

КАЛИТА О. Д.

<https://orcid.org/0000-0003-1868-8803>e-mail: [oleg.kalyta@gmail.com](mailto:oleg.kalyta@gmail.com)

Хмельницький національний університет

## МЕТОД ГЕОМЕТРИЧНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДІЛЯНОК ОБЛИЧЧЯ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗМІН ЕМОЦІЙНОГО СТАНУ

Станом на тепер актуальними залишаються інформаційні системи візуального спостереження для забезпечення безпеки, що ґрунтуються на розпізнаванні змін емоційного стану людини. Для покращення роботи подібних систем у даній роботі запропоновано метод геометричної інтерпретації ділянок обличчя, що призначений для автоматизованого відображення мімічних проявів емоцій людини у вигляді кількісних характеристик геометричних фігур на обличчі людини. Вихідними даними методу є кількісні вираження семи фігур у вигляді кількісних ознак, що застосовуються надалі для класифікації емоційних виразів обличчя. Проведено валідування запропонованого методу за допомогою гіперплощинної класифікації. Результати обчислювальних експериментів підтвердили ефективність запропонованого методу для задачі класифікації змін емоційного стану. Крім того, використання простих математичних обрахунків у нашому методі дало змогу суттєво знизити обчислювальну складність проти аналогів.

Ключові слова: розпізнавання емоцій, виявлення обличчя, мімічні прояви, кількісна інтерпретація обличчя, інформаційна безпека, гіперплощинна класифікація

OLEG KALYTA

Khmelnytskyi National University

## METHOD OF GEOMETRIC INTERPRETATION OF FACIAL EXPRESSIONS FOR EMOTIONS RECOGNITION

Emotional expressions serve a crucial role in interpersonal communication between people while improving social life. In particular, information security systems for visual surveillance that aim to recognize human emotional facial states are highly relevant today. Facial expressions are among the most effective and straightforward means of nonverbal interaction in systems with a human-machine interface. Despite significant scientific and engineering advances in emotion recognition, there are still several challenges in improving the performance of real-time human-machine systems that might work more effectively. In this work, a method of facial geometric feature representation is proposed to improve the operation of security systems. The method is designed to automatically reflect the facial expressions of human emotions in the form of quantitative characteristics of geometric shapes. It uses software-generated landmarks for constructing specific geometric characteristics of the face, which serve as input for the method. Our method consists in forming seven geometric shapes based on predefined landmarks, with the subsequent quantitative expression of these shapes. It was established within the method that the movement of the landmarks when changing facial expressions directly changed the value of each geometric shape. The method outputs the quantitative features of seven shapes, later used to classify emotional facial states. Finally, our method was validated using hyperplane classification. The results of computational experiments confirmed the effectiveness of the proposed method for identifying changes in a person's emotional state by facial expressions. In addition, the use of simple mathematical calculations in our method has significantly reduced the computational complexity against analogs.

Keywords: Emotion recognition, face detection, facial extractions, geometric feature, face orientation, information security, hyperplane classification

### Постановка проблеми у загальному вигляді

#### та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Емоції відіграють ключову роль як у міжособистісному спілкуванні між людьми, так і під час взаємодії людина-машина. Мімічні прояви людського обличчя є одним із найбільш ефективних та простих засобів невербальної взаємодії в системах із людино-машинним інтерфейсом (ЛМІ) [1]. Проте, попри значні наукові та інженерні здобутки в галузі розпізнавання емоцій, усе ще існує низка проблем щодо покращення продуктивності систем із ЛМІ, що ефективно працюють у режимі реального часу.

Багато досліджень проведено щодо розпізнавання емоційних виразів обличчя за відеорядами. За основу в таких роботах взято систему кодування дій на обличчі (FACS), що призначена для аналізу емоційної поведінки обличчя [2]. Вона подає обличчя людини у вигляді керованих моделей одиниць дій (з англ. action units, AUs), які наразі вважаються еталонами для визначення шести різних емоційних виразів обличчя. Однак, велика кількоть одиниць дій у системі FACS накладає обчислювальну складність на метод розпізнавання виразів обличчя, що може спричинити критичні вади в реальних інформаційних системах. Подана робота спрямована на розроблення методу подання емоційних виразів людського обличчя через геометричні риси обличчя.

