

## ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРУ СЕМІІНВАРІАНТНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОЛЬОРОВИХ ФОТОГРАММЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

*Анотація.* У роботі наведено закономірності обчислення семіінваріантних характеристик цифрових кольорових зображень при збільшенні їх порядку, а також проведено аналіз особливостей визначення семіінваріантів в залежності від їх ступеня. Це дозволило зробити висновок відносно доцільності обмеження простору моделі, що, в свою чергу, призведе до економії обчислювальних ресурсів при автоматичній ідентифікації цифрових кольорових зображень.

*Ключові слова:* кольорове зображення, семіінваріант, простір моделі, порядок і ступінь інваріанту.

### Постановка проблеми

У багатьох задачах обробки цифрових зображень знайшли широке використання моментні інваріанти, що розраховуються на основі моментних характеристик зображень [1]. Систему ознак кольорового зображення можна визначити за декартовими моментами  $M_{nm}^{abc}$  порядку  $n + m$  і ступеня  $a + b + c$ . Як розвиток моментного підходу, в роботах проф. Корчинського В.М. та проф. Гнатушенка В.В. були розвинені математичні моделі ідентифікації цифрових зображень на основі семіінваріантів. Множина інформаційних характеристик зображення формується на основі семіінваріантів функції яскравості і утворює багатовимірний простір, вимірність якого визначається порядком використаних семіінваріантів, а окремі точки являють собою подання зображень, включаючи як геометричну форму, так і розподіл яскравості [2].

Простір математичної семіінваріантної моделі розпізнавання зображень може бути як завгодно великої вимірності, чим більша вимірність, тим більша кількість інваріантів може бути знайдена. Застосування інваріантів високих порядків та ступенів значно збільшує

кількість і складність обчислень. Тому існує потреба знайти як можливо більше інваріантних ознак при обмеженні порядку і ступеня семіінваріантних характеристик фотограмметричного зображення.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

У роботах [1, 3] була досліджена система семіінваріантних характеристик кольорових зображень, поданих у форматі RGB. Система IX будується на основі семіінваріантів заданого порядку від функції яскравості (ФЯ) зображення. Для кольорового зображення, яке має 3 інформаційні канали, було запропоновано семіінваріантну модель, що подає множину розподілів ФЯ кольорового зображень точками багатovidів у просторі IX — безрозмірних семіінваріантів  $S_{nm}^{abc}$  порядку  $N$  і ступеня  $a + b + c$  від ФЯ

$$S_{nm}^{abc} = \frac{1}{j^N} \frac{\partial^N}{\partial u_1^n \partial u_2^m} \ln(aF_R(u) + bF_G(u) + cF_B(u)) \Big|_{u=0} \quad (1)$$

де  $j = \sqrt{-1}$  — уявна одиниця;  $F_R(u)$ ,  $F_G(u)$ ,  $F_B(u)$  — інтегральне перетворення Фур'є ФЯ кожного з каналів зображення у тримірному колірному просторі з вектором параметрів  $u = (u_1, u_2)$ ,  $N = n + m$ .

Внаслідок дискретизованого подання відеоінформації визначення семіінваріантів безпосередньо за виразом (1) принципово неможливе, тому для кольорових моментів цифрового зображення порядку  $N$  включно існують формули обчислення семіінваріантів через моменти у загальному вигляді. Наведемо закономірності обчислення семіінваріантних характеристик цифрових кольорових зображень при збільшенні їх порядку від 0 до 3.

Семіінваріанти порядків 0 і 1:

$$S_{00}^{abc} = \ln(M_{00}^{abc}), \quad S_{01}^{abc} = \frac{M_{01}^{abc}}{M_{00}^{abc}}, \quad S_{10}^{abc} = \frac{M_{10}^{abc}}{M_{00}^{abc}}, \quad (2-4)$$

Семіінваріанти другого порядку:

$$S_{02}^{abc} = \frac{M_{02}^{abc}}{M_{00}^{abc}} - \left( \frac{M_{01}^{abc}}{M_{00}^{abc}} \right)^2, \quad S_{11}^{abc} = \frac{M_{00}^{abc} M_{11}^{abc} - M_{01}^{abc} M_{10}^{abc}}{\left( M_{00}^{abc} \right)^2},$$

$$S_{20}^{abc} = \frac{M_{20}^{abc}}{M_{00}^{abc}} - \left( \frac{M_{10}^{abc}}{M_{00}^{abc}} \right)^2, \quad (5-7)$$

