

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

**МАТЕРІАЛИ
XXX МІЖНАРОДНОГО
МОЛОДІЖНОГО ФОРУМУ**

**РАДІОЕЛЕКТРОНІКА
ТА МОЛОДЬ
У ХХІ СТОЛІТТІ**



Том 7

Харків 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

МАТЕРІАЛИ 30-го МІЖНАРОДНОГО
МОЛОДІЖНОГО ФОРУМУ
«РАДІОЕЛЕКТРОНІКА І МОЛОДЬ У ХХІ СТОЛІТТІ»

22-24 квітня 2026 р.
том 7

КОНФЕРЕНЦІЯ
«КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ
ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ»

З нагоди 100-річчя від дня народження
академіка Національної академії наук України
Володимира Логвиновича Рвачова

Харків 2026

Романенко Р.В., 387
Руденко Б.В., 144

С

Савченко А.В., 389
Сазонов М.С., 147
Серопян А.С., 392
Сібільов В.О., 150
Смірнов Д.В., 153
Соколова А.М., 156
Сорокін С.О., 159

Т

Талах В.О., 161
Тетюшев І.А., 164
Ткалич Д.В., 395
Толочний І.В., 398

У

Уваров К.М., 400

Ф

Федорук М.Ю., 166
Федосєєнко А.О., 403
Фіронов Д.Ю., 169
Фуніков А.С., 405
Футрик Ю.В., 407

Х

Ханін Г.С., 411
Холодов М.О., 414
Хурдей Є.Л., 417

Ч

Чабаненко А.О., 172
Черних О.О., 174
Черниш Д.С., 420
Чорна М.К., 176
Чугай А.М., 248

Ш

Шапошник М.Є., 178
Шарай К.В., 423
Швальов М.С., 181
Шевченко О.О., 184
Шерстнюк Д.В., 425
Шкурко В.В., 427
Шлома О.К., 186
Шостко І.С., 186
Шубан К.Ю., 189

Щ

Щербина М.О., 430

Ю

Юзвiшин І.С., 192

Я

Яловега І.Г., 363
Янбеков Р.Я., 433
Яровенко В.В., 436
Ясько Д.В., 439
Ященко С.С., 195, 198

УДК 621.38

РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ НЕЗАЛЕЖНОГО ХЕШУВАННЯ СТРУКТУРНИХ ОПИСІВ

Сазонов М.С.

e-mail: mykyta.sazonov@nure.ua

Науковий керівник – д-р техн. наук, проф. Гороховатський В.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ
м. Харків, Україна

The work is devoted to the analysis of the effectiveness of image recognition methods based on random hashing for a database of reference descriptions. The research focuses on the development and modeling of a method that converts high-dimensional visual descriptors of key image points into compact binary codes. By applying random projection matrices to the description as a set of descriptors, the proposed system achieves significant acceleration in matching input images with stored database templates. The simulation results demonstrate that the proposed hashing approach maintains high recognition accuracy while significantly reducing computational costs compared to traditional exhaustive search methods.

Сучасні системи комп'ютерного зору стикаються з проблемою оброблення великих масивів візуальних даних у реальному часі. Особливо гостро це питання постає при розпізнаванні малорозмірних об'єктів, таких як безпілотні літальні апарати (БПЛА), де необхідно швидко порівнювати отримані дескриптори ключових точок із еталонною базою даних [1, 2]. Традиційні методи повного перебору є ресурсомісткими, тому актуальним є впровадження методів незалежного хешування.

В основі запропонованого підходу лежить трансформація багатовимірного простору ознак як множини дескрипторів ключових точок у компактний бінарний хеш-код. Це досягається шляхом множення вхідного дескриптора (наприклад, отриманого за допомогою алгоритму akaze) на матрицю випадкових проєкцій [3-5].

Матричне представлення випадкового проєктування має вид

$$X_{s \times d}^* = X_{s \times n} R_{n \times d}$$

де $X_{s \times d}^*$ – вхідна матриця множини дескрипторів, $R_{n \times d}$ – випадкова матриця, що є базою хешування.

Хешування здійснюється шляхом обчислення скалярного добутку кожного дескриптора на вектори випадкових гіперплощин

$$g_i = \sum_{j=1}^n r_{i,j} z_v^*(j), \quad i = 1, \dots, d.$$

Тут $z_v^*(j)$ – центровані компоненти дескрипторного опису.

