УДК 004.056.55

Садченко А.В., Кушніренко О.А.

Національний університет «Одеська політехніка»

ПЕРЕВІРКА НАДІЙНОСТІ КРИТЕРІЇВ ПОРІВНЯННЯ БІОМЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Вступ. У сучасних інтелектуальних системах безпеки, біометричної автентифікації [1] та моніторингу дедалі ширше використовуються технології розпізнавання обличь на базі моделей штучного інтелекту. Проте ефективність і точність таких систем значною мірою залежать від стабільності умов зйомки. Одним із ключових факторів, що впливають на якість ідентифікації, є зміна експозиції зображення – коливання рівня освітленості, контрасту та яскравості, які можуть змінювати візуальні особливості обличчя.

Нестабільна експозиція спричиняє появу шумів, втрату деталей у темних або пересвічених ділянках, що ускладнює процес виділення характерних ознак і порівняння біометричних шаблонів. Унаслідок цього класичні алгоритми розпізнавання, які базуються на інтенсивності пікселів, демонструють зниження точності. Отже, виникає необхідність у розробці алгоритмів, стійких до змін освітлення, здатних адаптивно обробляти зображення та забезпечувати надійну ідентифікацію навіть за несприятливих умов. Додатково на точність розпізнавання впливають зашумлення зображення та його афінні перетворення, зокрема обертання відносно центру мас.

Мета: Дослідження та експериментальна перевірка надійності критеріїв порівняння біометричних зображень, що використовуються в системах розпізнавання особи, з урахуванням впливу зовнішніх факторів – зміни освітлення, зашумлення та афінних перетворень. Дослідження спрямоване на визначення найбільш стійких показників подібності, здатних забезпечити високу точність ідентифікації за різних умов зйомки [2].

Основна частина

Основні критерії, що застосовуються у системах аналізу зображень наступні: коефіцієнт кореляції [3]; середньоквадратична похибка (Mean Squared Error, *MSE*) [3]; пікове відношення сигнал / шум [3]; структурна подібність (Structural Similarity Index, *SSIM*) [4]; евклідова відстань (Euclidean Distance) [3]; косинусна подібність (Cosine Similarity) [4]. Алгоритм тестування якості критеріїв оцінювання відмінності між зображеннями, що реалізований в середовищі MATLAB має наступний вигляд.

Крок 1. Зчитування двох зображень *A* та *B* із файлів.

Крок 2. Якщо розміри різняться то виконуємо масштабування до зображення з найменшим розміром.

Крок 3. Якщо зображення кольорові то робимо переведення їх у відтінки сірого.

Крок 4. Перетворення двовимірних масивів у формат *double* для обчислень, де *double* – формат представлення числа з плаваючою комою, що займає в пам'яті 64 біти, або 8 байт.

Крок 5. Обчислюємо коефіцієнт кореляції як: $r = \mathrm{corr2}\,(A, B)$

Крок 6. Обчислюємо середньоквадратичну похибку:

$$MSE = \text{mean}((\text{A}(:) - \text{B}(:)).\text{^}2$$

Крок 7. Обчислюємо пікове відношення сигнал / шум:

$$PSNR = 10 * log10(L\text{^}2 / MSE), L = 255$$

Крок 8. Обчислюємо структурну подібність:

$$SSIM_{\text{val}} = \text{ssim}\left(\text{uint8}(A), \text{uint8}(B)\right)$$

Крок 9. Обчислюємо евклідову відстань:

$$Euc = \text{sqrt}(\text{sum}((A(:) - B(:)).\text{^}2))$$

Крок 10. Обчислюємо косинусну подібність:

$$CosSim = \text{dot}(A(:), B(:)) / (\text{norm}(A(:)) * \text{norm}(B(:)))$$

Крок 11. Вивід результатів на екран ПК.

Перевіримо стійкість критеріїв порівняння зображень в умовах зміни яскравості (рисунок 1 а)), під впливом імпульсного шуму із дисперсією σ = 0.2 (рисунок 1 б)), поворотом в процесі зйомки (рисунок 1 в)), а також одночасного зашумлення, поворот в процесі зйомки та зміні яскравості (рисунок 1 г)).

