

13. D. Thomas, Ch. Fowler, and A. Hunt, *Programming Ruby: The Pragmatic Programmers' Guide*. Sebastopol, USA: Pragmatic Bookshelf Publ., 2020.
14. R. Olsen, *Eloquent Ruby*. Boston, USA: Addison-Wesley Professional Publ., 2011.
15. Blade Templates – Laravel 10.x – The PHP Framework [Online]. Available: <https://laravel.com/docs/10.x/blade>. Accessed on: September 04, 2023.
16. A. Stellman, and J. Greene, *Learning Agile: Understanding Scrum, XP, Lean, and Kanban*. Sebastopol, USA: O'Reilly and Associates Publ., 2014.
17. M. Loeffler, *Improving Agile Retrospectives*. London, UK: Pearson Education Publ., 2018.

Рецензент: О.І. Проніна
канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 21.08.2023

Стаття прийнята 17.09.2023

УДК 004.89

doi: 10.31498/2225-6733.47.2023.299984

© Проніна О.І.¹, Айнагоз А.В.²

СИСТЕМА ПОШУКУ ОДНАКОВИХ ГЕОМЕТРІЙ ПРИ ПОБУДОВІ 3-D МОДЕЛЕЙ

У статті розглядається система пошуку однакових геометрій при побудові 3D-моделей. Використання алгоритмів пошуку схожих 3D-моделей водяних структур може відігравати ключову роль у різних галузях, включаючи виробничі процеси, де потрібно швидко ідентифікувати та класифікувати водяні компоненти. У цій статті розроблено ефективну модель на основі оптимізованого алгоритму порівняння водяних структур, що дозволяє точно визначати геометричні особливості без потреби у складній попередній обробці. Запропонована модель досягла високої точності в розпізнаванні схожих 3D-моделей, ефективно працюючи навіть коли використовується сцена з багатьма полігонами. Ця модель може бути використана для ідентифікації в режимі реального часу як для окремих 3D-об'єктів, так і для комплексних 3D-сцен. У цій статті детально розглядається система пошуку однакових моделей та її важливість у різних галузях, включаючи виробничі процеси, де потрібно швидко ідентифікувати та класифікувати геометрії для їх призначення. Однак, ця система не обходиться без математичної підтримки, і метою даної статті є побудова математичної моделі для оптимізації процесу пошуку однакових моделей. Важливим аспектом цього дослідження є розробка ефективної математичної моделі на основі оптимізованого алгоритму пошуку та порівняння, яка дозволяє точно визначати геометричні структури. Ця модель має великий потенціал у роботі зі схожими 3D-моделями, навіть в умовах, коли у проєкті використовується багато геометрії. Робота над оптимізацією алгоритмів порівняння є постійним завданням для науковців та інженерів, оскільки вона дозволяє покращувати якість та продуктивність систем пошуку. Результати цього дослідження можуть бути корисними для широкого спектру застосувань, де важлива висока точність і швидкість обробки даних. Запропонована модель показує високу точність в розпізнаванні схожих 3D-моделей, що є важливим досягненням в моделюванні. Вона може бути використана для ідентифікації в режимі реального часу, незалежно від того, чи мова йде про окремі 3D-об'єкти, чи про складні 3D-сцени, реконструйовані з послідовностей зображень або відео. Таким чином, ця стаття вкладається в загальний контекст

¹ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0001-7085-8027, pronina.lelka@gmail.com

² магістрант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

досліджень у цій області і відкриває нові можливості для реалізації систем пошуку однакових моделей.

Ключові слова: 3D об'єкти, однакові геометрії, 3D моделі, вектори, система пошуку.

