УДК 515.2

РОЗПІЗНАВАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ РІЗНОГО ПРОСТОРОВОГО РОЗРІЗНЕННЯ

к.т.н. В.В. Гнатушенко
(подав д.т.н., проф. Д.В. Голкін)

Запропоновано новий метод розпізнавання фотограмметричних зображень, що представлені у растрових форматах комп'ютерної графіки, що враховує багатокомпонентну структуру та принципи формування таких зображень. Функції яскравості таких зображень представлені безрозмірними комбінаціями семіінваріантів заданого порядку, що у сукупності утворюють багатомірний простір моделі. Це дозволяє ідентифікувати об'єкти без використання складних алгоритмів, що пов'язані з перетворенням знімків, що, в свою чергу, підвищує достовірність розпізнавання.

Загальна постановка проблеми та її зв'язок із науково-практичними завданнями. Однією з основних проблем в області автоматизованого оброблення відеоінформації є інтерпретація та розпізнавання геометричних форм зображень. Її значущість визначається тим, що візуалізація фізичних полів матеріальних об'єктів є одним з основних способів дослідження їхніх характеристик. Оскільки геометрична форма зображення об'єкта залежить від позиційних умов фіксації відеоінформації, основна вимога до методів автоматизованого аналізу зображень полягає в інваріантності до геометричних перетворень, зумовлених зміною цих умов. Зосередимося на обробці зображень, одержаних методами дистанційного зондування (ДЗЗ). Для таких даних характерне подання у растрових форматах, де кожен піксел зображення представляє визначену елементарну площадку на поверхні Землі, і значення цього піксела відповідає кількості відображеної чи випроміненої енергії від цієї площадки. У багатьох випадках необхідно обробляти разом зображення однієї і тієї ж ділянки, зібрані з різних джерел. Але просторове розрізнення космічних зображень та аерознімків може варіювати від декількох кілометрів до сантиметрів. Щоб порівняти окремі зображення попіксельно, піксельні сітки порівнюваних зображень повинні бути конформні. Для трансформації окремих зображень в одну координатну сітку використовуються способи ректифікації. Хоча деякі алгоритми ректифікації і є досить ефективними, але при цій операції все-таки губиться певна спектральна інформація. Тому виникає задача розробки таких алгоритмів розпізнавання, що не потребують перетворення аналізованих зображень.

Аналіз останніх досліджень. В роботах [1, 2] були розвинуті багатовимірні інформаційно-геометричні моделі зображень проекційної природи, які інваріантні стосовно їхніх афінних перетворень. В межах цих моделей зображення подається скінченною множиною нормованих семіінваріантів парного порядку від функцій яскравості (або індикаторних функцій), яка утворює лінійний простір із псевдоевклідовою метрикою. Але дані моделі не враховують специфіку формоутворення космічних зображень, зокрема їх багатокомпонентність. Іншими авторами [3, 4] пропонуються алгоритми обробки зображень (класифікація, ректифікація, прив'язка зображень та ін.), які змінюють або геометрію зображення в цілому, або значення окремих пікселів.

Формулювання цілей статті. Ціллю роботи є розробка нового методу розпізнавання зображень, отриманих засобами дальньої фотограмметрії та поданих у растрових форматах комп'ютерної графіки, який дозволив би ідентифікувати об'єкти без втрати спектральної інформації.

Основна частина та результати дослідження. Суттєве значення у сучасних способах формування та відтворення відеоінформації мають багатокомпонентні зображення, які розглядаємо у межах наступного означення.

Означення 1. Багатокомпонентним є зображення, яке складається зі скінченної множини фрагментів із власними функціями яскравості, кожний з яких має інформаційне значення при інтерпретації зображення в цілому.

Таким чином, растрові зображення можуть розглядатися як багатокомпонентні, окремі фрагменти яких є пікселами (або їх групами) з однаковим рівнем яскравості. До зображень цього типу належать зображення, зафіксовані відеодатчиками у вигляді дискретних сенсорних поверхонь, в якості яких велике поширення набули матриці на елементах із зарядовим зв'язком. Кожний елемент такої матриці фіксує окремий фрагмент зображення, який відтворюється у вигляді піксела.

