

УДК 004.932.2:519.652

Савков С. О.<sup>1</sup>, Мороз В. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Аспірант кафедри обчислювальної математики Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова, Одеса, Україна

<sup>2</sup>Канд. техн наук, професор кафедри обчислювальної математики Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова, Одеса, Україна

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ СКЕЛЕТИЗАЦІЇ НЕРЕГУЛЯРНИХ ТЕКСТУР В ЗАДАЧІ ПОШУКУ УНІКАЛЬНИХ ДЕСКРИПТОРІВ ЗОБРАЖЕННЯ

Розглянута задача аналізу, ідентифікації та розпізнавання текстур зображень. Об'єктом дослідження є процес скелетизації напівтонних зображень. Предмет дослідження становлять ітераційні та неітераційні методи скелетизації текстур. Мета роботи полягає у виборі придатного методу скелетизації неоднорідних нерегулярних текстур для пошуку унікальних дескрипторів зображень у задачі перевірки автентичності об'єкта.

Розглянуто типи текстур та класифікацію алгоритмів скелетизації, переваги та недоліки алгоритмів різних типів. Проведено обчислювальний експеримент та зроблено порівняльний аналіз ітераційних алгоритмів Жанг-Сюенга, Го-Хола та неітераційного методу серединного осьового перетворення Блюма, які застосовувались до зразків зображень неоднорідних нерегулярних текстур паперу з мікроволоконками. Вирішено задачу порівняльного аналізу алгоритмів скелетизації для зображень неоднорідних нерегулярних текстур. Розроблено критерій якості, який використовує інформацію про кількість відгалужень скелету текстури, що, у свою чергу, залежить від кількості граничних точок скелету. Розроблено програмне забезпечення, що реалізує розглянуті методи скелетизації та дозволяє ранжувати їх згідно з обраним критерієм.

Результати експерименту дозволяють рекомендувати алгоритм Жанг-Сюенга до практичного застосування для вирішення задачі скелетизації зображень неоднорідних нерегулярних текстур.

**Ключові слова:** розпізнавання текстур, ідентифікація, скелетизація, витончення, серединне осьове перетворення, алгоритм Жанг-Сюенга, алгоритм Го-Хола.

### НОМЕНКЛАТУРА

$A(P_1)$  – кількість патернів-переходів 01 у впорядкованій множині  $P_2, P_3, P_4, \dots, P_8, P_9$  восьми сусідів пікселя  $P_1$ ;

$B$  – бінарне зображення текстури;

$B(P_1)$  – кількість ненульових сусідів  $P_1$ ;

$C(P)$  – кількість різних 8-зв'язних компонент які мають значення 1 в околі пікселя;

$G$  – багатокутник;

$G_S$  – напівтонове зображення текстури;

$i$  – координати пікселя по вісі абсцис;

$I(i, j)$  – повнокольорове зображення текстури;

$j$  – координати пікселя по вісі ординат;

$M(G)$  – середина вісь;

$N$  – кількість граничних точок скелету;

$P$  – піксель бінарного зображення;

$R$  – радіус-функція;

$S$  – скелет зображення текстури;

$T$  – матриця пікселів;

$\{q\}$  – множина точок внутрішніх для  $G$ ;

$\beta$  – бінарне перетворення зображення;

$\gamma$  – напівтонове перетворення зображення;

$\sigma$  – перетворення скелетизації бінарного зображення;

$\vee$  – логічне АБО.

### ВСТУП

Ідентифікація текстур відноситься до важливих напрямків розвитку обробки зображень. Вона дозволяє вирішувати задачі у багатьох сферах життєдіяльності людини: сільському господарстві, картографії, безпеці, машинобудуванні.

Однією з ключових задач є перевірка автентичності об'єкта, у якій зацікавлені як виробники, що намагаються гарантувати якість, так і споживачі, які відстоюють своє право на якісне обслуговування.

Ця задача може бути розв'язана за допомогою використання додаткового маркування: водяних знаків, голограм, RFID-міток, паперу зі спеціальними волокнами. Ці методи мають різноманітні недоліки, такі як висока ціна, вразливість до пошкоджень, необхідність використання спеціальних приладів перевірки достовірності. Альтернативою може бути використання текстур матеріалів у якості унікального дескриптора об'єкта.