O. Pronina, A. Aynahoz. A system for finding identical geometries when building 3-D models. In today's fast-paced world of technology, where innovation plays a crucial role in our daily lives, the importance of search engines for identical models cannot be overstated. Every day, technological progress is becoming an integral part of our existence, penetrating various aspects of our lives. In this context, the search and identification of identical or similar 3D models become particularly relevant and become an integral part of innovative technologies. This article is an in-depth study in the field of creating and describing a mathematical model to search for similar 3D models. Developed using advanced comparison algorithms, this model has enormous potential and can be used in a variety of fields. It is important to emphasize that it is not limited to just one area of application, but finds its application in many areas of human activity. The application of such algorithms is important in various fields, including automated manufacturing, where accuracy and speed of component identification and classification are critical. They also find use in archaeology, where they help in the analysis and study of artifacts and structures. Architecture is also seeing great benefit from these innovations, allowing for more complex and detailed 3D models to be created for design and visualization. The new approach presented in the paper is based on an optimized matching algorithm that enables accurate recognition of geometric structures associated with 3D models without complex data pre-processing or image enhancement. This is a significant step forward in improving the efficiency and accuracy of identifying similar 3D models, even in low-resolution images. However, the application of this model is not limited to these areas. Its integration into real-time systems allows for the identification and classification of both individual 3D objects and complex 3D scenes created from image or video sequences. This is of great importance for the development of virtual and augmented reality technologies, where a high degree of detail and identification is necessary to create captivating and realistic visual effects. Thus, the presented mathematical model and the corresponding software open up enormous prospects for us in various fields. This is an important step forward in the development of technologies related to computer vision and image processing, as well as in the field of virtual and augmented reality, promoting progress and innovation.

Key words: 3D objects, identical geometries, 3D models, vectors, search engine.

Постановка проблеми. Однією з важливих проблем при вилученні 3D-моделей є представлення моделей у дескрипторах. Дескриптори [1] точно та ефективно описують 3D-модель для підтримки класифікації моделей, побудови індексів та зіставлення подібностей. Дескриптори 3D-моделей можна розділити на чотири категорії: на основі геометрії [2], на основі статистичного аналізу [3], на основі топології та проєктивні дескриптори на основі подання. Для дескрипторів 3D-моделі на основі геометрії – 3D-модель розбивається на безліч сіток, а потім особливості 3D-моделі витягуються різними математичними перетвореннями ґрид-моделі.

Дескриптори, засновані на статистичному аналізі, пропонують інший підхід, зосереджуючись на аналізі статистичних даних, пов'язаних із 3D-моделлю. Це може включати вивчення розподілу точок, поверхневої площі, об'єму та інших кількісних характеристик. Такий підхід дозволяє виявити приховані візерунки та тенденції, які можуть бути неочевидні за більш традиційних методів аналізу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існує ряд наукових робіт, в яких розглядається пошук однакових 3D-об'єктів.

В роботі [4] автор представляє свій метод, який робить процес обробки моделей, він розділений на три етапи. На першому етапі 3D-моделі спочатку перетворюються на 2D-проєкції, а потім ці 2D-проєкційні види використовуються для навчання CNN [5]. Запропоновано проєкційний метод для генерації видів. На іншому етапі 3D-моделі спочатку перетворюються на 2D-проєкційні види з використанням того ж методу проєкції, який використовується при навчанні.

Потім ці уявлення вибираються запропонованим методом на основі k -середніх. На третьому кроку вхідними даними може бути зображення або 3D-модель. Якщо вхідними даними є зображення, то класифікація та витяг виконуються безпосередньо.

У статті [6] описано метод розпізнавання 3D-об'єкта за допомогою технології машинного навчання Shanahan and Dai [7]. Авторами було проведено багато експериментів з розпізнавання об'єктів, але більшість з них включали в себе виявлення об'єкта з використанням 2D-піксельних даних, отриманих із зображень, згенерованих камерою. Для 3D-об'єктів у цій статті використовувався стандарт X3D. Спочатку зчитується набір 3D-даних. Потім 3D-файли аналізуються для отримання необхідної інформації. Далі попередня обробка даних, яка виконується для зіставлення форматів даних для машинного навчання [8]. Наступний етап – це визначення моделі для навчання, яка буде ініціалізувати модель і потім набір 3D-даних навчається за допомогою моделі машинного навчання. Останнім кроком є прогнозування та оцінка об'єкта за допомогою навченої моделі.

