



**International Science Group**

**ISG-KONF.COM**

**XXI**

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC  
AND PRACTICAL CONFERENCE**

**"SCIENTISTS AND METHODS OF USING MODERN  
TECHNOLOGIES"**

**Melbourne, Australia  
May 30 - June 02, 2023**

**ISBN 979-8-88992-686-3**

**DOI 10.46299/ISG.2023.1.21**

117.	Кондрат Р.М., Матіішин Л.І. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ ПРИРОДНИХ ВУГЛЕВОДНІВ З НАФТОВИМИ ОБЛЯМІВКАМИ	463
118.	Корчак М.М. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ СМУГОВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ ҐРУНТУ	467
119.	Лабуткіна Т.В., Акіншев О.Р. ОДИН ВАРІАНТ ГРУПИ СЕАНСУ КОМБІНОВАНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ОРБІТАЛЬНИХ ОБЄКТІВ ТА БАГАТОВАРИАНТНІСТЬ У ГРУПІ	474
120.	Михайленко Д.Д., Немцев М.О. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ МЕРЕЖЕВИХ ПАСТОК ЯК ІНСТРУМЕНТУ АКТИВНОГО ЗАХИСТУ ТА АНАЛІЗУ ДІЙ АТАКУЮЧОЇ СТОРОНИ	483
121.	Мәлімбаек Е.М., Касымбаев Б.М., Илямов Х.М., Күнтуғанқызы А., Сапарбаев Е.Т. ДИЗЕЛЬДІК ОТЫНДЫ ЛАСТАНУДАН ҚҰРАМА ТАЗАРТУ ЖҮЙЕСІН НЕГІЗДЕУ	488
122.	Насонова С.С. МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ НАФТОВИХ РЕЗЕРВУАРІВ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЇХ ВІДМОВИ	497
123.	Чмутов Ю. ДОСЛІДЖЕННЯ ОРТОГОНАЛЬНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОПИСІВ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ КЛАСИФІКАЦІЙНИХ ОЗНАК	500
124.	Шишацький А.В., Шкнай О.В., Протас Н.М., Драглюк О.В., Краснобокий А.В. МЕТОД ОЦІНКИ КІБЕРНЕТИЧНОЇ ЗАХИЩЕНОСТІ СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	505
125.	Шкіца Л.Є. РОЗРОБКА ІННОВАЦІЙ У ВЗАЄМОДІЇ ОСВІТА-БІЗНЕС	515
126.	Шостачук Ю.О., Мірнов Д.В. КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРИНТЕРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ	519

# ДОСЛІДЖЕННЯ ОРТОГОНАЛЬНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОПИСІВ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ КЛАСИФІКАЦІЙНИХ ОЗНАК

**Чмутов Юрій,**  
аспірант кафедри інформатики  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Мета дослідження полягає у підвищенні результативності структурних методів класифікації зображень шляхом скорочення обчислювальних витрат за допомогою ортогонального розкладання компонентів опису за системою ортогональних функцій та застосування моделей стиснення простору ознак [1–8]. Дослідження включає здійснення ортогонального розкладання еталонних та вхідних образів, побудову метричного класифікатора у трансформованому просторі ознак, визначення параметрів порогу для еквівалентності компонентів опису у різних метриках та вивчення результативності розроблених модифікацій класифікаторів [9–14].

Фільтрація незначущих компонентів спектру може зменшити надмірність представлення та скоротити вектор оброблюваних даних [7, 10, 12–17]. Традиційно, відбираючи найбільш інформативну підмножину, можна зменшити обчислювальні затрати на класифікацію. Відображення в новий простір можна здійснити за рахунок ортогонального розкладання за компактною системою функцій Уолша (ФУ) [3].

Дисперсійний аналіз є основним апаратом для визначення значущості коефіцієнтів розкладання [16–20]. Найбільше значення дисперсії не завжди забезпечує потрібний рівень розрізнення зображень. Дисперсійний аналіз може бути здійснений як у рамках повної бази еталонів, так і в межах окремих її представників. Ранжирування списку ФУ за значенням дисперсії даних може бути використано для стиснення.

Для дослідження ефективності запропонованих методів класифікації (працездатність, швидкодія, завадостійкість) було проведено комп'ютерне моделювання. Для цього була взята база із п'яти еталонних зображень гербів футбольних клубів розміром 325×325 пікселів [3]. Кожне зображення містило окремий еталон, розташований на світлому фоні (рис. 1).

Застосовано мову програмування Python та бібліотеку комп'ютерного зору OpenCV, створено 500 дескрипторів ORB розміром 256 біт для кожного зображення [21–26].

На рисунку 2 наведено значення перетворення одного із дескрипторів з використанням ортогонального перетворення. Це демонструє, що діапазон значень трансформованих даних обмежений.



