

# ПРИБОР КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПЛАСТИКОВОЙ БУТЫЛКИ, ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ

**ЗРЮМОВ Е.А, ПРОНИН С.П., ДОРЕНСКИЙ А.А.**

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
г. Барнаул

Номенклатура современных средств автоматизации непрерывно увеличивается за счет поступления новых, в том числе интеллектуальных датчиков. В области оптического контроля приветствуются простые и надежные решения, практикуемые такими производителями как SICK, BANNER. Область контроля качества упаковки начала осваиваться сравнительно недавно. Это связано с широким распространением недорогих видеокамер на основе ПЗС-матриц и достижениями в области обработки изображений и распознавания образов.

Авторы по результатам исследований [1,2,3] предлагают использовать рецептивные поля и классификатор, на основе сравнения нечетких гистограмм яркости для оценки качества упаковки. Данный метод классификации упрощает вычисления и удобен тем, что для его осуществления достаточно небольших вычислительных ресурсов, которые может обеспечить микроконтроллер общего применения. Это особенно ценно, когда требуется реализовать метод контроля в технически простом приборе контроля. Простота и надежность технического решения является залогом коммерциализуемости прибора.

Цель работы: разработать техническое решение для реализации метода оценки качества пластиковой бутылки в приборе контроля.

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

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

где  $a_{i,j}$  – яркость на фоточувствительном элементе (ФЧЭ),  $p^1$  – единичная вероятность принадлежности элемента к множеству  $M$ .

При таком подходе для любого ФЧЭ выполняется условие:

$$a_{i,j} | p^1 \in M.$$

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

Сущность метода заключается в том, что

множество  $M$  используется, как пространственное рецептивное поле 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.

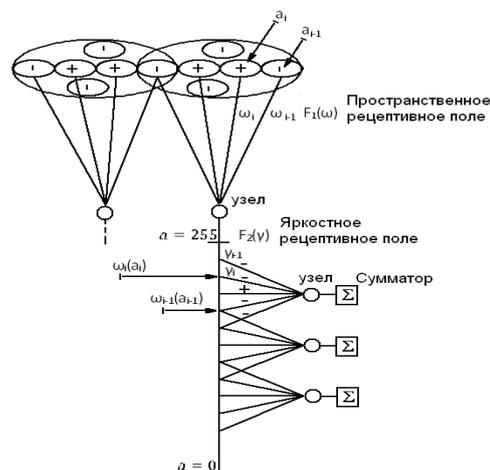


Рисунок 1 – Функциональная схема разложения в гистограмму яркости с использованием принципа рецептивных полей

Функциональная схема разложения 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  $a_{i,j}$

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

где  $E_{\omega}$  – множество, покрывающее всю площадь матрицы ФЧЭ.

Функция  $F_1(\omega)$ , 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:

$$F_1(\omega) = G_p(\omega) \beta_p \omega + G_\sigma(\omega) \beta_\sigma \omega + G_D(\omega) \beta_D \omega \quad (1)$$

где:  $G_p(\omega)$  - прямоугольная функция;  $G(\omega)$  - 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.

В данном случае  $G_p(\omega)$  приводит гистограмму к классическому виду,  $G(\omega)$  устраняет скачки вероятности на границе смежных ФЧЭ,  $G_D(\omega)$  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:

$$M = a_{0,0} \omega_{0,0} + \dots + a_{i,j} \omega_{i,j} + \dots + a_{n,m} \omega_{n,m} \quad (2)$$

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

$$B \in E_\gamma,$$

где  $E_\gamma$  - множество, покрывающее весь диапазон яркостей.

Функция  $F_2(\gamma)$ , описывающая форму яркостного рецептивного поля, принадлежит множеству  $B$ , состоит из элементов  $\{\gamma_0, \dots, \gamma_c, \dots, \gamma_k\}$ , в общем случае представляется аналогично (1) в виде суммы трех составляющих:

$$F_2(\gamma) = G_p(\gamma) \beta_p \gamma + G_\sigma(\gamma) \beta_\sigma \gamma + G_D(\gamma) \beta_D \gamma \quad (3)$$

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

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

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

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

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

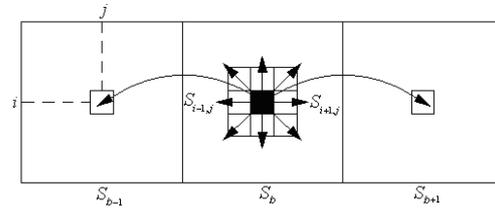


Рисунок 2 – Функциональное пространственно-яркостное распределение вероятности

Преимущества принципа РП для построения вероятностной модели неоспоримы с позиций классификатора. РП переносят качественные преобразования с классификатора на представителя, благодаря чему классификатор предельно упрощается.

