

**ДОБРЖАНСЬКИЙ ВОЛОДИМИР**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0009-0007-0095-3433>e-mail: [vdobrzhnan@gmail.com](mailto:vdobrzhnan@gmail.com)**БАРМАК ОЛЕКСАНДР**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-0739-9678>e-mail: [alexander.barmak@gmail.com](mailto:alexander.barmak@gmail.com)**СКРИПНИК ТЕТЯНА**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8531-5348>e-mail: [tkskripnik1970@gmail.com](mailto:tkskripnik1970@gmail.com)**МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ ПІД ДОВІЛЬНИМ КУТОМ ЗОРУ**

У статті висвітлюється проблема використання технології розпізнавання обличчя в індустріальних застосуваннях. Незважаючи на інтеграцію цієї технології, існують відкриті виклики, такі як верифікація та ідентифікація осіб з різних поз. Особливу проблему становить відсутність належних досліджень у сфері розпізнавання обличчя в відео, зокрема в системах відеоспостереження, де в якості посилання використовуються знімки, отримані зі спеціальних кутів зору (POV). Ці виклики підкреслені в контексті використання фотографій, знятих фронтально та з правого профілю, які традиційно збираються поліцією.

Для вирішення цих проблем і заповнення дослідницької ніші пропонується новий підхід у вигляді бази даних з розпізнавання обличчя за знімками (FRMDB). Ця база включає 28 знімків та 5 відео, отриманих з різних кутів зору для 39 унікальних об'єктів. Основною метою FRMDB є аналіз впливу використання знімків з різних кутів зору на точність розпізнавання обличчя на кадрах відеоспостереження.

Для перевірки ефективності FRMDB та порівняння з існуючими даними проведено тести точності, використовуючи дві глибокі нейронні мережі (CNN), а саме VGG16 і ResNet50. Для цього вони були передзавантажені на попередньо навчені набори даних VGGFace та VGGFace2 для вилучення ознак обличчя. Порівняльний аналіз результатів проведено із застосуванням даних з існуючого дослідження, а саме, Бази даних обличчя з камер відеоспостереження (SCFace).

Результати підкреслюють, що підбір знімків, який включає фронтальні та праві профільні зображення, показує найнижчий рівень точності серед варіантів, що були протестовані. Це вказує на необхідність додаткового дослідження для визначення оптимальної кількості знімків для ефективного розпізнавання обличчя на кадрах відеоспостереження.

Ключові слова: розпізнавання, відеоспостереження, FRMDB, глибокі нейронні мережі, обличчя, точність.

DOBRZHANSKYI VOLODYMYR, BARMAK OLEKSANDR, SKRYPNYK TETYANA  
Khmelnitskyi National University

**FACIAL RECOGNITION METHOD UNDER ARBITRARY VIEW**

The article addresses the challenge of utilizing facial recognition technology in industrial applications. Despite the integration of this technology, there are open issues such as verification and identification of individuals from different poses. The absence of proper research in facial recognition in videos, especially in surveillance systems using snapshots from various Points of View (POV), is a particular concern. These challenges are emphasized in the context of using photographs taken frontally and from the right profile, traditionally collected by the police.

To address these issues and fill the research gap, a new approach is proposed in the form of the Face Recognition from Mugshots Database (FRMDB). This database comprises 28 snapshots and 5 videos taken from different angles for 39 unique subjects. The main objective of FRMDB is to analyze the impact of using snapshots from various perspectives on the accuracy of facial recognition in surveillance video frames.

To evaluate the effectiveness of FRMDB and make comparisons with existing data, accuracy tests were conducted using two deep neural networks (CNNs), namely VGG16 and ResNet50. They were pre-trained on the VGGFace and VGGFace2 datasets for extracting facial features. A comparative analysis of the results was conducted using data from the existing research, specifically the Surveillance Cameras Face Database (SCFace).

The results underscore that the subset of snapshots, including frontal and right profile images, exhibits the lowest accuracy among the tested variations. This indicates the need for additional research to determine the optimal number of snapshots for effective facial recognition in surveillance video frames.

Keywords: recognition, surveillance, FRMDB, deep neural networks, facial recognition, accuracy.

**Постановка проблеми**

Сьогодні розпізнавання обличчя використовується у багатьох сферах, і особливо у системах відеоспостережень. Такі країни, як Китай та Південна Корея[1], є лідерами у встановленні камер відеоспостереження, і результати використання цих систем є вражаючими.

Незважаючи на вражаючі досягнення у сфері розпізнавання обличчя, існують виклики, пов'язані з ідентифікацією об'єктів під різними кутами зору.

Це стає особливо актуальним у випадку великих систем відеоспостереження, де різні камери можуть зафіксувати об'єкти під різними кутами. Такі ситуації можуть призводити до погіршення точності розпізнавання та зростання ймовірності помилкової ідентифікації.

Для вирішення цієї проблеми сьогодні активно використовуються передові інформаційні технології, зокрема штучні нейронні мережі.

Завдяки цим технологіям, системи відеоспостереження можуть автоматично аналізувати великий обсяг відеоданих та ідентифікувати на них людей, наприклад починати автоматичний запис відео, коли фіксується рух саме людини, та ігнорувати тварин чи колихання дерев.

Застосування машинного інтелекту в системах відеоспостереження є важливим кроком також у військовій сфері, оскільки дрони стають більш “розумніші” і їх можна натренувати для ідентифікації різних об’єктів.

