

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0826U003700

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 17-07-2026

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Арзубов Максим Валерійович

2. Maksym V. Arzubov

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0008-9978-7072

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 122

Назва наукової спеціальності: Комп'ютерні науки

Галузь / галузі знань: інформаційні технології

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Комп'ютерні науки

Дата захисту: 30-07-2026

Спеціальність за освітою: Прикладна інформатика

Місце роботи здобувача: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 14785

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 20.55.03

Тема дисертації:

1. Геоінформаційна технологія ієрархічної кластеризації та відображення геопросторових даних у вебкартографічних системах

2. Geoinformation Technology for Hierarchical Clustering and Visualization of Geospatial Data in Web Cartographic Systems

Реферат/анотація:

1. У дисертації розв'язано актуальну науково-прикладну задачу підвищення ефективності процесів ієрархічної кластеризації великих масивів геопросторових даних шляхом інтеграції сучасних методів геоіндексації, нечіткої кластеризації, алгоритмів багаторівневої агрегації та підходів до відображення просторової інформації у вебсередовищах. У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні задачі досліджень, визначено наукову новизну роботи і практичне значення отриманих результатів, показано зв'язок роботи з науковими темами. Подано відомості про апробацію результатів роботи та особистий внесок автора та його публікації. У першому розділі здійснено аналіз сучасних підходів до ієрархічної кластеризації геопросторових даних у вебкартографічних системах. Розглянуто методи серверної та клієнтської кластеризації, технології тайлів і кешування, системи просторової індексації та дискретні глобальні ґраткові системи. Встановлено, що існуючі методи не

забезпечують одночасно масштабованості, стабільності кластерних меж при зміні масштабу та адаптивності до напівстатичних геоданих, що обґрунтовує необхідність розроблення нових моделей і методів. У другому розділі вдосконалено модель класифікації геопросторових даних шляхом виокремлення підкласу напівстатичних даних із чітко визначеними ознаками оновлюваності. Розроблено модель ієрархічної нечіткої кластеризації на основі гексагональної індексації H3 із застосуванням нечіткої кластеризації на кожному рівні масштабування, що забезпечує плавні переходи між кластерами та знижує обчислювальні витрати. Розроблено метод ієрархічного підняття кластерів через матричну агрегацію μ -приналежностей між рівнями H3. Розроблено метод періодичної офлайн-кластеризації для напівстатичних геоданих, що реалізує паралельне опрацювання гексагонів H3 з атомарним збереженням результатів та адаптивною стратегією оновлення. Розроблена модель також сприяла зменшенню загальних обчислювальних витрат при кластеризації великого об'єму геооб'єктів, оскільки попереднє групування за H3 і нечітке розподілення з розробленою дефазифікацією мінімізують повторні обчислення. Застосування нечіткої кластеризації на рівні H3-гекса дало змогу коректно працювати з областями різної густини, зберігаючи плавні переходи між кластерами, що усуває проблему різкої фрагментації, характерної для класичних моделей та створює передумови для стабільного підняття кластерів на наступні рівні ієрархії. У третьому розділі розроблено метод дефазифікації та вдосконалено метод оцінювання якості кластеризації і адаптації до часткових оновлень даних. Розроблено процес дефазифікації, який у класичній формі часто призводить до нестабільності кластерів у зонах різкої зміни густини. Спроектовано адаптивну модель дефазифікації, що враховує не лише максимальне значення μ , але й локальну густину гекса та кількість видимих точок у межах вебкарти. Розроблений підхід забезпечує узгодженість кластерних рішень між масштабами та підвищує якість у прикордонних зонах з нерівномірним розподілом даних. З огляду на потреби вебвізуалізації сформовано систему метрик для оцінювання якості кластеризації. Окрім класичних індексів силуету, Данна, Девіса–Боулдіна, використано просторово-орієнтований метод на основі H3, що значно зменшує обчислювальні витрати завдяки локалізації аналізу. Запропоновано використовувати показник стабільності кластерів між рівнями масштабування як ключову метрику для оцінювання ефективності ієрархічних моделей. Здійснені експерименти підтвердили ефективність розробленої моделі кластеризації в умовах реальних геопросторових наборів даних. Інтеграція нечіткої кластеризації з H3-ієрархією забезпечує стабільні та інтерпретовані результати навіть при значних варіаціях щільності даних. Розроблений комплекс методів став основою для формування адаптивної інформаційної технології ієрархічної кластеризації та відображення геопросторових даних, інтегрованої у вебкартографічні системи. У четвертому розділі розроблено засоби інформаційної технології для автоматизації ієрархічної кластеризації великих напівстатичних геоданих. Синтезована структура інформаційної технології ґрунтується на модульному підході, що забезпечує масштабованість і гнучкість системи. У технології використано сучасні методи опрацювання та інтеграції геоданих, а також стандартизовані інструменти (бібліотека H3 та протоколи роботи з картографічними сервісами), що забезпечує ефективну роботу з багатоджерельними даними та підтримку різних масштабів карти. Архітектура інформаційної технології сформована як набір взаємопов'язаних модулів. Блок просторової індексації відповідає за формування гексагональних рівнів H3, що задають базову структуру вхідних даних для моделей кластеризації та побудови локальних областей.

