

Перелік джерел посилання

1. Петрова І. А., Спіцина Г. О. До питання формування кодексу поведінки судового експерта. *Науковий вісник Дніпропетровського державного університету внутрішніх справ*. 2019. № 2. С. 114—119. DOI: 10.31733/2078-3566-2019-2-114-119 (дата звернення: 05.08.2023).
2. Рувін О. Г., Голікова Т. Д., Полтавський А. О. та ін. Кодекс поведінки судових експертів в Україні як одна із умов членства в ENFSI. *Криміналістика і судова експертиза*. 2016. Вип. 61. С. 32—43.
3. Недосека О. М. Актуальні питання становлення поняття «професійна етика судового експерта». *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. 2020. Вип. 22. С. 193—200. DOI: 10.32353/khrife.2.2020.14 (дата звернення: 05.08.2023).
4. Сплавська О. В., Панькевич В. М. Правова регламентація професійної етики судового експерта. *Криміналістичний вісник*. 2018. № 30 (2). С. 7—14. DOI: 10.37025/1992-4437/2018-30-2-7 (дата звернення: 05.08.2023).
5. Проект закону про судово-експертну діяльність від 05.11.2021 р. № 6284. URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=73154 (дата звернення: 05.08.2023).
6. Code of conduct : statutory document of ENFSI BRD-GEN-003 on 16 June 2005 / ENFSI. URL: https://enfsi.eu/wp-content/uploads/2016/09/code_of_conduct.pdf (дата звернення: 05.08.2023).
7. Про внесення змін до Закону України «Про судову експертизу» щодо удосконалення організаційно-управлінського забезпечення судово-експертної діяльності : Закон України від 03.11.2022 р. № 2716-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2716-20#n5> (дата звернення: 05.08.2023).
8. Statuts Conseil national des compagnies d'experts de justice : approuvés par l'Assemblée Générale Extraordinaire du 24 janvier 2008 / C. N. C. E. J. URL: https://www.cncej.org/uploads/document/file/1/statuts_2008.pdf (дата звернення: 05.08.2023).

Дослідження автентичності цифрових зображень з використанням методів штучного інтелекту з попередньою обробкою інформації методами фільтрації

Сергій Чорний,

канд. техн. наук, доц., ННЦ «ІСЕ ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса», м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0445-2886>, e-mail: svch1mail@yahoo.com

Ольга Брендель,

ННЦ «ІСЕ ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса», м. Харків, Україна,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1723-0203>, e-mail: olgabrenda@ukr.net

Роман Соломаха,

ННЦ «ІСЕ ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса», м. Харків, Україна,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0725-966X>, e-mail: roman110273@gmail.com

Досліджено ефективність структур семантичних класифікаторів на основі штучних нейронних мереж із узагальненням результатів попередньої обробки за кількома методами фільтрації у задачах оцінки автентичності зображень. Оцінки ефективності розпізнавання за критерієм Дайсе надано на прикладі виявлення зон редагування зображень, створених редактором цифрового живопису.

Ключові слова: автентифікація; цифрові зображення; штучний інтелект; семантична класифікація; ELA; PCA; Inpainting.

Investigating Digital Image Authenticity Using Artificial Intelligence Methods with Pre-processing via Filtering Techniques Sergiy Chorny, Olga Brendel, Roman Solomakha

This research evaluates the effectiveness of semantic classifier structures employing artificial neural networks by generalizing pre-processing outcomes through multiple filtering methods in tasks related to assessing image authenticity. Recognition performance evaluations based on the Dice criterion are provided, exemplified by the detection of image editing areas created by a digital painting editor.

Keywords: authentication; digital images; artificial intelligence; semantic classification; ELA; PCA; Inpainting.

У сучасній вітчизняній та міжнародній досудовій практиці та судових провадженнях використовують речові докази у вигляді зображень та відеозаписів у різних цифрових форматах, які можуть бути об'єктами редагування. Науково-технічний прогрес у галузі фотозйомки та відеозапису, способів та засобів програмного редагування цифрових зображень створює широкі можливості маніпулювання змістом цифрових зображень та актуалізує проблему їх автентифікації, зокрема під час війни Росії проти України. Для редагування цифрових зображень та відеозаписів широко застосовують інтелектуальні редактори з використанням методів штучного інтелекту (далі — ШІ) [1]. Подібні редактори дають змогу створювати реалістичні фотографії, які важко піддаються автентифікації традиційними методами. Зважаючи на це, перспективним напрямом розв'язання проблеми автентифікації цифрових зображень, на думку авторів, є також використання технологій ШІ, зокрема, моделей штучних нейронних мереж (далі — ШНМ) [2].

Основну увагу в межах даної роботи приділено підлаштуванню алгоритмів штучного інтелекту під автономні обчислювальні можливості, а також використання для створення тренувальних баз зображень автономних редакторів на прикладі технології малювання (*Inpainting*) [1]. Дослідження алгоритмів побудови автоматизованих програмних продуктів для автентифікації зображень у даній роботі також спрямовано на поєднання традиційних методів виявлення ознак редагування (методів фільтрації) та новітніх інформаційних технологій для узагальнення результатів дослідження автентичності зображень, отриманих різними методами під час порівняльних досліджень. Необхідність використання кількох методів оцінки автентичності зображень виникає у зв'язку з відсутністю одного універсального [3].

