

Метод формирования децентрализованных геоинформационных моделей

Г. В. Верхова

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
(СПбГУТ)

galina500@inbox.ru

С. В. Акимов

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
(СПбГУТ)

akimov-sv@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты разработки метода формирования децентрализованных геоинформационных моделей, базирующегося на методологии многоаспектного моделирования и одноранговых сетей типа friend-to-friend, который в отличие от известных решений позволяет создавать децентрализованные геоинформационные системы и сервисы. Применение предложенного метода позволит сформировать единую многоцелевую геоинформационную среду на принципах агентности, информационного самообслуживания и управляемой информационной открытости, полностью соответствующую концепциям Web 3.0 и Web 4.0.

Ключевые слова: единая многоцелевая геоинформационная среда; принцип агентности; информационное самообслуживание; управляемая геоинформационная открытость; P2P; F2F; Web 3.0; Web 4.0

I. ВВЕДЕНИЕ

Геоданные играют важную роль в жизни современного общества, обеспечивая решение задач в сферах государственного управления, безопасности, экономики, науки и образования. Управление геоданными осуществляется с помощью универсальных и специализированных геоинформационных систем (ГИС), которые в настоящий момент времени интенсивно развиваются и используют новейшие методы и технологии для анализа геоданных.

Рассмотрим современные тенденции развития ГИС. Объединение технологии Big Data и ГИС позволило правительству Тайваня выполнять анализ трафика в городах, на основе которого формировать транспортную политику [1]. В Китае применение геоинформационных систем совместно с системами дистанционного зондирования позволяют контролировать подземные воды [2]. Продолжаются исследования в области коллаборативных ГИС, расширяя области их применения [3–5]. Графовые нейросети позволяют идентифицировать опасности на основе анализа геоданных [6]. Проводятся исследования в области геоинформационных систем, адаптированных для представления исторической информации [7].

Применение цифровых двойников пространственных объектов переводит геоинформационные системы на качественно новый уровень, позволяя эффективно управлять природно-техногенными геосистемами [8–11] и развивать культурный туризм [12]. Проводятся

исследования в области создания социофизических систем на базе цифровых двойников [13], а также иммерсивных геоинформационных сервисов [14].

Исходя из проведенного обзора последних достижений в области геоинформатики, можно определить основные тренды развития геоинформационных систем:

- применение методов искусственного интеллекта для решения задач пространственного анализа;
- внедрение цифровых двойников природно-техногенных геосистем;
- дальнейшее развитие коллаборативной картографии.

Несмотря на существенные успехи и темпы развития в области геоинформатики, на сегодняшний момент существуют противоречия между:

- необходимостью децентрализованных решений в области коллаборативной картографии и функционалом, предоставляемым современными геоинформационными системами;
- требованиями соответствия геосервисов концепциям Web 3.0 и Web 4.0 и современными геоинформационными технологиями;
- потребностями гуманитарных наук в инструментах представления и анализа многоаспектной информации о пространственных объектах и событиях и возможностями современных геоинформационных систем.

Учитывая тенденции развития геоинформационных систем и выявленных противоречий, можно сделать вывод, что необходима единая многоцелевая геоинформационная киберсреда, состоящая из локальных интероперабельных киберсред, которая должна обеспечить:

- полноту и актуальность данных;
- целостность и семантическую связанность;
- темпоральность;
- интероперабельность;
- соответствие трендам web 3.0 и web 4.0.

Создание единой многоцелевой геоинформационной киберсреды требует наличия метода формирования децентрализованных геоинформационных моделей,

изложение результатов разработки которого представляет цель данной статьи.

II. СТРУКТУРА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Метод децентрализованного геоинформационного моделирования предполагает формирование единой геоинформационной модели $SDGM$ из автономных, полностью независимых многоаспектных моделей природно-техногенных геосистем AGM_i :

$$SDGM = \{AGM_1, AGM_2, \dots, AGM_n\}, \quad (1)$$

которые создаются и функционируют в рамках единой многоцелевой геоинформационной киберсреды, сформированной из локальных киберсред [15]. Многоаспектные геоинформационные модели позволяют выполнить объединение гетерогенных данных о географических объектах с единых методологических позиций [16]. Методология многоаспектного геоинформационного моделирования является обобщением многоаспектного моделирования сложных технических объектов [17] на природно-техногенные геосистемы.

