

## КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ОПИСУ ТЕКСТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОБРАЖЕНЬ

Башков Є.О., Вовк О.Л.  
Кафедра ПМІ, ДонНТУ  
vovkolga@ukrtop.com

### Abstract

*Bashkov E. A., Vovk O. L. The methods classification of description of texture features of images. The different methods of the texture characteristics description of images are analyzed. The new classification of the reviewed methods on macro- and micro-methods is offered, depending on a level of processing of texture.*

### Вступ

Вивчення текстурних властивостей при обробці зображень відіграє важливу роль у комп'ютерному зорі. Безліч природних сцен позбавлено яких-небудь важливих деталей на великих просторах. У цих областях сцену часто можна охарактеризувати як прояв повторюваної структури – текстури [1]. Найбільш поширені галузі використання методів, заснованих на текстурному аналізі, наступні [2, 3]:

- аналіз медичних зображень;
- біометрична ідентифікація;
- контекстний пошук зображень;
- віддалене спостереження;
- обробка документів;
- синтез текстур.

Мета даної статті – провести теоретичний аналіз різних способів опису текстурних характеристик та створити нову класифікацію проаналізованих методів.

У рамках поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

- введення визначення текстури, постановка задачі аналізу текстурних характеристик;
- класифікація існуючих методів опису текстури;
- теоретичний порівняльний аналіз груп класифікованих методів.

## **1. Визначення текстури**

Текстура є важливим елементом людського зору. Характеристики текстури використовуються для опису вмісту безлічі природних зображень, таких як, хмари, листи, тканини [4].

І хоча людське око легко розпізнає текстуру, важко дати її формальне визначення [2, 3, 5]. Тому пропонується розглядати текстуру як сукупність наступних її властивостей:

- текстура використовується для опису змін яскравості деякого фрагмента [1];
- текстура складається з безлічі структурних елементів – текстонів (текстурних примітивів [3]), розмір яких незначний у порівнянні з розмірами фрагмента, текстурні ознаки якого аналізуються [6];
- у межах зображення фрагменти текстури (текстони) – однорідні одиниці, що мають приблизно однакову форму у всій текстурній області [1];
- текстони мають деяку регулярність і випадковість [6].

Якісно текстуру можна описати розміром її фрагмента (зерна) [1]. Розмір зерна зв'язаний з періодом просторової повторюваності локальної структури. Великий розмір зерна відповідає великій текстурі, а малий – дрібній. Очевидно, що цей параметр недостатній для кількісного опису текстури, але його можна використовувати для оцінки напрямку, у якому повинні змінюватися текстурні ознаки, тобто малі чисельні значення ознак повинні відповідати відносно дрібній текстурі, а більші значення – більш великій.

Текстуру можна розділити на штучну і природну [1]. Штучні текстури – це структури з графічних знаків, розташованих на нейтральному фоні. Такими знаками можуть бути відрізки лінії, літери і цифри.

Природні текстури, згідно з їхньою назвою, це зображення природних сцен, що містять майже періодичні структури. Як природні текстури можуть виступати фотографії цегельних стін, пісок, трава.

## **2. Постановка задачі аналізу текстурних характеристик зображень**

Аналіз текстурних ознак прийнято проводити на рівні об'єктів однорідної текстури [1]. Тобто вихідними даними для процедури розрахунку текстурних характеристик можуть бути як зображення окремих текстур, так і “неоднорідні” зображення, що містять об'єкти з різними текстурними характеристиками. У випадку роботи з другим типом зображень, необхідне проведення попередньої кластеризації зображень на окремі однорідні регіони (області).

Виходячи з вищевказаного визначення, текстура характеризує яскраві зміни фрагментів зображення. Через це, перед виділенням текстурних ознак зображення, необхідно зробити конвертування набору його

стандартних колірних характеристик (звичайно це характеристики колірного простору RGB) у набір характеристик яскравості [5]. Треба підкреслити, що одні методи виділяють кількісні ознаки текстури, використовуючи тільки набір характеристик яскравості, інші ж методи поряд з цими складовими кольору використовують і хроматичні складові [7].

Отримана в результаті конвертування матриця характеристик яскравості обробляється обраним методом текстурного аналізу. Знайдені в результаті обробки характеристики використовуються як параметри класифікації або сегментації текстур.