а)



б)

Рисунок 1 – Еталонні зображення:  
а) еталон; б) координати ORB-дескрипторів

[132, 4, 14, -2, -8, -4, 6, -6, 0, 8, 2, 10, -4, -16, 2, 6, -8, -8, 14, -2, 0, 4, 2, -10, -8, 8, -18, -2, 8, 4, -6, 6, 2, 2, 4, 12, 6, 10, -4, -8, 2, 10, -4, 12, -10, 10, 4, 0, 2, 10, -8, -8, 18, -18, 4, 8, 14, -10, 4, 4, -2, 2, 0, -4, 8, 12, 2, -10, 0, 8, 6, -2, 0, -12, 2, 6, -8, -8, -10, -10, -4, -8, 2, -2, 0, -16, -6, 10, -8, -4, -2, 2, -4, -4, -10, 6, -10, -6, -8, -12, 6, -2, 4, 4, 2, -10, -4, -8, -6, 10, 0, -8, 6, 10, 12, 8, -6, 18, 4, 4, -2, -6, -12, -8, 10, 2, 4, 4, -2, 22, 4, 4, -6, -2, -4, 8, 2, -6, -24, -8, -2, -6, 0, 4, 18, -6, 4, -12, 2, 6, -8, 4, -14, 2, -4, 4, 2, 6, 0, 12, 0, 8, -2, -26, -4, 0, -10, 10, 0, -8, -2, -10, 4, -16, -2, 10, 0, 0, 2, -14, -8, -12, -2, -6, -12, -4, 14, 6, 4, 0, 18, -2, -2, -6, -4, 0, 6, -2, -8, -8, -2, -14, -4, -8, -2, 6, 0, 0, 10, -18, 4, 0, -2, -2, -12, 12, 6, -6, 8, -12, 18, -6, -16, 0, 8, 4, -18, -6, 8, 0, 2, -6, 4, 8, -6, -2, 4, -4, -2, -10, 16, -4, -6, -10, 4, -4, 10, 2, 0, -4, 2, -2, 4, 4, 2, 2]

Рисунок 2 – Приклад перетворення дескриптора за множиною 256 ФУ

Таблиця 1 містить номери перших 16-ти відсортованих ФУ за величиною квадрату дисперсії на множині дескрипторів бази еталонів.

Проведені експерименти показали, що відстань Хаусдорфа між еталонними описами з дескрипторами у бітовому виді знаходиться в інтервалі [95,..., 100].

Відстань Хаусдорфа з поданням у просторі ФУ належить діапазону [1960,..., 2034], а для 16 відібраних ФУ – [126,..., 146].

Обчислення метрик зайняли 21 с, 29 с і 1,7 с відповідно. Використання скороченого простору ознак знизило обчислювальні витрати в 17 разів. Класифікатори безпомилково класифікують навчальну вибірку бази еталонів.

Таблиця 1.  
Номери відсортованих ФУ

№	№ ФУ	Нормована дисперсія
1	0	1,0
2	45	0,00159
3	106	0,00157
4	208	0,00156
5	176	0,00145
6	10	0,00134
7	85	0,00128
8	77	0,00123
9	109	0,00122
10	80	0,00119
11	209	0,00119
12	9	0,00115
13	3	0,00113
14	54	0,00107
15	72	0,00107
16	197	0,00105

Експерименти показали, що розроблений метод завадостійкий при впливі адитивного шуму. Показник точності  $pr(\mu)$  для традиційного методу та методу з повним набором 256-ти ФУ становить 1 при  $\mu < 8$  і 0,8 при  $\mu = 6$ . Для методу із 16 ФУ показник  $pr(\mu)$  зменшується до 0,9 при  $\mu = 25$ .

Застосування метрики Танімото у класифікаторі для трансформованого простору даних з використанням порогу  $\rho_{lim}$  (25% від максимального значення метрики для дескрипторів на еталонних даних) впливає на точність класифікації. Значення Танімото між еталоном і зашумленим еталоном зростають зі збільшенням рівня шуму (зменшенням  $\mu$ ). Показники  $pr(\mu)$  для методу з повним набором 256-ти ФУ та для методу із стисненим поданням 16 ФУ дорівнюють 1 (без помилок) при  $\mu \geq 1,2$  і знижуються до 0,9 при  $\mu = 1$ . Для традиційного методу без використання апарату ФУ показники  $pr(\mu)$  майже однакові. Час обчислення метрики у модифікованих просторах даних скорочується пропорційно кількості використаних ФУ. Застосування 16-ти ФУ зменшує час класифікації в 17 разів, а 8-ми ФУ – в 29 разів порівняно з повним набором 256-ти ФУ.

Висновок. Застосування ортогональних функцій для трансформації дескрипторів опису зображень дає можливість значно прискорити оброблення без втрати точності та завадостійкості класифікації. Доцільним є використання метрики Танімото та порогу на рівні 25% від максимального значення метрики на еталонному наборі. Впровадження функцій Уолша скорочує обчислювальні витрати та забезпечує високу результативність класифікації.