Метою роботи є огляд, порівняльний аналіз та пошук придатних методів скелетизації бінарних зображень неоднорідних нерегулярних текстур.

### 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Нехай ми маємо  $I(i, j)$ . Отримаємо з нього  $G_S(i, j)$ , використовуючи перетворення  $G_S(i, j) = \gamma(I(i, j))$ . До  $G_S(i, j)$  застосуємо перетворення  $\beta$  та отримаємо  $B(i, j) = \beta(G_S(i, j))$ .

Передній план бінарного зображення може бути поданий у вигляді тонких ліній  $S(i, j)$  за допомогою перетворення  $\sigma(B(i, j))$ . Необхідно зробити порівняльний аналіз методів скелетизації, провести експеримент для зразків нерегулярних текстур та пошук придатних методів обробки текстур заданого класу. Як критерій якості буде використовувати кількість  $N$  отриманого  $S(i, j)$ .

### 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Історія алгоритмів скелетизації починається з робіт Рутовіца [1], який у 1966 році представив паралельний алгоритм видалення пікселів. Цей алгоритм послужив основою для багатьох алгоритмів скелетизації. Блюм розглядав інший підхід до вирішення задачі скелетизації та у 1967 році запропонував неітераційний метод – серединне осьове перетворення [2], якому, на відміну від ітераційного методу Рутовіца, не потрібно було вивчати усі пікселі зображення. Неітераційні методи отримали розвиток у роботі Баруха, який запропонував використання віконного перетворення та ліній слідування.

Розенфельд (1975) повернувся до паралельних алгоритмів та вперше оцінив необхідні та достатні умови для збереження топології при видаленні граничних пікселів. Таким чином він вирішив проблему ерозії при витонченні діагональних ліній [3]. У подальшому у співавторстві з Даєром він представив алгоритм скелетизації напівтонових зображень, заснований на ідеї зв'язності пікселів [4]. Павлідіс у 1982 році запропонував комбінацію паралельного та послідовного алгоритмів, яка зменшувала обчислювальний час, необхідний для отримання скелету [5–6].

Різноманітні методи скелетизації отримали широке застосування у системах оптичного розпізнавання символів [7–8], анімації [9], задачах комп'ютерного зору [10], картографії [11]. Огляд та порівняння методів скелетизації у задачі розпізнавання символів представлені у роботах [12] та [13]. Методи скелетизації також широко використовуються для класифікації текстур [14].

### 3 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

У різних наукових напрямках термін «текстура» має свої специфічні означення. Історично він відноситься до ткацького мистецтва (лат. *textura* – тканина). У сучасних словниках текстура визначається як будова твердої речовини, гірської породи, природний малюнок деревини в розрізі. У якості означення приймемо «особливості будови речовини, зумовлені характером та розташуванням її складових частин».

Текстури можна класифікувати за наявністю відносно порядку між елементами. Якщо текстурні елементи розміщені у якомусь порядку, текстура буде називатися регулярною, в іншому випадку – нерегулярною. Також текстури можна розділити на однорідні, якщо вони містять текстурні елементи тільки одного типу, та неоднорідні, якщо вони складаються з елементів багатьох типів.

Термін «скелет» у загальному розумінні обробки зображень означає подання об'єкту множиною тонких ліній, яка описує його форму. Одним з найпростіших пояснень терміну скелет є наочний приклад «пожежа у степу». Зображення розглядається як степ, рівномірно вкритий сухою травою. Передбачається, що по межі області одночасно спалахує вогонь, який поширюється усередині неї з усіх напрямків та з постійною швидкістю. Точками скелета будуть ті очки області, в яких сходяться два (або більше) вогняні фронти. Вони будуть рівновіддаленими від найближчих точок загоряння на кордоні.

Якщо цей підхід поширити на растрові бінарні зображення, то підмножина чорних пікселів растру буде розглядатися як дискретний образ певної замкнутої області, граничні точки растрової множини – як образ кордону області, а безперервне поширення вогню буде моделюватися дискретним процесом послідовного «спалення» чорних пікселів растру. Також можуть використовуватися терміни «серединна вісь» для позначення геометричного місця точок фігури, рівновіддалених від її границь.

У деяких наукових працях «витончення» та «скелетизація» використовуються як синоніми, а термін «скелет» – для позначення результату, незалежно від форми вихідного малюнка або методу, що використовується [12].

