

- [24] ISO/IEC 27001:2013 Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements. URL: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=54534.
- [25] An Introduction to Factor Analysis of Information Risk (FAIR) URL: http://riskmanagementinsight.com/media/documents/FAIR_Introduction.pdf.

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF SECURITY IN CYBERPHYSICAL SYSTEMS

The article presents a new approach to risk assessment and the formation of preventive security measures based on the Lotka-Volterra model. Proposed models of security of cyber-physical systems: "predator-prey" taking into account computing capabilities and targeting of targeted cyber-attacks, "predator-prey" taking into account the possible competition of attackers in relation to the "prey", "predator-prey" taking into account the relationships between "species" by "preys" and "predator species", "predator-prey" taking into account the interrelationships between "prey species" and "predator species" allow to provide a view of the possibility of forming a vector of threats, as well as their dependence on the development of digital technologies and new directions of digital services. Based on the proposed approach, the coefficients of the Lotka-Volterra model $\alpha=0.39$, $\beta=0.32$, $\gamma=0.29$, $\varphi=0.27$ were obtained, which take into account the synergy and hybridity of modern threats, funding for the formation and improvement of the defense system, and also allows you to determine the financial and computing capabilities of the attacker based on the identified threats. The evaluation mechanism also takes into account the physical component of cyber-physical systems, which are formed, as a rule, from two environments - the physical level and the management level.

This view of cyber-physical systems requires the design of multi-circuit information protection systems, as well as the formation of objectivity in the assessment of threats to both the internal (physical level) loop of the information protection system and the external loop (management level). The proposed method of assessing the security of cyber-physical systems is based on the basis of the developed threat classifier, allows to assess the current level of security and dynamically form recommendations for the distribution of limited protection resources based on an expert assessment of known threats. This approach allows for dynamic modeling in off-line mode, which allows timely identification of the capabilities of attackers and the formation of preventive protection measures based on threat analysis. Simulation can use actual bases of assessment of real threats and incidents on cyber-physical systems, which allows for an expert assessment of their impact on both individual security services and security components (cyber security, information security, and security of information).

Keywords: cyber-physical systems, information security, cyber security, security of information, Lotka-Volterra security models.

Сергій Погасій, кандидат економічних наук, доцент кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

Serhii Pogasii, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Cyber Security and Information Technologies of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute".

E-mail: spogasiy1978@gmail.com.

Orcid ID: 0000-0002-4540-3693.

DOI: 10.18372/2410-7840.24.16934

УДК 57.087.1:004.932.7

ВИДІЛЕННЯ ОБЛИЧЧЯ ЛЮДИНИ У ВІДЕОПОТОЦІ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗА ДОТРИМАННЯМ СПІВРОБІТНИКАМИ СТАНУ БЕЗПЕКИ В ПРОЦЕСІ РОБОТИ ТА НАВЧАННЯ

Олена Висоцька, Анатолій Давиденко, Владислав Христович

Дослідження присвячене задачі виділення обличчя людини в відеопотоці, розглянуто області застосування функції виділення обличчя. Проаналізовані вимоги до механізмів вирішення даної задачі у випадку використання їх для моніторингу, в режимі онлайн, присутності людини на робочому місці, перед комп'ютером. Вказані принципи, за якими здійснюється виділення об'єктів (обличчя людини) в відеопотоці. В якості механізму вирішення зазначеної задачі запропоновано використовувати технологію MobileSSD, яка є комбінацією згорткових нейронних мереж MobileNetV2 та SSD. Проаналізовано принцип дії обраних нейронних мереж та

причини їх обрання. Для дослідження доцільності використання запропонованої технології для вирішення поставленої задачі було розроблено програмне забезпечення на основі запропонованої технології та за його допомогою проведена низка експериментів. На основі результатів проведених експериментів були зроблені висновки стосовно доцільності використання запропонованої технології для вирішення поставленої задачі, сформульовані переваги та недоліки, вказані умови для ефективного застосування даної технології та дані рекомендації для подальшого удосконалення запропонованого механізму вирішення задачі виділення обличчя людини в відеопотоці для моніторингу, в режимі онлайн, присутності людини перед комп'ютером.

Ключові слова: безпека, виділення обличчя, розпізнавання об'єктів, моніторинг, нейронні мережі, MobileSSD.

ВСТУП

В наш час невід'ємною складовою повсякденного життя є використання відеокамер. Це і камери в смартфонах та комп'ютерах, і камери в приміщеннях та на території якоїсь організації. В них відповідно різні технічні характеристики та різні задачі, але однозначно можна сказати, що рівень розвитку даних пристроїв вже досяг рівня, необхідного для застосування їх в різних сферах життєдіяльності. Крім того, постійно з'являються нові та удосконалюються існуючі математичні механізми, які в поєднанні з технічними можливостями відеокамер, значно розширюють коло прикладних задач для застосування.

Проаналізувавши основні технології [1-9] вирішення подібних задач, слід зазначити, що однією з складових всіх цих технологій є задача виділення об'єкту на зображенні або в відеопотоці. Крім того, дана задача є не тільки складовою частиною інших задач, а й окремою прикладною задачею, котра може вирішуватись для різних цілей. Розглянемо декілька з таких задач.

Останнім часом стало достатньо популярним явищем віддалена робота співробітників різних організацій. В деяких випадках не є дуже принциповим постійна присутність людини безпосередньо за комп'ютером, але є низка професій, в котрих це є принциповою вимогою. Наприклад, це співробітники, які повинні займатися моніторингом процесів в режимі онлайн. Крім того, постійна присутність співробітника за комп'ютером може бути вимогою керівництва компанії. Часто в організаціях критично важливих галузей, для дотримання безпеки та надійності функціонування компанії, в політиці безпеки прописано, що співробітники обов'язково постійно повинні знаходитись за комп'ютером. Також ця задача є актуальною під час онлайн навчання, для автоматичного моніторингу присутності учнів на заняттях. У всіх цих випадках необхідно постійно, в режимі онлайн, виділяти в відеопотоці зображення

обличчя людини і тим самим перевіряти наявність обличчя людини перед відеокамерою (веб-камерою).

Постановка задачі

Виділення, в режимі онлайн, в відеопотоці зображення обличчя людини для моніторингу її присутності на робочому місці, перед комп'ютером, є об'єктом даного дослідження. Необхідно зазначити, що виконання саме постійної перевірки (не однократної, як наприклад, під час ідентифікації особи при отриманні доступу до якогось ресурсу) висуває відповідні вимоги до технологій, які використовуються при вирішенні даної задачі. Основною з цих вимог є швидкість. Виконання вказаного моніторингу не повинно сповільнювати роботу комп'ютерної системи, тобто не повинно заважати виконанню основних функцій всієї системи. Тому пошук технологій вирішення поставленої задачі саме з високою швидкістю та водночас з достатньою ефективністю є необхідною складовою даного дослідження.

