

УДК 528.8

В. И. Волошин¹, В. М. Корчинский²

¹Державне підприємство «Дніпрокосмос», Дніпропетровськ

²Дніпропетровський національний університет, Дніпропетровськ

Инвариантные информационные признаки классов объектов на многозональных космических снимках в задачах их идентификации

Надійшла до редакції 26.10.06

Пропонується система інформаційних ознак просторових розподілів яскравостей багатоспектральних зображень, інваріантна до їхніх афінних перетворень, зумовлених порушеннями юстування оптико-механічної системи сканера та нестабільностями позиційних умов зйомки. Підвищення достовірності ідентифікації здійснено шляхом її реалізації до великомасштабних складових розподілів яскравостей зображень.

Пространственная нестабильность средств фиксации видовой информации дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с аэрокосмических носителей и нарушение юстирования оптико-механических систем датчиков электромагнитного излучения — носителя видовой информации — приводят к аффинным преобразованиям распределений яркостей формируемых снимков [3, 10]. Такие искажения снижают достоверность классификации изображений, что существенно для многозональных снимков, поскольку параметры указанных преобразований различны в разных спектральных диапазонах.

Мы предлагаем систему информационных признаков (ИП) пространственных (по полю снимка) распределений яркостей многоспектральных изображений, инвариантную к их аффинным преобразованиям и фиксируемому спектральному диапазону.

Формообразование изображений ДЗЗ, фиксируемых в коротковолновых диапазонах электромагнитного спектра (оптическом, инфракрасном), достаточно точно описывается изоплана-

тическим приближением — пространственное распределение яркости снимка (ПРЯС) является результатом свертки собственной яркости отображаемой сцены в фиксируемом спектральном диапазоне с функцией рассеяния точки (оптической передаточной функцией иконической системы формирования изображений) [6, 11]

$$I(\mathbf{r}) = \int_{(\Omega)} P(\mathbf{r} - \boldsymbol{\rho}) I_0(\boldsymbol{\rho}) d\boldsymbol{\rho}, \quad (1)$$

где Ω — поле зрения датчика, \mathbf{r} — радиус-вектор точки поля снимка, $I(\mathbf{r})$ и $I_0(\boldsymbol{\rho})$ — пространственные распределения яркостей изображения и собственной яркости сцены, $P(\mathbf{r})$ — функция рассеяния точки (ФРТ).

В качестве основы для системы информационных признаков (ИП) изображений примем семиинварианты распределений их яркостей

$$S_{nm} = \frac{1}{i^{n+m}} \frac{\partial^{n+m}}{\partial u_1^n \partial u_2^m} \ln F(\mathbf{u})|_{u=0}, \quad (2)$$

где $F(\mathbf{u})$ — преобразование Фурье от $I(\mathbf{r})$; $\mathbf{u} =$

$= (u_1, u_2)$ — ковариантный вектор пространственных частот снимка; n, m — целые числа, начиная с нуля, сумма которых определяет порядок семиинварианта $N = n + m$; $i = \sqrt{-1}$ — мнимая единица.

С учетом соотношения (1) семиинварианты произвольного порядка от ПРЯС приобретают вид

$$S_{nm} = P_{nm} + s_{nm}, \quad (3)$$

где P_{nm}, s_{nm} — соответственно семиинварианты ФРТ и собственной яркости сцены.

Для обеспечения масштабной инвариантности ИП необходимы безразмерные комбинации семиинвариантов функций распределения яркостей. В соответствии с π -теоремой теории размерностей [12], на основе величин $S_{n, m}$ можно образовать $N + 1$ таких комбинаций, которые примем в виде

$$Z_i = S_{i, N-i} \exp\left(-\frac{N}{2} S_{00}\right), \quad i = 0, \dots, N. \quad (4)$$

В силу своего определения величины Z_i при $N \geq 2$ не зависят от параллельных переносов изображения. При его масштабировании величины Z_i изменяются в соответствии с выражениями

$$\bar{Z}_i = Z_i k_1^{(N+2-2i)/2}, \quad \bar{Z}_i = Z_i k_2^{(2i-2-N)/2}, \quad (5)$$

где k_1, k_2 — коэффициенты масштабирования вдоль горизонтальной и вертикальной осей координатной системы снимка (КСН), чертой сверху обозначены преобразованные значения.

При косых сдвигах изображения вдоль осей КСН преобразования Z_i имеют вид

$$\begin{aligned} \bar{Z}_i &= \sum_{k=0}^i C_i^k (-1)^{i-k} a^{i-k} Z_k, \\ \bar{Z}_i &= \sum_{k=0}^i C_{N-i}^k (-1)^{N-i-k} b^{N-i-k} Z_k, \end{aligned} \quad (6)$$

где a, b — параметры косых сдвигов вдоль горизонтальной и вертикальной осей КСН, C_i^k — биномиальные коэффициенты.

