

УДК 004.852 + 616-018

МЕТОДОЛОГІЯ АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ЗАСТОСУВАНЬ (ОГЛЯД)

Давидович Ілля Вікторович

bkmz6bkmz6@gmail.com

Бабенко Віталій Олегович

vbabenko2191@gmail.com

кафедра біомедичної кібернетики

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

м. Київ, Україна

***Анотація** – Медична візуалізація є невіддільною частиною сучасної клінічної практики та досліджень у галузі охорони здоров'я, служучи наріжним каменем у сфері діагностичних процедур та забезпечуючи критично важливу основу для вибору методів лікування, спрямованих на підвищення рівня виживання пацієнтів. Серед різних підходів, доступних для обробки та аналізу медичних зображень, нейронні мережі отримали найбільше визнання, головним чином завдяки їхній здатності швидко обробляти знімки будь-якої модальності, забезпечуючи при цьому діагностичний аналіз з високою якістю. Однак широкому впровадженню таких технологій часто перешкоджають значні фінансові витрати та труднощі для медичних працівників при розшифруванні результатів. Нейронні мережі, які є непрозорими у своїх процесах прийняття рішень, породжують дилему «чорної скриньки», хоча при постановці діагнозу остаточне рішення приймає лікар, а не мережа. Таким чином, існує потреба в розробці методологічної бази для обробки та аналізу медичних зображень, здатної забезпечити надійну підтримку прийняття діагностичних рішень. Дана наукова робота присвячена охопленню методології порівняння зображень. Це фундаментальна процедура, яка дозволяє ідентифікувати невідповідності між зображеннями, не покладаючись на нейронні мережі або інші парадигми машинного навчання. Для досягнення мети було розглянуто низку методологій порівняння зображень, кожна з яких містить свій власний набір сильних і слабких сторін. Отриманий в результаті порівняльний аналіз дозволить дослідникам робити виважений вибір відповідно до індивідуальних потреб і вимог. Таким чином, дана праця робить значний внесок у постійний розвиток медичної візуалізації, тим самим сприяючи покращенню догляду за пацієнтами та підвищенню точності діагностики в цій галузі.*

Ключові слова: штучний інтелект, прийняття рішень, діагностична візуалізація, порівняння зображень.

I. ВСТУП

Порівняння зображень є однією з найважливіших процедур в області обробки зображень [1], що є фундаментальною основою численних додатків [2]. Основною метою порівняння зображень є оцінка подібності або різниці між двома або більше зображеннями. Ця оцінка необхідна у різних контекстах, включаючи комп'ютерний зір, розпізнавання образів, медичну візуалізацію та дистанційне зондування [3].

Останніми роками розробляється все більше систем для виконання порівняльної візуалізації. У сукупності ці системи демонструють, що існує великий попит на порівняльні завдання в різних галузях, зумовлений постійно зростаючим обсягом даних, що отримуються. У біології, наприклад, додаткову інформацію про певні види можна отримати, порівнюючи кілька

генетичних послідовностей. У медицині розбіжності на знімках магнітно-резонансної томографії або ультразвукових зображеннях можуть вказувати на патології, які потребують подальшого дослідження [4]. В обробці зображень потрібно порівнювати результати різних алгоритмів виявлення країв або сегментації. У візуалізації та рендерингу результати потрібно порівнювати, щоб оцінити варіації, спричинені різними налаштуваннями параметрів.

Крім того, об'єктивне порівняння є основою для прийняття рішень щодо параметрів візуалізації та моделювання. Працюючи з об'ємними масивами даних чи складними візуалізаціями вибір відповідних уявлень зображень чи змін візуалізації істотно впливає на інтерпретованість і корисність даних [5]. При імітаційному моделюванні порівняння еталонних та змодельованих

зображень сприяє валідації моделі та оптимізації параметрів моделювання для підвищення точності.

Інструменти порівняльної візуалізації повинні відповідати певним вимогам, щоб бути придатними для різних наборів даних. Одним з важливих питань є масштабованість з точки зору розміру набору даних (якщо точніше, то кількості об'єктів у наборі даних). У випадку порівняння 2D-зображень, багато підходів розміщують зображення для порівняння поруч або в декількох ракурсах, або накладають зображення напівпрозора. Однак, через обмеження людського сприйняття і простору екрану, такі візуалізації порівняння погано масштабуються. Ці інструменти підходять лише для порівняння обмеженої кількості зображень. Це проблема, наприклад, при вивченні біологічних даних, де набори даних часто базуються на аналізі кількох сотень зразків.

Іншим важливим питанням у розробці методів порівняльної візуалізації є те, як надати інформацію про вихідні дані, що лежать в основі. У багатьох підходах відмінності між наборами даних відображаються у вигляді візуальних атрибутів, таких як кольорові патерни. Хоча це чітко підкреслює відмінності та подібності між наборами даних, це приховує вихідні дані, використані для розрахунків. Знання вихідних даних дозволяє ідентифікувати закономірності в наборах даних (тобто виявляти викиди).

У ширшій області аналізу зображень оцінка подібності зображень є найважливішим завданням. Точні та надійні заходи подібності між одним або декількома зображеннями необхідні для оцінки ефективності різних алгоритмів обробки зображень. Ці алгоритми мають безліч застосувань, таких як придушення шуму, узгодження зображень, кодування та відновлення зображень [6].

II. МЕТА РОБОТИ

Мета даної статті – зробити внесок у дискусію про порівняння зображень, представивши різні методи та інструменти, які використовуються для цієї цілі. Вона

покликана висвітлити різноманітні методи та підходи, доступні дослідникам та практикам у цій галузі, що дозволить їм приймати обґрунтовані рішення.