На швидкість роботи відповідної системи в першу чергу впливає саме математичний механізм вирішення поставленої задачі. Існує багато подібних механізмів, але найбільший розвиток останнім часом набули саме технології на базі нейронних мереж [10-15]. Найбільш ефективним зараз є використання комбінації декількох різновидів нейронних мереж. В даному дослідженні для вирішення поставленої задачі пропонується використовувати технологію MobileSSD (MobileNetV2 + Single Shot Multibox Detector), яка є комбінацією згорткових нейронних мереж на основі MobileNetV2 та SSD.

Мета даної роботи – за допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення дослідити доцільність використання технології MobileSSD, яка є комбінацією згорткових нейронних мереж на основі MobileNetV2 та SSD, для вирішення задачі виділення, в режимі онлайн, в відеопотоці зображення

обличчя людини; визначити умови застосування обраної комбінації нейронних мереж; виявити обмеження та недоліки при використанні запропонованої технології.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

1) Дослідити вплив наявності на обличчі якихось предметів, які «ховують» деякі характерні точки обличчя, та вплив присутності суттєвого повороту або нахилу голови, при котрих деякі характерні точки обличчя не знаходяться в полі зору камери, на можливість виявлення обличчя в відеопотоці.

2) Дослідити вплив наявності на обличчі окулярів на впевненість мережі при виявленні обличчя в відеопотоці.

3) Дослідити діапазон допустимих значень відстані між обличчям та камерою, при котрих є можливим виявлення обличчя в відеопотоці.

4) Дослідити вплив якості освітлення в приміщенні на впевненість мережі при виявленні обличчя в відеопотоці.

5) Дослідити чи зберігаються функціональні можливості запропонованої мережі при умові, що в якості пристрою, на якому функціонує система, є не комп'ютер, а смартфон.

6) Дослідити вплив наявності на людині медичної маски на можливість виявлення обличчя в відеопотоці та визначення задач, при вирішенні яких це обмеження може бути принциповим і задач, при вирішенні яких це не має принципового значення.

7) Дослідити можливість виявлення мережею факту присутності перед камерою зображення обличчя людини на фотографії замість людини, яка дійсно фізично знаходиться в даний момент перед об'єктивом відеокамери, та, у разі неможливості виявлення вказаного факту, запропонувати засоби удосконалення системи для усунення даного недоліка.

Вирішення поставленої задачі

Можливість розпізнавання необхідного об'єкту серед багатьох інших предметів – це ключова особливість комп'ютерного зору. Вперше алгоритм вирішення даної задачі реалізували Паул Віола й Майкл Джонс. Цей алгоритм дозволяв розпізнавати обличчя в режимі реального часу. Ознаки, що використовує алгоритм Віоли-Джонса ґрунтуються на додаванні пікселів з прямокутних регіонів. За основу

було взято вейвлет Хаара, після чого були розроблені знаки Хаара [4-7].

Кожне обличчя людини має свої унікальні властивості, наприклад – область очей темніша за область пікселів, які знаходяться поруч, а область носа світліша за область очей. Ці факти використовуються при виділенні відповідних об'єктів. Для визначення зазначених особливостей зображення обов'язково спочатку переводиться в чорно-білий колір. Методика каскадів Хаара полягає у встановленні координат X, Y, Z та визначенні ширини й висоти області, для створення прямокутної рамки на зображенні для виявлення необхідних областей. При стандартному розмірі цих прямокутників в 24x24 пікселя алгоритм розпізнає 162 тисяч різних знаків. Тому розрахунок та аналіз може зайняти дуже великих проміжків часу. Для уникнення даної проблеми алгоритм Віоли-Джонса використовує варіацію алгоритму навчання AdaBoost для визначення цих каскадів та для налаштування класифікаторів.

На сьогоднішній день вже існує багато методів розпізнавання обличчя. Але, як вже було зазначено, найбільший розвиток зараз мають технології на базі нейронних мереж. Розглянемо більш детально технологію MobileSSD, яка, як вже було сказано, є комбінацією згорткових нейронних мереж на основі MobileNetV2 та SSD. MobileNetV2 відповідає за швидкість та підвищення точності розпізнавання, а SSD відповідає обробленню місцезнаходження об'єктів, тобто показує об'єкти на зображенні.

Комбінація мереж повертає рамки розміру кожного обличчя особи з відповідними оцінками, наприклад, ймовірність кожної рамки відповідного розміру, що показує обличчя. Оцінки використовуються для фільтрації розмірів полів, оскільки може бути, що зображення взагалі не містить обличчя. Оцінка зазвичай має діапазон від «0.00» до «1.00». Чим більша оцінка, тим краще мережа розуміє, що на зображенні присутнє обличчя.

Згорткові нейронні мережі (англ. convolutional neural network, CNN) – це різновид глибоких мереж прямого поширення. Глибинне навчання дозволяє краще, ніж це можуть зробити люди, визначити частини об'єкту (обличчя), важливі для його виявлення (розпізнавання).

Для пошуку обличчя глибокій згортковій нейронній мережі необхідно створювати 128 унікальних характеристик кожного об'єкту (обличчя).

Даний підхід [9] був запропонований у 2015 році дослідниками з компанії Google. Фахівці з навчання машин називають ці 128 характеристик кожної особи набором характеристик (ознак). Дані характеристики представляють собою набір чисел, який нейронна мережа створює для себе, щоб в подальшому опиратися на них та аналізувати обличчя та ідентифікувати. При виконанні особи, якщо числа отримані з двох обличчя збігаються з невеликою похибкою, тоді ці два обличчя ідентичні. Навчання проходить за допомогою фотографій, які заздалегідь завантажуються в систему. Чим більше фотографій, тим краще буде аналіз та більш точнішим результатом.

Розглянемо більш детально як працює комбінація згорткових нейронних мереж MobileSSD, яка застосовується в даному дослідженні, а спочатку розглянемо принцип дій кожної з цих двох мереж.

Нейронної мережі MobileNet.

MobileNet призначена для використання в тому числі в мобільних додатках, і це перша модель мобільного комп'ютерного зору TensorFlow. MobileNet [10] заснована на спрощеній архітектурі, яка використовує роздільні згортки по глибині для створення легких згорткових нейронних мереж. MobileNet забезпечує ефективну модель для мобільних і вбудованих програм комп'ютерного зору. Даний вид мережі широко використовується в багатьох реальних програмах, які включають виявлення об'єктів, дрібну класифікацію, атрибути обличчя та локалізацію.

Роздільні згортки по глибині складаються з двох операцій:

- Згортка по глибині (глибинна згортка).
- Точкова згортка.

В основному перший шар використовується для фільтрації вхідних каналів, а другий шар використовується для їх об'єднання для створення нової функції. Звичайна згортка являє собою фільтр $D_k * D_k * M * N$, де D_k – це розмір ядра згортки, M – кількість каналів на вході, а N – число каналів на виході. Загальна обчислювальна складність

згорткового шару становить $D_k * D_k * M * D_f * D_f * N$, де D_f – висота і ширина шару.