Для досягнення поставленої мети, у роботі розв'язано такі задачі:

1. Досліджено різні типи геометричних рис обличчя для класифікації змін емоційного стану.
2. Запропоновано метод подання мімічних проявів з використанням нових геометричних ознак.
3. Проведено експерименти із запропонованим методом та аналогами для класифікації емоцій.
4. Доведено, що геометричне подання емоційних виразів людського обличчя перевершує традиційне розпізнавання виразів обличчя з меншою обчислювальною складністю.

### Аналіз досліджень та публікацій

Було проаналізовано АУ в різних формах, таких як трикутник, мережа, прямокутник, карта уваги тощо. Наприклад, у роботі [3] подано систему розпізнавання виразів обличчя на основі нейромережевого моделювання, що показує порівняно хорошу середню похибку (14,7-21,7%). Дослідження [4] пропонує нові трикутні ознаки, такі як площа та периметр, вилучені з ділянок очей, рота та носа за допомогою 12 FAUs; за таких ознак максимальна швидкість розпізнавання обличчя 94 % була досягнута в базі даних старіння FG-NET. У дослідженні [5] автори розробили систему розпізнавання емоцій на основі трикутного підходу на основі нечітких правил. Загалом у цьому дослідженні було розглянуто шість основних емоцій (щастя, гнів, страх, здивування, смуток і огида). В іншій роботі [6] використано нову модель положення 52 FAUs, як геометричних характеристик, для системи розпізнавання емоційних виразів на обличчі.

З проведеного аналізу встановлено, що в традиційних підходах до кількісної характеристики обличчя людини складність обчислень (як в обчислювальному часі, так і в пам'яті) системи розпізнавання виразу емоцій обличчя зростає пропорційно з кількістю АУ, залучених до дизайну та комбінації АУ. Отже, виникає необхідність у розробленні нового підходу до опису ознак мімічних проявів людського обличчя, які будуть обчислювальними та забезпечуватимуть високу точність розпізнавання для систем безпеки в реальному часі.

### Метод геометричної інтерпретації

Запропонований метод геометричної інтерпретації ділянок обличчя призначений для автоматизованого відображення мімічних проявів емоцій людини у вигляді кількісних характеристик геометричних фігур на обличчі людини. У ньому на основі програмно побудованих маркерів, що позначають специфічні точки-особливості обличчя, обраховуються значення емоційних проявів. Схему запропонованого методу подано на рис. 1.