Вірогідність класифікації текстур об'єктів відповідно до деяких текстурних параметрів і прийнято використовувати як основний критерій якості текстурних характеристик [4, 7-10].

### **3. Класифікація методів опису текстурних ознак**

Існує декілька різних класифікацій методів завдання характеристик текстури.

Споконвічно, методи текстурного аналізу підрозділяли на дві групи [2]: статистичні і структурні. Причому, статистична група методів припускала розгляд зображення текстури як статистичної вибірки. А при аналізі структурними методами передбачалася обробка текстури на рівні окремих фрагментів – текстонів.

У роботі [11] крім двох, приведених вище категорій, виділяється третя – категорія структурно-статистичних методів, що аналізує статистичні характеристики на рівні окремих геометричних (структурних) примітивів. Варто відзначити, що в деяких роботах групу структурно-статистичних методів прийнято називати геометричними [12].

У [12] характеристики для ідентифікації текстур поділяються на п'ять основних типів: статистичні, геометричні, структурні, модельні і фільтраційні. В основі модельних методів є побудова моделі аналізованого зображення; властивості текстури вихідного зображення розраховуються виходячи з властивостей моделі [3]. Фільтраційні методи припускають попереднє накладення на вхідний сигнал-зображення деяких фільтрів, що призначені для виділення характерних властивостей зображень (вертикальних, горизонтальних перепадів яскравості і т.д.).

На рис. 1 пропонується ієрархічна класифікація методів текстурного аналізу по рівнях обробки зображень.

У запропонованій класифікації всі методи опису текстури поділяються на дві основні групи: макро-методи (методи розрахунку характеристик текстури на рівні всього зображення) і мікро-методи (методи розрахунку текстурних ознак на рівні окремих текстурних примітивів – текстонів). Додатково, мікро-методи підрозділяються на дві підгрупи: примітивні (текстурні властивості описуються властивостями текстонів) і позиційно-

примітивні (як текстурні характеристики виступають закономірності розташування текстурних примітивів).



Рис. 1 - Схема класифікації методів кількісного опису текстури

### 3.1. Статистичні методи

Одним з найбільш поширених методів даної групи є метод побудови матриць суміжності [12].

Статистичні методи даної групи використовують ознаки гістограми другого порядку для побудови моделі відносин яскравості пікселів розглянутого зображення [13].

Нехай матриця компонентів яскравості аналізованого зображення –  $I$  розміром  $N \times M$  ( $N$  – висота,  $M$  – ширина зображення). Потрібно побудувати матрицю суміжності  $P$  (матрицю яскравості залежності [1]) розміром  $L \times L$  для  $L$  квантованих значень яскравості розглянутого зображення відповідно до наступного правила [1,3,12,13]:

$$P_{r,\theta}(i,j) = |\{(k,s),(t,v) : I(k,s) = i, I(t,v) = j\}|. \quad (1)$$

У формулі (1):

- $i, j$  – індекси (рівні яскравості) матриці  $P$  ( $i, j = \overline{1, L}$ );
- $I(k,s), I(t,v)$  – елементи матриці яскравості з координатами  $(k,s)$  і  $(t,v)$  відповідно;
- $r$  – відстань між елементами  $I(k,s), I(t,v)$  ( $r = \sqrt{(k-t)^2 + (s-v)^2}$ );
- $\theta$  – кут між елементами  $I(k,s), I(t,v)$  щодо горизонтальної осі.

Варто відзначити, що матриця  $P$  розраховується для декількох наборів значень  $(r,\theta)$ ; причому, з погляду зменшення числа обчислювальних операцій, необхідно обмежити кут і вектор відстаней невеликою кількістю дискретних значень [1]. На рис. 2 надано розташування елементів зображення, коли відстань по радіусі від точки  $(k,s)$  до точки  $(t,v)$  приймає

чотири дискретних значення, а кут  $\theta=0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$  радіан (передбачається кутова симетрія).

