
СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

УДК 004.855

О.К. КОЛЕСНИЦЬКИЙ, Є.В. ЯНКОВСЬКИЙ, І.К. ДЕНИСОВ, І.Р. АРСЕНЮК

ВИЯВЛЕННЯ ОЗБРОЄНИХ ЛЮДЕЙ У ВІДЕОПОТОЦІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Вінницький національний технічний університет

21021, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, E-mail: kolesnytskiy@vntu.edu.ua

Анотація. Запропоновано інформаційну технологію виявлення озброєних людей та досліджено її програмну реалізацію. Для виявлення об'єктів в реальному часі використовувалася згорткова нейронна мережа YOLO. Для розробки нейронної мережі було використано мову програмування Python та бібліотеку PyTorch. Створено програму, призначену для виявлення озброєних людей у відеопотоці, функціональні можливості якої дозволяють класифікувати тип розпізнаної зброї.

Ключові слова: виявлення, відеопотік, зброя, згорткова нейронна мережа.

Abstract. Information technology for detecting armed people is proposed and its software implementation is investigated. The YOLO convolution neural network was used to detect objects in real time. The Python programming language and the PyTorch library were used to develop the neural network. A program designed to detect armed people in a video stream has been created, the functionality of which allows classifying the type of recognized weapon.

Keywords: detection, video stream, weapon, convolution neural network .

DOI: 10.31649/1681-7893-2023-46-2-76-83

ВСТУП

До 2022 року Україна була єдиною європейською країною в якій було відсутнє законодавче регулювання обігу вогнепальної зброї серед цивільного населення через політичні та суспільні невизначеності. Через теперішню ситуацію, що склалась на території України, серед цивільного населення збільшилось поширення вогнепальної зброї. Відповідно до бази даних органів поліції, станом на 1 жовтня 2021 року на території нашої держави зареєстровано 707 117 власників вогнепальної зброї, які мають в особистому користуванні 790 055 одиниць мисливської гладкоствольної та 170 195 одиниць мисливської нарізної і комбінованої зброї. У власності громадян також перебувають майже 220 000 одиниць травматичних пістолетів і револьверів. Загальна кількість зброї, пристроїв, газових пістолетів і револьверів становить 1 225 353 одиниці [1]. А в теперішній ситуації дані цифри можуть бути значно вищими. Окремою проблемою є нелегальний обіг вогнепальної зброї, що в умовах війни вимагає особливого контролю. Це створює проблеми виникнення великої кількості як матеріальних, так і людських втрат, тому виникає необхідність контролю за правилами носіння вогнепальної зброї. Найчастіше це відбувається за допомогою камер відеоспостереження. Чим більше камер встановлюється, тим краще відбувається моніторинг. Однак, застосування камер без спеціальних інтелектуальних систем обробки відео не забезпечує достатню ефективність виявлення зброї. Тому для підвищення ефективності моніторингу потрібні системи штучного інтелекту для автоматизованої обробки відео з камер спостереження з метою виявлення зброї. Загальний алгоритм такий – система штучного інтелекту отримує відео з камери спостереження, перевіряє відео на наявність зброї. Якщо зброя наявна, то вона виділяється і виводиться оператору для прийняття відповідного рішення.

© О.К. КОЛЕСНИЦЬКИЙ, Є.В. ЯНКОВСЬКИЙ, І.К. ДЕНИСОВ, І.Р. АРСЕНЮК, 2023

Мета статті - підвищення достовірності виявлення зброї у відеопотоці, отриманому з камери відеоспостереження, та розширення функціональних можливостей класифікації виду виявленої зброї за рахунок використання згорткових нейронних мереж.

1. СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЯВЛЕННЯ ОЗБРОЄНИХ ЛЮДЕЙ У ВІДЕОПОТОЦІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Вхідними даними інформаційної технології виявлення зброї є відеопотік, отриманий з камери відеоспостереження. Вхідний потік розбивається на послідовність кадрів, кожний з них подається на вхід нейронної мережі. Нейронна мережа виконує задачу виявлення на зображенні схожих на зброю об'єктів і визначає клас зброї, до якої належить об'єкт. Виявлений об'єкт окреслюється прямокутником відповідного розміру і підписується відповідним класом зброї (пістолет, гвинтівка та ін.). Для виконання поставленої задачі найкраще підходить згорткова нейронна мережа [2]. Особливістю даної мережі є застосування спеціальної операції – згортки [2], дана операція дозволяє зменшити кількість інформації, що зберігається в пам'яті. За рахунок цього мережа краще справляється із зображеннями високої роздільної здатності і виділяє опорні ознаки зображення, такі як ребра, контури або грані. Результати виявлення виводяться на екран оператора і він на основі отриманих результатів приймає відповідне рішення. Таким чином, інформаційна технологія виявлення озброєних людей у відеопотоці складається з таких етапів:

1. Розбиття відеопотоку на кадри;
2. Подання кадрів на вхід нейронної мережі;
3. Розпізнавання нейронною мережею об'єктів на зображенні, схожих на зброю;
4. Виділення кожного розпізнаного об'єкта прямокутником відповідного розміру;
5. Підпис виділеного об'єкта назвою виду зброї (пістолет, гвинтівка та ін.);
6. Виведення результатів виявлення на екран оператора для прийняття відповідного рішення.

Як аналог для порівняння роботи інформаційної технології вибрано програмну реалізацію виявлення озброєних людей Weapon Detection [3], що використовує згорткову нейронну мережу YOLOv5 для виявлення двох класів зброї: pistol (пістолет) та rifle (гвинтівка).

2. АРХІТЕКТУРА ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Оскільки поставлена задача передбачає виявлення озброєних людей у відеопотоці, необхідно обрати таку архітектуру нейронної мережі, що підтримує можливість роботи в режимі реального часу.

В процесі дослідження були розглянуті такі архітектури згорткових нейронних мереж: Faster R-CNN, RetinaNet, EfficientDet, CenterNet та YOLO. В результаті було обрано мережу YOLO, оскільки вона забезпечує оптимальне співвідношення між швидкістю та точністю класифікації об'єктів, також вона є простою в розумінні, що не створить проблем в її побудові та навчанні.

Розроблена модель згорткової нейронної мережі складається з трьох частин: хребет (backbone), шия (neck) і голова (head).

Хребет являє собою модифіковану версію архітектури CSPDarknet53. Вона складається з 53 згорткових шарів і використовує міжступеневі часткові з'єднання для покращення потоку інформації між різними шарами [4]. Замість модуля C3, що використовувався в мережі аналога, вирішено використати модуль C2f. Даний модуль інтегрує дві паралельні гілки градієнтного потоку за рахунок більшої кількості пропускових з'єднань і додаткових операцій розбиття, що забезпечує більш надійний потік градієнтної інформації [5]. Хребетна частина мережі закінчується модулем SPPF (Spatial Pyramid Pooling Fusion) для об'єднання вхідних карт ознак у карту фіксованого розміру для адаптивного виводу. Порівняно зі структурою просторового пірамідального об'єднання (SPP), що використовувалась в мережі аналога, SPPF зменшує обчислювальні зусилля і має меншу затримку завдяки послідовному з'єднанню трьох максимальних шарів об'єднання [6].

Шийна частина використовує мультимасштабний модуль об'єднання, представлений комбінацією FPN (мережа піраміди ознак) і PAN (мережа агрегації шляхів). Завдяки двонаправленому об'єднанню низькорівневих ознак і високорівневих ознак, це посилює низькорівневі ознаки з меншими рецептивними полями і покращує здатність виявлення цілей різного масштабу. Рівень виявлення прогнозує положення цілі, категорії, оцінки впевненості та іншу інформацію.