III. МЕТОДИ ПОРІВНЯННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Останніми роками в галузі порівняльної візуалізації було розроблено широкий спектр систем і підходів. Для аналізу різної інтенсивності світла в візуалізації Панг і Фріман [7] використовували колір та інші параметри, такі як текстурні, щоб підкреслити відмінності. Верма і Панг [8] застосували підхід для порівняльної візуалізації потоків. Для порівняння відеоданих Гарет і Чен [9] представили підхід до візуалізації відмінностей між відеокадрами у 3D-просторі. Вони розглядали відеопослідовність як 3D-об'єм і застосовували до неї об'ємний рендеринг.

Менш поширеним, проте потенційно привабливим є метод на основі текстурного аналізу. У роботі Настенка та ін. [10] представлено дослідження використання методів текстурного аналізу для вилучення інформативних ознак на медичних зображеннях ультразвукових досліджень та магнітно-резонансної томографії мозку з метою класифікації патологічних станів. Отримані результати свідчать про успішність застосування методу, з точністю моделей класифікації від 84% до 93,8% на екзаменаційній вибірці. Особливістю даного підходу є використання різного роду матриць текстурних ознак, що дозволяють вилучити із зображень унікальні патерни, притаманні певним областям. Подібний підхід дозволяє не лише застосовувати його для безпосередньої класифікації патологій, але й виявляти характеристики, що можуть явно свідчити про відмінність одних областей від інших.

Для аналізу біологічних даних Мюнцнер та ін. [11] запропонували техніку візуалізації для порівняння великих філогенетичних дерев, а Проктер та ін. [12] використали порівняльну візуалізацію для огляду декількох генетичних послідовностей. В археології об'єкти часто класифікують шляхом порівняння. Масуда та ін. [13]

візуально проаналізували давньокитайські бронзові дзеркала та їхні відмінності у формі. Бодріє і Ріффо [14] запропонували підхід для порівняння стародавніх документів. Для інших даних, таких як офісні документи, Друкер та ін. [15] представили метод виявлення відмінностей між різними версіями презентації PowerPoint. Пірінгер та ін. [16] реалізували інтерактивний підхід для порівняльного візуального аналізу 2D ансамблів функцій. Торі та ін. [17] розробили нові методи для візуалізації проєктів управління будівництвом. Разом ці системи демонструють необхідність розробки інструментів, які явно підтримують порівняльні задачі. Однак усі представлені підходи орієнтовані на конкретну галузь і конкретний тип набору даних. Елер та ін. [18] запропонували метод візуального аналізу колекцій зображень. Їхній метод візуалізації дозволяє групувати і класифікувати зображення на основі ознак, але не надає засобів для подальшої перевірки окремих ознак.

Існуючі підходи до порівняння двовимірних зображень зазвичай розміщують об'єкти для порівняння поруч або в різних ракурсах [19]. Інші підходи до порівняння двовимірних зображень розміщують зображення, що порівнюються, в одному просторі. Найпростішим рішенням для цього є накладання (тобто напівпрозоре накладання зображень). Каммерер та ін. [20] використовували цей метод для виявлення відмінностей між інфрачервоними та кольоровими зображеннями старовинних картин. Інші методи включають кольорове плетіння, запропоноване Хаг-Шенасом та ін. [21], або блоки атрибутів, запропоновані Міллером [22]. Багато підходів використовують колір для позначення відмінностей між двовимірними зображеннями. Оскільки це дуже простий та інтуїтивно зрозумілий спосіб представлення відмінностей, його можна застосовувати до різних областей. Холлінгсворт та ін. [23] використовували специфічну схему забарвлення зображень відмінностей для порівняння 2D газових хроматограм. Сахасрабудхе та ін. [24] використовували

кольорове кодування, щоб підкреслити відмінності між несхожими візуалізаціями, тоді як Суомі та Ойкарінен [25] зосередилися на наборах даних МРТ, а Да Сілва та ін. [26] проаналізували об'єми тензора дифузії. Окрім кольорового кодування, для аналізу відмінностей зображень використовували й інші методи абстрагування. Малік та ін. [27] запропонували мультізображення для порівняння зображень. Їхній метод поділяє простір зображення на гексагональні області, а кожна область поділяється на менші елементи, що представляють дані з різних серій. Це надає контекстну інформацію про дані і полегшує виявлення відхилень. Чим більше елементів складається набір даних, тим більше піделементів потрібно створити для кожної гексагональної області. У певний момент піделементи стають занадто малими для належного аналізу, що робить цей метод непридатним для великих наборів даних зображень. Автори також стверджують, що їхній підхід орієнтований лише на значення у відтінках сірого.

Кілька підходів до аналізу простору параметрів також передбачають порівняння зображень. Маркс та ін. [28] представили галерею дизайну, які дозволяють користувачеві переглядати отримані зображення, створені шляхом зміни заданого вектора вхідних параметрів. Ма [29] запропонував Image Graphs для візуального аналізу процесу візуалізації даних. VisTrails [30] є цікавим інструментом, який забезпечує візуальне порівняння робочих процесів та зображень. Брукнер та Меллер [31] розробили систему для дослідження параметрів моделювання. Вони пропонують зробити вибірку заданого простору параметрів, а потім застосувати кластеризацію до вихідних зображень для виявлення важливих змін. Tuner, система, розроблена Торсні-Вейром та ін. [32], дозволяє знаходити відповідні значення параметрів для сегментації зображень, порівнюючи результати сегментації з істинними даними. Всі ці підходи покладаються на порівняння зображень для оцінки вихідних зображень.