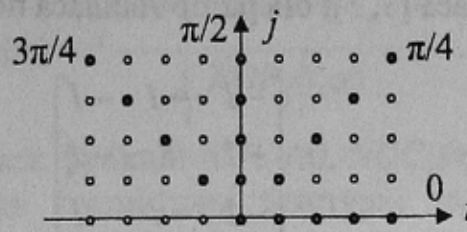


Рис. 2 - Відносне розташування точок при обчисленні матриці яскравості залежності

Основні текстурні ознаки, які прийнято розраховувати по матриці яскравості залежності [3,12], приведені в таблиці 1.

Таблица 1

№	Найменування текстурної ознаки	Методика розрахунку
1	Другий кутовий момент	$ASM = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} P(i, j)^2$
2	Контрастність	$Con = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} (i-j)^2 P(i, j)$
3	Ентропія	$Ent = - \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} P(i, j) \log_2 P(i, j)$
4	Кореляція	$Cor = \frac{\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} ijP(i, j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y}$

Правила розрахунку додаткових характеристик, використаних у таблиці 1, наступні:

$$\begin{aligned} \mu_x &= \sum_{i=0}^{L-1} iP(i, x), \quad \mu_y = \sum_{j=0}^{L-1} jP(y, j), \quad \sigma_x^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - \mu_x)^2 P(i, x), \\ \sigma_y^2 &= \sum_{j=0}^{L-1} (j - \mu_y)^2 P(y, j), \quad P(i, x) = \sum_{j=0}^{L-1} P(i, j), \quad P(y, j) = \sum_{i=0}^{L-1} P(i, j). \end{aligned} \quad (2)$$

### 3.2. Фільтраційні методи

Методи, засновані на фільтраційному аналізі, припускають контрастування перепадів яскравості аналізованих зображень. Після застосування фільтра до зображення виконується розрахунок стандартних статистичних характеристик текстури [10].

Фільтрація реалізується шляхом накладення на зображення деякої маски заданого розміру  $W \times W$ , найбільш використовуваний розмір фільтраційного вікна  $3 \times 3$  пікселя [3, 12]. Одним з найпростіших лінійних фільтрів є фільтр Лапласа [1, 3]; оператор Лапласа показаний на рис. 3.

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Рис. 3 - Оператор Лапласа

Одним з новітніх напрямків в описі текстурних ознак зображень прийнято вважати вейвлет-аналіз [12], за допомогою якого можливе здійснення окремо горизонтальної, вертикальної і діагональної фільтрації. Докладна інформація про цей напрямок приведена в [14].

### 3.3. Статистично-геометричні методи

Статистичні геометричні ознаки текстури, згідно з [15], засновані на статистичних геометричних властивостях сусідніх регіонів бінарного зображення, отриманого з аналізованого зображення текстури.

Для будь-якого зображення текстури  $I$ , бінарне зображення  $I_{B\alpha}$  винаходять шляхом граничної класифікації з граничним значенням  $\alpha \in [1, L-1]$  ( $L$  – число квантованих значень яскравості аналізованого зображення), відповідно до правила [16, 17]:

$$I_{B\alpha}(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } I(x,y) \geq \alpha; \\ 0, & \text{інакше.} \end{cases} \quad (3)$$

Для кожного бінарного зображення, усі суміжні пікселі, що мають значення "1" (пікселі-"1"), групуються в регіони. Та ж сама дія виробляється з пікселями-"0". Традиційними є наступні позначення [15-17]:

- $NOC_1(\alpha)$  – число регіонів, отриманих з пікселів-"1" (регіонів-"1"), для бінарного зображення, отриманого при граничному значенні  $\alpha$ ;
- $NOC_0(\alpha)$  – число регіонів-"0" отриманого при граничному значенні  $\alpha$ ;
- $NOP_1(i, \alpha) = |R_{i1}|$  – число пікселів у  $i$ -ом регіоні-"1";
- $NOP_0(i, \alpha) = |R_{i0}|$  – число пікселів у  $i$ -ом регіоні-"0";
- $\bar{x}_i, \bar{y}_i$  – центри ваги регіонів бінарного зображення по координаті абсцис і ординат відповідно.

