

УДК 615.47

ЯНА НОСОВА, ТЕТЯНА НОСОВА, ДМИТРО ГАЛУШКО, ОЛЕГ АВРУНІН

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ТРИХОЛОГІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна, yana.nosova@nure.ua, tatyana.nosova@nure.ua, dmytro.halushko@nure.ua, oleh.avrunin@nure.ua

Анотація. У статті досліджуються сучасні методи цифрової обробки трихологічних зображень для діагностики стану волосся. Основна увага приділена модулям, що використовують методи комп'ютерного зору та алгоритми машинного навчання для покращення точності діагнозу. Запропоновані рішення автоматизованого аналізу зображень дозволяють ефективно визначати структурні аномалії волосся та спрощують процес діагностики. У статті розглянуто переваги та недоліки існуючих підходів, а також перспективи їх подальшого розвитку з метою поліпшення медичних процедур. Обговорюються можливості застосування цих технологій у клінічній практиці.

Ключові слова: трихологічні зображення, цифрова обробка, комп'ютерний зір, машинне навчання, діагностика волосся, автоматизація, медичні зображення, обробка сигналів, алгоритми, структури волосся.

Abstract. This article explores modern methods of digital processing of trichological images for hair condition diagnosis. Special attention is paid to modules that employ computer vision techniques and machine learning algorithms to enhance diagnostic accuracy. Proposed automated image analysis solutions effectively detect hair structure anomalies and simplify the diagnostic process. The article discusses the advantages and limitations of existing approaches and prospects for their further development to improve medical procedures. Applications of these technologies in clinical practice are also examined.

Keywords: trichological images, digital processing, computer vision, machine learning, hair diagnosis, automation, medical imaging, signal processing, algorithms, hair structure.

DOI: 10.31649/1681-7893-2024-48-2-170-182

I. ВСТУП

Діагностика стану волосся є важливим аспектом сучасної дерматології та трихології. Здоров'я волосся має велике значення не лише для зовнішнього вигляду та впевненості людини, але й може бути індикатором загального стану здоров'я [1-2]. Різні проблеми з волоссям, такі як алопеція, лупа, себорея, ламкість та посічення кінчиків, можуть значно вплинути на якість життя людини, викликаючи фізичний та психологічний дискомфорт [3-5].

Сучасні методи діагностики стану волосся включають візуальний огляд лікарем, дерматоскопію, мікроскопічний аналіз волосся та біопсії шкіри голови. Проте ці методи мають низку недоліків, таких як суб'єктивність оцінки, тривалість процедури та потреба у спеціалізованому обладнанні. Це робить діагностику тривалою та іноді неточною, що може призводити до неправильного лікування або затримки у встановленні діагнозу [6-7].

Зважаючи на це, існує нагальна необхідність у вдосконаленні методів діагностики стану волосся. Розвиток технологій обробки зображень відкриває нові можливості для створення автоматизованих систем діагностики, які можуть забезпечити більш точні та швидкі результати. Використання алгоритмів машинного навчання та комп'ютерного зору дозволяє автоматично аналізувати зображення волосся, визначати його стан та виявляти патології з високою точністю [8-12].

БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

Розробка модуля обробки зображень для діагностики стану волосся є важливим кроком у напрямку підвищення ефективності медичної діагностики. Такий модуль дозволить зменшити навантаження на лікарів, підвищити точність діагнозів та прискорити процес виявлення та лікування проблем волосся. Це, в свою чергу, сприятиме покращенню якості життя пацієнтів та зменшенню витрат на медичні послуги.

Ц.ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Волосся є складною структурою, що складається з кількох шарів та елементів, кожен з яких виконує свої специфічні функції. Основними компонентами волосся є волоссяний стрижень і волоссяний фолікул [3].

Сучасна медицина пропонує різноманітні методи та інструменти для аналізу стану волосся, кожен з яких має свої переваги та недоліки.

Візуальний огляд є найпростішим та найпоширенішим методом діагностики стану волосся. Лікар проводить огляд волосся та шкіри голови пацієнта, звертаючи увагу на ознаки алопеції, лупи, ламкості волосся та інших проблем. Незважаючи на свою простоту, цей метод є суб'єктивним і залежить від досвіду та кваліфікації лікаря.

Дерматоскопія (трихоскопія) – це неінвазивний метод дослідження, який дозволяє детально оглянути шкіру голови та волосся за допомогою спеціального пристрою – дерматоскопа. Дерматоскоп збільшує зображення, що дозволяє лікарю виявити дрібні зміни, які не видно неозброєним оком, такі як запалення, лущення, структура волоссяного фолікула та інші патологічні зміни.

Мікроскопічний аналіз волосся включає дослідження структури волосини під мікроскопом. Зразок волосся може бути взятий для подальшого аналізу у лабораторії. Мікроскопія дозволяє оцінити товщину волосся, наявність пошкоджень, розщеплення кінчиків та інші структурні аномалії. Цей метод є дуже інформативним, але потребує спеціального обладнання та кваліфікованого персоналу.

Трихоскопія – це неінвазивна процедура, під час якої ваше волосся та шкіру голови аналізують за допомогою високопотужної камери, яка дозволяє отримати збільшене зображення волосся та шкіри голови. Потім дані поміщаються в наше спеціалізоване трихологічне програмне забезпечення для оцінки ряду захворювань волосся та шкіри голови.

Трихограма – це напівінвазивна процедура (рис. 1), під час якої волосся вищипують і відправляють до лабораторії для аналізу. Трихограма – це метод дослідження волосся, який включає видалення невеликої кількості волосся для подальшого аналізу під мікроскопом. Вона дозволяє оцінити фазу росту волосся (анаген, катаген, телоген), визначити кількість волосся в різних фазах росту, що є важливим для діагностики алопеції та інших порушень.

