



International Science Group

ISG-KONF.COM

VI

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC
AND PRACTICAL CONFERENCE
"OLD AND NEW TECHNOLOGIES OF LEARNING
DEVELOPMENT IN MODERN CONDITIONS"**

Berlin, Germany

February 13 - 16, 2024

ISBN 979-8-89292-747-5

DOI 10.46299/ISG.2024.1.6

OLD AND NEW TECHNOLOGIES OF LEARNING DEVELOPMENT IN MODERN CONDITIONS

Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference

Berlin, Germany
February 13 - 16, 2024

UDC 01.1

The 6th International scientific and practical conference “Old and new technologies of learning development in modern conditions” (February 13 - 16, 2024) Berlin, Germany. International Science Group. 2024. 345 p.

ISBN – 979-8-89292-747-5

DOI – 10.46299/ISG.2024.1.6

EDITORIAL BOARD

<u>Pluzhnik Elena</u>	Professor of the Department of Criminal Law and Criminology Odessa State University of Internal Affairs Candidate of Law, Associate Professor
<u>Liudmyla Polyvana</u>	Department of Accounting and Auditing Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petr Vasilenko, Ukraine
<u>Mushenyk Iryna</u>	Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of Mathematical Disciplines, Informatics and Modeling. Podolsk State Agrarian Technical University
<u>Prudka Liudmyla</u>	Odessa State University of Internal Affairs, Associate Professor of Criminology and Psychology Department
<u>Marchenko Dmytro</u>	PhD, Associate Professor, Lecturer, Deputy Dean on Academic Affairs Faculty of Engineering and Energy
<u>Harchenko Roman</u>	Candidate of Technical Sciences, specialty 05.22.20 - operation and repair of vehicles.
<u>Belei Svitlana</u>	Ph.D., Associate Professor, Department of Economics and Security of Enterprise
<u>Lidiya Parashchuk</u>	PhD in specialty 05.17.11 "Technology of refractory non-metallic materials"
<u>Levon Mariia</u>	Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Scientific direction - morphology of the human digestive system
<u>Hubal Halyna Mykolaiivna</u>	Ph.D. in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

62.	Чмутов Ю. ВИВЧЕННЯ МЕТОДІВ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ШВИДКІСНОГО ПОШУКУ РЕЛЕВАНТНОСТІ ДАНИХ	333
63.	Штонда С.В., Терновський В.Б. АЛГОРИТМ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЩОДО ЗАПОБІГАННЯ ЗІТКНЕННЮ АВТОНОМНОГО СУДНА У СТАТИЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ	338
TOURISM		
64.	Голота А.О. ВИКОРИСТАННЯ ДОСВІДУ ДЕРЖАВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЕСТОНІЇ ЗАДЛЯ ТУРИСТИЧНОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ	341

ВИВЧЕННЯ МЕТОДІВ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ШВИДКІСНОГО ПОШУКУ РЕЛЕВАНТНОСТІ ДАНИХ

Чмутов Юрій,
аспірант кафедри інформатики
Харківський національний університет радіоелектроніки

У сучасних системах комп'ютерного зору для класифікації зображень використовуються структурні методи, що базуються на даних про образи візуальних об'єктів у вигляді множини дескрипторів ключових точок (КТ) [1-4]. Для здійснення ефективної класифікації традиційний підхід використовує метричні критерії релевантності між образами розпізнаваного об'єкту та еталону [5-10]. Клас розпізнаваного об'єкта формально визначається як множина зображень, що включає еталон з його допустимими геометричними перетвореннями. Класифікація полягає у віднесенні аналізованого зображення до одного з еталонних класів або відмові від класифікації.

Розглянемо більш детально метод класифікації, що використовує засоби швидкого пошуку в індексованій структурі даних для класифікації об'єктів [2, 5]. Метод складається з двох етапів: спочатку визначається клас для окремого дескриптора, а потім на основі множини локальних рішень визначається клас об'єкта. Використання індексованих хеш-структур дає можливість суттєво прискорити процес ідентифікації чи класифікації візуальних об'єктів.

Впровадження по-елементного аналізу для множини компонентів опису дозволяє знизити вплив завад у процесі класифікації. Традиційний підхід структурної класифікації здійснює лінійний пошук на множині дескрипторів бази еталонів для кожного дескриптора розпізнаваного об'єкта. Однак, при великій кількості дескрипторів у описі та об'ємного обсягу класів такий підхід стає вкрай обчислювально витратним [11–16].