Міру нерівномірності регіонів- $j$  ( $j=0,1$ ) визначають як [15, 16]:

$$IRGL_j(i, \alpha) = \frac{1 + \sqrt{\pi} \max_{k \in R_{ij}} \sqrt{(x_k - \bar{x}_i)^2 + (y_k - \bar{y}_i)^2}}{\sqrt{|R_{ij}|}}. \quad (4)$$

Тоді зважену міру нерівномірності всіх регіонів- $j$  ( $j=0,1$ ) бінарного зображення  $I_{B\alpha}$  можна обчислити по формулі:

$$\overline{IRGL}_j(\alpha) = \frac{\sum_i NOP_j(i, \alpha) IRGL_j(i, \alpha)}{\sum_i NOP_j(i, \alpha)}. \quad (5)$$

Для кожної з чотирьох функцій  $NOC_1(\alpha)$ ,  $NOC_0(\alpha)$ ,  $\overline{IRGL}_1(\alpha)$ ,  $\overline{IRGL}_0(\alpha)$  пропонується обчислювати статистичні текстурні характеристики [15-17], приведені в таблиці 2 (умовно в таблиці ці функції позначені  $g(\alpha)$ ).

Таблиця 2

№	Найменування текстурної ознаки	Методика розрахунку
1	Максимальне значення	$g_{\max} = \max_{\alpha} g(\alpha)$
2	Середнє значення	$\mu_g = \frac{1}{L-1} \sum_{\alpha} g(\alpha)$
3	Вибіркове середнє	$\mu_{g\alpha} = \frac{1}{\sum_{\alpha} g(\alpha)} \sum_{\alpha} \alpha g(\alpha)$
4	Вибіркове стандартне відхилення	$\sigma_{g\alpha} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{\alpha} g(\alpha)} \sum_{\alpha} (\alpha - \mu_{g\alpha})^2 g(\alpha)}$

### 3.4. Геометричні методи

Мозаїку Вороного прийнято відносити до геометричних методів [3, 18], що складаються з трьох основних етапів:

- виділення окремих текстурних примітивів (текстонів);
- опис текстонів регіонами (полігонами);
- розрахунок геометричних властивостей регіонів – текстурних характеристик.

Перший етап прийнято робити за допомогою накладення на вихідне зображення одного з фільтрів яскравості, рекомендується використовувати фільтр Лапласа-Гауса [3], докладний опис якого приведений в [19]. Більш простий фільтр яскравості описаний у попередньому підпункті.

Припустимо, що зроблено виділення окремих текстонів. Позначимо їх точками  $P_i$ . Побудуємо для цих точок діаграму Вороного. Для цього, по-перше, проведемо лінії, що з'єднують точки між собою, по-друге, із середин цих ліній відновимо перпендикуляри (див. рис. 4) [18].

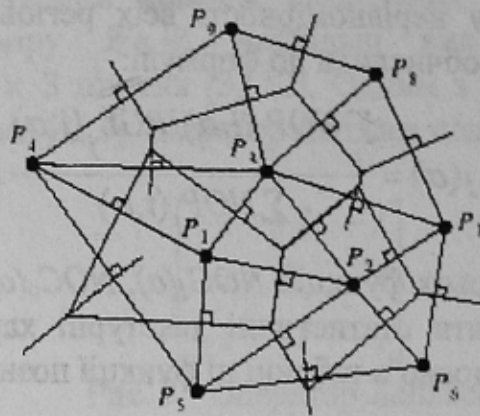
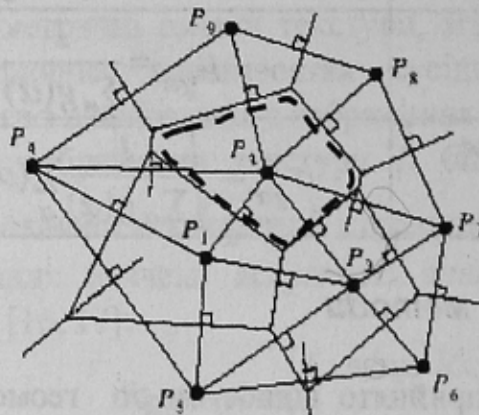


Рис. 4 - Приклад діаграми Вороного

В основі мозаїки Вороного лежить наступна властивість полігонів [3, 20]: полігон, що описує регіон, якому належить точка  $P_i$ , проходить ближче до точки  $P_i$ , чим до будь-якої іншої точки мозаїки. Приклад виділення окремих регіонів, що містять текстони, приведений на рис. 5.

