

# Автентифікація зображень на основі їх семантичної сегментації у нейронних мережах глибокого навчання з їх попереднім обробленням за методами фільтрації

Сергій Чорний \*<sup>a</sup>, Ольга Брендель \*\*<sup>b</sup>, Давіт Гратіашвілі \*\*\*<sup>c</sup>

\* Канд. техн. наук, доцент, ННЦ «ІСЕ ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса», м. Харків, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0445-2886>, e-mail: [svch1mail@yahoo.com](mailto:svch1mail@yahoo.com)

\*\* ННЦ «ІСЕ ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса», м. Харків, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1723-0203>, e-mail: [olgabrenda@ukr.net](mailto:olgabrenda@ukr.net)

\*\*\* Департамент криміналістичних експертиз Міністерства внутрішніх справ Грузії, м. Тбілісі, Грузія, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7535-918X>, e-mail: [davit.gratika@gmail.com](mailto:davit.gratika@gmail.com)

<sup>a</sup> Методологія, концепція.

<sup>b</sup> Формальний аналіз, написання оригінального рукопису.

<sup>c</sup> Адміністрування проекту, нагляд.

DOI: 10.32353/khrife.1.2022.08 УДК 343.98:004.8/9

Надійшло 15.02.2022 / Рецензовано 17.02.2022 / Прийнято до друку 18.02.2022 /  
Доступно онлайн 31.03.2022



У сучасній вітчизняній та міжнародній досудовій практиці та судових провадженнях використовують речові докази у вигляді електронних документів або їх цифрових зображень. Проблему автентифікації таких зображень ускладнено можливостями використання для підробки зображень редакторів на основі штучного інтелекту, що унеможливають або суттєво ускладнюють пошуки судовими експертами змінених ділянок. Науковою проблемою, розглянутою авторами, є оцінювання автентичності цифрових зображень на основі використання методів їх попереднього оброблення (фільтрації) і технологій штучного інтелекту для подальшого аналізу та визначення редагованих ділянок.

Метою роботи є розроблення інформаційної технології пошуку зон редагування на основі поєднання методів попереднього оброблення зображень і моделей нейронних мереж для використання у дослідженнях автентичності зображень.

Новизна роботи полягає у розробленні технології поєднання кількох методів попереднього оброблення зображень (зокрема, ELA та PCA) для створення вхідного потоку нейронної мережі глибокого навчання й оцінювання ефективності виявлення зон редагування, створених редактором цифрового живопису (Inpainting).

*Розроблено та досліджено ефективність роботи 10 детекторів зон редагування, що використовують поєднання методів ELA та PCA з різними моделями нейронних мереж розпізнавання зон редагування. Найкращі результати (імовірність розпізнавання 0,916) у межах використаних обчислювальних ресурсів отримано детектором на основі моделі типу EfficientNet.*

*Розроблено й оцінено ефективність інформаційної технології та відповідного програмного забезпечення для оцінювання автентичності зображень на основі поєднання методів попереднього оброблення зображень і моделей штучних нейронних мереж у режимі семантичної класифікації та сегментації.*

**Ключові слова:** автентичність зображення; штучний інтелект; нейронні мережі; ELA; PCA; Inpainting.

---

## Постановка наукової проблеми

Розглянуто у роботі науковою проблемою є оцінювання автентичності цифрових зображень на основі використання методів їх попередньої фільтрації та технологій штучного інтелекту. Станом на сьогодні використовують речові докази у вигляді електронних документів чи їх зображень, фотозображень, відеозаписів, сканованих копій, що мають цифрову природу утворення.

Водночас науково-технічний прогрес у галузі фотографування та відеозапису, способів та засобів програмного редагування цифрових зображень створює широкі можливості маніпулювання змістом цифрових зображень і актуалізує проблему їх автентифікації. Проблему додатково ускладнено використанням для редагування зображень методів штучного інтелекту для унеможливлення або ускладнення пошуку змінених ділянок.

## Аналіз основних досліджень і публікацій

Дослідженню фотографічних зображень присвячено фундаментальні праці таких учених, як Д. Я. Мирський, П. Ф. Силкін, Є. М. Дмитрієв та ін. Процес дослідження цифрових фотографій набагато складніший, оскільки вони мають іншу природу створення. Дослідження цифрових фотознімків із метою виявлення ознак монтажу розглядали такі науковці, як А. О. Сафонов, В. Г. Каленський, Є. М. Дмитрієв, С. М. Бобрицький, С. В. Чорний та ін. Окремі напрацювання вітчизняних і зарубіжних науковців присвячено дослідженню додаткових даних (метаданих файлу), що описують умови та способи отримання файлу. Цьому присвячено роботи таких учених, як Р. Blythe, J. Fridrich, А. А. Кобозева, N. Krawetz, Є. М. Дмитрієв, G. K. Wallace<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Див., наприклад: Мирский Д. Я. Судебная фототехническая экспертиза : метод. пособ. для эксперт. Москва, 1982. 167 с. ; Силкин П. Ф. Судебно-исследовательская фотография : учебник. Волгоград, 1979. 335 с. ; Дмитриев Е. Н. Судебная экспертиза фотографических изображений: современное состояние и возможности решения экспертных задач. Судебная экспертиза. 2009. № 3. С. 73—79 ; Сафонов А. А., Колотушкин С. М., Кочубей А. В. Компьютерные технологии в криминалистической фотографии: теоретические и прикладные вопросы : учеб. пособ. Волгоград, 2005 ; Каленський В. Г. Дослідження цифрових

