



DOI 10.28925/2663-4023.2023.21.136148

УДК 004.934

Корченко Олександр Григорович

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри безпеки інформаційних технологій
Національний авіаційний університет, Київ, Україна
ORCID: 0000-0003-3376-0631
agkorchenko@gmail.com

Терейковський Олег Ігоревич

аспірант кафедри безпеки інформаційних технологій
Національний авіаційний університет, Київ, Україна
ORCID: 0000-0001-5045-0163
tereikovskiyio@gmail.com

АНАЛІЗ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЗАСОБІВ БІОМЕТРИЧНОЇ АУТЕНТИФІКАЦІЇ ЗА ЗОБРАЖЕННЯМ ОБЛИЧЧЯ ТА РАЙДУЖНОЇ ОБОЛОНКИ ОКА ПЕРСОНАЛУ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Анотація. Присвячено аналізу та оцінюванню систем біометричної аутентифікації персоналу об'єктів критичної інфраструктури. Показано, що широкі перспективи мають засоби на основі зображення обличчя та райдужної оболонки ока, що пояснюється апробованістю рішень у сфері аналізу зображення обличчя, доступністю і розповсюдженістю засобів відеореєстрації, які дозволяють із задовільною якістю одночасно з обличчям фіксувати й райдужну оболонку ока. Визначено, що одним з напрямків підвищення ефективності таких засобів є підвищення точності розпізнавання особи та стійкості до завад, що перекривають частину обличчя. Також показано, що додатковим напрямком підвищення ефективності засобів біометрії може бути розпізнавання поточного психоемоційного стану персоналу об'єктів критичної інфраструктури. Визначена необхідність оцінки ефективності засобів розпізнавання особи та емоцій за зображенням обличчя та райдужної оболонки ока. На основі аналізу літератури сформовано дві групи критеріїв ефективності: основні та додаткові. До основної групи віднесено критерії, що характеризують ефективність процесу розпізнавання, до додаткової – критерії, що відповідають особливостям технічної реалізації та сервісним можливостям засобів розпізнавання. Проведено оцінювання сучасних засобів розпізнавання особи та емоцій за зображенням обличчя та райдужної оболонки ока і визначено їх невідповідність низці критеріїв. Запропоновано співвіднести шляхи подальших досліджень з вирішенням завдання забезпечення виконання критеріїв, що пов'язані з можливістю розпізнавання емоцій та особи за частиною зображення обличчя, мімікою і частиною зображення райдужної оболонки ока, з технічною реалізацією експертних рішень. Показано можливість виконання означеного завдання за рахунок використання сучасних нейромережових технологій.

Ключові слова: безпека інформації, безпека об'єктів критичної інфраструктури, біометрична аутентифікація; розпізнавання особи; розпізнавання емоцій; зображення обличчя людини; райдужна оболонка ока; емоція; критерії ефективності; персонал об'єктів критичної інфраструктури.

ВСТУП

В теперішніх умовах значущим чинником є необхідність підвищення ефективності захисту інформації в інформаційних системах об'єктів критичної інфраструктури [10, 11]. Як відомо [1, 11], однією з найбільш важливих складових систем захисту інформації є підсистема, що відповідає за аутентифікацію персоналу об'єктів критичної

інфраструктури. Наразі в багатьох науково-практичних роботах [2, 4, 11] вказується на необхідність підвищення ефективності засобів аналізу біометричних параметрів, що на сьогодні де-факто є невід'ємною частиною систем аутентифікації персоналу об'єктів критичної інфраструктури. Слід зауважити, що значна частина таких засобів базуються на аналізі такого біометричного параметру, як обличчя людини. Це пояснюється апробованістю рішень у сфері аналізу зображення обличчя, а також широкою розповсюдженістю та доступністю засобів відеореєстрації (відеокамер). Відзначимо, що можливості сучасних відеокамер дозволяють із задовільною якістю одночасно з обличчям людини фіксувати й райдужну оболонку ока. Це вказує на можливість підвищення ефективності засобів біометрії за рахунок інтегрального аналізу зображення обличчя та райдужної оболонки ока персоналу об'єктів критичної інфраструктури. Підвищення ефективності можливо досягти за рахунок підвищення точності розпізнавання особи, підвищення стійкості до завад, що перекривають частину обличчя (маска, зачіска). Ще одним напрямком підвищення ефективності засобів біометрії може бути розпізнавання поточного психоемоційного стану персоналу об'єктів критичної інфраструктури, оскільки навіть легітимний працівник, що перебуває в неналежному психоемоційному стані, може незадовільно виконувати свої обов'язки. Слід зазначити, що в науково-практичній літературі проблематика розпізнавання особи та емоційного стану персоналу об'єктів критичної інфраструктури за зображенням обличчя та райдужної оболонки ока висвітлена не достатньо повно [1, 11]. Враховуючи загальновідому методологію розробки засобів захисту інформації, відповідною точкою відповідної розробки має бути побудова механізму оцінки ефективності засобів інтегрованого розпізнавання емоцій та особи людини, що використовуються для біометричної аутентифікації персоналу об'єктів критичної інфраструктури, що і визначає актуальність дослідження в даному напрямку.

Постановка проблеми. Вдосконалення систем біометричної аутентифікації за зображенням обличчя та райдужної оболонки ока.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В засобах захисту інформації апробованим є підхід співвіднесення критеріїв ефективності із:

- загальновідомими вимогами до таких засобів (по точності, обчислювальній складності, низькій ресурсоемності);
- процедурами, що впливають на підвищення точності (попередня обробка зображення, що дозволить підвищити точність; попередня обробка зображення для приведення/визначення розміру зображення).