Рис. 5 - Приклад побудови полігона Вороного, що описує текстон  $P_3$ 

Основні геометричні ознаки текстури, що прийнято розраховувати, виходячи з моментів площі замкнутого регіону  $R_i$ , який містить текстурний примітив з координатами  $(x_0, y_0)$ , приведені в таблиці 3 [3, 21]. Варто відзначити, що момент  $(p+q)$  порядку розраховують відповідно до наступної формули:

$$m_{pq} = \iint_{R_i} (x-x_0)^p (y-y_0)^q dx dy. \quad (6)$$

Моменти площі полігонів Вороного є характеристиками, що відображають як просторовий розподіл, так і форму текстурних примітивів зображення-текстури [21].



Таблиця 3

№	Найменування текстурної ознаки регіону	Методика розрахунку
1	Площа	$m_{00}$
2	Відстань від точки до центру	$\sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2}$ , $\bar{x} = m_{10}/m_{00}$ , $\bar{y} = m_{01}/m_{00}$
3	Напрямок	$atan\left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}}\right)$
4	Загальне подовження (для округлості значення цієї ознаки нульове)	$\frac{\sqrt{(m_{20} - m_{02})^2 + 4m_{11}^2}}{m_{20} + m_{02} + \sqrt{(m_{20} - m_{02})^2 + 4m_{11}^2}}$
5	Орієнтація осей	$atan\left(\frac{2m_{11}}{(m_{20} - m_{02})}\right)$

### 3.5. Модельні методи

Модельні ознаки текстури припускають наявність моделі аналізованого зображення. Тектурні характеристики зображення оцінюються виходячи з властивостей розробленої моделі [12].

Як приклад модельних методів пропонуються фрактали.

Багато природних текстурних поверхонь містять подібні текстурні примітиви різних масштабів. Фрактали прийнято використовувати для опису саме таких зображень текстур [3].

Термін “фрактал” походить від латинського слова “fractus” [22] і означає “нерівномірний” чи “фрагментований”. Тобто зображення текстури складається з фрагментів, що мають властивість самоподоби. Самоподоба може бути детермінованою або випадковою. Фрактали, що мають випадкову самоподобу, характеризуються статистичними ознаками. Модельними властивостями володіють детерміновані фрактали [22].

Визначення детермінованих фракталів з використанням теорії самоподоби [3, 22]: надана обмежена безліч  $A$  в  $n$ -мірному Евклідовому просторі,  $A$  є об'єднанням  $N$  окремих (непересічних) самоподібних копій, кожна з яких обмежена коефіцієнтом масштабної пропорційності  $r$ .

Для опису текстури за допомогою фракталів використовують дві характеристики [3]: фрактальний вимір  $D$  і лакунарність  $A$ .

Найпростіший спосіб визначення фрактального виміру (згідно [3, 22]):

$$D = \frac{\log_2 N}{\log_2(1/r)} \quad (7)$$

Лакунарність можна розрахувати відповідно до формули (8) [3, 23], виходячи з припущення, що фрактали аналізованого зображення можуть бути уписані в куб з довжиною сторони  $L$ :

$$A = \frac{M^2(L) - (M(L))^2}{(M(L))^2}, \quad (8)$$

де:  $M(L) = \sum_{m=1}^N mP(m,L)$ ,  $M^2(L) = \sum_{m=1}^N m^2P(m,L)$ ,  $P(m,L)$  – імовірність, що  $m$  точок аналізованого зображення знаходяться усередині куба зі стороною  $L$ .

### 3.6. Структурні методи

Методи структурного аналізу базуються на визначенні характеристик розміщення текстурних елементів (текстонів) зображень [3]. До таких характеристик відносять: анізотропію і симетричність [8, 24].

Загальна методика розрахунку анізотропії і симетричності зображень текстури наступна [8, 24].

Для дискретного набору значень вектора  $r_{ij} = (\theta_i, r_j)$ ,  $\theta_i \in [0, 2\pi]$ ,  $i = 0, \dots, N_\theta - 1$ ,  $r_j \in [1, r_{\max}]$ ,  $j = 0, \dots, N_r - 1$ , виробляється розрахунок характеристик гістограми яскравості  $F(\theta_i, r_j)$ . Причому,  $N_\theta$  – кількість кутів,  $N_r$  – кількість відстаней. Опис параметрів  $\theta_i, r_j$  даний вище і схематично показано на рис. 2.