Найближчими до цього напрямку досліджень сьогодні є «Методика досліджень цифрових фотозображень та технічних засобів їх виготовлення»<sup>2</sup> і «Методика дослідження ознак монтажу цифрових зображень на основі аналізу ентропії шумів»<sup>3</sup>. Для підтримки останньої автори розробили відповідне програмне забезпечення<sup>4</sup> з метою проведення порівняльних досліджень відомими та модифікованими нами методами оцінювання якості зображень (33 методи локальної якості фокусування, 17 — характеристик шумів, 15 — аналізу методами *Discrete Cosine Transform (DCT)*, 14 — аналізу ентропії зображення).

Ці методики відповідають завданням судової експертизи цифрових зображень. Однак, слід зауважити, що використання різних методів зазначених методик (аналіз рівня помилок, *Error Level Analysis, ELA*), принципів компонентний аналіз (*Principal Component Analysis, PCA*) потребує значного досвіду експерта й часу досліджень.

Проведені дослідження є вагомим внеском у розвиток теоретичних засад використання спеціальних знань у судовій експертизі. Водночас аналіз можливостей досліджень автентичності цифрових зображень на основі використання методів їх попередньої фільтрації та технологій штучного інтелекту є питанням, яке дотепер потребує проведення поглиблених наукових пошуків. Ураховуючи наведене вище, подальшого вдосконалення, на нашу думку, потребують дослідження щодо використання технологій штучного інтелекту у комбінації з наведеними методами попереднього оброблення зображень для розпізнавання змінених ділянок цифрових зображень.

## Мета статті

Розроблення інформаційної технології пошуку зон редагування на основі моделей нейронних мереж під час дослідження автентичності зображень. На нашу думку, основну увагу науковці мають

фотознімків з метою виявлення ознак монтажу. *Судова експертиза. Сучасний стан та перспективи розвитку* : мат-ли міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2010. С. 191—192 ; Бобрицкий С. М., Черный С. В. Методические аспекты комплексного исследования с целью выявления признаков монтажа в цифровой фотографии. *Теория та практика судової експертизи і криміналістики*. 2010. Вип. 10. С. 633—639 ; Blythe P., Fridrich J. Secure digital camera. *Digital Forensic Research Workshop* (Baltimore, USA, 11—13.08.2004). Р. 12 ; Кобозева А. А. Использование особенностей возмущений сингулярных чисел матрицы цифрового изображения для обнаружения его фальсификации. *Искусственный интеллект*. 2008. № 1. С. 145—153 ; Krawetz N. A Picture's Worth... *Digital Image Analysis and Forensics*. 2007. URL: <https://www.hackerfactor.com/papers/bh-usa-07-krawetz-wp.pdf> (дата звернення: 17.01.2022) ; Дмитриев Е. Н. Метаданные как средство индивидуализации цифровых изображений в судебной фотографии. *Теория и практика судебной экспертизы в современных условиях* : мат-лы междунар. науч.-практ. конф. Москва, 2007. С. 531—534 ; Wallace G. K. The JPEG Still Picture Compression Standard. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*. 1991.

- 2 Методика досліджень цифрових фотозображень та технічних засобів їх виготовлення / Реєстр методик проведення судових експертиз. URL: <https://rmpse.minjust.gov.ua/page/41> (дата звернення: 17.01.2022).
- 3 Методика дослідження ознак монтажу цифрових зображень на основі аналізу ентропії шумів / Реєстр методик проведення судових експертиз. URL: <https://rmpse.minjust.gov.ua/page/43> (дата звернення: 17.01.2022).
- 4 IFD TEC. URL: <https://5.189.182.106> (дата звернення: 17.01.2022).

приділити розробкам методів і спеціалізованого програмного забезпечення для розширеного аналізу зображень із використанням сучасних методів оброблення зображень.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Одне з найважливіших завдань сучасного криміналістичного дослідження цифрових фотозображень і відеозаписів — це встановлення ознак їх фотомонтажу або редагування.

З огляду на відносну легкість створення, модифікування та розповсюдження цифрових записів, у слідства або суду виникає доречне питання щодо їх достовірності (автентичності). Термін «автентичний» щодо фонограм у значенні «справжній», «достовірний» зараз широко використовують в англійській мові, хоча спочатку його застосовували в теорії криміналістичного дослідження польської криміналістики<sup>5</sup>, пізніше ним також почали послуговуватися американські експерти<sup>6</sup>.