### Аналіз останніх джерел

Щоб детально розкрити необхідність нового набору даних та обґрунтувати вибір використаних глибоких нейронних мереж (CNN) у експериментах, ми проводимо докладний аналіз особливостей баз даних обличчя. Навіть при наявності кількох баз даних, включаючи ті, що призначені для розпізнавання облич з маскою, які недавно з’явилися, більшість з них не мають властивостей, достатніх для оцінки результативності розпізнавання в відеороликах, знятих з камер відеоспостереження. Вони використовують як посилення зображення набори знімків, відмінних від стандартних фронтальних та профільних фотографій. Тим не менше, техніки на основі CNN продемонстрували свою ефективність там, де умови, такі як освітлення, вираз обличчя та поза, не є фіксованими [2, 3]. Враховуючи ці аспекти, ми пропонуємо новий набір даних і проводимо порівняльний аналіз двох різних CNN на його основі.

За роки було опубліковано деякі бази даних, які включають об’єкти з різними позами, тобто знімки з різних точок зору. Наприклад, база даних технології розпізнавання обличчя (FERET) [3] включає 14,051 кольоровий зображень (512 × 768 пікселів) 1199 суб’єктів. Для 200 суб’єктів із тих, що складають базу даних, доступні 9 мугшотів, систематично знятих з різних точок зору (від -60° до +60°). Датасет доступний за запитом з відповідною угодою про розповсюдження.

Розширена база даних обличчя Єльського університету (Extended Yale Face Database B) [3] включає 16,128 відтінків сірого зображень (640 × 480 пікселів) 28 унікальних осіб, отриманих шляхом поєднання 9 різних поз (фронтальне обличчя, 5 зображень під кутом 12° та 3 зображення під кутом 24°) із 64 різними умовами освітлення. База даних є вільною для використання та відкритою для всіх.

База даних CAS-PEAL [4,6] містить 30,900 кольорових зображень (360 × 480 пікселів) 1040 унікальних осіб. Доступні обличчя з 21 різних точок зору, об’єднуючи 7 різних кутів на горизонтальній площині (від -67.5° до +67.5°, з кроком 22.5°) і 3 різних кути на вертикальній площині (від -30° до +30°, з кроком 30°). Для деяких підмножин суб’єктів доступні інші зображення з різними виразами обличчя, умовами освітлення та різноманітними аксесуарами. База даних доступна за запитом.

Набір даних Multi-PIE [4] містить 755,370 кольорових зображень (3072 × 2048 пікселів) 337 унікальних осіб, записаних в різних сесіях для включення змін пози, освітлення та виразів. Для кожної сесії було знято 13 зображень з кутом від -90° до +90° з кроком 15° на горизонтальній площині за допомогою різних камер на рівні голови. Додатково було знято два зображення під кутом ±30° на горизонтальній площині та вище рівня голови. Набір даних доступний за запитом.

База даних ідентифікації фото Національного інституту стандартів та технологій (MID) [5] включає 3228 відтінків сірого зображень (різних розмірів) 1573 осіб. У 1333 суб’єктів є як фронтальні, так і профільні фото, у 131 суб’єкта є два або більше фронтальних зображення, а у 89 суб’єктів є два або більше профільних зображень. База даних доступна за запитом.

Незважаючи на те, що бази даних FERET, Yale, MPI, KFDB, CAS-PEAL, Multi-PIE та MID включають фото з різних точок зору, вони не містять жодного кадру або відео суб’єктів з відеокamer для аналізу впливу використання різних підмножин зображень з різних кутів на результативність розпізнавання обличчя в сценаріях відеоспостереження.

**Метою роботи є:** покращення існуючого підходу у розпізнаванні обличчя за зображенням під довільним кутом, навчаючи модель знітками із бази FRMDB, а саме кадрами взятих sz камер відеонагляду.

### Виклад основного матеріалу

З урахуванням потреби в базах даних обличчя для оцінки можливості розпізнавання обличчя на зображеннях з різних точок зору, ми пропонуємо новий набір даних, який включає 28 різних фото та 5 відео з камер відеоспостереження для кожного об’єкта. Такий набір даних буде корисним для оцінки впливу використання додаткових поз, крім фронтального та правого профілю, які зазвичай доступні в базах даних правоохоронних органів. Для встановлення початкового показника для запропонованого набору даних ми тестували дві різні глибокі нейронні мережі, а саме VGG16 і ResNet50, натреновані на розпізнавання обличчя на великих базах даних обличчя VGGFace [8] та VGGFace2.

База даних з розпізнавання обличчя на зображенні (FRMDB) включає 39 унікальних осіб, з яких 17 жінок і 22 чоловіки. Середній вік суб’єктів складає 24,6 років, наймолодша особа має 19 років, а найстарша - 52 роки (стандартне відхилення 7,8). Для кожного об’єкта набір даних включає:

- Загальну кількість 28 фото, тобто 28 кольорових зображень, знятих з різних точок зору з суб’єктом, який позує під час зйомки.

- Загальну кількість 5 відео з камер відеоспостереження, знятих з 5 точок зору. Крім того, доступне

відео-мозаїка, яка включає всі 5 відео одночасно.

На рисунку 1 представлено 28 фото суб'єкта "031" у базі даних (кожен ідентифікатор - це трицифровий код для збереження анонімності). Кожне фото - це зображення JPEG розміром  $972 \times 544$  пікселі, зроблені із 7 кутів на горизонтальній площині та 4 кутів на вертикальній площині.