В роботі [2] запропоновано перелік характеристик засобів розпізнавання емоційного стану людини за геометрією обличчя. У переліку характеристики представлені у трьох групах, що сформовані за особливостями розпізнавання, технічної реалізації та сервісних можливостей. У першій групі представлено 21 характеристику за особливостями розпізнавання, серед яких повнота розпізнавання базових емоцій, можливість розпізнавання складених емоцій, можливість аналізу динаміки емоцій, розпізнавання за фрагментом зображення обличчя, стійкість до зміни освітлення, точність розпізнавання, обчислювальна складність та ін. До групи особливостей технічної реалізації віднесено можливість інтеграції з системами управління базами даних, інтеграції з відеокамерами, можливість аналізу різних форматів зображень та відеопотоку. У третій групі представлені такі характеристики, як верифікація користувача, можливість перетворення двовимірного зображення у 3D-модель, визначення раси та статі людини, можливість інтеграції з системами розпізнавання емоцій, що використовують інші біометричні параметри. Авторами оцінено можливості

проаналізованих засобів розпізнавання емоцій за допомогою запропонованих характеристик. Також в [4] реалізовано вибір найбільш ефективного засобу обробки зображення обличчя, при цьому експертним шляхом визначено значущість та значення кожного із критеріїв ефективності такої обробки. Запропоновано значення кожного критерію ефективності засобу обробки оцінювати по двобальній дискретній шкалі. При цьому для d -го засобу обробки зображення значення v -го критерію дорівнює 1, якщо відповідна v -та вимога повністю забезпечується, і дорівнює 0, якщо не забезпечується. Для розрахунку ефективності засобу обробки зображення використано вираз:

$$E_d = \sum_{v=1}^V \alpha_v e_{d,v}, \quad (1)$$

де E_d – ефективність d -го засобу обробки зображення; V – кількість критеріїв ефективності; α_v – ваговий коефіцієнт v -го критерію ефективності; $e_{d,v}$ – значення v -го критерію ефективності для d -го засобу обробки зображення.

В [11] запропоновано процедуру адаптації нейромережових засобів розпізнавання райдужної оболонки ока, що використовуються в системах захисту інформації. Процедура передбачає оцінювання ефективності вказаних засобів з позицій виконання таких вимог, як мінімізація ресурсоємності та забезпечення достатньої точності розпізнавання.

Аналогічні підходи використані в роботах [7, 13], що присвячені розробці нейромережових засобів аналізу різноманітних біометричних параметрів. Хоча в розглянутих роботах наведено достатньо повний перелік критеріїв оцінки ефективності, однак специфіка задачі біометричної аутентифікації врахована в недостатній мірі.

Мета статті. Визначення множини критеріїв оцінки ефективності засобів, призначених для використання в системах біометричної аутентифікації для розпізнавання особи та емоцій на основі зображення обличчя людини та райдужної оболонки ока.

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Базуючись на результатах [2, 4], проведено оцінювання відомих засобів розпізнавання особи та емоцій на основі зображення обличчя людини та райдужної оболонки ока.

Стаття [1] присвячена вирішенню задачі виділення обличчя людини у відеопотоці для контролю за дотриманням співробітниками стану безпеки в процесі роботи та навчання. Задекларовано, що метою статті є дослідження доцільності використання технології MobileSSD для онлайн виділення у відеопотоці зображення обличчя людини та виявлення обмежень і недоліків використання вказаної технології. Для цього авторами статті було розроблено відповідну систему виділення та проведені експериментальні дослідження, спрямовані на визначення залежності ефективності даної системи виділення від наступних чинників: відстань від обличчя до камери; наявність на обличчі окулярів; наявність на обличчі сторонніх предметів, які заважають фіксації характерних точок обличчя; рівень освітлення; наявність перед камерою не тільки самої людини, а й її фотографії; поворот або нахил обличчя; тип пристрою, що забезпечує функціонування системи виділення обличчя. Наведені результати експериментів, в яких відображено залежність впевненості системи у результатах виділення при зміні означених факторів.

Так, наприклад, рис. 1 ілюструє експерименти, спрямовані на визначення впливу наявності на обличчі окулярів. Експериментально визначено, що поворот обличчя в більшості випадків унеможлиблює його виділення. Також показано, що при застосуванні технології MobileSSD в системі виділення обличчя, яка призначена для експлуатації в контурі моніторингу присутності людини на робочому місці, є сенс періодичної в часі перевірки зміни положення обличчя. Передбачається, що запропонована перевірка дозволить перевірити, що відеокамера фіксує саме обличчя людини, а не її фотографію. Слід зазначити, що в статті не достатньо детально описане поняття впевненості нейронної мережі в результатах виділення. Крім того, наведені результати не в повному обсязі дозволяють оцінити залежність точності (впевненості) виділення обличчя від величини впливу означених чинників, оскільки відхилень вихідного сигналу нейронної мережі від очікуваного значення не наведено. Водночас негативний результат виділення повернутого обличчя можливо пояснити з позицій недостатньої кількості відповідних навчальних прикладів.