Сучасний прогрес технічних засобів фото-, відео-, звукозапису та телекомунікаційних технологій розширює як можливості традиційних засобів фіксування даних, так і виникнення нових способів отримання записів (мобільних, мережевих, спеціалізованих) із новими форматами даних. Це вимагає постійного оновлення спеціальних знань експертів у галузі дослідження цифрових зображень, відео- та звукозаписів. Особливої актуальності ця проблема набуває у зв'язку з тим, що злочинці вдосконалюють

способи скоєння злочинів, дедалі майстерніше маскують їх сліди, використовуючи сучасні досягнення науки і техніки. Тому без застосування новітніх засобів часто неможливо або вкрай складно задокументувати дії злочинців і притягнути їх до кримінальної відповідальності.

Традиційно предметом судової фототехнічної експертизи були речові дані (позитиви, негативи, різні технічні засоби для їх виготовлення), які в процесуальному порядку були закріплені у матеріалах справ. Однак, чинні методики дослідження фотозображень, отриманих за допомогою аналогової техніки, є неефективними для дослідження цифрових фотографічних зображень. Основні сучасні об'єкти зазначених досліджень:

- цифрові фотозображення (фотознімки, отримані в результаті фотографування об'єктів у конкретний момент часу та представлені на носіях інформації у вигляді комп'ютерних файлів графічних форматів);
- цифрові відео- та звукозаписи, записані на фізичних носіях інформації або безпосередньо на пристроях запису; окремі кадри або групи кадрів із цифрових відеозаписів об'єктів у конкретні проміжки часу, представлені на носіях інформації у формі комп'ютерних файлів графічних форматів;
- технічні засоби фотографування (цифрові фотокамери);
- технічні засоби відеозапису (цифрові відеокамери, відеореєстратори та ін.).

5 Гургуль К. Из процессуальной и криминалистической проблематики магнитофонной записи. *Сборник переводов.* № 213. Москва, 1973. С. 61—81 ; Проблемы криминалистики. Варшава, 1971. № 90. С. 159—183.

6 Hollien H. *The Acoustics of Crime: The New Science of Forensic Phonetics.* Florida, 1994.

До порівняльних об'єктів дослідження належать:

- цифрові фотозображення, отримані в результаті експертних, слідчих та інших експериментів, представлені на носіях інформації у формі комп'ютерних файлів графічних форматів;
- цифрові фотозображення, представлені на носіях інформації у формі комп'ютерних файлів графічних форматів, способи й умови отримання яких визначено.

Цифровий графічний файл як об'єкт дослідження суттєво відрізняється від традиційної фотографії, оскільки (окрім відомостей безпосередньо про зображення/малюнок: формат, ширина, висота, кількість пікселів на дюйм, кількість біт на піксель, колірна модель та інші характеристики та коментарі) такий файл також містить відомості щодо його метаданих (ім'я, розмір, тип, дати створення й останні зміни тощо). Найцікавішими з них є *EXIF*-дані <sup>7</sup> (які у роботах вітчизняних і зарубіжних учених згадано як додаткові дані, утворені в результаті роботи вбудованого програмного забезпечення сучасного цифрового пристрою фото- або відеофіксування, що дають змогу підкреслити індивідуальні особливості цифрової камери) або додатки, які зберегли останню графічну редакцію файлу за:

- назвою виробника цифрової камери та її моделі;
- аналізом функційної сумісності технічних можливостей конкретної цифрової камери із зафіксованими в *EXIF*-даних;
- назвою та версією вбудованої програми цифрової камери;

- виокремленням сигнатури із записом даних про програму або пристрій, які зберегли останню редакцію графічного файлу.

Програми для редагування цифрових зображень або відеозаписів часто змінюють поля метаданих файлу, порядок фрагментів і інформацію на них, додаючи нові і/або повністю видаляючи їх. Значна кількість програм, за допомогою яких редагують цифрові записи, залишають у службовій частині файлу свої записи (мітки), водночас інформацію про попередню програму можуть видалити або видаляють.

Також графічний файл можна розглядати як об'єкт, дослідження якого пов'язане з оцінюванням зміни шумового фону цифрової матриці пристрою відео- або фотофіксування.

Дослідження структури файлу (зокрема: метаданих заголовка, записаного вмісту, метаданих, мультиплексованих із записаним вмістом, а також можливих даних наприкінці цифрового запису) належать до спостережного аналізу, їх слід порівнювати зі зразковими записами, зробленими з наданих для дослідження пристроїв запису або іншими тестовими записами. Якщо оригінальний пристрій запису є недоступним або його неможливо використати, експерт може використовувати таку саму модель пристрою.

