

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-51-09>

УДК 004.932.2

Мельник Катерина Вікторівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-9991-582X>

Багнюк Наталія Володимирівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-7120-5455>

Лавренчук Світлана Василівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-5453-3924>

Христинець Наталія Анатоліївна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-4836-7632>

Боба Роман Васильович, магістр

Омельчук Дмитро Юрійович, студент

Луцький національний технічний університет, м.Луцьк, Україна

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧ

Мельник К.В., Багнюк Н.В., Лавренчук С.В., Христинець Н.А., Боба Р.В., Омельчук Д.Ю. Застосування методів машинного навчання для розпізнавання облич. У даній статті наведені методи машинного навчання для задачі розпізнавання облич за допомогою мови програмування Python, розглянуто важливі етапи процесу побудови моделей машинного навчання, такі як підготовка даних, вибір алгоритму, навчання моделі та оцінка її ефективності.

**Ключові слова:** розпізнавання облич, машинне навчання, математичні моделі, обробка даних.

Melnyk K., Bahniuk N., Lavrenchuk S., Khrystynets N., Boba R., Omelchuk D. Application of machine learning methods for face recognition. This article presents machine learning methods for face recognition using the Python programming language, discusses important stages of the process of building machine learning models, such as data preparation, algorithm selection, model training, and evaluation of its effectiveness.

**Keywords:** face recognition, machine learning, mathematical models, data processing.

### Постановка наукової проблеми.

Розпізнавання облич є важливим завданням в галузі комп'ютерного зору та обробки зображень, і в Україні ця технологія тільки починає розвиватися. Вже багато компаній впроваджують системи розпізнавання облич у свої системи безпеки, особливо в системах контролю доступу та обліку робочого часу, що сприяє підвищенню рівня безпеки [1].

Завдання автоматичної класифікації за фотографією особи формується наступним чином: дана тренувальна вибірка  $N_k$ , з  $t$  зображеннями осіб, де  $I$  – зображення,  $X(I)$  – функція, яка здійснює опис особи за зображенням. Завдання полягає в тому, щоб побудувати модель  $u(X(I))$  і класифікувати людину з нових фотографій, не представлених у тренувальній вибірці (у тому числі, для нових людей).

У процесі розробки моделей розпізнавання облич можуть виникати деякі проблеми, які необхідно врахувати:

1. Недостатня кількість даних. Ефективне навчання моделей розпізнавання облич вимагає наявності великого обсягу різноманітних зображень облич. Брак даних може призвести до обмеженої здатності моделі до узагальнення та неправильної роботи на нових зображеннях.

2. Варіативність зображень. Людські обличчя можуть змінюватися залежно від різних параметрів, таких як освітлення, поза, вираз обличчя, аксесуари та інші фактори. Моделі розпізнавання облич повинні бути стійкими до таких варіацій і здатними коректно розпізнавати обличчя незалежно від цих факторів.

3. Збалансованість даних. Якщо набір даних для навчання моделі містить нерівномірну кількість зображень облич різних людей або класів, це може призвести до перекошу в розпізнаванні. Модель може бути більш схильною до розпізнавання деяких осіб або класів, представлених у більшій кількості в навчальних даних. Також може виникнути проблема недостатнього навчання (англ. «underfitting»), коли модель недостатньо навчена на тренувальних даних і не здатна виявити загальні закономірності або залежності в даних.

4. Проблема перенавчання (англ. «overfitting»). Це виникає, коли модель надмірно добре пристосовується до тренувальних даних, але погано узагальнюється до нових зображень. Модель може «запам'ятати» тренувальні дані і не здатна правильно розпізнавати нові обличчя або виявляти варіації.

Загалом, розпізнавання облич є складною задачею, що стикається з численними викликами.

© Мельник К.В., Багнюк Н.В., Лавренчук С.В., Христинець Н.А., Боба Р.В., Омельчук Д.Ю.