Алгоритми скелетизації можна класифікувати як ітераційні та неітераційні. Неітераційні методи будують скелет зображення за один прохід, без вивчення всіх окре-

мих пікселів. Одним з найперших неітераційних методів є метод серединного осьового перетворення Блюма, який розглядає скелетизацію як перетворення для опису форми. Результатом перетворення є множина точок, рівновіддалених від границь фігури [12].

Барух запропонував неітераційний непіксельний однопровідний алгоритм, який будує скелет по лінії слідування. Лінія проходиться вікнами різного розміру, скелет будується як зв'язані центри послідовних вікон. Цей метод менш чутливий до шуму, ніж звичайні алгоритми проріджування [15].

Ітераційні методи витончення будують скелет, досліджуючи та видаляючи контурні пікселі за допомогою неітераційного процесу, послідовного або паралельного (табл. 1).

Паралельний алгоритм скелетизації Рутовіца розглядає пікселі контуру. Ті з них, які мають не менш двох сусідів кольору об'єкту та мають зв'язність чотири, позначаються для видалення. Недоліками запропонованого методу були надмірна ерозія та розташування скелету не по центру, в зв'язку з асиметричною природою його умов.

Паралельні алгоритми також можуть бути додатково класифіковані відповідно до їх продуктивності на алгоритми з чотирма, двома або одним підциклом [16]. Паралельні алгоритми з одним підциклом отримали більш значну увагу, оскільки вони скорочують час обчислення на кількість ітерацій, тому їх іноді називають однопровідні або повністю паралельні алгоритми [17].

У послідовних алгоритмах точки контуру для видалення розглядаються у заздалегідь визначеному порядку. Це може бути досягнуто за допомогою растрового сканування або обходу зображення по контурних пікселях. Наприклад, послідовний алгоритм Хілдча (1968) сканує зображення зліва направо та зверху вниз, позначаючи пікселі для видалення [18].

У паралельних алгоритмах пікселі для видалення розглядаються на підставі результатів, отриманих тільки з попередньої ітерації. Тому паралельні алгоритми проріджування підходять для реалізації на обладнанні, що використовує паралельні процесори.

Серединне осьове перетворення, запропоноване Блюмом, для багатокутника  $G$  визначається наступним чином:  $M(G)$  будується з множини точок  $\{q\}$  внутрішніх для  $G$ . При цьому є принаймні дві точки на кордоні об'єкта, що рівновіддалені від  $\{q\}$  і є найближчими до  $\{q\}$  (рис. 1). З серединною віссю пов'язана радіус-функція  $R$ , яка визначає відстань до кордону багатокутника для кожної точки осі.

Одним з недоліків серединного осьового перетворення є висока чутливість до шуму.

Метод скелетизації Жанг-Сюенга [19] розглядає зображення як матрицю  $T$ , де усі пікселі  $T(i, j)$  мають значення 1 або 0. Патерн текстури складається з тих точок, які мають значення 1.

Таблиця 1 – Класифікація алгоритмів скелетизації

Методи скелетизації				
Ітераційні		Неітераційні		
Послідовні	Паралельні	Серединне осьове перетворення	Метод ліній слідування	Інші

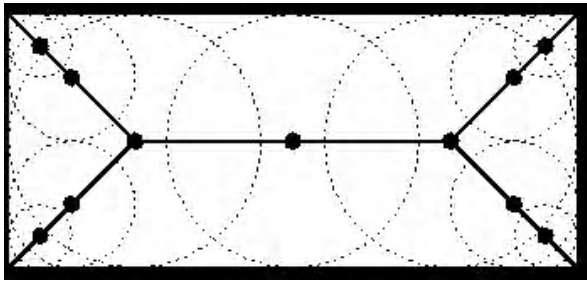


Рисунок 1 – Скелетизація методом серединного осьового перетворення  
 (<http://www.cs.ru.nl/~ths/rt2/col/h9/medialaxisprin.gif>)

Ітераційні перетворення застосовуються до  $T$ , точка за точкою, відповідно до значень невеликого набору сусідніх пікселів:

$$\begin{matrix} p_9(i-1, j-1), & p_2(i-1, j), & p_3(i-1, j+1); \\ p_8(i, j-1), & p_1(i, j), & p_4(i, j+1); \\ p_7(i+1, j-1), & p_6(i+1, j), & p_5(i+1, j+1). \end{matrix}$$

Метод реалізує видалення всіх контурних точок зображення, крім тих точок, що належать до скелету. Для того, щоб зберегти зв'язність скелета, кожна ітерація ділиться на дві під-ітерації.