Найбільш складними та проблемними є експертні завдання, пов'язані з технічним дослідженням цифрових зображень і відеозаписів. Зараз автоматизація досліджень автентичності цифрових зображень (окремих кадрів із відеозаписів) є актуальним науковим завданням. Розроблено багато окремих методів дослідження автентичності

<sup>7</sup> *EXIF* (англ. *Exchangeable Image File Format*) — стандарт, що дозволяє додавати до зображень та аудіофайлів додаткову інформацію (метадані), коментує цей файл і описує умови та способи його отримання, авторство тощо.



зображень, що вирішують завдання лише у певних умовах. Існує потреба експертної практики в автоматизації узагальнення результатів таких окремих досліджень одного об'єкта для підвищення достовірності прийнятого експертом рішення.

Запропонований у цій роботі метод дослідження автентичності цифрових зображень засновано на принципах штучного інтелекту, він базується на автоматичному узагальненні результатів окремих досліджень автентичності цифрових зображень, отриманих різними методами їх попереднього цифрового аналізу (фільтрації), та на використанні для пошуку зон редагування конволютивних нейронних мереж глибокого навчання. Як інформаційна технологія у дослідженнях автентичності зображень це є поєднанням методів попереднього оброблення зображень і моделей нейронних мереж.

Актуальність проведення науково-дослідних робіт у цьому напрямі обумовлено потребою забезпечення експертної практики сучасними вітчизняними методичними розробками з оцінювання автентичності зображень.

Сьогодні накопичено практичний досвід експертної роботи фахівців Національного наукового центру «Інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса» з аналізу зображень під час виконання різних експертних завдань у межах досліджень відео-, звукозаписів і цифрових зображень, який необхідно доповнити технологією автоматичного узагальнення результатів, систематизувати світовий

досвід і виробити комплексний підхід для вирішення відповідних експертних завдань.

Важливим етапом розроблення програмного забезпечення з використанням моделей штучних нейронних мереж є підготовка бази редагованих зображень, необхідних для їх тренування та тестування. Тому необхідно обрати відповідний редактор та створити за його допомогою добірку редагованих зображень.

Найбільш ефективним із погляду якості редагування ми вважаємо редактор фірми *NVIDIA* — *Inpainting 8*, саме тому методику підготовки даних ми розглянемо на його прикладі. Попередньо необхідно дібрати або створити набір оригінальних зображень (у нашому дослідженні такий набір створено шляхом фотографування різних сцен смартфоном *Xiaomi Redmi Note 7 Pro*, розмір оригіналів — 3000×4000 пікселів).

Кожне із зображень за допомогою робочого вікна редактора трансформують за принципом, наведеним на рис. 1, у редаговане зображення з імітацією видалених ділянок (рис. 1в) та у маску видалених ділянок (рис. 1г). Після завершення цього етапу маски редагованих зон і редаговані зображення зберігають через буфер обміну та редактор локального комп'ютера *Paint* як окремі зображення з однаковими іменами, але у різних теках.

Отриманий набір редагованих зображень і масок видалених ділянок надалі використовують для тренування класифікаторів моделі нейронної мережі.

8 Inpainting. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Inpainting> (дата звернення: 17.01.2022) ; Image Inpainting. URL: <https://www.nvidia.com/research/inpainting/> (дата звернення: 17.01.2022).