Децентрализованная геоинформационная модель (1) позволяет представить моделируемую область Geo в виде множества геоинформационных систем $GeoSys$ различного уровня разукрупнения и отношений между ними R :

$$Geo = \langle GeoSys, R \rangle, \quad (2)$$

В выражении (2) моделируемая область Geo сама является геосистемой, а R представляют отношения между геосистемами любого типа. Учитывая децентрализованный характер моделей, отношения между геосистемами должны быть представлены в рамках автономных моделей, представляющих отдельные природно-техногенные геосистемы, что делает такие модели совершенно независимыми друг от друга.

Введем понятие среды окружения геосистемы, которая содержит информацию о природно-техногенных геосистемах, отношения с которыми учитываются в рамках автономной модели конкретной геосистемы. В децентрализованной модели такую среду окружения целесообразно задать с помощью прокси-моделей геосистем. Тогда структура автономной децентрализованной модели природно-техногенной геосистемы примет вид:

$$AGM = \langle A, G, ProxyGM \rangle, \quad (3)$$

где: A – атрибутивная информация, отражающая различные аспекты AGM ; G – метрическая информация о AGM ; $ProxyGM$ – прокси-модели геосистем, входящих в состав среды окружения AGM .

Прокси-модели геосистем содержат всю необходимую информацию о среде окружения моделируемой геосистемы, включая основную атрибутивную информацию $Info$, геометрию G , границу

между моделируемой геосистемой и геосистемой, представленной $Proxy$ – $Border_{AGM}$, информацию о URI конечных точек модели геосистемы, представленной $ProxyGM$ – $EndPoints$:

$$ProxyGM = \langle Info, G, Border_{AGM}, EndPoints \rangle. \quad (4)$$

Рассмотрим пример децентрализованного моделирования геосистем. На рис. 1а представлена геометрия иерархической геосистемы ABC , которая состоит из трех подсистем A, B, C , каждая из которых включает в себя по две геосистемы: $A = \{A_1, A_2\}$, $B = \{B_1, B_2\}$, $C = \{C_1, C_2\}$. Между геосистемами учитываются топологические отношения и иерархические связи (рис. 1б).

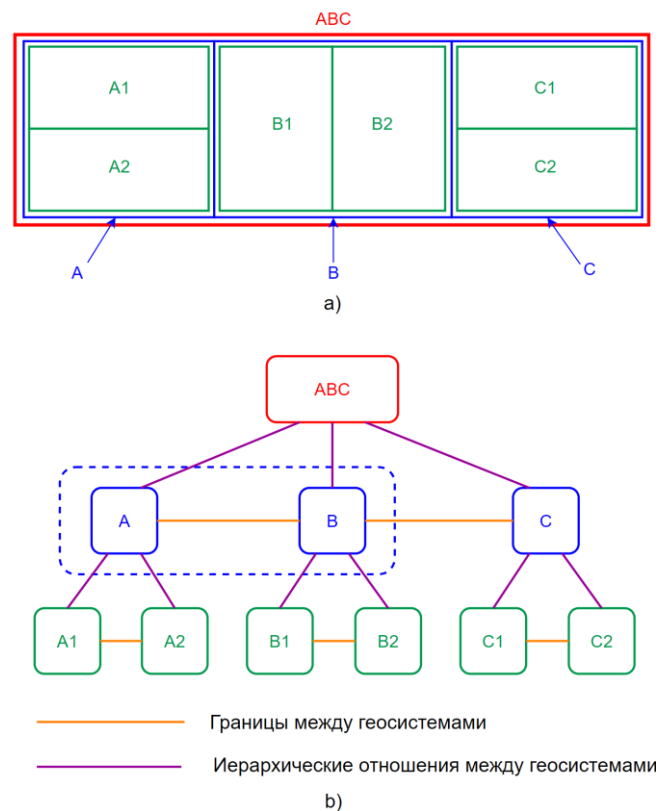


Рис. 1. Отношения между моделируемыми геосистемами: а) геометрия геосистем; б) топологические отношения между геосистемами

На рис. 2 представлены автономные децентрализованные модели геосистем A и B , выделенные на рис. 1 синей пунктирной линией. В окружение модели A входят модели ABC, B, A_1 и A_2 , которые представлены прокси-моделями. Между геосистемой A и ее средой окружения представлены отношения трех типов: «является надсистемой» (ABC), «граничит» (B), «является подсистемой» (A_1, A_2).