Семіінваріанти третього порядку:

$$S_{03}^{abc} = \frac{M_{03}^{abc} (M_{00}^{abc})^2 - 3M_{02}^{abc} M_{01}^{abc} M_{00}^{abc} + 2(M_{01}^{abc})^3}{(M_{00}^{abc})^3}, \quad (8)$$

$$S_{12}^{abc} = \frac{M_{12}^{abc} (M_{00}^{abc})^2 - 2M_{11}^{abc} M_{01}^{abc} M_{00}^{abc} - M_{02}^{abc} M_{01}^{abc} M_{00}^{abc} + 2M_{10}^{abc} (M_{01}^{abc})^3}{(M_{00}^{abc})^3}, \quad (9)$$

$$S_{21}^{abc} = \frac{M_{21}^{abc} (M_{00}^{abc})^2 - 2M_{11}^{abc} M_{10}^{abc} M_{00}^{abc} - M_{20}^{abc} M_{01}^{abc} M_{00}^{abc} + 2M_{01}^{abc} (M_{10}^{abc})^3}{(M_{00}^{abc})^3}, \quad (10)$$

Вочевидь, що при збільшенні порядку семіінваріанту суттєво зростає об'єм і складність обчислень семіінваріантних характеристик.

### Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Ці обставини ставлять задачу обмеження простору семіінваріантної моделі за рахунок обмеження як порядку, так і ступеня кольорових семіінваріантів, при цьому, без суттєвих втрат у кількості характеристик, що можна знайти за допомогою комбінацій ознак зображення.

### Основна частина

У роботах [1, 3] були розглянуто формування семіінваріантних характеристик на основі декартових моментів зображенні для кольорових зображень. У разі кольорового зображення, простір семіінваріантної моделі визначаємо не лише порядком  $n + m$ , але і ступенем  $a + b + c$ , який визначає ступінь участі інформації кожного колірною каналу у формуванні семіінваріантної характеристики.

Важливим питанням є максимально і мінімально доцільне значення ступені  $a + b + c$ . Розглянемо закономірності обчислення семіінваріантів зображень  $S_{nm}^{abc}$ , в залежності від їх ступеня. Ступінь може набувати значень  $[0; N]$  відповідно, де  $N$  – натуральне число.

$a + b + c = 0$ . У цьому випадку не врахована яскравість жодного інформаційного каналу зображення, при обчисленні декартових моментів зображення функція яскравості кожного каналу дорівнює 1, що відповідає випадку білого зображення. Таким чином єдиними можливими для використання інваріантними характеристиками є ті, що визначають площу всього зображення.

$a + b + c = 1$ . Враховано інформацію одного з колірних каналів зображення, комбінації  $S_{nm}^k$  знаходяться для кожного  $S_{nm}^{k00}$ ,  $S_{nm}^{0k0}$  або  $S_{nm}^{00k}$ , фактично, багатовиди визначаються по трьом окремим моно-

хромним зображенням, які є відмінними за фотометричними характеристиками і ідентичні за геометричними.

$a + b + c = 2$ . 1) Враховано яскравість одного з каналів,  $S_{nm}^{k^2}$ : багатовиди є дуже чутливі до найменших фотометричних перетворень, що часто робить їх ненадійними у задачах розпізнавання та ідентифікації.

2) Багатовид визначається по двом каналам яскравості:  $S_{nm}^{ij}$ , для кожного  $S_{nm}^{ij0}$ ,  $S_{nm}^{i0j}$  або  $S_{nm}^{0ij}$ . Досить часто, інваріантні характеристики з участю всіх 3-х кольорових груп можна виразити як комбінацію інваріантних характеристик за участю 2-х з 3-х кольорових груп, тому семіінваріанти  $S_{nm}^{ij}$  є одними з найбільш зручних і доцільних для формування багатовидів зображень.

$a + b + c = 3$ . 1) У формування інваріанту приймають участь всі 3 кольорові канали:  $S_{nm}^{ijk}$  є одними з найбільш зручних і доцільних для формування багатовидів зображень.