Індикаторна функція складеного зображення, яке включає M фрагментів (далі M-зображення), у відповідності з його означенням подається сумою індикаторних функцій утворюючого зображення

$$f_M(\mathbf{r}) = \sum_{\alpha=1}^{M} f_0\left(\widehat{T}_\alpha \mathbf{r}\right), \tag{1}$$

де $\widehat{T}_\alpha$ – оператор геометричного перетворення, яким сформовано α-й фрагмент зображення, причому фрагменти попарно не перетинаються. Якщо за утворююче зображення прийняти квадрат, то у формоутворенні окремих фрагментів таких зображень беруть участь тільки перетворення гомотетії та паралельних перенесень утворюючого зображення

$$\hat{T}_\alpha \mathbf{r} = \mathbf{A}_\alpha \left(\mathbf{r} - \mathbf{b}_\alpha\right), \tag{2}$$

де $\mathbf{A}_\alpha$ – матриці гомотетій з коефіцієнтами k_α; $\mathbf{b}_\alpha$ – вектор перенесення центра для фрагмента α.

Таким чином, геометричну форму багатокомпонентних зображень складають сукупність геометричних форм окремих фрагментів та розташування на площині зображення сукупності точок із радіус-векторами $\mathbf{b}_\alpha, \alpha = \overline{1, M}$.

Індикаторну функцію зазначеної дискретної точкової множини можна подати у вигляді

$$f_p(\mathbf{r}) = \sum_{\alpha=1}^{M} \delta\left(\mathbf{r} - \mathbf{b}_\alpha\right), \tag{3}$$

де $\delta(\mathbf{r})$ – дельта-функція Дірака.

Можна показати, що зв’язок між декартовими моментами М-зображення $(\boldsymbol{M}_{nm})$ та його окремих фрагментів $M_{nm}^{(\alpha)}$ має вигляд:

$$\boldsymbol{M}_{nm} = \sum_{\alpha=1}^{M} \sum_{j=0}^{n} \sum_{l=0}^{m} \frac{1}{k_\alpha^2} C_n^j C_m^l M_{nm}^{(\alpha)} \left(b_1^{(\alpha)}\right)^n \left(b_2^{(\alpha)}\right)^m, \tag{4}$$

де $C_n^j = \frac{n!}{j! \cdot (n-j)!}$ – біноміальні коефіцієнти.

На основі цього співвідношення (4) можна одержати семіінваріанти індикаторної функції М-зображення, які є основою афінно-інваріантної моделі інтерпретації зображень [2]. Розглянемо окремий випадок формоутворення М-зображень на основі гомотетій з однаковими коефіцієнтами k для усіх фрагментів, що характерне для зображень растрових форматів комп’ютерної графіки. В окремому випадку другого порядку моделі $(n + m = 2)$ маємо:

$$S_{02} = \frac{1}{M\sigma_0}\left[s_{02} + k^2 \left\langle \left(b_2 - \langle b_2 \rangle\right)^2 \right\rangle\right]; \tag{5}$$

$$S_{11} = \frac{1}{M\sigma_0}\left[s_{11} + k^2 \left\langle \left(b_1 - \langle b_1 \rangle\right)\left(b_2 - \langle b_2 \rangle\right) \right\rangle\right]; \tag{6}$$

$$S_{20} = \frac{1}{M\sigma_0}\left[s_{20} + k^2 \left\langle \left(b_1 - \langle b_1 \rangle\right)^2 \right\rangle\right], \tag{7}$$

де s_{nm} – семіінваріанти піксела; S_{nm} – семіінваріанти растрового зображення; σ_0 – площа утворюючого зображення $(\sigma_0 = M_{00})$. В (5) – (7) кутовими дужками позначено операцію усереднення відповідних величин за множиною фрагментів.

Зв'язок між семіінваріантами нульового порядку для растрового зображення та окремого піксела встановлюється співвідношенням

$$S_{00} = \ln s_{00} + k^{-2} \ln M . \tag{8}$$

На підставі виразів (5) – (8) сформуємо компоненти вектора подання М-зображення у просторі $\mathbf{R}_1^3$ у відповідності з його означенням, введеним вище:

$$Z_1 = \frac{z_1}{M} + \frac{k^2}{M\sigma_0}\left\langle \left(b_2 - \langle b_2 \rangle\right)^2 \right\rangle ; \tag{9}$$

$$Z_2 = \frac{z_2}{M} + \frac{k^2}{M\sigma_0}\left\langle \left(b_1 - \langle b_1 \rangle\right)\left(b_2 - \langle b_2 \rangle\right) \right\rangle ; \tag{10}$$

$$Z_3 = \frac{z_3}{M} + \frac{k^2}{M\sigma_0}\left\langle \left(b_1 - \langle b_1 \rangle\right)^2 \right\rangle , \tag{11}$$

де $\mathbf{Z}, \mathbf{z}$ – вектори подання растрового та утворюючого зображень у просторі моделі $\mathbf{R}_1^3$.