У схожому огляді методів порівняння зображень [33] Каур і Девендран представили

ряд загальноприйнятих методик, які представляються можливими для самостійної реалізації. Список цих методологій представлений нижче.

3.1. Попіксельне порівняння

Система порівняння отримує колір пікселів з координатами, що збігаються на зображенні і порівнює їхні відтінки. Якщо кожен піксель в обох зображеннях має однаковий колір, то система визнає їх ідентичними.

Механізм порівняння має кілька параметрів, кожен із яких забезпечує подальшу обробку растрових зображень, підвищуючи тим самим гнучкість порівняння.

А. Допуск на піксель

Визначає допустиму кількість різних пікселів. Якщо кількість пікселів менше або дорівнює допуску на піксель, то система вважає зображення ідентичними. Наприклад, на зображенні нижче (рис. 1) одне растрове зображення відрізняється від іншого на два пікселі.

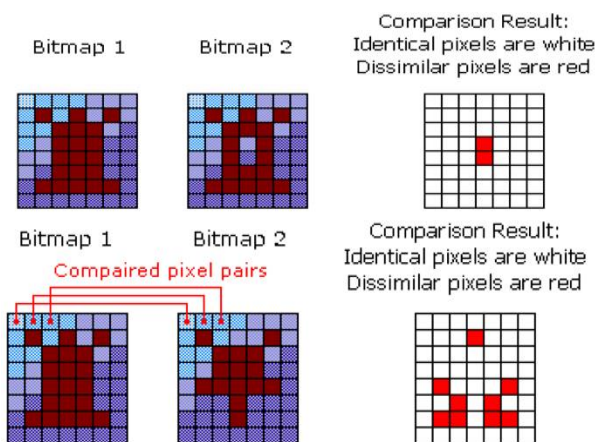


Рис. 1. Попіксельне порівняння. Зверху наведений приклад з допуском на піксель, знизу – з допуском на колір

Якби значення допуску на піксель дорівнювало 2, то система порівняння вважала би ці растрові зображення ідентичними.

Б. Допуск на колір

Задає допустиму різницю кольорів, за якої два пікселі вважатимуться ідентичними. Різниця кольорів представляється як ціле значення в діапазоні 0-255, яке визначає допустиму різницю для кожного компонента кольору (червоного, зеленого і синього) пікселів, що порівнюються. Два пікселі

вважаються ідентичними, якщо різниця між інтенсивністю кожного з їхніх компонентів кольору не перевищує вказаного значення. Якщо колірний допуск дорівнює 0 (значення за замовчуванням), пікселі, що порівнюються, вважаються ідентичними, тільки якщо вони мають абсолютно однаковий колір. Якщо допуск кольору дорівнює 255, пікселі будь-якого кольору вважаються ідентичними.

Приклад порівняння зображень через допуск на колір також наведено на рис. 1.

В. Порівняльна маска

Вказує, які області растрових зображень порівнювати. Маска - це інше зображення, пікселі якого можуть бути або чорними, або білими. Коли вказано маску, механізм порівняння працює наступним чином: білі пікселі на масці беруть участь у порівнянні, тоді як чорні ігноруються. Наприклад, наступні два різні растрові зображення (рис. 2) можна вважати ідентичними при використанні маски.

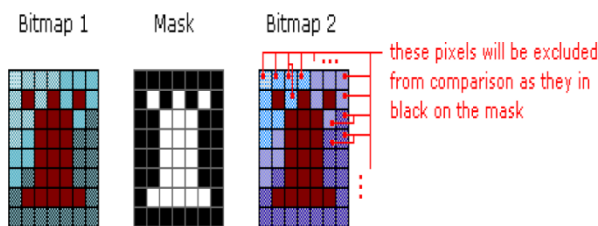


Рис. 2. Попіксельне порівняння з використанням порівняльної маски

3.2. Порівняння зображень через використання відстані Хаусдорфа

Відстань Хаусдорфа вимірює, наскільки близько будь-яка точка набору моделей знаходиться до будь-якої точки набору зображень, і навпаки. Таким чином, ця відстань може бути використана для визначення ступеня подібності між двома накладеними об'єктами. Представлено ефективні алгоритми для обчислення відстані Хаусдорфа між усіма можливими взаємними положеннями бінарного зображення та моделі. Основну увагу приділено випадку, коли модель може рухатися лише відносно зображення. Методику поширено на випадок жорсткого руху. Обчислення відстані Хаусдорфа відрізняється від багатьох інших методів порівняння форм тим, що не робиться висновок про відповідність між моделлю та

зображенням. Метод досить толерантний до невеликих позиційних помилок, таких як ті, з якими стикаються детектори країв та інші методи виділення ознак.

3.3. Функції на основі відстані для порівняння зображень

У спільноті комп'ютерного зору зростає інтерес до порівняння цифрових зображень. Визначення відповідної міри порівняння для недвійкових зображень є актуальним у багатьох програмах обробки зображень. Такі візуальні задачі, як сегментація і класифікація, вимагають оцінки класів еквівалентності. Міри подібності також використовуються для оцінки алгоритмів стиснення з втратами і для визначення індексів зображень у методах пошуку на основі вмісту зображень. У цій статті [34] автори використовували підхід на основі відстані для оцінки подібності зображень і представили кілька відстаней між зображеннями на основі низькорівневих ознак. Вони використовували три нові функції що базується на основі відстані між зображеннями для цифрового порівняння зображень. Авторами також підкреслено цифрову природу зображень, оскільки за допомогою низькорівневих методів порівнюються лише цифрові зображення, а не сцени чи об'єкти, представлені на зображеннях. Експериментальні результати вказують на більш кращу чутливість функцій, що поєднують, як глобальну інтенсивність, так і в свою чергу локальні структурні особливості, порівняно зі звичайними мірами, заснованими на інтенсивності.