На рис. 2 конкретизированы отношения между моделями геосистем A и B . Отношения между моделями других геосистем задаются аналогичным образом. Границы геосистем представлены их моделями, в то время как границы геосистем с геосистемами, входящими в состав их сред окружения, а также границы этих геосистем представлены их прокси-моделями.

Как видно из рис. 2, все информационные взаимодействия между отдельными автономными моделями осуществляются посредством прокси-моделей, причем такое взаимодействие является односторонним: обращение модели геосистемы А к модели геосистемы В осуществляется через прокси-модель В, а обращение от В к А – через прокси-модель А. В случае смены URI какой-либо из моделей, будет осуществлена передача новых URI всем моделям, входящим в среду ее окружения, в результате чего такое изменение произойдет для них абсолютно прозрачным образом.

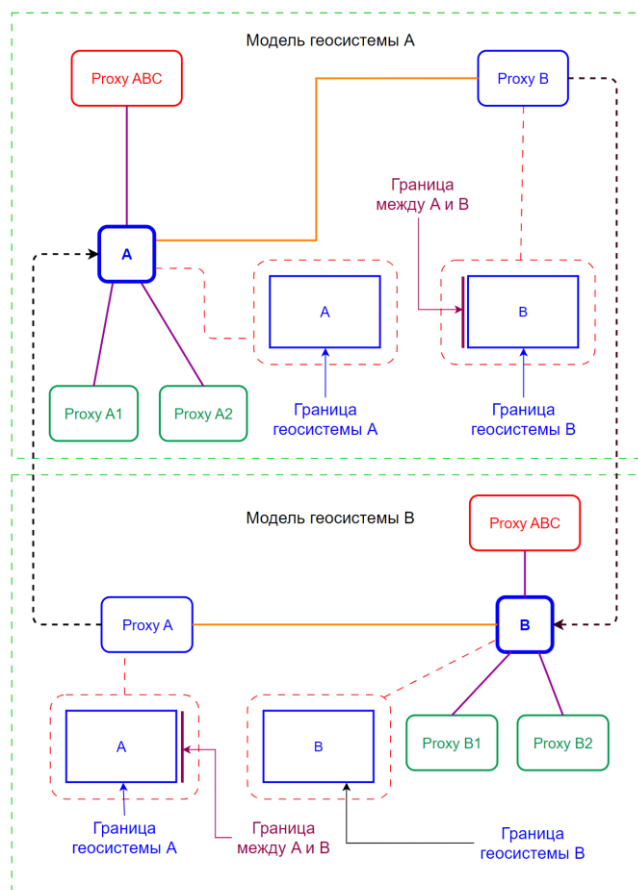


Рис. 2. Структура децентрализованных геоинформационных моделей

Отдельная автономная геоинформационная модель может быть представлена в геоинформационной киберсреде с помощью коммуникационного агента. Децентрализация и автономность моделей позволяет их владельцам (разработчикам) отражать с их помощью ту информацию, которая представляется для них важной, а также обеспечить гибкое управление доступом к этой информации, включая условия репликации и отчуждения сервисов. Таким образом, предложенный метод формирования децентрализованных геоинформационных моделей полностью отвечает принципам агентности, информационного самообслуживания и управляемой информационной открытости, на базе которых могут быть построены многоцелевые децентрализованные геоинформационные киберсреды, состоящие из локальных интероперабельных сред [15].

III. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

А. Децентрализованная база пространственных знаний

Децентрализованные геоинформационные модели, содержащие механизмы представления многоаспектной информации об отдельных геообъектах, а также семантические и темпоральные связи между геообъектами, позволят сформировать на их основе глобальную базу пространственных знаний. Формирование такой базы знаний будет осуществляться в гибридном режиме – как с использованием технологий искусственного интеллекта, так и с помощью сообщества пользователей, совместно создающих геоинформационные продукты.

На первом этапе на основе децентрализованных геоинформационных моделей с помощью методов искусственного интеллекта создается исходная база знаний, извлеченных из различных гетерогенных источников (открытых геоинформационных систем, энциклопедий, справочников и т. п.). На следующем этапе пользователи смогут приступить к её корректировке и расширению. Учитывая децентрализованный характер базы пространственных знаний, отдельные группы пользователей смогут независимо друг от друга работать над собственными репликами моделей геообъектов. Технологии искусственного интеллекта позволят выявлять ошибки в геоанных, а также осуществлять синтез знаний, выполняемый на базе различных реплик геомоделей и новой доступной информации.