Ідея глибокої роздільної згортки полягає в тому, щоб розкласти подібний шар на глибоку згортку, яка являє собою поканальний фільтр, і 1x1-згортку (точкова згортка).

Параметр ядра точкової згортки дорівнює $1 * 1 * M * N$. Кожне ядро згортки зважає вхідні M ознак у вимірі ознак i , нарешті, отримує N ознак ($M \neq N$).

Тобто підсумуємо, **традиційний розрахунок згортки:** $(D_k * D_k * M * N * D_f * D_f)$.

Розрахунок згортки з поділом по глибині виглядає таким чином: згортка по глибині $(D_k * D_k * M * D_f * D_f)$ + точкова згортка $(M * D_f * D_f * N)$.

Кількість параметрів зменшується:

$$\frac{(D_k * D_k * M * D_f * D_f) + (M * D_f * D_f * N)}{D_k * D_k * M * N * D_f * D_f} = \frac{1}{N} + \frac{1}{D_k^2}$$

На рис. 1 продемонстрована схема комбінації згортки по глибині та точкової згортки.

Для ілюстрації відмінності алгоритмів роботи звичайної згорткової мережі та мережі MobileNet, розглянемо на прикладі [10] блок звичайної згорткової мережі та базовий блок MobileNet (рис. 2). BN (Batch Normalization) – пакетна нормалізація, ReLU (rectified linear) – випрямлений лінійний блок (випрямляч).

Двома гіперпараметрами архітектури MobileNet є α (множник ширини) та ρ (множник глибини або множник роздільної здатності). Множник ширини відповідає за кількість каналів в кожному шарі.

Обидва параметра дозволяють варіювати розміри мережі: зменшуючи α і ρ , ми знижуємо точність розпізнавання, але в той же час збільшуємо швидкість роботи і зменшуємо споживану пам'ять.

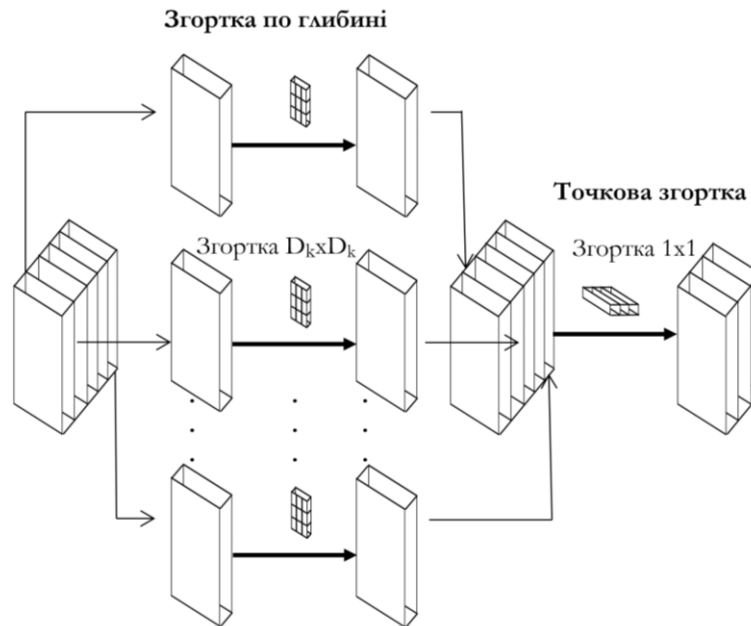


Рис. 1 Схема комбінації згортки по глибині та точкової згортки

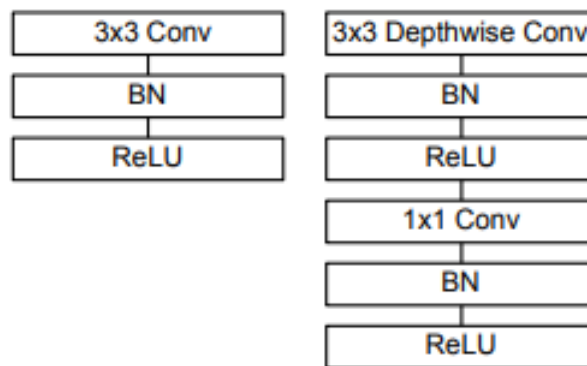


Рис. 2 Блок звичайної згорткової мережі та базовий блок MobileNet

Нейронна мережа SSD

Single Shot Detector – це сімейство одного з різновидів «single shot», тобто при отриманні зображення одразу виявляються на ньому всі можливі об'єкти. Існує схожа відома нейронна мережа під назвою YOLO (You Only Look Once), але нейронна мережа SSD більш сучасна та ефективна [13-15].

Підхід, названий SSD, дискретизує вихідний простір обмежувальних прямокутників у набір квадратів за замовчуванням з різними співвідношеннями сторін і масштабами для розташування карти об'єктів. Під час прогнозування мережа генерує оцінки наявності кожної категорії об'єктів у кожному вікні за замовчуванням і виробляє коригування поля, щоб краще відповідати формі об'єкта.

Крім того, мережа поєднує прогнози з кількох карт об'єктів з різною роздільною здатністю, щоб природно обробляти об'єкти різного розміру. Модель SSD проста в порівнянні з багатьма подібними методами, вона інкапсулює всі обчислення в одній мережі. Завдяки цьому SSD легко навчати та легко інтегрувати в системи, які потребують компонента виявлення об'єктів. У порівнянні з іншими одноступінчастими методами, SSD має набагато кращу точність, навіть з меншим розміром вхідного зображення.

Розглянемо принцип роботи нейронної мережі SSD. Для більшої наочності скористаємось для цього відповідною схемою (рис. 3) [13]. Спочатку береться зображення відповідного розміру у пікселях. Далі до цього зображення застосовуються деяка

кількість згорткових слоїв. Відбувається це до того моменту, поки просторове зображення не доходить до розміру 1x1 пікселів. Далі до кожного згорткового шару додається відповідний блок детектора. Робиться це для того, щоб наша нейронна мережа змогла знаходити великі і маленькі об'єкти на зображенні (чим менше розмірність шарів, тим легше знайти великі об'єкти на картинці та навпаки, чим

більша розмірність, тим легше знайти маленькі об'єкти). Застосовуються бокси (рамки) на кожному масштабі, які роблять захват об'єктів.

Всі ці бокси будуть покривати зображення на різних масштабах. Після чого велика кількість цих боксів фільтрується. Далі всі шари складаються разом та виводиться результат, тобто виявлене обличчя.