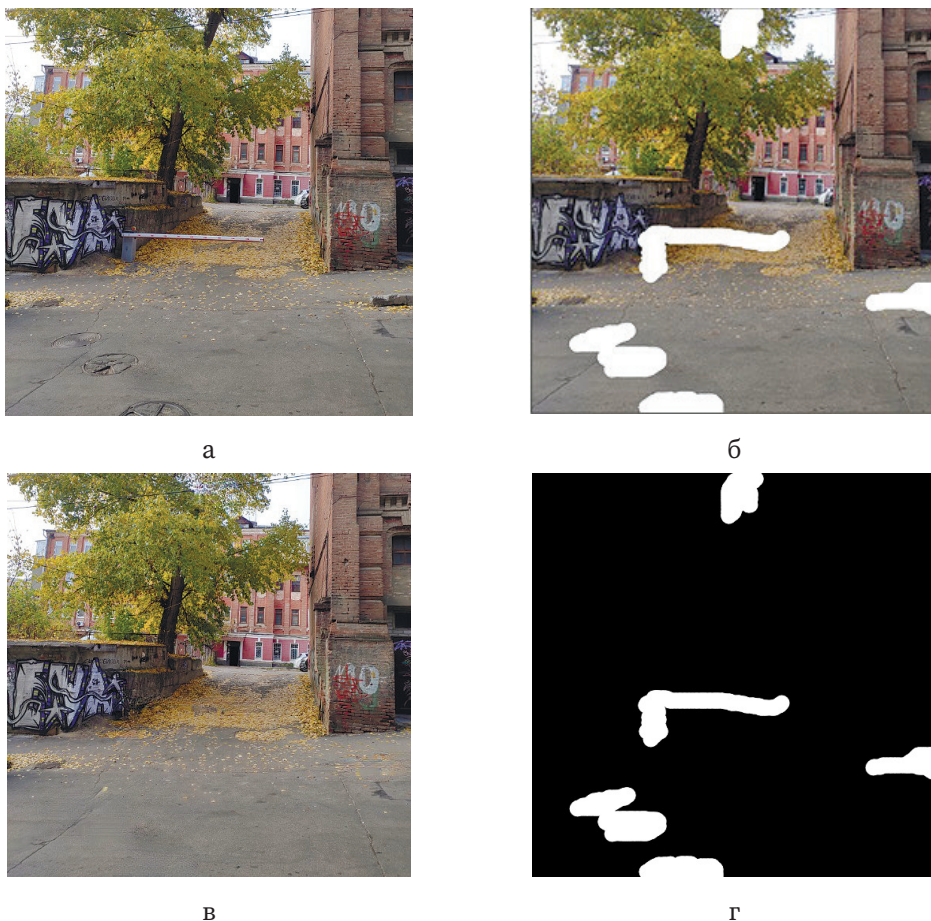


Рис. 1. Результати редагування (а — оригінал зображення, б — оригінал із маскою видалених фрагментів, в — автоматично імітоване редактором зображення, г — маска видалених ділянок)

Розглянемо передумови дослідження та критерії оцінювання якості розпізнавання. Дослідження проведено за таких умов:

- редагування зображень за технологією цифрового живопису *NVIDIA*;
- попереднє оброблення зображень методами *ELA* та *PCA*.

Якість семантичного класифікування та сегментації зон редагування оцінено за такими критеріями:

- доля правильно класифікованих редагованих пікселів відносно дійсної кількості редагованих пікселів (*PM*);
- відносна помилка визначення маски редагування (*D*);
- доля помилково класифікованих пікселів за межами дійсних зон редагування (*NM*);
- візуальне оцінювання експертом факту редагування за результатами семантичного сегментування (*V*).

Основні співвідношення (у термінах коду *Python*) для першого критерію:

$PM = np.sum(c1) / np.sum(im1N), c1 = np.multiply(im4N, im1N);$

де: *im1N* — справжня маска редагування;  
*im4N* — оцінена маска редагування;  
*np.multiply()* — оператор поелементного множення масивів;  
*np.sum()* — оператор підсумовування масиву.

Основні співвідношення (у термінах коду *Python*) для другого критерію:

$D = np.sum(np.abs(c2)) / np.sum(im1N), c2 = np.subtract(im4N, im1N);$

де: *np.subtract()* — оператор поелементного віднімання масивів;  
*np.abs()* — оператор обчислення абсолютних значень елементів масиву.

Основні співвідношення (у термінах коду *Python*) для третього критерію:

$i = np.multiply(im1N - 1, -1);$   
 $c3 = np.multiply(im4N, im1neg);$   
 $NM = np.sum(c3) / np.sum(i).$

Основні співвідношення для четвертого критерію:

$V = 1$ , зону редагування за результатами сегментації візуально визначено;  
 $V = 0$ , зону редагування за результатами сегментації візуально не визначено.

Візуальне оцінювання експертом факту редагування за результатами се-

мантичної сегментації *V* використано для обчислення ймовірності розпізнавання для кожної з дослідних моделей нейронних мереж.

На підставі попереднього оцінювання працездатності програмного забезпечення в умовах наявних обчислювальних можливостей хмарного ресурсу загального користування *Kaggle* для тренування моделей нейронних мереж, для дослідження автори обрали моделі таких типів: *FPN-Efficient-NetB4*<sup>9</sup>, *Keras Unet Collection Attunet*<sup>10</sup>, *FPN-EfficientNetB4-96*, *LinkNet-Efficient-NetB3*, *Unet-EfficientNetB4*, *Keras Unet Collection Vnet*<sup>11</sup>, *LinkNet DenseNet-201*<sup>12</sup>, *DeepLabV3Plus-MobileNetV1*<sup>13</sup>, *BiSegNet-MobileNetV1*, *BiSegNet-Xception*<sup>14</sup>.

Розглянемо узагальнені результати дослідження.

Аналіз здобутих результатів тестування обраних моделей штучних нейронних мереж у певних умовах свідчить про наявність розсіювання показників якості на використаному наборі тестових зображень, створених редактором *Inpainting*.

Тому доцільно розглянути усереднені показники для кожної мережі та тестового набору зображень взагалі.

Середні показники *PM*, *D*, *NM*, *V* для умов тестування наведено у табл. 1, для вибірових діапазонів (близьких до найвищих значень ймовірності розпізнавання) — на рис. 2—4.

9 TF Semantic Segmentation. URL: <https://pypi.org/project/tf-semantic-segmentation/> (дата звернення: 17.01.2022).

10 Keras-unet-collection 0.1.13. URL: <https://pypi.org/project/keras-unet-collection/> (дата звернення: 17.01.2022).

11 Segmentation-models. URL: <https://pypi.org/project/segmentation-models> (дата звернення: 17.01.2022).

12 Ibid. URL: [https://github.com/qubvel/segmentation\\_models](https://github.com/qubvel/segmentation_models) (дата звернення: 17.01.2022).