Зокрема, на горизонтальній площині знімки були зроблені від  $-135^\circ$  до  $+135^\circ$  з кроком  $45^\circ$  (при цьому  $0^\circ$  - це ззаду об'єкта). На вертикальній площині знімки були зроблені від  $-30^\circ$  до  $+60^\circ$  (при цьому  $0^\circ$  - це камера на рівні очей суб'єкта) з кроком  $30^\circ$ . У цьому відношенні на рисунку 2 показано різні точки зору на горизонтальній та вертикальній площинах, використані для отримання зображень.

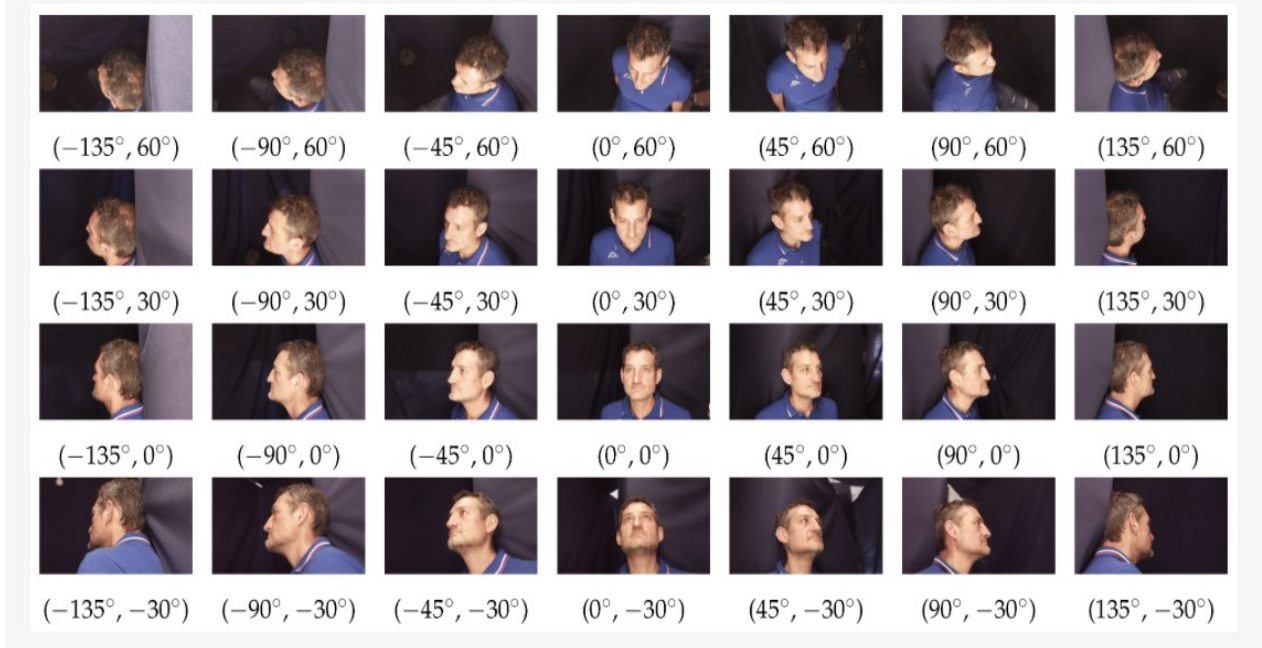


Рис. 1. Суб'єкт 031 із бази даних

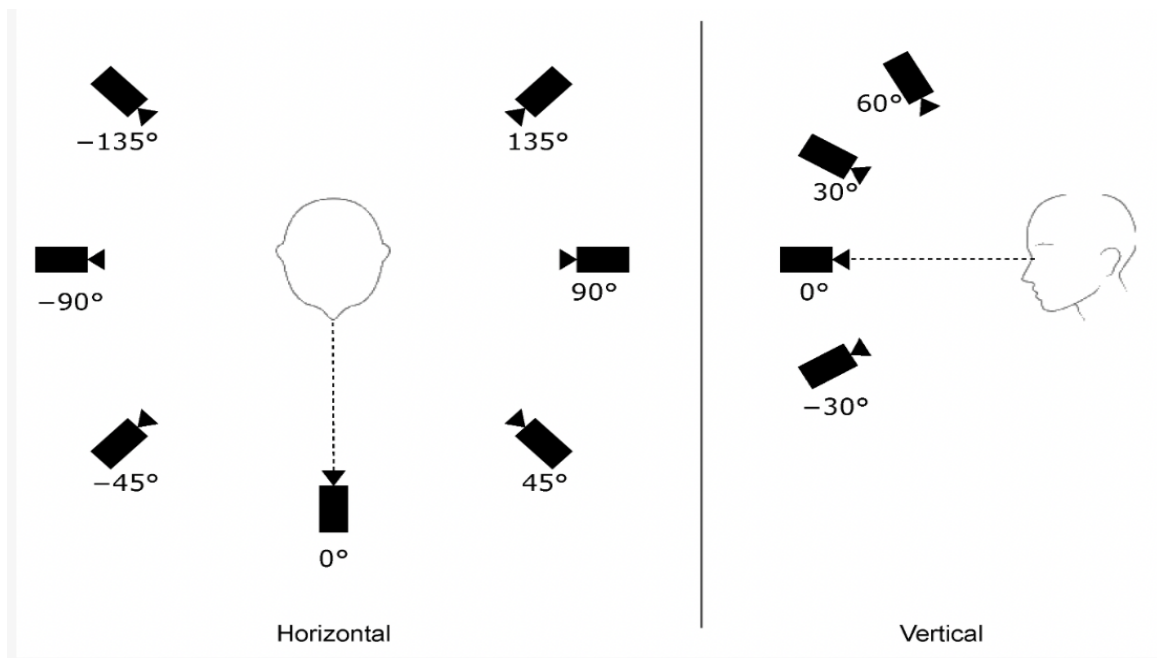


Рис. 2. Різні кути огляду на горизонтальній та вертикальній площині

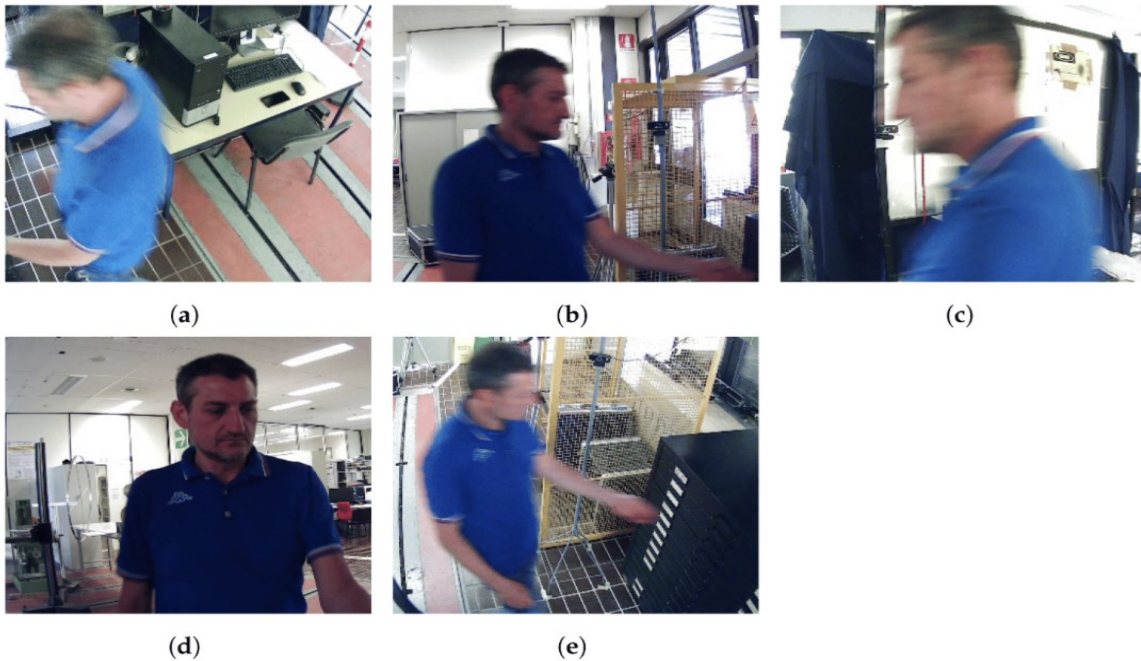


Рис. 3. Кадри з камер відеонагляду

Рисунок 3 містить кадри для кожного з 5 відеозаписів камер відеонагляду, які належать суб'єкту «031» у базі даних. Відео кодуються за допомогою кодека H.264 (контейнерний формат Matroska — mkv) і записуються зі швидкістю 60 кадрів на секунду. Розмір кадру —  $352 \times 288$  пікселів (розмір мозаїки разом із усіма 5 роликками —  $1280 \times 720$  пікселів). Середня тривалість роликів становить 18,5 с (мінімальна 15 с, максимальна 29 с, стандартне відхилення 2,9 с). Щоб записати відео з камер спостереження, кожного випробуваного попросили підійти до комода, відкрити ящик, дістати документ, підписати документ і повернутися до початкової