У першій під-ітерації точка  $p_1$  видалається, якщо вона задовольняє таким умовам:

$$2 \leq B(P_1) \leq 6, \quad 2 \leq B(P_1) \leq 6, \quad (1)$$

$$A(P_1) = 1, \quad (2)$$

$$P_2 * P_4 * P_6 = 0, \quad (3)$$

$$P_4 * P_6 * P_8 = 0, \quad (4)$$

$$I = (x, y),$$

де  $B(P_1) = P_2 + P_3 + P_4 + \dots + P_8 + P_9$ .

Якщо будь-яка умова не виконується, тоді піксель  $P_1$  не видалається.

На другій під-ітерації умови (3) та (4) змінюються на наступні умови:

$$P_2 * P_4 * P_8 = 0, \quad (3')$$

$$P_2 * P_6 * P_8 = 0. \quad (4')$$

Алгоритм Го та Хола (1989) відноситься до методів паралельного витончення [20]. Він використовує окіл  $3 \times 3$  для визначення сусідів оброблюваного пікселя  $P$ . Вертикальні та горизонтальні сусіди позначаються парними індексами, діагональні – непарними:

$$\begin{matrix} p_1(i-1, j-1), & p_2(i-1, j+1), & p_3(i-1, j+1); \\ p_8(i, j-1), & P, & p_4(i, j+1); \\ p_7(i+1, j-1), & p_6(i+1, j), & p_5(i+1, j+1). \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} \text{Тоді } N(p) &= \text{MIN} [N_1(p), N_2(p)], \\ \text{де } N_1(p) &= (p_1 \vee p_2) + (p_3 \vee p_4) + (p_5 \vee p_6) + (p_7 \vee p_8), \\ N_2(p) &= (p_2 \vee p_3) + (p_4 \vee p_5) + (p_6 \vee p_7) + (p_8 \vee p_1). \end{aligned}$$

$$C(p) = 1;$$

$$2 \leq N(p) \leq 3,$$

$$\begin{cases} (p_2 \vee p_3 \vee p_5) \vee p_4 = 0, & \text{для непарних ітерацій,} \\ (p_6 \vee p_7 \vee p_1) \vee p_8 = 0, & \text{для парних ітерацій.} \end{cases}$$

Процес витончення зупиняється, якщо більше неможливо видалити жодного пікселя.

#### 4 ЕКСПЕРИМЕНТИ

У даній роботі методи скелетизації серединне осьове перетворення, Жанг-Сюенга та Го-Хола були протестовані на двох зразках зображень текстури паперу з волокнами, розміром  $255 \times 255$  пікселів (рис. 2). Текстура зразків має нерівномірний фон та мікрволокна розміщені у випадковому порядку. Таким чином, зразки можуть бути класифіковані як нерегулярні неоднорідні текстури. Обробка текстур ускладнюється присутнім на зображеннях цифровим шумом. У якості методу бінарізації використовується метод Саувола з наступними параметрами: розмір вікна  $25 \times 25$  пікселів, доповнення – симетричне, порогове значення –  $0,15$ . Експеримент проводився у програмному середовищі Matlab 7.12.0 та OpenCV 2.4.9.

#### 5 РЕЗУЛЬТАТИ

Результати застосування перетворення скелетизації до тестових зразків текстур приведені на рис. 3 та рис. 4.