Вводиться визначення полярної карти взаємодії як  $M_{pl}(i, j) = F(\theta_i, r_j)$ . Кожен стовпець отриманої матриці є індикатором анізотропії для заданої відстані  $d_j$ :  $A^j(i) = M_{pl}(i, j)$ .

Далі здійснюється застосування операції симетричного відображення до кожного індикатора  $A^j(i)$  для одержання індикатора симетрії  $S^j(i)$ .

На наступному етапі робиться визначення полярної карти симетрії як  $S_{pl}(i, j) = S^j(i)$ . Рядки даної матриці символізують домінуючий напрямок симетрії.

Наступним кроком є перетворення  $M_{pl}(i, j)$  в систему координат ХУ для одержання карти взаємодії Декарта  $M_{xy}(m, n)$ , що використовується для аналізу структури текстури. Варто відзначити, що визначення карти взаємодії Декарта є необов'язковим у випадку рішення задачі винаходження кількісних текстурних ознак – анізотропії і симетричності.

З огляду на позначення, введені в попередніх підпунктах, характеристики діаграми яскравості розраховуються відповідно до формули (9) [24]:

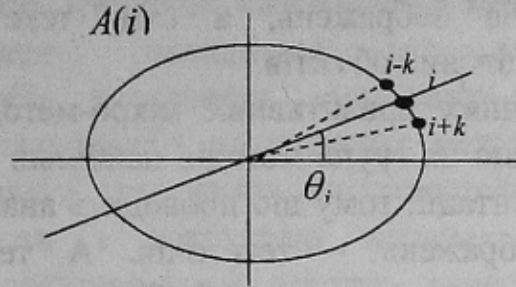
$$F(\theta_i, r_j) = \frac{1}{L} \sum_{p=0}^L P \frac{|\{(k, s), (t, v) : |I(k, s) - I(t, v)| = p\}|}{MN}. \quad (9)$$

Розрахунок індикатора симетрії виробляється відповідно до формули (10) [24], у якій  $i_{\max} = N_{\theta} - 1$ ,  $\gamma = 5$  (ступінь  $\gamma$  використовується для підвищення чутливості симетрії):

$$S(i) = \left( \frac{2}{i_{\max}} \sum_{k=1}^{i_{\max}/2} \left[ 1 - \left| \frac{A(i+k) - A(i-k)}{A(i+k) + A(i-k)} \right| \right] \right)^{\gamma}. \quad (10)$$

На рис. 6 представлена умовна схема одержання індикаторів симетрії.

Рисунок 6 – Умовна схема одержання індикаторів симетрії



Як кількісні характеристики анізотропії і симетрії прийнято використовувати статистичні властивості індикаторів  $A^j(i)$  і  $S^j(i)$ , наприклад, математичне чекання [24].

#### **4. Теоретичний аналіз областей застосування методів опису текстурних ознак**

Існує три основні галузі застосування кількісних методів опису текстурних характеристик зображень [1, 3]: текстурна сегментація, текстурна класифікація і синтез текстур.

Задачу текстурної сегментації можна сформулювати в наступному виді: мається зображення, що містить різні об'єкти, необхідно виділити границі цих об'єктів, з огляду на їхні текстурні ознаки.

Усі методи, що припускають аналіз текстури заданих розмірів, а не окремих її частин, є найменш придатними для рішення задачі текстурної сегментації, тому що в основі рішення задачі сегментації – винаходження невеликих областей з однаковими ознаками й об'єднання їхній в окремі об'єкти. До цих методів можна віднести:

- статистичні методи групи макро-методів (вони призначені для аналізу яскравості текстури цілком, а не окремих (заздалегідь невідомих) частин);
- структурні мікро-методи з підгрупи позиційно-примітивних (вони застосовуються для визначення характеру розташування текстонів усередині текстури (чи є їхнє розташування симетричним, або анізотропним), а це припускає аналіз текстури заданих розмірів, а не невеликих частин для подальшого їхнього об'єднання в групи однорідних);

- модельні мікро-методи з підгрупи примітивних (тому що для їхнього використання необхідна побудова моделі текстури, а це неможливо, якщо розміри текстури заздалегідь невідомі).

