

Олександр ДЕРЕВЯНЧУК,

orcid.org/0000-0002-3749-9998

кандидат фізико-математичних наук,

доцент кафедри професійної та технологічної освіти і загальної фізики

Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича

(Чернівці, Україна) *o.v.derevyanchuk@chnu.edu.ua*

ФОРМУВАННЯ КЛЮЧОВИХ НАВИЧОК МАЙБУТНІХ МАГІСТРІВ З ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ ЗАСОБАМИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ МАСКИ НА ОБЛИЧЧІ ЛЮДИНИ

Використання систем розпізнавання зображень відіграє вагомую роль у процесі навчання магістрів із професійної освіти. Це надає їм широкі можливості для розвитку та поглиблення знань. Основна перевага вивчення таких систем полягає в тому, що це допомагає студентам зрозуміти та освоїти принципи функціонування технологій розпізнавання зображень, які є ключовим елементом їхньої інженерної освіти. У процесі навчання в студентів формуються навички, які є необхідними на сучасному ринку праці.

Побудова системи розпізнавання зображень маски на обличчі людини є актуальним завданням, оскільки це дозволяє в умовах карантину виявляти присутність людей без масок у торгових центрах, транспортних засобах, освітніх закладах та в інших приміщеннях. Існуючі методи розпізнавання зображень із використанням штучних нейронних мереж потребують тривалої процедури навчання. Детектувати ділянки обличчя на зображеннях можливо швидкодіючим методом Віолі-Джонса з використанням каскадів Хаара. Збільшення точності розпізнавання зображень маски на обличчі забезпечується комплексним застосуванням методу Віолі-Джонса та засобів нечіткої логіки. Проте, побудова системи розпізнавання зображень маски на обличчі потребує детального аналізу предметної області, визначення впливу основних зовнішніх та внутрішніх факторів на функціонування системи.

Розроблено фізичну модель системи розпізнавання зображень маски на обличчі, в якій детектування обличчя на зображеннях виконується методом Віолі-Джонса з використанням каскадів Хаара. Розпізнавання маски на обличчі виконується засобами нечіткої логіки з використанням нечітких баз знань Мамдани.

На основі аналізу фізичної моделі системи створено програму на мові Python для детектування обличчя, очей та рота з використанням каскадів Хаара, використано нечітку логіку для розпізнавання обличчя із урахуванням очей та рота для розпізнавання маски, виконано апаратно-програмну реалізацію системи на мові Python із використанням бібліотеки OpenCV засобами хмарної платформи Google Colab та мікрокомп'ютера Raspberry Pi 3B+.

У роботі, з навчальною метою, описана послідовність побудови системи розпізнавання зображень маски на обличчі. Як джерело початкових зображень використано цифрові відеокамери, які можуть розміщуватися у різноманітних приміщеннях, наприклад, в аудиторіях, транспортних засобах, приміщеннях вокзалів, торгових центрах тощо. Система розпізнавання маски на обличчі може бути використана для вивчення принципів побудови комп'ютерних систем обробки зображень, зокрема, систем розпізнавання образів.

Ключові слова: *цифровізація освіти, система розпізнавання зображень, нечітка логіка, метод Віолі-Джонса, каскади Хаара, інженерно-педагогічні спеціальності, магістри з професійної освіти.*

Oleksandr DEREVYANCHUK,

orcid.org/0000-0002-3749-9998

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,

Associate Professor at the Department Professional and Technological Education and General Physics

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

(Chernivtsi, Ukraine) *o.v.derevyanchuk@chnu.edu.ua*

FORMATION OF KEY SKILLS OF FUTURE MASTERS OF PROFESSIONAL EDUCATION BY BUILDING A SYSTEM FOR RECOGNITION OF MASK IMAGES ON A HUMAN FACE

The use of image recognition systems plays an important role in the process of teaching masters in professional education. This provides them with ample opportunities for development and deepening of knowledge. The main advantage of studying such systems is that they help students understand and master the principles of operation and algorithms of these technologies, becoming a key element of their engineering education. In the process of education, students develop skills necessary for the modern labor market.

Building a system for recognizing images of a mask on a person's face is an urgent task, as it allows detecting the presence of people without masks in shopping centers, vehicles, educational institutions and other premises under quarantine conditions. Existing methods of image recognition using artificial neural networks require a long training procedure. It is possible to detect areas of faces in images using the fast Viola-Jones method using Haar cascades. An increase in the accuracy of recognition of mask images on a face is ensured by the use of the Viola-Jones method and fuzzy logic tools. However, the construction of a facial mask image recognition system requires a detailed analysis of the subject area, determination of the influence of the main external and internal factors on the functioning of the system.

A physical model of the facial mask image recognition system has been developed, in which face detection in images is performed by the Viola-Jones method using Haar cascades. Facial mask recognition is performed by means of fuzzy logic using Mamdani knowledge bases.

Based on the analysis of the physical model of the system, a Python program was created to detect faces, eyes, mouth using Haar cascades, fuzzy logic was used for face recognition taking into account the eyes and for mask recognition, hardware and software implementation of the system was performed in Python using the OpenCV library using the Google Colab cloud platform and the Raspberry Pi 3B+ microcomputer.

The work with the educational purpose describes the sequence of building a system for recognizing images of a mask on a face. As a source of initial images, digital video cameras were used, which can be placed in various premises (auditoriums, vehicles, train station premises, shopping centers, etc.). A facial mask recognition system can be used to build computer image processing systems, in particular, pattern recognition systems.

Key words: digitization of education, image recognition system, Fuzzy Logic; Viola-Jones method, Haar cascades, masters in professional education.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку людства характеризується інтенсивністю впровадження інтелектуальних систем та автоматизації різноманітних процесів. За висновками експертів Всесвітнього економічного форуму в період з 2020 по 2025 роки у глобальній сфері зайнятості очікуються такі зміни:

Автоматизація виробництва та робочих місць: під впливом впровадження сучасних технологій та автоматизації, компанії переосмислюють функції та кваліфікації працівників. Більше 40% компаній планує зменшити свою робочу силу, але 34% прогнозують збільшення. У 2025 році очікується поділ праці між людьми та машинами приблизно порівну.

Революція в робототехніці: з'являться нові робочі місця, пов'язані з технологіями штучного інтелекту, включаючи неоплачуваний догляд, створення контенту, «зелену» економіку та інші галузі.

Попит на аналітичне мислення та гнучкість: до 2025 року ключовими навичками стануть аналітичне мислення, творчий потенціал і гнучкість. Роботодавці відзначають зростання важливості критичного мислення та здатності до аналізу.

