

УДК 004.93:004.8

*Штиль М.Р., здобувач,  
Петросян Р.В., ст. викладач  
Державний університет «Житомирська політехніка»*

## **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБЛИЧ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНИХ РЕСУРСІВ**

Сучасні системи контролю доступу (СКД) все частіше інтегруються в IoT-екосистеми [1, 2], що потребує автономної роботи на вбудованих пристроях з обмеженою обчислювальною потужністю та енергоспоживанням. Використання хмарних API для розпізнавання облич створює ризики щодо конфіденційності біометричних даних і затримок передачі. Тому актуальною є розробка локальної нейромережевої моделі FaceID, оптимізованої для роботи на мікрокомп'ютерах типу Raspberry Pi у складі розподіленої IoT-системи.

Мета роботи – розробити та дослідити інтелектуальну СКД на основі згорткової нейронної мережі з метричним навчанням, що забезпечує ідентифікацію особи в реальному часі на малопотужному периферійному пристрої з подальшою інтеграцією в архітектуру Edge-to-Cloud.

Запропоновано модульну архітектуру, що включає:

- IoT-вузол збору даних – камера на базі мікроконтролера ESP32, яка фіксує зображення та передає його на хаб;
- обчислювальний Smart Hub (на базі Odroid або інший аналога Raspberry Pi) – виконує локальну детекцію обличчя, попередню обробку та нейромережеву ідентифікацію;
- модуль прийняття рішень – порівнює отриманий вектор з базою даних і надсилає сигнал на виконавчий пристрій (електронний замок).

Центральним аналітичним ядром системи є нейромережева модель, яка отримує необроблені дані, проводить вирівнювання та генерує унікальний 512-вимірний вектор обличчя. Для цього обрано архітектуру ResNet18 (18 шарів з залишковими зв'язками), що дозволяє уникнути деградації градієнтів при глибокому навчанні. Такий баланс між точністю та обчислювальною складністю є критичним для роботи на вбудованих пристроях.

Для навчання використано функцію втрат ArcFace, яка проектує вектори ознак на гіперсферу та максимізує кутову відстань між різними класами (особами). На відміну від стандартного Softmax, ArcFace дозволяє отримувати дискримінативні компактні ембедінги, що значно

зменшує розмір вихідного шару і є критичним для ідентифікації серед сотень співробітників.

Попередня обробка зображень включає: детекцію обличчя за допомогою MediaPipe Face Mesh, знаходження ключових точок, афінне перетворення для корекції нахилу, масштабування та центрування. Фінальне зображення приводиться до розміру 96×112 пікселів. Це дозволяє стандартизувати вхідні дані, зменшити вплив фону та освітлення, а також підвищити швидкість інференсу.

Для навчання використано відкритий датасет CASIA-WebFace (478 332 зображення, 10 572 особи) з характерним «довгим хвостом» розподілу. Реалізовано конвеєр даних для паралельної обробки. Застосовано стратегію поетапного навчання: значення кутового штрафу  $m$  лінійно зростає від 0.1 до 0.35 протягом 10 епох, що забезпечує стабільну збіжність. Адаптивне зниження швидкості навчання активується лише після стабілізації  $m$ . Для запобігання перенавчанню використано L2-регуляризацію, шари Dropout, а також змішану точність (mixed precision) тощо.

Оцінка якості моделі проводилася за метриками loss, accuracy на тренувальній та валідаційній вибірках (10% від датасету). Динаміка навчання показала відсутність критичного перенавчання (після 12-ї епохи валідаційна точність стабілізується). У сценарії верифікації 1:1 емпірично визначено оптимальний поріг косинусної подібності – 0.45.

Вимірювання швидкодії проводилися на CPU AMD Ryzen 5 7500F. Стабільний час інференсу на кадр після розігріву становить 43 мс, що відповідає  $\approx 23$  FPS. Враховуючи, що цільовою платформою є мікрокомп'ютер Odroid з апаратним прискорювачем NPU, очікувана затримка після оптимізації буде аналогічною.

#### **Список використаних джерел:**

1. Ahsan M. S., Pathan A.-S. K. A Comprehensive Survey on the Requirements, Applications, and Future Challenges for Access Control Models in IoT: The State of the Art. IoT. 2025. Vol. 6, no. 1. P. 9. URL: <https://doi.org/10.3390/iot6010009>.
2. Петросян А. Р., Петросян Р. В., Колос К. Р. Розробка платформи віддаленого управління інфраструктурою Інтернет речей. Технічна інженерія. 2021. № 1(87). С. 73–80. URL: [https://doi.org/10.26642/ten-2021-1\(87\)-73-80](https://doi.org/10.26642/ten-2021-1(87)-73-80).