Проте застосування математичних методів та алгоритмів, разом з відповідними наборами даних та оптимізацією, може допомогти подолати ці проблеми та створити ефективні моделі розпізнавання облич. Додатково, використання технік попередньої обробки даних, які зменшують вплив варіативності, може допомогти поліпшити точність розпізнавання. Також важливо мати доступ до великого та репрезентативного набору даних, що дозволяє моделі краще узагальнювати та розпізнавати обличчя різних людей у різних ситуаціях.

Постійна розробка нових алгоритмів та методів розпізнавання облич дозволяє постійно вдосконалювати цю технологію і забезпечувати високу точність та стабільність роботи систем розпізнавання облич у різних сферах застосування.

#### Аналіз досліджень.

Незважаючи на безліч досліджень в галузі комп'ютерного зору та обробки зображень, які проводяться протягом останніх десятиліть, так і не було розроблено методів, що дозволяють надійно виявляти й розпізнавати обличчя людини за будь-яких умов.

Існує велика кількість методів та їх модифікацій, таких як: головних компонент [2], метод Віоли-Джонса [3], метод прихованої Маркової моделі [4], еластичних графів [5], методи засновані на нейронних мережах [6], метод локальних бінарних шаблонів [7], геометричному методі розпізнавання [8] та ін.

Кожен з перелічених методів має свої переваги та недоліки, що впливають на швидкість та якість розпізнавання.

Наприклад, якщо розглядати задачу автоматичного визначення статі людини з використанням ВІФ ознак (biologically inspired features) [9] та методу опорних векторів [10], то алгоритм може включати наступні кроки, як наведено у роботі А.С. Спижевой та Д.В. Баландіна:

- 1) геометрична нормалізація та нормалізація яскравості особи;
- 2) обчислення біологічно обумовлених ознак;
- 3) зниження розмірності вектора-ознак за допомогою методу головних компонентів або методу, заснованого на використанні дерев рішень;
- 4) класифікація статі за допомогою методу опорних векторів з *rbf* ядром, реалізований у бібліотеці OpenCV [11].

Дослідження проводились на базі даних фотографій облич Labeled Faces in the Wild. Запропонований підхід для визначення статі людини за зображенням особи, використовуючи ВІФ ознаки і метод опорних векторів, досягає високої середньої точності класифікації – 96,18%. Це означає, що алгоритм здатний правильно визначати стать особи на зображенні в більш як 96% випадків, що є дуже точним результатом.

Додатково проведено порівняння двох методів зниження розмірності простору ознак – методу головних компонентів (Principal Component Analysis, PCA [12]) і методу, заснованого на виборі найбільш інформативних ознак. Застосування дерев рішень (ERT – Extremely Randomized Trees [13]) для оцінки інформативності компонент і вибору найбільш значущих ознак призводить до значної економії часу обробки кадру зображення.

Однак, при такому підході спостерігається незначне зниження середньої точності класифікації до 94,86%. Незважаючи на це зниження точності, запропонований підхід все ще перевершує інші розглянуті методи, що підтверджує його ефективність в розпізнаванні статі за зображенням обличчя.

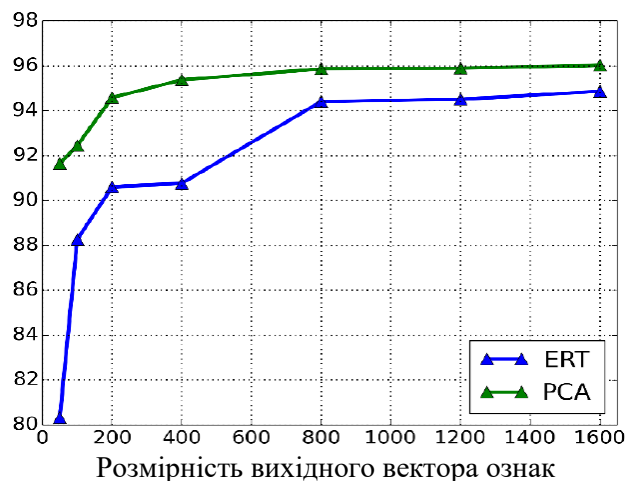


Рис.1 – Порівняння точності визначення статі залежно від кількості використовуваних ознак для методу основних компонентів і методу, заснованого на ранжируванні ознак за допомогою дерев рішень