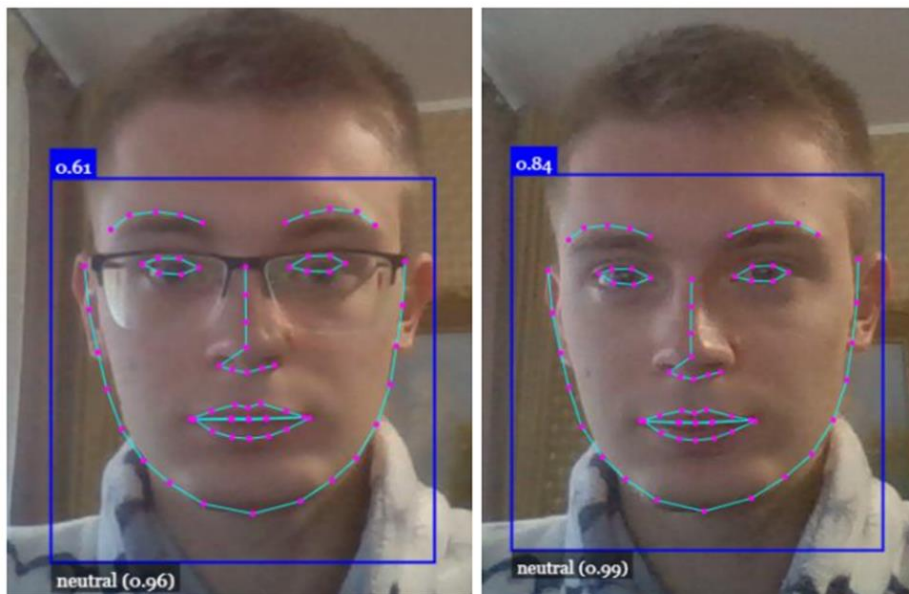


Рис. 1. Результат виділення обличчя у відеопотоці в залежності від наявності/відсутності окулярів

В роботі [3] розглянуто застосування методу машинного навчання для аналізу зображень відбитків пальців користувачів комп'ютерних систем в засобах біометричної ідентифікації. Особливістю методу є застосування розроблених авторами фільтрів, що базуються на вейвлет-перетвореннях на основі функції Ateb-Gabor. Показано, що використання розробленого вейвлету дозволяє зменшити складність обчислень Ateb-Gabor фільтра за рахунок спрощення обчислення функції та зменшення часу фільтрації. Доводиться, що застосування фільтра Ateb-Gabor дозволяє змінювати інтенсивність зображення та забезпечує зміну певних діапазонів. На думку авторів, це дозволяє отримання більш контрастного та чіткого відображення біометричних параметрів, асоційованих з зображеннями. Для прикладу, авторами використано даний підхід для підвищення контрастності мінуцій на зображенні відбитків пальців. Також показана можливість більш гнучкого керування фільтрацією, що досягається шляхом зміни

параметрів Ateb-функції. Фільтрація за допомогою двовимірного фільтру Ateb-Gabor виконується за формулою:

$$ATEB - G(x, y, \lambda, \theta, \psi, \sigma, \xi) = e^{-\frac{x^2 + \psi xy^2}{2\sigma^2} - ca \left(\frac{2\pi x}{\lambda} + \xi \right)}, \quad (2)$$

де λ – довжина хвилі множника-косинуса; θ – орієнтація нормалі паралельних смуг; ξ – зсув фаз; ψ – коефіцієнт стиснення; σ – стандартне відхилення Гаусового ядра;

Показано, що змінюючи параметри Ateb-функції можливо розширити кількість варіантів фільтрації. Запропоновані в статті рішення можуть бути використані при обробці зображення обличчя людини та райдужної оболонки ока. Також можна зробити висновок про те, що ефективність системи розпізнавання в значній мірі залежить від ефективності попередньої обробки зображень райдужної оболонки ока та зображення обличчя.

В роботі [7] розглянута задача розпізнавання обличчя, очей і райдужної оболонки ока людини в режимі реального часу з використанням технологій комп'ютерного зору. Для ідентифікації областей обличчя та очей авторами запропоновано використовувати підхід Vlob Analysis, що передбачає аналіз зображення, а сегментація реалізується шляхом ізоляції пікселів у фоновому режимі з використанням порогової функції. Для виділення райдужної оболонки ока авторами використано підхід Circle Hough. Автори стверджують, що використання запропонованих ними рішень дозволило досягнути високих результатів навіть у випадку аналізу зображень низької якості. Дискусійним аспектом запропонованого в статті підходу є процедура перетворення зображення із формату YCbCr у формат RGB. Результат аналізу даної статті вказує на важливість процедури сегментації піддослідних зображень обличчя, очей та райдужної оболонки ока людини.

Стаття [13] присвячена розпізнаванню емоцій людини за її обличчям з використанням методів глибокого навчання. Авторами запропоновано систему, що складається в блоків передобробки вхідних зображень, виділення обличчя, очей та рота на зображенні, навчання, розпізнавання і візуалізації процесу навчання нейромережевої моделі. Передобробка вхідного зображення передбачає зміну приведення зображення до наперед визначеного розміру, конвертацію кольорового зображення у відтінки сірого. Блок виділення реалізує попередньо навчений каскадний класифікатор Хаара для виділення обличчя, очей та рота на зображенні. Здекларовано використання згорткової нейронної мережі типу LeNet для розпізнавання 7 емоцій: щастя, подив, огида, смуток, гнів, страх та нейтральність. Автори вказують, що мережа навчалась за методом «з вчителем» і «з підкріпленням». Для навчання використано базу даних FER-2013, що складається із 28709 маркованих зображень у навчальній вибірці та 3589 у тестовій вибірці. Здекларована точність розпізнавання на тестових даних близько 0,62. Передбачено, що результат розпізнавання емоцій має ймовірнісний зміст, відповідно, сума вихідних сигналів нейронної мережі дорівнює 1. Аналіз цієї статті вказує на важливість процедур обробки зображення, що забезпечують виділення контуру обличчя людини, виділення окремих об'єктів на зображенні обличчя, приведення зображення до наперед визначеного розміру.