Підвищення кваліфікації працівників: конкурентоспроможні компанії акцентують увагу на підвищенні кваліфікації працівників. Більше половини працівників потребуватимуть перепідготовки, і 66% компаній розраховують на окупність інвестицій у підвищення кваліфікації.

Дистанційна робота та навчання: збільшення цифровізації робочих процесів призведе до розширення дистанційної роботи, але при цьому 78% представників бізнесу вважають, що це може негативно вплинути на продуктивність праці. Водночас, дистанційна форма навчання стає все

більш популярною (URL: <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2020/>).

Найбільш затребуваними будуть фахівці, які можуть проектувати, впроваджувати нову техніку і технології з урахуванням викликів майбутнього (Future of Jobs Report 2023).

У 2020 році Всесвітній економічний форум підготував звіт «Майбутні робочі місця – 2025», яким визначено, що у 2025 році значна частина (52%) усієї роботи буде виконуватися роботами, тоді як у 2018 році цей показник становив 29%.

Також у звіті зроблено прогноз навичок, які будуть затребувані у 2025 році, а саме:

- 1) аналітичне мислення та інноваційність;
- 2) активне навчання і стратегії навчання;
- 3) комплексне розв'язання проблем;
- 4) критичне мислення і аналіз;
- 5) креативність, оригінальність та ініціативність;
- 6) лідерство і соціальна включеність (впливовість);
- 7) технології: використання, моніторинг і контроль;
- 8) технології: розробка і програмування;
- 9) життєздатність, стресостійкість і гнучкість;
- 10) обґрунтування, розв'язання проблем і формування ідей (The Future of Jobs Report, 2020).

Ці тенденції підкреслюють необхідність розвитку нових навичок, адаптації до змін у світі праці та постійного самовдосконалення для працівників у різних галузях. Це своєю чергою актуалізує проблему удосконалення змісту освіти в закладах вищої освіти з орієнтацією на забезпечення запитів ринку праці та розвитку технологій. Одним з прикладів є системи розпізнавання зображень (далі СРЗ), які відкривають безліч можливостей у сучасному суспільстві. У виробництві та технологічних процесах вони забезпечують автома-

тизовану якість контролю, виявляючи дефекти та неправильності на виробках. У сфері безпеки та антитерористичних заходів такі системи використовуються для розпізнавання підозрілих об'єктів чи осіб у громадських місцях. У розробці автономних транспортних засобів вони відіграють ключову роль у виявленні та реагуванні на дорожні ситуації.

В області розслідувань та правопорядку системи розпізнавання обличчя допомагають у розкритті злочинів шляхом встановлення осіб на відеозаписах чи фото. У галузі мистецтва та культури – можуть бути використані для взаємодії зі штучним інтелектом та для створення інтерактивних мистецьких інсталяцій. Крім того, системи розпізнавання зображень є важливим інструментом для досліджень кліматичних змін, агропромисловості та екології, сприяючи виявленню паттернів та тенденцій у змінах навколишнього середовища. Вони також можуть застосовуватися в архітектурному дизайні та міському плануванні для аналізу планування та розташування будівель. І це не повний перелік можливостей.

Системи розпізнавання зображень відіграють важливу роль у навчанні студентів інженерно-педагогічних спеціальностей, надаючи їм широкий спектр можливостей для розвитку та поглиблення знань. Перш за все, вивчення СРЗ дозволяє студентам зрозуміти та освоїти принципи функціонування та алгоритми цих систем, що стає ключовим елементом їхньої інженерної освіти.

Студенти можуть активно займатися дослідженнями та розробкою нових алгоритмів для систем розпізнавання зображень, що розвиває їхні навички в області інформаційних технологій та інженерії. Це сприяє створенню новітніх підходів у галузі обробки зображень та розширює можливості використання цих систем у практичних завданнях. СРЗ дозволяє студентам розглядати практичне впровадження цих систем у різні інженерні завдання. Вони можуть застосовувати ці технології у виробничих процесах, в автоматизації та оптимізації систем контролю, що сприяє підготовці студентів до реальних завдань в індустріальному середовищі. Студенти можуть розробляти інноваційні методи навчання, базуючись на принципах СРЗ. Автоматизовані тести, оцінювання та інші педагогічні інструменти стають частиною їхнього навчання. Таким чином, СРЗ є не лише технічним аспектом, але й важливим елементом для розширення та вдосконалення інженерно-педагогічних знань студентів, надаючи їм можливість поглибленого розвитку у своїй професійній галузі.

Аналіз досліджень. Сьогодні на ринку праці спостерігається кваліфікаційний розрив (Ковальчук В. І., 2021) між очікуваннями роботодавців і навичками сформованими у випускників за час навчання в університеті. Зменшити такий розрив спрямовані Стандарти вищої освіти в яких визначені актуальні компетентності та програмні результати. Проте технологічний розвиток, цифровізація і впровадження штучного інтелекту вимагають перегляду стандартів і удосконалення змісту освітньо-професійних програм. Питання цифровізації професійної освіти та впровадження STEM-проектів розкриті у працях Ковальчука В.І. (Voitovych, I., Pavlova, N., Voitovych, O., Horbatiuk, R., Dubych (Muzychuk), K., Kovalchuk, V., and Prylepa, I., 2021; Kovalchuk, V., Shevchenko, L., Iermak, T., Chekaniuk, K., 2021; Kovalchuk, V., Maslich S., Tkachenko, N., Shevchuk, S., Shchypyska, T., 2022; Kovalchuk V., Androsenko A., Boiko A., Tomash V., Derevyanchuk O., 2022) та інших авторів й реалізовані у побудові системи розпізнавання зображень.

Використання нейронних мереж передбачає складну та тривалу процедуру їх навчання. Тому для розпізнавання облич та масок пропонується метод Віоли-Джонса (Ушенко Ю.О., Деревянчук О.В., Талах М.В., Дворжак В.В., 2023), який застосовує навчені каскади Хаара. Для підвищення якості розпізнавання використовують методи попередньої обробки зображень, зокрема методи фільтрації (Balovsyak, Odaiska, 2018; Balovsyak, Derevyanchuk, Fodchuk, Kroitor, Odaiska, Pshenychnyi, Kotyra, Abisheva, 2019), підвищення контрасту (Balovsyak, Derevyanchuk, Fodchuk, 2019; Balovsyak, Derevyanchuk, Kravchenko, Kroitor, Tomash, 2021) та сегментації зображень (Shkurat O. et al., 2020; Tereikovskiy, Zhengbing Hu, Chernyshev, Tereikovska, Korystin, Tereikovskiy, 2022; Balovsyak S. V., Derevyanchuk O. V., Tomash V. V., Yarema S. V., 2022). Точність розпізнавання облич та масок на обличчях можливо підвищити завдяки використанню нечіткої логіки (Fayek, 2020; Balovsyak, S., Derevyanchuk, O., Kravchenko, H., Ushenko, Y., Hu, Z., 2023) шляхом комплексного врахування надійності детектування не тільки облич, але й ділянок очей та рота.

