

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

Заїка Д.В., 56
Заяць А.Р., 286
Збітнєв Д.С., 59
Зіма В.О., 62
Зозюк М.О., 328
Зуйко І.В., 65

К

Казаров Д.Ю., 68
Калініченко А.С., 289
Камишан П.С., 71
Каряка Н.В., 292
Кириченко К.Ю., 74
Кирюхін Б.А., 77
Кит М.О., 295
Кліменко Я.К., 80
Книш О.С., 298
Коваленко К.В., 300
Ковтун А.Д., 303
Кожин А.Ю., 305
Колісник О.В., 308
Колток Б.В., 310
Кондратюк Д.С., 313
Коржов С.О., 316
Косовський С.Б., 83
Котенко Д.А., 319
Кошель В.О., 86
Кошкін А.О., 322
Коштура Д.А., 325
Красюков М.С., 89
Крисенко П.І., 328
Кучеренко В.В., 331

Л

Лазаренко Т.Б., 92
Лазарева Д.Є., 94
Ламтюгов Д.О., 334
Левченко Н.С., 337
Лисенко І.А., 340
Литвин М.А., 97
Лі Н.Д., 100
Ліпатов І.А., 103
Луханін В.С., 343

М

Мазепа А.С., 284
Максімов Г.Р., 106
Мармур О.М., 109
Марюхна А.В., 111
Матвєєв Є.Є., 114
Матвієнко О.І., 352
Махотін А.С., 345
Мацько В.І., 347
Машков В.В., 117
Мелащенко О.П., 275
Мельник М.Г., 349
Мірошніченко О.О., 352
Молодняк Д.А., 119
Мороз Д.С., 355
Мякота В.В., 358

Н

Нестеренко В.В., 360
Новаковський А.В., 363

О

Овсянніков Д.О., 122
Ольховський Б.Д., 125
Осінська М.В., 366
Остапчук В.О., 127

П

Панчук В.О., 130
Пархоменко В.Г., 368
Пасемко І.С., 371
Педан Р.В., 373
Подгорний О.Р., 376
Полозов М.О., 133
Полозова О.О., 135
Потапов В.О., 138
Приймак Є.А., 141
Проць Б.О., 379

Р

Решетняк Є.С., 382
Резнікова С.О., 385

ВИКОРИСТАННЯ ХЕШУВАННЯ ДЛЯ ПРИСКОРЕННЯ ПОШУКУ У КОМП'ЮТЕРНОМУ ЗОРІ

Приймак Є.А.

e-mail: yehor.pryimak@nure.ua

Науковий керівник – д-р техн. наук, проф. Гороховатський В.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ
м. Харків, Україна

This work is devoted to solving the problem of computational complexity in large-scale computer vision systems. With the increase in database sizes, traditional feature matching algorithms face a significant drop in processing performance. The study considers the use of random hashing to compress 488-bit AKAZE descriptors into 16-bit index hashes using a basket voting architecture. The modelling uses the task of biometric identification of marine mammals. The proposed method demonstrates a significant reduction in search time while maintaining the classification accuracy of the direct search method.

Сучасні системи комп'ютерного зору набувають все більшого поширення у різноманітних сферах діяльності: від систем біометричної автентифікації та відеоспостереження до автономної навігації безпілотних апаратів та екологічного моніторингу. Зі збільшенням роздільної здатності зображень та обсягів баз даних на перший план виходить проблема обчислювальної складності [1–3].

Класичний підхід до розпізнавання об'єктів базується на виділенні дескрипторів ключових точок та їх подальшому порівнянні з еталонами у базі даних. Традиційний алгоритм прямого перебору (Brute Force Matcher) вимагає попарного порівняння кожного багатовимірного дескриптора запиту з усіма дескрипторами бази. Зі зростанням кількості еталонів час такого пошуку зростає лінійно (або експоненціально у складних випадках), що робить неможливим використання системи в режимі реального часу [4].

Метою даної роботи є програмна реалізація алгоритму хешування як ефективного механізму для радикального прискорення пошуку і зіставлення множин візуальних ознак у великих базах даних без критичної втрати точності.

Для експериментального підтвердження ефективності алгоритму було обрано задачу ідентифікації морських ссавців (китоподібних) за аерофотознімками. Ця задача ускладнюється наявністю візуального шуму: відблисків сонця на воді, хвиль та динамічного фону.

На першому етапі вхідне зображення (рис. 1) обробляється детектором AKAZE (Accelerated-KAZE). Вибір даного детектора зумовлений його стійкістю до зміни масштабу та нелінійною фільтрацією, що дозволяє краще зберігати межі об'єктів порівняно з традиційними методами (наприклад, SIFT або ORB).



Рисунок 1 – Зображення з координатами AKAZE

Виділяємо до 500 найбільш значущих ключових точок. Кожна точка описується бінарним вектором розмірністю 488 біт.

Суть алгоритму полягає у зниженні розмірності даних із збереженням їхніх просторових властивостей. На відміну від криптографічних функцій хешування, де зміна одного біта повністю змінює результат, випадкове хешування проектує близькі вхідні вектори в однакові або сусідні хеш-коди.

Процес випадкового хешування складається з наступних кроків.

1. Центрування: Вхідний бінарний вектор перетворюється у дійсні числа шляхом віднімання константи 0.5 від кожного елемента. Це дозволяє симетрично розподілити значення відносно нуля.

2. Проекція: Здійснюється операція матричного множення центрованого вектора на секретний ключ – матрицю випадкових проекцій розмірністю 16×488 . Рядки матриці генеруються за нормальним розподілом Гаусса та нормалізуються таким чином, щоб довжина кожного вектора дорівнювала одиниці.