точки. Під час виконання таких завдань 5 камер, розміщених у 5 різних точках, фіксували об'єкт. Одночасно було знято по 5 відеороликів кожного предмета. Незважаючи на те, що всі відеозаписи були зняті в одній кімнаті з постійним освітленням, фон залежить від точки зору кожної камери, як показано на рисунку 3.

Для експериментів, представлених у цій статті, ми вручну обрали один кадр для кожного відео та обрізали обличчя, щоб перевірити ефективність розпізнавання таких кадрів за допомогою різних наборів фотографій. На додаток до описаних фотографій і відео з камер спостереження, FRMDB містить додаткове фронтальне зображення ( $1920 \times 1080$  пікселів, JPEG) для кожного об'єкта, зроблене з різним освітленням та камерою, розташованою перед об'єктом.

Використовуючи запропонований набір даних та базу даних SCFace, ми тестували здатність розпізнавання двох різних CNN, а саме VGG16 та ResNet50, з використанням різних датасетів. CNN використовують вектор ознак для кожного обличчя, і ці вектори порівнюються за допомогою відстані чи міри подібності, таких як евклідова відстань чи косинусна подібність. В обох мережах, на вхід ми отримуємо зображення обличчя розміром  $224 \times 224$ , а вектор ознак обчислюється через Global Average Pooling на виході останнього згорткового блоку мережі. VGG16 має вектор ознак розміром 512 елементів, ResNet50 - 2048 елементів.