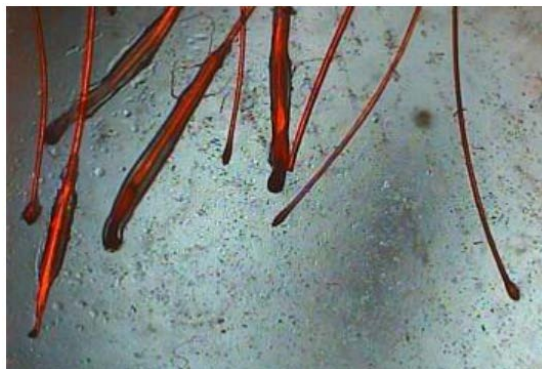


Рисунок 1 – Трихограма [13]

Аналіз волосся може визначити стан волосся, який інакше можна було б пропустити без збільшення. Зібрані волоссяні стрижні перевіряють на наявність переломів, нерівностей, скручування та скручування або інших пошкоджень волоссяного стрижня. Вільні кінці перевіряють, щоб побачити, чи вони не звужені, зламані, порізані чи вивітрені. Мікроскопічне дослідження вищипаного волосся дає достовірну інформацію про корінь, стрижень і життєздатність волосся, що є хорошими показниками для оцінки та лікування багатьох типів захворювань волосся.

Фототрихограма – це варіант трихограми (рис. 2), який включає фотографування ділянки волосистої частини голови перед та після видалення волосся. Отримані зображення аналізуються за

БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

допомогою спеціального програмного забезпечення, що дозволяє оцінити щільність волосся, швидкість росту та інші параметри. Цей метод є менш інвазивним і може використовуватись для моніторингу ефективності лікування.

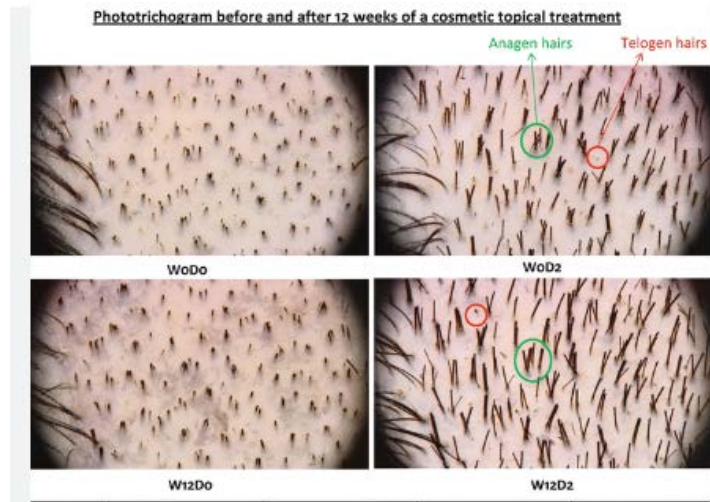


Рисунок 2 – Фототрихограма [14]

Лабораторні тести включають аналіз крові та волосся на наявність дефіциту вітамінів, мінералів, гормональні порушення та інші медичні стани, які можуть впливати на стан волосся. Ці тести допомагають виявити внутрішні причини проблем з волоссям та призначити відповідне лікування.

Сучасні методи та інструменти для аналізу волосся є різноманітними та кожен з них має свої особливості. Комбінація традиційних методів з новітніми технологіями дозволяє досягти більш точних та швидких результатів у діагностиці стану волосся. Вдосконалення цих методів і їх інтеграція у медичну практику є важливим кроком для підвищення ефективності лікування та покращення якості життя пацієнтів [21].

Алопеція, або випадіння волосся, є поширеною проблемою, що може бути спричинена різними факторами, включаючи генетичну схильність, гормональні зміни, стрес, автоімунні захворювання та дефіцит поживних речовин. Існують різні види алопеції, зокрема андрогенна алопеція, гніздова алопеція та телогенове випадіння волосся. Лікування залежить від причини та може включати медикаментозну терапію, гормональне лікування або хірургічні методи.

Луца – це стан шкіри голови, що характеризується появою білих лусочок на волосся та шкірі голови. Вона може бути викликана різними причинами, такими як надмірна сухість шкіри, себорейний дерматит, грибкові інфекції або чутливість до продуктів догляду за волоссям. Лікування включає використання спеціальних шампунів, що містять протигрибкові або відшелушувальні компоненти, та зміни в догляді за шкірою голови.

Себорея – це хронічне захворювання шкіри, що характеризується надмірним виділенням себума (шкірного сала) з сальних залоз. Вона може призводити до жирності волосся, лупи та подразнення шкіри голови. Лікування може включати використання шампунів, що містять кетоконазол, селеновий сульфід або цинк, а також медикаменти для регулювання вироблення себума.

Пошкодження волосся може бути спричинене фізичними, хімічними або термічними факторами, такими як часте фарбування, використання нагрівальних пристроїв для укладки волосся, агресивні хімічні процедури та неправильний догляд. Основні види пошкодження включають ламкість волосся та посічення кінчиків. Лікування та профілактика полягають у зменшенні впливу шкідливих факторів, використанні кондиціонерів, масок для волосся та спеціальних засобів для відновлення структури волосся.

До медичних критеріїв оцінки стану волосся можна віднести товщину волосини, щільність та зовнішній вигляд і структуру.

Товщина волосини є важливим параметром, що визначає її міцність та еластичність. Вимірювання товщини волосини проводиться за допомогою мікроскопічного аналізу або спеціальних приладів, таких як трихоскопи. Товщина волосся може варіюватися в залежності від генетики, віку, статі та загального стану здоров'я.

БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

Щільність волосся визначає кількість волосин на одиницю площі шкіри голови. Вона може бути знижена у випадку алопеції або інших захворювань волосся. Оцінка щільності волосся проводиться шляхом підрахунку кількості волосин у певній ділянці голови за допомогою спеціальних методик, таких як фототріхограма.

Зовнішній вигляд та структура волосся включають такі параметри, як блиск, гладкість, гнучкість та наявність пошкоджень. Оцінка цих параметрів проводиться візуально, а також за допомогою спеціальних пристроїв, таких як трихоскопи та мікроскопи, що дозволяють детально вивчити стан волосся та шкіри голови.

Дослідження волосся – це важлива частина діагностики та лікування захворювань шкіри голови та волосся. Для цього використовується широкий спектр пристроїв, кожен з яких має свої особливості та переваги.