3.4. Алгоритми виявлення змін зображення

Виявлення областей змін на декількох знімках однієї і тієї ж сцени, зроблених у різний час, викликає широкий інтерес завдяки великій кількості застосувань у різних дисциплінах, включаючи дистанційне зондування, спостереження, медичну діагностику і лікування, цивільну інфраструктуру і підводне зондування. В даній статті представлений систематичний огляд загальних етапів обробки та основних правил прийняття рішень у сучасних

алгоритмах виявлення змін, включаючи перевірку значущості та гіпотез, прогностичні моделі, модель затінення, моделювання фону та методи попередньої обробки.

3.5. Порівняння зображень за допомогою векторів кольорової когерентності та спільних гістограм

Кольорові гістограми використовуються для порівняння зображень у багатьох програмах. Їхніми перевагами є ефективність і нечутливість до невеликих змін точки зору камери. Однак кольоровим гістограмам бракує просторової інформації, тому зображення з дуже різним зовнішнім виглядом можуть мати схожі гістограми. В роботі [35] був представлений метод порівняння зображень на основі гістограм, який включає просторову інформацію. Авторами класифікували кожен піксель у певній кольоровій області як когерентний або некогерентний, залежно від того, чи є він частиною великої області схожого кольору, чи ні. Вектор когерентності кольору (CCV) зберігає кількість когерентних і некогерентних пікселів для кожного кольору. Відокремлюючи когерентні пікселі від некогерентних, CCV забезпечує тонше розрізнення, ніж кольорові гістограми. CCV можна обчислювати зі швидкістю понад 5 кадрів за секунду на стандартній робочій станції. База даних з 15 000 зображень може бути запитана для пошуку зображень з найбільш схожими CCV менш ніж за 2 секунди. Було доведено, що CCV можуть забезпечити кращі результати, ніж кольорові гістограми для пошуку зображень. Кольорові гістограми широко використовуються для пошуку зображень на основі вмісту завдяки їхній ефективності та надійності. Однак кольорова гістограма відображає лише загальну кольорову композицію зображення, тому зображення з дуже різним зовнішнім виглядом можуть мати схожі кольорові гістограми. Ця проблема особливо критична у великих базах даних зображень, де багато зображень мають однакову колірну гістограму. Авторами запропонували альтернативу кольоровим гістограмам – об'єднану гістограму, яка включає додаткову

інформацію, не втрачаючи при цьому надійності кольорових гістограм. Об'єднана гістограма створюється шляхом вибору набору локальних характеристик пікселів і побудови багатовимірної гістограми. Кожен запис у спільній гістограмі містить кількість пікселів на зображенні, що описуються певною комбінацією значень ознак. Автори описали декілька різних об'єднаних гістограм та оцінили їхню ефективність для пошуку зображень на базі даних, що містить понад 210 000 зображень. На тестах спільні гістограми на порядок перевершують кольорові гістограми.

IV. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДОЛОГІЙ

Розглянемо кожну з базових технологій порівняння зображень окремо:

1. Попіксельне порівняння. Переваги: простий та інтуїтивно зрозумілий; підходить для виявлення точних збігів. Недоліки: чутливий до шуму та незначних коливань; потрібні однакові розміри зображень; не має стійкості до трансформацій зображення; обмежене застосування для складних сцен.

2. Відстань Хаусдорфа. Переваги: ефективний для порівнянь на основі форми; стійкість до певного ступеня геометричних спотворень. Недоліки: чутливість до викидів і шуму; висока обчислювальна складність; обмежена застосовність для порівнянь на основі текстур.

3. Функції на основі відстані. Переваги: універсальний, застосовується до різних типів зображень; забезпечує кількісну міру несхожості. Недоліки: чутливість до масштабування та обертання; продуктивність може погіршуватися при високій розмірності; потребує вилучення та відбору ознак.

4. Алгоритми відстеження змін. Переваги: ідеально підходить для моніторингу та спостереження; специфічний для виявлення змін, а не загальної схожості; стійкий до освітлення та змін навколишнього середовища. Недоліки: обмежене застосування для загального порівняння зображень; потребує зареєстрованих пар зображень для точних результатів.

5. Вектори кольорової когерентності. Переваги: ефективний для порівняння кольорів; стійкий до незначних просторових відхилень. Недоліки: чутливий до змін освітлення та тіні; обмежена застосовність для зображень у відтінках сірого; обмежена можливість захоплення інформації про форму або текстуру.

6. Спільні гістограми. Переваги: ефективний для порівнянь на основі інтенсивності; стійкий до незначних перекосів. Недоліки: чутливий до змін глобальної освітленості; обмежена здатність захоплювати інформацію про форму або текстуру; складність зростає зі збільшенням кількості бінів гістограми.

Вибір методу залежить від специфіки зображень, що порівнюються (наприклад, форма, колір, інтенсивність), і бажаних результатів (наприклад, виявлення змін, знаходження подібностей). Попіксельне порівняння є простим, але може не підходити для всіх сценаріїв, особливо коли йдеться про складні сцени або трансформації. Функції на основі відстані пропонують універсальність, але можуть вимагати ретельного виділення та нормалізації елементів. Алгоритми виявлення змін у зображенні спеціалізуються на часових порівняннях і можуть не підходити для загальної оцінки схожості. Методи, засновані на кольорі, такі як вектори кольорової когерентності та спільні гістограми, ефективні для порівнянь, орієнтованих на колір, але можуть не вловлювати інформацію про форму або текстуру.