Навчання мереж виконано так, як описано в [9] для VGG16 і в [11] для ResNet50. VGG16 тренувалась з нуля на VGGFace з використанням triplet loss та SGD[10], з партіями розміром 64 та початковою швидкістю навчання 0,01, зменшеною тричі на порядок 10 при зупинці збільшення точності на валідаційному наборі. ResNet50 тренувалась з нуля на VGGFace2 з використанням softmax loss та SGD, з партіями розміром 256 та початковою швидкістю 0,1, зменшеною двічі на порядок 10 при зупинці зменшення помилки. Замість повторного тренування ми використали оригінальні ваги (доступні за посиланнями на VGG16 і ResNet50) за допомогою Keras conversion[11, 12] з оригінальних Caffe моделей.

Ми тестували здатність розпізнавання VGG16 та ResNet50, навчених на VGGFace і VGGFace2, на зображеннях бази даних SCFace і запропонованого набору даних. Ми визначили різні набори фото як посилання для розпізнавання обличчя на знімках з камер відеоспостереження. База даних SCFace містить 9 фото для 130 унікальних суб'єктів, а також 21 додаткове зображення обличчя для кожного унікального суб'єкта. Ми використовуємо її для розуміння, як використання зображень з різних кутів може вплинути на розпізнавання обличчя. Для цього 9 фото для кожного унікального суб'єкта систематично отримуються з різних кутів на горизонтальній площині, від  $-90^\circ$  до  $90^\circ$ , з кроком  $22,5^\circ$ .

Таблиця 1 містить різні набори фото. Кожен набір описується кутами ( $h$ ,  $v$ ), де  $h$  - кут на горизонтальній площині, а  $v$  - кут на вертикальній площині. Для SCFace  $v$  завжди  $0^\circ$ .

## Опис наборів фото

Назва	Фото (SCFace)	Фото (FRMDB)
"Test F"	(0°, 0°)	(0°, 0°)
"Test F-L1-R1"	(0°, 0°), (-22.5°, 0°), (22.5°, 0°)	(0°, 0°), (-45°, 0°), (45°, 0°)
"Test 1"	(0°, 0°), (90°, 0°)	(0°, 0°), (90°, 0°)
"Test 2"	(0°, 0°), (90°, 0°), (-90°, 0°)	(0°, 0°), (90°, 0°), (-90°, 0°)
"Test 3"	(0°, 0°), (90°, 0°), (-90°, 0°), (77.5°, 0°), (-77.5°, 0°)	(0°, 0°), (90°, 0°), (-90°, 0°), (45°, 0°), (45°, 0°)
"Test 4"	(0°, 0°), (90°, 0°), (-90°, 0°), (77.5°, 0°), (-77.5°, 0°), (45°, 0°), (-45°, 0°)	(0°, 0°), (135°, 0°), (-135°, 0°), (90°, 0°), (-90°, 0°), (45°, 0°), (45°, 0°)
"Test 5"	(0°, 0°), (90°, 0°), (-90°, 0°), (77.5°, 0°), (-77.5°, 0°), (45°, 0°), (-45°, 0°), (-22.5°, 0°), (22.5°, 0°)	(0°, 0°), (135°, 0°), (-135°, 0°), (90°, 0°), (-90°, 0°), (45°, 0°), (45°, 0°), (0°, 30°), (135°, 30°), (-135°, 30°), (90°, 30°), (-90°, 30°), (45°, 30°), (45°, 30°)
"Test 6"		(0°, 0°), (135°, 0°), (-135°, 0°), (90°, 0°), (-90°, 0°), (45°, 0°), (45°, 0°), (0°, 30°), (135°, 30°), (-135°, 30°), (90°, 30°), (-90°, 30°), (45°, 30°), (45°, 30°), (0°, 60°), (135°, 60°), (-135°, 60°), (90°, 60°), (-90°, 60°), (45°, 60°), (45°, 60°), (0°, -30°), (135°, -30°), (-135°, -30°)

"Test F": Фронтальне зображення (0°, 0°) для обох баз даних.

"Test F-L1-R1": Фронтальне зображення, лівий кут (для SCFace: -22.5°, 0°; для FRMDB: -45°, 0°) та правий кут (SCFace: 22.5°, 0°; FRMDB: 45°, 0°).

"Test 1": Фронтальне та правий профіль (90°, 0°) для обох баз даних.

"Test 2": Фронтальне, правий профіль та лівий профіль (-90°, 0°).

"Test 3": "Test 2" зображення на один крок ближче до фронтального.

"Test 4": "Test 3" зображення при (45°, 0°) і (-45°, 0°) для SCFace, та (135°, 0°) і (-135°, 0°) для FRMDB.

"Test 5": Всі 9 фото для SCFace та "Test 4" плюс всі фото з кутом 30° на вертикальній площині для FRMDB.

"Test 6": Всі 28 фото для FRMDB.

Щодо зображень обличчя для SCFace використовуємо знімки з кольорових камер на відстані 1 м від суб'єкта, виключаючи трьох суб'єктів з прихованим обличчям. Для FRMDB використовуємо вручну вирізані обличчя з відео. Загалом є 210 зображень для розпізнавання в обох базах даних.