Впровадження засобів хешування даних значно зменшує часові затрати при класифікації за метричним пошуком [12]. Хешування дозволяє попередньо розподілити дані бази еталонів на подібні групи, що за рахунок пошуку спочатку номера групи суттєво прискорює оброблення. Це спрощує аналіз даних та зменшує обчислювальні витрати.

Методи метричного пошуку, що базуються на індексованих структурах даних, можуть використовувати також кластеризацію. Індексована структура, що ґрунтується на кластеризації, застосовується в професійних системах пошуку. Використання кластерних структур сприяє кращому адаптуванню до змісту еталонної інформації в технологіях «мішок слів» [17–20].

Були досліджені різні методи швидкісного пошуку, включаючи комбінацію хешування, розбиття даних на блоки, LSH-оброблення (хешування з урахуванням близькості) та логічний аналіз значень хеш-функцій. LSH-

оброблення фокусується на потенційно схожих парах даних, що дозволяє уникнути перевірки кожної пари окремо [1, 4].

Для дослідження ефективності методів класифікації було виконано моделювання з використанням бібліотеки алгоритмів комп'ютерного зору OpenCV та Python. Для визначення дескрипторів застосовано детектор BRISK з дескриптором розмірністю $n = 512$. Моделі класифікатора випробувано на зображеннях відомих людей, розмір зображень масштабовано до 500×500 пікселів (рис. 1). Кількість обчислених дескрипторів складає $s = 500$.

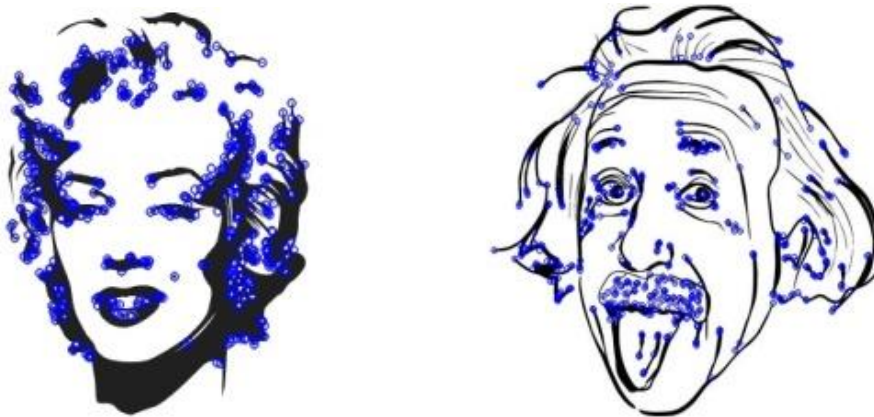


Рисунок 1. Приклади еталонних зображень

У якості хеш-функції $h(\dots)$ взято число одиниць у двійковому коді вектора, параметр близькості для обох блоків використано як $\pm 5\%$ від розміру блока 256, що відображає допустиме відхилення для значення хеш-функції.

Для зіставлення векторів застосовано метрику Хемінга

$$d_w = \arg \min_{i,v} \rho(z_w, e_v(i)),$$

де d_w – номер еталону E_i , до якого буде віднесено дескриптор z_w об'єкту, $d_w \in \{1, \dots, N\}$, $\rho(z_w, e_v(i))$ – метрика у векторному просторі.

Для порівняння швидкодії спочатку був застосований лінійний пошук усієї множини еталонних даних (1500 дескрипторів) без використання індексованих структур. Потім, для множини еталонних зображень, використовуючи індексовані хеш-структури з 256 кошиками, та лінійний пошук, отримано максимально точний результат: всі 500 дескрипторів кожного еталону було вірно класифіковано. Час обробки без індексного хешування становив близько 500 секунд, а з комбінованим хешуванням – лише 49 секунд.

Для пошуку полоси даних у відсортованому масиві за значенням $h(1)$, можна використовувати метод дихотомії, що підвищить ефективність. У випадку запропонованого підходу (з 3 еталонами та $s = 500$), виграш у часі обчислень становить більше 10 разів у порівнянні із традиційним методом. Цей виграш у часі обчислень зростає зі збільшенням числа еталонів та дескрипторів у описах.

