

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ МОМЕНТНЫЕ ИНВАРИАНТЫ, ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЯХ ШУМА

К. т. н. А. Д. Медведик, С. М. Конюховский, Т. В. Бруданина

Одесский национальный политехнический университет

Украина, г. Одесса

anatoliy.medvedik@gmail.com

*С помощью математического моделирования проведен анализ эффективности алгоритмов принятия решения по критерию минимума евклидова расстояния и по критерию максимума отношения правдоподобия, если в качестве компонент вектора признаков используются моментные инварианты  $X_u$ . Эффективность алгоритма принятия решения оценивалась по величине вероятности правильного распознавания. По результатам моделирования определена эффективность каждого из алгоритмов при использовании различных моделей шума.*

*Ключевые слова: распознавание образов, моментные инварианты, евклидово расстояние, байесовский классификатор, вероятность правильного распознавания.*

В задачах распознавания образов в качестве компонент векторов признаков широкое применение находят моментные инварианты [1], основным достоинством которых является их нечувствительность к аффинным искажениям: сдвигу, масштабу, повороту. В ряде работ, например [2, 3], классификация принятого изображения осуществляется по критерию минимума евклидова расстояния. Причем, как правило, процедура распознавания ведется в условиях воздействия шума. При разработке алгоритмов распознавания (классификации) и анализе их эффективности в качестве модели шума, накладываемого на изображение, чаще всего используется случайный процесс с нормальным законом распределения и нулевым средним [2]. Однако в задачах распознавания изображений, когда амплитуды сигналов пропорциональны яркости элементов разложения, данная модель не в полной мере соответствует реальности, поскольку отрицательные значения сигналов исключены. Более адекватной на наш взгляд, моделью шума, является шум, характеризующийся усеченным нормальным законом распределения.

Целью работы является анализ эффективности алгоритмов принятия решения по критерию минимума евклидова расстояния и по критерию максимума отношения правдоподобия с использованием моментных инвариантов  $X_u$ .

На основе критерия согласия Пирсона путем моделирования была подтверждена гипотеза о нормальном законе распределения моментных инвариантов как при нормальном законе распределения шума, так и при усеченном нормальном законе распределения шума, воздействующего на изображение.

С учетом этого, а также принимая во внимание то, что компоненты векторов признаков, т.е. моментные инварианты, статистически зависимы, а ковариационные матрицы образов, относящихся к различным классам, не одинаковы, решающая функция по критерию максимума отношения правдоподобия следующая [2]:

$$D_{ij}(X) = 0,5 \ln(|C_i|) + 0,5 \ln(|C_j|) - 0,5(X - \bar{\varphi}_i)^T C_i^{-1}(X - \bar{\varphi}_i) + 0,5(X - \bar{\varphi}_j)^T C_j^{-1}(X - \bar{\varphi}_j),$$

где  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_k\}$  и  $\bar{\varphi}_i = \{\bar{\varphi}_{i1}, \bar{\varphi}_{i2}, \dots, \bar{\varphi}_{i7}\}$  — соответственно,  $k$ -мерный вектор признаков образа, который подлежит классификации, и  $k$ -мерный вектор средних значений инвариантов  $X_u$  для  $i$ -го класса.

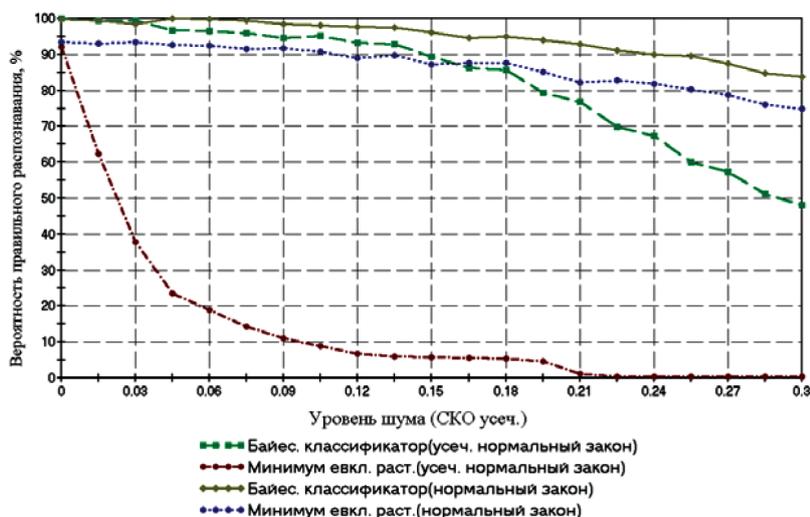
Решающая функция по критерию максимума квадрата евклидова расстояния записывается следующим образом [2]:

$$U_{ij}(X) = X^T (Z_i - Z_j) - \frac{1}{2} (Z_i^T Z_i - Z_j^T Z_j),$$

где  $Z_i = \{\varphi_{i1}, \varphi_{i2}, \dots, \varphi_{ik}\}$  —  $k$ -мерный вектор признаков эталонного образа  $i$ -го класса.

Оценка эффективности алгоритмов принятия решения проводилась с помощью моделирования в среде MATLAB. Качество распознавания оценивалось по величине вероятности правильного распознавания, усредненной по всем символам. В процедуре распознавания использовались 22 буквенно-цифровых символа с разрешением  $32 \times 32$  пикселя. Классифицируемый образ формировался на основе эталонного путем добавления шума или с нормальным законом распределения или с усеченным нормальным законом распределения. Аффинные искажения вводились путем случайным образом выбираемых углов вращения изображения символа в пределах от 0 до 359 градусов и изменения его масштаба от 1 до 3 раз. При сопоставлении результатов моделирования принято во внимание, что дисперсия шума с усеченным (односторонним) нормальным законом распределения связана с дисперсией нормально распределенного шума следующим соотношением:

$$\sigma_{ус}^2 = \sigma_n^2 \cdot \left(1 - \frac{2}{\pi}\right).$$



По результатам моделирования можно сделать следующие выводы.

В случае шума с нормальным законом распределения эффективность распознавания алгоритма на основе минимума евклидова расстояния близка к эффективности байесовского классификатора. Однако по мере увеличения уровня шума проигрыш евклидова алгоритма байесовскому возрастает и достигает 10—15%.

В случае шума с усеченным нормальным законом распределения качество распознавания как байесовским, так и евклидовыми алгоритмами снижается, причем ухудшение вероятности правильного распознавания алгоритмом по минимуму евклидова расстояния весьма существенное. Как следует из приведенных на рисунке зависимостей, уже при среднеквадратических отклонениях более 0,05 этот алгоритм практически перестает работать.

Как и следовало ожидать, аффинные преобразования изображений (сдвиг, масштаб и поворот) не приводят к заметным изменениям качества распознавания, т.е. основной вклад в снижение эффективности распознавания вносят искажения, обусловленные воздействием шума на изображение.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. HU M-K Visual Pattern Recognition by Moment Invariants // IKE Transactions on Information Theory.— 1962.— Vol. 8. — P. 179—187.
2. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов — Москва: МИР, 1978.
3. Huang, Z., & Leng, J. Analysis of Hu's Moment Invariants on Image Scaling and Rotation. // ICCET.— 2010.— P. 476—480.

A. D. Medvedik, S. M. Konyukhovskii, T. V. Brudanina

#### Efficiency of recognition algorithms using moment invariants for various noise models

*Using mathematical modeling, the authors analyze the effectiveness of decision-making algorithms by the criterion of minimum code distance and by the criterion of maximum likelihood ratio, when Hu moment invariants are used as components of the feature vector. The effectiveness of the decision-making algorithm is estimated by the magnitude of the correct recognition probability. Simulation and analysis of the results was carried out, and the effectiveness of each of the algorithms was determined using different noise models.*

*Keywords: pattern recognition, moments invariants, Euclidian distance, Bayes classifier, probability of correct recognition.*