2) Багатовид формується за участю 2х кольорних каналів  $S_{nm}^{i^2j}$  або  $S_{nm}^{ij^2}$ , для кожного  $S_{nm}^{i^2j0}$ ,  $S_{nm}^{i^20j}$  або  $S_{nm}^{0i^2j}$  та  $S_{nm}^{ij^20}$ ,  $S_{nm}^{i0j^2}$  або  $S_{nm}^{0ij^2}$ . Зведення у другу ступінь яскравості одного з каналів призводить до збільшеної чутливості багатовидів до фотометричних змін, що робить більшість з них ненадійними у задачах розпізнавання та ідентифікації.

3) За інформацією одного каналу шукаємо багатовид монохромного зображення  $S_{nm}^{k^3}$ : чутливість інваріантних характеристик до найменших коливань яскравості каналів зображення, робить їх непридатними для застосування у задачах розпізнавання та ідентифікації.

$a + b + c \geq 4$ . Чутливість інваріантних характеристик до найменших коливань яскравості каналів зображення, робить їх непридатними для застосування у задачах розпізнавання та ідентифікації.

Можна зробити висновок, що для знаходження інваріантних багатовидів кольорових фотограмметричних зображень на основі семіінваріантних характеристик, найбільш доцільним є використання семіінваріантів першого ступеня  $S_{nm}^k$  (для кожного  $S_{nm}^{k00}$ ,  $S_{nm}^{0k0}$ ,  $S_{nm}^{00k}$ ), другого ступеня  $S_{nm}^{ij}$ , (для кожного  $S_{nm}^{ij0}$ ,  $S_{nm}^{i0j}$ ,  $S_{nm}^{0ij}$ ) та третього ступеня  $S_{nm}^{ijk}$ .

Завдяки збільшенню порядку семіінваріантних характеристик  $n + m$  в лінійному просторі моделі, що утворена на основі множини  $S_{nm}^{abc}$ , можливо визначити більше інваріантних характеристик. При цьому, завдяки тривимірному простору яскравості моделі для певного інваріанту деякого порядку існує декілька багатовидів.

#### **Висновки та перспективи подальших досліджень**

Як було показано, збільшення порядку семіінваріанта значно збільшує кількість і складність обчислень, тому дуже важливо при обмеженні порядку визначати як можна більше інваріантних характеристик. Це можливо за рахунок збільшення ступеня моделі при роботі із багатоканальним кольоровим зображенням. В роботі було проаналізовано закономірності обчислення семіінваріантів зображень, в залежності від їх ступеня. Можна зробити висновок, що ступінь семіінваріантів більша за третю є недоцільною через надмірну чутливість інваріантних характеристик до найменших коливань яскравості каналів зображення, що робить їх непридатними для застосування у задачах розпізнавання та ідентифікації. Третя ступінь простору моделі дозволить при визначенні багатовидів використовувати інформацію одного, двох, чи всіх трьох кольорових каналів зображення.

Наші подальші дослідження будуть зосереджені на знаходженні афінно- фотометрично інваріантних багатовидів фотограмметричних кольорових зображень при обмеженні простору моделі до третього ступеня. Знаходження достатньої для вирішення задач ідентифікації кількості інваріантів дозволить обмежити порядок моделі до квадратики або кубіки, що зменшить об'єм обчислень на відміну від розрахунків для моделей більш високих порядків.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Калініна Н. Ю. Математична інваріантна модель ідентифікації кольорових зображень / Н. Ю. Калініна, В. В. Гнатушенко // Тези доповідей восьмої міжнародної науково-практичної конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS-2010)» – Дніпропетровськ: ДНУ, 2010. – С. 91-92.
2. Корчинський В.М. Геометрична модель ідентифікації багатокомпонентних зображень / В.М. Корчинський, В.В. Гнатушенко // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Мелітополь: ТДАТА, 2002. - Вип. 4, т.16. – С. 26-30.
3. Калініна Н.Ю. Інваріантні характеристики кольорових RGB-зображень / Н.Ю. Калініна // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць –Випуск 1 (72). Том 1 – Дніпропетровськ, 2011. – С. 39-44.