13 Amazing-Semantic-Segmentation. URL: <https://github.com/luyanger1799/Amazing-Semantic-Segmentation> (дата звернення: 17.01.2022) ; Ibid. URL: <https://pypi.org/project/semantic-segmentation> (дата звернення: 17.01.2022).

14 Chollet F. Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions. URL: <https://arxiv.org/pdf/1610.02357.pdf> (дата звернення: 17.01.2022).



Таблиця 1

Усреднені показники досліджених мереж

Найменування моделі мережі	PM	D	NM	V
FPN-EfficientNetB4-16	0.446	0.718567	0.01067	0.75
FPN-EfficientNetB4-96	0.446	0.718567	0.01067	0.791667
LinkNet-EfficientNetB3	0.532237	0.824179	0.022165	0.833333
Unet-EfficientNetB4	0.522778	0.62255	0.011115	0.916667
Keras Unet Collection Attunet	0.044962	0.991533	0.002467	0.458333
Keras Unet Collection Vnet	0.01882	1.063992	0.0044	0.25
LinkNet-DenseNet-201	0.247155	1.012773	0.018333	0.791667
DeepLabV3Plus-MobileNetV1	-0.49301	11.97283	-0.86514	0.25
BiSegNet-MobileNetV1	-0.31014	1.928322	-0.01952	0.333333
BiSegNet-Xception	-0.96842	15.61361	-1.05829	0.458333

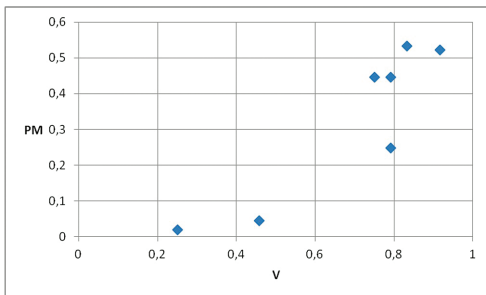


Рис. 2. Залежність усередненого показника  $PM$  від середньої ймовірності розпізнавання  $V$

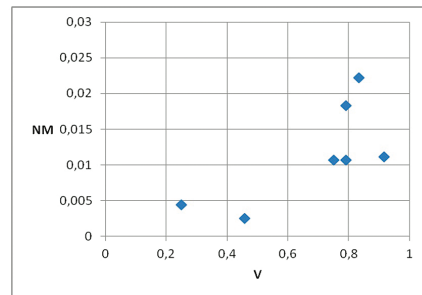


Рис. 4. Залежність усередненого показника  $NM$  від середньої ймовірності розпізнавання  $V$

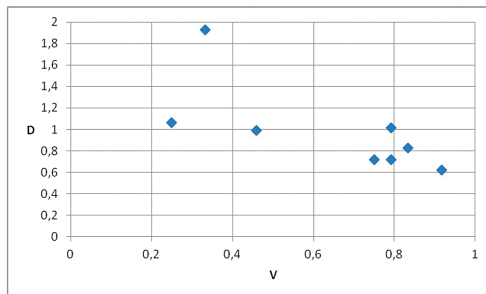


Рис. 3. Залежність усередненого показника  $D$  від середньої ймовірності розпізнавання  $V$

Аналіз даних, наведених на рис. 2—4, дає змогу виокремити відносну абсолютну сумарну помилку виявлення зони редагування  $D$  як найточніший та однозначний показник якості роботи семантичного класифікатора. Також може бути використано показник точності відтворення зон редагування  $PM$ . Найменш однозначним відносно середньої ймовірності розпізнавання виявився показник  $NM$ .

Приклад оцінювання зон автентичності на редагованому зображенні (зверніть увагу на видалене зображення бетонної стінки з малюнками на березі каналу та два вікна на стіні будівлі) для найкращих за показником  $D$  мереж наведено на рис. 5–6.

Отже, найкращим із досліджених класифікаторів семантичного типу з попереднім обробленням даних за алгоритмами  $ELA$  та  $PCA$  у межах обраних моделей нейронних мереж виявилася модель штучної нейронної мережі типу  $Unet$  з класифікатором ознак  $EfficientNetB4$ .