Мета статті. Розроблення системи розпізнавання зображень маски на обличчі людини та визначення її впливу на формування актуальних професійних навичок майбутніх магістрів з професійної освіти (машинобудування).

Виклад основного матеріалу. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (машинобудування)» зі спеціальності 015 Професійна освіта (за спеціалізаціями) скерована на

підготовку педагога – магістра професійної освіти з фундаментальною інженерною підготовкою, професіонала в галузі інженерної механіки (машинобудування).

Основний фокус освітньої програми та спеціалізації спрямований на вищу професійну освіту, інформаційні та цифрові технології в освіті, конструювання та моделювання, викладання загальнотехнічних дисциплін, компетентності в галузі технології машинобудування.

У даній статті ми пропонуємо досвід розробки СРЗ, що вивчається в дисципліні «Цифрові технології в професійній освіті». Вивчення систем розпізнавання зображень у професійній підготовці майбутніх магістрів з професійної освіти (машинобудування), педагогів професійного навчання сприяє розвитку наступних навичок:

Аналітичні навички: студенти вивчають алгоритми та методи аналізу зображень, що розвиває їхню здатність розуміти та розкривати складність інженерних завдань.

Програмування та інженерія програмного забезпечення: вивчення СРЗ зазвичай включає програмування та розробку алгоритмів, що розвиває навички роботи з програмним забезпеченням та важливі інженерні навички.

Робота з обладнанням та сенсорами: студенти отримують розуміння роботи сучасних сенсорів та обладнання, яке використовується для збору інформації для систем розпізнавання.

Математичні знання: вивчення алгоритмів та методів СРЗ вимагає глибокого розуміння математичних концепцій, таких як лінійна алгебра, теорія ймовірностей та обчислювальна геометрія.

Технічна та інженерна креативність: робота зі складними системами розпізнавання зображень вимагає творчого підходу та здатності знаходити ефективні інженерні рішення.

Розуміння інтерфейсів та взаємодії: студенти навчаються проєктувати інтерфейси та взаємодію з користувачем для ефективного впровадження систем розпізнавання в практичних ситуаціях.

Навички роботи в команді: багатокомпонентні системи, які включають СРЗ, часто розробляються командами. Студенти отримують навички колективної роботи та комунікації в групі.

Практичні дослідження та експерименти: вивчення СРЗ включає в себе можливість проводити дослідження та експерименти для вдосконалення алгоритмів та методів, розвиваючи навички наукової діяльності.

Розуміння етичних та правових аспектів: студенти отримують знання про етичні та правові питання, пов'язані з використанням систем розпіз-

навання зображень, що допомагає їм відповідально ставитись до виконання професійних завдань.

Ці навички формують комплексний підхід до навчання студентів, дозволяючи їм успішно впроваджувати інноваційні технології у різні галузі та вирішувати складні завдання інженерної практики.

У даній роботі розроблено систему розпізнавання зображень маски на обличчі людини та проведено її дослідження. Виконано моделювання впливу основних факторів на роботу системи розпізнавання, побудовано фізичну модель системи розпізнавання зображень маски на обличчі. Розглянемо алгоритм побудови системи розпізнавання зображень маски на обличчі та конкретизуємо кожний етап.

1. Розроблення фізичної моделі системи

Фізична модель системи побудована за допомогою UML діаграми розміщення проєкту (діаграми розгортання – deployment diagram). На діаграмі розгортання відображено розташування компонентів системи розпізнавання зображень маски на обличчі у вузлах системи (рис. 1).

Згідно з фізичною моделлю, початкові зображення зчитуються з відеокамери і обробляються за допомогою мікрокомп'ютера Raspberry Pi3B+. Відеокамера може розміщуватися як нерухомо, так і на рухомій платформі. У модулі «Detection face» виконується детектування обличчя на зображеннях методом Віюлі-Джонса (з використанням відповідних каскадів Хаара). У модулі «Detection eye» виконується детектування очей на зображеннях ділянок попередньо детектованих обличчя методом Віюлі-Джонса. У модулі «Detection mouth» виконується детектування рота на зображеннях ділянок попередньо детектованих обличчя методом Віюлі-Джонса. У модулі «Recognition face» виконується розпізнавання обличчя на зображенні на основі виявлених ділянок обличчя та очей з використанням нечіткого логічного виведення. В модулі «Recognition mask» виконується розпізнавання масок на розпізнаних обличчях з врахуванням виявлених ділянок рота з використанням нечіткого логічного виведення. Отримані дані передаються на віддалений веб-сервер для подальшого аналізу та виводяться на екран. Додаткові повідомлення можуть виводитися через аудіосистему.

2. Реалізація системи. Опис архітектури та компонентів апаратної частини прототипу системи

Апаратна частина прототипу системи розпізнавання маски на обличчі складається з мікрокомп'ютера Raspberry Pi3B+ (; <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>; <https://datasheets.raspberrypi.com/camera/raspberry-pi-camera-guide.pdf>) цифрової CSI відеокамери або USB-відеокамери (рис. 2).

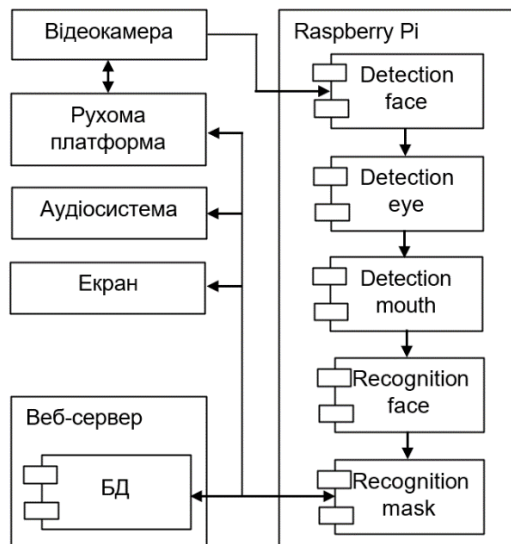


Рис. 1. Фізична модель системи розпізнавання зображень маски на обличчі

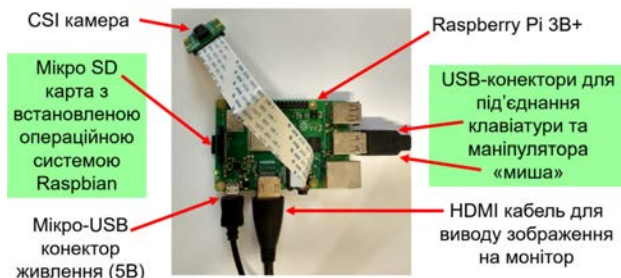


Рис. 2. Під'єднання пристроїв до мікрокомп'ютера Raspberry Pi 3 Model B+

3. Опис архітектури та компонентів програмної частини прототипу системи

Уточнення функціонування системи розпізнавання зображень маски на обличчі проведено за допомогою UML діаграми активності (рис. 3) (<http://www.uml-diagrams.org/>). Після зчитування зображення з відеокамери (функція «take_photo») на ньому детектується Q_{nf} прямокутних ділянок обличчя методом Віюлі-Джонса.