Отже, запропонований підхід з використанням VIF ознак і методу опорних векторів виявляється ефективним у визначенні статі особи за зображенням. При використанні дерев рішень для вибору найбільш значущих ознак, можна досягнути економії часу обробки, хоча це може призвести до незначного зниження точності класифікації.

Розпізнавання облич є комплексною задачею [14] і включає такі частини: знайти людину на фото, провести аналіз на спотвореність зображення (повернута в бік голова, погане освітлення і т.д.), вибрати унікальні особливості обличчя та порівняти їх з наявними даними для розпізнавання.

У роботі [15] пошук людини на фото здійснюється способом, який називається: гістограма орієнтованих градієнтів (Histogram of Oriented Gradients, HOG [16]), як показано на рисунку 1.

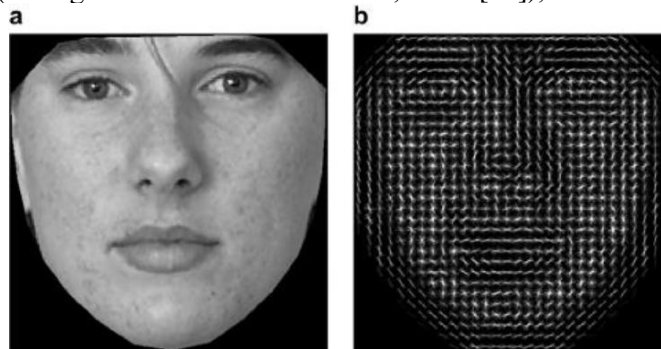


Рис. 2 – а) Приклад обличчя, б) Обличчя перетворене у HOG формат

Використовуючи цю техніку, можна легко знайти обличчя на будь-якому зображенні. Наступним кроком необхідно позиціонувати обличчя для розпізнавання. В роботі використовується алгоритм, який називається face landmark estimation (оцінка орієнтирів обличчя), як показано на рис.3, їх є 68.

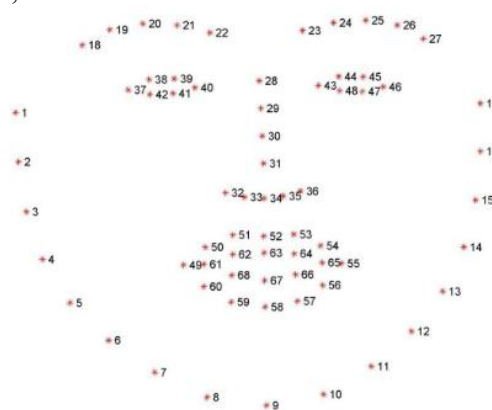


Рис. 3 – Орієнтири (landmarks), які присутні на кожному обличчі

Після знаходження всіх орієнтирів і провівши прості маніпуляції (повертання, збільшення або зменшення), обличчя буде розташоване у центрі. Процес розпізнавання невідомого обличчя – це процес порівняння його з усіма відомими зображення з тестової вибірки. Однак цей процес довготривалий, тому виділяють унікальні особливості обличчя. Для виділення 128 характеристик обличчя використовують згорткову нейронну мережу, процес навчання якої здійснювався за принципом переглядання трьох зображень одночасно [17]. Ідентифікація людини здійснюється методом опорних векторів (SVM).

