

КАЛИТА ОЛЕГ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-1868-8803>e-mail: oleg.kalytad@gmail.com

МОДЕЛЬ ПОДАННЯ МІМІЧНИХ ПРОЯВІВ ЕМОЦІЙНИХ СТАНІВ ЛЮДИНИ ДЛЯ СИСТЕМ ВІДЕОНАГЛЯДУ

Дана робота пропонує нову спрощену модель подання мимічних проявів емоційних станів людини для систем, що відповідають вимогам безпеки. У результаті обчислювальних експериментів було виділено основні ділянки обличчя, що впливають на відображення емоційних станів. До них належать ділянки обличчя з бровами, очима та ротом. Насамкінець, було виділено якісні характеристики зміщень точок. Форми групування станів, як відображення сукупності ознак, були визначені та формалізовані на основі методів візуальної аналітики. Як наслідок, груповані дані формалізували класи емоційних проявів. Перевагою розробленої моделі є невелика обчислювальна складність, що забезпечує розпізнавання змін емоційного стану людини за мимічними проявами за відеокамерами з низькою роздільною здатністю або на великій відстані. У підсумку, результати проведених експериментальних досліджень підтвердили, що запропонована модель забезпечує ефективну формалізацію мимічних проявів обличчя, що відображають емоційні стани людини, і може мати практичне застосування для покращення дотримання вимог безпеки в реальних середовищах.

Ключові слова: розпізнавання емоцій, виявлення обличчя, мимічні прояви, гіперплощинна класифікація, візуальна аналітика.

KALYTA OLEG

Khmelnyskyi National University

MODEL OF MIMIC EXPRESSIONS OF HUMAN EMOTIONAL STATES FOR THE VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS

The presented paper proposes a novel computational model for generating facial expressions that mimic human emotional states. The authors aim to create a system that can generate realistic facial expressions to be used in human-robot interactions. The proposed model is based on the Facial Action Coding System, a widely used tool for describing facial expressions. FACS is used in this study to identify the muscles involved in each facial expression and the degree to which each muscle is activated. Several machine-learning techniques were utilized to learn the relationships between facial muscle activations and emotional states. In particular, a hyperplane classification was employed in the system for facial expressions representing major emotional states. The model's primary advantage lies in its low computational complexity, which enables it to recognize changes in human emotional states through facial expressions without requiring specialized equipment, such as low-resolution or long-distance video cameras. The proposed approach is intended for use in control systems for various purposes, including security systems or monitoring drivers while operating vehicles. It was investigated that the proposed model could generate facial expressions similar to those produced by humans and that these expressions were recognized as conveying the intended emotional state by human observers. The authors also investigated the effect of different factors on the generation of facial expressions. Overall, the proposed model represents a promising approach for generating realistic facial expressions that mimic human emotional states and could have applications in improving security compliance in sensitive environments. However, carefully considering and managing potential ethical issues will be necessary to ensure the responsible use of this technology.

Keywords: emotion recognition, face detection, facial expressions, hyperplane classification, visual analytics

Вступ

У статті розглянуто модель для виділення основних критеріїв мимічних проявів емоцій на обличчі з можливістю реалізації розпізнавання без використання спеціалізованого обладнання, наприклад, для відеокамер із низькою роздільною здатністю або на великій відстані. З розвитком технологій комп'ютерного зору науковці все більше цікавляться можливістю машинного розпізнавання емоцій людей. У результаті з'являється все більше наукових праць [1, 2], які досліджують цю проблематику. Більшість із них спрямовані на виділення певних ознак, які допомагають визначити емоцію людини. Здебільшого такі дослідження використовують примітиви Хаара для виявлення особливостей на обличчі та виділяють такі ділянки, як брови та рот [3]. Також можна виділити роботи, де особливості позначені спеціальними маркерами на обличчі актора [4]. Проте на сьогодні майже немає досліджень, які пояснюють, як саме вони прийшли до якісних критеріїв оцінювання емоційних проявів.

Метою даної роботи є моделювання мимічних проявів емоційних станів людини за критеріями якісних змін у певних ділянках обличчя для отримання стійкого групування та розділення основних класів емоцій.

Аналіз ділянок обличчя, що відтворюють емоційну міміку

Одним зі способів визначення ділянок обличчя, які відповідають за емоційну міміку, є використання відеокамери Intel Real Sense [5], зображення з якої містять автоматично виявлені точки-особливості обличчя. Тобто можна проаналізувати зображення обличчя людей, з відтвореними на них основними емоційними станами та виділеними за допомогою відеокамери Intel Real Sense точками-особливостями (рис. 1).

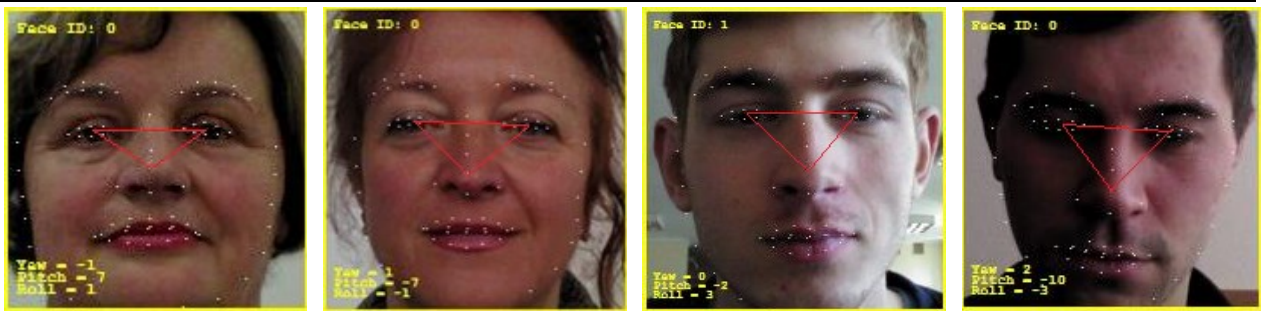


Рис. 1. Точки-особливості обличчя, що виділяє камера Intel Real Sense

Для аналізу зображень проведемо перетворення, приклад яких наведено на рис. 1. На першому кроці проводиться нормалізація зображення обличчя для їхнього порівняння в одному базисі. Для цього здійснюється центрування області обличчя та нормування за відстанню між очима. На другому кроці на підставі аналізу переміщення точок-особливостей у множині вхідних зображень виділяються інформативні точки, тобто ті, переміщення яких за емоційної міміки найбільш суттєве. На завершальному етапі (третьому кроці) визначаються ділянки обличчя, зміни яких формують візуальне сприйняття емоції з різним порогом переміщення. Для кожної виділеної ділянки формується множина можливих станів.

На рис. 2 наведено приклади графіків переміщення точок. Висновки, які можна зробити із цих графіків, полягають у тому, що найбільші переміщення при прояві різних емоцій зафіксовані в точок, які належать до наступних ділянок обличчя (за умови, що розглядалася лише одна половина обличчя): верх правої повіки, низ правої повіки, ліва сторона правої повіки, права сторона правої брови, ліва сторона правої брови, центр правої брови, права сторона носа, права сторона губ, центр верхньої губи та права сторона нижньої губи.

З рис. 2 видно, що деякі точки зміщуються більше при прояві відповідних емоцій, тому необхідно відстежувати зміщення лише найбільш інформативних точок. У результаті дослідження та обробки зібраних даних були виділені основні ділянки обличчя, зміни міміки яких прямо впливають на відображення емоційних станів. Це ділянки обличчя з бровами, очима та ротом (рис. 3).

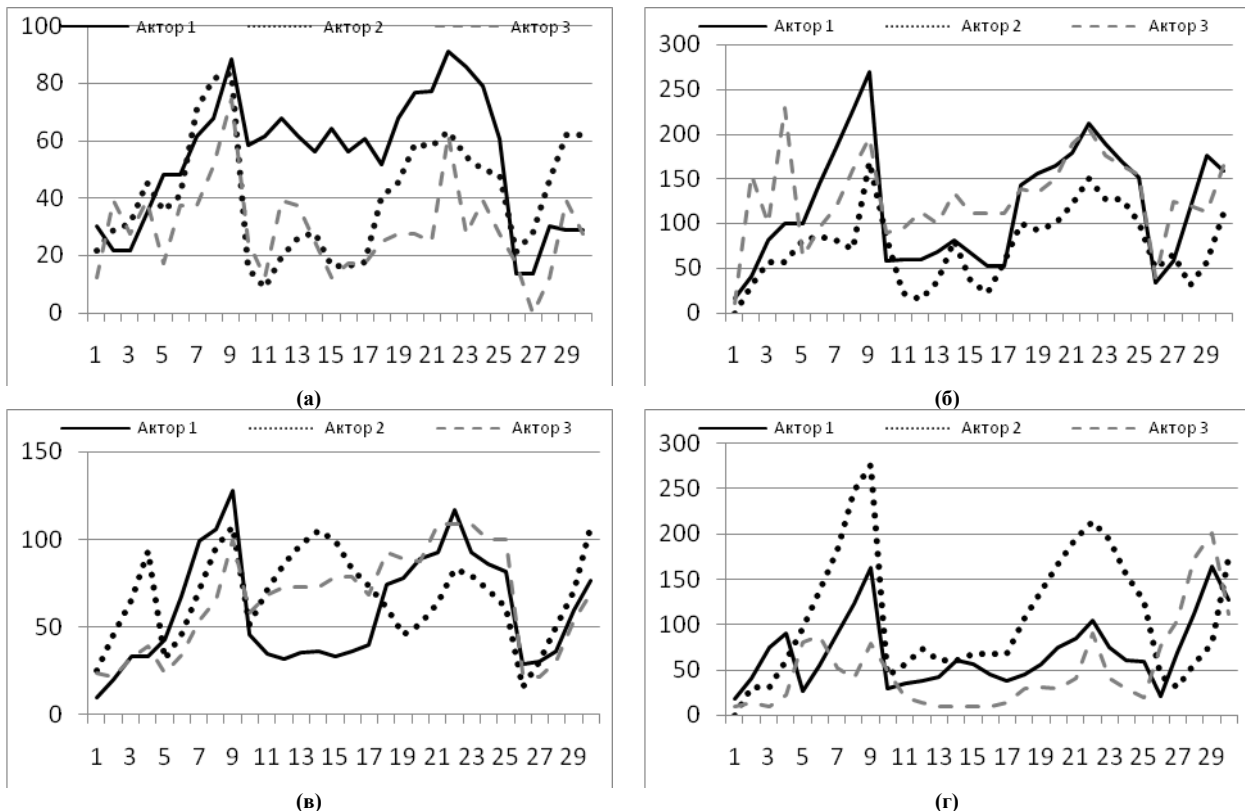


Рис. 2. Зміщення точок для емоцій: (а) злість, (б) сум, (в) радість та (г) страх

Останнім етапом дослідження стало виділення множин якісних характеристик зміщень точок або груп точок, які наведені у таблиці 1.

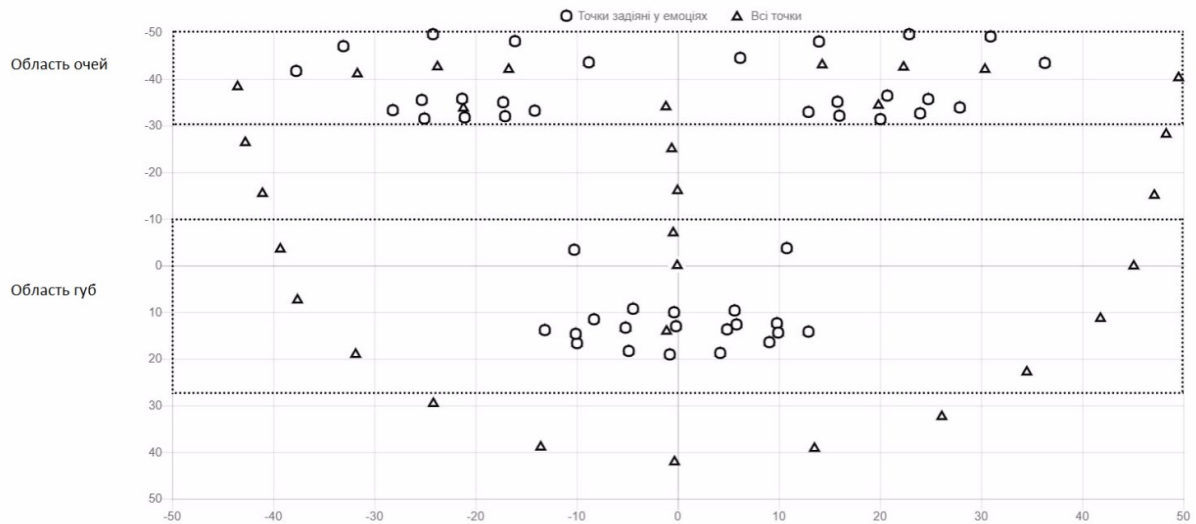


Рис. 3. Точки-особливості обличчя, що відповідають за міміку емоцій

Експериментальним шляхом досліджена поведінка точок-особливостей обличчя при прояві на ньому певних емоцій та виділені якісні показники для цих емоцій. За результатами наведеного дослідження можна запропонувати основні параметри моделі, виходячи з якісних критерії оцінки основних ділянок обличчя для визначення мімічного прояву емоцій.

Таблиця 1

Множина значень якісних характеристик для кожної ділянки обличчя

Ділянка обличчя		Якісні характеристики ділянок обличчя				
		Без змін	Злегка опущені	Опущені	Злегка підняті	Підняті
Брови	Вся брова		x			
	Очі	Верхні повіки				
	Зовнішні кутики очей		x	x	x	
Губи	Кутік губ		x			
	Нижня частина верхньої губи					
	Верхня частина нижньої губи					

Формування моделі

З огляду на потреби детектування мімічних проявів засобами звичайних камер із невисокою роздільною здатністю або на великій відстані та за результатами з таблиці 1 введемо наступну градацію для ділянок обличчя: 1) очі: {розплющені, примружені, нормальні}; 2) губи: {розтягнуті, зжаті, нормальні}; 3) брови: {підняті, опущені, нормальні}. Отриманні у дослідженні мімічні прояви емоцій подаються за наведеною градацією в таблиці 2.

Таблиця 2

Подання мімічних проявів емоцій якісними характеристиками

Ділянки обличчя	Злість	Страх	Радість	Сум
очі	примружені	розплющені	нормальні	нормальні
губи	нормальні	нормальні	розтягнуті	зжаті
брови	опущені	підняті	підняті	опущені

Наведене у таблиці 2 подання мімічних проявів у розрізі емоційних станів слугуватиме основою для наступного синтезу моделі за якою буде проводитися детектування. Визначені емпіричним шляхом ознаки формально подамо наступним чином: 1) x_1 – ознака міміки ділянки обличчя з очами; 2) x_2 – ознака міміки ділянки обличчя з губами; 3) x_3 – ознака міміки ділянки обличчя з бровами.

$x_1, x_2, x_3 \in [0, 1]$, причому $x_1 \in [0, 0.2]$ – для примружених очей; $x_1 \in [0.4, 0.6]$ – для нормальних очей; $x_1 \in [0.8, 1]$ – для розплющених очей; $x_2 \in [0, 0.2]$ – для зжатих губ; $x_2 \in [0.4, 0.6]$ – для нормальних губ; $x_2 \in [0.8, 1]$ – для розтягнутих губ; $x_3 \in [0, 0.2]$ – для опущених брів; $x_3 \in [0.4, 0.6]$ – для нормальних брів; $x_3 \in [0.8, 1]$ – для піднятих брів. Існуючі у запропонованій синтетичній моделі проміжки, що не використовуються ($[0.2, 0.4]$, $[0.6, 0.8]$) служать для моделювання хорошої роздільності між різними емоційними станами при їх класифікації [6].

Валідність запропонованої моделі перевірялась на синтезованих даних, тому що реальні вхідні данні будуть належати тим же проміжкам, що і штучно створені.

За наведеними у таблиці 2 емоційними проявами і відповідними їм проміжками для згенеровано вхідні дані та візуалізовано їх у двомірному просторі з використанням багатовимірного шкалювання (рис. 4).

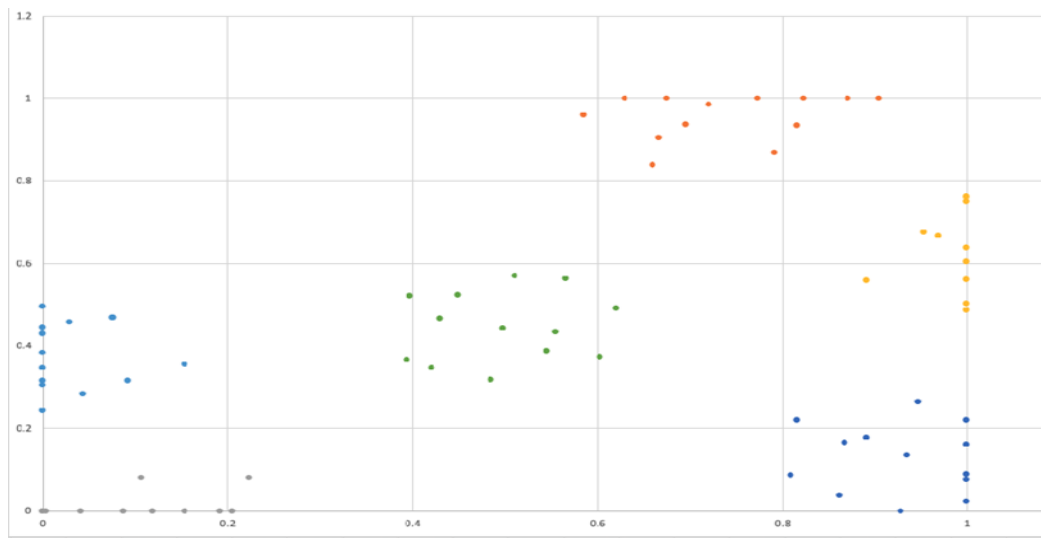


Рис. 4. Візуалізація емоційних станів

Як видно з рис. 4, синтезовані данні згруповані за емоціями, що підтверджує спроможність запропонованої моделі використовуватись для класифікації емоційних станів.

Модель зміни емоційного стану за мімічними проявами

Відповідно до результатів якісного аналізу ділянок обличчя (таблиця 2), сформовано множину якісних характеристик зміщень точок-особливостей або груп точок-особливостей (таблиця 3).

Таблиця 3

Якісні характеристики ділянок людського обличчя

Емоція / Область обличчя	Злість	Страх	Радість	Сум
Рот	закритий	привідкритий	привідкритий	закритий
Кутики губ	опущені	припідняті	або відкритий	опущені
Очі	розкриті або примружені	широко розкриті	підняті	примружені
Брови (перенісся)	зведені до перенісся	зведені до перенісся	розкриті або примружені	зведені до перенісся
Брови	нормальні	підняті вверх	нормальні	нормальні
Кутики брів зовнішні	нормальні	зовнішні підняті	підняті вверх	нормальні
Кутики брів внутрішні	нормальні	внутрішні підняті	зовнішні підняті	нормальні

З огляду на потреби ідентифікації зміни емоційного стану мімічних проявів засобами звичайних камер із невисокою роздільною здатністю та за результатами з таблиці 3 введено наступну градацію для ознак, які розташовані на ділянках обличчя: 1) рот: {відкритий / закритий / закритий або привідкритий}; 2) кутики губ: {опущені / підняті}; 3) очі: {широко розкриті / розкриті (норм) / примружені}; 4) брови (перенісся): {зведені до перенісся / нормальні}; 5) брови: {підняті вверху / нормальні}; 6) кутики брів зовнішні: {підняті / нормальні}; 7) кутики брів внутрішні: {підняті / нормальні}.

Наведене вище подання мімічних проявів у розрізі емоційних станів є основою для синтезу моделі, за якою буде проводитися ідентифікація:

$$f: P \rightarrow \langle \mathbf{X}, \mathbf{W} \rangle, \quad (1)$$

де P – матриця пікселів вхідного відеозапису натовпу людей; \mathbf{X} – вектор ознак мімічних проявів емоцій на обличчі людини, $\mathbf{X} = (x_i)_{i=1}^7$, \mathbf{W} – вектор ваг моделі ідентифікації емоційного стану на обличчі людини.