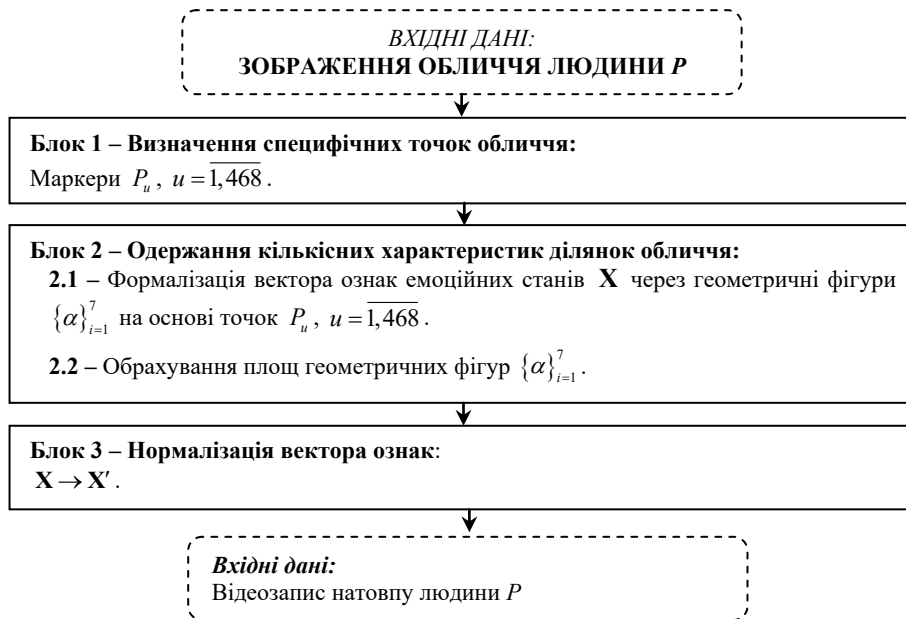


Рис. 1. Блок-схема методу геометричної інтерпретації ділянок обличчя

Вхідними даними методу є цифровий відеозапис натовпу людини.

У **Блоці 1** визначаються специфічні точки-особливості людського обличчя. Для цього використано пакет інструментів із відкритим кодом MediaPipe Face Mesh. Це рішення дає змогу програмно описувати геометрію обличчя через 468 3D-орієнтирів (маркерів),  $P_u, u = 0, 467$ .

У **Блоці 2** обраховуються кількісні характеристики частини обличчя.

На *кроці 2.1* вектор ознак  $X$  з формули (2.1) формалізується геометричними фігурами  $\{\alpha\}_{i=1}^7$ , кінці яких лежать у точках  $P_u$ . Відображення мімічних проявів емоцій якісними характеристиками є таким:  $\alpha_1$  – рот: відкритий / закритий / закритий або привідкритий;  $\alpha_2$  – кутики губ: опущені / підняті;  $\alpha_3$  – очі: широко розкриті / розкриті (норм) / примружені;  $\alpha_4$  – брови (перенісся): зведені до перенісся / нормальні;  $\alpha_5$  – брови: підняті вверх / нормальні;  $\alpha_6$  – кутики брів зовнішні: підняті / нормальні;  $\alpha_7$  – кутики брів внутрішні: підняті / нормальні.

На *кроці 2.2* відбувається обрахунок площ геометричних фігур  $\{\alpha\}_{i=1}^7$ . Відстань відрізків, що

формують фігури  $\{\alpha\}_{i=1}^7$ , обчисленою за формулою відстані Евкліда. Нижче наведемо детальний опис фігур  $\{\alpha\}_{i=1}^7$ , для кожної ознаки обличчя:

$$\alpha_1 = \sqrt{p_{1,0} (p_{1,0} - \overline{P_{17}P_{37}})(p_{1,0} - \overline{P_{37}P_{267}})(p_{1,0} - \overline{P_{267}P_{17}})}, \tag{1}$$

де 
$$p_{1,0} = \frac{\overline{P_{17}P_{37}} + \overline{P_{37}P_{267}} + \overline{P_{267}P_{17}}}{2};$$

$$\alpha_2 = \frac{\overline{3P_{1^*}P_{61}}}{\overline{P_{61}P_{291}}}, \tag{2}$$

$$\alpha_3 = \overline{P_{27}P_{145}} \cdot \overline{P_{33}P_{133}}, \tag{3}$$

$$\alpha_4 = \overline{P_9P_{168}} \cdot \overline{P_{107}P_{336}}, \tag{4}$$

$$\alpha_5 = \sqrt{p_{5,0} (p_{5,0} - \overline{P_1P_{105}})(p_{5,0} - \overline{P_{105}P_{334}})(p_{5,0} - \overline{P_{334}P_1})}, \tag{5}$$

де 
$$p_{5,0} = \frac{\overline{P_1P_{105}} + \overline{P_{105}P_{334}} + \overline{P_{334}P_1}}{2}.$$

Кількісною характеристикою  $\alpha_6$  є довжина відрізка  $\overline{P_{63}P_{145}}$ .

Кількісною характеристикою  $\alpha_7$  є довжина відрізка  $\overline{P_{66}P_{145}}$ .