Применение децентрализованных моделей позволит объединить достоинства двух традиций, одна из которых рассматривает геоинформационные продукты как авторское произведение, а другая – как результат применения методов и алгоритмов data science. Первая традиция позволяет обеспечить глубокую проработку и точность геоинформации, тогда как вторая – оперативность и полноту. Децентрализация обеспечит соблюдение прав собственности на созданный контент (управляемая информационная открытость) и, как следствие, повлечет за собой новый вид отношений между владельцами информационных площадок и конечными пользователями, при котором размещение децентрализованных геоинформационных моделей будет выполняться по схеме, аналогичной для случая предоставления услуг хостинга.

В. Электронное регионоведение

Междисциплинарный характер изучения регионов в рамках регионоведения, включая внутренние и внешние факторы их развития, делает децентрализованные геоинформационные модели отличным кандидатом для использования в электронном регионоведении. Единая многоцелевая геоинформационная киберсреда, сформированная из локальных интероперабельных киберсред, отражающих отдельные аспекты регионов различного уровня разукрупнения, позволит выполнить системное представление информации о регионах. Учитывая глобальный характер децентрализованной геоинформационной киберсреды, становится возможным

выявление отсутствия и неполноты критически важной информации по регионам, необходимой для решения научно-исследовательских, образовательных и управленческих задач.

С. Государственное и муниципальное управление

Децентрализация моделей и их многоаспектный характер позволит вести независимые базы знаний по регионам и другим административным единицам, отражая те аспекты, которые критически важны для планирования развития региона и принятия управленческих решений. Такие модели могут стать надстройкой над инфраструктурой пространственных данных, и тем самым агрегировать всю доступную информацию о пространственных объектах, включая природно-техногенные геосистемы, выполняя роль их цифровых двойников. Региональные и муниципальные геоинформационные киберсреды обеспечат оперативную обратную связь от жителей регионов и других административных единиц. Параметрические модели родительских регионов позволят выполнить автоматическую генерализацию информации, поступающей из моделей дочерних регионов, входящих в их состав.

Д. Образование

Децентрализованные геоинформационные модели и созданная на их основе геоинформационная киберсреда могут найти важное применение в образовании и просветительской деятельности. По примеру электронного регионоведения может быть создано электронное краеведение, в рамках которого учащиеся смогут создавать модели объектов своей малой родины, что будет иметь важный воспитательный и просветительский эффект. Такие модели будут способствовать популяризации региона и, как следствие, повышению его туристической привлекательности. Другим важным применением геоинформационных моделей в образовании может стать моделирование исторических областей и событий, глубоко интегрированных в единую геоинформационную киберсреду региона и страны в целом.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный метод формирования децентрализованных геоинформационных моделей отличается тем, что нацелен на представление гетерогенных данных и знаний о природно-техногенных геосистемах в рамках единой многоцелевой геоинформационной киберсреды, сформированной из локальный киберсред. Децентрализованный и многоаспектный характер моделей полностью отвечает концепциям Web 3.0 и Web 4.0, обеспечивая:

- независимое создание согласованных моделей геосистем или их отдельных аспектов всеми участниками сообщества;
- полное сохранение прав собственности на представленную информацию и гибкое управление доступом к ней;
- явное представление семантических отношений между геообъектами;