Методи фільтрації часто використовуються для виділення границь об'єктів зображень [25], тому що в результаті фільтрації відбувається контрастування перепадів яскравості (границь об'єктів).

Статистично-геометричні методи можуть бути використані для рішення задачі сегментації, тому що вони припускають граничну фільтрацію для виділення об'єктів зображень, а самі текстурні характеристики розраховуються для виділених об'єктів.

Аналіз геометричних примітивних мікро-методів опису текстурних властивостей показує, що ця група методів найбільш придатна для рішення задачі текстурної сегментації, тому що проводить аналіз властивостей щодо невеликих частин зображень – текстонів. А текстони з подібними характеристиками легко об'єднати в окремі об'єкти.

Задача класифікації текстурних зображень користується особливою популярністю останнім часом [3]. Постановка задачі текстурної класифікації наступна: є кілька типів зображень текстур і зображення, яке необхідно віднести до одному з існуючих типів. Як критерій визначення типу зображення звичайно використовується відстань між текстурними характеристиками зображень з визначеної групи й аналізованого зображення. Дана задача може вирішуватися при контекстному пошуку зображень.

Виходячи з поставленої задачі, на текстурні характеристики накладаються вимоги інваріантності ознак до повороту, переносу, зміни масштабу і варіації освітлення об'єктів зображень [25], а, отже, і текстурних примітивів. Усі представлені в даній роботі методи опису текстурних характеристик можуть вирішувати дану задачу. У залежності від типів розглянутих текстур ті чи інші методи є більш-менш придатними. Для більш точного підбору методу для рішення задачі з цього розділу обробки зображень, необхідно експериментальне порівняння показників ефективності (наприклад, інваріантності до переносу, повороту) окремих методів і їхніх сукупностей.

Основний підхід до синтезу текстур полягає в створенні деякого базисного первинного образу й у повторенні цього образу в площині зображення відповідно до деяких правил розміщення [1]. Базисом може бути деякий невеликий примітив природної текстури – текстон. Отже, найбільш придатними для рішення задачі синтезу текстур є методи, в основі яких виділення окремих текстурних примітивів – модельні і геометричні методи. Крім того, за допомогою структурних методів можна вирішувати задачу розміщення виділених текстурних примітивів.

## Висновки

Кількісний опис текстурних характеристик зображень – перспективний напрямок у сучасній науці. Більшість дослідників, що займаються обробкою зображень, зіштовхуються з необхідністю аналізу текстурних властивостей зображень текстур цілком (текстурна класифікація), або окремих текстурних примітивів (текстурна сегментація і синтез текстур).

У представленій роботі вводяться базові текстурні визначення. Робиться огляд основних існуючих класифікацій методів опису текстурних властивостей зображень; наводиться загальний опис найбільш розповсюджених засобів визначення кількісних властивостей текстур. Пропонується нова класифікація розглянутих методів за рівнем обробки текстур. Усі методи аналізу текстурних властивостей поділяються на макро-методи (що працюють з текстурою цілком) і мікро-методи (що використовують як характеристики текстур характеристики тектонів – примітивних елементів текстур). Як підсумок проробленої роботи, приводиться теоретичний аналіз ефективності застосування різних текстурних характеристик для різних задач – текстурної сегментації, текстурної класифікації і синтезу текстур.

Як подальший напрямок досліджень можна виділити проведення експериментального порівняльного аналізу окремих методів наведених вище груп для рішення задачі класифікації текстур. Як критерій ефективності, можна використовувати відсоток коректної класифікації зображень текстур.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА  
БІБЛІОТЕКА  
ДОНДТУ