2. The dissertation addresses a pertinent scientific and applied problem: improving the efficiency of hierarchical clustering processes for large geospatial datasets through the integration of contemporary geo-indexing methods, fuzzy clustering algorithms, multi-level aggregation schemes, and approaches to the visualisation of spatial information in web environments. The introductory chapter establishes the relevance of the research topic, formulates the aim and primary objectives of the study, defines the scientific novelty of the work and the practical significance of its findings, and situates the research within the broader landscape of ongoing scientific programmes. Information is provided concerning the dissemination of results, the author's personal contribution, and the list of publications. The first chapter presents a comprehensive analysis of contemporary approaches to hierarchical geospatial data clustering in web mapping systems. Server-side and client-side clustering methods are examined alongside tile-based rendering, caching strategies, spatial indexing systems (H3, S2, HEALPix), and

Discrete Global Grid Systems (DGGS). It is established that existing methods fail to simultaneously guarantee scalability, stability of cluster boundaries across zoom levels, and adaptability to semi-static geospatial data – a finding that substantiates the need for novel models and methods. The second chapter refines the geospatial data classification model by introducing a formally defined sub-class of semi-static data characterised by explicit update-frequency criteria. A hierarchical fuzzy clustering model is developed on the basis of H3 hexagonal indexing, applying Fuzzy C-Means (FCM) at each level of the spatial hierarchy; the model ensures smooth cluster boundary transitions and reduces overall computational overhead. A method for hierarchical cluster propagation is introduced, realised through matrix-based aggregation of fuzzy membership degrees (μ) across consecutive H3 levels. Additionally, a method of periodic offline clustering is developed for semi-static geospatial datasets, implementing embarrassingly parallel processing of H3 hexagons with atomic result persistence and an adaptive update strategy. The developed model reduces redundant computations by pre-partitioning data according to the H3 grid prior to FCM execution, while the fuzzy membership representation – combined with the proposed defuzzification procedure – enables accurate handling of data regions with highly variable density, eliminates the abrupt fragmentation typical of classical hardassignment models, and creates the conditions necessary for stable inter-level cluster propagation. The third chapter introduces a defuzzification method tailored to large-scale hierarchical geospatial clustering. Unlike the classical $\text{argmax}(\mu)$ approach, which is prone to cluster instability in regions of abrupt density variation, the proposed adaptive defuzzification incorporates not only the maximum fuzzy membership value but also the local hexagonal density and the number of spatially visible points within the current web map viewport – thereby ensuring cross-scale consistency of cluster assignments and improving quality in transitional zones with non-uniform data distributions. A spatially oriented quality assessment framework is formulated for web visualisation contexts: in addition to classical validity indices – Silhouette, Dunn, and Davies–Bouldin – an H3-based evaluation method is employed that substantially reduces computational cost through localised analysis. Cross-scale cluster stability is proposed as a primary quality metric for hierarchical clustering models. Experiments confirm the effectiveness of the developed model across realworld geospatial datasets: the integration of fuzzy clustering with the H3 hierarchy yields stable and interpretable partitions even under pronounced density heterogeneity, and the resulting suite of methods constitutes the computational foundation of the adaptive geoinformation technology described in the subsequent chapter. The fourth chapter presents the geoinformation technology developed for the automation of hierarchical clustering of large semi-static geospatial datasets, implemented as a modular, scalable architecture. The spatial indexing block constructs the multi-resolution H3 hexagonal grid that defines the input data structure for all downstream clustering and neighbourhood computation. The local fuzzy clustering module executes FCM within each hexagonal cell, computing fuzzy membership functions μ and modelling smooth density transitions at the local level. The hierarchical aggregation block consolidates membership information across H3 levels via matrix multiplication of μ -values, yielding a coherent hierarchical structure.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Інформаційні та комунікаційні технології

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- 1. Нарушинська О. О., Мотрунич В. І., Арзубов М. В., Теслюк В. М. Інформаційна технологія для аналізу пунктів продажу мобільного оператора на основі методів кластеризації. Український журнал інформаційних технологій. 2023. Т. 5, № 2. С. 105–113. DOI: 10.23939/ujit2023.02.105
- 2. Narushynska O., Arzubov M., Teslyuk V. Construction of hierarchical classification model for product management: Penalized Information Gain considering dynamic weight coefficients. Східно-Європейський

