

Санкт-Петербургский Государственный Университет Аэрокосмического Приборостроения

Для идентификации и классификации сложных биологических объектов наиболее высокоинформативным инвариантом является текстура. Примерами таких объектов могут быть радужная оболочка глаза и ядра белых кровяных телец.

Для описания текстуры используются три принципиальных подхода: структурный, спектральный и статистический. Исследования на примере ядер белых кровяных телец показали наибольшую эффективность классификации при использовании статистических текстурных описателей на основе модифицированных матриц совместной встречаемости уровней яркости.

Положим размер анализируемого изображения  $N_x$  на  $N_y$ , число уровней яркости –  $N_g$ . Пусть  $L_x = \{1, 2, \dots, N_x\}$  и  $L_y = \{1, 2, \dots, N_y\}$  – соответственно горизонтальная и вертикальная пространственная область, а  $G = \{1, 2, \dots, N_g\}$  – множество уровней яркости изображения. Тогда изображение может быть определено следующим образом:  $I: L_x \times L_y \rightarrow G$ .

Матрица совместной встречаемости уровней яркости представляет собой оценку плотности распределения вероятностей второго порядка. Элемент матрицы представляет собой условную вероятность  $P(i|j)$  возникновения уровня яркости  $i$  на расстоянии  $d$  от уровня яркости  $j$ . Поскольку число таких матриц может быть очень большим, необходимы некоторые упрощения. Имеет смысл высчитывать 4 матрицы для заданного шага  $d$  для 0, 45, 90 и 135 градусов расположения пар уровней яркости.

Формально элементы матриц для указанных направлений могут быть записаны:

$$P(i|j)_0 = \#\{((k,l), (m,n)) \in (L_x \times L_y) \times (L_x \times L_y) \mid (k-m=0, |l-n|=d), I(k,l)=i, I(m,n)=j\}$$

$$P(i|j)_{45} = \#\{((k,l), (m,n)) \in (L_x \times L_y) \times (L_x \times L_y) \mid (k-m=d, l-n=-d) \text{ or } (k-m=-d, l-n=d),$$

$$I(k,l)=i, I(m,n)=j\}$$

$$P(i|j)_{90} = \#\{((k,l), (m,n)) \in (L_x \times L_y) \times (L_x \times L_y) \mid (|k-m|=d, l-n=0), I(k,l)=i, I(m,n)=j\}$$

$$P(i|j)_{135} = \#\{((k,l), (m,n)) \in (L_x \times L_y) \times (L_x \times L_y) \mid (k-m=d, l-n=d) \text{ or } (k-m=-d, l-n=-d),$$

$$I(k,l)=i, I(m,n)=j\}$$

Полученные матрицы являются квадратными с размером равным  $N_g$ . Для уменьшения вычислительных объемов изображение предварительно подвергается процедуре уменьшения уровней яркости. Для этой цели автором использовалась равновероятностная квантизация, и число рабочих уровней составило 8.

При применении шага для построения матриц  $> 1$  большую информативность статистических описателей можно достигнуть, несколько модифицировав приведенный алгоритм. Предлагается рассчитывать вероятность  $P(i|j)$  возникновения уровня яркости  $i$  после **последовательности** размером  $d$  уровней яркости  $j$ . При этом матрицы совместной встречаемости становятся несимметричными (в отличие от классического подхода), что позволило ввести новые текстурные описатели, например треугольную симметрию. В ходе практического исследования выяснилось, что такой подход значительно улучшает разделяющую способность ряда статистических описателей при работе с низкочастотными текстурами.

Статистические текстурные описатели строятся на основании полученных матриц совместной встречаемости. 14 ставших уже классических текстурных описателя впервые упомянуты в [1]. К ним 7 параметров были добавлены в [2]. Для примера рассмотрим 3 из них:

$$T_1 = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} (P(i|j))^2 \quad (1)$$

$$T_2 = \sum_{n=1}^{N_g-1} n^2 \left( \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{\substack{j=1 \\ |i-j|=n}}^{N_g} P(i|j) \right) \quad (2)$$

$$T_3 = \left( \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} (ij)P(i|j) - \mu_x \mu_y \right) / (\sigma_x \sigma_y) \quad (3)$$

где  $\mu_x$  и  $\mu_y$  математические ожидания частных распределений связанных с  $P(i|j)$  по строкам и столбцам матриц соответственно, а  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  – соответствующие стандартные отклонения.

Выражение (1) описывает угловой второй момент, являющийся мерой однородности текстуры. Формула (2) определяет контраст изображения. Контраст является дифференциальным моментом матрицы совместной встречаемости и дает количественную оценку локальных изменений яркости, присутствующих на изображении. Параметр, заданный по (3) – это корреляция, являющаяся мерой присутствия полутоновой линейной зависимости на изображении.

Каждый текстурный описатель вычисляется четыре раза – по числу сформированных матриц совместной встречаемости (для 0, 45, 90 и 135 градусов). Чаще всего приходится проводить инвариантный по вращению анализ объектов. В этом случае могут быть использованы статистические величины, полученные на основании четырех ориентированных значений: минимум, максимум, математическое ожидание, стандартное отклонение и другие.

Самая сложная и ответственная задача – построение минимального множества наиболее информативных высоко коррелированных параметров. Размер и состав этого множества сильно зависит от конкретной задачи распознавания (класса обрабатываемых объектов), а также выбранного шага для построения матриц. Грамотно построенное множество значительно увеличивает вероятность корректной классификации, а также позволяет уменьшить вычислительные ресурсы, требующиеся при построении, обучении и работе классификатора.

### Литература

1. *Haralick R. M.* et al. Textural features for image classification// IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1973. pp. 610–621.
2. *Pressman N. J.* Markovian analysis of cervical cell images// The journal of histochemistry and cytochemistry. 1976. pp. 138–144.

