

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ, ОСНОВАННЫЙ НА РАЗЛОЖЕНИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ГИСТОГРАММУ ЯРКОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПА РЕЦЕПТИВНЫХ ПОЛЕЙ

Е.А. Зрюмов, С.П. Пронин, А.А. Доренский

В статье предложено универсальное разложение в гистограмму яркости с использованием рецептивных полей. Предложенный метод используется в приборах оптического контроля качества объектов на конвейере.

Ключевые слова: оптико-электронные системы контроля качества, гистограмма яркости, рецептивные поля, обработка изображений.

В современной практике активно используют гистограммы в задачах обработки изображений. Известны методы и программы для их вычисления, однако использование гистограмм ограничивается либо оценением характеристик изображений, либо коррекцией на их основе [1]. В наименьшей степени гистограммы используют в задачах классификации образов. Это обусловлено тем, что на их основе затруднительно построить гибкий классификатор образов [2].

Следовательно, назрела необходимость создания универсального разложения в гистограмму яркости с использованием рецептивных полей, для дальнейшего его использования в задачах классификации образов при контроле качества объектов.

Возможны два пути построения системы классификации: либо с использованием идеального представителя данных, либо с использованием идеального классификатора данных [3]. В универсальном разложении рецептивные поля переносят качественные преобразования с классификатора на представителя, благодаря функциональному преобразованию изображения на этапе его формирования, но не на этапе классификации, как общепринято. Представитель и классификатор взаимосвязаны, и требуют взаимного согласования.

В современной практике цифровое изображение принято получать в виде двумерного массива $f(i,j)$, который является четким множеством вида:

$$M = \alpha_{ij} | p^1 + \alpha_{1+1,j} | p^1 + \dots + \alpha_{i+n,j+m} | p^1,$$

где α_{ij} - яркость на фоточувствительном элементе (ФЧЭ), p^1 - единичная вероятность принадлежности элемента к множеству M .

При таком подходе для любого фоточувствительного элемента выполняется условие:

$$\alpha_{ij} | p^1 \in M.$$

Однако, для последующего разложения в гистограмму яркости, такое представление не является эффективным и не выполняет функциональных преобразований.

Возникает необходимость использования множества M , как пространственного рецептивного поля абстрактного фотоприемника, названного узлом. На матрице размещаются несколько рецептивных полей таких узлов. Поля группируются определенным образом, в соответствии с тем, какое функциональное преобразование требуется выполнить.

Цель работы - разработка разложения изображения в гистограмму яркости с использованием принципа рецептивных полей.

Функциональная схема разложения [4] представлена на рисунке 1. В ней можно выделить узел с пространственным рецептивным полем и узел с яркостным рецептивным полем, а также сумматор, который накапливает вероятностную оценку появления пространственно - яркостных конфигураций в изображении объекта.

Представим пространственное рецептивное поле в виде централизованного нечеткого множества с центром в точке α_{ij}

$$M \subset E_{\omega},$$

где E_{ω} - множество, покрывающее всю площадь матрицы ФЧЭ.

Функция $F_i(\omega)$, описывающая форму пространственного рецептивного поля, принадлежит множеству M , состоит из элементов $\{\omega_{0,0}, \dots, \omega_{i,j}, \dots, \omega_{n,m}\}$, в общем случае представляется в виде суммы следующих составляющих:

$$F_i(\omega) = G_p(\omega)\beta_p^{\omega} + G_{\sigma}(\omega)\beta_{\sigma}^{\omega} + G_D(\omega)\beta_D^{\omega} \quad (1)$$

где $G_p(\omega)$ - прямоугольная функция; $G_p(\omega)$ - функция Гаусса; $G_D(\omega)$ - функция Лапласа; $\omega_{i,j}$ - степень принадлежности ФЧЭ множеству M , - $\beta_p^\omega, \beta_\sigma^\omega, \beta_D^\omega$ нормировочные коэффициенты.