Зрештою, вибір конкретного методу та підходу порівняння зображень повинен визначатися конкретними цілями і характеристиками зображень, які аналізуються. Кожен метод має свої переваги та обмеження, і важливо обирати той, який найкраще відповідає поставленій задачі та враховує особливості даних.

V. ВИСНОВКИ

У даній статті було обговорено деякі методи та інструменти для порівняння зображень. Порівняння зображень є одним з найважливіших процесів в області обробки зображень. Іноді необхідно порівняти два

зображення, щоб оцінити схожість і відмінність між ними. Часто зображення потрібно порівнювати, щоб полегшити вибір параметрів візуалізації або моделювання.

Аналітика зображень – це автоматичне алгоритмічне вилучення та логічний аналіз інформації, що міститься в графічних даних, за допомогою методів цифрової обробки зображень. Відеоаналітика – це загальний термін, що використовується для опису комп'ютерної обробки та аналізу відеопотоків. Наука про аналітику зображень і відео зросла з розвитком машинного зору, багатомовного розпізнавання мови та механізмів прийняття рішень на основі правил. Використовуючи ці методи та інструменти, можна зробити аналітику зображень і відео більш ефективною.

Фінансування. Дане дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Згода на публікацію. Усі пацієнти, що мають відношення до рукопису дали згоду на публікацію даної роботи.

ORCID ID та внесок авторів.

1. Illia Davydovych (50%) – [0000-0001-9987-8267](https://orcid.org/0000-0001-9987-8267)

2. Vitalii Babenko (50%) – [0000-0002-8433-3878](https://orcid.org/0000-0002-8433-3878)

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

[1] H. Pagendam and F. Post. Comparative visualization: approaches and examples. In Visualization in scientific computing (H. Göbel and H. Müller and B. Urban), pages 95–108. Springer-Verlag, 1995.

[2] Ashraf R, Ahmed M, Jabbar S, Khalid S, Ahmad A, Din S, Jeon G. Content Based Image Retrieval by Using Color Descriptor and Discrete Wavelet Transform. *J Med Syst.* 2018;42(3):44–44. DOI: 10.1007/s10916-017-0880-7

[3] Dhara AK, Mukhopadhyay S, Dutta A, Garg M, Khandelwal N. Content-Based Image Retrieval System for Pulmonary Nodules: Assisting Radiologists in Self-Learning and Diagnosis of Lung Cancer. *J Digit Imaging.* 2017;30(1):63–77. DOI: 10.1007/s10278-016-9904-y

[4] Tsuchida T, Negishi T, Takahashi Y, Nishimura R. Dense-breast classification using image similarity. *Radiol Phys Technol.* 2020;13(2):177–186. DOI: 10.1007/s12194-020-00566-3. DOI: 10.1007/s12194-020-00566-3

[5] Hwang KH, Lee H, Choi D. Medical image retrieval: past and present. *Healthcare informatics research.* 2012;18(1):3–9. DOI: 10.4258/hir.2012.18.1.3

[6] Wang Z, Xin J, Huang Y, Li C, Xu L, Li Y, Zhang H, Gu H, Qian W. A similarity measure method combining location feature for mammogram retrieval. *J Xray Sci Technol.* 2018;26(4):553–571. DOI: 10.3233/XST-18374

[7] Alex Pang and Adam Freeman "Methods for comparing 3D surface attributes", Proc. SPIE 2656, Visual Data Exploration and Analysis III, (8 March 1996); DOI: 10.1117/12.234691

[8] Vivek Verma and A. Pang, "Comparative flow visualization," in IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 10, no. 6, pp. 609–624, Nov.-Dec. 2004. DOI: 10.1109/TVCG.2004.39

[9] D. Gareth and C. Min. Visualising video sequences using direct volume rendering. In Proceedings of Vision, Video and Graphics, VVG '03, pages 103–110, University of Bath, UK, Jul 10-11, 2003.

[10] Настенко, Є. А., Павлов, В. М., Носовець, О. К. Круглий, В. Гончарук, М. Павлов, В. М. Карлюк А. Грішко, Д. Трофименко В., Бабенко, В Застосування текстурного аналізу у вирішенні задачі класифікації медичних зображень. *Біомедична інженерія і технологія.* 2020. Vol. 4. С. 69–82. DOI: 10.20535/2617-8974.2020.4.221876

[11] Tamara Munzner, François Guimbretière, Serdar Tasiran, Li Zhang, and Yunhong Zhou. 2003. TreeJuxtaposer: scalable tree comparison using Focus+Context with guaranteed visibility. *ACM Trans. Graph.* 22, 3 (July 2003), 453–462. DOI: 10.1145/882262.882291

[12] Procter JB, Thompson J, Letunic I, Creevey C, Jossinet F, Barton GJ. Visualization of multiple alignments, phylogenies and gene family evolution. *Nat Methods.* 2010 Mar;7(3 Suppl):S16–25. DOI: 10.1038/nmeth.1434

[13] Masuda, T., Imazu, S., Auethavekiat, S., Furuya, T., Kawakami, K. and Ikeuchi, K. (2003), Shape difference visualization for ancient bronze mirrors through 3D range images. *J. Visual. Comput. Animat.*, 14: 183–196. DOI: 10.1002/vis.316

[14] E. Baudrier and A. Riffaud, "A Method for Image Local-Difference Visualization," Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007), Curitiba, Brazil, 2007, pp. 949–953. DOI: 10.1109/ICDAR.2007.4377055

[15] Steven M. Drucker, Georg Petschnigg, and Maneesh Agrawala. 2006. Comparing and managing multiple versions of slide presentations. In Proceedings of the 19th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '06). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 47–56. DOI: 10.1145/1166253.1166263

