



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.001.57

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-5-1>

Дистанционное зондирование транспортной инфраструктуры



Виктор САВИНЫХ

Виктор Петрович Савиных*Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), Москва, Россия.**РИНЦ SPIN-код: 9207-8148; РИНЦ AuthorID: 70172.**✉ vp@miigaik.ru.***АННОТАЦИЯ**

Статья исследует применение дистанционного зондирования для контроля и управления транспортной инфраструктурой. На основе дистанционного зондирования формируется технология космического мониторинга транспорта. При этом отмечена необходимость интеграции дистанционного зондирования с геоинформатикой транспорта. Показано различие между фактофиксирующими и информационными моделями в технологиях дистанционного зондирования и что информационные модели служат основой управления транспортной инфраструктурой. Дистанционное зондирование объектов транспортной инфра-

структуры трактуется как интегрированный комплекс, и это положено в основу исследования. Проведен атрибутивный анализ содержания этого интегрированного комплекса. Дана систематика характеристики технологического комплекса дистанционного зондирования. Показаны особенности транспортной инфраструктуры как объекта дистанционного зондирования. Подчеркнуто, что дистанционное зондирование является современным необходимым инструментом управления транспортом. Дана систематика атрибутов транспортной инфраструктуры как объекта мониторинга и дистанционного зондирования.

Ключевые слова: транспорт, управление, мониторинг, космические исследования, дистанционное зондирование, транспортная инфраструктура, систематика.

Для цитирования: Савиных В. П. Дистанционное зондирование транспортной инфраструктуры // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 5 (114). С. 6–10. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-5-1>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.

ЦЕЛЬ И МЕТОДЫ

Целью работы является исследование применения технологий дистанционного зондирования для контроля и управления транспортной инфраструктурой. Исследованы содержание технологий дистанционного зондирования транспортной инфраструктуры, факторы пространственных рассуждений, влияющих на анализ результатов дистанционного зондирования.

Основными методами исследования являются системный, атрибутивный, пространственный, сравнительный анализ.

ВВЕДЕНИЕ

Дистанционное зондирование транспортной инфраструктуры (ДЗТИ) служит основой интегрального [1] дифференциального управления [2] транспортной системой. ДЗТИ в технологическом плане служит основой формирования космического мониторинга транспорта (КМТ). Особенностью этого мониторинга являются глобальность и наличие большого объема исходных данных [3], что затрудняет анализ и тормозит обработку информации. Для селекции и сжатия информации в КМТ применяют модельный подход. Модельный подход состоит в использовании моделей и наблюдении, в первую очередь, за параметрами моделей, описывающих исследуемый процесс или объект. Для подвижных объектов характерно применение динамической пространственно-временной модели управления железной дорогой [4]. Особенностью технологии ДЗТИ является, то, что она не только ведет наблюдение, но и создает геознание [5]. Большое количество разнообразной информации сопровождается информационной неопределенностью [6]. Для уменьшения неопределенности ее необходимо моделировать [7] и применять вероятностные меры по индексам включения в случае неизвестной функции полезности [8]. Наличие информационной неопределенности требует перехода от строгих логических рассуждений и секвенциальных логических цепочек к схеме рассуждений, допускающей противоречия и устраняющей противоречия [9; 10]. Уменьшение неопределенности в ДЗТИ выполняют тремя основными методами: это устранение противоречий, отсеивание ненужной информации, кластеризация полезной информации [11; 12].

ДЗТИ служит основным источником получения пространственной информации, которая

необходима для анализа состояния и контроля транспортной системы. Эти технологии собирают информацию во всем спектре электромагнитных волн и в настоящее время сформированы как комплексы сложных систем, объединяющих данные разных диапазонов. Большое значение ДЗТИ имеет при глобальном мониторинге транспорта и в управлении с помощью интеллектуальных транспортных систем (ИСТ) [13; 14] или транспортных киберфизических систем (ТКФС) [15; 16].