Час обчислень залежить від програмної моделі, комп'ютера та способу доступу до програмного забезпечення.

Хешування відноситься до точних методів трансформації даних, але може призвести до помилок класифікації через схожість дескрипторів різних класів всередині корзини згрупованих даних [21–24].

Важливим для забезпечення результативної класифікації представляється вплив параметра порогу δ_ρ для значення мінімальної відстані при прийнятті рішення про клас дескриптора об'єкта. Діапазон значень для вибраної метрики складає $\delta_\rho \in [0, \dots, 256]$.

Експерименти з врахуванням дії повороту на вхідні еталонні зображення показали успішну класифікацію за пропонованим методом. Для детального аналізу кількісного складу кошиків розбито множини даних на 8 рівноцінних блоків за значенням хеш-функції $h(1)$ у діапазоні 0...255. Таблиця 1 містить значення показника

$$t_{i,k} = \text{card}\{e_v \mid e_v \in E_i \ \& \ e_v \in T_k\}$$

для цих діапазонів. Деякі діапазони можна виключити з аналізу, а для інших можна встановити значущу перевагу одного класу, що дозволяє скоротити час класифікації.

Таблиця 1. Числові показники класів для значень хеш-функції $h(1)$

Класи	Діапазони значень $h(1)$							
	31	63	95	127	159	191	223	255
1	0	0	43	140	224	92	1	0
2	0	0	25	143	257	72	3	0
3	0	0	6	111	254	122	7	0

Проведені експерименти показали правильну класифікацію тестових зображень, що свідчить про ефективність розробленого методу. З використанням індексної структури та хешування час класифікації скоротився більш ніж у 10 разів. Хоча хешування потребує додаткової пам'яті, воно прискорює пошук кошика за значенням хеш-функції, зменшуючи обчислювальні затрати. Дослідження показало, що для трьох еталонів з 500 дескрипторів метод з хешуванням працює швидше приблизно у 65 разів у порівнянні з класичним лінійним пошуком. Результати свідчать про переваги використання хешування в структурному розпізнаванні зображень.

Можна впровадити різні методи для скорочення обсягу метричного пошуку при класифікації зображень: хешування, розбиття на блоки, LSH-оброблення, логічний аналіз хеш-функцій, оцінювання [5, 17, 21]. Вивчення їх застосування у комбінаціях один з одним ще попереду.

Наш порівняльний експеримент показав, що запропонований метод працює більш ефективно, ніж традиційний підхід, із суттєвим вигодом у швидкодії прийняття рішення. Ефективність методу можна ще покращити шляхом налаштування його параметрів та пристосування до конкретних властивостей даних, що характеризують базу класифікації.

Список літератури:

1. J. Leskovec, A. Rajaraman, and J. D. Ullman, *Mining of Massive Datasets*. New York, NY, USA: Cambridge Univ. Press, 2020.
2. Daradkeh Y.I., Gorokhovatskyi V., Tvoroshenko I., and Zeghid M. (2022). Tools for fast metric data search in structural methods for image classification, *IEEE Access*, 10, pp. 124738-124746.
3. Daradkeh Y.I., Gorokhovatskyi V., Tvoroshenko I., Gadetska S., and Al-Dhaifallah M. (2023) Statistical data analysis models for determining the relevance of structural image descriptions, *IEEE Access*, 11, 126938-126949.
4. Gorokhovatskyi V., Tvoroshenko I., Yakovleva O. (2024) Transforming image descriptions as a set of descriptors to construct classification features, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 33 (1), 113-125.
5. Gorokhovatskyi, V., Gadetska, S., & Stiahlyk, N. (2023). Accelerating Image Classification based on a Model for Estimating Descriptor-to-Class Distance. *International Journal of Computing*, 22(4), 485-492.
6. Gorokhovatskyi O., Gorokhovatskyi V., Peredrii O. (2018) Analysis of Application of Cluster Descriptions in Space of Characteristic Image Features. *Data*, 3(4), 52.
7. Gorokhovatskyi V., Tvoroshenko I. (2023) Identification of visual objects by the search request. *Int. scientific symp. «Intelligent Solutions-S»*. Computational intelligence. Decision making theory: proceedings of the international symposium, September 28, 2023, Kyiv-Uzhorod, Ukraine, 25-27.
8. Гороховатський В.О., Гадецька С.В., Стяглик Н.І. (2019) Вивчення статистичних властивостей моделі блочного подання для множини дескрипторів ключових точок зображень. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*, No. 2, С. 100–107.
9. Gorokhovatskyi, V., Vlasenko, N. (2021). Редукція опису зображення у складі множини дескрипторів на основі метричного критерію інформативності. *Advanced Information Systems*, 5(4), pp. 10-16.
10. Gadetska, S.V., Gorokhovatsky, V.O. (2018) Statistical Measures for Computation of the Image Relevance of Visual Objects in the Structural Image Classification Methods. *Telecommunications and Radio Engineering*, 77 (12), pp. 1041–1053.
11. Tymchyshyn R., Volkov O., et al. *Modern Approaches to Computer Vision, Control systems and computers*, 2018, 6, 46-73.
12. Гороховатский В.А., Путятин Е.П. Структурное распознавание изображений на основе моделей голосования признаков характерных точек. *Реестрация, зберігання і обробка даних*. 2008. Т. 10. № 4. С. 75.