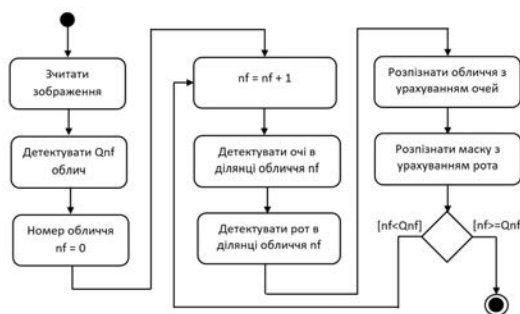


Рис. 3. Діаграма активності системи розпізнавання зображень маски на обличчі

Для кожного обличчя з номером nf детектуються очі та рот. На основі отриманих даних розпізнаються обличчя з урахуванням очей та маски на обличчях.

Початковими (вхідними) даними для програми є цифрові зображення, зчитані з відеокамери або з графічних файлів. Такі зображення можуть містити обличчя в масках та без масок. Програма підтримує зчитування зображень основних графічних форматів (.bmp, .jpg, .tiff); підтримується обробка таких типів зображень: у відтінках сірого, кольорових, індексованих.

Початкове кольорове зображення зчитується як тривимірний масив $f_{RGB}(i, k, c)$, де $i = 0, \dots, M-1$; $k = 0, \dots, N-1$; M – висота зображення в пікселях, N – ширина зображення в пікселях, $c = 0, \dots, 2$ – номер каналу кольору (Red, Green, Blue). Кольорові зображення f_{RGB} перетворюються у відтінки сірого (зображення f), які програмно обробляються як прямокутні матриці $f = (f(i, k))$, де $i = 0, \dots, M-1, k = 0, \dots, N-1$. Яскравість кожного пікселя (у відтінках сірого) описується одним байтом (8 біт), тому значення яскравості пікселя лежить у діапазоні від 0 до 255.

Для кожної ділянки обличчя на зображенні визначається впевненість детектування обличчя D_f та впевненість детектування очей D_e (за рахунок використання різних параметрів каскадів Хаара). Нечітка система на основі значень D_f та D_e обчислює впевненість розпізнавання обличчя з урахуванням очей D_{fL} . Для розпізнавання обличчя розроблено нечітку базу знань Мамдані, яка містить 36 правил, зокрема:

- 1) якщо $D_{fL} = \text{Низька}$ та $D_eL = \text{Низька}$, тоді $D_{fL} = \text{Низька}$;
- 2) якщо $D_{fL} = \text{Нижча середньої}$ та $D_eL = \text{Нижча середньої}$, тоді $D_{fL} = \text{Нижча середньої}$;
- 3) якщо $D_{fL} = \text{Вища середньої}$ та $D_eL = \text{Низька}$, тоді $D_{fL} = \text{Нижча середньої}$.

У правилах бази знань позначення D_{fL} описує лінгвістичну змінну «Впевненість детектування обличчя», D_eL – «Впевненість детектування обличчя», D_{fL} – «Впевненість розпізнавання обличчя з урахуванням очей». Термами лінгвістичної змінної D_{fL} якої є значення «низька», «нижча середньої», «середня», «вища середньої», «нижча високої», «висока», які чисельно описуються носієм нечіткої множини D_f . Аналогічно описано лінгвістичні змінні D_eL та D_{fL} .

Терми лінгвістичної змінної «Впевненість детектування обличчя» описуються нечіткими множинами з трикутними функціями належності $\mu_{f_1}, \mu_{f_2}, \dots, \mu_{f_6}$ і носієм D_f (рис. 4). Аналогічно створюються терми лінгвістичної змінної «Впевненість детектування очей», які описуються

нечіткими множинами з функціями належності: $\mu_{e1}, \dots, \mu_{e6}$ (рис. 5).

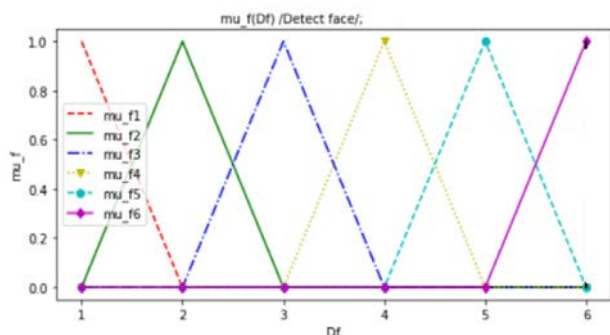


Рис. 4. Нечіткі функції належності лінгвістичної змінної «Впевненість детектування обличчя»: μ_{f1} (червоний графік) – впевненість детектування обличчя низька; μ_{f2} – нижча середньої; μ_{f3} – середня; μ_{f4} – вища середньої; μ_{f5} – нижча високої; μ_{f6} – висока

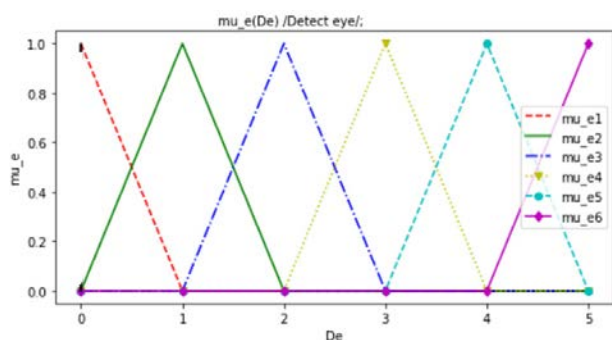


Рис. 5. Нечіткі функції належності лінгвістичної змінної «Впевненість детектування очей»: μ_{e1} (червоний графік) – впевненість детектування очей низька; μ_{e2} – нижча середньої; μ_{e3} – середня; μ_{e4} – вища середньої; μ_{e5} – нижча високої; μ_{e6} – висока