3. Бінаризація та індексація: Отриманий вектор із 16 дійсних чисел перетворюється на бінарний код за пороговим правилом (>0). Цей 16-бітний код використовується як пряма двійкова адреса (індекс) для доступу до відповідної "корзини" у хеш-таблиці.

Фрагмент згенерованої матриці проекцій показано на рис. 2.

Голосування відбувається за правилом: один дескриптор запиту – один голос. Якщо у корзині знаходяться точки від різних класів еталонів, виконується швидке локальне порівняння їх оригінальних 488-бітних векторів за метрикою Хеммінга і віддається голос лише найближчому еталону. Клас, який набирає найбільшу кількість голосів з 500 можливих, визнається переможцем.

Експериментальна перевірка проводилася на базі даних, що містить 5 класів ссавців (Косатка, Синій кит, Горбатий кит, Кашалот, Афаліна). Для оцінки ефективності реалізовано два методи: оптимізований метод з хешуванням та традиційний метод прямого перебору.

На ідентичних наборах даних метод прямого перебору виконував пошук за значно більший час (13.3822 мс), ніж метод з хешуванням (4.306 мс).

При цьому метод корзин зберіг абсолютну точність розподілу голосів, ідентичну до класичного прямого перебору.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		In Bit 1	In Bit 2	In Bit 3	In Bit 4	In Bit 5	In Bit 6	In Bit 7	In Bit 8	In Bit 9	In Bit 10	In Bit 11	In Bit 12	In Bit 13
2	Hash_Bit 1	1,008706	-0,32312	0,127746	0,279773	1,288732	1,625296	-0,46919	-1,2494	-0,26043	-0,14755	-0,48018	-1,70843	1,101883
3	Hash_Bit 2	-0,50633	0,575414	0,554553	2,348236	-0,16377	-1,00064	-0,62618	-1,77285	1,12378	-0,45401	-1,49956	-0,09115	-0,13524
4	Hash_Bit 3	-0,72154	0,401635	0,954701	-0,7501	0,127741	1,425389	0,576762	1,867457	-0,50911	-1,00961	-0,85571	-0,07214	-1,06663
5	Hash_Bit 4	2,048456	0,047643	-0,20535	0,875849	1,233814	2,322274	1,428972	0,085166	0,532621	-0,92214	0,399232	0,998552	0,26218
6	Hash_Bit 5	-1,47401	0,191953	-1,38306	-0,55533	-0,32321	0,064447	0,571147	1,180338	2,182433	1,467071	-0,23531	1,325419	-1,6993
7	Hash_Bit 6	-1,24638	-0,09761	0,606036	-0,44778	0,55882	-1,74191	1,017544	0,323781	0,989659	0,191145	-0,62984	0,729068	-1,50105
8	Hash_Bit 7	0,091344	-0,78112	1,220279	-0,49107	0,233738	-1,2597	1,704773	0,832013	0,128984	0,469395	0,625061	-2,54708	-0,66369
9	Hash_Bit 8	0,108726	-0,73323	1,887051	0,735554	-0,66362	-1,19106	0,102601	-0,10385	0,338552	-1,44395	-0,1815	-0,6717	-0,06322
10	Hash_Bit 9	0,013416	-0,93534	0,286354	1,368222	0,138067	-1,41092	0,700781	-1,78049	0,829073	-0,64547	-0,85123	1,357845	2,416395
11	Hash_Bit 10	-0,28988	-0,60446	-0,08517	-0,33944	-0,77938	-2,06783	-0,3255	-1,23209	0,921506	1,914732	-0,41952	1,192408	-2,35692
12	Hash_Bit 11	0,194786	-0,33605	0,664131	-0,85549	-0,2068	1,269234	0,310021	-0,93982	-0,28941	-0,1034	1,436686	-0,38519	-0,49037
13	Hash_Bit 12	-1,31965	0,137345	0,018251	-0,71786	-0,05015	-0,24523	-0,51577	-0,54871	-0,03539	-1,52156	1,229763	0,332037	-0,34181
14	Hash_Bit 13	-0,92484	-1,26123	0,93078	0,044009	1,103055	0,358794	0,112581	-0,61434	-0,15293	-0,1549	-1,76143	-0,084	-0,00566
15	Hash_Bit 14	0,63956	1,165754	-2,47067	-0,38222	-0,88854	-1,69679	-1,62074	-0,18702	-1,21208	-0,44064	-1,18784	-0,28086	0,944512
16	Hash_Bit 15	1,028734	1,996601	-0,69194	-1,44277	1,287551	-1,62882	-0,15732	-0,87303	-0,60083	0,15238	-2,36426	0,580128	-0,45219
17	Hash_Bit 16	-1,0479	-0,04327	-0,29697	-0,06418	0,206671	-0,18582	-1,49691	-0,2385	-0,65447	-1,02865	-0,76493	-0,42555	1,226191

Рисунок 2 – Фрагмент згенерованої матриці проєкцій

Завдяки переходу від прямого перебору багатовимірних векторів до індексованого пошуку по корзинах досягнуто радикального прискорення процесу ідентифікації при збереженні високої точності. Розроблений алгоритм є універсальним інструментом і може бути масштабований для роботи з будь-якими великими масивами візуальних даних.

Список використаних джерел:

1. Wang J., Zhang T., Song J., Sebe N., Shen H. T. A Survey on Learning to Hash. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2018. Vol. 40, No. 4. P. 769–790. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2017.2699960>
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.