Рисунок 2 – Фрагменти текстур паперу з мікрволокнами:  
 а – зразок 1; б – зразок 2

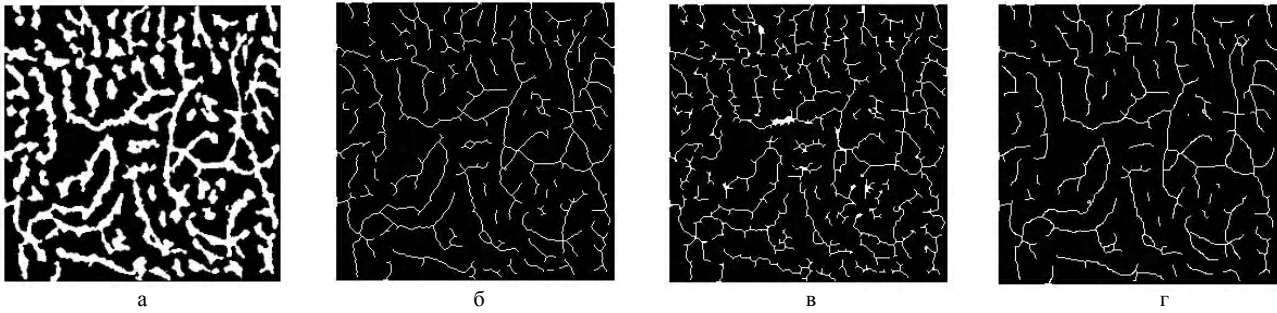


Рисунок 3 – Результати експерименту для зразку 1:  
а – бінарзоване зображення; б – метод Го-Хола; в – метод середньої вісі; г – метод Жанг-Сюенга

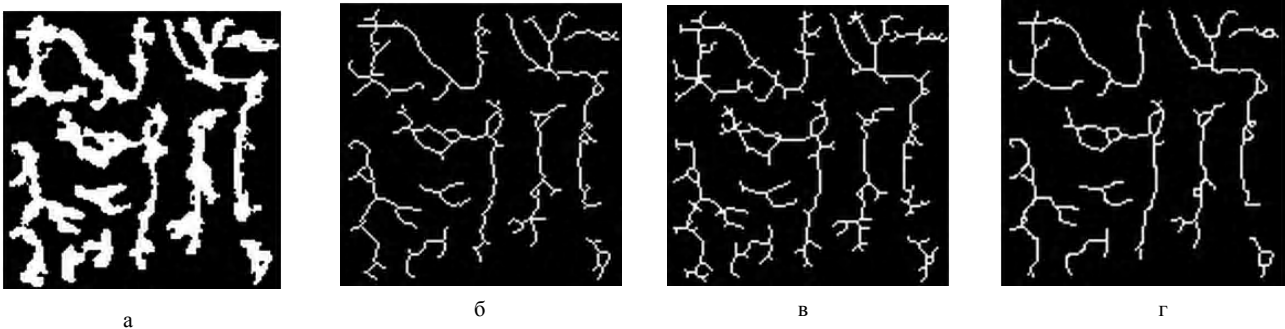


Рисунок 4 – Результати експерименту для зразку 2:  
а – бінарзоване зображення; б – метод Го-Хола; в – метод середньої вісі; г – метод Жанг-Сюенга

**6 ОБГОВОРЕННЯ**

З отриманих результатів видно, що скелет, отриманий за допомогою методу середньої вісі, має розриви та багато відгалужень; алгоритм Го-Хола більш чутливий до форми патерну текстури та дає більш гіллястий скелет; метод Жанг-Сюенга дає найменшу кількість відгалужень та дає більш гладкий скелет.

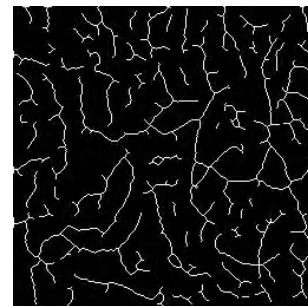
Через те, що надлишкова кількість відгалужень може заважати розпізнаванню текстури, як критерій якості будемо використовувати число  $N$ , які містяться у  $S(i, j)$  (рис. 5а,б). Точка  $p$  буде граничною, якщо число  $B(p)$  ненульових сусідніх пікселів дорівнює 1. Алгоритм з мінімальним  $N$  буде вважатися найкращим. Кількість граничних точок скелетів тестових зображень наведена у таблиці 2.

Найменшу кількість граничних точок дає алгоритм Жанг-Сюенга, що співпадає з візуальною оцінкою результатів скелетизації.

Результати порівняльного аналізу показали, що менша кількість граничних точок (більш гладкий скелет та відсутність шумових відгалужень) дають можливість зробити висновок про більшу придатність алгоритму Жанг-Сюенга для обробки нерегулярних неоднорідних текстур.