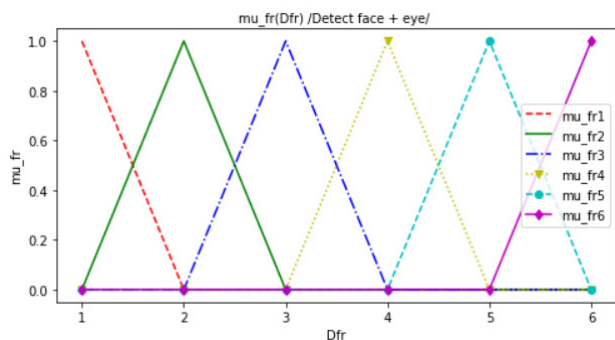


Рис. 6. Нечіткі функції належності лінгвістичної змінної «Впевненість розпізнавання обличчя з урахуванням очей»: μ_{fr1} (червоний графік) – впевненість розпізнавання обличчя низька; μ_{fr2} – нижча середньої; μ_{fr3} – середня; μ_{fr4} – вища середньої; μ_{fr5} – нижча високої; μ_{fr6} – висока

Також створено терми лінгвістичної змінної «Впевненість розпізнавання обличчя з урахуванням очей», які описуються нечіткими множинами з функціями належності: $\mu_{fr1}, \dots, \mu_{fr6}$ (рис. 6).

На входи системи подаються конкретні значення вхідних змінних D_{fC} та D_{eC} , на основі яких визначаються значення функцій належності $\mu_{f(m)}(D_{fC})$, де $m=1, \dots, Q_m$ ($Q_m=6$) та $\mu_{e(n)}(D_{eC})$, де $n=1, \dots, Q_n$ ($Q_n=6$) для відповідних термів. На основі правил нечіткої бази знань обчислюються значення функцій належності $\mu_{fr(k)}(D_{frC})$ за формулою

$$\mu_{fr(k)}(D_{frC}) = \min(\mu_{f(m)}(D_{fC}), \mu_{e(n)}(D_{eC})), \quad (1)$$

де $m=1, \dots, Q_m$; $n=1, \dots, Q_n$; $k=1, \dots, Q_k$ ($Q_k=6$).

Наприклад

$$\mu_{fr1}(D_{frC}) = \min(\mu_{f1}(D_{fC}), \mu_{e1}(D_{eC})).$$

Значення функції належності $\mu_{fr(k)}(D_{fr})$ обмежуються отриманими значеннями $\mu_{fr(k)}(D_{frC})$.

Після цього виконується композиція нечітких функцій належності $\mu_{fr(k)}(D_{fr})$, де $k=1, \dots, Q_k$, у результаті чого обчислюється нечітка множина $\mu_{fUa}(D_{fr})$, для якої

$$\mu_{fUa}(D_{fr}) = \max(\mu_{fr1}(D_{fr}), \dots, \mu_{fr(k)}(D_{fr}), \dots, \mu_{fr6}(D_{fr})). \quad (2)$$

На основі нечіткої множини $\mu_{fUa}(D_{fr})$ обчислюється її чітке значення D_{frC} методом центра тяжіння.

Для розпізнавання маски на обличчі також розроблено нечітку базу знань Мамдани. У правилах нечіткої бази знань позначення D_{frL} описує лінгвістичну змінну «Впевненість розпізнавання обличчя з урахуванням очей», D_{sL} – лінгвістичну змінну «Впевненість детектування рота»; D_{mL} – лінгвістичну змінну «Впевненість розпізнавання маски». На основі параметрів розпізнаного обличчя та рота виконується розпізнавання маски на обличчі з впевненістю D_{mC} . Під час такого нечіткого логічного виведення враховується, що якщо в межах ділянки обличчя з високою впевненістю детектується рот, то таке обличчя з високою впевненістю без маски. І навпаки, якщо в межах ділянки обличчя з високою впевненістю не детектується рот, то таке обличчя з високою впевненістю з маскою.

4. Опис бібліотек та методів реалізації програмної частини прототипу системи

Програмна частина прототипу системи розпізнавання маски на обличчі при реалізації засобами хмарного сервісу Google Colab використовує такі бібліотеки (імпортовані в програму на мові Python) (таблиця 1).

Програмна частина прототипу системи розпізнавання маски на обличчі при реалізації засобами хмарного сервісу Google Colab використовує такі бібліотеки (імпортовані в програму на мові Python) (таблиця 1). При детектуванні на зображенні обличчя, очей та рота методом Віюлі-Джонса використано такі каскади Хаара (таблиця 2).

Таблиця 1

Використані бібліотеки в програмі на мові Python

№	Назва	Призначення
1	scikit-fuzzy	Робота з нечіткою логікою (Fuzzy Logic)
2	cv2 (opencv)	Детектування обличчя, очей і рота на зображенні
3	NumPy	Робота з багатовимірними масивами, містить набір основних математичних функцій
4	Matplotlib	Бібліотека для побудови графіків (візуалізації даних)

Таблиця 2

Використані каскади Хаара в програмі на мові Python

№	Назва	Призначення
1	haarcascade_frontalface_default.xml	Детектування фронтально повернутих облич
2	haarcascade_profileface.xml	Детектування облич у профіль
3	haarcascade_eye.xml	Детектування очей
4	haarcascade_smile.xml	Детектування рота або посмішки

5. Опис контрольних прикладів і результатів тестування

Для контрольних прикладів, зображення можливо отримати не тільки з відеокамер, але й з файлів. Розглянемо приклад розпізнавання зображення маски на обличчі за допомогою розробленої системи. Спочатку виконується детектування обличчя на зображенні для різних каскадів Хаара (haarcascade) та різних параметрів детектування (minNeighbors) (за допомогою функцій «Face Detection», «Face_Detect (ncascade)»). Ділянки обличчя, отримані при різних

minNeighbors і для одного каскаду, об'єднуються на результуючому зображенні. Якщо ділянки обличчя перекриваються, то вибирається обличчя з більшим minNeighbors. Ділянки обличчя, отримані для різних каскадів, об'єднуються на результуючому зображенні (рис. 7). Якщо ділянки обличчя перекриваються, то вибирається обличчя з більшим minNeighbors.

Далі виконується детектування очей. Для кожної ділянки обличчя /верхньої частини/ (з номером nf) виділяються очі за допомогою функції Eye_Detect (nf) (рис. 8).