В статтях [6, 8] показано, що маски для обличчя зменшують точність розпізнавання емоцій на обличчі. В роботі [8] використовується база даних Radboud Faces, в якій представлені зображення обличчя в масках професійних акторів (6 чоловіків та 6 жінок), що виражають такі емоції, як щастя, смуток, гнів, здивування, страх, огиду та нейтральну



емоцію. Були проведені експерименти з метою визначення того, наскільки маски на обличчі погіршують розпізнавання різних виразів обличчя. В ході експериментів учасники розпізнавали виражену на обличчі емоцію. При цьому розпізнавання було приблизно на 20% гіршим у випадку наявності маски. Наявність маски погіршує розпізнавання таких емоцій, як огида, страх, здивування, смуток та щастя. Учасники експериментів часто неправильно тлумачили огиду як гнів, а страх - як здивування. Також авторами з'ясовано підвищення точності розпізнавання емоцій за обличчям людини в масці у випадку, якщо експерти звикли спілкуватись з людьми в масках на обличчі. Це вказує на можливість врахування достатньо точного розпізнавання емоцій за зображенням обличчя в масці при відповідній модернізації нейромережових технологій розпізнавання, що певною мірою відображають можливості розпізнавання емоцій людиною-експертом. В роботі [6] аналізується вплив масок для обличчя та сонцезахисних окулярів на ефективність ідентифікації особи та розпізнавання емоцій експертами та пересічними громадянами. Різні результати спостерігалися при ідентифікації та розпізнаванні емоцій у знайомих та незнайомих осіб. Результати експериментів свідчать, що оклюзія очей (при наявності сонцезахисних окулярів) не знижує точності розпізнавання людиною, тоді як оклюзія носа та рота (при наявності маски) знижує точність. Також автори стверджують про те, що область очей є найбільш діагностичною областю обличчя при ідентифікації, при цьому посиляючись на [9, 12].

В роботі [5] розглянуто задачу розпізнавання емоцій, що властиві китайській нації та білій расі. В експериментах приймали участь 89 представників китайської нації, які спостерігали за виразами обличчя представників азійської та білої раси з метою розпізнавання їх емоцій. Наведені результати експериментів показали, що піддослідні краще розпізнавали сумні вирази обличчя азіатів, ніж представників білої раси. З іншого боку, вони краще розпізнавали нейтральні, щасливі, налякані і огидні вирази обличчя представників білої раси. В ході експерименту велось також спостереження за розміром зіниць піддослідних. Встановлено, що піддослідні особи довше спостерігали за очима азіатів, ніж за очима представників білої раси. Розміри зіниць піддослідних осіб були меншими, що вказує на їх когнітивне навантаження та збудження. Аналіз роботи вказує на те, що точність та швидкість розпізнавання людиною емоцій за виразом обличчя не обов'язково залежить від того, чи особа розпізнає емоції саме представника своєї нації/раси.

Система FaceReader від компанії Noldus Information Technology [<https://www.noldus.com/facereader>] призначена для отримання точних та надійних даних про емоції людини по зображенню її обличчя. Для навчання нейронної мережі використано понад 20 000 зображень, які були розмічені вручну. Визначаються 7 базових емоцій і нейтральний стан. Процес розпізнавання емоцій розділено на три фази. Перша фаза – визначення положення обличчя на зображенні, використовуючи алгоритм пошуку обличчя з виділеними окремими ділянками на зображенні на основі глибокого навчання. Друга фаза полягає у побудові моделі обличчя з використанням глибоких нейронних мереж, що описує розташування 468 ключових точок, та у стисненому векторному представленні моделі обличчя за допомогою методу головних компонентів. На третій фазі виконується класифікація обличчя за допомогою навченої глибокої нейронної мережі задля розпізнавання емоцій. FaceReader класифікує вирази обличчя з пікселів зображення. Крім того, FaceReader класифікує стать людини, її вік, наявність на обличчі бороди, вусів, напрямок погляду, орієнтацію голови, також система надає інформацію про стан очей (розплющені/заплющені), рот (відкритий/закритий), брови (підняті/нейтральні/опущені).

Система Captemo [<https://www.captemo.com>] від компанії Logic Pursuits розпізнає емоції людини за її обличчям, використовуючи засоби штучного інтелекту та хмарних обчислень. Система використовується для оцінки рівня задоволення клієнтів наданням послуг у сфері обслуговування, зокрема у кафе. Captemo в режимі реального часу здатна фіксувати емоції за обличчям до десяти людей одночасно. Можливо розпізнавати такі емоції, як задоволення, роздратованість та подив. Також рішення фіксує інші внутрішні та зовнішні дані, такі як рівень продажів компанії, дані про співробітників, погоду, з метою надання якісної бізнес-статистики. Як результат Captemo дозволяє оцінити залежність рівню задоволення клієнта від певних часових рамок, робочої зміни певного співробітника та інших параметрів, що надає змогу компанії побудувати ефективну бізнес-стратегію.

Система BioObserver [<https://hertasecurity.com/advanced-solution-facial-expression-analysis/>] від компанії Herta призначена для розпізнавання семи базових емоцій людини за обличчям, таких як захоплення, сум, роздратування та інші. Також задекларовано розпізнавання вісімнадцяти мікро-експресій обличчя, таких як нахмуреність, моргання, підняття брів та інші. До того ж система відслідковує направлення напрямку погляду та направлення голови, що дозволяє слідкувати за рівнем уваги людини. Система працює як в режимі аналізу відеопотоку в режимі реального часу, так і попередньо записаного відео.