Таблиця 2 – Кількість граничних точок тестових зразків

Алгоритм скелетизації	Кількість граничних точок	
	Зразок 1	Зразок 2
Метод Го-Хола	244	65
Метод середньої вісі	690	113
Метод Жанг-Сюенга	183	44



а



б

Рисунок 5 – Обчислення граничних точок скелету:  
а – скелетизація зображення за методом Го-Хола; б – граничні точки скелету

**ВИСНОВКИ**

У роботі вирішено актуальну задачу скелетизації бінарзованих зображень нерегулярних неоднорідних текстур, яка є одним з етапів задачі пошуку унікальних дескрипторів зображення.

Наукова новизна роботи полягає у тому, що вперше було зроблено порівняльний аналіз ітераційних та неітераційних алгоритмів скелетизації зображень нерегулярних неоднорідних текстур.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що обраний метод скелетизації використовується у якості одного з етапів пошуку унікальних дескрипторів зображення текстури у задачі ідентифікації об'єктів.

Перспективи подальших досліджень полягають оптимізації методу скелетизації для багатопроцесорних та мобільних систем та у використанні алгоритму скелетизації Жанг Сюенга для пошуку унікальних дескрипторів зображення текстури.

### ПОДЯКИ

Роботу виконано в рамках науково-дослідної роботи №229 «Дослідження деяких класів крайових задач диференційних рівнянь, їх апроксимації та методів обробки зображень» кафедри обчислювальної математики Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Rutovitz D. Pattern recognition / D. Rutovitz // Journal of Royal Statistical Society. – 1966. – Vol. 129, no. 4. – P. 504–530.
2. Blum H. A transformation for extracting new descriptors of shape / H. Blum // Models for the Perception of Speech and Visual Form. – Cambridge : MIT Press, 1967. – P. 362–380.
3. Rosenfeld A. A characterization of parallel thinning algorithms / A. Rosenfeld // Information and Control. – 1975. – Volume 29. – Issue 3. – P. 286–291.
4. Dyer C. A. Thinning algorithms for gray-scale pictures / C. Dyer, A. Rosenfeld // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1979. – № 1. – P. 88–89.
5. Pavlidis T. Algorithms for Graphics and Image Processing / T. Pavlidis. – Berlin-NY. : Computer Science Press, Springer-Verlag, 1982. – 447 p.
6. Pavlidis T. An asynchronous thinning algorithm / T. Pavlidis // Computer Graphics Image Processing. – 1982. – № 20. – P. 133–157.
7. Ning L. An Implementation of OCR System Based on Skeleton Matching / L. Ning. – Canterbury : University of Kent, 1993. – 66 p.
8. Mohamed A. An efficient thinning algorithm for arabic OCR systems / A. Mohamed // Signal & Image Processing : An International Journal. – June 2012. – Vol. 3, Issue 3. – P. 31.

Савков С. А.<sup>1</sup>, Мороз В. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Аспирант кафедри вычислительной математики Одесского национального университета им. И. И. Мечникова

<sup>2</sup>Канд. техн наук, профессор кафедры вычислительной математики Одесского национального университета им. И. И. Мечникова, Одесса, Украина

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ СКЕЛЕТИЗАЦИИ НЕРЕГУЛЯРНЫХ ТЕКСТУР В ЗАДАЧЕ ПОИСКА УНИКАЛЬНЫХ ДЕСКРИПТОРОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Рассмотрена задача анализа, идентификации и распознавания текстур изображений. Объектом исследования является процесс скелетизации полутоновых изображений. Предмет исследования составляют итерационные и неитерационные методы скелетизации текстур.

Цель работы заключается в выборе подходящего метода скелетизации неоднородных нерегулярных текстур для поиска уникальных дескрипторов изображений в задаче проверки подлинности объекта. Рассмотрены типы текстур и классификация алгоритмов скелетизации, преимущества и недостатки алгоритмов различных типов. Проведен вычислительный эксперимент и сделан сравнительный анализ итерационных алгоритмов Жанг-Сюенга, Го-Холла и неитерационного метода срединного осевого преобразования Блюма, применявшихся к образцам изображений неоднородных нерегулярных текстур бумаги с микроволокнами. Решена задача сравнительного анализа алгоритмов скелетизации для изображений неоднородных нерегулярных текстур. Разработан критерий качества, который использует информацию о количестве ответвлений скелета текстуры, что, в свою очередь, зависит от количества граничных точек скелета. Разработано программное обеспечение, которое реализует рассмотренные методы скелетизации и позволяет ранжировать их согласно выбранному критерию.