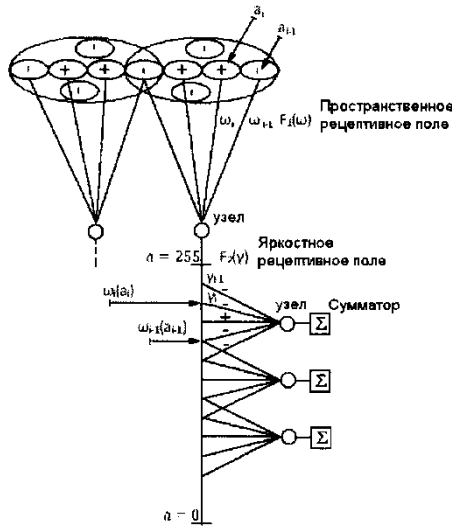


Рисунок 1 - Функциональная схема разложения в гистограмму яркости с использованием принципа рецептивных полей

В данном случае $G_p(\omega)$ приводит гистограмму к классическому виду, $G_p(\omega)$ устраняет скачки вероятности на границе смежных фоточувствительных элементов, $G_D(\omega)$ увеличивает контрастную чувствительность.

Нормировочные коэффициенты $\beta_p^\omega, \beta_\sigma^\omega, \beta_D^\omega$ выбираются так, чтобы выполнялось условие:

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m |\omega_{i,j}| = 1,$$

при выполнении которого $F_1(\omega)$ принадлежит диапазону $[-1, 1]$.

На выходе пространственного рецептивного поля имеем нечеткое множество вида:

$$M = a_{0,0} | \omega_{0,0} + \dots + a_{i,j} | \omega_{i,j} + \dots + a_{n,m} | \omega_{n,m}$$

Представим яркостное рецептивное поле в виде централизованного нечеткого множества с центром в точке b_c

$$\forall E \in E_y$$

где E_y – множество, покрывающее весь диапазон яркостей.

$$\forall E \in E_y$$

Функция $F_2(\gamma)$, описывающая форму яркостного рецептивного поля, принадлежит множеству B , состоит из элементов $\{Y_0, \dots, Y_c, \dots, Y_k\}$, в общем случае представляется аналогично (1) в виде суммы трех составляющих:

$$F_2(\gamma) = G_p(\gamma)\beta_p^\gamma + G_\sigma(\gamma)\beta_\sigma^\gamma + G_D(\gamma)\beta_D^\gamma \quad (2)$$

Нормировочные коэффициенты $\beta_p^\gamma, \beta_\sigma^\gamma, \beta_D^\gamma$ выбираются так, чтобы выполнялось условие:

$$\sum_{i=0}^k \gamma_i = 1,$$

$$K_{b,(i,j)} = (a_{i,j} | \omega_{i,j})\gamma_0 + \dots + (a_{i,j} | \omega_{i,j})\gamma_c + \dots + (a_{i,j} | \omega_{i,j})\gamma_k$$

при выполнении которого $F_2(\gamma)$ принадлежит диапазону $[-1, 1]$.

На 1-выходе b -ого узла имеем множество, вида:

где (i, j) - номер узла пространственного рецептивного поля, с которым сопряжен b -ый узел яркостного рецептивного поля.

Сумматор на выходе узла суммирует элементы множества $K_{b,(i,j)}$:

$$S_b = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m \sum_{c=0}^k (a_{i,j} | \omega_{i,j})\gamma_c \quad (3)$$

Отличительной особенностью данного разложения является то, что определяется вероятностная модель пространственно-яркостной конфигурации, показанная на рисунке 2.

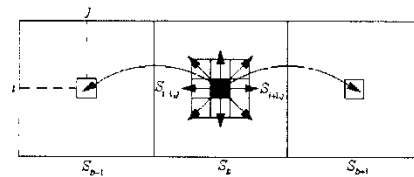


Рисунок 2- Функциональное пространственно-яркостное распределение вероятности

Преимущества принципа рецептивных полей для построения вероятностной модели неоспоримы с позиций классификатора. Как было указано, рецептивные поля переносят качественные преобразования с классификатора на представитель, благодаря чему классификатор предельно упрощается.

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ, ОСНОВАННЫЙ НА РАЗЛОЖЕНИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ГИСТОГРАММУ ЯРКОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПА РЕЦЕПТИВНЫХ ПОЛЕЙ

В общем виде сущность работы классификатора заключается в следующем: пусть имеем нормированные гистограммы яркости эталона и объекта контроля, представленные матрицами соответственно:

$$G_1 = \{g_{11}, \dots, g_{12}, \dots, g_{1n}\}, g_{1i} \in [-1; 1]$$

$$G_2 = \{g_{21}, \dots, g_{22}, \dots, g_{2n}\}, g_{2i} \in [-1; 1].$$

Гистограмма эталона записана в память прибора. Их сравнение производится путем отыскания следующих параметров:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n g_{1i} \cdot g_{2i}}{\sum_{i=1}^n g_{1i}^2}, \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^n g_{1i} \cdot g_{2i}}{\sum_{i=1}^n g_{2i}^2}.$$

Величина X определяет меру близости результата сравнения гистограмм эталону G_1 . Величина Y определяет меру близости результата сравнения гистограмм объекту контроля G_2 .