13. Gorokhovatskiy, V.A. (2011) Compression of Descriptions in the Structural Image Recognition. *Telecommunications and Radio Engineering*, 70 (15), pp. 1363–1371.
14. Gorokhovatsky V.A. Putyatin Y. P. (2009) Image Likelihood Measures of the Basis of the Set of Conformities. *Telecommunications and Radio Engineering*, 68 (9), pp. 763–778.
15. Gorokhovatsky, V.O. and Gadetska, S.V. (2019) Determination of Relevance of Visual Object Images by Application of Statistical Analysis of Regarding Fragment Representation of their Descriptions, *Telecommunications and Radio Engineering*, 78 (3), pp. 211–220.
16. Gorokhovatskiy V.A. (2018) Image Classification Methods in the Space of Descriptions in the Form of a Set of the Key Point Descriptors. *Telecommunications and Radio Engineering*, 77 (9), pp. 787-797.
17. Gorokhovatsky V.A. (2016) Efficient Estimation of Visual Object Relevance during Recognition through their Vector Descriptions. *Telecommunications and Radio Engineering*, 75 (14), pp. 1271–1283.
18. Gadetska S., Gorokhovatskiy V., Stiahlyk N., Vlasenko N. (2022) Aggregate Parametric Representation of Image Structural Description in Statistical Classification Methods. In *CEUR Workshop Proceedings: Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2022)*, 3137, pp. 68-77.
19. Гороховатський В., Творошенко І., Сидоренко Д. (2021) Класифікація зображень із використанням кластерного подання, Міжн. наук. симпозиум «Інтелектуальні рішення-С». Обчислювальний інтелект. Теорія прийняття рішень (Вересень 29, 2021). Київ – Ужгород, С. 44-45.
20. Pomazan, V., Tvoroshenko, I., and Gorokhovatskiy, V. (2023). Development of an application for recognizing emotions using convolutional neural networks, *International Journal of Academic Information Systems Research*, 7(7), pp. 25-36.
21. Gadetska, S.V., Gorokhovatskiy, V.O., Stiahlyk, N.I., Vlasenko, N.V. Statistical data analysis tools in image classification methods based on the description as a set of binary descriptors of key points. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2021, № 4, pp. 58-68.
22. Gorokhovatskiy V., Gadetska S., Stiahlyk N. (2020) Image structural classification technologies based on statistical analysis of descriptions in the form of bit descriptor set. In *CEUR Workshop Proceedings: Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020)*, 2608, pp. 1027-1039.
23. Гороховатский В.А. (2014) Структурный анализ и интеллектуальная обработка данных в компьютерном зрении: монография, Харьков, Компания СМИТ. 316 с.
24. Gorokhovatskiy, O., Peredrii, O., Gorokhovatskiy, V., Vlasenko, N. (2023) Explanation of CNN Image Classifiers with Hiding Parts. In: J. Benois-Pineau, R. Bourqui, D. Petkovic, G. Quenot (eds), *Explainable Deep Learning Artificial Intelligence*, pp. 125-146, Academic Press, 346 p.