В результаті проведеного аналізу відомих засобів розпізнавання особи та емоцій на основі зображення обличчя та райдужної оболонки ока, використовуючи результати [4], виділено дві групи критеріїв ефективності зазначених засобів: основні (А) та додаткові (В). До основної групи слід віднести критерії, що безпосередньо характеризують ефективність процесу розпізнавання. До додаткової групи належать критерії, що відповідають особливостям технічної реалізації та сервісним можливостям засобів розпізнавання. Перелік та опис вказаних критеріїв наведено в табл. 1. та табл. 2.

Таблиця 1

Опис критеріїв ефективності основної групи

| № | Критерії ефективності основної групи |
|----------------|---|
| A ₁ | Точність розпізнавання |
| A ₂ | Класифікація основних емоцій |
| A ₃ | Класифікація складених емоцій |
| A ₄ | Обчислювальна складність розпізнавання |
| A ₅ | Можливість класифікації емоцій та особи без складної передобробки |
| A ₆ | Класифікація емоцій без необхідності попереднього розпізнавання особи |

Таблиця 2

Опис критеріїв ефективності додаткової групи

| № | Критерії ефективності додаткової групи |
|-----------------|--|
| B ₁ | Нівелювання зміни освітленості |
| B ₂ | Нівелювання впливу завад на зображенні обличчя |
| B ₃ | Можливість аналізу зображень декількох осіб |
| B ₄ | Можливість розпізнавання за повернутими зображеннями |
| B ₅ | Можливість розпізнавання за нахиленими зображеннями |
| B ₆ | Можливість розпізнавання за зображеннями різних форматів |
| B ₇ | Можливість розпізнавання емоцій та особи за частиною зображення обличчя |
| B ₈ | Можливість розпізнавання емоцій та особи за мімікою обличчя |
| B ₉ | Можливість розпізнавання емоцій та особи за частиною зображення райдужної оболонки ока |
| B ₁₀ | Можливість розпізнавання емоцій людей різних рас |

Критерій «Нівелювання впливу завад на зображенні обличчя» означає спроможність системи аналізувати зображення обличчя із наявністю таких типових завад, як присутність головного убору, маски, окулярів, вус, борода.

Результати аналізу дозволили визначити значення критеріїв ефективності, що наведені в табл. 3 та в табл. 4 по кожному проаналізованому рішенню. Отримані інтегральні оцінки ефективності n -го рішення за критеріями ефективності групи А та В показані в табл. 3 та в табл. 4 відповідно. В табл. 3 кожному з рішень присвоєно відповідний порядковий номер (колонка №). В табл. 4 замість назви рішення використовується лише порядковий номер відповідного рішення із табл. 3. Значення критеріїв групи А та В є десятковим числом в межах від 0 до 1 з однією цифрою після коми.

Таблиця 3

Значення критеріїв ефективності основної групи

| № | Рішення | Значення критеріїв | | | | | |
|----|--|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | A ₁ | A ₂ | A ₃ | A ₄ | A ₅ | A ₆ |
| 1 | Висоцька О.О., Давиденко А.М., Христович В. [2] | 0,8 | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| 2 | Назаркевич М.А., Возний Я.В., Назаркевич Г.Я. [3] | 0,9 | 0 | 0 | 0,9 | 0 | 0 |
| 3 | Ranjith, G., Pallavi, K., Mahendra, V. [4] | 0,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,6 |
| 4 | A. Viswanath Reddy, A. Aswini Reddy, C. A. Bindyashree [5] | 0,6 | 0,9 | 0,9 | 0,5 | 0,5 | 0,9 |
| 5 | Mike Rinck, Maximilian A. Primbs, Iris A. M. Verpaalen, Gijsbert Bijlstra [6] | 0,9 | 0,9 | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 |
| 6 | Eilidh Noyes, Josh P. Davis, Nikolay Petrov, Katie L. H. Gray, Kay L. Ritchie [7] | 0,9 | 0,9 | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 |
| 7 | Xiaole Ma, Meina Fu, Xiaolu Zhang, Xinwei Song, Benjamin Becker, Renjing Wu, Xiaolei Xu, Zhao Gao, Keith Kendrick, Weihua Zhao [8] | 0,9 | 0,7 | 0 | 0 | 0,9 | 0,9 |
| 8 | Noldus company, FaceReader [11] | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| 9 | Logic Pursuits company, Captemo [12] | 0,9 | 0,9 | 0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| 10 | Herta company, BioObserver[13] | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |

Таблиця 4

Значення критеріїв ефективності додаткової групи

| Рішення | Оцінка критеріїв | | | | | | | | | |
|---------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| | B ₁ | B ₂ | B ₃ | B ₄ | B ₅ | B ₆ | B ₇ | B ₈ | B ₉ | B ₁₀ |
| 1 | 0,9 | 0,8 | 0 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0,9 | 0,8 | 0 | 0,8 | 0,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0,9 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0,3 | 0,5 | 0 | 0,7 | 0,7 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0,9 | 0,9 | 0 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0 | 0 |
| 6 | 0,9 | 0,9 | 0 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0 | 0 |
| 7 | 0,9 | 0,7 | 0 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0 | 0,9 |
| 8 | 0,9 | 0,9 | 0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 0,9 |
| 9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 0,9 |
| 10 | 0,9 | 0,9 | 0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 0,9 |