[16] Piringer, H., Pajer, S., Berger, W. and Teichmann, H. (2012), Comparative Visual Analysis of 2D Function Ensembles. *Computer Graphics Forum*, 31: 1195–1204. DOI: 10.1111/j.1467-8659.2012.03112.x

[17] Melanie Tory, Sheryl Staub-French, Dandan Huang, Yu-Ling Chang, Colin Swindells, Rachel Pottinger. Comparative visualization of construction schedules, *Automation in Construction.* Volume 29, 2013, Pages 68–82, ISSN 0926-5805. DOI: 10.1016/j.autcon.2012.08.004

[18] D. M. Eler et al., "Multidimensional Visualization to Support Analysis of Image Collections," 2008 XXI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, Campo Grande, Brazil, 2008, pp. 289–296. DOI: 10.1109/SIBGRAPI.2008.30

[19] E. R. Tufte. The visual display of quantitative information. Graphics Press, Cheshire, CT, USA, 1986.

[20] P. Kammerer, A. Hanbury, and E. Zolda. In Proceedings of the Conference on Electronic Imaging for the Visual & Performing Arts, EVA '04, pages 148–153, Florence, Italy, July 26–31, 2004.

[21] H. Hagh-Shenas, S. Kim, V. Interrante and C. Healey, "Weaving Versus Blending: a quantitative assessment of the information carrying capacities of two alternative methods for conveying multivariate data with color.," in IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 13, no. 6, pp. 1270–1277, Nov.-Dec. 2007. DOI: 10.1109/TVCG.2007.70623

[22] J. R. Miller, "Attribute Blocks: Visualizing Multiple Continuously Defined Attributes," in IEEE Computer Graphics

and Applications, vol. 27, no. 3, pp. 57-69, May-June 2007. DOI: 10.1109/MCG.2007.54

[23] Hollingsworth BV, Reichenbach SE, Tao Q, Visvanathan A. Comparative visualization for comprehensive two-dimensional gas chromatography. *J Chromatogr A*. 2006 Feb 10;1105(1-2):51-8. DOI: 10.1016/j.chroma.2005.11.074

[24] N. Sahasrabudhe, J. E. West, R. Machiraju and M. Janus, "Structured spatial domain image and data comparison metrics," *Proceedings Visualization '99 (Cat. No.99CB37067)*, San Francisco, CA, USA, 1999, pp. 97-515. DOI: 10.1109/VISUAL.1999.809873

[25] K. Suomi and J. Oikarinen. Visualization of changes in magnetic resonance image data. In *Proceedings of the Winter School of Computer Graphics, WSCG '00, Plzen, Czech Republic, Feb 7-10, 2000*.

[26] M. DaSilva, S. Zhang, C. Demiralp, and D. H. Laidlaw. Visualizing the differences between diffusion tensor volume images. In *Proceedings of the ISMRM Workshop on Diffusion MRI: What Can We Measure?, ISMRM '02*, pages 237-238, St. Malo, France, Mar 10-12 2002.

[27] M. M. Malik, C. Heinzl, and M. E. Groeller, "Comparative Visualization for Parameter Studies of Dataset Series," in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 16, no. 5, pp. 829-840, Sept.-Oct. 2010. DOI: 10.1109/TVCG.2010.20

[28] J. Marks, B. Andalman, P. A. Beardsley, W. Freeman, S. Gibson, J. Hodgins, T. Kang, B. Mirtich, H. Pfister, W. Ruml, K. Ryall, J. Seims, and S. Shieber. 1997. Design galleries: a general approach to setting parameters for computer graphics and animation. In *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '97)*. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., USA, 389-400. DOI: 10.1145/258734.258887

[29] Kwan-Liu Ma, "Image graphs-a novel approach to visual data exploration," *Proceedings Visualization '99 (Cat. No.99CB37067)*, San Francisco, CA, USA, 1999, pp. 81-88. DOI: 10.1109/VISUAL.1999.809871

[30] Scheidegger C, Vo H, Koop D, Freire J, Silva C. Querying and creating visualizations by analogy. *IEEE Trans Vis Comput Graph*. 2007 Nov-Dec;13(6):1560-7. DOI: 10.1109/TVCG.2007.70584

[31] S. Bruckner and T. Möller, "Result-Driven Exploration of Simulation Parameter Spaces for Visual Effects Design," in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 16, no. 6, pp. 1468-1476, Nov.-Dec. 2010. DOI: 10.1109/TVCG.2010.190

[32] T. Torsney-Weir et al., "Tuner: Principled Parameter Finding for Image Segmentation Algorithms Using Visual Response Surface Exploration," in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 17, no. 12, pp. 1892-1901, Dec. 2011. DOI: 10.1109/TVCG.2011.248

[33] Kaur, R., Devendran, V. (2023). Image Matching Techniques: A Review. In: Kaiser, M.S., Xie, J., Rathore, V.S. (eds) *Information and Communication Technology for Competitive Strategies (ICTCS 2021)*. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 401. Springer, Singapore. DOI: 10.1007/978-981-19-0098-3_74

[34] Kim B, Lee H, Kim KJ, Seo J park, Shin, Kim, Lee. Comparison of three image comparison methods for the visual assessment of image fidelity of compressed CT., *Med Phys*. 2011 Feb;38(2):836-44

[35] PY D Kim, Performance Analysis of ORB Image Matching Based on Android, *International Journal of Software Engineering and Its Applications* Vol.8, No.3 (2014), pp.11-20. DOI: 10.14257/ijseia.2014.8.3.02

[36]

REFERENCES

[1] H. Pagendarm and F. Post. Comparative visualization: approaches and examples. In *Visualization in scientific computing (H. Göbel and H. Müller and B. Urban)*, pages 95-108. Springer-Verlag, 1995.