Преобразования Z_i при повороте изображения на угол α имеют вид

$$\bar{Z}_i = \sum_{k=0}^i C_i^k (-1)^{i-k} \cos^k \alpha \sin^{i-k} \alpha Z_k. \quad (7)$$

На основании выражений (5)—(7) по методике, предложенной в работе [8], можно определить следующие комбинации Z_i для четных порядков используемых семиинвариантов, инвариантные к указанным преобразованиям, совокупность которых определяет общее аффинное преобразование снимка:

$$F_n = Z_n^2 - 2 \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(-1)^k (n!)^2 Z_{n-k-1} Z_{n+k+1}}{(n-k-1)!(n+k+1)!}, \quad (8)$$

$$n = N/2.$$

Величины F_n рассматриваем как аффинно-инвариантные ИП изображения. Классы объектов при этом определяются как множества изображений, отличающихся от эталонного всевозможными аффинными преобразованиями. Решающее правило классификации состоит в сравнении ИП различных порядков, вычисленных для анализируемого снимка, с их эталонными значениями. Информативность ИП возрастает с увеличением их порядков.

Известен ряд интегральных ИП, инвариантных к частным случаям аффинных преобразований распределений яркостей изображений, на основе декартовых моментов таких распределений [1, 9] и различных модификаций, полученных из декартовых моментов ортогональными преобразованиями — моменты Цернике [13] и др. Существенное ограничение использования таких ИП для информационного представления многотонных изображений состоит в неоднозначности отображения распределений яркостей на множества моментов [2]. Семиинварианты в качестве ИП пространственных распределений свободны от этого ограничения — восстановление координатных зависимостей по множеству их семиинвариантов возможно с произвольной точностью, определяемой мощностью этого множества [2]. В вычислительном отношении семиинварианты представляют собой нелинейные алгебраические формы декартовых моментов [2, 7].

Выражение (8) получено для непрерывного по полю снимка распределения его яркости. Для растровых изображений инвариантность предложенной системы ИП нарушается по отношению к косым сдвигам и поворотам вследствие дискретности растровой системы координат снимка.



Рис. 1. Первичный многоспектральный снимок (а) и аппроксимирующий компонент максимального уровня декомпозиции (б)

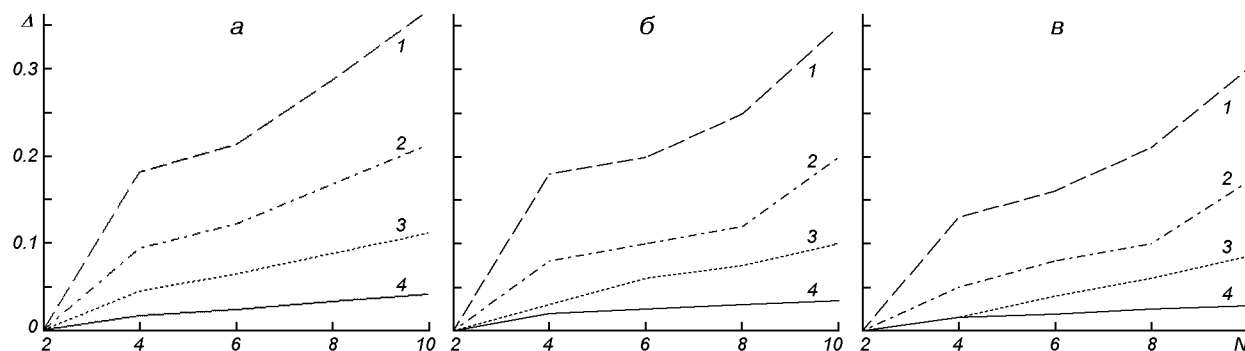


Рис. 2. Зависимость ошибки инвариантности от порядка ИП: а — красный канал, б — зеленый канал, в — синий канал

