

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДСИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Гетьман И.А.

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

Abstract

Getman I. Algorithmic maintenance of the subsystem of defects recognition at the ceramic's quality automatic test. The models of the ceramics surface images permitting to elaborate algorithmic maintenance of the ceramics image processing subsystem are designed.

Задачи исследований. В настоящее время в керамическом производстве, передовые предприятия которого переходят на эффективные системы управления качеством, необходимы информационно-измерительные системы, функционирующие на технологическом уровне контроля и управления производством и обеспечивающие как локальные САУ, так и информационные и управляющие системы верхнего уровня, оперативными и достоверными данными о качестве выпускаемой продукции. Такие данные, получаемые в том числе и на этапах технологического процесса, а не только в процессе окончательной сортировки, позволяют проводить техническую диагностику производственного оборудования, оптимизировать технологические режимы его работы [1]. Однако и качественно проводимая сортировка конечной продукции является немаловажной задачей, степень решения которой оказывает существенное влияние на эффективность маркетинга предприятий. Последнее особенно важно для керамических предприятий, привлекательность продукции которых для потребителя во многом определяется ее внешним видом.

Для решения задачи контроля качества керамических изделий с помощью автоматизированной оценки внешнего вида и распознавания дефектов изделий с использованием фотоэлектрической информационно-измерительной системы требуется разработать эффективное алгоритмическое обеспечение работы ее подсистем. Экспериментальные данные о реальных изображениях объектов контроля необходимо сформулировать в виде соответствующих математических моделей, которые адекватно описывают корреляцию соседних элементов, наличие протяженных областей и контурных перепадов между ними, учитывают статистические связи элементов и обеспечивают возможность построения эффективных алгоритмов обработки изображений.

Теоретические и экспериментальные исследования, анализ результатов. В настоящее время при обработке изображений используют два класса моделей. Статистические модели для совокупностей элементов изображений (модели состояний элементов или их групп, модели случайных полей, авторегрессионные модели) удобны для описания тонкой структуры видеосигнала. Пространственные модели, учитывающие макроструктуру изображения, удобны для формализации диагностических признаков и для составления морфологических описаний. Для статистической оценки изображений, которая наилучшим образом поддается алгоритмизации и позволяет получить быстрые оценки контролируемых параметров, необходимо учитывать как глобальные яркостные изменения (макроструктуру), так и высокочастотные составляющие. При этом обработку необходимо вести раздельно для этих двух составляющих на изображении. Проведем исследование изображений объектов контроля с использованием данного подхода.

Реальные изображения облицовочных плиток на различных этапах их обработки характеризуются наличием протяженных областей практически постоянной яркости, разделенных контурными перепадами. Такое представление позволяет рассматривать эти изображения как двумерную поверхность, являющуюся функцией яркости (цветности) в плоскости координат. Кроме того, протяженные области имеют текстуру и мелкие детали, порождаемые дефектами глазурного слоя или черепка либо нанесенными на соответствующем технологическом этапе декоративными изображениями. В ходе различных преобразований светового сигнала при его распространении сквозь цеховую атмосферу и оптическую подсистему, а также при генерации и преобразованиях видеосигнала изображение подвергается воздействию шумов. Принимая шумы некоррелированными, аддитивными и несмещенными, получаемое оцифрованное изображение на входе подсистемы обработки изображения и распознавания дефектов представим в виде:

$$y(i, j) = \tilde{y}(i, j) + \xi(i, j) = \varepsilon(i, j) + \eta(i, j) + \xi(i, j), \quad (1)$$

где $\tilde{y}(i, j)$ - световой фронт на входе в фотоприемник, $\xi(i, j)$ - вклад помех и шумов в оптическом канале, $\varepsilon(i, j)$ - кусочно-гладкая компонента, представляющая собой протяженные участки изображения, $\eta(i, j)$ - высокочастотная текстурная компонента изображения.

