

ІНВАРІАНТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЬОРОВИХ RGB-ЗОБРАЖЕНЬ

Анотація. У роботі запропоновано новий підхід до визначення інваріантних до геометричних та фотометричних перетворень інформаційних характеристик кольорових зображень. Це дозволило підвищити точність автоматизованої ідентифікації цифрових кольорових зображень.

Ключові слова: кольорове зображення, інваріант, моменти зображення, семіінваріант.

Постановка проблеми

При вирішенні задач зіставлення зображень та їх елементів, ідентифікації об'єктів на зображенні, визначення параметрів викривлення зображення широко використовується знаходження інваріантних до комплексу умов фіксації і відповідних перетворень характеристик зображень. Наприклад, для використання у фотограмметрії дешифрувальні ознаки повинні бути інваріантними, принаймні, до впливу таких факторів, як освітленість об'єкта, вплив атмосфери, а також до геометричних (у загальному випадку проєктивних) перетворень. Найбільш ефективною формою математичної моделі ідентифікації зображень є подання відеоінформації множиною числових параметрів — інформаційних характеристик. Таким чином реалізується модель у багатовимірному просторі, де зображення трактуються як точки цього простору. У багатьох задачах обробки цифрових зображень знайшли широке використання моментні інваріанти, що розраховуються на основі моментних характеристик зображень. Основним достоїнством моментних інваріантів є нечутливість до поворотів зображення, що робить їх використання найбільш ефективним у якості ознак в задачі розпізнавання на зображенні об'єктів невідомої орієнтації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У роботах [1, 2] були досліджені інваріантні характеристики кольорових зображень, поданих у форматі RGB, на основі моментних

характеристик зображень. Кольорове зображення математично описується вектором інваріантних моментів для геометричних і фотометричних перетворень таким чином: нехай $R(x,y)$, $G(x,y)$ і $B(x,y)$ означають RGB-значення пікселя в позиції (x,y) на зображенні. Узагальнені моменти кольору для інваріантної області Ω :

$$M_{pq}^{abc} = \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y x^p y^q [R(x,y)]^a [G(x,y)]^b [B(x,y)]^c. \quad (1)$$

M_{pq}^{abc} називають момент (узагальнений колір) порядку $p+q$ і в ступені $a+b+c$. Зміни в зображеннях стереопари, що були отримані з різних точок зору, моделюються афінним перетворенням зображення і фотометричними змінами, які були викликані різницею в освітленні, і представляють собою афінні перетворення інтенсивності у кожній кольоровій групі. Геометричні викривлення моделюються афінним перетворенням:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де a_{11} , a_{12} , a_{21} , a_{22} – параметри масштабування, b_1 , b_2 – параметри зсуву зображення.

Зміни в освітленості зображень моделюються фотометричним перетворенням для кожної з кольорових груп R, G, B:

$$i'_K(x,y) = s_K i_K(x,y) + u_K, \quad (3)$$

де $K \in \{R,G,B\}$. s_K – параметри змінення яскравості випромінювання кожного з кольорових каналів, u_K – параметри «шуму» кожного з каналів. Ефект, що комбінує ці геометричні і фотометричні перетворення по моментам M_{pq}^{abc} отримуємо наступним чином:

$$M_{pq}^{abc} = \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y [a_{11}x + a_{12}y + b_1]^p [a_{21}x + a_{22}y + b_2]^q [s_R R(x,y) + u_R]^a [s_B B(x,y) + u_B]^c abs(|A|) \quad (4)$$

що після розкриття дужок, дає лінійну комбінацію моментів порядку $\leq(p+q)$ і ступеня $\leq(a+b+c)$. Знаходження інваріантних характеристик кольорового шаблону інваріантної області Ω зводиться до знаходження функцій цих узагальнених кольорових моментів, що є інваріантними перетворенням. Результуючі моментні інваріантні характеристики є комбінацією кольорових моментів M_{00}^{abc} , M_{01}^{abc} , M_{10}^{abc} , де

$(a,b,c) \in \{(0,0,0), (1,0,0), (0,1,0), (0,0,1), (2,0,0), (0,2,0), (0,0,2), (1,1,0), (1,0,1), (0,1,1)\}$.