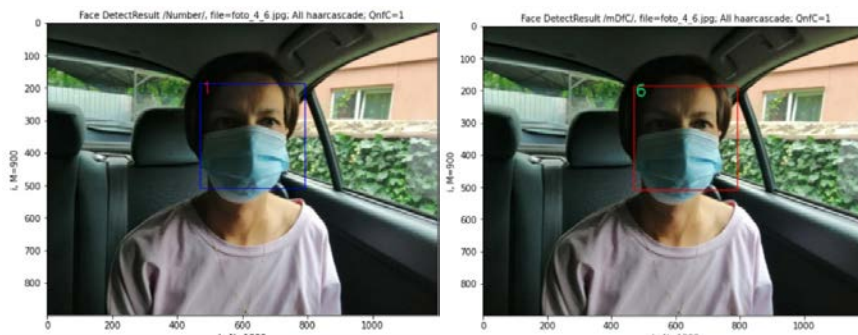


Рис. 7. Детектовані зображення обличчя: а) номери зображень; б) значення впевненості детектування обличчя Df (Df – максимальне значення minNeighbors, при якому ще детектується обличчя)

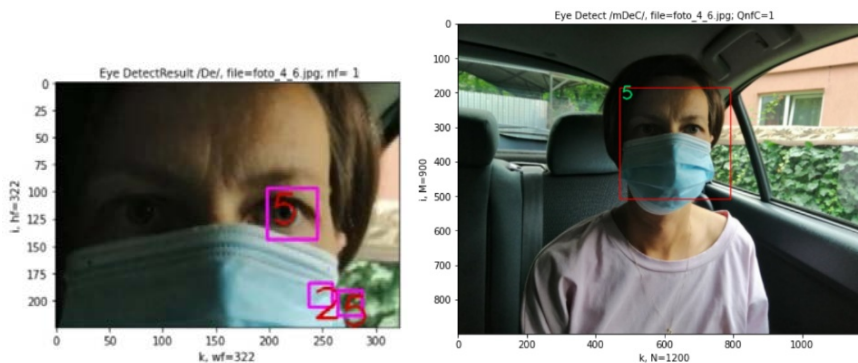


Рис. 8. Детектування очей на зображенні: а) області очей зі значеннями впевненості детектування очей De (максимальне значення De=5); б) значення впевненості детектування очей De для обличчя De (De – максимальне значення minNeighbors, при якому ще детектується око)

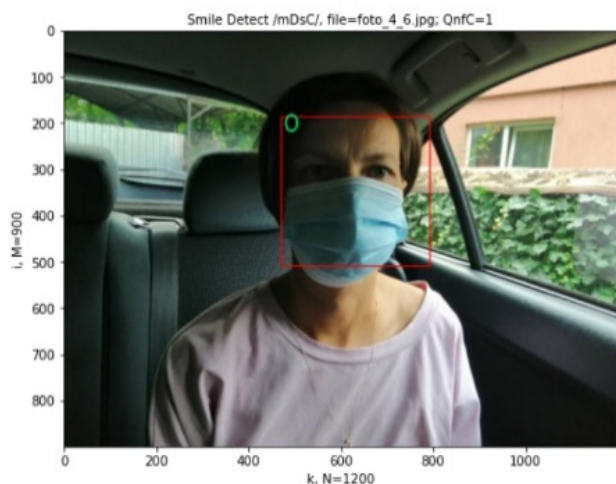


Рис. 9. Детектування рота на зображенні з впевненістю D_s ; у даному випадку рот не виявлено (D_s – максимальне значення $\min\text{Neighbors}$, при якому ще детектується рот)

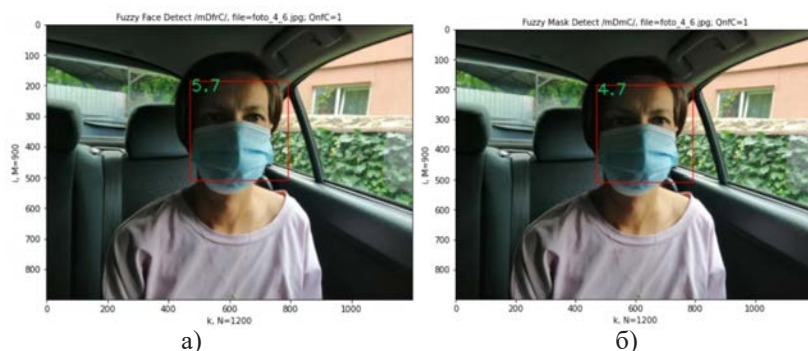


Рис. 10. Розпізнавання обличчя на зображенні з впевненістю $D_{fFC} = 5.7$ (а) та розпізнавання маски на обличчі зі впевненістю $D_{mC} = 4.7$ (б)

Детектування рота виконується для кожної ділянки обличчя /нижньої частини/ (з номером nf) за допомогою функції $\text{Smile_Detect}(nf)$ (рис. 9).

З використанням нечіткого логічного виведення виконується розпізнавання обличчя на зображенні з впевненістю D_{fFC} (рис. 10, а) та розпізнавання маски на обличчі зі впевненістю D_{mC} (рис. 10, б).

Результати тестування для всіх прикладів показують у загальному правильне розпізнавання обличчя та масок на обличчі (таблиця 3).

Розроблена програма має досить високу швидкість. Наприклад, час детектування обличчя на зображенні (розміром 640×427 пікселів) складає 0.15 с.

6. Опис інструкцій користувачеві

Спочатку потрібно зчитати початкове зображення з відеокамери або з графічного файлу. Далі потрібно запустити до виконання головну

програму на мові Python, у результаті виконання якої, буде отримано координати прямокутних ділянок обличчя на зображенні, впевненість розпізнавання обличчя та маски на обличчі.

Висновок. Актуалізовано роль СРЗ для формування актуальних професійних навичок магістрів з професійної освіти для майбутньої професійної діяльності.

Виконано апаратно-програмну реалізацію системи розпізнавання зображень маски на обличчі

Таблиця 3

Результати розпізнавання маски на обличчі; nf - номер обличчя, D_f – впевненість детектування обличчя, D_e – впевненість детектування очей, D_{fFC} – впевненість розпізнавання обличчя з врахуванням очей, D_s – впевненість детектування рота (усмішки), D_m – впевненість розпізнавання маски (на основі D_f та D_e обчислюється D_{fFC} ; на основі D_{fFC} та D_s обчислюється D_m)

№ п/п	Зображення	nf	D_f (1-6)	D_e (0-5)	D_{fFC} (1-6)	D_s (0-5)	D_m (0-5)
1		1	6	5	5.7	0	4.7
2		1	6	5	5.7	1	1.0

людини із застосуванням методу Віоли-Джонса та засобів нечіткої логіки. Описано архітектуру та компоненти апаратної частини прототипу системи на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi3B+. Описано архітектуру та компоненти програмної частини прототипу системи на мові Python, дані системи та використані бібліотеки, вимоги до функціонування системи, опис інструкцій