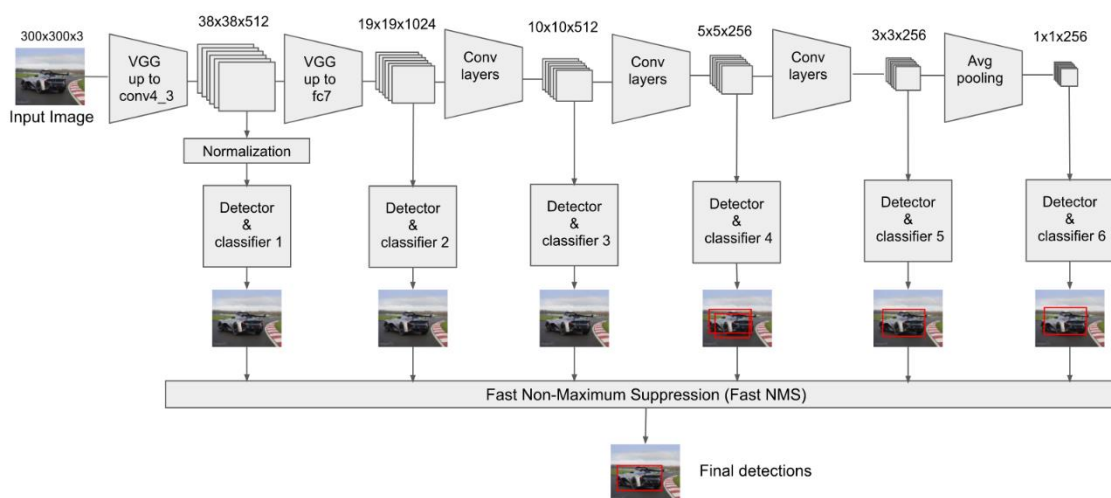


Рис.3 Процес накладання згорткових слоїв на зображення з подальшим додаванням блоків детектора для виявлення об'єктів різного розміру

В обраній комбінації нейронних мереж є ряд переваг:

- Можливість роботи і в режимі реального часу і при використанні статичних зображеннях.
- Висока швидкість роботи без зниження продуктивності.
- Можливість додавання власних моделей.
- Швидке навчання мережі.
- Можливість визначення додаткових параметрів (емоції, вік, стать тощо).
- Отримання точних результатів в порівнянні з попередніми поколіннями та типами мереж (MobilenetV1, YOLO, тощо).

Можливість використання на багатьох операційних системах та різновидах пристроїв.

Після теоретичних досліджень були проведені практичні дослідження.

Експериментальна частина

Для дослідження доцільності використання запропонованої технології для вирішення поставленої задачі та виявлення її обмежень та недоліків при застосуванні, було проведено низку експериментів, за допомогою спеціально розробленого програм-

ного забезпечення, написаного на мові програмування JavaScript, з використанням стандартних та додаткових бібліотек. Для забезпечення більших можливостей застосування розроблене програмне забезпечення працює з використанням веб-браузерів. Для функціонування даної програми необхідна наявність увімкненої (до якої може отримати доступ програма) веб-камери, з не закритим об'єктивом.

При проведенні експериментів досліджувався вплив на ефективність роботи системи наступних факторів:

- Відстань від обличчя до камери.
- Наявність на обличчі окулярів.
- Наявність на обличчі якихось предметів, які «ховають» деякі характерні точки обличчя.
- Якість освітлення.
- Наявність перед камерою не тільки самої людини, а й її фотографії.
- Поворот або нахил обличчя людини, яка знаходиться перед камерою.
- Пристрій, на якому функціонує система – комп'ютер чи смартфон.

Як вже було сказано раніше, нейронні мережі, які були використані в даній роботі, визначають межі об'єкту (в даному випадку обличчя людини) на зображенні (в відеопотоці) та оцінку впевненості мережі того, що в даних межах дійсно знаходиться обличчя. Дана оцінка може знаходитися в діапазоні від «0.00» до «1.00». Чим більша оцінка, тим краще мережа розуміє, що на зображенні присутнє обличчя. Відповідно в проведених експериментах саме ця оцінка впевненості і визначалась. Крім того, вказані нейронні мережі також можуть визначати емоції людини, яка знаходиться перед об'єктивом. Але ця характеристика не є предметом даного дослідження, тому вона тут тільки визначається для подальших досліджень.

Для дослідження доцільності використання запропонованої технології для вирішення поставленої задачі та для визначення впливу низки факторів на ефективність застосування даного підходу, було проведено низка експериментів. Їх суть полягає в наступному. Користувач знаходиться перед комп'ютером, на якому увімкнена веб-камери (до якої може отримати доступ програма), з не закритим об'єктивом. Для експериментів використовується розроблене програмне забезпечення, яке для постійного оновлення інформації знаходиться на сервері і працює за допомогою інтернет-

браузерів. Відповідно під час експериментів у вікні програми в режимі онлайн відображається інформація, яка передається з веб-камери в комп'ютер. В результаті роботи програми в цій інформації виділяються (за можливістю) межі зображення обличчя людини, яка знаходиться перед камерою, тобто рисуються рамка, яка показує де саме знаходиться зображення обличчя. При цьому програма обраховує та виводить значення оцінки впевненості мережі в тому, що об'єкт виділено правильно.

При проведенні експериментів змінювались умови їх проведення, а саме: змінювалась відстань між обличчям та камерою, на обличчя надягались та знімалися різні аксесуари (окуляри, медична маска), плучно закривалась частина обличчя, змінювався поворот і нахил обличчя та напрямок погляду, змінювалось освітлення в приміщенні, перед камерою розміщувалась фотографія людини, змінювався пристрій, на якому функціонує програма (комп'ютер, смартфон). При кожній зміні умов експерименту відбувалась спроба виділення зображення обличчя в відеопотоці на визначення оцінки впевненості мережі.

Умови та результати проведених експериментів показані в таблиці 1, після чого деякі з них більш детально описані та їх результати продемонстровані на рисунках 4-8.

Таблиця 1

Результати експериментів

№ експерименту	Умови	Оцінка впевненості мережі
1	Наявність окулярів - <i>так</i> . Місцезнаходження обличчя - в центрі, дивиться прямо в камеру. Відстань обличчя від камери - 80-100 см (відстань витягнутої руки). Якість освітлення – вдень, освітлене приміщення. Наявність в полі зору камери інших об'єктів – ні.	Від 0,61 до 0,79
2	Наявність окулярів - <i>ні</i> . Місцезнаходження обличчя - в центрі, дивиться прямо в камеру. Відстань обличчя від камери - 80-100 см (відстань витягнутої руки). Якість освітлення – вдень, освітлене приміщення. Наявність в полі зору камери інших об'єктів – ні.	Від 0,79 до 0,92
3	Наявність окулярів - <i>так</i> . Місцезнаходження обличчя - в центрі, дивиться прямо в камеру. Відстань обличчя від камери - 80-100 см (відстань витягнутої руки). Якість освітлення – вдень, освітлене приміщення. Наявність в полі зору камери інших об'єктів - <i>так, в тому числі і телефон з маленькою фотографією людини.</i>	Від 0,63 до 0,84 Коден інший об'єкт (навіть фотографію), крім обличчя людини перед камерою, не виявлено
4	Наявність окулярів - <i>так</i> . Місцезнаходження обличчя - в центрі, дивиться прямо в камеру. Відстань обличчя від камери - 80-100 см (відстань витягнутої руки). Якість освітлення – вдень, освітлене приміщення. Наявність в полі	Для обличчя на телефоні - від 0,73 до 0,93. Для обличчя людини перед

	зору камери інших об'єктів - <i>так, телефон з фотографією людини на відстані телефону від камери 20-50 см.</i>	камерою $\approx 0,66$; при закритті телефоном невеликого фрагменту обличчя $\approx 0,55$
5	Наявність окулярів - <i>ні</i> . Місцезнаходження обличчя - в центрі, дивиться прямо в камеру. Відстань обличчя від камери - 80-100 см (відстань витягнутої руки). Якість освітлення – <i>вночі</i> , освітлене приміщення. Наявність в полі зору камери інших об'єктів – <i>ні</i> .	Від 0,76 до 0,90
6	Наявність окулярів - <i>так</i> . Місцезнаходження обличчя - в центрі, дивиться прямо в камеру. Відстань обличчя від камери - 80-100 см (відстань витягнутої руки). Якість освітлення – <i>вдень</i> , освітлене приміщення. Наявність на обличчі медичної маски - <i>так</i> .	Обличчя не виявлено
7	Наявність окулярів - <i>ні</i> . Місцезнаходження обличчя - в центрі, дивиться прямо в камеру. Відстань обличчя від камери - 80-100 см (відстань витягнутої руки). Якість освітлення – <i>вдень</i> , освітлене приміщення. Наявність на обличчі медичної маски - <i>так</i> .	Обличчя не виявлено
8	Наявність окулярів - <i>так</i> . Місцезнаходження обличчя - в центрі, дивиться прямо в камеру. Відстань обличчя від камери - 80-100 см (відстань витягнутої руки). Якість освітлення – <i>вдень</i> , освітлене приміщення. <i>Обличчя закрите рукою на 50 %.</i>	Обличчя не виявлено
9	Наявність окулярів - <i>так</i> . Місцезнаходження обличчя - в центрі, дивиться прямо в камеру. Відстань обличчя від камери - <i>100-150 см</i> . Якість освітлення – <i>вдень</i> , освітлене приміщення.	Від 0,55 до 0,7
10	Наявність окулярів - <i>так</i> . Місцезнаходження обличчя - в центрі, <i>дивиться в різні боки, обличчя повернуто в різні боки</i> . Відстань обличчя від камери - 80-100 см (відстань витягнутої руки). Якість освітлення – <i>вдень</i> , освітлене приміщення.	Обличчя виявляється тільки \approx в 25% випадків з оцінкою 0,5-0,59
11	Наявність окулярів - <i>ні</i> . Місцезнаходження обличчя - в центрі, <i>дивиться в різні боки, обличчя повернуто в різні боки</i> . Відстань обличчя від камери - 80-100 см (відстань витягнутої руки). Якість освітлення – <i>вдень</i> , освітлене приміщення.	Обличчя виявляється тільки \approx в 25% випадків з оцінкою 0,6-0,67
12	Наявність окулярів - <i>так</i> . Місцезнаходження обличчя - в центрі, дивиться прямо в камеру. <i>Відстань обличчя від камери – змінюється для визначення допустимого діапазону</i> . Якість освітлення – <i>вдень</i> , освітлене приміщення.	Обличчя виявляється при відстані від 25-30 см до 3 метрів
13	Наявність окулярів - <i>так</i> . Місцезнаходження обличчя - в центрі, дивиться прямо в камеру. Відстань обличчя від камери - 80-100 см (відстань витягнутої руки). Якість освітлення – <i>вдень</i> , освітлене приміщення. <i>Пристрій, на якому функціонує система – смартфон</i> .	Від 0,83 до 0,95

Розглянемо деякі експерименти більш детально.

В перших двох експериментах визначався вплив наявності на обличчі окулярів на ефек-

тивність застосування запропонованої технології для вирішення обраної задачі. Всі інші умови, як можна побачити в таблиці 1, в цих двох експериментах однакові.

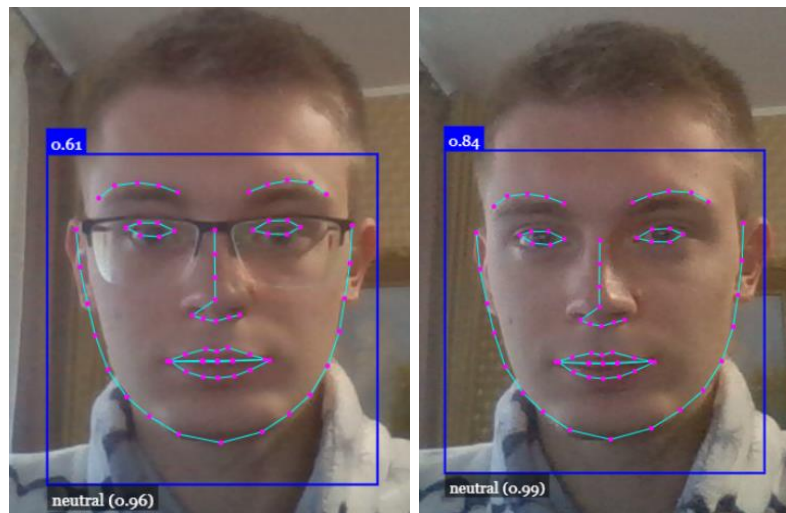


Рис. 4 Вплив наявності на обличчі окулярів на результат виділення обличчя в відеопотоці

На основі результатів експериментів можна сказати, що в обох випадках система змогла виділити в відеопотоці зображення обличчя, але оцінка впевненості мережі знизилась при наявності окулярів (з 0,79-0,92 до 0,61-0,79). Зниження оцінки пояснюється тим фактом, що наявність окулярів спотворює інформацію по деяким характерним точкам обличчя, а саме по точкам, які виділяють очі. Але, як можна побачити на рисунку 4, це спотворення не є суттєвим і кількість областей з спотворенням інформації теж не є великою, тому виділення обличчя відбувається і при наявності окулярів. Чого не можна

сказати у випадках наявності на обличчі медичної маски (експеримент №7) або перекриття частини обличчя рукою (експеримент №8).

В цих випадках відсутній доступ до значної частини характерних точок обличчя і тому виділення взагалі не відбувається.

В третьому експерименті визначався вплив наявності в полі зору камери інших об'єктів, в тому числі і телефону з маленькою фотографією людини, на ефективність застосування запропонованої технології для вирішення обраної задачі.

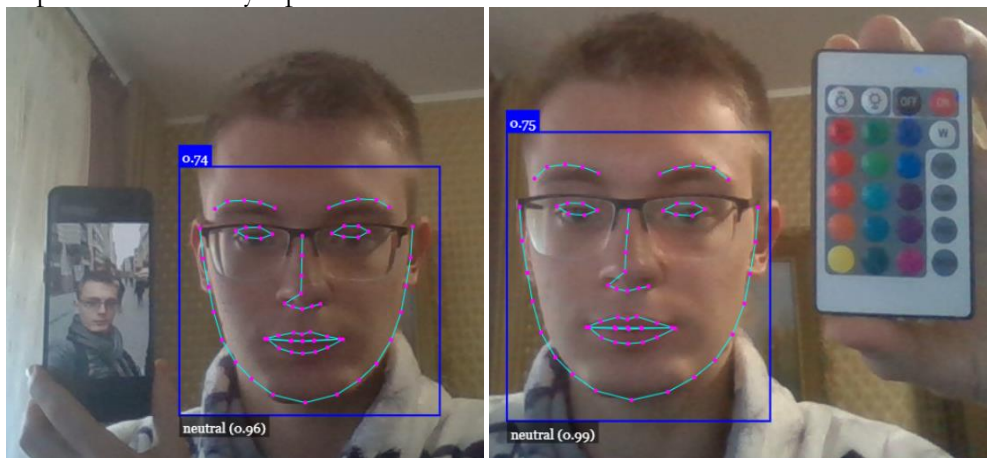


Рис. 5 Вплив наявності в полі зору камери інших об'єктів на результат виділення обличчя в відеопотоці

На основі результатів експериментів можна сказати, що наявність в полі зору камери інших об'єктів не завадило виділенню обличчя, оцінка впевненості мережі не змінилась, а жоден інший об'єкт (навіть фотографію), крім обличчя людини перед камерою, не виявлено. В четвертому експерименті

визначався вплив наявності в полі зору камери телефону з фотографією людини на відстані телефону від камери в діапазоні 20-50 см на ефективність застосування запропонованої технології для вирішення обраної задачі. На основі результатів експериментів можна сказати, що наявність в полі зору

камери телефону з фотографією людини на відстані телефону від камери 20-50 см не завадило виділенню обличчя, оцінка впевненості мережі

принципово не змінилась, але обличчя на фотографії теж було виділено і оцінка впевненості мережі для цього виявлення має достатньо високі значення.

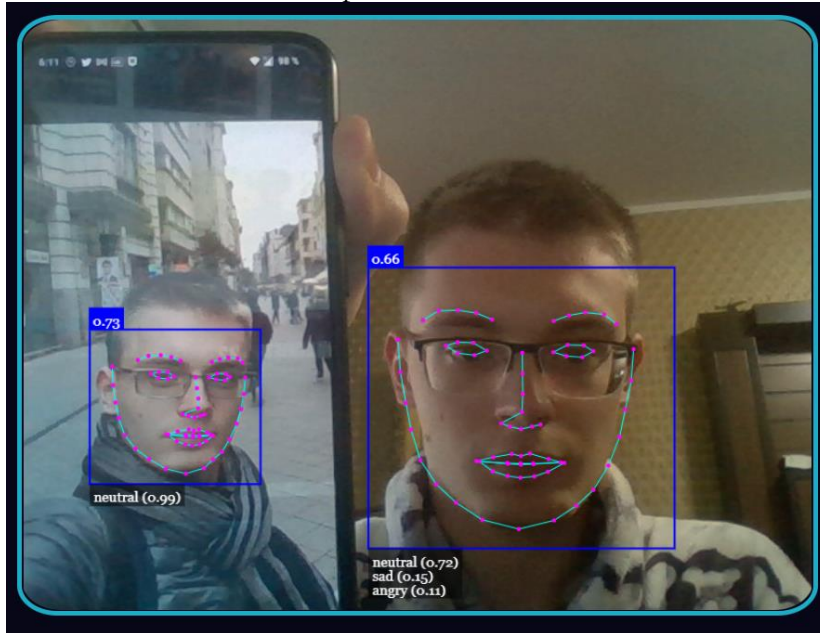


Рис. 6 Вплив наявності в полі зору камери телефону з фотографією людини на відстані телефону від камери 20-50 см на результат виділення обличчя в відеопотоці

Необхідно нагадати, що на відміну від цього експерименту, в попередньому експерименті обличчя не було виявлено на фотографії. Цей факт можна пояснити різною відстанню обличчя до камери і відповідно різним розміром зображення обличчя. Тобто в попередньому експерименті, на відміну від даного експерименту, ці значення були не припустимі для виконання розпізнавання. Крім того, результати даного експерименту доводять, що за допомогою запропонованої технології можна

виконувати виділення обличчя не тільки в відеопотоці в режимі онлайн, а й на статичних фотографіях. В залежності від того для вирішення якої задачі виконується виділення обличчя цей факт може бути перевагою або недоліком.

В десятому експерименті визначався вплив наявності фактів повороту обличчя в різні сторони або погляду в різні боки на ефективність застосування запропонованої технології для вирішення обраної задачі.

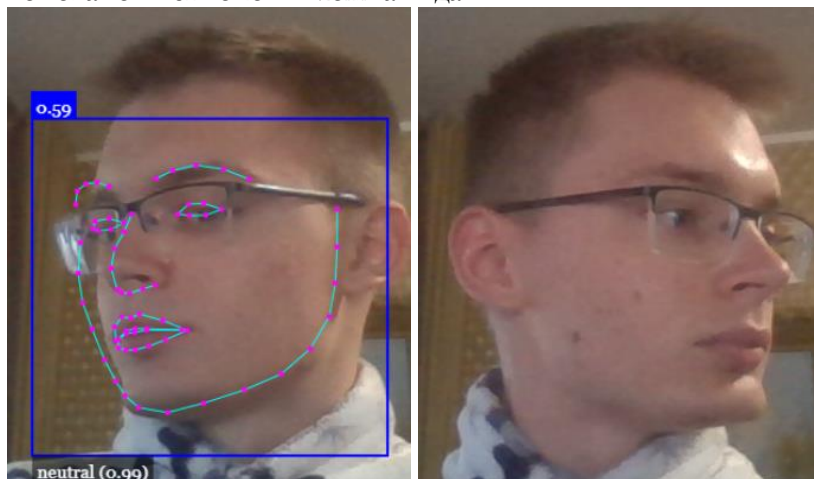


Рис. 7 Вплив наявності фактів повороту обличчя в різні сторони або погляду в різні боки на результат виділення обличчя в відеопотоці

На основі результатів експериментів можна сказати, що наявність фактів повороту обличчя в різні сторони або погляду в різні боки в більшості випадків унеможливає виділення обличчя в відеопотоці, тобто тільки приблизно в 25% випадків виділення відбулось. Цей факт можна пояснити тим, що при повороті або нахилі обличчя деякі характерні точки обличчя

зникають з поля зору камери і якщо кількість «втрачених» точок занадто велика, тоді система не може розпізнати наявність зображення саме обличчя людини.

В тринадцятому експерименті визначалась можливість застосування запропонованої технології для вирішення обраної задачі не тільки на комп'ютері, а й на смартфоні.

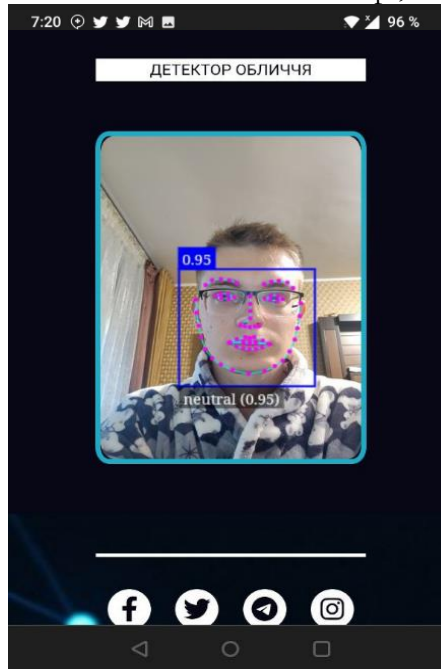


Рис. 8 Застосування обраної технології виділення обличчя в відеопотоці на смартфоні

На основі результатів експериментів можна сказати, що запропонована технологія працює не тільки на комп'ютері, а й на смартфоні. Крім того треба зазначити, що в цьому випадку оцінка впевненості мережі зростає (з 0,61-0,79 до 0,83-0,95). Однією з причин цього факту може бути різниця в технічних параметрах камер, які використовуються на комп'ютері і на смартфоні. Оцінимо швидкість та ресурсосемність технології, що аналізується, при вирішення поставленої задачі. Для цього повторімо

вище згадані експерименти вимірюючи навантаження на обчислювальну систему.

Технологічні параметри комп'ютера Ноутбук 13,3" IPS 3840x2160 Intel Core i7-10510U 1,8 ГГц ОЗП: 16 ГБ NVIDIA GeForce MX350, 2 ГБ SSD: 1000 ГБ ОС: Windows 10 Home. Для оцінки продуктивності технології обрано середню по класу обчислювальну систему яка є найбільш розповсюджена в студентському середовищі.

Таблиця 2

Параметри зайнятості системи

	ЦП	Пам'ять	Графічний процесор
0	0.0-3.5%	250-530 МБ	0.1-8%
1	9.3-15%	1100 МБ	67-78%
2	12-20%	1700 -1800 МБ	76-90%
3	12-20%	2600-2700 МБ	79-90%
4	12-20%	3400-3700 МБ	73-100%
5	10-30%	4300-4700 МБ	73-100%

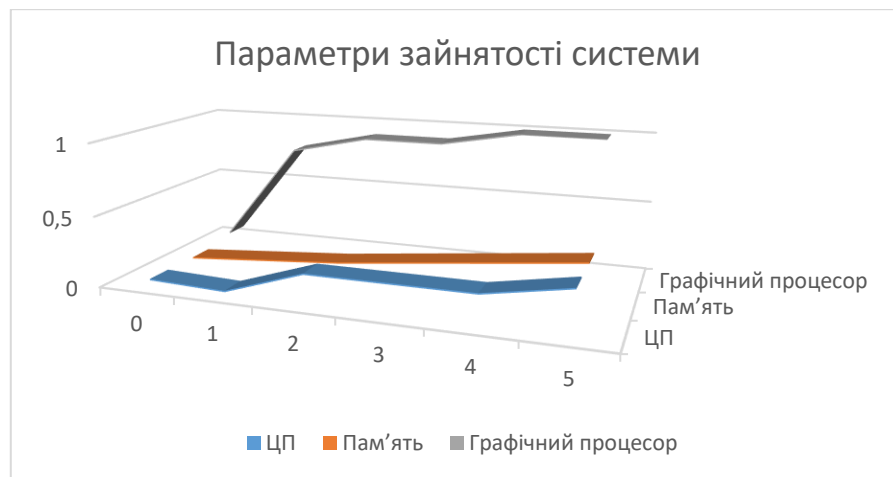


Рис. 9 Графічна інтерпретація межових значень параметрів зайнятості

Під час експерименту запускався браузер робилась фіксація параметрів зайнятості системи, потім послідовно із браузера запускалась перша, друга, третя, четверта та п'ята копія програми при досягненні ефективності технології, яка визначалась впевненістю мережі, фіксувались параметри. Результати наведені в таблиці 2.

Для зручності аналізу зробимо графічну інтерпретацію межових значень параметрів зайнятості (рис. 9).

Графік зайнятості графічного процесора при підключенні п'ятої копії програми досягає насиченості відповідно для реалізації технології підключається центральний процесор. Це підтверджується зростанням значення його зайнятості. Таким чином середні обчислювальні витрати на підтримку технології приблизно 10% часу для центрального процесора з частотою 1,8 ГГц або 80% часу для графічного процесора NVIDIA GeForce MX350, 2 ГБ при достатньому обсягу оперативної пам'яті, 600-800 МБ на один процес. Аналіз впливу довгострокової пам'яті не проводився але застосування SSD драйву в цілому показало позитивні результати. Вимоги щодо швидкості та ресурсуємності технології при вирішенні поставленої задачі знаходяться в межах продуктивності обчислювальної системою середньої потужності, що цілком задовільно.

Перейдемо до загальних висновків які є основою для визначення умов застосування технології в процесі роботи та навчання.

ВИСНОВКИ

На основі результатів проведених експериментів можна зазначити наступне.

1) Для виявлення обличчя в відеопотоці необхідною умовою є відкритість для об'єктива камери всіх (майже всіх) характерних точок обличчя людини. Якщо значна частина обличчя чимось прикрита або обличчя суттєво повернуто або нахилено (при цьому деякі характерні точки обличчя не знаходяться в полі зору камери), то виділення обличчя неможливе (майже неможливо).

2) Наявність на обличчі окулярів знижує оцінку впевненості мережі при виявленні обличчя, але виявлення при цьому відбувається.

3) Запропонована система виявляє обличчя в відеопотоці при умові знаходження обличчя людини на відстані від 25 см до 3 м (бажано менше) від камери.

4) Якщо у кімнаті не дуже добре освітлення (темно), але зображення передається чітко і відстань до камери в межах 80-100 см, тоді відповідний недолік освітлення суттєво не впливає на оцінку впевненості мережі при виявленні обличчя. Якщо відстань до камери збільшується, тоді збільшується негативний вплив недоліка освітлення.

5) Запропонована система може функціонувати не тільки на комп'ютері, а й на смартфоні, збільшуючи тим самим можливість застосування.

6) При наявності на людині медичної маски відсутня можливість виділення на зображенні частини характерних точок обличчя і в зв'язку з цим система не фіксує наявність обличчя людини перед відеокамерою. При вирішенні деяких прикладних задач це є суттєвим недоліком обраної технології. Наприклад, в часи пандемій майже всі носять медичні маски і якщо цей факт буде заважати виявити

людину біля секретного об'єкту, що охороняється, то це може мати доволі негативні наслідки. Але при вирішенні поставленої в даній роботі задачі ці обмеження запропонованої системи не є недоліком. Якщо людина працює або навчається віддалено, то вона скоріш за все знаходиться вдома, а вдома, в звичайних ситуаціях, медичну маску не носять і відповідно зазначене обмеження системи не є принциповим.

7) Запропонована система виявляє в відеопотоці зображення обличчя не тільки людини, яка фізично знаходиться в даний момент перед об'єктивом відеокамери, але й зображення обличчя на фотографії. При вирішенні багатьох прикладних задач цей факт не є недоліком, а й часто навпаки є перевагою, але при виконанні саме моніторингу присутності людини на робочому місці, тобто перед комп'ютером, це є неприпустимим. Тому в подальшому, для усунення даного недоліку, є сенс додати в запропоновану систему функцію періодичної перевірки наявності хоча б мінімальної зміни положення обличчя в кадрі, тим самим перевіряючи, що перед комп'ютером дійсно знаходиться людина, а не її фото. Вищезазначене доводить доцільність використання обраної комбінації нейронних мереж для вирішення задачі виділення, в режимі онлайн, в відеопотоці зображення обличчя людини, для перевірки наявності обличчя людини перед відеокамерою (веб-камерою), але з врахуванням умов.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Vysotska Olena, Davydenko Anatolii, «Dodatkowe uwierzytelnianie uprawnionych użytkowników według geometrii ich twarzy w systemach informatycznych wykorzystujących technologie single sign-on», XI edycja Konferencji «Inżynier XXI wieku», Part of the Monograph «Przetwarzanie, transmisja i bezpieczeństwo informacji» (10 grudnia 2021), Bielsko – Biala, Polska, 2021, S. 257-268. DOI: <https://doi.org/10.53052/9788366249868.27>.
- [2] Zoubida L., Adjoudj R., «Integrating Face and the Both Irises for Personal Authentication», International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA), 9(2017)3, 8-17. DOI: 10.5815/ijisa.2017.03.02
- [3] Muthana H. H., Samah K. A., «Biometric System Design for Iris Recognition Using Intelligent Algorithms», International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS), 10(2018)3, 9-16. DOI: 10.5815/ijmeecs.2018.03.02.
- [4] Pham M.T. et al., «Fast polygonal integration and its application in extending haar-like features to improve object detection», 2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2010, pp. 942–949.
- [5] Huang C.-C., Tsai C.-Y., Yang H.-C., «An Extended Set of Haar-like Features for Bird Detection Based on AdaBoost», Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition SE – 17, Springer Berlin Heidelberg, 260(2011), 160–169.
- [6] Messom C.H., Barczak A.L.C., «Fast and Efficient Rotated Haar-like Features Using Rotated Integral Images», Australian Conference on Robotics and Automation (ACRA2006), 2006, pp. 1-6.
- [7] Lienhart R., Maydt J., «An extended set of Haar-like features for rapid object detection», ICIP02, 1(2002), pp. 900–903.
- [8] Christian Rathgeb, Ruben Tolosana, Ruben Vera-Rodriguez, Christoph Busch, «Handbook of Digital Face Manipulation and Detection: From DeepFakes to Morphing Attacks», Advances in Computer Vision and Pattern Recognition, 1st ed. 2022 Edition, англ., pp. 27-43.
- [9] FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering (англ.) [Електронний ресурс]. Режим доступу - https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2015/app/1A_089.pdf.
- [10] MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications (англ.) [Електронний ресурс]. Режим доступу - <https://arxiv.org/pdf/1704.04861.pdf>.
- [11] Convolutional Neural Networks (англ.) [Електронний ресурс]. Режим доступу - <https://www.coursera.org/learn/convolutional-neural-networks>.
- [12] MobileNet (англ.) [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://www.coursera.org/lecture/convolutional-neural-networks/mobilenet-B1kPZ>.
- [13] Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegary, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, Alexander C. Berg, «SSD: Single Shot MultiBox Detector» [Електронний ресурс]. Режим доступу -<https://youtu.be/P8e-G-Mhx4k>.
- [14] SSD: Single Shot MultiBox Detector (англ.) [Електронний ресурс]. Режим доступу - https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-46448-0_2.
- [15] SSD object detection: Single Shot MultiBox Detector for real-time processing (англ.) [Електронний ресурс]. Режим доступу - <https://jonathan-hui.medium.com/ssd-object-detection-single-shot-multibox-detector-for-real-time-processing-9bd8deac0e06>.

HIGHLIGHTING A PERSON'S FACE IN A VIDEO STREAM TO MONITOR EMPLOYEES' COMPLIANCE WITH THE SECURITY STATUS DURING WORK AND TRAINING

The study is devoted to the problem of highlighting a person's face in a video stream, the areas of application of the facial discharge function are considered. The requirements for the mechanisms for solving this problem are analyzed in case of using them for monitoring, online, human presence in the workplace, in front of a computer. The principles by which the selection of objects (a person's face) in the video stream is indicated. As a mechanism for solving this problem, it is proposed to use MobileSSD technology, which is a combination of MobileNetV2 and SSD convolutional neural networks. The principle of actions of selected neural networks and the reasons for their election are analyzed. To study the feasibility of using the proposed technology to solve the problem, software was developed on the basis of the proposed technology and a number of experiments were conducted with its help. Based on the results of the experiments, conclusions were drawn regarding the feasibility of using the proposed technology to solve the problem, the advantages and disadvantages are formulated, the conditions for the effective use of this technology and these recommendations for further improvement of the proposed mechanism for solving the problem of allocating a person's face in a video stream for monitoring, online, the presence of a person in front of a computer are indicated.

Keywords: security, facial selection, object recognition, monitoring, neural networks, MobileSSD.

Висоцька Олена Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютеризованих систем захисту інформації Національного авіаційного університету.

Vysotska Olena, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Computerized Information Security Systems of the National Aviation University.
E-mail: Lek_Vys@ukr.net.
Orcid ID: 0000-0002-9543-1385.

Давиденко Анатолій Миколайович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу математичного і економетричного моделювання Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України.

Davydenko Anatolii, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher of Department of Mathematical and Econometric Modeling of the G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of NAS of Ukraine.

E-mail: davydenko@ipme.kiev.ua.

Orcid ID: 0000-0001-6466-1690.

Христевиц Владислав Богданович, студент кафедри комп'ютеризованих систем захисту інформації Національного авіаційного університету.

Khrystevych Vladyslav, student of Department of Computerized Information Security Systems of the National Aviation University.

E-mail: mgcmasterchief@gmail.com.

Orcid ID: 0000-0001-5010-3575.