Вибір пристрою для дослідження волосся залежить від цілей дослідження та бюджету. Для загального огляду шкіри голови та волосся підходять дерматоскопи, такі як HeineDelta 20 T або AramoSmartLite ASL-100. Для більш детального дослідження волосся, наприклад, коренів і стрижнів, можна використовувати мікроскоп Dino-Lite AM4113ZT. Капіляроскоп CapillaryScore використовується для оцінки стану кровообігу в шкірі голови. Трихоскоп Trichoscience – це програмне забезпечення, яке можна використовувати для аналізу зображень, отриманих за допомогою інших пристроїв.

Існує широкий спектр пристроїв для дослідження волосся, кожен з яких має свої особливості та переваги. Правильний вибір пристрою допоможе отримати точну інформацію про стан волосся та шкіри голови, що допоможе лікарю-трихологу у постановці діагнозу та призначенні лікування.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Було розроблено модуль обробки зображень для діагностики стану волосся. Реєстрація цифрової копії волосини людини відбувалася за допомогою капіляроскопу (рис. 3) BiobasegroupWXH-81004C, JOYMEDTECHCo., Ltd, також відомий як 1004C Nailfold Video Capillaroscope, є неінвазивною системою для аналізу капіляроскопії, яка використовується для обстеження мікроциркуляції в нігтьовому ложі



Рисунок 3 – Капіляроскоп

Пристрій використовує відеомікроскопію для забезпечення високоякісних зображень капілярів. Він обладнаний світлодіодним (LED) освітленням, що забезпечує чітке та рівномірне освітлення для точного захоплення зображень та їх аналізу.

Збільшення мікроскопа ≥ 420 разів, вбудована камера пікселів 480000 пікселів, джерело світла Multi-LED, яскравість джерела світла ≥ 620 кд/м². Ступінь X-Y з подвійним шаром складеної механічної поверхні. Вхід змінного струму 100~240 В 50/60 Гц. Вихід постійного струму 12 В постійного струму, 2А.

Волосину людини на білому аркуші паперу із використанням градуйованого скла реєстрували та зберігали зображення на комп'ютері (рис. 4).

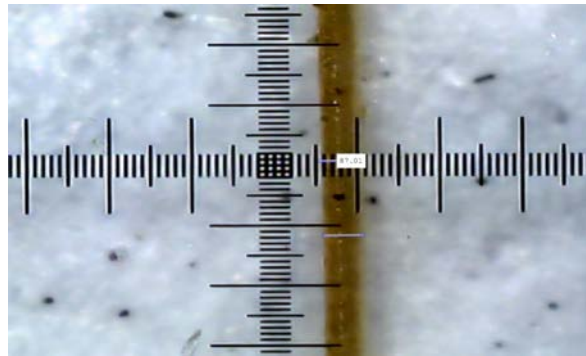


Рисунок 4 – Зображення волосини із градуйовочним склом

Для визначення товщини волосини в інтерактивному режимі встановлюємо дві мітки, які позначають початок та кінець відрізка, який потрібно виміряти. Наприклад, на рисунку 4 ширина волосини дорівнює 87 пікселів, що відповідає 5 поділкам, отже, фактична ширина волосини становить:

$$0,001 \cdot 87 \cdot 5 = 0,435 \text{ мм.}$$

В ході роботи була розроблена схема програми «Модуля обробки зображень для діагностики стану волосся» вона складається із наступних кроків.

Імпорт бібліотек. Імпортуємо необхідні бібліотеки: `cv2`, `numpy`, `matplotlib.pyplot`.

Завантаження кольорового зображення. Читаємо зображення з файлу 'Volos1.bmp'. Якщо зображення не знайдено або не може бути прочитано, виводимо повідомлення про помилку.

Перетворення зображення у відтінки сірого. Перетворюємо зображення на відтінки сірого і відображаємо його.

Гістограмна корекція з використанням CLAHE. Застосовуємо CLAHE (Контрастне обмеження адаптивної гістограми вирівнювання) для покращення контрасту зображення. Відображаємо результуюче зображення. Гістограмна корекція з використанням CLAHE: Застосовується метод CLAHE для покращення контрастності.

CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) — це метод покращення контрасту зображень. Він є вдосконаленою версією стандартної адаптивної гістограмної еквалізації (AHE) і призначений для зменшення шуму та покращення контрасту зображень, особливо в умовах поганого освітлення.

Основні характеристики CLAHE: адаптивність, обмеження контрасту (ClipLimit), інтерполяція.

CLAHE розділяє зображення на невеликі блоки або "тайли" і виконує гістограмну еквалізацію на кожному блоці окремо. Це дозволяє адаптувати контраст до локальних особливостей зображення, що забезпечує кращу деталізацію в різних областях зображення. CLAHE обмежує амплітуду гістограми кожного блоку, щоб уникнути надмірного підсилення шуму в однорідних областях. Це обмеження задається параметром `clipLimit`. Після корекції кожного блоку, CLAHE використовує двовимірну інтерполяцію для з'єднання блоків і створення кінцевого зображення без різких переходів між блоками.

Гістограма є функцією $h(x)$, яка повертає сумарну кількість пікселів, яскравість яких дорівнює x .

Гістограма h напівтонового зображення I задається виразом

$$h(m) = \left| \{(r, c) \mid I(r, c) = m\} \right|$$

де m відповідає інтервалам значень яскравості.

На рисунку 5 гістограма відображена помаранчевим кольором. Синя лінія – це функція розподілу $cdf(x)$.

Функція розподілу визначається як сума осередків гістограми від нуля до X .

$$cdf(x) = h(0) + h(1) + \dots + h(x).$$

Функція розподілу показує, скільки пікселів мають яскравості з відрізка від нуля до X .

На рисунку 5 видно, що функція розподілу не рівномірно розподілена. Приблизно перша чверть графіка вона близька до нуля (щодо вертикальної координати), потім йде невелике зростання і в останній чверті графіка знову різке зростання. Процедура вирівнювання гистограми полягає в тому, щоб зробити функцію розподілу рівномірнішою, щоб вона зростала приблизно однаково у всьому своєму діапазоні.