Для інтегральної оцінки ефективності рішень використано математичний апарат [4]. У формулі враховуються значення критеріїв груп А та В та для кожної із них використовуються відповідні вагові коефіцієнти. Також окремо кожному із критеріїв присвоєно відповідно свій ваговий коефіцієнт:

$$E_{\Sigma} = E_{\Sigma_{n,A}} + E_{\Sigma_{n,B}} = \theta_A \sum_{i=1}^6 \alpha_{i,n} A_{i,n} + \theta_B \sum_{j=1}^{10} \beta_{j,n} B_{j,n}, \quad (3)$$

де E_{Σ} – інтегральна оцінка ефективності рішення; $E_{\Sigma_{n,A}}, E_{\Sigma_{n,B}}$ – інтегральна оцінка ефективності n -го рішення по критеріям ефективності групи А та В відповідно; $\alpha_{i,n}$ – ваговий коефіцієнт i -го критерію ефективності групи А для n -го рішення; $\beta_{j,n}$ – ваговий коефіцієнт j -го критерію ефективності групи В для n -го рішення; θ_A, θ_B – вагові коефіцієнти групи критеріїв групи А та В; $A_{i,n}$ – значення i -го критерію ефективності групи А; $B_{j,n}$ – значення j -го критерію ефективності групи В.

В першому наближенні, враховуючи специфіку задачі біометричної аутентифікації в інформаційних системах об'єктів критичної інфраструктури, прийняті наступні значення вагових коефіцієнтів критеріїв ефективності по групі А: $\alpha_1 = 0,3$; $\alpha_2 = 0,3$; $\alpha_3 = 0,1$; $\alpha_4 = 0,1$; $\alpha_5 = 0,1$; $\alpha_6 = 0,1$.

Також прийнято, що вагові коефіцієнти по групам критеріїв $\theta_A = 0,7$, а $\theta_B = 0,3$.

За допомогою (3) отримано інтегральні оцінки для рішень по кожній із груп критеріїв окремо та сумарну інтегральну оцінку для кожного рішення. Отримані значення оцінок ефективності наведені у табл. 5.

Таблиця 5

Інтегральна оцінка ефективності

| Групи критеріїв | Рішення | | | | | | | | | |
|-----------------|---------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| А | 0,51 | 0,36 | 0,3 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | 0,66 | 0,9 | 0,81 | 0,9 |
| В | 0,42 | 0,33 | 0,19 | 0,31 | 0,62 | 0,62 | 0,69 | 0,54 | 0,63 | 0,54 |
| E_{Σ} | 0,483 | 0,351 | 0,267 | 0,604 | 0,69 | 0,69 | 0,669 | 0,792 | 0,756 | 0,792 |

Використовуючи отримані дані із табл. 5, побудовано діаграму сумарної інтегральної ефективності рішень, що показана на рис. 2. По горизонтальній осі представлено порядкові номери рішень, а вертикальній – шкала інтегральної ефективності.

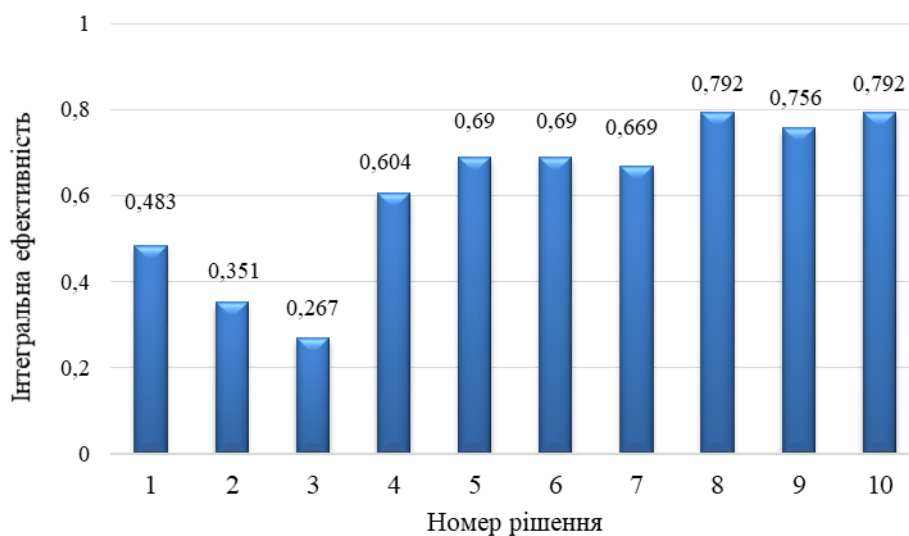


Рис. 2. Діаграма інтегральної ефективності відомих рішень

Як видно з рис. 2, максимально ефективними є рішення 8 та 10, для яких E_{Σ} дорівнює 0,792.

Проведений аналіз показує, що навіть найкращі із розглянутих систем розпізнавання емоцій та особи за зображенням обличчя та зображенням райдужної оболонки ока не забезпечують виконання вимог щодо можливості розпізнавання емоцій та особи за частиною зображення обличчя, мімікою, за частиною зображення райдужної оболонки ока. Слід зазначити, що закритий характер найбільш ефективних проаналізованих рішень призводить до значних труднощів їх застосування у вітчизняних засобах біометричної аутентифікації. Також можуть виникнути труднощі з впровадженням експертних рішень в області розпізнавання особи та емоційного стану в автоматичні системи об'єктів критичної інфраструктури.

