

УДК 681.3.01

В. Н. Милич, А. И. Мурынов

(Ижевск)

**МЕТОД АНАЛИЗА ТЕКСТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
С КОМПЕНСАЦИЕЙ ВЛИЯНИЯ ФОТОГРАФИЧЕСКОГО КАНАЛА**

Рассматривается метод анализа текстурных изображений, обеспечивающий оценку параметров текстуры изображенных объектов и факторов формирования и регистрации изображений. В результате применения метода повышается вероятность распознавания текстур и устанавливаются в явном виде характеристики качества изображения, соотнесенные с качеством образцов.

Как известно [1, 3—7], эффективность методов анализа и распознавания текстур определяется выбором системы признаков, обеспечивающей различимость областей, соответствующих различным видам текстур. Однако при воздействии различных искажающих факторов формирования и регистрации изображений различимость текстур может снизиться до недопустимо низкого уровня. Этот эффект обусловлен расширением соответствующих областей в пространстве признаков с образованием их значительных пересечений. В частности, при космической фотосъемке земной поверхности характерны воздействие светорассеяния в атмосфере, сдвиг изображения за время экспозиции, абберрации оптической системы, светорассеяние в фотослое и другие факторы, являющиеся причиной искажения шкалы тонопередачи и размытия структуры изображения, приводящей, в свою очередь, к потере разрешающей способности [2, 3, 8]. Вариации параметров искажений настолько велики, что области в пространстве признаков практически полностью перекрываются. Полная стабилизация этих параметров на практике неосуществима [3]. Поэтому необходима нормализация фотоизображений по отношению к искажающим факторам, приводящая последние к стандартизованным значениям, что возможно только при наличии оценок значений этих параметров.

Ниже рассматривается метод анализа, использующий групповую обработку текстур на изображении и позволяющий получить оценки искажающих факторов и структурных характеристик изображенных объектов.

Метод строится на основе деления системы признаков на две подсистемы. Первая составлена из признаков, зависящих от действующих искажений, вторая образуется признаками, по возможности устойчивыми (инвариантными) к этим искажениям. Анализ зависимостей признаков первой подсистемы от искажающих факторов позволяет нормализовать их значения и использовать в качестве различающих признаков совместно со второй подсистемой, что повышает различимость текстур.

Механизм формирования и регистрации изображений, имеющий достаточно общий вид [2, 3, 6, 8], описывается соотношением

$$\tilde{f}(t) = Af(t) * h(t) + B, \quad (1)$$

где  $f(t)$  и  $\tilde{f}(t)$  — функции, описывающие структуру объекта и изображения соответственно;  $t$  — пространственная координата;  $A$  и  $B$  — вещественные параметры;  $h(t)$  — импульсный отклик;  $*$  — знак свертки функций.

Модель вида (1) определяет сдвиг  $\tilde{f}(t)$  на  $B$  и масштабирование в  $A$  раз шкалы тонопередачи, а также ограничение разрешающей способности исходного сигнала  $f(t)$  при свертывании его с импульсным откликом  $h(t)$ . Без существенных ограничений общности [8] полагаем  $h(t)$  имеющей вид нормированной гауссоиды:

$$h(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi H_h}} \exp\left[-\frac{t^2}{2H_h}\right]. \quad (2)$$

При описании однородных текстур будем использовать следующие их характеристики [6]: математическое ожидание  $M_f$ , ковариационную функцию  $C_f(t)$  и дисперсию  $S_f^2 = C_f(0)$ . Аналогично (2) и в согласии с экспериментальными результатами [4] полагаем

$$C_f(t) = \frac{S_f^2}{\sqrt{2\pi H_f}} \exp\left[-\frac{t^2}{2H_f}\right]. \quad (3)$$