Приклад вирівняної гистограми можна побачити на рисунку 6.

Вирівнювання гистограми відбувається перетворенням точок зображення за допомогою наступної функції:

$$f(x) = \text{round} \left(\frac{\text{cdf}(x) - \text{cdf}_{\min}}{\text{pixels} - 1} \cdot 255 \right)$$

де $\text{cdf}(x)$ – значення функції розподілу точки з яскравістю X ;

cdf_{\min} – мінімальне значення функції розподілу, відмінне від нуля;

pixels – загальна кількість пікселів у зображенні;

255 – максимально можливе значення яскравості точки. Для напівтонових зображень це 255;

round - функція округлення отриманого числа до цілого значення.

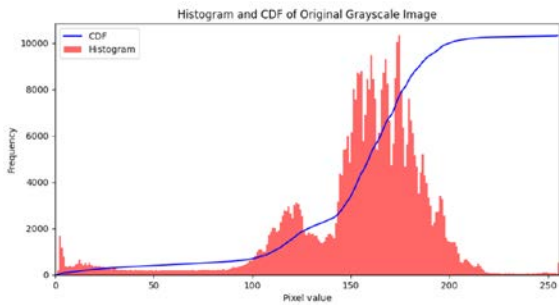


Рисунок 5 – Гістограма

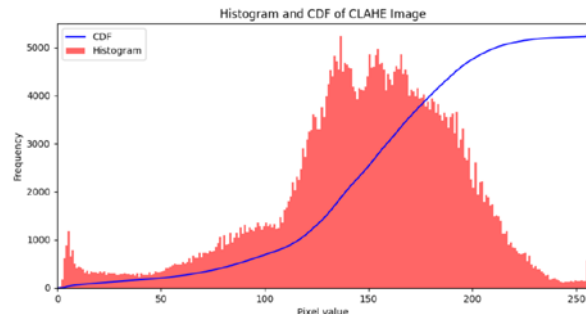


Рисунок 6 – Гістограма після корекції

Переваги використання CLAHE:

Поліпшення видимості: Зображення з низьким контрастом стають більш деталізованими.

Уникнення перенасичення: Обмеження контрасту запобігає надмірному підсиленню шуму.

Локальне покращення: Адаптивна обробка різних частин зображення дозволяє врахувати локальні особливості.

До недоліків можна віднести: час обробки (може бути більш ресурсомістким порівняно зі стандартною гистограмною еквалізацією).

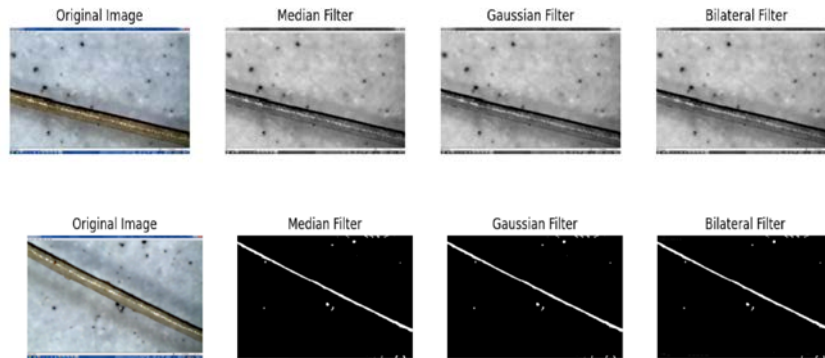
Артефакти: У деяких випадках можуть виникати артефакти на межах блоків, хоча інтерполяція зазвичай їх мінімізує. CLAHE часто використовується в медичних зображеннях, астрономії та інших галузях, де важлива деталізація зображень і низький рівень шуму.

Фільтрація для зменшення шуму. Застосовуємо Gaussian Blur для згладжування зображення і зменшення шуму. Відображаємо результуюче зображення.

При виборі фільтра заданого біомедичного зображення було обрано три методи фільтрації: за допомогою медіанного фільтра, гаусового фільтра, білатерального фільтра. На заданому трихологічному зображенні провели тести, результати фільтрації представлені на рисунку 7.

За результатами, можна побачити, що медіанний фільтр та Гаусів фільтр мають схожу площу під контуром, тоді як для білатерального фільтра площа найменша. Це може вказувати на те, що медіанний та Гаусів фільтри можуть бути кращими виборами для виділення контурів на зображенні, порівняно з білатеральним фільтром.

Таким чином, для зменшення шуму на зображенні волосини буде застосовуватись фільтр Гауса. Розмиття за Гаусом описує розмиття зображення за допомогою функції Гауса. Це широко використовуваний ефект у графічному програмному забезпеченні, як правило, для зменшення шуму зображення та зменшення деталей. Візуальний ефект цієї техніки розмиття — це плавне розмиття, що нагадує перегляд зображення через напівпрозорий екран, чітко відрізняється від ефекту боке, створеного розфокусованим об'єктивом або тінню об'єкта при звичайному освітленні. Гаусове згладжування також використовується як етап попередньої обробки в алгоритмах комп'ютерного зору, щоб покращити структуру зображення в різних масштабах.



Площа під контуром для медіанного фільтра: 44200.5
 Площа під контуром для Гаусового фільтра: 44002.0
 Площа під контуром для Білатерального фільтра: 43632.5

Рисунок 7 – Обґрунтування вибору фільтра

Математично застосування розмиття за Гаусом до зображення те саме, що згортання зображення за допомогою функції Гауса; це також відоме як двовимірне перетворення Вейерштрасса. Навпаки, згортання по колу (тобто кругове розмиття) точніше відтворить ефект боке. Оскільки перетворення Фур'є Гауса є іншим Гауссом, застосування розмиття за Гаусом має ефект зменшення високочастотних компонентів зображення; Таким чином, розмиття за Гаусом є фільтром низьких частот.