У наступній статті [9] автори роблять швидкий і простий алгоритм пошуку 3D-об'єктів зі схожими формами за допомогою Ray Cast (RCVS) [10]. Далі автори описують як працює принцип RCVS, а саме, модель поміщається всередину ікосаедрічного сферичного багатогранника, промені відкидаються від його багатокутників до поверхні моделі та їх довжини збираються до списків. Списки цих довжин сортуються та порівнюються між собою. Сортування виключає обертання, оскільки для однакових або близьких за геометрією моделей довжини променів будуть збігатися в межах помилки, але відрізнятися по порядку.

Можна сказати, що алгоритм відмінно працює для пошуку близьких за геометрією об'єктів, наприклад, високо полігональних та низько полігональних варіантів однієї і тієї ж моделі, іноді добре справляється з близькими за змістом об'єктами, наприклад, з чайниками чи гітарами різної форми. Для уточнення пошуку слід враховувати розмір і/або поворот об'єктів. На основі результатів експериментів цієї роботи X3D підходить для розпізнавання 3D-об'єктів за допомогою машинного навчання.

V3Geo – це хмарне сховище для публікації віртуальних 3D-моделей у галузі геолого-геофізичних досліджень [11]. Система дозволяє зберігати, шукати та візуалізувати сітчасті моделі, зазвичай отримані за допомогою таких методів, як фотограмметрія та лазерне сканування. Моделі розбиті на плитки, щоб забезпечити ефективну потокову передачу через Інтернет. Веб-переглядач дозволяє інтерактивно досліджувати 3D-моделі без необхідності встановлення спеціального програмного забезпечення.

V3Geo дозволяє створювати дуже великі моделі, що складаються з декількох секцій, і включає додаткові кулі інтерпретації.

У статті [12] автор описує систему CityGML яка представляє ієрархічну інформацію. Ієрархічна інформація містить взаємозв'язки між поверхнями у 3D-моделях. В даний час є багато методів редагування типових 3D-моделей. Однак збереження семантичної та ієрархічної інформації за допомогою процесу редагування підтримується лише конкретними програмами, які тісно пов'язані з базовою моделлю даних.

Мета дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності пошуку однакових 3D-моделей за рахунок інформаційної технології, що розроблена.

Виклад основного матеріалу.

У цієї роботи було побудовано власну систему пошуку однакових 3D-моделей.

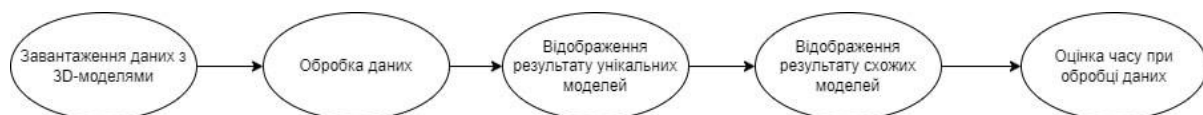


Рис. 1 – Процес роботи системи для пошуку однакових моделей

Процес обробки складається з наступних етапів, спочатку зчитуються дані 3D моделей, а потім використовуючи векторні координати, відтворюються всі моделі притаманні на сцені, і робиться порівняльний аналіз для виявлення унікальності моделей та виявлення схожості.

Після обробки даних, використовуючи модуль Jupyter Anaconda, можна відтворити векторну координатну площину в об'ємний графік і виводити явну різницю між моделями.

Далі описано методологію, як саме працює порівняння вершин. Цей метод виконує порівняння двох мешів (3D-моделей) на ідентичність. Порівняння включає кілька етапів, зокрема перевірку кількості вершин, ребер та граней, а також порівняння координат кожної вершини в парах мешів.

Визначення рівності векторів наведено у формулі 1:

$$E(V_1, V_2) = (V_{1.x} = V_{2.x}) \wedge (V_{1.y} = V_{2.y}) \wedge (V_{1.z} = V_{2.z}), \quad (1)$$

де E означає «Рівність»;

V_1, V_2 – вектори, що порівнюються;

$V_{1.x}, V_{2.x}, V_{1.y}, V_{2.y}, V_{1.z}, V_{2.z}$ – координати першого та іншого векторів відповідно.