Развитие современной транспортной системы и территорий ее размещения невозможно без ДЗТИ, преимуществами которого являются глобальность и возможность наблюдения малодоступных территорий. В частности, наблюдение арктических территорий [17; 18] и зон вечной мерзлоты возможно только с применением дистанционного зондирования. Особенностью развития ДЗТИ является дифференциация [19] применительно к прикладным задачам.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Атрибутивный анализ в любой области включает анализ параметров или атрибутов. В атрибутивном анализе ДЗТИ выделяют следующие атрибуты: цель, поле, объект или группа объектов, методы, модель как систему наблюдения, модель объекта наблюдения.

Модели объекта наблюдения используют для сжатия информации и повышения оперативности принятия решений. На рис. 1 приведены исходные данные в виде космического снимка. На рис. 2 приведена информационная модель, построенная по космическому снимку.

Рис. 1 и 2 показывают различие между исходной фактофиксирующей моделью и информационной моделью, полученной на ее основе. Информационная модель содержит полезную информацию, дополненную поясняющими подписями. ДЗТИ применяют при решении разных задач, при этом качественно разделяют модели стационарных объектов транспортной инфраструктуры и модели подвижных объектов, которые включают наблюдение, обработку, интерпретацию и систематизацию информации.

Дифференциация ДЗТИ позволяет выбирать диапазон электромагнитных волн применительно к задаче исследования или объекту исследования. Например, при исследовании тепловой обстановки выбирают инфра-





Рис. 1. Космический снимок Казанского вокзала (Google map).



Рис. 2. Информационная (картографическая) модель (Яндекс Карты).

красный диапазон, при исследовании территории при наличии облачности – выбирают радиолокационные снимки, при исследовании полярных территорий – выбирают спектрально-инфракрасные снимки [20].

Разнообразие моделей ДЗТИ и диапазонов сбора информации требует применения целого набора методов моделирования. Базовым является информационное моделирование, на

основе которого выполняют другие виды моделирования. С другой стороны информационное моделирование порождает другие виды моделирования.

Существует тесная связь ДЗТИ с геоинформатикой и с геоинформатикой транспорта. Это обусловило интеграцию методов ДЗТИ и геоинформатики [21]. Основой интеграции являются геоданные.

По объектам наблюдения можно разделить ДЗТИ подвижных объектов, инженерных сооружений, среды, экологии, кадастра, управления недвижимостью транспортной инфраструктуры. Вид ДЗТИ определяется задачей исследования, а дифференциация и систематика задач определяют дифференциацию и систематику технологий ДЗТИ.

По активности/пассивности выделяют: активное ДЗТИ, пассивное ДЗТИ. Активное дистанционное зондирование воздействует на объект в спектре электромагнитных волн (радиолокация, лазер). Пассивное не воздействует на объект, а воспринимает отраженный сигнал (фотоснимок, тепловой снимок). К числу пассивных относят сети электронных меток, применение приемников ГНСС (хотя формально приемники используют на земной поверхности).

По полю ДЗТИ выделяют: ситуационное, локальное, линейное, интермодальное, глобальное зондирование.

Ситуация может быть подвижной (скользящей) и неподвижной. Локальное ДЗТИ включает объект наблюдения и его окружение. Его применяют к стационарным ситуациям и подвижным объектам и включают установку электронных меток на груз и индикаторное средство на подвижный объект.

Линейное ДЗТИ является территориальным наблюдением. Оно связано с дистанцией пути или участком железной дороги. Его можно обозначить как территориальное наблюдение мобильного объекта и наблюдение перевозимого груза. В этом случае широко применяют передачу сигналов спутников с помощью ГНСС, что дает возможность определения местонахождения груза и транспорта. ГНСС позволяет осуществлять двойной контроль за перемещениями груза и эксплуатацией подвижного объекта. При этом применяют интеграцию наземной мобильной связи и спутниковых технологий. Функции ГНСС также дают возможность выявлять нарушения в эксплуатации транспортных средств, управлять подвижными объектами в режиме реального времени на локальном и линейном уровне.

Интермодальное ДЗТИ связано с наблюдением за грузом, перевозимым разными видами транспорта. Его можно обозначить как грузонаблюдение.