Розмиття за Гаусом – це тип фільтра розмиття зображення, який використовує функцію Гауса (яка також використовується для нормального розподілу в статистиці) для обчислення трансформації, що застосовується до кожного пікселя зображення. Рівняння функції Гауса в одному вимірі таке

$$G_{xy} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

У двох вимірах це добуток двох таких гаусів, по одному на напрямком:

$$G_{xy} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

де x – відстань від початку координат по горизонтальній осі,
 y – відстань від початку координат по вертикальній осі,
 σ – стандартне відхилення розподілу Гауса.

При застосуванні цієї формули у двох вимірах створюється поверхня, контури якої є концентричними колами з розподілом Гауса від центральної точки. Значення цього розподілу використовуються для побудови матриці згортки, яка застосовується до вихідного зображення. Нове значення кожного пікселя встановлюється як середнє зважене околиці цього пікселя. Значення вихідного пікселя отримує найбільшу вагу (має найвище значення Гауса), а сусідні пікселі отримують менші ваги, оскільки їх відстань до вихідного пікселя збільшується. Це призводить до розмиття, яке зберігає межі та краї краще, ніж інші, однорідні фільтри розмивання.

Бінаризація зображення. Застосовуємо метод Otsu для автоматичного визначення порогу і бінаризації зображення. Відображаємо бінарне зображення.

Морфологічні операції для виділення структури волосини. Використовуємо морфологічне закриття для заповнення дрібних прогалін. Відображаємо результуюче зображення.

Морфологічна операція для розширення об'єктів. Застосовуємо дилатацію для розширення об'єктів на зображенні. Відображаємо результуюче зображення.

Знаходження контурів. Використовуємо cv2.findContours для знаходження контурів на дилатованому зображенні. Відбираємо тільки зовнішні контури.

Фільтрація контурів за розміром. Встановлюємо мінімальну площу контуру для фільтрації. Відбираємо тільки ті контури, площа яких перевищує встановлений поріг.

БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

Обчислення периметра найбільшого контуру та відображення. Якщо знайдено контури, обчислюємо периметр найбільшого з них. Відображаємо контур на оригінальному зображенні. Якщо контури не знайдені, виводимо повідомлення про це.

Нами була розроблена програмна реалізація (за допомогою мови програмування Python) модулю обробки зображень для діагностики стану волосся.

На першому кроці програмної реалізації необхідно імпортувати бібліотеки

OpenCV (OpenSourceComputerVisionLibrary) – це потужна бібліотека для комп'ютерного зору та обробки зображень. Вона містить понад 2500 оптимізованих алгоритмів для різних задач, таких як розпізнавання облич, виявлення об'єктів, класифікація зображень та багато інших.

Основні функціїcv2: читання та запис зображень і відео, обробка зображень (фільтри, трансформації, зміна розміру), виявлення контурів і об'єктів, використання алгоритмів машинного навчання та глибокого навчання.

NumPy (Numerical Python) – це бібліотека для наукових обчислень на Python. Вона надає потужні засоби для роботи з багатовимірними масивами та матрицями, а також містить велику кількість математичних функцій для роботи з цими масивами. pr – це стандартний скорочений псевдонім для цієї бібліотеки.

Основні функції numpy: створення та маніпулювання багатовимірними масивами, виконання математичних та статистичних операцій, лінійна алгебра, випадкові числа, інтеграція з іншими мовами (наприклад, C, C++).

Matplotlib – це бібліотека для створення статичних, анімаційних та інтерактивних візуалізацій на Python. pyplot – це модуль в Matplotlib, який забезпечує зручний інтерфейс для створення графіків і візуалізацій, подібний до MATLAB.

Основні функції pyplot: створення графіків (лінійних, гістограм, розсіювання тощо), візуалізація зображень, налаштування та оформлення графіків (ось, підписи, легенди).

Наступний крок це завантаження кольорового зображення з файлу під назвою "Volos1.bmp" за допомогою функції OpenCV cv2.imread. Змінна image зберігатиме дані завантаженого зображення як масив NumPy, якщо завантаження буде успішним.

Якщо image – це None, це означає, що сталася помилка під час читання файлу. Якщо зображення не вдалося завантажити, цей рядок друкує повідомлення про помилку.

Отже, функція defshow_image визначає блок багаторазового використання коду для відображення зображення з заголовком (рис. 8).

Цей фрагмент коду є важливою частиною нашого коду для аналізу волосся, оскільки він дозволяє перетворити кольорове зображення волосся на зображення в градаціях сірого (рис .9). Зображення в градаціях сірого має лише один канал, який представляє яскравість кожного пікселя.

Завжди корисно візуалізувати результати обробки зображень, щоб оцінити їх якість та ефективність застосованих методів.

Для гістограмної корекції з використанням CLaNE створюємо об'єкт clahe класу CLaNE з бібліотеки OpenCV. Цей клас використовується для реалізації алгоритму CLaNE. Параметри clipLimit та tileGridSize регулюють роботу алгоритму:

clipLimit: Цей параметр визначає максимальне значення інтенсивності, яке може бути присвоєно будь-якому пікселю в результаті вирівнювання гістограми. Значення 2.0 є типовим, але його можна налаштувати для отримання бажаного контрасту.

tileGridSize: Цей параметр визначає розмір сітки плиток, на які розбивається зображення для локального вирівнювання гістограм.

Відображення отриманого зображення після вирівнювання гістограми (hist_eq_image) з заголовком "CLaNE Histogram Equalization" дозволяє візуально порівняти оригінальне зображення в градаціях сірого та зображення після застосування CLaNE (рис. 10).

Шум в зображеннях може бути викликаний різними факторами, такими як освітлення, датчик камери або стиснення. Зменшення шуму може покращити візуальну якість зображення та зробити його більш придатним для подальшої обробки. Існує багато різних методів зменшення шуму, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Фільтр Гаусса – це один з найпоширеніших та ефективних методів для загального зменшення шуму. Саме тому наступним кроком програмної реалізації є використання функціїcv2.GaussianBlur з бібліотеки OpenCV для застосування фільтра Гаусса до зображення hist_eq_image.