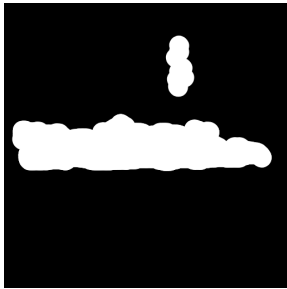


а

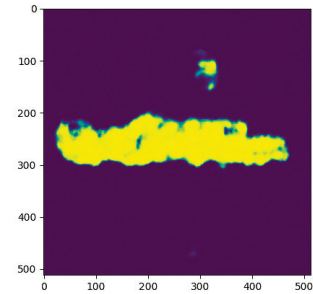


б

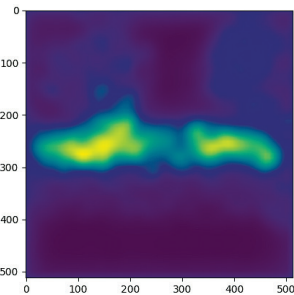
Рис. 5. Тестове зображення (а — оригінал; б — редаговане зображення)



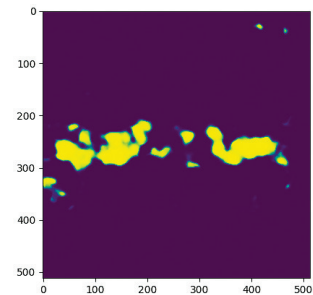
а



б



в



г

Рис. 6. Результати семантичного сегментування редагованого тестового зображення (а — справжня зона редагування; б — мережа  $Unet-EfficientNetB4$ ; в — мережа  $BiSegNet-Xception$ ; г — мережа  $AttUnet$ )

## Висновки

У роботі наведено результати дослідження ефективності поєднання методів попереднього оброблення зображень і нейронних мереж глибокого навчання для виявлення ознак редагування, розроблено інформаційну технологію та програмне забезпечення для оцінювання автентичності зображень на основі поєднання методів попереднього оброблення зображень і моделей штучних нейронних мереж у режимі семантичного класифікування та сегментування.

Досягнута ймовірність розпізнавання редагованих ділянок мережі типу *Unet* із класифікатором ознак *Efficient-NetB4* та попереднім обробленням зображень методами *ELA* та *PCA* склала 0,91. Досліджено 4 показники ефективності роботи семантичного класифікатора та визначено, що відносна абсолютна сумарна помилка виявлення зони редагування  $D$  є найточнішим та однозначним чисельним показником якості роботи семантичного класифікатора.

### Аутентифікація зображень на основі їх семантичної сегментації в нейронних мережах глибокого навчання з їх попередньою обробкою методами фільтрації

Сергей Чёрный, Ольга Брендель,  
Давит Гратиашвили

*В современной отечественной и международной досудебной практике и судебных разбирательствах используют вещественные доказательства в виде электронных документов или их цифровых изображений. Проблема аутентификации таких изображений осложняется существующими возможностями использования для подделки изображений редакторов на основе искусственного интеллекта, что делает невозможным или существенно усложняет поиски судебными экспертами изменённых участков.*

*Научной проблемой, рассмотренной авторами, является оценивание подлинности цифровых изображений на основе использования методов их предварительной обработки (фильтрации) и технологий искусственного интеллекта для дальнейшего анализа и определения отредактированных участков.*

*Целью работы является разработка информационной технологии поиска зон редактирования на основе сочетания методов предварительной обработки изображений и моделей нейронных сетей для использования в исследованиях подлинности изображений.*

*Новизна работы заключается в разработке технологии сочетания нескольких методов предварительной обработки изображений (в частности, ELA и PCA) для создания входного потока нейронной сети глубокого обучения и оценивания эффективности выявления зон редактирования, созданных редактором цифровой живописи (Inpainting).*

*Разработана и исследована эффективность работы 10 детекторов зон редактирования, использующих сочетания методов ELA и PCA с различными моделями нейронных сетей распознавания зон редактирования. Наилучшие результаты (вероятность распознавания 0,916) в пределах использованных вычислительных ресурсов получены детектором на основе модели типа EfficientNet.*

*Разработана и оценена эффективность информационной технологии и соответствующего программного обеспечения для оценивания подлинности изображений на основе сочетания методов предварительной обработки изображений и моделей искусственных нейронных сетей в режиме семантической классификации и сегментации.*

**Ключевые слова:** подлинность изображения; искусственный интеллект; нейронные сети; ELA; PCA; Inpainting.

**Authenticate images based on their semantic segmentation in deep learning neural networks with their pre-processing with use of filtering methods**

**Sergiy Chorny, Olha Brendel,  
Davit Gratiashvili**

*In modern domestic and international pre-trial practice and legal proceedings, physical evidence used in the form of electronic documents or their digital images. The issue of authenticating such images is hampered by possibilities of using artificial intelligence based editors to fake images making it impossible or significantly complicate the search for changed areas by forensic experts. Research issue considered by the authors is the authenticity assessment of digital images based on the use of their pre-processing (filtering) methods and artificial intelligence technologies for further analysis and determination of edited areas.*

*This research paper purpose is to develop information technology for finding editing zones based on a combination of imaging techniques and neural network models for use in image authenticity research.*

*Research paper novelty is to develop a technology to combine several methods of pre-processing images (in particular, ELA and PCA) to create an input stream of a deep learning neural network and to assess effectiveness of identifying editing zones created by the digital painting editor (Inpainting).*

*Efficiency of 10 editing zone detectors using combination of ELA and PCA methods with different models of neural networks for recognizing editing zones has been developed and investigated. The best results (probability of recognition 0.916) within the used computing resources were obtained by detector based on the EfficientNet model.*

*IT Effectiveness and related software for assessing authenticity of images based on a combination of image pre-processing methods and models of artificial neural networks in semantic classification and segmentation mode has been developed and evaluated.*

**Keywords:** *image authenticity; artificial intelligence; neural networks; ELA; PCA; Inpainting.*

**Фінансування**

Це дослідження не отримало жодного спеціального гранту від фінансових установ у державному, комерційному чи некомерційному секторах.