Характеристики изображения  $\tilde{f}(t)$  с учетом модели (1) имеют следующий вид:

$$\tilde{M}_f = AM_f + B, \quad (4)$$

$$\tilde{C}_f(t) = C_f(t) * h(t) * h(t) = A^2 S^2 \sqrt{H_f/(H_f + 2H_h)} \exp\left[-\frac{t^2}{2(H_f + 2H_h)}\right], \quad (5)$$

$$\tilde{S}_f^2 = A^2 S^2 \sqrt{H_f/(H_f + 2H_h)}. \quad (6)$$

Учитывая воспроизводимость гауссоид при операции свертывания (5) и аддитивный характер параметров  $H$  в показателе экспоненты (2) и (3), целесообразно использовать этот параметр в качестве признака первой подгруппы. При этом имеет место

$$\tilde{H}_f = H_f + 2H_h. \quad (7)$$

Уравнения (4), (6) и (7) описывают преобразование характеристик исходной структуры  $M_f$ ,  $S_f$  и  $H_f$  в характеристики изображения  $\tilde{M}_f$ ,  $\tilde{S}_f$  и  $\tilde{H}_f$ , соответствующие преобразованию (1) исходного сигнала  $f(t)$  в изображениях  $\tilde{f}(t)$ . Указанные характеристики образуют первую подгруппу признаков, зависящих от действия искажающих факторов сдвига  $B$  и масштабного коэффициента  $A$  шкалы тонопередачи и размера размытия  $H_h$ . Последние не могут быть определены непосредственно, так как не известны характеристики исходного сигнала  $f(t)$  (объекта).

Тем не менее нормализация характеристик изображения по отношению к искажающим факторам возможна, если при наличии нескольких изображений, формирование характеристик которых описывается системой (4), (6) и (7), одно из них выбрать в качестве образцового, а для каждого из остальных

найти параметры преобразования его характеристик в характеристики образца. Для образцового изображения (отмечается индексом 0) имеет место следующая система уравнений:

$$\begin{aligned} M_0 &= A_0 M_f + B_0, \\ S_0^2 &= A_0^2 S_f^2 \sqrt{H_f / (H_f + 2H_{h0})}, \\ H_0 &= H_f + 2H_{h0}. \end{aligned} \quad (8)$$

Решив систему (8) относительно  $M_f$ ,  $S_f$  и  $H_f$  и подставив найденные значения в систему (4), (6), (7), получим уравнения, связывающие характеристики анализируемого и образцового изображений:

$$\begin{aligned} \tilde{M} &= KM + E, \\ \tilde{S}^2 &= KS_0^2 \sqrt{H_0 / (H_0 + F)}, \\ \tilde{H} &= H_0 + F, \end{aligned} \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned} E &= -KB_0 + B, \\ K &= A/A_0, \\ F &= 2(H_{h0} - H_h). \end{aligned} \quad (10)$$

Как видно из (9), характеристики анализируемой текстуры и образцовой преобразуются друг в друга. При этом параметры преобразования (10)  $E$ ,  $K$ ,  $F$  зависят от параметров формирования как образцового, так и анализируемого изображения. С учетом характера их вхождения в уравнения системы (9) и того, как они влияют на характеристики структуры, целесообразно следующее их наименование:  $E$  — экспозиционный фактор,  $K$  — фактор контрастности,  $H$  — фактор разрешения. Эти факторы дают исчерпывающее описание соответствующих видов искажений.

Исходя из изложенного, обработка информации производится следующим образом.

1. На образцовом изображении выбирается несколько видов текстур (опорных) и измеряются параметры  $M_0$ ,  $S_0$ ,  $H_0$  для каждого из этих видов.

2. На анализируемом изображении для всех имеющихся на нем опорных видов текстур также измеряются параметры  $\tilde{M}$ ,  $\tilde{S}$ ,  $\tilde{H}$ .

3. Для каждого опорного вида текстуры определяются факторы  $E$ ,  $K$ ,  $F$  из решения системы (9):

$$\begin{aligned} E &= M - (\tilde{S}/S_0)M_0 \sqrt[4]{\tilde{H}/H_0}, \\ K &= (\tilde{S}/S_0) \sqrt{\tilde{H}/H_0}, \\ F &= \tilde{H} - H_0. \end{aligned} \quad (11)$$

4. Значения факторов  $E$ ,  $K$ ,  $F$  находятся по совокупности опорных видов текстур.