Рисунок 8 – Трихологічне зображення

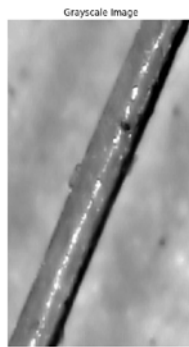


Рисунок 9 – Трихологічне зображення у відтінках сірого

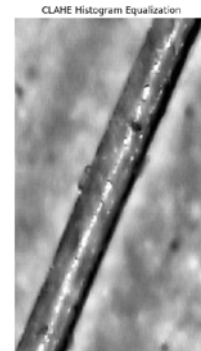


Рисунок 10 – Трихологічне зображення після вирівнювання гистограми

Розмір ядра фільтра дорівнює 5×5 та рекомендується для загального зменшення шуму (рис. 11).

Для бінаризації зображення використовуємо метод порогового значення для перетворення зображення в градаціях сірого (blurred_image) в бінарне зображення (binary_image) (рис. 12).

`cv2.THRESH_BINARY_INV`: Цей прапор використовується для інвертування результату порогового значення. Це означає, що пікселі з інтенсивністю меншою за порогове значення стануть білими, а пікселі з інтенсивністю більшою за порогове значення - чорними.

`cv2.THRESH_OTSU`: Цей прапор використовує метод Оцу для автоматичного визначення оптимального порогового значення.

Метод Оцу (Otsu's method) – це алгоритм автоматичного визначення порогового значення для бінаризації зображень. Він використовується для перетворення зображення в градаціях сірого в бінарне зображення, де кожен піксель може бути лише чорним або білим.

Алгоритм роботи метода Оцу:

Гістограма: Розраховується гістограма зображення, яка показує кількість пікселів з кожним значенням інтенсивності.

Міжкластерна дисперсія: Алгоритм обчислює міжкластерну дисперсію для різних можливих порогових значень. Міжкластерна дисперсія вимірює варіативність інтенсивності пікселів у двох класах (чорному та білому) після порогового значення.

Оптимальне порогове значення: Порогове значення, яке мінімізує міжкластерну дисперсію, обирається як оптимальне. Це значення розділяє зображення на два класи таким чином, щоб мінімізувати варіативність інтенсивності всередині кожного класу.

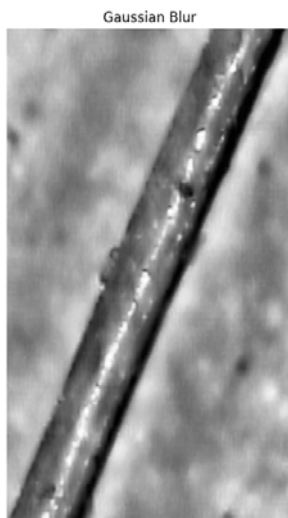


Рисунок 11 – зображення після фільтрації



Рисунок 12 – Зображення після бінаризації



Рисунок 13 – Результат морфологічних операцій

БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

Далі створюємо квадратне ядро розміром 5x5 заповнене одиницями. Це ядро буде використовуватися для морфологічних операцій.

cv2.MORPH_CLOSE вказує на тип операції "закриття", яка поєднує в собі ерозію та дилатацію. Кількість ітерацій операції дорівнює 3. Результат представлений на рисунку 13 Виконання морфологічного закриття на бінарному зображенні дозволяє закрити дрібні отвори всередині об'єктів і з'єднати розірвані частини об'єктів.

Дилатація (розширення) – це одна з основних операцій математичної морфології, яка використовується в обробці зображень для збільшення розміру об'єктів на зображенні. Вона полягає в тому, що структурний елемент (ядро) переміщується по всьому зображенню, і кожен піксель зображення замінюється максимальним значенням пікселів у сусідстві, визначеному цим елементом.

У бінарних зображеннях це означає, що будь-який білий піксель (піксель з значенням 1) у структурному елементі додає значення 1 (білий) до всіх пікселів під ним (рис. 14).

Далі відбувається знаходження контурів на зображенні після його попередньої обробки, фільтрацію контурів за розміром та обчислення периметра найбільшого контуру.

cv2.RETR_EXTERNAL – режим знаходження контурів, який означає, що будуть знайдені лише зовнішні контури.

cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE — метод апроксимації контурів, який зберігає тільки основні точки, необхідні для опису контурів, та видаляє зайві.

Отже, таким чином відбувається виявлення та аналіз контурів на зображенні. Він включає кроки з дилатації, знаходження та фільтрації контурів, обчислення периметра найбільшого контуру та відображення результатів.

Результуюче зображення із накладеними зеленими контурами об'єкту представлено на рисунку 15.



Рисунок 14 – Результат дилатації



Рисунок 15 – Результуюче зображення

ВИСНОВКИ

Після проведеного аналітичного огляду сучасних методів аналізу стану волосся, включаючи мікроскопію, спектроскопію та цифровий аналіз зображень, та розглянуто сучасні пристрої та інструменти, що використовуються для дослідження стану волосся. Описано принцип їх роботи, переваги та недоліки, а також можливості застосування в медичній практиці. Було прийнято рішення розробити схему структурну модуля обробки зображень для діагностики стану волосся.

В роботі також показана розроблена схема програми, яка виконує обробку зображення з використанням різних методів обробки зображень, включаючи гістограмну корекцію, фільтрацію, морфологічні операції та знаходження контурів. Модуль знаходить найбільший контур, який потенційно може бути волосиною, обчислює його периметр та відображає його на оригінальному зображенні.

Використання розробленого модуля обробки трихологічного зображення має наступні переваги:

- зменшення часу обстеження. Модуль може автоматично оцінювати стан волосся, що зменшує час, необхідний для обстеження пацієнта;
- збільшення точність постановки діагнозу. Модуль може більш точно оцінити стан волосся, ніж лікар при візуальному огляді;
- можливість відстеження динаміки. Модуль може використовуватися для відстеження динаміки стану волосся в процесі лікування.

БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

Таким чином, впровадження сучасних технологій обробки зображень у діагностику стану волосся є необхідним і перспективним напрямком, що вимагає подальших досліджень та розробок.