Таким чином, перспективи вдосконалення засобів розпізнавання на об'єктах критичної інфраструктури доцільно пов'язати із забезпеченням можливості розпізнавання емоцій та особи за частиною зображення обличчя та райдужної оболонки ока, а також за мімікою. Крім того, практичний досвід свідчить про необхідність підвищення точності розпізнавання та зменшення обчислювальної складності засобів розпізнавання на об'єктах критичної інфраструктури [1, 10]. Базуючись на результатах [1, 11, 13], можливо стверджувати, що забезпечити підвищення ефективності засобів біометричної аутентифікації у вказаних напрямках можливо за рахунок впровадження в них сучасних нейромережових технологій. Для цього слід розробити методи застосування найбільш досконалих нейромережових моделей в системах біометричної аутентифікації персоналу об'єктів критичної інфраструктури.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень визначено перелік критеріїв, що характеризують ефективність рішень в області біометричної аутентифікації за зображенням обличчя та райдужної оболонки ока на об'єктах критичної інфраструктури. Визначені критерії основної групи, що характеризують ефективність процесу розпізнавання, та критерії додаткової групи, що відповідають особливостям технічної реалізації та сервісним можливостям засобів розпізнавання. З використанням запропонованих критеріїв визначено, що перспективи вдосконалення засобів біометричної аутентифікації за зображенням обличчя та райдужної оболонки ока можна співвіднести з підвищенням точності розпізнавання та зменшенням обчислювальної складності, а також з розпізнаванням емоцій та особи за частиною зображення та мімікою. Показано, що підвищити ефективність засобів біометричної аутентифікації на об'єктах критичної інфраструктури можливо за рахунок впровадження в них сучасних нейромережових технологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Висоцька, О.О., Давиденко, А.М., Христович, В. (2022). Виділення обличчя людини у відеопотоці для контролю за дотриманням співробітниками стану безпеки в процесі роботи та навчання. *Захист інформації*, 24(2), 94-107. DOI: 10.18372/2410-7840.24.16934.
- 2 Михайленко, В. М., Терейковская, Л. А. (2019). Огляд засобів розпізнавання емоційного стану людини за геометрією обличчя. *Управління розвитком складних систем*, 37, 178-184. doi.org/10.6084/m9.figshare.9783236.



- 3 Назаркевич, М., Возний, Я., Назаркевич, Г. (2021). Розроблення методу машинного навчання при біометричному захисті із новими методами фільтрації. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*, 3(11), 16–30. doi.org/10.28925/2663-4023.2021.11.1630.
- 4 Терейковська, Л. О. (2023). Методологія автоматизованого розпізнавання емоційного стану слухачів системи дистанційного навчання: дис. докт. техн. наук.
- 5 Ma, X., Fu, M., Zhang, X., Song, X., Becker, B., Wu, R., Xu, X., Gao, Z., Kendrick, K., & Zhao, W. (2022). Own Race Eye-Gaze Bias for All Emotional Faces but Accuracy Bias Only for Sad Expressions. *Frontiers in Neuroscience*, 16. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.852484>.
- 6 Noyes, E., Davis, J. P., Petrov, N., Gray, K. L. H., & Ritchie, K. L. (2021). The effect of face masks and sunglasses on identity and expression recognition with super-recognizers and typical observers. *Royal Society Open Science*, 8(3). <https://doi.org/10.1098/rsos.201169>
- 7 Ranjith, G., Pallavi, K., & Mahendra, V. (2022). Human Face, Eye and Iris Detection in Real-Time Using Image Processing. *У Algorithms for Intelligent Systems* (с. 383–389). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1669-4_34.
- 8 Rinck, M., Primbs, M. A., Verpaalen, I. A. M., & Bijlstra, G. (2022). Face masks impair facial emotion recognition and induce specific emotion confusions. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s41235-022-00430-5>.
- 9 Royer, J., Blais, C., Charbonneau, I., Déry, K., Tardif, J., Duchaine, B., Gosselin, F., & Fiset, D. (2018). Greater reliance on the eye region predicts better face recognition ability. *Cognition*, 181, 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.08.004>.
- 10 Tereikovskiy, I., Korchenko, O., Bushuyev, S., Tereikovskiy, O., Ziubina, R., Veselska, O. (2023). A Neural Network Model for Object Mask Detection in Medical Images. *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 69(1), 41-46. DOI: 10.24425/ijet.2023.144329.
- 11 Toliupa, S., Tereikovska, L., Tereikovskiy, I., Doszhanova, A., Alimseitova, Z. (2020). Procedure for Adapting a Neural Network to Eye Iris Recognition. *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology*, 167-171. DOI: 10.1109/PICST51311.2020.9468020.
- 12 Vinette, C., Gosselin, F., Schyns, P. (2004). Spatio-temporal dynamics of face recognition in a flash: it's in the eyes. *Cognitive Science*, 28(2), 289–301. doi.org/10.1016/j.cogsci.2004.01.002.
- 13 ViswanathReddy, D. A., Aswini Reddy, A., & Bindyashree, C. A. (2021). Facial Emotions over Static Facial Images Using Deep Learning Techniques with Hysterical Interpretation. *Journal of Physics: Conference Series*, 2089(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2089/1/012014>.