Порівняння двох мешів наведено у формулі 2:

$$I = (\text{len}(A) = \text{len}(B)) \wedge \bigwedge_{i=0}^n (A_i = B_i), \quad (2)$$

де I означає «Ідентичність»;

$\text{len}(A)$ та $\text{len}(B)$ – кількість вершин у мешах A та B;

A_i та B_i – i-ті вершини мешів A та B.

Візуалізація мешів:

$$V(M) = \bigcup_{i=1}^n (M_{i.x}, M_{i.y}, M_{i.z}), \quad (3)$$

де V – символ, що представляє візуалізацію меша;

M – міш для візуалізації;

$M_{i.x}, M_{i.y}, M_{i.z}$ – координати i-ї вершини меша M.

Алгоритм включає в себе наступні етапи. Спочатку функція створює два об'єкти bmesh для кожного з мешів, які надають доступ до їх геометричних даних. Далі йде перевірка, чи однакова кількість вершин, ребер та граней в обох мешах. І якщо кількість елементів співпадає, функція переходить до порівняння координат вершин мешів. Цей етап передбачає детальне порівняння координат кожної пари вершин. І коли функція повертає True, значить меші ідентичні, а якщо False то не ідентичні.

Для перевірки розробленої системи проводилося дослідження. Було протестовано кілька рівнів складності. Були взяті різні моделі з різною складністю полігонування і безліччю дублікатів моделей. На рис. 2 представлено фрагмент моделей у вигляді рисунку одного з рівнів складності. А також у таблиці 1 та на рис. 3 представлені результати проведення тестування.

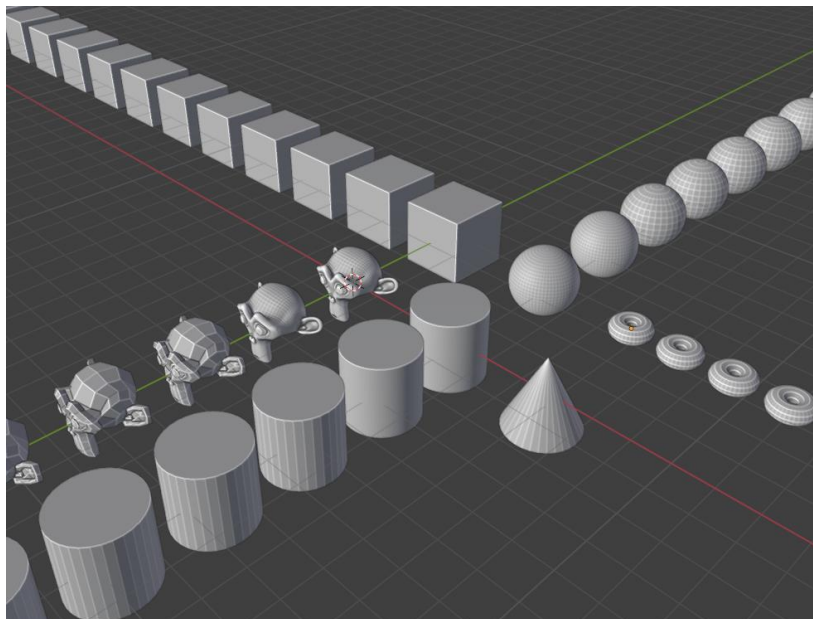


Рис. 2 – Рівень складності

Таблиця 1

Результат проведення експерименту в системі, що розроблена

Складність	Відсоток схожості	Витрачений час
Рівень 1	0%	1.04 секунд
Рівень 2	21,22%	5.55 секунд
Рівень 3	38,56%	6.58 секунд
Рівень 4	48,66%	15.12 секунд
Рівень 5	66,09%	66.29 секунд