## Література

1. Прет У., Цифрова обробка зображень. – М.: Світ, 1982. – Кн. 2 – 480 с.
2. Mäenpää T., The Local Binary Pattern Approach to Texture Analysis – Extensions and application, OULU, 2003, p. 78.
3. Chen C.H., Pau L.F., Wang P.S.P., The Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision (2<sup>nd</sup> Edition), World Scientific Publishing Co., 1998, pp. 207-248.
4. Chang S.F., Smith J.R., Extracting Multi-Dimensional Signal Features for Content-Based Visual Query, SPIE Symposium on Visual Communications and Signal Processing, May 1995.
5. Indexing Color-Texture Image Patterns, Imaging and Vision Laboratory, 2002, <http://www.itim.mi.cnr.it/Linee/Linea1/argomenti/arg3/arg31.htm>.
6. Smeulders A., Worring M., Santini S., Gupta A., Jain R. Content-Based Image Retrieval at the End of the Early Years, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, no. 12, Dec. 2000, pp. 1349-1380.
7. Pietikäinen M., Mäenpää T., Viertola J., Color Texture Classification with Color Histograms and Local Binary Patterns, Proc. 2nd International Workshop on Texture Analysis and Synthesis, June 2002, Copenhagen, Denmark, pp. 109-112

8. Chetvericov D., Texture Anisotropy, Symmetry, Regularity: Recovering Structure and Orientation from Interaction Maps, Proc. 6<sup>th</sup> British Machine Vision Conference, Birmingham, BMVA, 1995, pp. 57-66.
9. Huang Y., Chan K. L., Multi-model Feature Integration For Texture Classification, ACCV2002, Melbourne, Australia, January 2002, pp. 1-6.
10. Sharma M., Markou M., Singh S., Evaluation of Texture Methods for Image Analysis, Proc. 7th Australian and New Zealand Intelligent Information Systems Conference, pp. 117-121.
11. Kuan J.K.P., Lewis P.H., Complex Texture Classification with Edge Information, In Proc. of 2nd International Conference on Visual Information System, San Diego, CA, December 1997, pp. 157-162.
12. Randen T., Husøy J. H., Filtering for Texture Classification: A Comparative Study, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 21, no. 4, April 1999, pp. 291-310.
13. Sharma M., Performance Evaluation of Image Segmentation and Texture Extraction Methods in Scene Analysis, A thesis for the degree of Master of Philosophy in Computer Science, January 2001, p. 220.
14. Дремин И.М., Иванов О.В., Нечитайло В.А., Вейвлеты и их использование, Успехи физических наук, т. 171, №5, Май 2001, стр. 465 – 501.
15. Chen Y.Q., Nixon M.S., Thomas D.W., Statistical Geometrical Features for Texture Classification, Pattern Recognition, vol. 28, no. 4, September 1995, pp. 537-552.
16. Münzenmayer C., Volk H., Paulus D., Vogt F., Wittenberg T., Multispectral Statistical Geometrical Features for Texture Analysis and Classification, In K.-H. Franke, editor, 8. Workshop Farbbildverarbeitung, Ilmenau, 2002. Schriftenreihe des Zentrums für Bild- und Signalverarbeitung e.V. Ilmenau, 1/2002, pp. 87-94.
17. Chen Y.Q., Novel Techniques for Image Texture Classification, A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy, University of Southampton, March 1995, p. 125.
18. Fujita K., Hirokawa N., Tachikawa T., Voronoi Diagram Based Cumulative Approximation For Engineering Optimization, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2000, p. 11.
19. Levesque V., Shape from Texture: Surface Recovery Through Texture-Element Extraction, Visual Motor Systems, pp. 304-629.
20. Roque W., Doering D., Constructing Approximate Voronoi Diagrams from Digital Images of Generalized Polygons and Circular Objects, WSCG' 2003, February 2003, p. 7.
21. Tuceryan M., Jain A.K., Texture Segmentation using Voronoi Polygons, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 12, February 1990, pp. 211-216.
22. Garg A., Object Extraction From Infrared Images, The thesis for the degree of Master of Engineering and Electronic Engineering, April 1996, p. 138.

23. Dale M.R.T., Dixon P., Fortin M.J. and others, Conceptual and mathematical relationships among methods for spatial analysis, *ECOGRAPHY* 2002, pp. 558-577.
  24. Chetvericov D., Texture Analysis Using Pairwise Interaction Maps, *Pattern Recognition, Special Issue on Color and Texture*, 1998, pp. 95-102.
  25. Wang J. Z., Li J., Wiederhold G., "SIMPLIcity: Semantics-Sensitive Integrated Matching for Picture Libraries", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, no. 9, Sept. 2001, pp. 947-963.
- 

Дата надходження до редколегії: 17.11.2003 р.