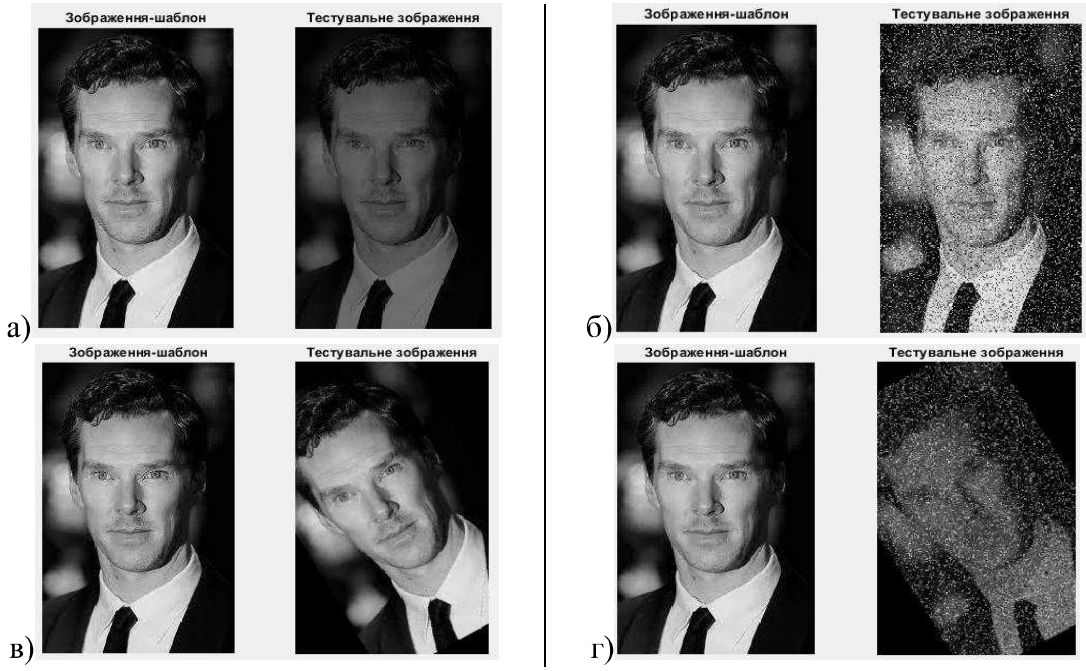

Рисунок 1 Тестове зображення: а) при недотримці експозиції (50% яскравості); б) при впливі імпульсного шуму із дисперсією $\sigma = 0.2$; в) при умові повороту на кут 30°; г) при умові одночасного повороту на кут 30°, впливу імпульсного шуму із дисперсією $\sigma = 0.2$ та зміні яскравості на 50%

Результати розрахунків коефіцієнтів подібності щодо всіх тестових випадків для зображення розміром 512 × 512 пікселів приведені в таблиці 1

Таблиця 1 – Отримані експериментальні дані

Тестовий випадок	Коефіцієнт кореляції, *r*	Середньо-квадратична похибка, *MSE*	Пікове відношення сигнал/шум *PSNR, дб*	Індекс структурної подібності, *SSIM*	Евклідова відстань, *D*	Косинусна подібність, *CosSim*
Зміна яскравості	1	2999	13,36	0,74	12293	1

Вплив імпульсного шуму	0,8	2339	14,4	0,51	10856	0,91
Поворот зображення (30^0)	0,39	7186	9,5	0,2	19026	0,7
Зміна яскравості, вплив імпульсного шуму, поворот зображення	0,32	6433	10	0,05	18002	0,7

Висновок. У ході проведеного дослідження було здійснено аналіз та перевірку надійності різних критеріїв порівняння біометричних зображень, які застосовуються в системах розпізнавання обличчя. Реалізований у середовищі MATLAB алгоритм дозволив оцінити поведінку таких критеріїв, як коефіцієнт кореляції, середньоквадратична похибка (*MSE*), пікове відношення сигнал/шум (PSNR), індекс структурної подібності (*SSIM*), евклідова відстань та косинусна подібність, за різних умов зміни зображення.

Отримані результати показали, що:

– при зміні експозиції (зниженні яскравості) найбільш чутливими виявились *MSE*, *SSIM* та евклідова відстань, тоді як коефіцієнт кореляції та косинусна подібність демонстрували вищу стійкість;

– при впливі імпульсного шуму найбільш стабільними критеріями були коефіцієнт кореляції та косинусна подібність;

– при повороті зображення на заданий кут найменше спотворення результатів спостерігалося для коефіцієнта косинусної подібності;

– при поєднанні кількох впливів (зміна яскравості, шум, поворот) коефіцієнт косинусної подібності зберіг найвищу стійкість, тобто його значення залишалось найбільш наближеним до одиниці.

Таким чином, проведені експерименти підтвердили, що косинусна подібність є найнадійнішим критерієм для порівняння біометричних зображень за наявності комплексних зовнішніх впливів. Використання цього критерію доцільно на початкових етапах ідентифікації, тоді як для уточнення результатів можуть застосовуватись інші показники подібності – зокрема кореляційний або структурний. Це дозволяє підвищити точність і стійкість систем розпізнавання обличь до змін умов зйомки.

Перелік використаних джерел.

1. Biometric facial recognition – Enhancing user verification and authentication. [Електронний ресурс].- Режим доступу: https://www.fraud.com/post/biometric-facial-recognition.

2. Hrytsyk V. V. Modeling and synthethis of complex symmetrical images / V. V. Hrytsyk, K. M. Berezska, O. M. Berezsky // International journal of pattern recognition and artificial intelligence. – 2004. – V. 18, № 2. – P. 175–195.

3. Messer K. et al. Performance characterization of face recognition algorithms and their sensitivity to severe illumination changes – ICB. – 2006

4. EL Fadel N. Facial Recognition Algorithms: A Systematic Literature Review. Journal of Imaging. 2025; 11(2):58. https://doi.org/10.3390/jimaging11020058