У **Блоці 3** виконується нормалізація вектора ознак **X** за формулою:

$$x'_i = \frac{\alpha_i - \alpha_{i\min}}{\alpha_{i\max} - \alpha_{i\min}}, \tag{6}$$

де  $\alpha_i$  – кількісна характеристика  $i$ -ої ознаки,  $i = \overline{1,7}$ ,  $\alpha_{i\min}$  – мінімальне значення  $i$ -ої характеристики, визначено емпірично,  $\alpha_{i\max}$  – максимальне значення  $i$ -ої характеристики, визначено емпірично,  $x'_i$  – нормалізоване значення  $i$ -ї ознаки,  $x'_i \in \mathbf{X}'$ ,  $x'_i \in [0;1]$ .

Вихідними даними запропонованого методу є нормалізований вектор ознак **X'**, що використовується для подальшої ідентифікації емоційних станів. Отже, метод геометричної інтерпретації ділянок обличчя дає змогу відобразити обличчя людини, виявлене на відеозаписі, у нормалізований вектор ознак **X'**. Для тестування запропонованого методу використано еталонний набір даних ADFES [7].

### Результати експериментів

Спершу до навчального набору даних застосовано метод геометричної інтерпретації ділянок обличчя. Вхідними даними методу слугують 110 зображень людських обличчя набору даних ADFES, класифікованими за 5 емоціями. В результаті застосування запропонованого методу отримано матрицю нормалізованих значень  $\mathbf{X}' = (x'_{ijk})$ ,  $i = \overline{1,7}$  – ознаки ділянок обличчя,  $j = \overline{1,110}$  – об'єкти навчального набору даних,  $k = \overline{1,5}$  – досліджувані емоції. Застосування методу гіперплощинної класифікації [8] до розмежування емоційних груп за мімічними проявами отримано дало змогу отримати класифікатор у вигляді роздільної гіперплощини:

$$d(\mathbf{X}') = 0,005565x'_1 + 0,002142x'_2 + 0,027011x'_3 + 0,004986x'_4 - 0,0047x'_5 - 0,01164x'_6 - 0,03891x'_7 + 0,028614. \tag{7}$$

Лінійний класифікатор (7) використано для класифікації емоційних проявів, і як наслідок, ідентифікації змін емоційного стану за мімічними проявами для систем, що відповідають вимогам безпеки. Результати класифікації, що отримані різними методами класифікації за різними методами визначення ознак змін емоційного стану наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

### Результати класифікації

Підхід визначення ознак	Точність класифікації	Зважена точність	$F_1$	Час, с
FACS [2]	0,764	0,696	0,581	0,045
Метод трикутників [4]	<b>0,927</b>	<b>0,849</b>	0,728	0,011
Запропонований метод	0,901	0,841	<b>0,756</b>	<b>0,003</b>

З таблиці 1 бачимо, що запропонований метод перевершив аналоги за метрикою  $F_1$  (75,56%). Хоча метод трикутників продемонстрував вищу точність класифікації (92,73%), запропонований метод показав конкурентні результати у традиційній точності (90,01%) та збалансованої точності (84,18). Водночас використання простих математичних обрахунків у методі геометричної інтерпретації дало змогу суттєво знизити обчислювальну складність проти аналогів.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі**

У роботі запропоновано метод геометричної інтерпретації ділянок обличчя, що призначений для автоматизованого відображення мімічних проявів емоцій людини у вигляді кількісних характеристик геометричних фігур на обличчі людини. Запропонований метод полягає у формуванні семи геометричних фігур на основі побудованих маркерів із подальшим кількісним вираженням цих фігур. Вихідними даними методу є кількісні вираження семи фігур у вигляді кількісних ознак, що застосовуються надалі для класифікації емоційних виразів обличчя. Результати валідування методу підтвердили ефективність запропонованого методу для задачі класифікації змін емоційного стану. Крім того, використання простих математичних обчислень у нашому методі дало змогу суттєво знизити обчислювальну складність проти аналогів.