Визначені емпірично ознаки, що формують вектор \mathbf{X} , формально подано так: x_1 – ознака міміки ділянки обличчя з ротом; x_2 – ознака міміки ділянки обличчя з кутиком рота; x_3 – ознака міміки ділянки обличчя з очима; x_4 – ознака міміки ділянки обличчя з переніссям між бровами; x_5 – ознака міміки ділянки обличчя з бровами; x_6 – ознака міміки ділянки обличчя із зовнішніми кутиками брів; x_7 – ознака міміки ділянки обличчя із внутрішніми кутиками брів.

Вектор ознак мімічних проявів у розрізі емоційних станів x_i , $i = \overline{1,7}$, описано в таблиці 4.

Таблиці 4

Якісна характеристика ознак мімічних проявів у розрізі емоційних станів

#	Якісна ознака	Злість	Критерій зміни	Страх	Критерій зміни
x_1	Рот	закритий	[0;0.3]	привідкритий	[0.3;0.7]
x_2	Кутики губ	припідняті	[0.3;0.7]	опущені	[0;0.3]
x_3	Очі	примружені	[0;0.2]	широко розкриті	[0.5;1]
x_4	Брови (перенісся)	зведені до перенісся	[0;0.3]	розведені	[0.7;1]
x_5	Брови	опущені	[0;0.3]	підняті вверху	[0.7;1]
x_6	Кутики брів зовнішні	опущені	[0;0.3]	зовнішні підняті вверху	[0.6;1]
x_7	Кутики брів внутрішні	опущені	[0;0.3]	внутрішні підняті вверху	[0.6;1]
#	Якісна ознака	Радість	Критерій зміни	Сум	Критерій зміни
x_1	Рот	привідкритий або відкритий	[0.6;1]	закритий	[0;0.3]
x_2	Кутики губ	підняті	[0.7;1]	опущені	[0;0.3]
x_3	Очі	примружені або розкриті	[0.2;0.5]	примружені	[0;0.3]
x_4	Брови (перенісся)	нормальні	[0.3;0.7]	зведені до перенісся або нормальні	[0.1;0.5]
x_5	Брови	припідняті вверху або нормальні	[0.3;0.7]	опущені або нормальні	[0.2;0.6]
x_6	Кутики брів зовнішні	припідняті вверху або нормальні	[0.3;0.7]	опущені або нормальні	[0.2;0.6]
x_7	Кутики брів внутрішні	припідняті вверху або нормальні	[0.3;0.7]	опущені або нормальні	[0.2;0.6]

Мімічні прояви природно мають граничні стани і зокрема характеризуються типовою сукупністю ознак зовнішніх проявів цих станів. Відповідно до цих принципів, у роботі [7] було емпірично визначено межі проявів ознак. Зазначимо, що існує природній розподіл, і вказані межі в таблиці 3 відповідають найбільш типовим проявам.

Порівняння якісних ознак моделі з системою класифікації виразів людського обличчя

Проведемо порівняння запропонованої моделі (1) з якісною характеристикою ознак ділянок обличчя (таблиця 4) та системи класифікації виразів обличчя людини FACS [8].

Система FACS містить 100 активних одиниць (з англ. action units, AUs) та характеризує ступінь вираженості зміни стану м'язів за 5-а рівнями: А – мінімальний, В – незначний, С – явний, D – сильний або екстремальний, Е – максимальний.

У запропонованій моделі зміна емоційного стану визначається за наперед заданим стандартом, проти підходу з активними одиницями у роботі Екмана [8]. Тобто для різних емоцій визначено одні й ті ж ознаки, але з різними мімічними проявами. Для порівняння взято такі емоції:

1. Мімічний прояв емоційного стану «Злість» за FACS визначено так: опущені брови (AU4); припідняті верхні повіки (AU5); припідняті нижні повіки (AU7); стиснуті губи (AU23). В запропонованій моделі «Злість» характеризують: рот закритий; кутики губ припідняті; очі примружені; брови (перенісся) зведені; брови опущені; кутики брів зовнішні опущені; кутики брів внутрішні опущені.

2. Мімічний прояв емоції «Страх» за FACS визначено так: внутрішні частини брів підняті (AU1); зовнішні частини брів підняті (AU2); опущені брови (AU4); припідняті верхні повіки (AU5); припідняті нижні повіки (AU7); губи натягнуті (AU20); опущена щелепа (AU26). Запропонована модель визначає «Страх» як: рот привідкритий; кутики губ опущені; очі широко розкриті; брови (перенісся) зведені; брови опущені; кутики брів зовнішні опущені; кутики брів внутрішні опущені.