На рис. 1, а приведено первичное многоспектральное изображение, которое было подвергнуто поворотам с различными углами. Для этих изображений определялись аффинно-инвариантные ИП (8) различных порядков, а также относительные ошибки инвариантности, обусловленные растровым характером изображения, которые определялись из выражения $\Delta = |(F_n - \bar{F}_n)/F_n|$, где F_n — ИП первичного изображения, \bar{F}_n — ИП изображения, подвергнутого повороту. На рис. 2 приведены графики зависимости относительной ошибки инвариантности от порядка использованных семиинвариантов N для различных углов α поворота снимка (1 — $\alpha = 45^\circ$, 2 — $\alpha = 34^\circ$, 3 — $\alpha = 23^\circ$, 4 — $\alpha = 12^\circ$) и различных спектральных каналов. Нетрудно видеть, что ошибка инвариантности увеличивается с увеличением порядка ИП, что приводит к снижению достоверности классификации, поскольку ИП тем информативнее, чем выше его порядок. Ошибка инвариантности тем меньше, чем ниже информативность снимка, определенная его сигнальной энтропией, предложенной в работе [4] (для красного канала сигнальная энтропия составляет 7.2313, для зеленого канала — 7.0372, для синего канала — 6.1323).

Повышение достоверности идентификации при невысоких порядках используемых информационных признаков, для которых ошибка инвариантности мала, может быть достигнуто реализацией идентификации применительно к крупномасштабным составляющим распределений яркостей классифицируемых изображений, выделенных посредством их вейвлет-декомпозиции.

Вейвлет-декомпозиция изображения состоит в его разделении на крупномасштабную (аппроксимирующую) и мелкомасштабную (детализирующую) составные, причем этот процесс может быть повторен для аппроксимирующей компоненты, сформированной на каждом этапе декомпозиции. Как известно из теории вейвлет-преобразований, для каждой размерности цифрового изображения есть максимально достижимый уровень вейвлет-декомпозиции [5]. Соответствующая аппроксимирующая составляющая содержит наиболее крупномасштабные компоненты первичного снимка с наиминимальным уровнем сигнальной энтропии [4]. На рис. 1, б приведено аппроксимирующее изображение красного канала первичного цифрового снимка, представленного на рис. 1, а. Сигнальная энтропия данного изображения составляет 5.8314.

Ошибки инвариантности для указанных углов поворота данного изображения уменьшаются по сравнению с первичным изображением на 70—90 % для второго — десятого порядков ИП, что находится в пределах вычислительной погрешности. Вероятность правильного определения анализируемого снимка к классу, представленному эталонным изображением, составляет 0.9871.

1. Анисимов Б. В., Курганов В. Д., Злобин В. К. Распознавание и цифровая обработка изображений. — М.: Высш. шк., 1983.—296 с.
2. Ахманов С. А., Дьяков Ю. Е., Чиркин А. С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. — М.: Наука, 1981.—680 с.
3. Бейтс Р., Мак-Доннел М. Восстановление и реконструкция изображений: Пер. с англ. — М.: Мир, 1989.—334 с.

4. Волошин В. И., Корчинский В. М., Негода А. А. Повышение информативности панхромных цифровых изображений дистанционного зондирования Земли // *Космічна наука і технологія*.—2004.—10, № 5/6.— С. 178—181.
5. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам: Пер. с англ. — Москва—Ижевск: РХД, 2004.—256 с.
6. Кирейтов В. Р. Обратные задачи фотометрии. — Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1983.—326 с.
7. Кляцкин В. И. Статистическое описание динамических систем с флуктуирующими параметрами. — М.: Наука, 1975.—256 с.
8. Корчинський В. М. Інформаційно-геометрична модель багатотонних та багатоспектральних фотограмметричних зображень на основі узагальнених моментів // *Прикладна геометрія та інженерна графіка*.—2003.— Вип. 73.—С. 72—77.
9. Кочевых В. И., Никонов В. К. Система зрительного анализа объектов робот роботизированного производства. — Киев: Техніка, 1990.—128 с.
10. Лобанов А. Н., Журкин И. Г. Автоматизация фотограмметрических процессов. — М.: Недра, 1980.—240 с.
11. Очин В. Ф. Вычислительные системы обработки изображений. — Л.: Энергоатомиздат, 1989.—134 с.
12. Седов Л. И. Методы размерности и подобия в механике. — М: Наука, 1984.—324 с.
13. Khotanzad A., Hong Y. H. Rotation invariant pattern recognition using Zernike moments // *Proc. of 9th Int. Conf. ICPR*. — Rome (Italy), 1998.—P. 326—328.

INVARIANT INFORMATION FEATURES OF OBJECT CLASSES ON MULTISPECTRAL SPACE IMAGES IN PROBLEMS OF THEIR IDENTIFICATION

V. I. Voloshin, V. M. Korchinskii

We offer the system of informative features of brightness distributions of space images which is invariant to their distortions caused by sensor disalignment and instabilities of positional parameters of a survey. The identification reliability is enhanced on the basis of wavelet decomposition of primary image for elimination of its most informative spatial components.