### Аналіз ефективності запропонованого методу

Результати на базі SCFace, отримані за допомогою ResNet50 та VGG16, зображені на рисунку 5, який включає точність розпізнавання на зображеннях п'яти відеокамер, знятих на відстані 1 м від кожного унікального об'єкта. VGG16 показав гіршу точність, ніж ResNet50 в кожному рейтингу, незалежно від того, чи розглядали топові знімки або топові ідентифікатори. З ResNet50 правильний об'єкт належить до топ-10 найближчих ідентифікаторів або знімків на 99% зображень від відеокамер безпеки для всіх доступних підмножин відомих знімків (рисунок 5h). Зокрема, при розгляді об'єктів у топ-3 ідентифікаторах розпізнавання обличчя стає ефективним (точність становить понад 98% в усіх тестах, крім "Test 1" та "Test 2") при використанні ResNet50 (рисунок 5d). У топ-3 ідентифікаторах точність досягає мінімуму 97% в підмножині, що складається лише зі спереду і праворуч профільованих знімків, тобто "Test 1".

Отже, отримана точність вказує, що використання більшої кількості зображень з різних точок зору ймовірно не є чинником поліпшення результатів в розпізнаванні обличчя.

У порівнянні з VGG16, ResNet50 з використанням бази даних FRMDB набирає кращі бали в усіх рейтингах "Топ" навіть на запропонованому наборі даних, проте точність значно нижча, ніж на SCFace для обох CNN. Цей результат вказує на те, що FRMDB містить відмінні особливості. Як показано на рисунку 3, кадри відеокамер мають різні перспективи (замість того, щоб містити тільки фронтальні обличчя, як у SCFace), що є головною особливістю. Крім того, відео мають низьку роздільність (352 × 288 пікселів), емулюючи камери низької якості громадського безпеки, які можуть включати дуже мале зображення (наприклад, 85 × 85 пікселів). Таким чином, запропонований набір даних здається кращим відображенням ситуацій, які виникають в реальному житті при розпізнаванні обличчя на відеокамерах.