**Список літератури:**

1. Tymchyshyn R., Volkov O., Gospodarchuk O., Bogachuk Yu. (2018) Modern Approaches to Computer Vision. Control systems and computers. № 6. P. 46-73.
2. Гороховатський, В.О., Творошенко, І.С., Чмутов, Ю.В. Застосування систем ортогональних функцій для формування простору ознак у методах класифікації зображень. Advanced Information Systems, 2022, т. 6, №3, с. 5–12.
3. Ahmed N., and Rao K.R. (1975), Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing, Springer Verlag Berlin, 248 p.
4. 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.
5. Gorokhovatskyi 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.
6. Гороховатський В.О., Пупченко Д.В., Солодченко К.Г. (2018) Аналіз властивостей, характеристик та результатів застосування новітніх детекторів для визначення особливих точок зображення. Системи управління, навігації та зв'язку. С. 93–98.
7. 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.75–85.
8. Gadetska, S.V., Gorokhovatsky, V.O. Statistical Measures for Computation of the Image Relevance of Visual Objects in the Structural Image Classification Methods. Telecommunications and Radio Engineering. – 2018, Vol. 77 (12), pp. 1041–1053.
9. Гороховатский, В.А., Путятин, Е.П., Столяров В.С. Исследование результативности структурных методов классификации изображений с применением кластерной модели данных. Радиоэлектроника, информатика, управление.–2017. – №3 (42). – С. 78–85.
10. Gorokhovatskyi V.A., Zamula A.A. (2016) Employment of Intelligent Technologies in Multiparametric Control Systems. Telecommunications and Radio Engineering. Vol. 75, No 19, p. 1775–1785.
11. Gorokhovatsky V.A. Efficient Estimation of Visual Object Relevance during Recognition through their Vector Descriptions. Telecommunications and Radio Engineering. – 2016, Vol. 75, No 14. – P. 1271–1283.
12. Gorokhovatskiy, V.A. Compression of Descriptions in the Structural Image Recognition. Telecommunications and Radio Engineering. – 2011, Vol. 70, No 15. – P. 1363–1371.
13. Гороховатский В.А., Передрий Е.О. (2009) Корреляционные методы распознавания изображений путем голосования систем фрагментов. Радиоэлектроника, информатика, управління, №1 (20), с.74–81.
14. Gorokhovatskyi, V., Stiahlyk, N., Tsarevska, V. (2021). Combination method of accelerated metric data search in image classification problems. Advanced Information Systems, 5 (3), pp. 5–12.

15. Гороховатський В.О., Гадецька С.В., Стяглик Н.І., Власенко Н.В. (2020) Класифікація зображень на підставі ансамблю статистичних розподілів за класами еталонів для компонентів структурного опису. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*, №4, с. 85–94.

16. Gorokhovatskyi V., Gadetska S., Ponomarenko R. (2020) Recognition of Visual Objects Based on Statistical Distributions for Blocks of Structural Description of Image. Proc. of the XV Int. Scientific Conference “Intellectual Systems of Decision Making and Problems of Computational Intelligence” (ISDMCI'2019), Ukraine, May 21–25, 2019, pp. 501-512.

17. Daradkeh, Y.I., Gorokhovatskyi, V., Tvoroshenko, I., Zeghid, M. Tools for Fast Metric Data Search in Structural Methods for Image Classification, *IEEE Access*, 2022, 10, pp. 124738-124746.

18. Gadetska, S.V., Gorokhovatskyi, 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.

19. Gadetska S., Gorokhovatskyi 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.

20. Gorokhovatskyi, O., Peredrii, O., Gorokhovatskyi, 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.

21. 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.

22. Гороховатский В.А. Структурный анализ и интеллектуальная обработка данных в компьютерном зрении: монография, Комп. СМИТ, 2014. – 316с.

23. Gorokhovatskyi, V., Tvoroshenko, I., Kobylin, O. (2023) Search for Visual Objects by Request in the Form of a Cluster Representation for the Structural Image Description, *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, 21 (1), pp. 19–27.

24. Гороховатський В., Творошенко І., Сидоренко Д. (2021) Класифікація зображень із використанням кластерного подання, Міжнародний науковий симпозіум «Інтелектуальні рішення-С». *Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи). Теорія прийняття рішень: праці міжн. наук. симпозіуму (Вересень 29, 2021). Київ – Ужгород*, С. 44-45.

25. Yakovleva O., and Nikolaieva K. (2020) Research of descriptor based image normalization and comparative analysis of SURF, SIFT, BRISK, ORB, KAZE, AKAZE descriptors. *Advanced Information Systems*, 4 (4), pp. 89-101.

26. Rublee E., Rabaud V., Konolige K., and Bradski G. (2011) ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF. In *Proceedings IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, pp. 2564-2571.