журнал передових технологій. 2025. №1/3 (133). С. 17–27. DOI: 10.15587/1729-4061.2025.321273

- 3. Арзубов М. В., Батюк А. Є. Аналіз рішень та підходів кластеризації геопросторових даних для оптимізації продуктивності веб-карти та взаємодії користувача. Український журнал інформаційних технологій. 2023. Вип. 5, т. 2. С. 88–96. DOI: 10.23939/ujit2023.02.088
- 4. Arzubov M., Narushynska O. Rethinking cluster quality evaluation for large-scale geospatial data. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2026. № 62. С. 107–117. DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2026-62-12
- 5. Narushynska O., Teslyuk V., Doroshenko A., Arzubov M. Data sorting influence on short text manual labeling quality for hierarchical classification. Big Data and Cognitive Computing. 2024. Vol. 8, iss. 4. 41. DOI: 10.3390/bdcc8040041
- 6. Narushynska O., Doroshenko A., Teslyuk V., Antoniv V., Arzubov M. Enhancing hierarchical classification in tree-based models using level-wise entropy adjustment. Big Data and Cognitive Computing. 2025. Vol. 9, iss. 3. 65. DOI: 10.3390/bdcc9030065
- 7. Teslyuk V., Narushynska O., Arzubov M., Prots D. End-to-end development of a retrieval-augmented large language model for cloud-based healthcare applications. CEUR Workshop Proceedings. 2025. Vol. 4005 : Proc. of the Modern data science technologies doctoral consortium MoDaST 2025, Lviv, Ukraine, June 15-16, 2025. P. 141–162. <https://ceur-ws.org/Vol-4005/paper11.pdf>
- 8. Teslyuk V., Narushynska O., Arzubov M., Martyniuk T., Trachuk T. Module for the analysis of digital skin images aimed at early diagnosis of dermatological conditions based on deep learning methods. CEUR Workshop Proceedings. 2025. Vol. 4013 : Proc. of the 2nd Intern. workshop on intelligent & cyberphysical systems ICyberPhyS 2025, Khmelnytskyi, Ukraine, July 4, 2025. P. 97–110. <https://ceur-ws.org/Vol-4013/paper8.pdf>
- 9. Arzubov M., Narushynska O., Batiuk A., Cherkas N. Concept of server-side clusterization of semi-static big geodata for web maps. International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies. 2023. 18th IEEE Intern. conf. on computer science and information technologies, CSIT 2023, Lviv, Ukraine, 19–21 Oct. 2023. 195025. DOI: 10.1109/CSIT61576.2023.10324155

Наукова (науково-технічна) продукція: методи, теорії, гіпотези

Соціально-економічна спрямованість: забезпечення промисловості чи населення новим видом інформаційно-комунікаційних послуг

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0124U000822

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Батюк Анатолій Євгенович

2. Anatolii Y. Batiuk

Кваліфікація: к.т.н., доц., 05.13.05

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-7650-7383

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Смеляков Кирило Сергійович

2. Kyrylo S. Smeliakov

Кваліфікація: д.т.н., професор, 01.05.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-9938-5489

Додаткова інформація: Профіль у Scopus:

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57203149663>; Профіль у Google Scholar:

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=D2FdCxYAAAAJ>

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет радіоелектроніки

Код за ЄДРПОУ: 02071197

Місцезнаходження: проспект Науки, Харків, Харківський р-н., 61166, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Ушенко Юрій Олександрович

2. Yurii O. Ushenko

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.05

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-1767-1882

Додаткова інформація:

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701840218>; <http://www.researcherid.com/rid/S-3308-2016>; <http://orcid.org/0000-0003-1767-1882>; https://scholar.google.com/citations?hl=ru&user=bySBprcAAAAJ&view_op=list_works&sortby=pubdate

Повне найменування юридичної особи: Чернівецький національний університет імені Юрія

Федьковича

Код за ЄДРПОУ: 02071240

Місцезнаходження: вул. Коцюбинського, Чернівці, 58012, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Піх Ірина Всеволодівна

2. Iryna V. Pikh

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.13.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-9909-8444

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Казимира Ірина Ярославовна

2. Iryna Y. Kazymyra

Кваліфікація: к. т. н., доцент, 05.13.12

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-1597-5647

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові

Цмоць Іван Григорович

голови ради

Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні

Цмоць Іван Григорович

Відповідальний за підготовку
облікових документів

Віктор Михайлович Хавалко

Реєстратор

Юрченко Тетяна Анатоліївна

Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності



Юрченко Тетяна Анатоліївна