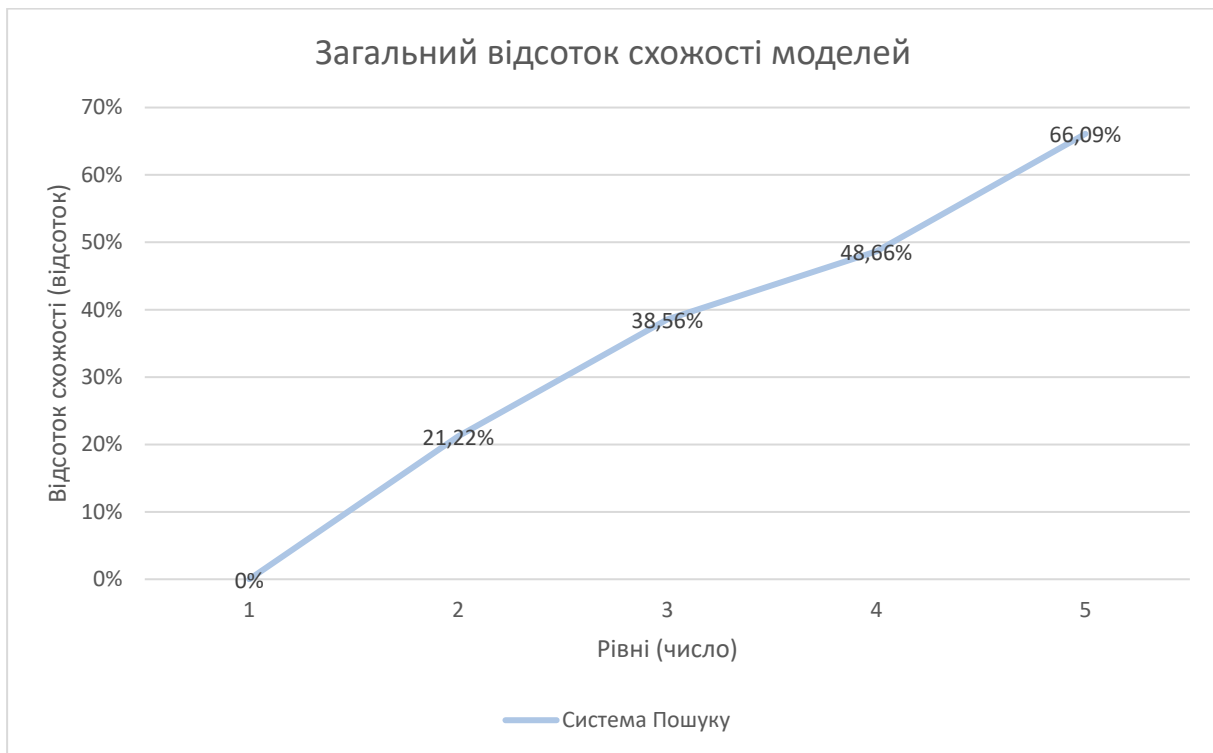


Рис. 3 – Відсоток схожості моделей за рівнями

Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що результати тестування показують достатню достовірність у пошуку схожості 3D-моделей. Головною перевагою розробленої системи можна зазначити наявність візуального представлення різниці між моделями, за допомогою якого розробник може побачити, які моделі є різними, а які моделі є схожими. Що в свою чергу дозволяє економити час при розробці моделей та прискорює загальний час роботи з проектами.

Висновки

Розроблена математична модель, яка лягла в основу системи для пошуку однакових 3D-моделей, пройшла всебічне тестування. Застосування розробленої системи дозволяє знизити рівень надмірної інформації та скоротити час, який потрібен для первинної обробки та порівняння 3D-моделей. Однією з головних переваг розробленої системи є зменшення ймовірності припущення помилок та економія часу, що витрачається на аналіз моделей.

Крім того, розроблена математична модель може бути використана для подальшого розвитку технологій управління цифровими активами. Система, що була розроблена на основі побудованої математичної моделі, дозволяє користувачам ефективно каталогізувати та упорядковувати великі обсяги 3D-моделей, що особливо важливо у світі, де обсяг цифрового контенту постійно зростає. Така організація даних сприяє кращому використанню ресурсів і збільшує продуктивність процесу проектування та виробництва.

За допомогою системи, що була розроблена, можна проводити аналіз робіт студентів, що навчаються 3D-моделюванню та бути використана професіоналами 3D-моделювання. Таким чином, система сприяє підвищенню ефективності та точності у роботі з 3D-моделями.