[2] Ashraf R, Ahmed M, Jabbar S, Khalid S, Ahmad A, Din S, Jeon G. Content Based Image Retrieval by Using Color Descriptor and Discrete Wavelet Transform. *J Med Syst*. 2018;42(3):44-44. DOI: 10.1007/s10916-017-0880-7

[3] Dhara AK, Mukhopadhyay S, Dutta A, Garg M, Khandelwal N. Content-Based Image Retrieval System for Pulmonary Nodules: Assisting Radiologists in Self-Learning and Diagnosis of Lung Cancer. *J Digit Imaging*. 2017;30(1):63-77. DOI: 10.1007/s10278-016-9904-y

[4] Tsuchida T, Negishi T, Takahashi Y, Nishimura R. Dense-breast classification using image similarity. *Radiol Phys Technol*. 2020;13(2):177-186. DOI: 10.1007/s12194-020-00566-3. DOI: 10.1007/s12194-020-00566-3

[5] Hwang KH, Lee H, Choi D. Medical image retrieval: past and present. *Healthcare informatics research*. 2012;18(1):3-9. DOI: 10.4258/hir.2012.18.1.3

[6] Wang Z, Xin J, Huang Y, Li C, Xu L, Li Y, Zhang H, Gu H, Qian W. A similarity measure method combining location feature for mammogram retrieval. *J Xray Sci Technol*. 2018;26(4):553-571. DOI: 10.3233/XST-18374

[7] Alex Pang and Adam Freeman "Methods for comparing 3D surface attributes", *Proc. SPIE 2656, Visual Data Exploration and Analysis III*, (8 March 1996); DOI: 10.1117/12.234691

[8] Vivek Verma and A. Pang, "Comparative flow visualization," in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 10, no. 6, pp. 609-624, Nov.-Dec. 2004. DOI: 10.1109/TVCG.2004.39

[9] D. Gareth and C. Min. Visualising video sequences using direct volume rendering. In *Proceedings of Vision, Video and Graphics, VVG '03*, pages 103-110, University of Bath, UK, Jul 10-11, 2003.

[10] Nastenkov, E. A., Pavlov, V. M., Nosovets, O. K. Krugliy, V. Honcharuk, M. Pavlov, V. M. Karluk, A. Grishko, D., Trofymenko V., Babenko, V. Application of texture analysis in solving the problem of classification of medical images. *Biomedical engineering and technology*. 2020. Vol. 4. C. 69-82

[11] Tamara Munzner, François Guimbretière, Serdar Tasiran, Li Zhang, and Yunhong Zhou. 2003. TreeJuxtaposer: scalable tree comparison using Focus+Context with guaranteed visibility. *ACM Trans. Graph*. 22, 3 (July 2003), 453-462. DOI: 10.1145/882262.882291

[12] Procter JB, Thompson J, Letunic I, Creevey C, Jossinet F, Barton GJ. Visualization of multiple alignments, phylogenies and gene family evolution. *Nat Methods*. 2010 Mar;7(3 Suppl):S16-25. DOI: 10.1038/nmeth.1434

[13] Masuda, T., Imazu, S., Auethavekiat, S., Furuya, T., Kawakami, K. and Ikeuchi, K. (2003), Shape difference visualization for ancient bronze mirrors through 3D range images. *J. Visual. Comput. Animat.*, 14: 183-196. DOI: 10.1002/vis.316

[14] E. Baudrier and A. Riffaud, "A Method for Image Local-Difference Visualization," *Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007)*, Curitiba, Brazil, 2007, pp. 949-953. DOI: 10.1109/ICDAR.2007.4377055

[15] Steven M. Drucker, Georg Petschnigg, and Maneesh Agrawala. 2006. Comparing and managing multiple versions of slide presentations. In *Proceedings of the 19th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '06)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 47-56. DOI: 10.1145/1166253.1166263

[16] Piringer, H., Pajer, S., Berger, W. and Teichmann, H. (2012), Comparative Visual Analysis of 2D Function Ensembles.