**Література**

1. Saxena A. Emotion recognition and detection methods: A comprehensive survey / A. Saxena, A. Khanna, D. Gupta // *Journal of Artificial Intelligence and Systems*. – 2020. – Vol. 2, No. 1. – P. 53–79.
2. Ekman P. The facial action coding system: The manual / P. Ekman, W. V. Friesen, J. C. Hager // *UT Research Nexus eBook*. – Salt Lake City, 2002. – 527 p.
3. Терейковська Л. Метод нейромережевого розпізнавання емоцій по зображенню обличчя / Л. Терейковська // *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*. – 2020. – № 40. – С. 146–152.
4. Revina I. M. MDTP: A novel multi-directional triangles pattern for face expression recognition / I. M. Revina, W. R. S. Emmanuel // *Multimedia Tools and Applications*. – 2019. – Vol. 78, No. 18. – P. 26223–26238.
5. Nasir M. Fuzzy triangulation signature for detection of change in human emotion from face video image sequence / M. Nasir, P. Dutta, A. Nandi // *Multimedia Tools and Applications*. – 2021. – Vol. 80. – P. 31993–32022.
6. Barmak O. Model of the facial emotions expressions based on grouping classes of feature vectors / O. Barmak, O. Kalyta, Iu. Krak, E. Manziuk, V. Kuznetsov // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – Cham, 2020. – Vol. 1246. – P. 65–76.
7. Van der Schalk J. Moving faces, looking places: Validation of the Amsterdam dynamic facial expression set (ADFES) / J. van der Schalk, S. T. Hawk, A. H. Fischer, B. Doosje // *Emotion*. – 2011. – Vol. 11, No. 4. – P. 907–920.
8. Barmak A. V. Information technology of separating hyperplanes synthesis for linear classifiers / A. V. Barmak, Y. V. Krak, E. A. Manziuk, V. S. Kasianiuk // *Journal of Automation and Information Sciences*. – 2019. – Vol. 51, No. 5. – P. 54–64.

**References**

1. Saxena A. Emotion recognition and detection methods: A comprehensive survey / A. Saxena, A. Khanna, D. Gupta // *Journal of Artificial Intelligence and Systems*. – 2020. – Vol. 2, No. 1. – P. 53–79.
2. Ekman P. The facial action coding system: The manual / P. Ekman, W. V. Friesen, J. C. Hager // *UT Research Nexus eBook*. – Salt Lake City, 2002. – 527 p.
3. Tereikovska L. Metod neiromerezhevoho rozpoznavannia emotsii po zobrazhenniu oblychchia / L. Tereikovska // *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*. – 2020. – № 40. – С. 146–152.
4. Revina I. M. MDTP: A novel multi-directional triangles pattern for face expression recognition / I. M. Revina, W. R. S. Emmanuel // *Multimedia Tools and Applications*. – 2019. – Vol. 78, No. 18. – P. 26223–26238.
5. Nasir M. Fuzzy triangulation signature for detection of change in human emotion from face video image sequence / M. Nasir, P. Dutta, A. Nandi // *Multimedia Tools and Applications*. – 2021. – Vol. 80. – P. 31993–32022.
6. Barmak O. Model of the facial emotions expressions based on grouping classes of feature vectors / O. Barmak, O. Kalyta, Iu. Krak, E. Manziuk, V. Kuznetsov // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – Cham, 2020. – Vol. 1246. – P. 65–76.
7. van der Schalk J. Moving faces, looking places: Validation of the Amsterdam dynamic facial expression set (ADFES) / J. van der Schalk, S. T. Hawk, A. H. Fischer, B. Doosje // *Emotion*. – 2011. – Vol. 11, No. 4. – P. 907–920.
8. Barmak A. V. Information technology of separating hyperplanes synthesis for linear classifiers / A. V. Barmak, Y. V. Krak, E. A. Manziuk, V. S. Kasianiuk // *Journal of Automation and Information Sciences*. – 2019. – Vol. 51, No. 5. – P. 54–64.

Рецензія/Peer review : 13.01.2022 р.

Надрукована/Printed : 27.02.2022 р.