

## ПРИЛОЖЕНИЕ

к статье Е.Г. Комышева, М.А. Генаева, Д.А. Афонникова  
«Анализ цветовых и текстурных характеристик зерен злаков на цифровых изображениях»

**Таблица 1.** Формулы для вычисления матриц второго порядка при анализе текстуры изображения

Номер формулы	Характеристика (обозначение)	Выражение	Лит. источник
1	Матрица совместной встречаемости уровней серого (GLCM)	$P_d(i, j) = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m \sum_{\Delta x, \Delta y} \begin{cases} 1, & \text{если } I(x, y) = i \text{ и } I(x + \Delta x, y + \Delta y) = j \text{ и } \delta(\Delta x, \Delta y) = d, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$ <p>где <math>x, y</math> – координаты пикселей изображения; <math>0 &lt; x &lt; n, 0 &lt; y &lt; m</math>;  <math>i, j = 0, \dots, k-1, k</math> – число уровней квантования яркости изображения;  <math>\delta(\Delta x, \Delta y)</math> – расстояние между пикселями <math>(x, y)</math> и <math>(x + \Delta x; y + \Delta y)</math>;  <math>I(x, y)</math> – значение яркости пикселя в уровнях градаций серого;  <math>\Delta x</math> – смещение по оси <math>X</math>; <math>\Delta y</math> – смещение по оси <math>Y</math>.</p> <p>Нормированная матрица: <math>p(i, j) = \frac{\sum_x \sum_y P_{x,y}(i, j)}{C}</math>,</p> <p>где <math>C = 2n(m-1) + 2m(n-1) + 4(n-1)(m-1)</math></p>	Haralick et al., 1973; Астафуров и др., 2014
2	Матрица длин серий уровней серого (GLRM)	$q(i, j) = \sum_{\theta} Q_{\theta}(i, j),$ <p>где <math>Q_{\theta}(i, j)</math> – число серий длины <math>j</math> пикселей с уровнем серого <math>i</math> в направлении <math>\theta</math> от пикселя <math>(i, j)</math></p>	Galloway, 1975
3	Локальные шаблоны сходства (LSP)	$LSP_{SRR}(i, j) = \max_{s=0, \dots, 7} LSP_{SRR}(s)$ $LSP_{SRR}(s) = \sum_{i=s}^{s+7(\text{mod } 8)} t(g_i - g_c, SRR) 2^i$ $t(x, d) = \begin{cases} 1, & \text{если }  x  \leq d \\ 0, & \text{если }  x  > d \end{cases}$ <p>где <math>SRR</math> – константа, выбранный радиус схожести; <math>s</math> – параметр, начальная позиция обхода соседних пикселей; <math>t(x, d)</math> – пороговая функция;  <math>g_{0,1, \dots, 7}</math> – значение яркости пронумерованных соседних пикселей;  <math>g_c</math> – значение яркости центрального пикселя</p>	Pourreza et al., 2012
4	Локальные бинарные шаблоны (LBP)	$LBP = \max_{s=0, \dots, 7} LBP(s)$ $LBP(s) = \sum_{p=s}^{s+7(\text{mod } 8)} t(g_p - g_c) 2^p$ $t(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x > 0 \\ 0, & \text{если } x < 0 \end{cases}$ <p>где <math>s</math> – параметр, начальная позиция обхода соседних пикселей;  <math>t(x)</math> – пороговая функция; <math>g_{0,1, \dots, 7}</math> – значения яркости пронумерованных соседних пикселей; <math>g_c</math> – значение яркости центрального пикселя</p>	
5	Локальные числа сходства (LSN)	$LSN_{SRR}^p = \sum_{i=0}^{p^2-2} t(g_i - g_c, SRR)$ $t(x, d) = \begin{cases} 1, & \text{если }  x  \leq SRR \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$ <p>где <math>p = 3, 5, 7, \dots, 2n + 1</math>, – размер окрестности; <math>SRR</math> – константа, выбранный радиус схожести; <math>t(x, d)</math> – пороговая функция;  <math>g_{0,1, \dots, p^2-2}</math> – значения яркости пронумерованных соседних пикселей;  <math>g_c</math> – значение яркости центрального пикселя</p>	

**Таблица 2.** Характеристики, вычисляемые на основе нормированной матрицы GLCM, где  $p(i, j)$  – ее элемент в строке  $i$ , столбце  $j$

Номер формулы	Название	Выражение	Лит. источник
1	Среднее	$\mu = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} ip(i, j)$	Majumdar, Jayas, 1999
2	Дисперсия	$\sigma^2 = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} (i - \mu)^2 p(i, j)$	
3	Однородность	$\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} \{p(i, j)\}^2$	
4	Энтропия	$- \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j) \log_2 \{p(i, j)\}$	
5	Корреляция	$\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} \frac{(i - \mu)(j - \mu)}{\sigma^2} p(i, j)$	
6	Гомогенность	$\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} \frac{1}{1 + (i - j)^2} p(i, j)$	
7	Инерция	$\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} (i - j)^2 p(i, j)$	

Примечание. Пример расчета матрицы совместной встречаемости уровней серого приведен в работе В.Г. Астафурова с коллегами (2014).

## Список литературы / References

- Астафуров В.Г., Евсюткин Т.В., Курьянович К.В., Скороходов А.В. Статистическая модель текстурных признаков перистой облачности по спутниковым снимкам MODIS. *Оптика атмосферы и океана*. 2014;27(07):640-646.  
[Astafurov V.G., Evsyutkin T.V., Kuriyanovich K.V., Skorokhodov A.V. Statistical model of cirrus cloud textural features based on MODIS satellite images. *Optika Atmosfery i Okeana = Atmospheric and Oceanic Optics*. 2014;27(07):640-646.]
- Haralick R.M., Shanmugam K., Dinstein I.H. Textural features for image classification. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* 1973;6:610-621.
- Galloway M.M. Texture analysis using grey level run lengths. *Comput. Graph. Image Proc.* 1975;4:172-179.
- Majumdar S., Jayas D.S. Classification of bulk samples of cereal grains using machine vision. *J. Agric. Eng. Res.* 1999;73(1):35-47. DOI 10.1006/jaer.1998.0388.
- Pourreza A., Pourreza H.R., Abbaspour-Fard M.H., Sadrnia H. Identification of nine Iranian wheat seed varieties by textural analysis with image processing. *Comput. Electron. Agric.* 2012;83:102-108. DOI 10.1016/j.compag.2012.02.005.