- Computer Graphics Forum, 31: 1195-1204. DOI: 10.1111/j.1467-8659.2012.03112.x
- [17] Melanie Tory, Sheryl Staub-French, Dandan Huang, Yu-Ling Chang, Colin Swindells, Rachel Pottinger. Comparative visualization of construction schedules, *Automation in Construction*. Volume 29, 2013, Pages 68-82, ISSN 0926-5805. DOI: 10.1016/j.autcon.2012.08.004
- [18] D. M. Eler et al., "Multidimensional Visualization to Support Analysis of Image Collections," 2008 XXI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, Campo Grande, Brazil, 2008, pp. 289-296. DOI: 10.1109/SIBGRAPI.2008.30
- [19] E. R. Tufte. *The visual display of quantitative information*. Graphics Press, Cheshire, CT, USA, 1986.
- [20] P. Kammerer, A. Hanbury, and E. Zolda. In *Proceedings of the Conference on Electronic Imaging for the Visual & Performing Arts, EVA '04*, pages 148–153, Florence, Italy, July 26-31, 2004.
- [21] H. Hagh-Shenas, S. Kim, V. Interrante and C. Healey, "Weaving Versus Blending: a quantitative assessment of the information carrying capacities of two alternative methods for conveying multivariate data with color.," in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 13, no. 6, pp. 1270-1277, Nov.-Dec. 2007. DOI: 10.1109/TVCG.2007.70623
- [22] J. R. Miller, "Attribute Blocks: Visualizing Multiple Continuously Defined Attributes," in *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 27, no. 3, pp. 57-69, May-June 2007. DOI: 10.1109/MCG.2007.54
- [23] Hollingsworth BV, Reichenbach SE, Tao Q, Visvanathan A. Comparative visualization for comprehensive two-dimensional gas chromatography. *J Chromatogr A*. 2006 Feb 10;1105(1-2):51-8. DOI: 10.1016/j.chroma.2005.11.074
- [24] N. Sahasrabudhe, J. E. West, R. Machiraju and M. Janus, "Structured spatial domain image and data comparison metrics," *Proceedings Visualization '99* (Cat. No.99CB37067), San Francisco, CA, USA, 1999, pp. 97-515. DOI: 10.1109/VISUAL.1999.809873
- [25] K. Suomi and J. Oikarinen. Visualization of changes in magnetic resonance image data. In *Proceedings of the Winter School of Computer Graphics, WSCG '00*, Plzen, Czech Republic, Feb 7-10, 2000.
- [26] M. DaSilva, S. Zhang, C. Demiralp, and D. H. Laidlaw. Visualizing the differences between diffusion tensor volume images. In *Proceedings of the ISMRM Workshop on Diffusion MRI: What Can We Measure?*, ISMRM '02, pages 237–238, St. Malo, France, Mar 10-12 2002.
- [27] M. M. Malik, C. Heinzl, and M. E. Groeller, "Comparative Visualization for Parameter Studies of Dataset Series," in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 16, no. 5, pp. 829-840, Sept.-Oct. 2010. DOI: 10.1109/TVCG.2010.20
- [28] J. Marks, B. Andalman, P. A. Beardsley, W. Freeman, S. Gibson, J. Hodgins, T. Kang, B. Mirtich, H. Pfister, W. Ruml, K. Ryall, J. Seims, and S. Shieber. 1997. Design galleries: a general approach to setting parameters for computer graphics and animation. In *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '97)*. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., USA, 389–400. DOI: 10.1145/258734.258887
- [29] Kwan-Liu Ma, "Image graphs-a novel approach to visual data exploration," *Proceedings Visualization '99* (Cat. No.99CB37067), San Francisco, CA, USA, 1999, pp. 81-88. DOI: 10.1109/VISUAL.1999.809871
- [30] Scheidegger C, Vo H, Koop D, Freire J, Silva C. Querying and creating visualizations by analogy. *IEEE Trans Vis Comput Graph*. 2007 Nov-Dec;13(6):1560-7. DOI: 10.1109/TVCG.2007.70584
- [31] S. Bruckner and T. Möller, "Result-Driven Exploration of Simulation Parameter Spaces for Visual Effects Design," in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 16, no. 6, pp. 1468-1476, Nov.-Dec. 2010. DOI: 10.1109/TVCG.2010.190
- [32] T. Torsney-Weir et al., "Tuner: Principled Parameter Finding for Image Segmentation Algorithms Using Visual Response Surface Exploration," in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 17, no. 12, pp. 1892-1901, Dec. 2011. DOI: 10.1109/TVCG.2011.248
- [33] Kaur, R., Devendran, V. (2023). *Image Matching Techniques: A Review*. In: Kaiser, M.S., Xie, J., Rathore, V.S. (eds) *Information and Communication Technology for Competitive Strategies (ICTCS 2021)*. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 401. Springer, Singapore. DOI: 10.1007/978-981-19-0098-3_74
- [34] Kim B, Lee H, Kim KJ, Seo J park, Shin, Kim, Lee. Comparison of three image comparison methods for the visual assessment of image fidelity of compressed CT., *Med Phys*. 2011 Feb;38(2):836-44
- [35] PY D Kim, *erformance Analysis of ORB Image Matching Based on Android*, *International Journal of Software Engineering and Its Applications* Vol.8, No.3 (2014), pp.11-20. DOI: 10.14257/ijseia.2014.8.3.02

UDC 004.852 + 616-018

IMAGE ANALYSIS METHODOLOGIES FOR DIAGNOSTIC APPLICATIONS (AN OVERVIEW)

Illa Davydovych

bkmz6@gmail.com

Vitalii Babenko

vbabenko2191@gmail.com

Department of Biomedical Cybernetics
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,
Kyiv, Ukraine

Abstract – Medical imaging is an integral part of modern clinical practice and healthcare research, serving as a cornerstone of diagnostic procedures and providing a critical basis for selecting treatments aimed at improving patient survival. Among the various approaches available for medical image processing and analysis, neural networks have gained the most recognition, mainly due to their ability to quickly process images of any modality, while providing high quality diagnostic analysis. However, the widespread adoption of such technologies is often hindered by significant financial costs and difficulties for healthcare professionals in interpreting the results. Neural networks that are opaque in their decision-making processes create a "black box" dilemma, although the final decision is made by the doctor, not the network. Thus, there is a need to develop a methodological framework for medical image processing and analysis capable of providing reliable support for diagnostic decision-making. This research paper is dedicated to covering image comparison methodologies. It is a fundamental procedure that allows identifying inconsistencies between images without relying on neural networks or other machine learning paradigms. To achieve this goal, several image comparison methodologies were considered, each with its own set of strengths and weaknesses. The resulting comparative analysis will allow researchers to make an informed choice according to individual needs and requirements. Thus, this work makes a significant contribution to the ongoing development of medical imaging, thereby contributing to improved patient care and diagnostic accuracy in the field.

Keywords – Artificial Intelligence, Decision-Making, Diagnostic Imaging, Image Comparison.