Головна частина використовує безякірний підхід і замість зіставлення IOU або призначення односторонньої шкали, використовує призначувач завдань для зіставлення позитивних і негативних зразків. Зрештою, вона виконує багатомасштабні прогнози, використовуючи 8-кратну, 16-кратну і 32-кратну дискретизацію щоб досягти точних прогнозів для малих, середніх і великих цілей. Загальна структура згорткової нейронної мережі показана на рисунку 1.

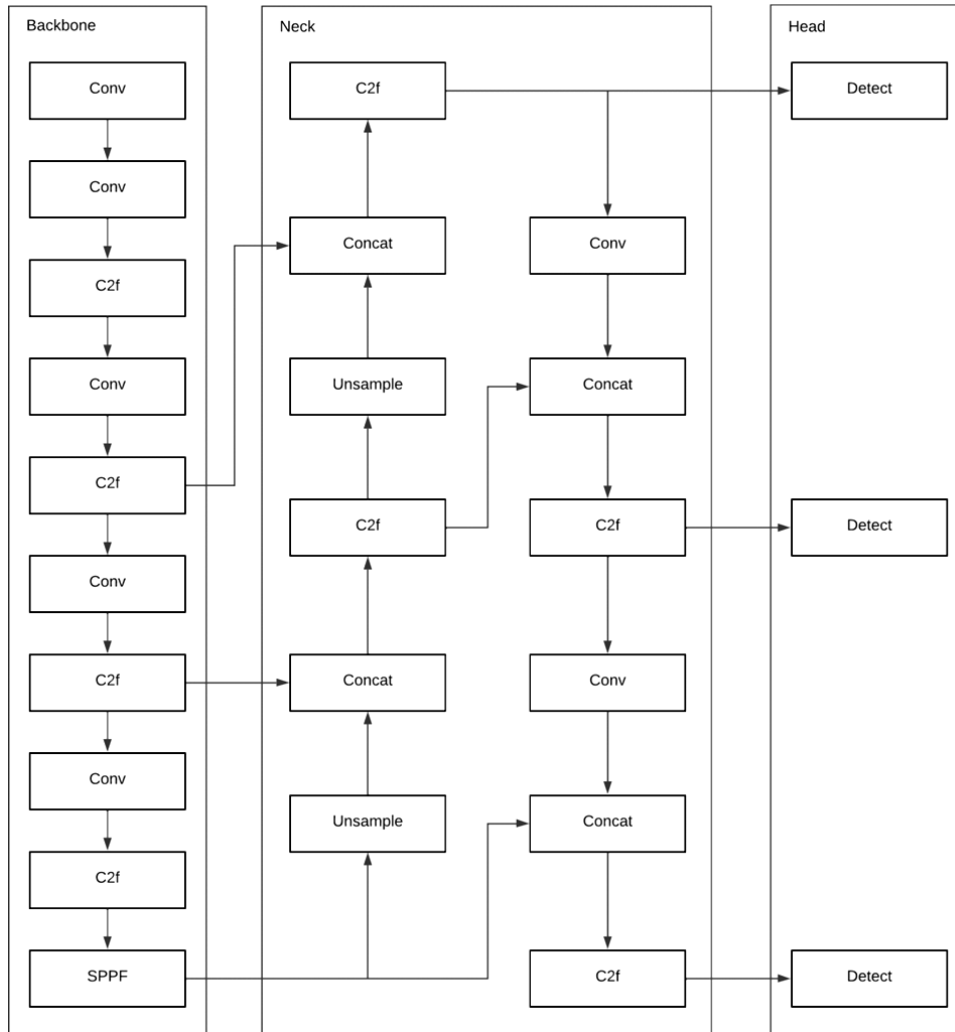


Рисунок 1 – Архітектура згорткової нейронної мережі

Розроблена модель згорткової нейронної мережі повинна забезпечувати кращі показники точності виявлення озброєних людей при збільшенні кількості класів для виявлення в порівнянні з вибраним аналогом.

3. СТВОРЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО НАБОРУ ДАНИХ

Для забезпечення якісного навчання нейронної мережі, важливим є створення навчального набору даних. Також для підвищення функціональних можливостей вирішено розбити навчальний набір даних на різні класи для визначення типу розпізнаної зброї.

Навчальний набір був сформований злиттям наборів даних Pistol Detection [7], Weapon Detection Dataset [8] та Open Images Dataset (OID). Додатково зображення для навчального набору було взято з відкритих Інтернет джерел iStockPhoto, Pixabay, Unsplash та Shutterstock. Сформований набір зображень розбитий на класи: pistol (пістолет), rifle (автомат та гвинтівка), shotgun (дробовик) та machinegun (кулемет), що дозволить визначити яким видом зброї людина озброєна.

Для розмітки зображень було використано платформу goboflow, що забезпечує просту та ефективну розмітку зображень з їх розбиттям на навчальні та тестові збірки. Набір зображень під час

навчання мережі вивантажувався через roboflow API в форматі TXT, сумісному для обраної вище нейронної мережі.

Кінцевий набір даних містить 4902 зображення в форматі .jpg, з них 3340 – навчальні, 762 – валідаційні, 800 – тестові. Розбиття кінцевого набору даних на класи показано в таблиці 1.

Таблиця 1

Розбиття кінцевого набору даних на класи

Клас	Вибірка	К-сть зображень
Pistol	Навчальна	1105
	Валідаційна	243
	Тестова	200
Rifle	Навчальна	1152
	Валідаційна	233
	Тестова	200
Shotgun	Навчальна	569
	Валідаційна	167
	Тестова	200
Machinegun	Навчальна	620
	Валідаційна	144
	Тестова	200

Всі зображення в кінцевому наборі приведені до одного розміру – 640x640, також додатково проведено аугментацію навчальних зображень: перевертання, обертання, яскравість та експозиція. Виконані кроки збільшили кількість навчальних зображень до 10020, додавши доповнення до існуючих зображень, що покращило якість навчання нейронної мережі.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

Для запропонованої інформаційної технології виявлення озброєних людей у відеопотоці з використанням згорткових нейромереж було створено її програмну реалізацію. Для тестування інформаційної технології було використано 200 зображень для класу «Pistol», 200 зображень для класу «Rifle», 200 зображень для класу «Shotgun» та 200 зображень для класу «Machinegun». Приклад виявлення озброєних людей показано на рисунках 2 – 5.



Рисунок 2 – Приклад виявлення класу «Pistol»



Рисунок 3 – Приклад виявлення класу «Rifle»



Рисунок 4 – Приклад виявлення класу «Shotgun»



Рисунок 5 – Приклад виявлення класу «Machinegun»

Результати проведеного тестування інформаційної технології виявлення озброєних людей наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати тестування інформаційної технології виявлення озброєних людей

	pistol	rifle	shotgun	machinegun
pistol	196	0	2	5
rifle	2	195	3	3
shotgun	2	2	194	2
machinegun	0	3	1	192

Відповідно до отриманих результатів тестування було розраховано такі показники якості для окремих класів: достовірність, влучність та повнота. Показники якості окремих класів наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Показники якості окремих класів

	pistol	rifle	shotgun	machinegun
Достовірність	98,63%	98,4%	98,5%	98,5%
Влучність	98%	97,5%	97%	96%
Повнота	96,6%	96,1	97%	97,9%

Відповідно до отриманих показників якості, було знайдено середнє арифметичне значення показників якості та порівняно отримані результати з показниками якості аналога. Показники якості інформаційної технології та аналога наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Показники якості інформаційної технології

	Аналог (Weapon Detection)	Розроблена інформаційна технологія
Достовірність	93,7%	98,51%
Влучність	94,1%	97,13%
Повнота	93,2%	96,9%

Як видно з таблиці 4, розроблена інформаційна технологія має високі показники якості виявлення озброєних людей і підходить для практичного застосування і може бути покращена у подальшому. Також достовірність виявлення озброєних людей в розробленій інформаційній технології вища на 4,81% (98,51% проти 93,7%), влучність вища на 3,03% (97,13% проти 94,1%), а повнота вища на 3,7% (96,9% проти 93,2%) в порівнянні з аналогом.