Для кожної ключової точки об'єкта генерується дескриптор *akaze*. У ході моделювання було використано вектори розмірністю 488 біт. На основі цих даних будується матриця $R_{n \times d}$ випадкових значень розмірністю (16, 488), яка виступає основою для проектування.

Суть методу полягає у проектному перетворенні: якщо два дескриптори знаходяться близько у вихідному просторі, то з високою ймовірністю вони матимуть однаковий хеш-код після проектування. Процес включає: скалярний добуток вхідного дескриптора на рядки матриці; бінаризацію результату (якщо значення > 0 , записується 1, інакше 0); формування фінального 16-бітного хешу.

Для перевірки ефективності було проведено експеримент з розпізнавання зображень БПЛА (рисунок 1) для бази із 10 еталонів. Система аналізувала збіги між множиною дескрипторів поточного кадру та базою даних, опис кожного зображення містить 500 дескрипторів ключових точок.



Рисунок 1 – Візуалізація знайдених ключових точок на еталонному зображенні БПЛА

Результати моделювання показують, що метод з хешуванням дозволяє швидко відсіювати невідповідні кадри та фокусуватися на релевантних об'єктах.

Для програмної реалізації обрано інтегроване середовище розробки PyCharm Community Edition 2025.2.1.1, мову програмування Python 3 та бібліотеки для обробки даних та роботи із зображеннями: OpenCV (cv2), NumPy, Matplotlib, а також стандартні модулі Python, такі як collections, os, time. Моделювання та оцінювання продуктивності здійснювалося на

комп'ютері з процесором Intel Core i7-9700K (3.60 ГГц), оперативною пам'яттю 16 ГБ DDR4, під управлінням Windows 11 Pro (версія 24H2).

При цьому середні затрати комп'ютерного часу на класифікацію одного зображення для бази із 10 еталонів склали: для традиційного методу з лінійним пошуком – 1341 мс, для методу з випадковим проектуванням при розмірі хеш-коду $d = 16$ – 8.5 мс (5.5 мс на хешування + 3 мс на пошук і голосування). Як бачимо, метод з хешуванням забезпечує точну класифікацію зі швидкодією у 157 разів кращою, ніж традиційний метод!

Використання апарату випадкового хешування дозволяє скоротити час класифікації в десятки разів при збереженні показника точності. Отримані результати свідчать про те, що випадкове проектування забезпечує реальний компроміс між точністю класифікації та швидкодією оброблення, воно зберігає стійкість до шумів і змін умов аналізу та може бути успішно використано у прикладних системах комп'ютерного зору.

Перспективи розвитку класифікаторів із випадковим хешуванням полягають у застосуванні кількох систем випадкових функцій для аналізу одних і тих же вхідних описів із впровадженням їх спільного рішення. Це можна впровадити завдяки суттєвому запасу у часі класифікації у порівнянні із відомими методами.

Список використаних джерел:

1. Gorokhovatskyi, V., Chmutov, Y., Tvoroshenko, I., & Kobylin, O. (2025). Reducing computational costs by compressing the structural description in image classification methods. *Advanced Information Systems*, 9(1), 5–12.
2. Lowe, D. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. <https://link.springer.com/article/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>
3. Gorokhovatskyi V., Tvoroshenko I., Yakovleva O., and Hudáková M. (2026). Feature space quantization and application of metrics in structural methods of image recognition, *IEEE Access*, 14, 17812-17824, doi: 10.1109/ACCESS.2026.3659757.
4. Gorokhovatskyi V., Tvoroshenko I., Yakovleva O., and Hudáková M. (2025). Image description compression in classification structural methods, *IEEE Access*, vol. 13, pp. 43631-43641, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3548910.
5. Gorokhovatskyi, O., Peredrii, O., Gorokhovatskyi, V., Vlasenko, N. (2023). Explanation of CNN Image Classifiers with Hiding Parts. In: J. Benoit-Pineau, R. Bourqui, D. Petkovic, G. Quenot (eds), *Explainable Deep Learning Artificial Intelligence*, pp. 125-146, Academic Press, 346 p.