Перелік використаних джерел:

1. Yang X., Liang T., Lu S. Monocular 3D target detection model based on differential neural network architecture search. *Journal of Physics: Conference Series*. 2023. Pp. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2493/1/012011>.
2. Blender. URL: <https://www.blender.org> (дата звернення: 03.06.2023).
3. 3Ds Max, AutoCad. URL: <https://www.autodesk.com> (дата звернення: 15.07.2023).
4. ZBrush, Cinema4D. URL: <https://www.maxon.net/en/zbrush> (дата звернення: 23.06.2023).
5. Daz 3D. URL: <https://www.daz3d.com> (дата звернення: 23.06.2023).
6. MeshMixer. URL: <https://www.meshmixer.com> (дата звернення: 13.07.2023).
7. BIAS-3D: Brain inspired attentional search model fashioned after what and where/how pathways for target search in 3D environment / Kumari S., Amala V., Nivethithan M., Chakravarthy S. *Frontiers in Computational Neuroscience*. 2022. Vol. 16. Pp. 1-20. DOI: <https://doi.org/10.3389/fncom.2022.1012559>.
8. An efficient end-to-end 3D Voxel reconstruction based on neural architecture search / Y. Huang et al. 2022 26th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Montreal, Canada, 21-25 August 2022. Pp. 3801-3807. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICPR56361.2022.9956169>.
9. Filali Ansary T., Vandeborre J.-P., Daoudi M. (2007). 3D-Model search engine from photos. *CIVR'07: Proceedings of the 6th ACM international conference on Image and video retrieval*, Amsterdam, The Netherlands, 9-11 July 2007. Pp. 89-92. DOI: <https://doi.org/10.1145/1282280.1282293>.
10. A search engine for 3D models / T. Funkhouser et al. *ACM Transactions on Graphics*. 2003. Vol. 22. Iss. 1. Pp. 83-105. DOI: <https://doi.org/10.1145/588272.588279>.
11. Fisher M., Hanrahan P. Context-based search for 3D models. *ACM Transactions on Graphics*. 2010. Vol. 29. Iss. 6. Pp. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1145/1882261.1866204>.
12. Materials and applications of 3D printing technology in dentistry: an overview / M. Jeong, K. Radomski, D. Lopez, J. Liu, J. Lee, S. Lee. *Dentistry Journal*. 2023. Vol. 12. Iss. 1. Pp. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.3390/dj12010001>.
13. A search engine for manufacturers using product manufacturing information (PMI) enhanced 3D model search / Angrish A., Craver B., Xu X., Starly B. *ASME 2018: 13th International Manufacturing Science and Engineering Conference*, Texas, USA, 18-22 June 2018. Vol. 3. DOI: <https://doi.org/10.1115/MSEC2018-6649>.

References:

1. X. Yang, T. Liang, and S. Lu, «Monocular 3D target detection model based on differential neural network architecture search», *Journal of Physics: Conference Series*, pp. 1-5, 2023. doi: **10.1088/1742-6596/2493/1/012011**.
2. Blender [Online]. Available: <https://www.blender.org>. Accessed on: June 03, 2023.
3. 3Ds Max, AutoCad [Online]. Available: <https://www.autodesk.com>. Accessed on: July 15, 2023.
4. ZBrush, Cinema4D [Online]. Available: <https://www.maxon.net/en/zbrush>. Accessed on: June 23, 2023.
5. Daz 3D [Online]. Available: <https://www.daz3d.com>. Accessed on: June 23, 2023.
6. MeshMixer [Online]. Available: <https://www.meshmixer.com>. Accessed on: July 13, 2023.
7. S. Kumari, V. Amala, M. Nivethithan, and S. Chakravarthy, «BIAS-3D: Brain inspired attentional search model fashioned after what and where/how pathways for target search in 3D environment», *Frontiers in Computational Neuroscience*, vol. 16, pp. 1-20, 2022. doi: **10.3389/fncom.2022.1012559**.
8. Y. Huang et al., «An efficient end-to-end 3D Voxel reconstruction based on neural architecture search», in 2022 26th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Montreal, Canada, 2022, pp. 3801-3807. doi: **10.1109/ICPR56361.2022.9956169**.