У межах даного дослідження для попередньої обробки зображень та виявлення ознак редагування використано три відомі методи фільтрації: аналіз рівня помилок (*Error Level Analysis*, далі — *ELA*) [4]; аналіз принципів компонент (*Principal Component Analysis*, далі — *PCA*) [5]; аналіз рівня шумів (*Noise Analysis*, далі — *NOISE*) [6].

За обробкою зображення, що підлягає дослідженню, указаними методами формують тришарове зображення ознак, яке в подальшому аналізують за допомогою моделі ШНМ, що реалізує в даному випадку семантичний класифікатор.

За запропонованим підходом до використання семантичних класифікаторів з попередньою обробкою зображень методами фільтрації (зокрема *ELA*, *PCA* та *NOISE*), аналізу архітектури семантичних класифікаторів та їх функціональних складових (кодерів), аналізу програмного забезпечення, що існує, для подальших досліджень обрано програмне середовище *Python*, *Jupyter Notebook* та одну з найбільш функціональних бібліотек моделювання штучних нейронних мереж — бібліотеку *Segmentation Models (SM)* [7]. Дослідження проведено на комп'ютері *ASUS* з процесором *11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-11370H* (частота *3.30 GHz*), оперативна пам'ять *16.0 GB*, графічна карта *RTX3070 (8Gb)*, операційна система *Windows 10* × *64*.

Найбільш суттєвими обмеженнями наявних обчислювальних ресурсів під час досліджень виявилися обсяг оперативної пам'яті та обсяг пам'яті графічної карти. Тому для тестування обрано лише ті конфігурації ШНМ, які задовольняють відповідним

вимогам до цих ресурсів. Моделі ШНМ обирали зі стандартних або підлаштовували в такий спосіб, щоб використовувати максимальний наявний обсяг пам'яті. Крім того, урахувавши вплив розмірів зображень на використання пам'яті, зображення на етапі попередньої обробки зменшували шляхом простого видалення (обрізання) їх із країв без стискання або іншої обробки з 512×512 до 320×480 пікселів.

Дослідження проведено за такими етапами:

- тестування найбільших за обсягом вимог ШНМ у стандартній конфігурації з працездатним рівнем вимог до пам'яті;
- тестування найбільших за обсягом вимог ШНМ непрацездатних у стандартній конфігурації з трансформуванням мережі у напрямку її зменшення до працездатного рівня;
- тестування найменших за обсягом вимог ШНМ у конфігурації з максимальним трансформуванням мережі у напрямку її збільшення;
- тестування варіантів вхідної обробки зображень ELA+PCA та ELA+PCA+NOISE.

Оцінка ефективності автентифікації здійснювали за критерієм Дайсе [8].

Загалом проведено детальні дослідження та надано оцінки працездатності досліджених штучних нейронних семантичних класифікаторів за критерієм Дайсе для 22 ШНМ у стандартних конфігураціях та 60 ШНМ із варіаціями структур та параметрів.

Найкращим із досліджених класифікаторів за результатами тестування ШНМ у стандартних конфігураціях виявився класифікатор із архітектурою *Unet++* та класифікатором ознак (кодером) типу *timm-resnest200e* із середнім критерієм Дайсе правильної сегментації зон редагування для використаної бази зображень 0.9876. Показано, що оптимізація структури та параметрів ШНМ дає змогу отримати коефіцієнт Дайсе 0.99379 для нестандартної конфігурації архітектури *Unet++* та кодера *timm-resnest269e*. Узагальнення за допомогою ШНМ результатів комплексного використання кількох методів попередньої обробки зображення за критерієм Дайсе (0.9937) дає кращі результати, ніж використання результатів окремих методів (0.9929).

Перелік джерел посилання

1. Image Inpainting. URL: <https://www.nvidia.com/research/inpainting/> (дата звернення: 01.09.2023).
2. Artificial neural network. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_neural_network (дата звернення: 01.09.2023).
3. Методика дослідження ознак монтажу цифрових зображень на основі аналізу ентропії шумів (код 7.1.15) / Реєстр методик проведення судових експертиз. URL: <http://rmpse.minjust.gov.ua/page/45> (дата звернення: 01.09.2023).
4. Error level analysis. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Error_level_analysis (дата звернення: 01.09.2023).
5. Principal component analysis. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Principal_component_analysis (дата звернення: 01.09.2023).
6. Wagner J. Forensically. URL: <https://29a.ch/photo-forensics/> (дата звернення: 01.09.2023).
7. Segmentation Models. URL: <https://smp.readthedocs.io/en/latest/> (дата звернення: 01.09.2023).
8. Sørensen–Dice coefficient . URL: https://en.wikipedia.org/wiki/S%C3%B8rensen%E2%80%93Dice_coefficient (дата звернення: 01.09.2023).