В загальному, весь процес розпізнавання облич на зображеннях можна зобразити наступною схемою (рис.4) [18]:

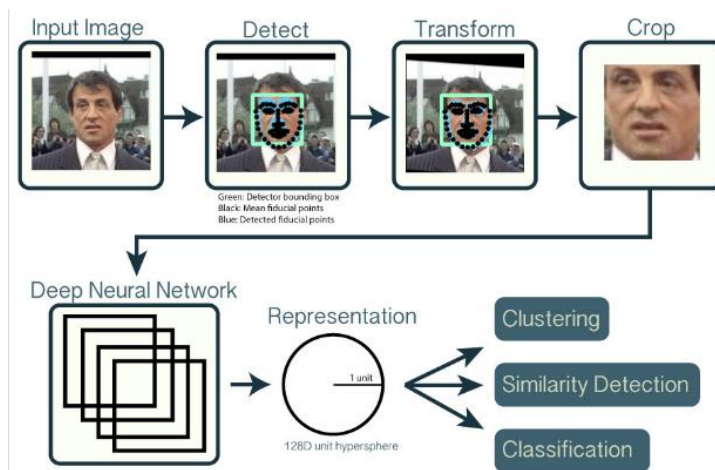


Рис. 4 – Процес розпізнавання обличчя

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.**

В роботі використовується база даних фотографій обличчя Labeled Faces in the Wild, створена для вивчення проблеми розпізнавання обличчя в лабораторії комп'ютерного зору Массачусетського університету [19,20]. Набір даних містить понад 13 000 зображень обличчя, зібраних з Інтернету. Кожне обличчя було позначено іменем зображеної людини. 1680 із зображених людей мають дві або більше різних фотографій у наборі даних. Єдиним обмеженням для цих обличчя є те, що вони були виявлені детектором обличчя Віоли-Джонса.

В роботі ідентифікація людини здійснюється опорним векторним класифікатором (Support Vector Classifier, SVC) і показано, як метод зниження розмірності простору ознак (метод головних компонентів, PCA) впливає на точність класифікатора.

```
Out[24]: GridSearchCV(cv=5, estimator=SVC(class_weight='balanced', random_state=42),
               n_jobs=2,
               param_grid={'C': [0.1, 1, 10], 'gamma': [1e-07, 1e-08, 1e-06],
                           'kernel': ['rbf', 'linear']})

In [25]: print('The best model:\n', grid_search.best_params_)

The best model:
{'C': 10, 'gamma': 1e-07, 'kernel': 'rbf'}

In [26]: clf_best = grid_search.best_estimator_
pred = clf_best.predict(X_test)

In [28]: print(f'The accuracy is :{clf_best.score(X_test,Y_test)*100:.1f}%')

The accuracy is :87.7%
```

Рис. 5 – Фрагмент коду методу SVC

На рис.6 показано застосування методу головних компонентів (components=100), що збільшило середню точність класифікації з 87.7% до 90.2%.

```
In [35]: from sklearn.decomposition import PCA
pca = PCA(n_components=100,whiten=True,random_state=42)
svc = SVC(class_weight='balanced',kernel='rbf',random_state=42)
from sklearn.pipeline import Pipeline
model = Pipeline([("pca",pca),
                  ("svc",svc)])

In [42]: parameters_pipeline = {"svc__C":[1,3,10],
                               "svc__gamma":[0.001,0.005]}
grid_search = GridSearchCV(model,parameters_pipeline)
grid_search.fit(X_train,Y_train)

Out[42]: GridSearchCV(estimator=Pipeline(steps=[('pca',
                                             PCA(n_components=100, random_state=42,
                                                whiten=True)),
                                             ('svc',
                                              SVC(class_weight='balanced',
                                                 random_state=42))]),
                       param_grid={'svc__C': [1, 3, 10], 'svc__gamma': [0.001, 0.005]})

In [43]: print('The best model:\n', grid_search.best_params_)

The best model:
{'svc__C': 1, 'svc__gamma': 0.005}

In [45]: model_best = grid_search.best_estimator_
print(f"The accuracy is:{model_best.score(X_test,Y_test)*100:.1f}%")

The accuracy is:90.2%
```

Рис. 6 – Фрагмент коду застосування методів PCA та SVC

### Висновки та перспективи подальшого дослідження

У статті проведено огляд базових алгоритмів для роботи із зображеннями та розпізнавання облич. Задача розпізнавання є комплексною задачею, яка вимагає багатьох кроків попередньої обробки зображень. Одним із вирішальних факторів є час роботи алгоритму розпізнавання та її точність. Показано, як використання методу зниження розмірності простору ознак підвищує середню точність класифікації з 87.7% до 90.2%.

