.: Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. In: IEEE Access. 2020; 8: 108952-108971.
10. Deng T, Zhang K, Shen ZJ: A systematic review of a digital twin city: A new pattern of urban governance toward smart cities. JManagSciEng. 2021; 6(2): 125-134.
11. Farsi M, Daneshkhah A, Hosseinian-Far A, et al.: Digital Twin Technologies and Smart Cities. Springer, eBook ISBN 978-3-030-18732-3, 2020.
12. Mohammadi N, Taylor JE: Smart city digital twins. 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI). 2017; 1-5.
13. Anthopoulos L: Smart utopia VS smart reality: Learning by experience from 10 smart city cases. Cities. 2017; 63: 128-148.
14. Kim D, Kwon D, Park L, et al.: Multiscale LSTM-Based Deep Learning for Very-Short-Term Photovoltaic Power Generation Forecasting in Smart City Energy Management. IEEE Syst J. 2021; 15(1): 346-354.
15. Geng G, Liu W, Gong Y, et al.: Refined Ramp Event Characterization for Wind Power Ramp Control Using Energy Storage System. IET Renewable Power Generation. 2019; 13(10): 1731.
16. Khan A, Aslam S, Aurangzeb K, et al.: Multiscale modeling in smart cities: A survey on applications, current trends, and challenges. Sustain Cities Soc. 2022; 78: 103517.