користувачеві. Результати тестування для всіх прикладів показали в загальному правильне розпізнавання облич та масок на обличчі. Розглянута система розпізнавання зображень маски на обличчі людини може застосовуватися у майбутній професійній діяльності магістрів з професійної освіти при розробці ними систем розпізнавання та аналізу зображень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The Future of Jobs Report 2020. *World Economic Forum*. October 2020. 162 p. URL: <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2020/> (дата звернення 03.01.2024).
2. Future of Jobs Report 2023. *World Economic Forum*. May 2023. URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2023.pdf (дата звернення 03.01.2024).
3. Ковальчук В. І. Проблеми кваліфікаційного розриву та роль університетів у їх вирішенні. *Підготовка майстра виробничого навчання, викладача професійного навчання до впровадження в освітній процес інноваційних технологій. матеріали V Всеукраїнського науково-методичного семінару (5 листопада 2021 р.)*. Глухівський НПУ ім. О. Довженка. Глухів, 2021. С.14–16.
4. Ковальчук В. І. Шляхи подолання кваліфікаційного розриву в підготовці майбутніх фахівців. *Професійне становлення особистості: проблеми і перспективи: тези доповідей XI міжнародної науково-практичної конференції (м. Хмельницький, 25–26 листопада 2021 р.)*. С.27–28.
5. Voitovych I., Pavlova N., Voitovych O., Horbatiuk R., Dubych (Muzychuk) K., Kovalchuk V., Prylepa I. Training of teachers STEM disciplines to work with students in distance education. *Inequality, Informational Warfare, Fakes and Self-Regulation in Education and Upbringing of Youth, Youth Voice Journal*. 2023. Vol. I. P. 103–112. URL: <https://www.rj4allpublications.com/product/training-of-teachers-stem-disciplines/> (дата звернення: 27.12.2023).
6. Kovalchuk V., Shevchenko L., Iermak T., Chekaniuk K. Computer modeling as a means of implementing project-based activities in STEM-education. *Open Journal of Social Sciences*. 2021. Vol. 9, № 10. P. 173–183. DOI: 10.4236/jss.2021.910013.
7. Kovalchuk V., Maslich S., Tkachenko N., Shevchuk S., Shchypyska T. Vocational Education in the Context of Modern Problems and Challenges. *Journal of Curriculum and Teaching*. 2022. Vol. 11, № 8. P. 329–338. DOI: 10.5430/jct.v11n8p329.
8. Kovalchuk V., Androsenko A., Boiko, A., Tomash V., Derevyanchuk O. Development of Pedagogical Skills of Future Teachers of Labor Education and Technology by means of Digital Technologies. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*. 2022. V. 22, № 9. P. 551–560.
9. Kovalchuk V.I., Maslich S.V., Movchan L.G., Lytvynova S.H., Kuzminska O.H. Digital transformation of vocational schools: Problem analysis. *CEUR Workshop Proceedings*. 2022. Vol. 3085 P. 107–123.
10. Ушенко Ю.О., Деревянчук О.В., Талах М.В., Дворжак В.В. Методи й засоби інтелектуальної обробки сигналів: обробка цифрових зображень: навчальний посібник. Чернівці: Чернівецький національний університет, 2022. 317 с.
11. Balovskyak S.V., Odaiska Kh. S. Automatic Determination of the Gaussian Noise Level on Digital Images by High-Pass Filtering for Regions of Interest. *Cybernetics and Systems Analysis*. Vol. 54, № 4. P. 662–670. 2018. DOI: 10.1007/s10559-018-0067-3.
12. Balovskyak S. V., Derevyanchuk O. V., Fodchuk I. M. Method of calculation of averaged digital image profiles by envelopes as the conic sections. *Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC)*. 2019. Vol. 754. P. 204–212. DOI: 10.1007/978-3-319-91008-6_21.
13. Balovskyak S. V., Derevyanchuk O. V., Fodchuk I. M., Kroitor O. P., Odaiska Kh. S., Pshenychnyi O. O., Kotyra A., Abisheva A. Adaptive oriented filtration of digital images in the spatial domain. *Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*. 2019. Vol. 11176. P. 111761A-1–111761A-6. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2537165>.
14. Balovskyak S.V., Derevyanchuk O.V., Kravchenko H.O., Kroitor O.P., Tomash V.V. Computer system for increasing the local contrast of railway transport images. *Proc. SPIE, Fifteenth International Conference on Correlation Optics*. 2021. Vol. 12126. P. 121261E1–7. DOI: 10.1117/12.2615761.
15. Shkurat O. et al. Image Segmentation Method Based on Statistical Parameters of Homogeneous Data Set. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 902. P. 271–281. DOI: 10.1007/978-3-030-12082-5_25.
16. Tereikovskiy I., Zhengbing Hu Chernyshev D., Tereikovska L., Korystin O., Tereikovskiy O. The Method of Semantic Image Segmentation Using Neural Networks. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing (IJIGSP)*. 2022. Vol. 14, № 6. P. 1–14. DOI: 10.5815/ijigsp.2022.06.01.
17. Balovskyak S. V., Derevyanchuk O. V., Tomash V. V., Yarema S. V. Segmentation of railway transport images using fuzzy logic. *Trans Motauto World*. 2022. V. 7, № 3. P. 122–125.
18. Fayek A. R. Fuzzy Logic and Fuzzy Hybrid Techniques for Construction Engineering and Management. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2020. Vol. 146, № 7. P. 1–12. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001854.
19. Balovskyak S., Derevyanchuk O., Kravchenko H., Ushenko Y., Hu Z. Clustering Students According to their Academic Achievement Using Fuzzy Logic. *International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS)*. 2023. Vol.15, № 6. P. 31–43. DOI:10.5815/ijmecs.2023.06.03.
20. The Unified Modeling Language. URL: <http://www.uml-diagrams.org/> (дата звернення 30.11.2023).
21. Raspberry Pi Compute Module 3+. URL: <https://datasheets.raspberrypi.com/cm/cm3-plus-datasheet.pdf> (дата звернення 30.11.2023).
22. Raspberry Pi 3 Model B+. URL: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/> (дата звернення 30.11.2023).
23. Raspberry Pi Camera Algorithm and Tuning Guide. URL: <https://datasheets.raspberrypi.com/camera/raspberry-pi-camera-guide.pdf> (дата звернення 30.11.2023).