Після афінного та фотометричного перетворення для всіх a,b,c :

$$\begin{pmatrix} (M_{10}^{abc})' \\ (M_{01}^{abc})' \\ (M_{00}^{abc})' \end{pmatrix} = s_R^a s_B^b s_B^c |A| \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & b_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_{10}^{abc} \\ M_{01}^{abc} \\ M_{00}^{abc} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Об'єднані геометричні і фотометричні інваріантні характеристики зображень до першого порядку і другого ступеню включно є комбінацією кольорових моментів [1].

Незважаючи на ряд достоїнств системи IX на основі моментів, їхнє практичне застосування має низку принципних обмежень, які пов'язані з відсутністю взаємної однозначності відображення (ізоморфізму) множини геометричних форм зображень на простір IX. Унаслідок цього, відновлення вихідного зображення (вихідної функції яскравості) по наявному набору моментів (навіть як завгодно великого обсягу), являє собою практично нерозв'язну проблему.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Ці обставини ставлять задачу знаходження нових об'єднаних афінно- і фотометрично-інваріантних кольорових багатовидів подання проєкційних зображень з метою оптимізації алгоритмів їхнього аналізу, що дозволить відновляти зображення із заданою точністю за скінченною множиною обчислених інформаційних характеристик.

Основна частина

У роботах [3, 4] були розвинені математичні моделі форм цифрових зображень. У відповідності з цими моделями множина розподілів функцій яскравості (ФЯ) таких зображень подається точками багатовидів у просторі IX — безрозмірних семіінваріантів S_{nm} порядку N від ФЯ:

$$S_{nm} = \frac{1}{j^N} \frac{\partial^N}{\partial u_1^n \partial u_2^m} \ln F(\mathbf{u}) \Big|_{\mathbf{u}=\mathbf{0}}, \quad (6)$$

де $j = \sqrt{-1}$ — уявна одиниця; $F(\mathbf{u})$ — інтегральне перетворення Фур'є ФЯ зображення з вектором параметрів $\mathbf{u} = (u_1, u_2)$, $N = n + m$.

Внаслідок дискретизованого подання відеоінформації визначення семіінваріантів безпосередньо за виразом (6) принципово не-

можливе, тому для кольорових моментів цифрового зображення до першого порядку і другого ступеню включно безрозмірні семіінваріанти обчислюються наступним чином:

$$\begin{aligned} S_{00}^{abc} &= \ln(M_{00}^{abc}), \\ S_{01}^{abc} &= \frac{M_{01}^{abc}}{M_{00}^{abc}}, \\ S_{10}^{abc} &= \frac{M_{10}^{abc}}{M_{00}^{abc}}, \end{aligned} \quad (7)$$

де $(a,b,c) \in \{(0,0,0), (1,0,0), (0,1,0), (0,0,1), (2,0,0), (0,2,0), (0,0,2), (1,1,0), (1,0,1), (0,1,1)\}$. Інваріантність геометричної моделі зображень фіксованого об'єкта до позиційних умов їхньої фіксації включає, серед іншого, незалежність від метричних характеристик зображень [5]. Тому за IX прийнято безрозмірні комбінації:

$$X_{nm}^{abc} = S_{nm}^{abc} \exp\left(-\frac{NS_{00}^{abc}}{2}\right). \quad (8)$$

Стосовно задач, пов'язаних із розпізнаванням геометричних форм проєкційних зображень, багатовид, інваріантний відносно афінної групи перетворень у площині зображення реалізується у вигляді квадрики. Але квадриками не вичерпуються багатовиди, інваріантні до геометричних перетворень зображень загальною афінною групою. В даній роботі пропонуються нові багатовиди, які реалізуються безрозмірними комбінаціями до першого порядку і другого ступеню включно, які є інваріантними водночас до афінних і до фотометричних перетворень. Обмеження порядку X_{nm}^{abc} до першого $((n+m)=0$ або $1)$ обмежує збільшення простору моделі, тобто не потребує обчислення семіінваріантів більш високих порядків. Для кожного з трьох кольорових каналів окремо знайдено геометричні і фотометричні інваріанти на основі безрозмірних комбінацій X_{nm}^{abc} узагальнених кольорових семіінваріантів до першого порядку і другого ступеня включно:

0-й порядок, 2-а ступінь:

$$B_{02} = \frac{X_{00}^2 X_{00}^0}{(X_{00}^1)^2}; \quad (9)$$

1-й порядок, 2-а ступінь:

$$B_{12} = \frac{X_{10}^1 X_{01}^2 X_{00}^0 + X_{10}^2 X_{01}^0 X_{00}^1 + X_{10}^0 X_{01}^1 X_{00}^2 - X_{10}^0 X_{01}^2 X_{00}^1 - X_{10}^1 X_{01}^0 X_{00}^2 - X_{10}^2 X_{01}^1 X_{00}^0}{X_{00}^2 X_{00}^1 X_{00}^0}, \quad (10)$$

де X_{nm}^i дорівнює кожному з X_{nm}^{i00} , X_{nm}^{0i0} або X_{nm}^{00i} .

Знайдено 10 інваріантних характеристик зображення для будь-яких 2-х з 3-х кольорових каналів на основі безрозмірних комбінацій X_{nm}^{abc} узагальнених кольорових семіінваріантів до першого порядку і другого ступеня включно:

0-й порядок, 2-а ступінь: B_{02}^1 , B_{02}^2 і

$$C_{02} = \frac{X_{00}^{11} X_{00}^{00}}{X_{00}^{10} X_{00}^{01}} \quad (11)$$

1-й порядок, 1-а ступінь:

$$B_{12} = \frac{X_{10}^{10} X_{01}^{01} X_{00}^{00} + X_{10}^{01} X_{01}^{00} X_{00}^{10} + X_{10}^{00} X_{01}^{10} X_{00}^{01} - X_{10}^{00} X_{01}^{01} X_{00}^{10} - X_{10}^{10} X_{01}^{00} X_{00}^{01} - X_{10}^{01} X_{01}^{10} X_{00}^{00}}{X_{00}^{10} X_{00}^{01} X_{00}^{00}} \quad (12)$$

1-й порядок, 2-а ступінь: B_{12}^1 , B_{12}^2 ,

$$C_{12}^1 = \frac{X_{10}^{10} X_{01}^{11} X_{00}^{00} + X_{10}^{11} X_{01}^{00} X_{00}^{10} + X_{10}^{00} X_{01}^{10} X_{00}^{11} - X_{10}^{00} X_{01}^{11} X_{00}^{10} - X_{10}^{10} X_{01}^{00} X_{00}^{11} - X_{10}^{11} X_{01}^{10} X_{00}^{00}}{X_{00}^{11} X_{00}^{10} X_{00}^{00}} \quad (13)$$

$$C_{12}^2 = \frac{X_{10}^{01} X_{01}^{11} X_{00}^{00} + X_{10}^{11} X_{01}^{00} X_{00}^{01} + X_{10}^{00} X_{01}^{01} X_{00}^{11} - X_{10}^{00} X_{01}^{11} X_{00}^{01} - X_{10}^{01} X_{01}^{00} X_{00}^{11} - X_{10}^{11} X_{01}^{01} X_{00}^{00}}{X_{00}^{11} X_{00}^{01} X_{00}^{00}} \quad (14)$$

$$C_{12}^3 = \frac{X_{10}^{10} X_{01}^{02} X_{00}^{00} + X_{10}^{02} X_{01}^{00} X_{00}^{10} + X_{10}^{00} X_{01}^{10} X_{00}^{02} - X_{10}^{00} X_{01}^{02} X_{00}^{10} - X_{10}^{10} X_{01}^{00} X_{00}^{02} - X_{10}^{02} X_{01}^{10} X_{00}^{00}}{X_{00}^{10} X_{00}^{02} X_{00}^{00}} \quad (15)$$

$$C_{12}^4 = \frac{X_{10}^{20} X_{01}^{01} X_{00}^{00} + X_{10}^{01} X_{01}^{00} X_{00}^{20} + X_{10}^{00} X_{01}^{20} X_{00}^{01} - X_{10}^{00} X_{01}^{01} X_{00}^{20} - X_{10}^{20} X_{01}^{00} X_{00}^{01} - X_{10}^{01} X_{01}^{20} X_{00}^{00}}{X_{00}^{20} X_{00}^{01} X_{00}^{00}} \quad (16)$$