### Список бібліографічного опису

1. Який принцип роботи систем розпізнавання облич? Перспективи технології в Україні. URL: [http://kristall-systems.net.ua/ua/novosti/kak\\_rabotaet\\_raspoznvanie\\_lits\\_perspektivy\\_tehnologii\\_v\\_ukraine/](http://kristall-systems.net.ua/ua/novosti/kak_rabotaet_raspoznvanie_lits_perspektivy_tehnologii_v_ukraine/) (дата звернення: 30.05.2023).
2. Розпізнавання облич: від теорії до практики. Wiki ТНТУ. URL: <http://surl.li/hmeoo> (дата звернення: 30.05.2023).
3. Бембель, О. С. (2020). Застосування методу Віюлі-Джонса для розпізнавання тривимірних об'єктів (Bachelor's thesis, КПІ ім. Ігоря Сікорського).
4. Повідайко, П. М., & Скороход, М. П. (2013). Дослідження методів розпізнавання емоцій людини в охоронних системах.
5. Sosnovskiy, V., & Khlevniy, A. (2019). Аналіз та дослідження основних методів розпізнавання обличчя. *Computer-integrated technologies: education, science, production*, (35), 192-197.
6. Тимошин, Ю. А., & Орленко, С. П. (2018). Алгоритм розпізнавання обличчя людей на базі згорткової нейронної мережі. *Адаптивні системи автоматичного управління*, 1(32), 166-173.
7. Ahonen, A. Hadid, M.Pietikainen. Face Description with Local Binary Patterns: Application to Face Recognition. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1996, №28(12), С. 2037-2041.
8. Golubyak, I. V., & Kosarevych, R. Ya. (2017). Face recognition methods. *Problems of information technologies*, (2), 158-164.
9. Guo G, Fu Y, Dyer CR, Huang TS. Image-based human age estimation by manifold learning and locally adjusted robust regression. *IEEE Trans Image Process*. 2008 Jul;17(7):1178-88. doi: 10.1109/TIP.2008.924280. PMID: 18586625.
10. Corinna Cortes, Vapnik Vladimir. Support-vector networks. *Machine learning* 20.3. 1995. P. 273-297.
11. OpenCV Face Recognition. OpenCV. URL: <https://opencv.org/opencv-face-recognition/> (date of access: 11.06.2023).
12. Abdi H., Williams L.J. Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(4). 2010. P. 433-459.
13. Geurts Pierre, Damien Ernst, Louis Wehenkel. Extremely randomized trees. *Machine learning*, 63.1. 2006. P. 3-42.
14. Li S.Z., Jain A. Handbook of Face Recognition. Springer New York, 2011. P. 398.
15. Шаховська, Н. Б., & Басистюк, О. А. (2017). Розпізнавання обличчя за допомогою алгоритмів машинного навчання. Штучний інтелект.
16. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. URL: <https://lear.inrialpes.fr/people/triggs/pubs/Dalal-cvpr05.pdf> (date of access: 13.06.2023).
17. FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering URL: [https://www.cv-foundation.org/openaccess/content\\_cvpr\\_2015/app/1A\\_089.pdf](https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2015/app/1A_089.pdf) (date of access: 13.06.2023)
18. OpenFace. URL: <https://cmusatyalab.github.io/openface/> (date of access: 13.06.2023).
19. Abeled Faces in the Wild. URL: <http://vis-www.cs.umass.edu/lfw/> (date of access: 28.05.2023).
20. Gary B. Huang, Manu Ramesh, Tamara Berg, and Erik Learned-Miller. Labeled Faces in the Wild: A Database for Studying Face Recognition in Unconstrained Environments. University of Massachusetts, Amherst, Technical Report

07-49, October, 2007.