Як випливає з результатів робіт [5, 6], рівняння квадрики подання багатокомпонентного зображення у просторі $\mathbf{R}_1^3$ має вигляд

$$M^2 \cdot (\mathbf{Z} - \mathbf{u})^{T} \mathbf{G} (\mathbf{Z} - \mathbf{u}) = F_2^2 , \tag{12}$$

де $\mathbf{G}$ – матриця метричного тензора простору $\mathbf{R}_1^3$. У співвідношенні (12) через $|F_2|$ позначено радіус афінно-інваріантної псевдосфери, на якій розташована точка подання форми утворюючого зображення; $\mathbf{u}$ – вектор подання дискретної точкової множини розташування фрагментів на картинній площині.

Враховуючи означення метричного тензора простору $\mathbf{R}_1^3$, рівняння (12) можна записати в термінах радіусів афінно-інваріантних псевдосфер, що подають у ньому геометричні форми утворюючого та растрового зображень і множини точок (3). Після переходу до координатного реперу, пов'язаного з головними напрямами зазначених псевдосфер, це рівняння набуває вигляду

$$F_2^2 = M^2 (\mathbf{Y} - \mathbf{v})^{T} \widetilde{\mathbf{G}} (\mathbf{Y} - \mathbf{v}), \tag{13}$$

де $\widetilde{\mathbf{G}} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$; $\mathbf{y}, \mathbf{Y}, \mathbf{v}$ – відповідно вектори подання утворюючого та

М-зображень і множини точок $\left\{b_j : j=\overline{1,2}\right\}$ з компонентами

$$v_i = \left\langle \left(b_1 - \left\langle b_1 \right\rangle\right)^{i-1} \left(b_2 - \left\langle b_2 \right\rangle\right)^{3-i} \right\rangle, i=\overline{1,3}. \quad (14)$$

В загальному випадку компоненти вектора $\mathbf{v}$, усереднені за множиною фрагментів багатокомпонентного зображення, залежать від кількості М цих фрагментів. Приймемо до уваги, що в практичних ситуаціях, пов'язаних з обробкою фотограмметричних зображень растрових форматів, кількість цих фрагментів є великою, що дає підстави використовувати для оцінки характеру залежності $\mathbf{v} = \mathbf{v}(M)$ результати теорії ймовірності стосовно статистичних характеристик вибірок великих обсягів. Центральна гранична теорема теорії ймовірності стверджує, що залежність результату усереднення за такими вибірками послабляється при збільшенні потужності вибірки [7]. Застосовуючи це твердження до проблеми, яка розглядається, приймемо, що залежністю вектора $\mathbf{v}$ від кількості фрагментів можна знехтувати.

Враховуючи інваріантність геометричної моделі до гомотетії зображень, в (9) – (11) можна прийняти $\sigma_0 = 1;\ k = 1$. В результаті одержуємо співвідношення між векторами подання двох багатокомпонентних зображень $\mathbf{Z}_1, \mathbf{Z}_2$ з різною кількістю фрагментів M_1, M_2:

$$\mathbf{Z}_2 = \mathbf{Z}_1 \left(\frac{M_1 - M_2}{M_1 M_2} \right) + \mathbf{Z}_1 \left(\frac{M_1}{M_2} \right). \quad (15)$$

Для зображень із великою кількістю фрагментів перший доданок у (15) суттєво менший другого, внаслідок чого маємо

$$\mathbf{Z}_2 \cong \mathbf{Z}_1 \frac{M_1}{M_2}, \quad (16)$$

тобто вектори подання двох багатокомпонентних зображень, які подають фіксований клас геометричних форм, практично колінеарні. В межах точності співвідношення (15) вектори подання такого растрового зображення та дискретної множини розташування на площині його фрагментів також колінеарні.