REFERENCES

1. Носова Я. В. Особливості обробки трихологічних зображень / Я. В. Носова, Т. В. Носова // XIX Міжнародна науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів»: матеріали конференції. – Кременчук: КрНУ, 2020. – С.13-15
2. Лебедев В. В. Автоматизована обробка трихологічних зображень // В. В. Лебедев, К. Г. Селиванова // Матеріали 23 Міжнародного молодіжного форуму. Т. 1. – Харків: ХНУРЕ. 2019. – С. 195 – 196
3. Носова Я. В. Розробка модулю обробки трихологічних зображень / Я. В. Носова, Т. В. Носова // 25-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 1. – Харків: ХНУРЕ. 2021. – С.159-160.
4. Ліщук Д. А. Цифровий аналіз стану волосся за трихологічним зображенням / Д. А. Ліщук, Т. В. Носова // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : тези доповідей ХХХІІ міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. – Харків : НТУ «ХПІ». – С. 1348.
5. Патент № 80874 Спосіб біоламінівання волосся за індіксоном-чакієм/ Лазорик М. І., Індіксон Є. В., Чакій К. А.// – 2014.Публікація відомостей про видачу патенту: 10.06.2013, Бюл.№ 11Власник(и): Індіксон Євгеній Валерійович
6. Патент №91323Лазорик М. І., Індіксон Є. В. Спосіб прискорення росту волосся за індіксоном. – 2014. Публікація відомостей про видачу патенту: 25.06.2014, Бюл.№ 12Власник(и): Індіксон Євгеній Валерійович
7. Місоченко С. Ю. Дослідження використання вірогіднісних методів у сфері обробки біомедичних зображень / С. Ю.Місоченко, К. Г. Селіванова, О. Г. Аврунін // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей ХХХ міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD2022, 19-21 жовтня 2022 р. – Харків : НТУ «ХПІ», 2022. – С. 902
8. Avrunin O.G. Visualization of the ventrolateral nucleus of the thalamus of the human brain / O.G. Avrunin, V.V. Semenets, S.Yu. Maslovsky // Radioelectronics and Informatics. – P. 132-134.
9. Avrunin O. Development of Automated System for Video Intermatoscopy / O.G. Avrunin, V. Klyxmenko, A. Trubitein, O. Isaeva // Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference International Trends in Science and Technology Vol.2, January 31, 2019, Warsaw, Poland. - P. 6-9.
10. Sokol, Y., Avrunin, O., Kolisnyk, K., & Zamiatin, P. (2020). Using medical imaging in disaster medicine. Paper presented at the 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems, IEPS 2020 - Proceedings, 287-290. doi:10.1109/IEPS51250.2020.9263175
11. Avrunin, O., Kolisnyk, K., Nosova, Y., Tomashevskiy, R., & Shushliapina, N. (2020). Improving the methods for visualization of middle ear pathologies based on telemedicine services in remote treatment. Paper presented at the 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2020 - Conference Proceedings, 347-350. doi:10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250090.
12. Kolisnyk, K., Deineko, D., Sokol, T., Kutsevlyak, S., & Avrunin, O. (2019). Application of modern internet technologies in telemedicine screening of patient conditions. IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T, 459-464. doi:10.1109/PICST47496.2019.9061252.
13. Online trichogram analysis report. HAIRLOSSCLINIC.CA | Scalp Micropigmentation & Trichology Centre.URL:<https://hairlossclinic.ca/online-trichogram-analysis-report/>(дата звернення : 20.10.2024)
14. Reygagne, P. (2017). Phototrichogram. In: Humbert, P., Fanian, F., Maibach, H., Agache, P. (eds) Agache's Measuring the Skin. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32383-1_114
15. Wójcik Waldemar, Smolarz Andrzej (2017). Information Technology in Medical Diagnostics, July 11, 2017 by CRC Press, 210 Pages.
16. Highly linear Microelectronic Sensors Signal Converters Based on Push-Pull Amplifier Circuits / edited by Waldemar Wojcik and Sergii Pavlov, Monograph, (2022) NR 181, Lublin, Comitet Inzynierii Srodowiska PAN, 283 Pages. ISBN 978-83-63714-80-2
17. Pavlov S.V., Avrunin O.G., etc. (2019). Intellectual technologies in medical diagnosis, treatment and rehabilitation: monograph / [S. In edited by S. Pavlov, O. Avrunin. - Vinnytsia: PP "TD "Edelweiss and K", 260 p. ISBN 978-617-7237-59-3.

18. Romanyuk, O., Zavalniuk, Y., Pavlov, S., etc. (2023). New surface reflectance model with the combination of two cubic functions usage, *Informatyka, Automatyka, Pomiarы w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*, 13(3), pp. 101–10
19. Kukharchuk, Vasyl V., Sergii V. Pavlov, Volodymyr S. Holodiuk, Valery E. Kryvonosov, Krzysztof Skorupski, Assel Mussabekova, and Gaini Karnakova. (2022). "Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors" *Sensors* 22, no. 1: 271. <https://doi.org/10.3390/s22010271>.
20. Wójcik W, Mezhiievska I, Pavlov SV, Lewandowski T, Vlasenko OV, Maslovskiy V, Volosovych O, Kobylanska I, Moskovchuk O, Ovcharuk V, et al. (2023). Medical Fuzzy-Expert System for Assessment of the Degree of Anatomical Lesion of Coronary Arteries. *International Journal*.