де B_{nm}^i підраховується так же, як інваріант B_{nm} для i -го кольорового каналу (для 2-х з 3-х кольорових каналів), і X_{nm}^{ij} дорівнює кожному з X_{nm}^{ij0} , X_{nm}^{i0j} або X_{nm}^{0ij} , для 2-х обраних кольорових каналів.

Для всіх 3-х кольорових каналів RGB-моделі, знайдено 21 інваріантну характеристику на основі безрозмірних комбінацій X_{nm}^{abc} узагальнених кольорових семіінваріантів до першого порядку і другого ступеня включно:

0-й порядок, 2-а ступінь: B_{02}^R , B_{02}^G , B_{02}^B , C_{02}^{RG} , C_{02}^{RB} , C_{02}^{GB} ;

1-й порядок, 1-а ступінь: C_{11}^{RG} , C_{11}^{RB} , C_{11}^{GB} ;

1-й порядок, 2-а ступінь: B_{12}^R , B_{12}^G , B_{12}^B , $C_{12}^{1(RG)}$, $C_{12}^{1(RB)}$, $C_{12}^{1(GB)}$, $C_{12}^{2(RG)}$,

$$C_{12}^{2(RB)}, C_{12}^{2(GB)}, C_{12}^{3(RG)}, C_{12}^{3(GB)}, C_{12}^{4(RB)},$$

де B_{ij}^K і C_{nm}^{KL} є двоканальними інваріантами, що були визначені у (9)-(16), але застосовуються до кольорових груп K і L . Вочевидь, що

інваріантні характеристики з участю всіх 3-х кольорових груп завжди можна виразити як комбінацію інваріантних характеристик за участю 2-х з 3-х кольорових груп.

Висновки та перспективи подальших досліджень

На основі математичної моделі форм растрових цифрових зображень – семіінваріантних характеристик і методу використання інтенсивності випромінювання різних кольорових каналів RGB-моделі були знайдені нові інваріантні характеристики кольорових зображень. Знайдені інваріанти є стійкими до афінної групи геометричних перетворень і, водночас, стійкими до лінійних змін значень інтенсивності випромінювання кожного з кольорових RGB-каналів. Таким чином досягається інваріантність відносно розташування точки огляду і відносно освітленості сцени. Інваріантні характеристики ґрунтовані на моментних характеристиках зображень до першого порядку, що не потребує обчислення моментів більш високих порядків. Це робить знайдені інваріантні характеристики універсальним інструментом для широкого кола додатків. Для дистанційного зондування метод надає потрібний засіб для ідентифікації аерокосмічних і супутникових зображень; в області фотограмметрії метод виявляється корисним для пошуку багатовидових відношень. Наші подальші дослідження будуть присвячені питанням знаходження нових інваріантних характеристик кольорових сканерних зображень, пов'язаних афінними і фотометричними перетвореннями.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mindru F. Color-based moment invariants for viewpoint and illumination independent recognition of planar color patterns / F. Mindru, T. Moons, L. Gool // Katholieke Universitet Leuven, ESAT/PSI, Leuven (Belgium) CVPR 2007: 134-143.
2. Mindru F. Invariant color features for matching and target recognition / F. Mindru, T. Tuytelaars // Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III). Baltasavias et al. (eds.), 2001.
3. Гнатушенко В.В. Математична модель ідентифікації цифрових зображень / В. В. Гнатушенко, Н.Ю. Калініна // Прикладна геометрія та інженерна графіка. - К.: КНУБА, 2010. - Вип. 86. - С. 94-98.
4. Гнатушенко В. В. Інваріантні системи ознак в задачах розпізнавання фотограмметричних зображень / В.В. Гнатушенко // Вісник ХДТУ. – Херсон: ХДТУ, 2003. - № 3 (19). – С. 90-93.
5. 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.

Получено 10.01.2010 г.