Глобальное ДЗТИ применяют при перевозках между странами и континентами. Оно

включает грузонаблюдение, наблюдение за территориями, начиная с точки погрузки, промежуточными точками перегрузки и завершающими точками выгрузки.

По типу транспорта разделяют: ДЗТИ железных дорог, ДЗТИ автомобильного транспорта, ДЗТИ воздушного транспорта, ДЗТИ водного транспорта, ДЗТИ трубопроводного транспорта.

По объекту ДЗТИ разделяют ДЗТИ объекта и ДЗТИ груза.

По скорости выделяют ДЗТИ нормального движения, ДЗТИ скоростного движения, ДЗТИ высокоскоростного движения.

По космической привязке разделяют: ДЗТИ с наземной поддержкой, ДЗТИ с самолетной поддержкой, ДЗТИ с вертолетной поддержкой. ДЗТИ с поддержкой БПЛА, ДЗТИ без наземной поддержки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог, следует констатировать, что транспортная инфраструктура [22] имеет специфические особенности как объект мониторинга и управления. При наблюдении и анализе транспортной инфраструктуры требуется применять пространственную логику [23], что также является особенностью транспортной инфраструктуры.

Дистанционное зондирование объектов транспортной инфраструктуры с системных позиций есть сложная технологическая система, которая отвечает системным принципам. С научных позиций современное дистанционное зондирование объектов транспортной инфраструктуры можно рассматривать как самостоятельное научное направление. Оно развивается на основе интеграции технологий с применением обычной геоинформатики и геоинформатики транспорта. Как технологическая система ДЗТИ требует также геодезической поддержки, особенно в наземных условиях. Как система сбора информации ДЗТИ использует фактофиксирующие модели для построения на их основе информационных моделей и включает не только наблюдение и констатацию ситуации, но также прогноз и поддержку принятия решений. Следует также отметить большое значение методов пространственных рассуждений в дистанционном зондировании, – это является частью управленческих технологий и решает вспомогательные задачи, связанные, например, с состоянием железнодорожной магистрали или





автодороги, расходом ресурсов, оптимизацией эксплуатации вагонного парка, транспортной безопасностью, безопасностью особых грузов. Эти задачи приводят к необходимости применения разнообразных математических методов, включая дискретную оптимизацию и теорию нечетких множеств.

Таким образом, зондирование является важной составляющей развития транспортной системы страны, безусловно нуждающейся в дальнейшем исследовании и инновационном продвижении.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Цветков В. Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. – 2013. – Т. 11. – № 5 (49). – С. 6–9. EDN: RVRXKB.
2. Бондур В. Г., Цветков В. Я. Дифференциация космического мониторинга объектов транспорта // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 5 (17). – С. 130–135. EDN: UZKFCR.
3. Левин Б. А., Цветков В. Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – № 6 (73). – С. 20–30. EDN: YTBSCN.
4. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Создание динамической пространственно-временной модели управления железной дорогой // Геодезия и картография. – 2010. – № 8. – С. 48–51. EDN: SNGVHJ.
5. Розенберг И. Н., Вознесенская М. Е. Геоанализ и геореференция // Вестник Московского государственного областного педагогического университета. – 2010. – № 2. – С. 116–118. [Электронный ресурс]: <https://www.geoeosreda.ru/jour/article/view/872/842>. Доступ 24.09.2024.
6. Номоконова О. Ю. Информационная неопределенность в информационном взаимодействии // Славянский форум. – 2017. – № 1 (15). – С. 104–110. EDN: XVBUNB.
7. Bronevich, A. G., Rozenberg, I. N. Modelling uncertainty with generalized credal sets: application to conjunction and decision. International Journal of General Systems, 2018, Vol. 47, Iss. 1, pp. 67–96. DOI:10.1080/03081079.2017.1391805.
8. Bronevich, A. G., Rozenberg, I. N. Ranking probability measures by inclusion indices in the case of unknown utility function. Fuzzy Optimization and Decision Making, 2014, Vol. 13, Iss. 1, pp. 49–71. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10700-013-9169-6>.
9. Okan, N., Köse, N., Kardas, S. Spiritual Contradiction Scale: A New Way of Understanding Internal and External Contradictions. Journal of Religion and Health, 2024, Vol. 63, Iss. 2, pp. 1567–1584. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10943-023-01924-2>.
10. Bronevich, A. G., Rozenberg, I. N. The contradiction between belief functions: its description, measurement, and correction based on generalized credal sets. International Journal of Approximate Reasoning, 2019, Vol. 112, pp. 119–

139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2019.06.001>.