## References

1. What is the working principle of facial recognition systems? Prospects of technology in Ukraine. URL: [http://kristall-systems.net.ua/ua/novosti/kak\\_rabotaet\\_raspoznavanie\\_lits\\_perspektiveyi\\_tehnologii\\_v\\_ukraine/](http://kristall-systems.net.ua/ua/novosti/kak_rabotaet_raspoznavanie_lits_perspektiveyi_tehnologii_v_ukraine/) (access date: 30.05.2023).
2. Face recognition: from theory to practice. TNTU Wiki. URL: <http://surl.li/hmeoo> (access date: 05/30/2023).
3. Bembel, O. S. (2020). Application of the Viola-Jones method for recognition of three-dimensional objects (Bachelor's thesis, KPI named after Igor Sikorskyi).
4. Povidaiko, P. M., & Skorokhod, M. P. (2013). Research of methods of recognizing human emotions in security systems.
5. Sosnovskiy, V., & Khlevniy, A. (2019). Analysis and research of basic face recognition methods. *Computer-integrated technologies: education, science, production*, (35), 192-197.
6. Tymoshin, Yu. A., & Orlenko, S. P. (2018). Human face recognition algorithm based on convolutional neural network. *Adaptive automatic control systems*, 1(32), 166-173.
7. Ahonen, A. Hadid, M. Pietikainen. Face Description with Local Binary Patterns: Application to Face Recognition. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1996, №28(12), С. 2037-2041.
8. Golubyak, I. V., & Kosarevych, R. Ya. (2017). Face recognition methods. *Problems of information technologies*, (2), 158-164.
9. Guo G, Fu Y, Dyer CR, Huang TS. Image-based human age estimation by manifold learning and locally adjusted robust regression. *IEEE Trans Image Process*. 2008 Jul;17(7):1178-88. doi: 10.1109/TIP.2008.924280. PMID: 18586625.
10. Corinna Cortes, Vapnik Vladimir. Support-vector networks. *Machine learning* 20.3. 1995. P. 273-297.
11. OpenCV Face Recognition. OpenCV. URL: <https://opencv.org/opencv-face-recognition/> (date of access: 11.06.2023).
12. Abdi H., Williams L.J. Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(4). 2010. P. 433-459.
13. Geurts Pierre, Damien Ernst, Louis Wehenkel. Extremely randomized trees. *Machine learning*, 63.1. 2006. P. 3-42.
14. Li S.Z., Jain A. Handbook of Face Recognition. Springer New York, 2011. P. 398.
15. Shakhovska, N. B., & Basistyuk, O. A. (2017). Face recognition using machine learning algorithms. *Artificial Intelligence*.
16. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. URL: <https://lear.inrialpes.fr/people/triggs/pubs/Dalal-cvpr05.pdf> (date of access: 13.06.2023).
17. FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering URL: [https://www.cv-foundation.org/openaccess/content\\_cvpr\\_2015/app/1A\\_089.pdf](https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2015/app/1A_089.pdf) (date of access: 13.06.2023)
18. OpenFace. URL: <https://cmusatyalab.github.io/openface/> (date of access: 13.06.2023).
19. Abeled Faces in the Wild. URL: <http://vis-www.cs.umass.edu/lfw/> (date of access: 28.05.2023).
20. Gary B. Huang, Manu Ramesh, Tamara Berg, and Erik Learned-Miller. Labeled Faces in the Wild: A Database for Studying Face Recognition in Unconstrained Environments. University of Massachusetts, Amherst, Technical Report 07-49, October, 2007.