REFERENCES

1. The Future of Jobs Report 2020. *World Economic Forum*. October 2020. 162 p. URL: <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2020/> (Last accessed: 03.01.2024).
2. Future of Jobs Report 2023. *World Economic Forum*. May 2023. URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2023.pdf (Last accessed: 03.01.2024).
3. Kovalchuk V.I. (2021). Problemy kvalifikatsiinoho rozryvu ta rol universytetiv u yikh vyrishenni [Problems of the qualification gap and the role of universities in solving them]. *Pidhotovka maistra vyrobnychoho navchannia, vykladacha profesinoho navchannia do vprovadzhennia v osvittinii protses innovatsiinykh tekhnolohii. Materialy V Vseukrainskoho naukovy-metodychnoho seminaru* (5 lystopada 2021 r.) Hlukhivskiyi NPU im. O. Dovzhenka. Hlukhiv, 2021. S.14–16. [In Ukrainian].
4. Kovalchuk V.I. (2021). Shliakhy podolannia kvalifikatsiinoho rozryvu v pidhotovtsi maibutnikh fakhivtsiv [Ways to overcome the qualification gap in the training of future specialists]. *Profesiine stanovlennia osobystosti: problemy i perspektyvy: tezy dopovidei KhI mizhnarodnoi naukovy-praktychnoi konferentsii (m. Khmelnytskyi, 25–26 lystopada 2021 r.)*. S. 27–28. [In Ukrainian].
5. Voitovych, I., Pavlova, N., Voitovych, O., Horbatiuk, R., Dubych (Muzychuk), K., Kovalchuk, V. and Prylepa, I. (2023). Training of teachers STEM disciplines to work with students in distance education. *Inequality, Informational Warfare, Fakes and Self-Regulation in Education and Upbringing of Youth, Youth Voice Journal*, vol. 1, pp. 103–112. URL: (Last accessed: 27.12.2023).
6. Kovalchuk, V., Shevchenko, L., Iermak, T. & Chekaniuk, K. (2021). Computer modeling as a means of implementing project-based activities in STEM-education. *Open Journal of Social Sciences*, vol. 9, no 10, pp. 173–183. DOI: <https://doi.org/10.4236/jss.2021.910013>.
7. Kovalchuk, V., Maslich S., Tkachenko, N., Shevchuk, S. & Shchypyska, T. (2022). Vocational Education in the Context of Modern Problems and Challenges. *Journal of Curriculum and Teaching*. vol. 11, no 8, pp. 329–338. DOI: <https://doi.org/10.5430/jct.v11n8p329>.
8. Kovalchuk, V., Androsenko, A., Boiko, A., Tomash, V. & Derevyanchuk, O. (2022). Development of Pedagogical Skills of Future Teachers of Labor Education and Technology by means of Digital Technologies. *International Journal of Computer Science and Information Security*, vol. 22, no 9, pp. 551–560. DOI: <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2022.22.9.71>.
9. Kovalchuk, V.I., Maslich, S.V., Movchan, L.G., Lytvynova, S.H. & Kuzminska, O.H. (2022). Digital transformation of vocational schools: Problem analysis. *CEUR Workshop Proceedings*, 3085, pp. 107–123.
10. Ushenko, Y.O., Derevyanchuk O. V., Talakh M.V. & Dvorzhak V.V. (2023). Metody y zasoby intelektualnoi obrobky syhnaliv: obrobka tsyfrovyykh zobrazhen [Methods and means of intelligent signal processing: digital image processing]. Chernivtsi: Chernivetskyi natsionalnyi universytet im. Yu. Fedkovycha, 312 s. [In Ukrainian].
11. Balovsyak, S.V. & Odaiska, Kh. S. (2018). Automatic Determination of the Gaussian Noise Level on Digital Images by High-Pass Filtering for Regions of Interest. *Cybernetics and Systems Analysis*, vol. 54, no 4, pp. 662–670. DOI: [10.1007/s10559-018-0067-3](https://doi.org/10.1007/s10559-018-0067-3).
12. Balovsyak, S. V., Derevyanchuk, O. V. & Fodchuk, I. M. (2019). Method of calculation of averaged digital image profiles by envelopes as the conic sections. *Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC)*, vol. 754., pp. 204–212. DOI: [10.1007/978-3-319-91008-6_21](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91008-6_21).
13. Balovsyak, S. V., Derevyanchuk, O. V., Fodchuk, I. M., Kroitor, O. P., Odaiska, Kh. S., Pshenychnyi, O. O., Kotyra, A. & Abisheva, A. (2019). Adaptive oriented filtration of digital images in the spatial domain. *Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, vol. 11176, pp. 111761A-1–111761A-6. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2537165>.
14. Balovsyak, S.V., Derevyanchuk, O.V., Kravchenko, H.O., Kroitor, O.P. & Tomash, V.V. (2021). Computer system for increasing the local contrast of railway transport images. *Proc. SPIE, Fifteenth International Conference on Correlation Optics*, vol. 12126, pp. 21261E1–7. DOI: [10.1117/12.2615761](https://doi.org/10.1117/12.2615761).
15. Shkurat O. et al. (2020). Image Segmentation Method Based on Statistical Parameters of Homogeneous Data Set. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 902, pp. 271–281. DOI: [10.1007/978-3-030-12082-5_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-12082-5_25).
16. Terekovskiyi, I., Zhengbing Hu, Chernyshev, D., Terekovska, L., Korystin, O. & Terekovskiyi, O. (2022). The Method of Semantic Image Segmentation Using Neural Networks. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing (IJIGSP)*, vol. 14, no 6, pp. 1–14. DOI: [10.5815/ijigsp.2022.06.01](https://doi.org/10.5815/ijigsp.2022.06.01).
17. Balovsyak S. V., Derevyanchuk O. V., Tomash V. V. & Yarema S. V. (2022). Segmentation of railway transport images using fuzzy logic. *Trans Motauto World*, vol. 7, no 3, pp. 122–125.
18. Fayek, A.R. (2020). Fuzzy Logic and Fuzzy Hybrid Techniques for Construction Engineering and Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 146, no 7, pp. 1–12. DOI: [10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001854](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001854).
19. Balovsyak, S., Derevyanchuk, O., Kravchenko, H., Ushenko, Y. & Hu, Z. (2023). Clustering Students According to their Academic Achievement Using Fuzzy Logic. *International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS)*, vol., no 6, pp. 31–43. DOI: [10.5815/ijmecs.2023.06.03](https://doi.org/10.5815/ijmecs.2023.06.03).
20. The Unified Modeling Language. URL: <http://www.uml-diagrams.org/> (Last accessed: 30.11.2023).
21. Raspberry Pi Compute Module 3+. URL: <https://datasheets.raspberrypi.com/cm/cm3-plus-datasheet.pdf> (Last accessed: 30.11.2023).
22. Raspberry Pi 3 Model B+. URL: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberrypi-3-model-b-plus/> (Last accessed: 30.11.2023).
23. Raspberry Pi Camera Algorithm and Tuning Guide. URL: <https://datasheets.raspberrypi.com/camera/raspberrypi-camera-guide.pdf> (Last accessed: 30.11.2023).