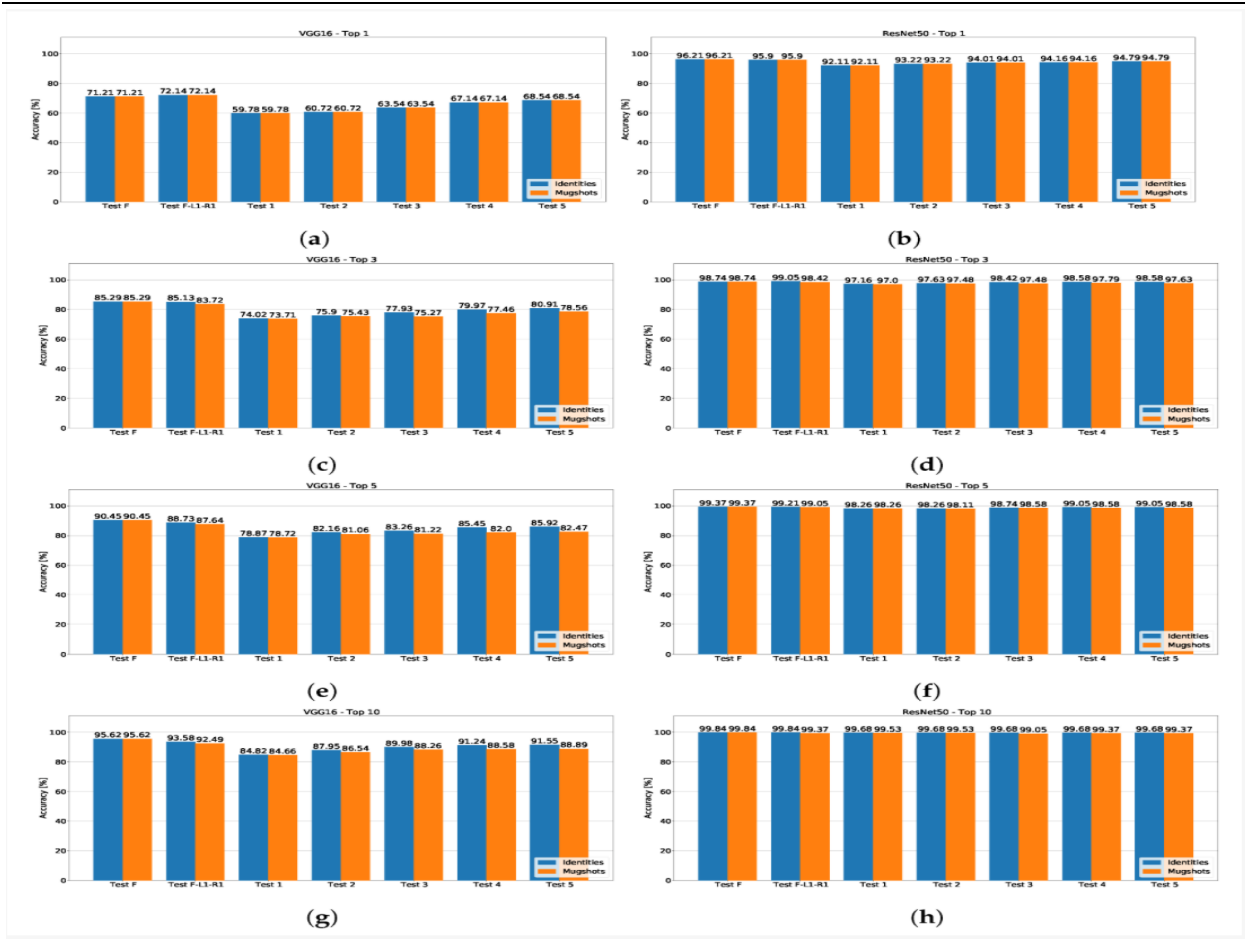


Рис. 4. Вимірювання точності SCFace для ResNet50 і VGG16

На відміну від бази даних SCFace, підмножина, що складається лише зі спереду профільованого знімка ("Test F"), ніколи не досягає найкращої точності з ResNet50. Замість цього підмножина, що складається зі спереду профільованого знімка, знімка при (-45°, 0°) і знімка при (45°, 0°), тобто "Test F-L1-R1", досягає найкращих результатів у всіх рейтингах "Top" (рисунки 5b, d, f, h). Наприклад, правильна особа знаходиться в топ-10 (рисунки 5h) найближчих ідентифікаторів для 74,87% кадрів відеокерам безпеки, використовуючи зображення з підмножини "Test F-L1-R1" як посилання. Такий відсоток зменшується до 71,28%, використовуючи лише зображення спереду як посилання. Навіть з VGG16 (рисунки 5a, c, e, g) не спостерігається чіткого переважання підмножини, що складається лише зі спереду профільованого знімка, на відміну від бази даних SCFace. Наприклад, з підмножиною "TestF-L1-R1" правильний об'єкт знаходиться в топ-3 (рисунки 5c) ідентифікаторів та знімків для 44,62% зображень відеокерам безпеки, тоді як зі знімком лише спереду цей відсоток зменшується до 43,08%.

### Висновки

Загалом результати, отримані використовуючи вибірки фото з більшою кількістю зображень краді, ніж використання лише фронтального зображення чи фронтального зображення та правого профілю. Такі результати і нижча точність порівняно з базою даних SCFace підтверджують запропонований набір даних, як відповідний для вивчення ефекту використання зображень з різних точок зору для розпізнавання обличчя.

Ми представили FRMDB, тобто набір даних, який включає 28 фотографій мугшотів та 5 відео з відеокерам безпеки 39 унікальних об'єктів. Запропонований набір даних призначений для оцінки технік розпізнавання обличчя для ідентифікації суб'єктів на відео за допомогою доступних фото.

На запропонованому наборі даних, а також на базі SCFace, ми випробували дві вже встановлені згорткові нейронні мережі, ResNet50 і VGG16, попередньо натреновані на наборах даних VGGFace та VGGFace2 для вилучення обличчя. Такі експерименти дозволяють зробити наступні висновки:

Запропонований набір даних підходить для оцінки технік розпізнавання обличчя для ідентифікації суб'єктів на фото, враховуючи різні точки зору. Нижча точність порівняно з базою даних SCFace підкреслила особливість набору даних. Крім того, вибірка фото, складена лише з фронтального обличчя, не показала тих самих переваг, що й на SCFace, оскільки FRMDB включає відео з різних кутів огляду.