3. Мімічний прояв емоції «Радість» за FACS визначено так: щоки підняті (AU6); розтягнуті кутику губ (AU12). Спрощена модель визначає «Радість» як: рот привідкритий або відкритий; кутики губ підняті; очі примружені або розкриті; брови (перенісся) нормальні; брови припідняті вверху або нормальні; кутики брів зовнішні припідняті вверху або нормальні; кутики брів внутрішні припідняті вверху або нормальні.

4. Мімічний прояв емоції «Сум» за FACS визначено так: внутрішні частини брів підняті (AU1); опущені брови (AU4); опущені кутики губ (AU15). В запропонованій моделі «Сум» визначається як: рот закритий; кутики губ опущені; очі примружені; брови (перенісся) зведені до перенісся або нормальні; брови опущені або нормальні; кутики брів зовнішні опущені або нормальні; кутики брів внутрішні опущені або нормальні.

Порівняльний аналіз системи FACS та запропонованої моделі на основі визначення та вибору впливових ознак дає можливість реалізувати ідентифікацію змін емоційного стану мімічних проявів без зниження якісних результативних показників. Використання моделі дає змогу визначати сукупність необхідних емоційних станів та сформуванню необхідної множини характерних ознак, які створюють емоційний прояв та характеризуються належними параметрами роздільності емоцій за мімічними проявами. Водночас уніфікація кількості структурних якісних ознак мімічних проявів показала свою ефективність через те, що визначаються значущі ознаки, які в сукупності створюють умови хорошого розділення цих груп і, отже, розділення емоційних станів.

Висновки

У роботі запропоновано нову спрощену модель відтворення мімічних проявів емоційних станів людини для систем, що відповідають вимогам безпеки. Модель використовує підхід гіперплощинної класифікації мімічних проявів основних емоційних станів. У роботі було виділено основні ділянки обличчя, що впливають на відображення емоційних станів, до яких належать ділянки обличчя з бровами, очима та ротом. Також було виділено якісні характеристики зміщень точок. Форми групування станів, як відображення сукупності ознак, були визначені та формалізовані на основі методів візуальної аналітики. Ці дані групувано та формалізовано в класи емоційних проявів. У результаті проведення експериментів встановлено, що запропонована модель ефективно формалізує мімічні прояви обличчя, що відображають емоційні стани людини, та може мати практичне застосування для покращення дотримання вимог безпеки в реальних умовах.

Література

1. Revina I. M., Emmanuel W. R. S. A survey on human face expression recognition techniques. *Computer and Information Sciences. Journal of King Saud University*. 2018. Vol. 33, No. 6. P. 619–628.
2. Naga P., Marri S. D., Borreo R. Facial emotion recognition methods, datasets and technologies: A literature survey. *Materials Today: Proceedings*. 2021. P. 1–5.
3. Gangopadhyay I., Chatterjee A., Das I. Face detection and expression recognition using Haar cascade classifier and Fisherface algorithm. In: Bhattacharyya S., Pal S., Pan I., Das A. (eds) *Recent Trends in Signal and Image Processing. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, Singapore. 2019. Vol. 922. P. 1–11.
4. Facial geometric feature extraction based emotional expression classification using machine learning algorithms. *PLOS ONE*. 2021. Vol. 16, No. 2. P. e0247131.
5. Zabatani A. Intel® RealSense™ SR300 coded light depth camera. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2020. Vol. 42, No. 10. P. 2333–2345.
6. Radiuk P., Pavlova O., Hrypynska N. An ensemble machine learning approach for Twitter sentiment analysis. *CEUR-WS, ISSN. 1613–0073*. 2022. Vol. 3171. P. 387–397.
7. Kalyta O., Krak Iu., Barmak O., Wojcik W., Radiuk P. Method of facial geometric feature representation for information security systems. *CEUR-WS, ISSN. 1613–0073*. 2022. Vol. 3156. P. 319–328.
8. Ekman P., Friesen W. V., Hager J. C. *The facial action coding system: The manual*. Salt Lake City, UT Research Nexus eBook. 2002. 527 p.