- управление репликацией геоданных;
- возможность формирования единой геоинформационной киберфизической среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] I. C. Lin, "Combining Big Data and GIS Interface to Achieve Effectiveness of E-government," *2023 IEEE 6th Eurasian Conference on Educational Innovation (ECEI)*, Singapore, Singapore, 2023, pp. 79-81, doi: 10.1109/ECEI57668.2023.10105399.
- [2] R. Zhu and Y. A. Korablev, "Potential of GIS Systems and Remote Sensing Technologies for Groundwater Control in Transboundary Areas in China," *2024 XXVII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*, Saint Petersburg, Russian Federation, 2024, pp. 403-405, doi: 10.1109/SCM62608.2024.10554086.
- [3] B. Li, L. Yang, J. Xiao, R. Valde, M. Wrenn and J. Leflar, "Collaborative Mapping and Autonomous Parking for Multi-Story Parking Garage," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 19, no. 5, pp. 1629-1639, May 2018, doi: 10.1109/TITS.2018.2791430.
- [4] Z. Zhang, Q. Ji and E. Zheng, "Research on Human-Robot Collaborative Mapping System Based on Visual SLAM," *2024 3rd International Conference on Service Robotics (ICoSR)*, Hangzhou, China, 2024, pp. 89-93, doi: 10.1109/ICoSR63848.2024.00028.
- [5] Y. Chen, "Construction of Human Geographical Data Statistics and Historical and Cultural Heritage Protection System Based on Data Mining," *2022 World Automation Congress (WAC)*, San Antonio, TX, USA, 2022, pp. 232-236, doi: 10.23919/WAC55640.2022.9934265.
- [6] S. Balaji, R. G. and C. Reddy, "Smart Land Use Planning: Integrating Geographic Information Systems (GIS) with Graph Neural Networks (GNN) for Hazard Identification," *2024 8th International Conference on Computational System and Information Technology for Sustainable Solutions (CSITSS)*, Bengaluru, India, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/CSITSS64042.2024.10816801.
- [7] J. -Y. Tsai, P. -L. Pai, H. -M. Liao, Y. -J. Chen, R. T. -H. Tsai and I. -C. Fan, "Design and Construction of the Spatiotemporal Information Platform for the Interpretation of ShiJi," *2021 Pacific Neighborhood Consortium Annual Conference and Joint Meetings (PNC)*, Taipei, Taiwan, 2021, pp. 1-6, doi: 10.23919/PNC53575.2021.9672280.
- [8] X. Wang, K. Xue and X. Liu, "Research on Fault Handling of Digital Twin Power Data Communication Network Based on GIS Geographic Information," *2023 35th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Yichang, China, 2023, pp. 1332-1336, doi: 10.1109/CCDC58219.2023.10326636.
- [9] W. Wu, T. Dong, W. Chen, Q. Chen, D. Wen and X. Zhang, "Study on GIS Digital Twin Modeling Method and Software Platform Development for Helping Operation and Maintenance," *2024 3rd Asia Power and Electrical Technology Conference (APET)*, Fuzhou, China, 2024, pp. 318-321, doi: 10.1109/APET63768.2024.10882667.
- [10] Z. Cheng, Y. Wu, S. Song, Y. Guo, Z. Luan and Z. Liu, "A Feature-Based Approach for Organizing Spatial Data of Digital Twin Railway," *2023 IEEE 8th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE)*, Beijing, China, 2023, pp. 533-539, doi: 10.1109/ICITE59717.2023.10733858.
- [11] A. Kanak, İ. Arif, Ç. Terzibaş, Ö. F. Demir and S. Ergün, "BIMyVerse: Towards a Semantic Interpretation of Buildings in the City and Cities in the Universe," *2022 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, Prague, Czech Republic, 2022, pp. 1072-1077, doi: 10.1109/SMC53654.2022.9945246.
- [12] F. Sang, H. Wu, Z. Liu and S. Fang, "Digital Twin Platform Design for Zhejiang Rural Cultural Tourism Based on Unreal Engine," *2022 International Conference on Culture-Oriented Science and Technology (CoST)*, Lanzhou, China, 2022, pp. 274-278, doi: 10.1109/CoST57098.2022.00063.
- [13] V. Y. Ananeva, A. I. Vodyaho and A. A. Golovin, "Digital Twin based Socio-Cyber-Physical Systems," *2024 XXVII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*, Saint Petersburg, Russian Federation, 2024, pp. 204-206, doi: 10.1109/SCM62608.2024.10554073.

- [14] J. Chen, S. Dong, X. Hou, X. Ma and Y. Yan, "Research and Application of Immersive Virtual Reality System Based on 3D Geographic Information System," 2020 IEEE Sustainable Power and Energy Conference (iSPEC), Chengdu, China, 2020, pp. 1730-1735, doi: 10.1109/iSPEC50848.2020.9351202.
- [15] Верхова Г.В., Акимов С.В. Интеграция локальных интероперабельных киберсред виртуальных организаций в единую киберсреду постиндустриального общества // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Сборник статей XXIV Международной научной конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 34-39.
- [16] Верхова Г.В., Акимов С.В. Метод объединения гетерогенных геопространственных данных на основе многоаспектных моделей // Телекоммуникации. 2021. № 3. С. 34-40.
- [17] Акимов С.В., Никифоров О.Г. Методология комплексных моделей системных объектов // Вопросы радиоэлектроники. 2012. Т. 3. № 2. С. 138-149.