**Oleksandr G. Korchenko**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information Technology Security, National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: 0000-0003-3376-0631

agkorchenko@gmail.com

Oleh I. Tereikovskiy

Postgraduate student of the Department of Information Technology Security, National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: 0000-0001-5045-0163

tereikovskiy@gmail.com

ANALYSIS AND EVALUATION OF BIOMETRIC AUTHENTICATION MEANS BASED ON THE IMAGE OF THE FACE AND IRIS OF THE STAFF OF CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES

Abstract. Dedicated to the analysis and evaluation of biometric authentication systems for personnel of critical infrastructure facilities. It is shown that tools based on the image of the face and the iris of the eye have broad prospects, which is explained by the proven solutions in the field of face image analysis, the availability and distribution of video recording tools that allow the iris to be recorded simultaneously with the face with satisfactory quality. It was determined that one of the ways to improve the effectiveness of such tools is to increase the accuracy of face recognition and resistance to obstacles that cover part of the face. It is also shown that an additional direction of improving the effectiveness of biometrics can be recognition of the current psycho-emotional state of personnel of critical infrastructure facilities. The need to evaluate the effectiveness of face and emotion recognition tools based on face and iris images is determined. Based on the analysis of the literature, two groups of efficiency criteria were formed: basic and additional. Criteria characterizing the effectiveness of the recognition process are included in the main group, and criteria corresponding to the technical implementation features and service capabilities of recognition tools are included in the additional group. An evaluation of modern means of face and emotion recognition based on the image of the face and iris of the eye was carried out, and their non-compliance with a number of criteria was determined. It is proposed to correlate the ways of further research with the solution of the task of ensuring the fulfillment of the criteria related to the possibility of recognizing emotions and a person based on part of the image of the face, facial expressions and part of the image of the iris of the eye, with the technical implementation of expert solutions. The possibility of performing the specified task due to the use of modern neural network technologies is shown.

Keywords: information security, security of critical infrastructure objects, biometric authentication; identity recognition; recognition of emotions; image of a person's face; iris of the eye; emotion; performance criteria; personnel of critical infrastructure objects.

REFERENCES

- 1 Vysotska, O.O., Davydenko, A.M., Khrystevych, V. (2022). Vydilennia oblychchia liudyny u videopototsi dlia kontroliu za dotrymanniam spivrobotnykamy stanu bezpeky v protsesi roboty ta navchannia. *Zakhyst informatsii*, 24(2), 94-107. DOI: 10.18372/2410-7840.24.16934.
- 2 Mykhailenko, V. M., Tereikovskaia, L. A. (2019). Ohliad zasobiv rozpoznavannia emotsiinoho stanu liudyny za heometriieiu oblychchia. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, 37, 178-184. doi.org/10.6084/m9.figshare.9783236.
- 3 Nazarkevych, M., Voznyi, Ya., Nazarkevych, H. (2021). Rozroblennia metodu mashynnoho navchannia pry biometrychnomu zakhysti iz novymy metodamy filtratsii. *Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika*, 3(11), 16-30. doi.org/10.28925/2663-4023.2021.11.1630.
- 4 Tereikovska, L. O. (2023). Metodolohiia avtomatyzovanoho rozpoznavannia emotsiinoho stanu slukhachiv systemy dystantsiinoho navchannia: dys. dokt. tekhn. nauk. Ma, X., Fu, M., Zhang, X., Song, X., Becker, B., Wu, R., Xu, X., Gao, Z., Kendrick, K., & Zhao, W. (2022). Own Race Eye-Gaze Bias for All



- Emotional Faces but Accuracy Bias Only for Sad Expressions. *Frontiers in Neuroscience*, 16. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.852484>.
- 5 Noyes, E., Davis, J. P., Petrov, N., Gray, K. L. H., & Ritchie, K. L. (2021). The effect of face masks and sunglasses on identity and expression recognition with super-recognizers and typical observers. *Royal Society Open Science*, 8(3). <https://doi.org/10.1098/rsos.201169>
 - 6 Ranjith, G., Pallavi, K., & Mahendra, V. (2022). Human Face, Eye and Iris Detection in Real-Time Using Image Processing. *Y Algorithms for Intelligent Systems* (c. 383–389). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1669-4_34.
 - 7 Rinck, M., Primbs, M. A., Verpaalen, I. A. M., & Bijlstra, G. (2022). Face masks impair facial emotion recognition and induce specific emotion confusions. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s41235-022-00430-5>.
 - 8 Royer, J., Blais, C., Charbonneau, I., Déry, K., Tardif, J., Duchaine, B., Gosselin, F., & Fiset, D. (2018). Greater reliance on the eye region predicts better face recognition ability. *Cognition*, 181, 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.08.004>.
 - 9 Tereikovskiy, I., Korchenko, O., Bushuyev, S., Tereikovskiy, O., Ziubina, R., Veselska, O. (2023). A Neural Network Model for Object Mask Detection in Medical Images. *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 69(1), 41-46. DOI: 10.24425/ijet.2023.144329.
 - 10 Toliupa, S., Tereikovska, L., Tereikovskiy, I., Doszhanova, A., Alimseitova, Z. (2020). Procedure for Adapting a Neural Network to Eye Iris Recognition. *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology*, 167-171. DOI: 10.1109/PICST51311.2020.9468020.
 - 11 Vinette, C., Gosselin, F., Schyns, P. (2004). Spatio-temporal dynamics of face recognition in a flash: it's in the eyes. *Cognitive Science*, 28(2), 289–301. doi.org/10.1016/j.cogsci.2004.01.002.
 - 12 ViswanathReddy, D. A., Aswini Reddy, A., & Bindyashree, C. A. (2021). Facial Emotions over Static Facial Images Using Deep Learning Techniques with Hysterical Interpretation. *Journal of Physics: Conference Series*, 2089(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2089/1/012014>.