Рассмотрим оптико-электронную систему прибора. Одной из задач пространственных рецептивных полей является вероятностное размытие границы фотоприемника, для того, чтобы исключить резкие скачки вероятности попадания сигнала на границе смежных ФЧЭ при сколь угодно малом смещении изображения. Чем детальнее изображение, тем более чувствительна классическая гистограмма яркости [4] к смещениям и прочим преобразованиям входного изображения. Поэтому, наиболее хорошо отвечает поставленной задаче вид рецептивного поля при  $\beta_\sigma \omega \gg \beta_p \omega$ ,  $\beta_\sigma \omega \gg \beta_D \omega$ .

Технически, указанное преобразование приближенно реализует безлинзовая оптико-электронная система проходящего типа, рисунок.3, где  $P_{fi}$  - фотодиод. Приближенность заключается в том, что на выходе фотодиода получается сумма элементов изображения помноженная на апертурную характеристику в отличие от нечеткого множества (2), где каждый элемент независим:

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

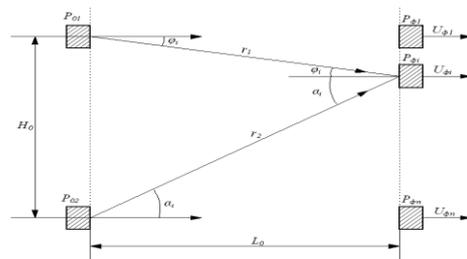


Рисунок 3 – Схема безлинзовой оптико-электронной системы.

Безлинзовая оптическая система имеет диффузную излучающую поверхность. Для простоты выделим на поверхности две диффузные излучающие площадки P01, P02, расположенные в одной плоскости на расстоянии H0 друг от друга. Во второй плоскости, отстоящей от первой на расстоянии L0 и параллельно ей расположенной, установлены фотодиоды Pfi. Примем два условия: во-первых, излучения площадок удовлетворяют закону Ламберта и, во-вторых, расстояние L0 гораздо больше размеров излучающих площадок. Тогда суммарный поток излучения Фi, падающий с двух излучающих площадок на i-ый фотоприемник, можно найти из известной формулы [6]:

$$\Phi_i = B_1 \frac{P_{01} P_{\phi i} \cos^2(\varphi_i)}{r_1^2} + B_2 \frac{P_{02} P_{\phi i} \cos^2(\alpha_i)}{r_2^2} \quad (4)$$

где: B1, B2 - яркости излучающих площадок; r1, r2 - длины соответствующих векторов.

Длины векторов можно выразить через базовое расстояние L0, и соответствующие углы:

$$r1 = L_0 / \cos(\varphi_i), \quad r2 = L_0 / \cos(\alpha_i) \quad (5)$$

Пусть малые площадки и яркости равны p0=p01=p02, B0=B1=B2. Подставляя (5) в (4), получим поток излучения, падающий на i-ый фотоприемник:

$$\Phi_i = \frac{BP_0 P_{\phi i}}{L_0^2} (\cos^4(\varphi_i) + \cos^4(\alpha_i)) \quad (6)$$

Введем между источниками и приемниками излучения контролируемое прозрачное изделие q, как показано на рис.4, с оптической плотностью D1 в направлении вектора r1 и с оптической плотностью D2 в направлении вектора r2.

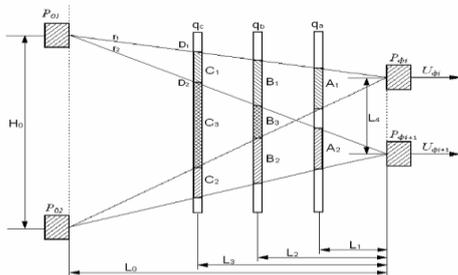


Рисунок 4 – Частичное перекрытие зон на объекте контроля.

Поток излучения, прошедший через изделие с оптической плотностью D, подчиняется закону Бугера-Ламберта [6], поэтому уравнение (3) запишется в виде:

$$\Phi_i = C_0 (\cos^4(\varphi_i) e^{-D_1} + \cos^4(\alpha_i) e^{-D_2})$$

где:  $C_0 = BP_0 P_{\phi i} / L_0^2$  - постоянный коэффициент.

Оптическая плотность равна произведению показателя поглощения на толщину изделия [6]. Показатель поглощения, в частности, зависит от прозрачности изделия. При оптическом контроле качества изделия не важно какой причиной вызван дефект, изменением прозрачности или изменением толщины - важен факт отклонения от нормы. Поэтому оптическая плотность является параметром объекта контроля.

Для фотоприемника, имеющего чувствительность S выходной сигнал U определяется из выражения:

$$U = S \Phi_{эф}$$

где  $\Phi_{эф}$  - поток излучения, эффективно воспринимаемый фотоприемником, из спектрального диапазона чувствительности фотоприемника.