Рассмотрим модель окрестности V_{ij} элемента изображения $y(i, j)$, в которую входят элементы $y_q(i, j) \in V_{ij}; q = 1, \dots, Q$. Если принять фасеточную модель окрестности [2], то необходимо для каждой из обрабатываемой точки изображения построить фрагмент плоскости в пространстве функции яркости от координат, который аппроксимирует яркость в окрестности обрабатываемой точки. Построим искомую плоскость методом наименьших квадратов, тогда ее уравнение будет иметь следующий вид:

$$u(m, n) = \mu + \alpha m + \beta n, \quad (2)$$

где μ - значение яркости на аппроксимирующей плоскости в центральной точке окрестности (точке, для которой проводится обработка), α и β - тангенсы углов наклона аппроксимирующей плоскости в направлении столбца и строки изображения соответственно, m и n - расстояние по координатным осям от центра окрестности, а модель исходного изображения может быть описана формулой:

$$y(m, n) = \mu + \alpha m + \beta n + \gamma(m, n), \quad (3)$$

где $\gamma(m, n)$ - отклонение значения яркости на аппроксимирующей плоскости от яркости в соответствующей точке на изображении (в общем случае – случайная величина). Величина среднеквадратичного отклонения равна:

$$\sigma(\alpha, \beta, \mu) = \sum_m \sum_n (\mu + \alpha m + \beta n - y(m, n))^2, \quad (4)$$

Минимум $\sigma(\alpha, \beta, \mu)$ достигается в точке, в которой все частные производные от среднеквадратичного отклонения равны нулю. Тогда для окрестности обрабатываемой точки квадратной формы имеем:

$$\alpha = 3 \sum_{m=-l}^l m \sum_{n=-l}^l y(m, n) / l(2l^2 + 3l + 1),$$

$$\beta = 3 \sum_{n=-l}^l n \sum_{m=-l}^l y(m, n) / l(2l^2 + 3l + 1), \quad (5)$$

$$\mu = \sum_{m=-l}^l \sum_{n=-l}^l y(m, n) / (2l + 1)^2,$$

где $[l; -l]$ - диапазон изменения координат окрестности обрабатываемой точки. Например, для окрестности 3×3 элементов $l = 1$, соответственно:

$$\alpha = \frac{1}{6} \left(\sum_{n=-1}^1 y(1, n) - \sum_{n=-1}^1 y(-1, n) \right),$$

$$\beta = \frac{1}{6} \left(\sum_{m=-1}^1 y(m, 1) - \sum_{m=-1}^1 y(m, -1) \right), \quad (6)$$

$$\mu = \frac{1}{9} \left(\sum_m \sum_n y(m, n) \right).$$

Такая модель позволяет выделить контурные элементы как такие участки изображения, для которых тангенс (α, β) двугранного угла, образуемого аппроксимирующим фрагментом плоскости с горизонтальной плоскостью, больше порогового значения $(\alpha, \beta)_{th}$.

Для изображений различных образцов облицовочных плиток (с дефектами изготовления, полученными на различных этапах технологического процесса, с нанесенными методом шелкографии изображениями, в том числе с изображениями, искаженными в процессе нанесения и последующей обработки [3]) выполнено преобразование в фасеточную модель для окрестностей 3×3 элементов. Кривые распределений вероятностей $P(|y(m, n) - \mu(m, n)|) = P(\Delta)$ модуля разностей значений элементов изображения и среднего по окрестности приведены на рисунке 1. Для полученных кривых подтверждена гипотеза разложения общей кривой распределения вероятностей на две составляющие, каждая из которых является распределением случайной величины с нормальным законом распределения (в полулогарифмическом масштабе кривые нормального распределения имеют вид парабол). Такой эффект получен в связи с тем, что изображение состоит из двух множеств точек (точек, находящихся на контурах, и точек, расположенных внутри протяженных областей), для которых $\Delta(m, n)$ имеют различные распределения. На основании полученных результатов предложено протяженную и контурную составляющие среди точек анализируемых изображений учитывать в полученной модели (3) как независимые компоненты. Используя контурную маску $d(i, j)$, значение которой равно 1 при принадлежности пикселя с координатами (i, j) контуру (принадлежность может быть определена по различным пороговым критериям) и равно 0 при принадлежности пикселя протяженной области, получаем модель окрестности произвольной точки изображения с координатами (m, n) , описывающую статистические связи ее элементов:

$$y_q(m, n) = \mu(m, n) + d_q(m, n) [\phi_q(m, n)r_q + \zeta_q^{con}(m, n)] + [1 - d_q(m, n)] \times \quad (7)$$

$$\times [\phi_q(m, n)r_q + \zeta_q^{area}(m, n)],$$

где r_q - расстояние между центральным элементом окрестности и точкой $y_q(m, n)$, $\phi_q^{con}(m, n) = tg(y_q y'_q)$, т.е. тангенс угла между векторами $y y_q$ и $y y'_q$ (y'_q - вычисленное для точки y_q значение при аппроксимации окрестности фрагментом плоскости) для контурных точек, $\zeta_q^{con}(m, n)$ - случайная вариация в точке q для

контурных точек, ϕ_q^{area} и ζ_q^{area} - аналогичные величины для точек протяженных областей; случайные величины ϕ_q^{con} , ϕ_q^{area} , ζ_q^{con} и ζ_q^{area} являются нормально распределенными, несмещенными и некоррелированными.

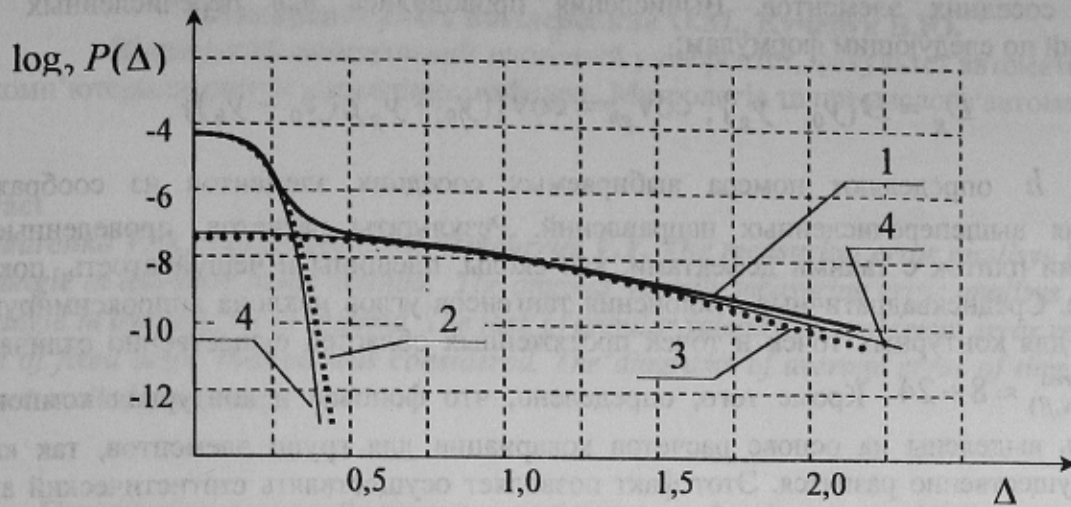


Рисунок 1 – Пример плотности распределения вероятностей величины Δ : 1) для всех пикселей изображения; 2) для множества фоновых точек; 3) для множества контурных точек; 4) кривые нормальных распределений с различными дисперсиями.

Адекватность предложенных моделей проверялась при расчете ковариаций изображений, при этом значения дисперсии и ковариации для модели (7), полученные теоретически, и рассчитанные экспериментально различались на 3-5%. Разработанная модель используется для оценки качества полученного изображения, искажений, вносимых на этапах фильтрации и обработки изображения (например, контрастирования), а также может быть использована для предварительной классификации (сортировки) керамических изделий по форме кривых распределения $P(\Delta)$.