9. T. Filali Ansary, J.-P. Vandeborre, and M. Daoudi, «3D-Model search engine from photos», in Proceedings of the 6th ACM International conference on Image and video retrieval CIVR'07, Amsterdam, The Netherlands, 2007, pp. 89-92. doi: [10.1145/1282280.1282293](https://doi.org/10.1145/1282280.1282293).
10. T. Funkhouser et al., «A search engine for 3D models», *ACM Transactions on Graphics*, vol. 22, iss. 1, pp. 83-105, 2003. doi: [10.1145/588272.588279](https://doi.org/10.1145/588272.588279).
11. M. Fisher, and P. Hanrahan, «Context-based search for 3D models», *ACM Transactions on Graphics*, vol. 29, iss. 6, pp. 1-10, 2010. doi: [10.1145/1882261.1866204](https://doi.org/10.1145/1882261.1866204).
12. M. Jeong, K. Radomski, D. Lopez, J. Liu, J. Lee, and S. Lee, «Materials and applications of 3D printing technology in dentistry: an overview», *Dentistry Journal*, vol. 12, iss. 1, pp. 1-12, 2023. doi: [10.3390/dj12010001](https://doi.org/10.3390/dj12010001).
13. A. Angrish, B. Craver, X. Xu, and B. Starly, «A search engine for manufacturers using product manufacturing information (PMI) enhanced 3D model search», in 13th International Manufacturing Science and Engineering Conference ASME 2018, Texas, USA, 2018, vol. 3. doi: [10.1115/MSEC2018-6649](https://doi.org/10.1115/MSEC2018-6649).

Рецензент: Т.О. Левицька
канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 17.09.2023

Стаття прийнята 20.10.2023

УДК 004.41:378

doi: [10.31498/2225-6733.47.2023.299985](https://doi.org/10.31498/2225-6733.47.2023.299985)

© Тузенко О.О.¹, Сідун Н.М.²

АВТОМАТИЗОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА SMM-ЛІДОГЕНЕРАЦІЇ В МЕСЕНДЖЕРІ TELEGRAM

В даній статті було розглянуто створення автоматизованої системи для пошуку зацікавлених користувачів – лідів – в середовищі популярного месенджера Telegram. Оскільки месенджер не є соціальною мережею, а також суттєво відрізняється за способом взаємодії від будь-якого вебсервісу, то пошук цільової аудиторії в ньому ускладнений. Головним чином він складний через відсутність будь-яких рекомендацій для користувача щодо контенту, каналів, чатів та повну відсутність стрічки новин і рекомендованих джерел контенту. В цій статті описується створення інструменту для пошуку зацікавлених користувачів у вигляді Telegram-боту, який взаємодіє з Telegram через API, а за допомогою мовних інструментів аналізує повідомлення в чаті, допомагаючи визначати дискусії на визначені теми, а саме для визначення зацікавлених у конкретних темах користувачів, необхідно аналізувати тексти дискусій у публічних чатах та визначати, які саме теми обговорюють учасники чату. Для такого аналізу необхідні інструменти аналізу природньої мови і контексту бесіди. Бот створений у наступному технологічному стеку: в якості основної мови обрано Python, за взаємодію з серверами Telegram відповідає pyTelegramBotAPI. Отримані та проаналізовані дані зберігаються у MySQL базі даних, обробка текстової інформації виконується у декілька етапів, у яких задіяні бібліотеки обробки природньої мови для мови Python та штучний інтелект, а точніше велика мовна модель ChatGPT. Даний бот збирає та аналізує інформацію, а після того надає звіт, скільки згадувань в рамках заданої адміністратором теми мали користувачі чату, саме ці користувачі є потенційними лідами. Дана інформація допомагає будувати та

¹ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-4920-9417, tuzenkoaa@gmail.com

² асистент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0009-0001-8343-1273, natalya.sidun@gmail.com