Тогда сигнал с i-ого фотоприемника будет иметь вид:

$$U_i = S_i C_0 (\cos^4(\varphi_i) e^{-D_1} + \cos^4(\alpha_i) e^{-D_2}) \quad (7)$$

С учетом того, что в реальной оптической системе используется излучающая поверхность, а не два источника, проинтегрируем поток излучения (4) в пределах заданных углов  $\varphi_i, \alpha_i$ :

$$U_i = S_i C_0 \int_{\varphi_i}^{\alpha_i} \cos^4(\beta) e^{-D(\beta)} d\beta \quad (8)$$

В результате интегрирования относительно i-ых фотоприемников, образуются зоны чувствительности на поверхности изделия. В зависимости от расстояния зоны имеют различные площади и перекрытие. На рис.4. показано три варианта расположения объекта контроля q: с сильно перекрывающимися зонами C1, C2 и зоной их перекрытия C3 - qc; средне перекрывающимися зонами B1, B2 и зоной их перекрытия B3 - qb; не перекрывающимися зонами A1, A2 - qa. Расположение зон и их количества определяют параметра пространственной фильтрации.

Далее сигнал квантуется встроенным АЦП микроконтроллера, по уровням яркости, ширина и расположение которых определены их рецептивными полями, рисунок 1. Яркостные рецептивные поля реализованы программно.

Схема электрическая принципиальная прибора контроля качества приведена на рисунке 5.

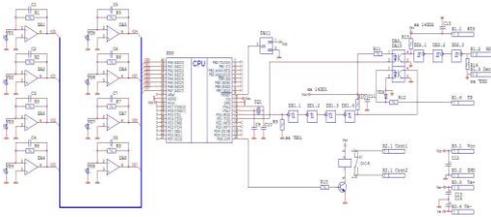


Рисунок 5 – Схема электрическая принципиальная.

Ядро прибора составляет микроконтроллер ATmega32. В приборе применяется восемь ФЧЭ с усилителями, выполненными на ОУ с подстраиваемым коэффициентом усиления (грубо). Нормировать все восемь каналов путем подстройки усиления – невозможно, в связи с высокой погрешностью, поэтому программным образом вычисляется относительное значение сигнала, что нормирует каналы к диапазону значений [0,1]:

$$U_{id}(t)_{рез} = \frac{U_{id}(t)}{U_{id}(t_0)_{опорн}}$$

где  $U_{id}(t)$  - сигнал измеряемый в текущее время;  $U_{id}(t_0)_{опорн}$  - сигнал, который был измерен без объекта контроля.

Сегментация объекта из фона производится путем порогового ограничения по уровню  $U_{id}(t)_{рез} < 0,95$ .

Внешний вид прибора приведен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Внешний вид прибора.

На панели прибора расположены индикаторы, позволяющие оценить силу оптического сигнала при юстировке, результат срабатывания выходного устройства в случае забракования, а также органы управления позволяющие задать новый эталон качества и провести юстировку.

Процедура юстировки необходима для того, чтобы в процессе пуско-наладки соблюсти соосность оптической системы излучатель/приемник, и как следствие обеспечить минимальные разности сигналов между каналами.

В прибор встроен опторазвязанный интерфейс RS232 Modbus-RTU (RS485-опционально) для интеграции в АСУ ТП. Прибор имеет релейный выход для подключения к исполнительным устройствам.

Прибор ведет статистический учет количества брака, количества брака в единицу времени, и оповещает при превышении указанных величин заданных уставок, что позволяет предотвратить работу оборудования в нештатном режиме и выпуск не кондиции.

В результате выполненной работы разработано техническое решение прибора контроля качества пластиковой бутылки. Использована безлинзовая оптическая система и простейший микроконтроллер для обработки сигнала и функционирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доренский А.А. Средство контроля качества пластиковой бутылки / А.А. Доренский, Е.А. Зрюмов и др. // Ползуновский альманах – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. – №4; С-23
2. Доренский А.А. Применение нейронных сетей и принципа рецептивных полей в оптическом контроле промышленных изделий / А.А. Доренский, Е.А. Зрюмов, С.П. Пронин // Ползуновский альманах – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. – №4; С-37
3. Доренский А.А. Исследование интеллектуального оптико-электронного прибора контроля качества в условиях уменьшения детализации изображения / А.А. Доренский, Е.А. Зрюмов, С.П. Пронин // Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования, образование. Т. 12: Сборник трудов Пятой международной научно-практической конференции “Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности”. 28-30.04.2008, Санкт-Петербург, Россия / Под ред. А.П. Кудинова, Г.Г. Матвиенко. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 579 с. С-181.
4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. / Р. Гонсалес, Р. Вудс. - М.: Техносфера, 2005.- 1072с.
5. 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.
6. Гуревич М.М. Фотометрия (теория, методы и приборы) / М.М. Гуревич – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 272 с.
7. Тарасов В.В. Адаптивные оптико-электронные системы визуализации с матричными приемниками излучения / В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенок // Оптико-электронные системы визуализации и обработки оптических изображений – М.: ОАО ЦНИИ “Циклон”, 2007. – Выпуск 2; С. 18-37.