

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

**МРАКА ВАСИЛЯ БОГДАНОВИЧА**

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ РОЗПІЗНАВАННЯ**

**РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**

**В РЕАЛЬНОМУ МАСШТАБІ ЧАСУ**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 17 « Електроніка та телекомунікації »

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

### *Актуальність теми дисертації*

Швидкий розвиток технологій створює потребу в розробці та впровадженні ефективних систем автоматизації процесів відеоспостереження та ідентифікації обличчя особи.

Сучасні системи відеомоніторингу використовуються не лише для стандартного нагляду, але й для аналізу поведінкових патернів, прогнозування потенційних загроз та навіть для управління потоками людей. Завдання розпізнавання рухомих об'єктів у такому контексті стає ще складнішим через постійно змінювані умови середовища, в якому діють ці системи. Крім того, значно зростають вимоги до точності та швидкості аналізу.

Комп'ютерний зір, посилений методами глибокого навчання, пропонує інноваційні рішення для цих проблем, дозволяючи створювати системи, що працюють у реальному часі з мінімальними затримками. Це надзвичайно важливо для таких сфер, як державна безпека, транспортні мережі та навіть роздрібна торгівля. Таким чином, розробка нових методів і засобів розпізнавання рухомих об'єктів є нагальною науково-практичною задачею, яка здатна не лише вдосконалити існуючі системи, але й значно підвищити їх рівень контролю та безпеки у сучасному світі.

### *Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.*

Дисертаційне дослідження проводилось згідно з планами науково-дослідних та навчальних робіт кафедри телекомунікацій. Національного університету «Львівська політехніка». Зокрема – в межах держбюджетної науково-дослідницької роботи, яка виконувалася кафедрою телекомунікацій «Розроблення інноваційних методів та засобів розгортання інтелектуальної інформаційної інфраструктури для подвійного використання в умовах цифрової трансформації України», (2024–2025 рр.), № держреєстрації 0123U100232.

### *Наукова новизна результатів дисертаційної роботи*

- вперше запропоновано модель розпізнавання обличчя, заснована на виявленні руху у системах відеоспостереження, який зосереджується не лише на етапах виявлення та розпізнавання обличчя, але включає виявлення рухомих об'єктів, що зменшує обсяг даних, які потрібно обробити. Цей підхід має ряд переваг, таких як: зменшення обсягу даних, підвищення швидкості прийняття рішення, зниження споживання енергії, універсальність, покращення продуктивності. Виявлення рухомих об'єктів дозволяє обробляти лише ті частини зображення, де відбуваються зміни, що значно зменшує обсяг даних, які потребують обробки;
- набув подальшого розвитку метод виявлення динамічних об'єктів на відеопослідовностях, оснований на алгоритмі ViVe, який поєднує в собі вдосконалений ViVE та використовує кумулятивне середнє значення та механізм підрахунку пікселів для швидкого усунення привидів, і адаптивний ViVE, який обчислює відповідний радіус залежно від зміни фону. Це дозволяє підвищити ефективність виявлення на 6,5% в порівнянні з відомими методами;
- запропоновано метод для оптимізації відеопотоків, знятих камерами відеоспостереження з обмеженим ресурсом, який використовує аналіз руху для передачі через телекомунікаційну мережу лише зміни в кадрі і реконструкції повного кадру на приймальній стороні, що дозволяє зменшити навантаження на мережу до 30% в залежності від кількості рухомих об'єктів у кадрі.

### ***Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків дисертації та їх достовірність***

Наукові положення та висновки, що містяться в дисертаційній роботі, є теоретично обґрунтованими і підтверджуються практичною реалізацією під час виконання науково-дослідних робіт, апробацією на наукових міжнародних конференціях і наукових семінарах. Адекватність розроблених методів і алгоритмів підтверджується результатами експериментальних досліджень.

### ***Практичне значення***

Отримані автором наукові положення та практичні результати можуть бути використані при побудові інтелектуальних систем відеонагляду. Практичну цінність наукових результатів, які отримані в дисертації, підтверджено їх впровадженням і використанням у ВАТ «УКРТЕЛЕКОМ», ТзОВ «ГІГАЦЕНТР УКРАЇНА», ТзОВ «МАКСІТЕХ», а також та у навчальному процесі кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка».

### ***Повнота оприлюднення результатів дисертаційної роботи***

Результати дисертаційної роботи Мрака В.Б. доповідалися і обговорювалися на міжнародних науково-практичних та науково-технічних конференціях та викладені у 11 наукових публікаціях, де повністю відображені основні результати дисертації, з них отримано вагомих науковий доробок аспіранта у вигляді опублікованих 8 статей у наукових фахових виданнях України; 1 стаття у наукових періодичних виданнях інших держав, що включені до наукометричних баз даних; 2 тези доповідей конференцій.

### ***Короткий аналіз структури та змісту дисертаційної роботи***

Дисертаційна робота викладена на 165 сторінках та складається з анотації, змісту, переліку скорочень, вступу, чотирьох основних розділів, в яких міститься 42 рисунків, списку використаних джерел з 165 найменувань. За структурою, мовою та стилем викладення дисертація відповідає вимогам МОН України. Робота написана грамотною українською мовою з використанням сучасної наукової термінології, а стиль викладення матеріалу є послідовним та логічним.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовано мету дослідження та науково-прикладні завдання, необхідні для її досягнення, показано зв'язок дослідження з науковими програмами та темами, наведено наукову новизну отриманих результатів, їх практичну цінність та особистий внесок здобувачки.

У **першому** розділі розглянуто принципи побудови та функціонування як стандартних систем відеоспостереження, так і систем, які використовують можливості відеоаналітики. Було продемонстровано, що на сучасному етапі розвитку інформаційних технологій використання систем відеоспостереження виключно для фіксації подій є недоцільним.

У **другому** розділі запропоновано ефективний алгоритм віднімання фону, заснований на методі ViBE, адаптований для складних умов. Він включає вдосконалений ViBE, який використовує механізм підрахунку пікселів і кумулятивне середнє для швидкого видалення «привидів», а також адаптивний ViBE, що визначає змінний радіус залежно від фонових змін. Також було запропоновано алгоритм стискання відео для камер з обмеженими ресурсами, який завдяки аналізу руху видаляє зайві пікселі та кадри.

Запропоновано новий метод розпізнавання облич, який базується на виявленні руху, що дозволяє не тільки виявляти та ідентифікувати обличчя, але й зменшувати обсяг даних для обробки.

У **третьому** розділі було проведено тестування алгоритму ViBE для складних фонових умов, а також оцінку стійкості моделей до різних поворотів обличчя, зміни його розміру та часових витрат. Найкращі результати показали моделі RetinaFaceResNet125, DSFD і RetinaFaceMobileNet0.25, які виявили високу точність ( $\geq 0,9$ ) при визначенні облич з поворотами в межах  $[-45; 45]$ , що є прийнятним для систем безпеки. Також були досліджені методи стискання відео з обмежених камер та порівняно методи розпізнавання облич.

У **четвертому** розділі для створення застосунку використовували мови програмування Python разом з бібліотеками OpenCV, TensorFlow та pickle. Вони

допомогли розробити компоненти системи, які зменшують навантаження на телекомунікаційні мережі та підвищують ефективність розпізнавання й ідентифікації облич.

У загальних **висновках** дисертаційної роботи сформульовано основні результати дисертаційної роботи, які узгоджуються з метою та завданнями дослідженнями.

### *Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації*

1. У роботі слід більше уваги приділити обмеженням запропонованих методів. Наприклад, які складнощі можуть виникати під час їх практичного використання в умовах реального часу або на ресурсозалежних пристроях.
2. У роботі не розглянуто питання безпеки зібраних та оброблених відеоданих, особливо в контексті конфіденційності та захисту від несанкціонованого доступу.
3. У частині, де розглядається експериментальна частина, бажано надати більше статистичних даних для кращого розуміння розподілу похибок і результатів.
4. У четвертому розділі, де описується програмна реалізація, необхідно додати більше технічних деталей про архітектуру системи, моделі програмування і конкретні рішення щодо оптимізації.
5. Запропоновані методи описані на високому рівні, але бракує математичних моделей або обґрунтувань ефективності конкретних алгоритмів. Було б корисно додати більше формальних математичних викладок.
6. У висновках до другого та третього розділів зазначено, що запропоновані рішення дозволяють зменшити навантаження на телекомунікаційну мережу до 90% в залежності від кількості рухомих об'єктів у кадрі, проте з тексту самої дисертації очевидно що йдеться про зменшення навантаження до 30%.
7. В дисертаційній роботі було б доцільно навести приклади застосування розробленої програмної моделі розпізнавання та ідентифікації облич з врахуванням характеристик реального обладнання, а також навести практичні рекомендації по її використанню.

8. При викладені змісту дисертації дисертант допускає окремі неточності термінологічного і стилістичного плану, зустрічаються граматичні помилки.

Слід зазначити, що зазначені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

### **Висновки**

Дисертаційна робота Мрака Василя Богдановича «Методи та засоби розпізнавання рухомих об'єктів в телекомунікаційних системах в реальному масштабі часу» є завершеною науковою працею, яка представлена на здобуття наукового ступення доктора філософії за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації») та за своїм змістом, структурою, обсягом, науковою новизною та практичним значенням відповідає паспорту спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44 зі змінами згідно з Постановою КМ №9з41 від 21.03.2022, а її автор, Мрак Василь Богданович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

### **Офіційний рецензент,**

доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри телекомунікацій  
Національного університету  
«Львівська політехніка»

Мар'ян КИРИК

«Підпис д.т.н., професора Кирика М.І. засвідчую»:

Вчений секретар  
Національного університету  
«Львівська політехніка»



Роман БРИЛИНСЬКИЙ