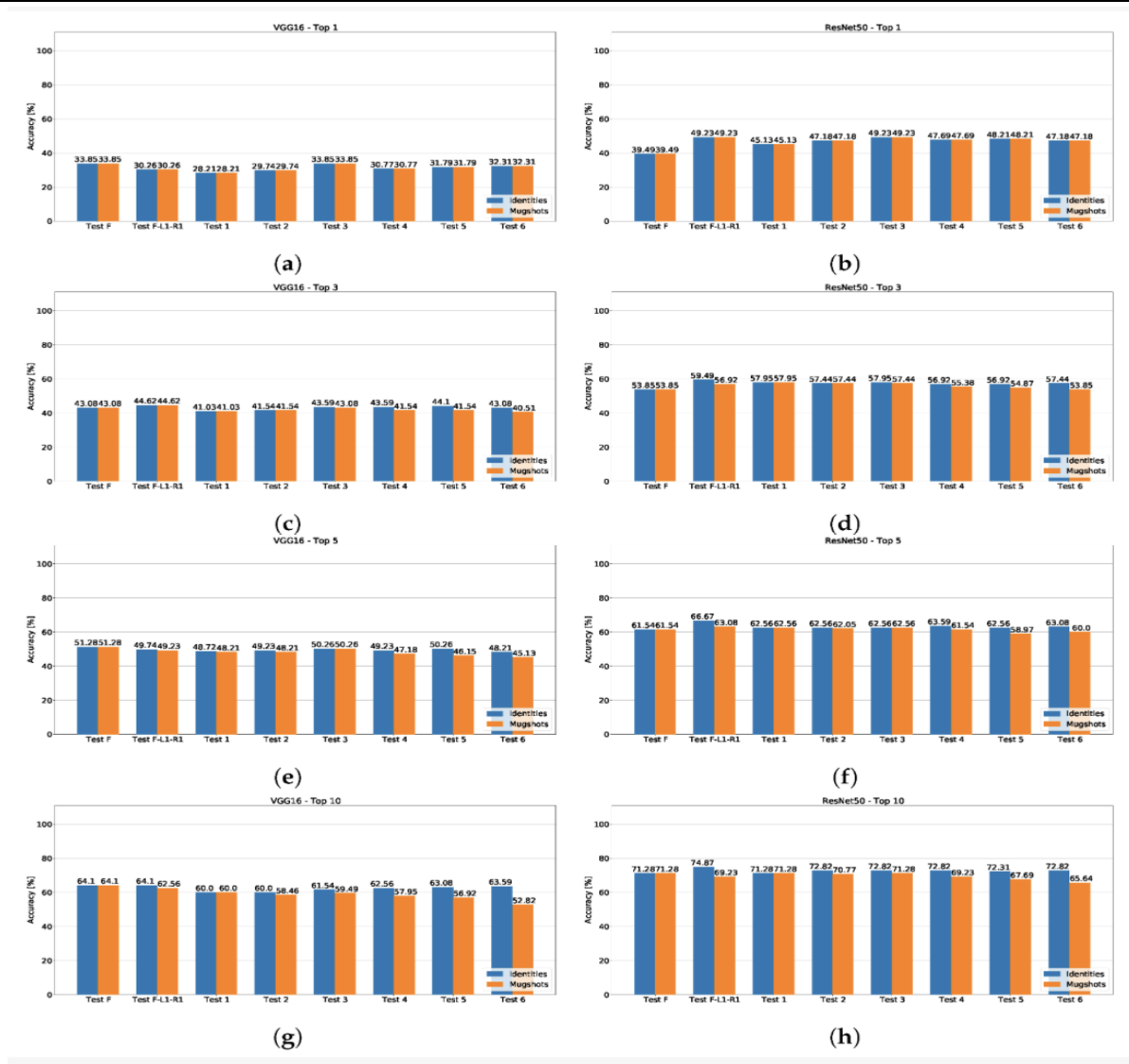


Рис. 5. Вимірювання точності FRMDB для ResNet50 і VGG16

З обома наборами даних традиційні фотографії з відеонагляду, тобто фронтальне зображення та правий профіль, виявилися менш ефективними, ніж інші вибірки фото. Зокрема, на запропонованому FRMDB вибірка, складена з фронтального зображення та зображень при  $\pm 45^\circ$  на горизонтальній площині, досягла найкращої точності в більшості тестів.

Для отримання результатів щодо ідеальної кількості фото потрібні додаткові дослідження. Для отримання більш загальних результатів необхідно випробувати більше технік, включаючи ті, які використовуються для розпізнавання обличчя при зміні пози, а також оцінки позиції, з метою вибору фото з позою, яка найбільше відповідає кадру камери спостереження.

Майбутні роботи з запропонованим набором даних вирішать описані обмеження, додавши більше суб'єктів, відео вищого розширення, щоб мати більше варіацій і, отже, створити базу даних, яка ще більше відображає відеоспостереження в реальному житті.

## References

1. LeCun, Y.; Bengio, Y.; Hinton, G. Deep learning. Nature 2015, 521, 436–444. [Електронний адрес]: <https://www.nature.com/articles/nature14539>
2. Raaijmakers, S. Artificial Intelligence for Law Enforcement: Challenges and Opportunities. IEEE Secur. Priv. 2019, 17, 74–77. [Електронний адрес]: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8821442/>
3. Guo, G.; Zhang, N. A survey on deep learning based face recognition. Comput. Vis. Image Underst. 2019, 189, 102805. [Електронний адрес]: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1077314219301183>
4. Wang, M.; Deng, W. Deep face recognition: A survey. Neurocomputing 2021, 429, 215–244. [Електронний адрес]: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925231220316945>
5. Vrskova, R.; Hudec, R.; Kamencay, P.; Sykora, P. A New Approach for Abnormal Human Activities Recognition Based on ConvLSTM Architecture. Sensors 2022, 22, 2946. [Електронний адрес]:

<https://www.mdpi.com/1424-8220/22/8/2946>

6. Bhatti, M.T.; Khan, M.G.; Aslam, M.; Fiaz, M.J. Weapon Detection in Real-Time CCTV Videos Using Deep Learning. *IEEE Access* 2021, 9, 34366–34382. [Электронный адрес]: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9353483>

7. Berardini, D.; Galdelli, A.; Mancini, A.; Zingaretti, P. Benchmarking of Dual-Step Neural Networks for Detection of Dangerous Weapons on Edge Devices. In Proceedings of the 2022 18th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA), Taipei, Taiwan, 29–31 August 2022; pp. 1–6. [Электронный адрес]: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10004469>

8. Rossi, L.; Paolanti, M.; Pierdicca, R.; Frontoni, E. Human trajectory prediction and generation using LSTM models and GANs. *Pattern Recognit.* 2021, 120, 108136. [Электронный адрес]: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S003132032100323X>

9. Gomez-Barrero, M.; Drozdowski, P.; Rathgeb, C.; Patino, J.; Todisco, M.; Nautsch, A.; Damer, N.; Priesnitz, J.; Evans, N.; Busch, C. Biometrics in the Era of COVID-19: Challenges and Opportunities. *IEEE Trans. Technol. Soc.* 2022, 3, 307–322. [Электронный адрес]: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9873965/>

10. Guo, G.; Zhang, N. A survey on deep learning based face recognition. *Comput. Vis. Image Underst.* 2019, 189, 102805. [Электронный адрес]: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1077314219301183>

11. Ammour, B.; Boubchir, L.; Bouden, T.; Ramdani, M. Face-Iris Multimodal Biometric Identification System. *Electronics* 2020, 9, 85. [Электронный адрес]: <https://www.mdpi.com/2079-9292/9/1/85>

12. Forti, M. AI-driven migration management procedures: Fundamental rights issues and regulatory answers. *Biolaw J.* 2021, 2021, 433–451. [Электронный адрес]: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3877083](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3877083)