Тестування співвідношень (15), (16) здійснювалося на фотограмметричному зображенні ділянки земної поверхні, одержаному з космічного носія і поданому на рис. 1. Зображення на рис. 2 є результатом виділення контуру цього зображення і має формат 256×256. В межах використаної моделі формоутворення М-зображень це відповідає утворюючому зображенню у вигляді окремого піксела, його гомотетії з коефіцієнтом $k = 1$ та паралельним перенесенням. Зображення, наведене на рис. 3, було одержане на основі гомотетії піксела з коефіцієнтом $k = 0.5$; зображення на рис. 4 — гомотетії піксела з коефіцієнтом $k = 0.25$. Чисельні значення характеристик зображень наведені в табл. 1. Аналіз відповідних даних підтверджує виконання умови колінеарності векторів подання зображень.

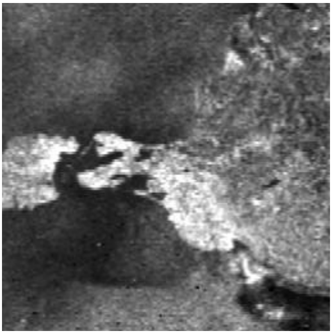

Рис. 1. Фотограметричне зображення ділянки поверхні Землі

Рис. 2. Результат виділення контурів

Рис. 3. Коефіцієнт гомотетії піксела $k = 0.5$

Рис. 4. Коефіцієнт гомотетії піксела $k = 0.25$

Таблиця 1

Чисельні значення характеристик зображень

Коефіцієнт гомотетії k	Z_1	Z_2	Z_3	Кількість фрагментів M
k = 1 (рис. 2)	0.8400	– 0.0602	0.8701	4576
k = 0.5 (рис. 3)	1.5412	– 0.1165	1.5735	2523
k = 0.25 (рис. 4)	3.3166	– 0.2178	3.4384	1155

Наведені дані підтверджують виконання співвідношення (16), яке тим самим може бути прийняте за необхідну умову належності двох багатокомпонентних зображень із векторами подання $\mathbf{Z}_1, \mathbf{Z}_2$ до одного класу геометричних форм, який визначається вектором розташування фрагментів $\mathbf{v}$.

Перспективи подальших досліджень. Проведення подальших досліджень буде пов'язано з розглядом можливостей застосування розробленої моделі для обробки мульті- та гіперспектральних зображень.

Висновки. Запропонований новий метод розпізнавання фотограмметричних зображень, поданих у растрових форматах комп'ютерної графіки, дозволяє ідентифікувати об'єкти без застосування складних алгоритмів, пов'язаних з перетворенням зображень. Це, в свою чергу, дозволяє підвищити достовірність розпізнавання.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Гнатушенко В.В. Інваріантна модель оброблення та розпізнавання ізопланатичних зображень // Праці VI-ї Всеукраїнської міжнародної конференції з оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів "УкрОбраз – 2002". – К.: Інститут кібернетики НАН України, 2002. – С. 139 – 142.*
2. *Корчинский В.М. Инвариантные геометрические модели форм составных изображений // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К. – 1997. – Вип. 61. – С. 115 – 118.*
3. *C.-I Chang, D. Heinz. Subpixel spectral detection for remotely sensed images // IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing. – May 2000. – Vol. 38, no. 3. – P. 1144 – 1159,*
4. *Arto Kaarna, Pavel Zemcik, Heikki Kalviainen, Jussi Parkkinen. Compression of multispectral remote sensing images using clustering and spectral reduction // IEEE Trans. Geosciences and Remote Sensing. – March 2000. – Vol. 38, no. 2. – P. 1073 – 1082.*
5. *Корчинский В.М. Инвариантные информационные признаки пространственных форм проекционных изображений // Прикладная геометрия и инженерная графика. – К. – 1994. – Вып. 57. – С. 87 – 89.*
6. *Корчинський В.М., Реута О.В. Ідентифікація фотограметричних зображень на основі інваріантних просторових форм плоских геометричних об'єктів // Прикладная геометрия и инженерная графика. – К. – 1996. – Вып. 59. – С. 102 – 105.*
7. *Чистяков В.П. Курс теории вероятностей. – М., 1975. – 224 с.*

Надійшла 12.08.2003

***ГНАТУШЕНКО Володимир Володимирович**, канд. техн. наук, доцент кафедри електронних засобів телекомунікацій Дніпропетровського національного університету, У 1993 році закінчив Дніпропетровський національний університет. Область наукових інтересів – обробка зображень.*