Функция классификатор:

$$\left(\frac{1}{X + \varepsilon} \right) - \varepsilon - Y = 0$$

определяет линию в координатах X, Y , которая разделяет класс эталона от прочих. Параметр ε задает смещение границы разделения классов.

Очевидно, использовать такой классификатор можно только при условии, когда количество фоточувствительных элементов и их расположение соответствуют фактическому числу и расположению перепадов яркости, а количество уровней яркости соответствует фактическому количеству яркостей объекта контроля. Выход за указанное ограничение увеличивает погрешность классификации.

Одним из предельных случаев рассогласования является использование одного фоточувствительного элемента и одного уровня яркости. Тогда становится невозможным разделение классов, погрешность достигает максимума. Другим предельным случаем рассогласования является использование необоснованно большего числа фоточувствительных элементов и уровней яркости, чем есть фактически в объекте контроля. Погрешность обуславливается переходами вероятности в гистограммах при сколь угодно малом изменении сигнала на границе прилегающих уровней яркости и прилегающих фоточувствительных элементов.

Пусть на изображении объекта контроля имеется $k = (n/4)$ - яркостей по m пикселям, где n - количество уровней яркости в приборе.

Тогда гистограммы изображений запишутся в виде:

$$G_1 = G_2 = \{0_1, 0_2, 0_3, m_4, \dots, 0_{n-3}, 0_{n-2}, 0_{n-1}, m_n\},$$

а результат сравнения равен:

$$G_1 \times G_2 = \{0_1, 0_2, 0_3, m_4^2, \dots, 0_{n-3}, 0_{n-2}, 0_{n-1}, m_n^2\},$$

При затемнении, например, части пикселей am_4 произойдет переход их вероятности попадания в уровень $n=3$.

$$G_1 = \{0_1, 0_2, am_3, m-am_4, \dots, 0_{n-3}, 0_{n-2}, 0_{n-1}, m_n\},$$

Тогда в результате сравнения:

$$G_1 \times G_2 = \{0_1, 0_2, (0^*am)_3, (m-am)_4^* m_4, \dots, 0_{n-3}, 0_{n-2}, 0_{n-1}, m_n^2\},$$

эта часть будет помножена на ноль, от второй гистограммы и результат сравнения скачкообразно уменьшится.

Если число уровней яркости в приборе больше фактического набора яркостей на изображении $n > k$, то $n - k$ уровней яркости будут содержать нули, потому как в них не попадет ни один элемент на изображении. Таким образом, чем больше нулей, тем чувствительнее результат сравнения к смещению данных в гистограммах. Очевидно, что появление нулей в гистограмме - не желательно. Указанная погрешность нормируется следующим образом: пусть вероятность элементов уровня яркости n распределена по всем остальным уровням яркости и нигде не равна нулю, форма распределения задана матрицей коэффициентов $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ для m_4 , и $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ для m_n (рисунок 3).

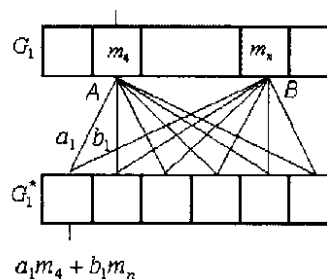


Рисунок 3 - Распределение вероятности между смежными уровнями яркости

Тогда, для некоторого уровня яркости новой гистограммы G_1^* , набор коэффициентов вида $H = \{a_1, b_1\}$ образует рецептивное поле, вид которого описывается согласно (2).

В таком уровне яркости не возникнет нулевых значений, даже при значительном превышении количества уровней яркости в приборе фактического количества яркостей объекта контроля. Простейшей функцией $H = \{a_1, b_1\}$, с помощью которой можно устранить вышеописанную погрешность, является функция Гаусса ($G_p(w)$) (рисунок 4).