Согласно предложенной составной модели фрагмента изображения, ансамбль изображений представляет собой случайное поле с n -мерной совместной плотностью вероятности $P(y)$ фрагмента изображения из n элементов. На эталонных изображениях облицовочных плиток может быть M классов фрагментов, соответствующих m дефектам, которые отличаются характером корреляционных связей между элементами, определяющими их структуру. Пусть $P_\theta(y)$ - n -мерная плотность вероятности фрагмента при условии, что фрагмент принадлежит классу θ ($\theta = 1, \dots, M$), а $\pi(\theta)$ - распределение вероятностей появления классов на изображении ($\sum_{\theta=1}^M \pi(\theta) = 1$). Тогда:

$$P(y) = \sum_{\theta=1}^M \pi(\theta) P_\theta(y), \tag{8}$$

при этом выражение (8) есть разложение плотности $P(y)$ по системе плотностей $P_\theta(y)$. Как показывают экспериментальные исследования, эффективное описание фрагментов изображений облицовочных плиток с различными дефектами может быть получено при помощи модели, использующей пять классов, что соответствует преобладающим корреляционным связям в одном из четырех направлений, составляющих углы 0° , 45° , 90°

и 135^0 с горизонталью (в связи с квадратной формой решетки пикселей), а также в случае изотропных структур пикселей.

Полученные результаты использованы при вычислении дисперсии и ковариации разностей соседних элементов. Вычисления проводились для перечисленных выше направлений по следующим формулам:

$$D_g = D\{y_0 - y_g\}, \text{ cov}_{gh} = \text{cov}\{(y_0 - y_g), (y_0 - y_h)\}, \quad (9)$$

где g и h определяют номера выбираемых соседних элементов из соображений обеспечения вышеперечисленных направлений. Результаты расчетов, проведенные для изображений плиток с такими дефектами, как сколы, плешины и чешуйчатость, показали следующее. Среднеквадратичные отклонения тангенсов углов наклона аппроксимирующей плоскости для контурных точек и точек протяженных областей существенно отличаются:

$\sigma_{(\alpha,\beta)}^{con} / \sigma_{(\alpha,\beta)}^{area} \approx 8 \div 24$. Кроме того, определено, что фоновая и контурная компоненты могут быть выделены на основе расчетов ковариации для групп элементов, так как их значения существенно разнятся. Этот факт позволяет осуществлять статистический анализ изображения и распознавать протяженные области и их контуры, при этом для контуров определяется направление их распространения и геометрические параметры могут быть подвергнуты морфологическому описанию, что позволяет использовать базы знаний о формах протяженных областей на поверхности керамических изделий. Кроме того, текстура различных дефектов характеризуется существенной анизотропией при вычислении ковариации, что позволило также производить распознавание видов дефектов и их параметров (размеров, интенсивности и т.д.), используя дисперсии и ковариации разностей соседних элементов, вычисленные для различных направлений, совместно с другими текстурными признаками [4].

Выводы.

1. Разработаны модели изображений поверхности керамических изделий с учетом наличия контурных элементов и протяженных областей, а также пятен, соответствующих дефектам поверхности, позволяющие разработать алгоритмическое обеспечение подсистем обработки изображений керамических изделий.

2. Предложено для распознавания наличия и направления контуров использовать дисперсии и ковариации разностей соседних элементов, вычисленные для четырех возможных направлений, соответствующих углам дискретной решетки пикселей, и для случая изотропной структуры пикселей.

3. Совместно с другими текстурными признаками, предложенные признаки использованы для распознавания дефектов поверхности и внешнего вида керамических изделий и их параметров в соответствующей подсистеме информационно-измерительной системы контроля качества.

Литература

1. Гетьман И.А. Задачи контроля качества изделий тонкой керамики и пути их решения // Перспективні задачі інженерної науки: Зб. наук. пр. Вип. 4. – Дніпропетровськ: Придніпровський центр МІА, 2002. – С. 106 - 110.
2. Haralick R.M., Watson L. A Facet Model for Image Data // Computers Graphics Image Processing/ 1981/ Vol. 15. № 2. P. 113 - 129.
3. Гетьман И.А. Автоматизация процесса сортировки изделий тонкой керамики на основе фотоэлектрической информационно-измерительной системы // Автоматизация в промышленности. - №8. - 2003. – С. 45 - 47.
4. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. - М.: Мир, 1982. – Кн. 2 – 480 с.