5. Для всех анализируемых видов текстур определяются характеристики  $\tilde{M}$ ,  $\tilde{S}$ ,  $\tilde{H}$ , которые подвергаются нормализующему преобразованию, обратно-

Вид текстуры	Факторы		
	<i>E</i>	<i>K</i>	<i>F</i>
1	0,06	0,91	5,54
2	-0,01	0,86	4,51
3	0,04	0,86	2,52
Среднее	0,03	0,88	4,20

му преобразованию (9). Полученные нормализованные значения признаков в дальнейшем, наряду с признаками второй группы, используются в качестве различительных.

Весьма важным для данной схемы обработки информации является вопрос о выборе опорных видов текстур на анализируемом изображении. Простейшим способом выбора опорных объектов является визуальный анализ структуры их изображения, уста-

навливающий их сходство с опорными объектами на образцовом изображении. Этот способ, однако, имеет ограниченное применение, так как возможности зрительного анализатора человека ограничены и не для всех видов текстур удается установить их сходство или различие.

Более надежным способом является выбор в качестве опорных тех видов объектов, которые могут быть распознаны по признакам второй группы. Ограниченность этого способа проявляется в том, что количество распознаваемых по второй группе объектов на анализируемом изображении может оказаться невелико (или они вообще отсутствуют в силу случайности набора видов текстур на изображении). Это ограничение практически удается снять, если, помимо распознаваемых по второй группе признаков объектов, использовать объединенные виды, образованные совокупностями трудноразличимых структур.

Опыт практической работы показал, что сочетание указанных способов обеспечивает надежное решение задачи выбора необходимого количества опорных объектов.

Кроме рассмотренной нормализации изображений относительно имеющих место искажений, введение в рассмотрение фактора разрешения *F* позволяет определить разрешающую способность изображений по текстурам (в отличие от известных методов, использующих стандартные тест-объекты [2, 3, 7, 8]).

В соответствии с [2, 8] разрешающая способность *R* изображения определяется из решения уравнения

$$\exp[-(R^2/2)H_h] = 6GR, \quad (12)$$

где *G* — константа гранулярности Селвина.

Используя уравнение (12) для анализируемого изображения и образцового (с заменой *R* на *R*<sub>0</sub> и *H<sub>h</sub>* на *H<sub>h0</sub>*), а также выражение для *F* из (10), получим

$$\frac{\ln(6GR)}{R^2} = \frac{\ln(6GR)}{R_0^2} - F/4. \quad (13)$$

Решение уравнения (13) выражает значение разрешающей способности *R* анализируемого изображения как функции разрешающей способности *R*<sub>0</sub> образцового изображения.

Описанный метод реализован в виде программного обеспечения в системе обработки космических фотоснимков, построенной на базе персональной ЭВМ и сканирующего анализатора изображений. Пример экспериментальной проверки метода дается в таблице, где приведены значения факторов *E*, *K*, *F* для трех видов текстур одного изображения.

Разброс значений экспозиционного фактора *E* и фактора контрастности *K* на два порядка меньше диапазонов возможных вариаций этих величин, что свидетельствует о качестве нормализации изображений. Численное решение уравнения (13) с использованием значений фактора разрешения *F* из таблицы дает оценку *R* = 13 мм<sup>-1</sup>, в то время как истинные значения *R* = 12 мм<sup>-1</sup>, а *R*<sub>0</sub> = 30 мм<sup>-1</sup>.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев Г. А., Базарский О. В., Глауберман А. С. и др. Анализ и синтез случайных пространственных текстур // Зарубеж. радиоэлектрон. 1984. № 2.
2. Вендровский К. В., Вейцман А. И. Фотографическая структурометрия. М.: Искусство, 1982.
3. Живичин А. Н., Соколов В. С. Дешифрирование фотографических изображений. М.: Недра, 1980.
4. Милич В. Н. Экспериментальное исследование структурно-статистических свойств текстурных изображений // Дискретные системы обработки информации. Ижевск, 1981. Вып. 3.
5. Мурынов А. И. Анализ однородных пространственно-распределенных стохастических структур // Анализ и интерпретация пространственно-распределенных структур. Свердловск: УрО АН СССР, 1988.
6. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. М.: Мир, 1982. Кн. 2.
7. Харалик Р. Н. Статистический и структурный подходы к описанию текстур // ТИИЭР. 1979. 67, № 5.
8. Фризер Х. Фотографическая регистрация информации. М.: Мир, 1978.

*Поступила в редакцию 6 октября 1995 г.*

---