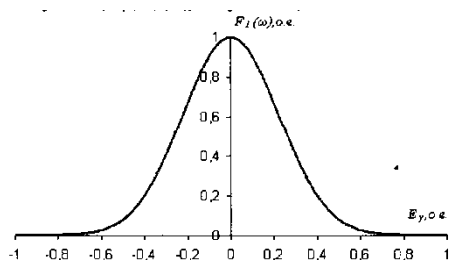


Рисунок 4 - Функция Гаусса определена на множестве E_y

Более эффективной функцией является функция Лапласа ($G_p(\omega)$) (рисунок 5). В отличие от функции Гаусса, функция Лапласа выполняет функциональное преобразование сигнала. Ее использование предполагает, что смежные уровни яркости не могут быть равновероятными. В противном случае положительная и отрицательная область функции Лапласа компенсируют друг друга. Например, белый шум на изображении объекта контроля имеет непрерывный спектр, и создает равную вероятность во всех уровнях яркости. С использованием функции Лапласа белый шум игнорируется.

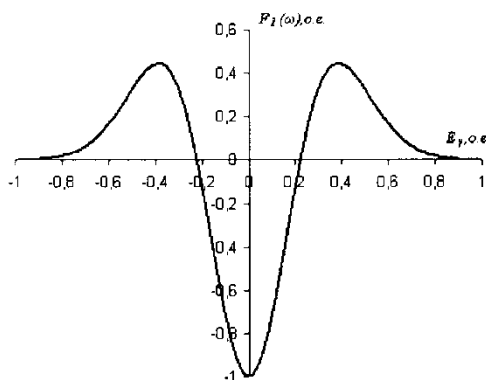


Рисунок 5 - Функция Лапласа определена на множестве E_y

Следовательно, фоточувствительный элемент аналогично уровню яркости также следует вероятностно распределить по всем фоточувствительным элементам, для исключения его четких границ. Для этого фоточувствительные элементы представляются в виде централизованного нечеткого множества с центром в точке a_{ij} .

С использованием такого фоточувствительного элемента не возникает скачкооб-

разных переходов вероятности попадания сигнала между смежными фоточувствительными элементами при сколь угодно малом смещении на их границе.

Разработанный метод разложения в гистограмму яркости с использованием рецептивных полей внедрен в виде средства контроля качества ПЭТ-упаковки на конвейерной линии розлива продукции на ОАО «Барнаульский пивоваренный завод». Данное средство позволяет разделять такие классы изображений ПЭТ-упаковки при выдуве как нормальный объект (рисунок 6, а), деформированный объект (рисунок 6, б), увеличение (рисунок 6, в) или уменьшение плотности ПЭТ-упаковки (рисунок 6, г).

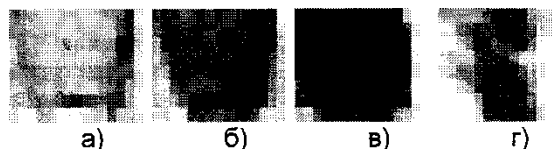


Рисунок 6 - Примеры классов изображений

В результате выполненной работы предложено универсальное разложение в гистограмму яркости с использованием рецептивных полей, осуществляющих функциональное пространственно-яркостное преобразование изображения на этапе его получения. Данный метод используется в приборах оптического контроля качества пластиковых изделий на конвейерных линиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фомин, В.В. Метрологические аспекты анализа изображений / В.В. Фомин, А.П. Михайлович, А.С. Попов и др. // Измерительная техника. - 2008. - №2. - С. 25-28.
2. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений. / Р. Гонсалес, Р. Вудс. - М.: Техносфера, 2005. - 1072с.
3. Дуда, Р. Распознавание образов и анализ сцен: [пер. с англ.] / Р. Дуда, П. Харт; под. ред В.Л. Стефанюка. - М.: Мир, 1976. - 507 с.
4. Зрюмов, Е.А. Средство контроля качества пластиковой бутылки / Е.А. Зрюмов, А.А. Доренский, С.П. Пронин, О.И. Хомутов // Ползуновский альманах - Барнаул: Изд-во АпГТУ, 2006. - №4; С.23-26.

Зрюмов Е.А., к.т.н., E-mail: e.zrumov@mail.ru, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, **Пронин С.П.**, **Доренский А.А.**