Результаты эксперимента позволяют рекомендовать алгоритм Жанг-Сюенга к практическому применению для решения задачи скелетизации изображений неоднородных нерегулярных текстур.

**Ключевые слова:** распознавание текстур, идентификация, скелетизация, уточнение, срединное осевое преобразование, алгоритм Жанг-Сюенга, алгоритм Го-Холла.

9. Porawat V. The Skeleton Pruning-Smoothing Algorithm for Realistic Character Animation / V. Porawat, K. Prachumrak // JMIMT : Journal of Man, Machine and Technology. – 2013. – Vol. 2, no. 1. – P. 21–34.
10. Nicu D. Curve-Skeleton Properties, Applications and Algorithms / D. Nicu, C. Silver, D. Silver // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. – 2007. – Vol. 13, Issue 3. – P. 530–548.
11. Gold C. Map generalization by skeleton retraction / C. Gold and D. Thibault // Proceedings of the 20th International Cartographic Conference Beijing, China, August 6–10, 2001 (ICC 2001). – 2003. – P. 2072–2081.
12. Lam L. Thinning Methodologies – A Comprehensive Survey / L. Lam, S.-W. Lee, C. Y. Suen // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. – 14, 9 (September 1992). – P. 869–885.
13. Couprie M. Note on fifteen 2D parallel thinning algorithms : Internal Report / M. Couprie. – Université de Marne-la Vallée, 2006. – 21 p.
14. Kumar V. Skeleton Primitive Extraction Method on Textures with Different Nonlinear Wavelets, Texture Classification Based on Extraction of Skeleton Primitives Using Wavelets / V. Kumar, U.S.N. Raju, P. Premchand, A. Suresh // Journal of Computer Science. – 2008. – Vol. 4, Issue 7. – P. 591.
15. Baruch O. Line thinning by line following / O. Baruch // Pattern Recognition Letters. – 1988. – Vol. 8, no. 4. – P. 271–276.
16. Daya B. Parallelization of Two-Dimensional Skeletonization Algorithms / B. Daya // Journal of Undergraduate Research. – University of Florida. – 2008. – Vol. 9, Issue 4. – P. 1–23.
17. Saeed K. K3M a Universal algorithm for image skeletonization and a review of thinning techniques / K. Saeed, M. Tabkdzki, M. Rybnik, M. Adamski // International Journal of Applied Mathematics and Computer Science. – July 2010. – Vol. 20, Issue 2. – P. 317–335.
18. Hilditch J. An application of graph theory in pattern recognition / J. Hilditch // Machine Intelligence. – Edinburgh. – 1968. – Vol. 3. – P. 325–347.
19. Zhang T. Y. A fast parallel algorithm for thinning digital patterns / T. Y. Zhang, C. Y. Suen // Communications of the ACM. – March 1984. – Vol. 27, Issue 3. – P. 236–239.
20. Guo Z. Parallel thinning with two-subiteration algorithms / Z. Guo, R. W. Hall // Communications of the ACM. – March 1989. – Vol. 32, Issue 3. – P. 359–373.

Стаття надійшла до редакції 06.10.2014.

Після доробки 10.11.2014.

Savkov S. O.<sup>1</sup>, Moroz V. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Post-graduate student of Computational Mathematics Department of I. I. Mechnikov Odessa National University

<sup>2</sup>PhD, Professor of Computational Mathematics Department of I. I. Mechnikov Odessa National University

#### ANALYSIS OF SKELETONIZATION METHODS FOR IRREGULAR TEXTURE IN UNIQUE IMAGE DESCRIPTORS SEARCHING

##### PROBLEM

The problem of texture analysis, identification and recognition was investigated. The object of study is the process of grayscale image skeletonization. The subject of research is the iterative and non-iterative texture skeletonization methods for searching unique image descriptors in the problem of authentication object.