**Відмова від відповідальності**

Засновники не грали жодної ролі у розробленні дослідження, добиранні й аналізованні даних, рішеннях про публікацію чи підготовку рукопису.

**Учасники**

Автори внесли свій внесок винятково в інтелектуальну дискусію, що є основою цього документа, дослідження судової практики, написання та редагування, і беруть на себе відповідальність за її зміст і тлумачення.

**Декларація щодо конфлікту інтересів**

Автори заявляють, що у них відсутній конфлікт інтересів.

**References**

- Blythe, P., Fridrich, J. (2004). *Secure digital camera. Digital Forensic Research Workshop* (Baltimore, USA, 11–13.08.2004).
- Bobritskii, S. M., Chernyi, S. V. (2010). *Metodicheskie aspekty kompleksnogo issledovaniia s tseliu vyavleniia priznakov montazha v tsifrovoi fotografii* [Methodological aspects of a Multidisciplinary Forensic Research in Order to Identify Signs of Montage in Digital Photography]. *Teoriia i praktika sudovoi ekspertyzy i kryminalistyky*. Vyp. 10 [in Russian].
- Chollet, F. *Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions*. URL: <https://arxiv.org/pdf/1610.02357.pdf>.
- Dmitriev, E. N. (2007). *Metadannye kak sredstvo individualizatsii tsifrovyykh izobrazhenii v sudebnoi fotografii* [Metadata as Individualization Means of Digital Images in Forensic Photography]. *Teoriia i praktika sudovoi ehkspertyzy v sovremennykh usloviakh* : mat-ly mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Moskva [in Russian].

- Dmitriev, E. N. (2009). *Sudebnaia ehkspertiza fotograficheskikh izobrazhenii: sovremennoe sostoianie i vozmozhnosti resheniia ehkspertnykh zadach* [Forensic Examination of Photographic Images: State of the Art and Possibilities for Solving Expert Tasks]. *Sudebnaia ehkspertiza*. № 3 [in Russian].
- Gurgul, K. (1973). *Iz protsessualnoi i kriminalisticheskoi problematiki magnitofonnoi zapisi* [From the procedural and forensic issues of tape recording]. *Sbornik perevodov*. № 213. Moskva [in Russian].
- Hollien, H. (1994). *The Acoustics of Crime: The New Science of Forensic Phonetics*. Florida.
- Kalenskiy, V. H. (2010). *Doslidzhennia tsyfrovyykh fotoznmkiv z metoiu vyivlennia oznak montazhu* [Research on Digital Photographs Using the Method of Revealing a Sign of Mounting]. *Sudova ekspertyza. Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku : mat-ly mizhnar. nauk.-prakt. konf.* Kyiv [in Ukrainian].
- Kobozeva, A. A. (2008). *Ispolzovanie osobennostei vozmushchenii singuliarnykh chisel matritsy tsifrovogo izobrazheniia dlia obnaruzheniia ego falsifikatsii* [Using Peculiarities of Disturbances of Singular Values of a Digital Image Matrix to Detect its Falsification]. *Iskusstvennyi intellekt*. № 1 [in Russian].
- Krawetz, N. (2007). *A Picture's Worth... Digital Image Analysis and Forensics*. URL: <https://www.hackerfactor.com/papers/bh-usa-07-krawetz-wp.pdf>.
- Mirskii, D. Ia. (1982). *Sudebnaia fototekhnicheskaiia ehkspertiza* [Forensic photography]: metod. posob. dlia ehkspertov. Moskva [in Russian].
- Problemy kriminalistiki* (1971). Varshava. № 90 [in Russian].
- Safonov, A. A., Kolotushkin, S. M., Kochubei, A. V. (2005). *Kompiuternye tekhnologii v kriminalisticheskoi fotografii: teoreticheskie i prikladnye voprosy* [IT in Forensic Photography: Theoretical and Applied Issues] : ucheb. posob. Volgograd [in Russian].
- Silkin, P. F. (1979). *Sudebno-issledovatel'skaia fotografia* [Forensic Research Photography] : ucheb. posob. Volgograd [in Russian].
- Wallace, G. K. (1991). *The JPEG Still Picture Compression Standard*. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*.
- Чорний, С., Брендель, О., Гратіашвілі, Д. (2022). Автентифікація зображень на основі їх семантичної сегментації у нейронних мережах глибокого навчання з їх попереднім обробленням за методами фільтрації. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. Вип. 1 (26). С. 125–137. DOI: 10.32353/khrife.1.2022.08.