11. Chenhang, Cui; Yazhou, Ren; Jingyu, Pu; Jiawei, Li. [et al]. A Novel Approach for Effective Multi-View Clustering with Information-Theoretic Perspective. Advances in Neural Information Processing Systems, 2024, Vol. 36. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.13989>.

12. Bozhenyuk, A., Belyakov, S., Knyazeva, M., Rozenberg, I. On computing domination set in intuitionistic fuzzy graph. International Journal of Computational Intelligence Systems, 2021, Vol. 14, Iss. 1, pp. 617–624. DOI: 10.2991/ijcis.d.210114.002.

13. Zhihan, Lv., Wenlong, Shang. Impacts of intelligent transportation systems on energy conservation and emission reduction of transport systems: A comprehensive review. Green Technologies and Sustainability, 2023, Vol. 1, Iss. 1, p. 100002. DOI:10.1016/j.grets.2022.100002.

14. Sarwatt, D. S., Yujia Lin, Yunchuan Sun, Jianguo Ding. Metaverse for Intelligent Transportation Systems (ITS): A Comprehensive Review of Technologies, Applications, Implications, Challenges and Future Directions. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2024, Vol. 25, Iss. 7, pp. 6290–6308. DOI:10.1109/TITS.2023.3347280.

15. Цветков В. Я. Управление с применением киберфизических систем // Перспективы науки и образования. – 2017. – № 3 (27). – С. 55–60. EDN: ZCSISD.

16. Левин Б. А., Цветков В. Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 2 (75). – С. 138–145. EDN: XSMVVB.

17. Gvishiani, A. D., Rozenberg, I. N., Soloviev, A. A., Kostianoy, A. G., Gvozdk, S. A., Serykh, I. V., Krasnoperov, R. I., Sazonov, N. V., Dubchak, I. A., Popov, A. B., Kostianaia, E. A., Gvozdk, G. A. Electronic Atlas of Climatic Changes in the Western Russian Arctic in 1950–2021 as Geoinformatic Support of Railway Development. Applied Sciences, 2023, Vol. 13, Iss. 9, pp. 5278. DOI:10.3390/app13095278.

18. Belyakov, S., Belyakova, M., Rozenberg, I. Approach to real-time mapping, using a fuzzy information function. Communications in Computer and Information Science, 2013, Vol. 398, Part I, pp. 510–521. [Электронный ресурс]: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-45025-9_50. Доступ 21.02.2024.

19. Цветков В. Я. Анализ применения космического мониторинга // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 3 (15). – С. 48–55. EDN: TYORGT.

20. Савиных В. П. Исследование северных территорий по материалам ДДЗ // Славянский форум. – 2012. – № 2 (2). – С. 64–67. EDN: SZONEF.

21. Савиных В. П., Цветков В. Я. Интеграция технологий ГИС и систем дистанционного зондирования Земли // Исследование Земли из космоса. – 2000. – № 2. – С. 83–86. EDN: SNBXGN.

22. Rozenberg, I. N., Tsvetkov, V. Y. Transport infrastructure facilities design. AIP Conference Proceedings. Proceedings of the II International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies, CAMSTech-II 2021, Vol. 2467, Iss. 1, 2022, 060005. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0095249>.

23. Dolgy, A. I., Rozenberg, I. N., Tsvetkov V. Ya. Spatial logic in process of unmanned vehicle operation. AIP Conference Proceedings, 2021, Vol. 2402, Iss. 1, 50059. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0074851>. ●

Информация об авторе:

Савиных Виктор Петрович – доктор технических наук, академик РАН, профессор, президент Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК), Москва, Россия, vr@miigaik.

Статья поступила в редакцию 21.09.2024, одобрена после рецензирования 10.10.2024, принята к публикации 12.11.2024.