The purpose of the work is to select the appropriate method for inhomogeneous irregular texture skeletonization. A review of texture types and skeletonization algorithms classification, advantages and disadvantages of various types of algorithms was given. Computational experiments and comparison of iterative Zhang-Suen and Guo-Hall algorithms and non-iterative method of the Blum's median axis transformation that's applied to the sample images inhomogeneous irregular paper textures with microfibers were made. The problem of the comparative analysis of texture skeletonization algorithms for images of inhomogeneous irregular textures was solved. Was developed quality criterion which uses information about the number of skeleton texture branches, which depends on the number of boundary points of the skeleton. Software that implements the discussed skeletonization algorithms and allows to rank them according to selected criteria was developed.

The experimental results allow us to recommend the algorithm of Zhang-Suen for practical use to solve the problem of image skeletonization of inhomogeneous irregular textures.

**Keywords:** texture recognition, identification, skeletonization, medial axis transformation, Zhang-Suen method, Guo-Hall method.

##### REFERENCES

1. Rutovitz D. Pattern recognition, *Journal of Royal Statistical Society*, 1966, Vol. 129, no. 4, pp. 504–530.
2. Blum H. A transformation for extracting new descriptors of shape, *Models for the Perception of Speech and Visual Form*. Cambridge, MIT Press, 1967, pp. 362–380.
3. Rosenfeld A. A characterization of parallel thinning algorithms, *Information and Control*, 1975, Volume 29, Issue 3, pp. 286–291.
4. Dyer C., Rosenfeld A. Thinning algorithms for gray-scale pictures, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, No. 1 (1–1979), pp. 88–89.
5. Pavlidis T. Algorithms for Graphics and Image Processing. Berlin-NY, Computer Science Press, Springer-Verlag, 1982, 447 p.
6. Pavlidis T. An asynchronous thinning algorithm, *Computer Graphics Image Processing*, 1982, No. 20, pp. 133–157.
7. Ning L. An Implementation of OCR System Based on Skeleton Matching. Canterbury, University of Kent, 1993, 66 p.
8. Mohamed A. An efficient thinning algorithm for arabic OCR systems, *Signal & Image Processing : An International Journal*, June 2012, Vol. 3, Issue 3, P. 31.
9. Porawat V., Prachumrak K. The Skeleton Pruning-Smoothing Algorithm for Realistic Character Animation, *JMMT : Journal of Man, Machine and Technology*, 2013, Vol. 2, no. 1, pp. 21–34.
10. Nicu D., Silver C., Silver D. Curve-Skeleton Properties, Applications and Algorithms, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2007, Vol. 13, Issue 3, pp. 530–548.
11. Gold C., Thibault D. Map generalization by skeleton retraction, *Proceedings of the 20th International Cartographic Conference BeiJing*. China, August 6–10, 2001 (ICC 2001), 2003, pp. 2072–2081.
12. Lam L., Lee S.-W., Suen C. Y. Thinning Methodologies – A Comprehensive Survey, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 14, 9 (September 1992), pp. 869–885.
13. Couprie M. Note on fifteen 2D parallel thinning algorithms : Internal Report. Université de Marne-la Vallée, 2006, 21 p.
14. Kumar V., Raju U.S.N., Premchand P., Suresh A. Skeleton Primitive Extraction Method on Textures with Different Nonlinear Wavelets, Texture Classification Based on Extraction of Skeleton Primitives Using Wavelets, *Journal of Computer Science*, 2008, Vol. 4, Issue 7, pp. 591.
15. Baruch O. Line thinning by line following, *Pattern Recognition Letters*, 1988, Vol. 8, no. 4, pp. 271–276.
16. Daya B. Parallelization of Two-Dimensional Skeletonization Algorithms, *Journal of Undergraduate Research*. University of Florida, 2008, Vol. 9, Issue 4, pp. 1–23.
17. Saeed K., Tabkdzki M., Rybnik M., Adamski M. K3M a Universal algorithm for image skeletonization and a review of thinning techniques, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, July 2010, Vol. 20, Issue 2, pp. 317–335.
18. Hilditch J. An application of graph theory in pattern recognition, *Machine Intelligence*. Edinburgh. 1968, Vol. 3, pp. 325–347.
19. Zhang T. Y., Suen C. Y. A fast parallel algorithm for thinning digital patterns, *Communications of the ACM*, March 1984, Vol. 27, Issue 3, pp. 236–239.
20. Guo Z., Hall R. W. Parallel thinning with two-subiteration algorithms, *Communications of the ACM*, March 1989, Vol. 32, Issue 3, pp. 359–373.