У подальшому планується використовувати для виявлення озброєних людей у відеопотоці спайкінгові нейронні мережі [9]. Вони більш пристосовані для обробки динамічних зображень, ніж класичні нейронні мережі, до яких відносяться і згорткові. Крім того, спайкінгові нейронні мережі мають гарні перспективи для апаратної реалізації [10] та найкраще підходять для побудови операційного ядра нейрокомп'ютерів [11].

ВИСНОВКИ

У результаті даного дослідження було виконано розробку та тестування інформаційної технології виявлення озброєних людей у відеопотоці з використанням згорткових нейромереж. Створено програму, призначену для виявлення озброєних людей у відеопотоці, функціональні можливості якої дозволяють класифікувати тип розпізнаної зброї. Відповідно до результатів тестування, програма має такі показники якості: достовірність 98,51%, влучність 97,13% та повноту 96,9%. Результати вказують на можливість практичного використання з подальшим покращенням програми в майбутньому.

Для покращення програми можна збільшити кількість класів зброї для розпізнавання, також можливе підвищення якості виявлення зброї шляхом застосування більш точних моделей згорткових нейронних мереж. Також можна вдосконалити показники якості для окремих класів виявлення шляхом вдосконалення навчального набору даних за рахунок додавання нових зображень та вдосконалення процесу їх розмітки.

В загальному, можна констатувати, що основну мету дослідження було досягнуто, а саме: було підтверджено можливість застосування згорткових нейронних мереж для виявлення озброєних людей у відеопотоках.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. МВС докладе максимальних зусиль задля напрацювання якісної законодавчої бази у сфері обігу зброї та її ефективного правозастосування - Богдан Драп'ятий [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://mvs.gov.ua/uk/press-center/news/mvs-oklade-maksimalnix-zusil-zadlya-napracyuvannya-yakisnoyi-zakonodavcovi-bazi-u-sferi-obigu-zbrovi-ta-yivi-efektivnogo-pravozastosuvannya-bogdan-drapyatii>.
2. Згорткова нейронна мережа – просте пояснення CNN та її застосування [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://evergreens.com.ua/ua/articles/cnn.html>.
3. Weapon Detection [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://github.com/Manish8798/Weapon-Detection-with-yolov3>
4. Understanding YOLOv8 Architecture, Applications & Features [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.labellerr.com/blog/understanding-yolov8-architecture-applications-features/>.
5. Improving Detection Capabilities of YOLOv8-n for Small Objects in Remote Sensing Imagery: Towards Better Precision with Simplified Model Complexity [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/371845645_Improving_Detection_Capabilities_of_YOLOv8-n_for_Small_Objects_in_Remote_Sensing_Imagery_Towards_Better_Precision_with_Simplified_Model_Complexity.
6. UAV-YOLOv8: A Small-Object-Detection Model Based on Improved YOLOv8 for UAV Aerial Photography Scenarios [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/16/7190>.
7. Pistol Detection [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kaggle.com/datasets/vaibhavtalekar/pistol-classification>.
8. Weapon Detection Dataset [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kaggle.com/datasets/snehilsanyal/weapon-detection-test>.
9. В.Ф.Бардаченко, О.К.Колесницький, С.А.Василицький. Перспективи застосування імпульсних нейронних мереж з таймерним представленням інформації для розпізнавання динамічних образів// УСiМ.-2003-№6.- С. 73-82.
10. О. К. Колесницький. Аналітичний огляд апаратних реалізацій спайкових нейронних мереж / О. К. Колесницький // Математичні машини і системи. – 2015. – №1, С.3-19. ISSN 1028-9763 [Електронний ресурс]. Режим доступу - http://www.immsp.kiev.ua/publications/articles/2015/2015_1/01_2015_Kolesnytskyu.pdf.
11. Neurocomputer architecture based on spiking neural network and its optoelectronic implementation / Oleh K. Kolesnytskyj; Vladislav V. Kutsman; Krzysztof Skorupski; Mukaddas Arshidinova, Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019, 1117609 (6 November 2019); doi: 10.1117/12.2536607.

REFERENCES

1. The Ministry of Internal Affairs will make maximum efforts to develop a high-quality legislative framework in the field of arms circulation and its effective law enforcement - Bohdan Drapyaty [Electronic resource] - Access mode: <https://mvs.gov.ua/uk/press-center/news/mvs-oklade-maksimalnix-zusil-zadlya-napracyuvannya-yakisnoyi-zakonodavcovi-bazi-u-sferi-obigu-zbrovi-ta-yivi-efektivnogo-pravozastosuvannya-bogdan-drapyatii>.
2. Convolutional Neural Network – A simple explanation of CNN and its application [Electronic resource]. - Access mode: <https://evergreens.com.ua/ua/articles/cnn.html>.
3. Weapon Detection [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://github.com/Manish8798/Weapon-Detection-with-yolov3>
4. Understanding YOLOv8 Architecture, Applications & Features [Electronic resource]. - Access mode: <https://arxiv.org/abs/1409.1556>.
5. Improving Detection Capabilities of YOLOv8-n for Small Objects in Remote Sensing Imagery: Towards Better Precision with Simplified Model Complexity [Electronic resource] / V. Sineglazov, O. Chumachenko. - Access mode: <https://sightmachine.com/>.
6. UAV-YOLOv8: A Small-Object-Detection Model Based on Improved YOLOv8 for UAV Aerial Photography Scenarios [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/16/7190>.

7. Pistol Detection [Electronic resource] - Access mode: <https://www.kaggle.com/datasets/vaibhavtalekar/pistol-classification>.
8. Weapon Detection Dataset [Electronic resource] - Access mode: <https://www.kaggle.com/datasets/snehilsanyal/weapon-detection-test>.
9. V.F. Bardachenko, O.K. Kolesnitsky, S.A. Vasiletsky. Prospects for the use of pulsed neural networks with timer representation of information for dynamic pattern recognition // USiM.-2003-№6.- P. 73-82.
10. O.K. Kolesnitsky. Analytical review of hardware realizations of spike neural networks / OK Kolesnitsky // Mathematical Machines and Systems. - 2015. - №1, P.3-19. ISSN 1028-9763 [Electronic resource]. Access Mode - http://www.immsp.kiev.ua/publications/articles/2015/2015_1/01_2015_Kolesnytsky.pdf
11. Neurocomputer architecture based on spiking neural network and its optoelectronic implementation / Oleh K. Kolesnytskyj; Vladislav V. Kutsman; Krzysztof Skorupski; Mukaddas Arshidinova, Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019, 1117609 (6 November 2019); doi: 10.1117 / 12.2536607

Надійшла до редакції :12.11.2023 р.

КОЛЕСНИЦЬКИЙ ОЛЕГ КОСТЯНТИНОВИЧ – доцент, канд. техн. наук, професор кафедри комп’ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, *e-mail:* kolesnytskyi@vntu.edu.ua

ЯНКОВСЬКИЙ ЄВГЕНІЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ – магістрант кафедри комп’ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, Україна, *e-mail:* yankovskuj72@gmail.com

ДЕНИСОВ ІГОР КОСТЯНТИНОВИЧ – викладач кафедри комп’ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, , *e-mail:* idenysov@vntu.edu.ua

АРСЕНІЮК ІГОР РОСТИСЛАВОВИЧ – доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри комп’ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, , *e-mail:* air@vntu.edu.ua

O.K. KOLESNYTSKY, E.V. YANKOVSKY, I.K. DENISOV, I.R. ARSENYUK

**DETECTION OF ARMED PEOPLE IN A VIDEO STREAM USING CONVOLUTIONAL
NEURAL NETWORKS**

Vinnitsia National Technical University