REFERENCES

1. Nosova Ya. V.. Peculiarities of processing trichological images / Ya. V. Nosova, T. V. Nosova // XIX International scientific and technical conference "Physical processes and fields of technical and biological objects": conference materials. – Kremenchuk: KrNU, 2020. – P.13-15
2. Lebedev V.V. Automated processing of trichological images // V.V. Lebedev, K. G. Selivanova // Materials of the 23rd International Youth Forum. T. 1. - Kharkiv: Khnure. 2019. – P. 195 – 196
3. Nosova Ya. V.. Development of a trichological image processing module / Ya. V. Nosova, T. V. Nosova // 25th International Youth Forum "Radio Electronics and Youth in the 21st Century". Coll. forum materials. T. 1. - Kharkiv: Khnure. 2021. – P.159-160.
4. Lischuk D. A. Digital analysis of hair condition by trichological image / D. A. Lischuk, T. V. Nosova // Information technologies: science, technology, technology, education, health: abstracts of reports of XXII international scientific and practical of the MicroCAD-2024 conference, May 22-25, 2024 - Kharkiv: NTU "KhPI". - C. 1348.
5. Patent No. 80874 Method of biolamination of hair according to Indrikson-Chakiy/ Lazorik M. I., Indrikson E. V., Chakiy K. A.// – 2014. Publication of information on the issuance of the patent: 10.06.2013, Bulletin No. 11 Owner(s)): Indrikson Yevheniy Valeriyovych
6. Patent No. 91323 Lazorik M. I., Indrikson E. V. The method of accelerating hair growth using Indrikson. – 2014. Publication of information on the issuance of a patent: 25.06.2014, Bull. No. 12, Owner(s): Indrikson Yevhenii Valeriyovych
7. Misochenko S. Yu. Research on the use of probabilistic methods in the field of biomedical image processing / S. Yu. Misochenko, K. G. Selivanova, O. G. Avrunin // Information technologies: science, technology, technology, education, health : abstracts of reports of XX international scientific and practical conference MicroCAD2022, October 19-21, 2022 - Kharkiv: NTU "KhPI", 2022. - C. 902
8. Avrunin OG Visualization of the ventrolateral nucleus of the thalamus of the human brain / O.G. Avrunin, V.V. Semenets, S.Yu. Maslovsky // Radioelectronics and Informatics. – P. 132-134.
9. Avrunin O. Development of Automated System for Video Interferometry / O.G. Avrunin, V. Klyxmenko, A. Trubitsin, O. Isaeva // Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference International Trends in Science and Technology Vol.2, January 31, 2019, Warsaw, Poland. - P. 6-9.
10. Sokol, Y., Avrunin, O., Kolisnyk, K., & Zamiatin, P. (2020). Using medical imaging in disaster medicine. Paper presented at the 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems, IEPS 2020 - Proceedings, 287-290. doi:10.1109/IEPS51250.2020.9263175
11. Avrunin, O., Kolisnyk, K., Nosova, Y., Tomashevskiy, R., & Shushliapina, N. (2020). Improving the methods for visualization of middle ear pathologies based on telemedicine services in remote treatment. Paper presented at the 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2020 - Conference Proceedings, 347-350. doi:10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250090.
12. Kolisnyk, K., Deineko, D., Sokol, T., Kutsevlyak, S., & Avrunin, O. (2019). Application of modern internet technologies in telemedicine screening of patient conditions. IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T, 459-464. doi:10.1109/PICST47496.2019.9061252.
13. Online trichogram analysis report. HAIRLOSSCLINIC.CA | Scalp Micropigmentation & Trichology Centre.URL:<https://hairlossclinic.ca/online-trichogram-analysis-report/>(дата звернення : 20.10.2024)
14. Reygagne, P. (2017). Phototrichogram. In: Humbert, P., Fanian, F., Maibach, H., Agache, P. (eds) Agache's Measuring the Skin. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32383-1_114

БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

15. Wójcik Waldemar, Smolarz Andrzej (2017). Information Technology in Medical Diagnostics, July 11, 2017 by CRC Press, 210 Pages.
16. Highly linear Microelectronic Sensors Signal Converters Based on Push-Pull Amplifier Circuits / edited by Waldemar Wojcik and Sergii Pavlov, Monograph, (2022) NR 181, Lublin, Comitet Inzynierii Srodowiska PAN, 283 Pages. ISBN 978-83-63714-80-2
17. Pavlov S.V., Avrunin O.G., etc. (2019). Intellectual technologies in medical diagnosis, treatment and rehabilitation: monograph / [S. In edited by S. Pavlov, O. Avrunin. - Vinnytsia: PP "TD "Edelweiss and K", 260 p. ISBN 978-617-7237-59-3.
18. Romanyuk, O., Zavalniuk, Y., Pavlov, S., etc. (2023). New surface reflectance model with the combination of two cubic functions usage, Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Srodowiska, , 13(3), pp. 101–10
19. Kukharchuk, Vasyl V., Sergii V. Pavlov, Volodymyr S. Holodiuk, Valery E. Kryvonosov, Krzysztof Skorupski, Assel Mussabekova, and Gaini Karnakova. (2022). "Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors" *Sensors* 22, no. 1: 271. <https://doi.org/10.3390/s22010271>.
20. Wójcik W, Mezhiievska I, Pavlov SV, Lewandowski T, Vlasenko OV, Maslovskiy V, Volosovych O, Kobylianska I, Moskovchuk O, Ovcharuk V, et al. (2023). Medical Fuzzy-Expert System for Assessment of the Degree of Anatomical Lesion of Coronary Arteries. *International Journal*.
21. Kozlovska Tatiana, Kolesnic Petro, Pavlov Volodymyr, etc. (2020) Optoelectronic multispectral device for determining the state of peripheral blood circulation, *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments*, 2020/10/14, 1581, p. 164-169.

Надійшла до редакції: 9.07.2024 р.

NOSOVA YANA - PhD, associate professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 61166, Ukraine, [e-mail: yana.nosova@nure.ua](mailto:yana.nosova@nure.ua),

NOSOVA TATYANA - PhD, associate professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 61166, Ukraine, [e-mail: tatyana.nosova@nure.ua](mailto:tatyana.nosova@nure.ua),

HALUSHKO DMYTRO - PhD student, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 61166, Ukraine, [e-mail: dmytro.halushko@nure.ua](mailto:dmytro.halushko@nure.ua),

AVRUNIN OLEG - D. Techn. Sc., prof., Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 61166, Ukraine, [e-mail: oleh.avrunin@nure.ua](mailto:oleh.avrunin@nure.ua)

YANA NOSOVA TATYANA NOSOVA DMYTRO HALUSHKO OLEG AVRUNIN
CURRENT PROBLEMS OF DIGITAL PROCESSING OF TRICHOLOGICAL IMAGES
Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine