

И.А. Гетьман

Донбасская государственная машиностроительная академия

**МЕТОДЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ВНЕШНЕГО ВИДА
КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛИТОК С УЧЕТОМ ЭФФЕКТА ГРАНУЛЯЦИИ ДЕКОРА И
ВАРИАЦИЙ ЦВЕТОВОГО ОТТЕНКА****Аннотация**

Гетьман И.А. Методы измерительного контроля внешнего вида керамических плиток с учетом эффекта грануляции декора и вариаций цветового оттенка. Разработаны и исследованы методы измерительного контроля декорирующих изображений на поверхности керамических глазурованных плиток и фриз, полученных путем шелкографии, с учетом эффекта грануляции декора и вариаций цветового оттенка. Применение режекторной фильтрации позволило улучшить изображение декора и сократить требуемые вычислительные ресурсы для последующей сегментации и выделения контуров. Предложено автоматизировать процесс подбора плиток (фриз) по цветовому тону с использованием гистограммных методов и мер близости матриц трехмерных гистограмм изображения.

Ключевые слова: измерительный контроль, керамические плитки, обработка изображений, преобразование Фурье, режекторная фильтрация, цветовое пространство, гистограмма

Для автоматизации процесса измерительного контроля керамических глазурованных плиток (КГП) автором предложена соответствующая информационно-измерительная система (ИИС) и разработано ее аппаратное и алгоритмическое обеспечение [1]. В данной системе обработка изображений КГП непосредственно на конвейере или в процессе сортировки выполняется для проведения контроля внешнего вида изделий. По результатам анализа производственных требований керамических предприятий (основанных на государственных стандартах качества керамических изделий и на внутренних нормативных документах), запросов потребителей – оптовых и розничных покупателей продукции (подразделений строительных компаний, занимающихся внутренней отделкой помещений, а также розничных торговых сетей), и эстетических предпочтений конечных пользователей, сформулированы два критерия КГП по их внешнему виду: первый – отсутствие (ограниченное наличие) дефектов глазурованной поверхности и декора, – изображения, полученного путем шелкографии (трафаретной печати) керамическими красками с последующим обжигом плитки; второй – принадлежность декора к определенной цветовой гамме (оттенку).

Рассмотрим наиболее простой случай применения декора на основе одной краски. Такое изображение имеет следующие визуальные особенности (см. рис. 1а): регулярную структуру, порожденную шелкографической сеткой, сквозь которую в ходе технологического процесса была продавлена краска. Применение обычных методов обработки массива пикселей изображения, полученного от фотоприемного устройства, когда анализу подвергаются предварительно сегментированные по текстурным особенностям области, в данном случае может позволить выявить такие дефекты глазурованной поверхности, как трещины, мушки, сколы и т.п. [2]. Однако для анализа погрешностей непосредственно рисунка декора (наличие непропечатанных областей, смещение рисунка, чрезмерная подача краски в отдельных областях) обычные методы обработки неприменимы. Рисунок декора распадается на отдельные гранулы, работа с которыми даже методами морфологического анализа является затруднительной.

Целью данной статьи является разработка методов контроля декорирующих изображений на поверхности КГП, полученных путем шелкографии, с учетом эффекта грануляции декора и вариаций цветового оттенка и построение алгоритмического обеспечения ИИС.

В ходе теоретических исследований было установлено, что периодическая структура декорирующих изображений может рассматриваться как некое исходное изображение, искаженное периодической помехой – синусоидальным или косинусоидальным сигналом. Обычная практика обработки таких изображений [3] включает в себя построение двумерной спектрограммы изображения путем преобразования Фурье и определение областей на ней, отвечающих за представление частот и амплитуд сигналов помехи.

По результатам обработки спектрограммы выполняется построение узкополосных режекторных фильтров Баттерворта со следующей передаточной функцией:

$$H(u, v) = \left(1 + \left[\frac{D_0^2}{D_1(u, v)D_2(u, v)} \right] \right)^{-n},$$

где $D(u, v)$ - расстояние, измеряемое от центра частотного прямоугольника,

$$D_1(u, v) = \sqrt{(u - c_u - u_0)^2 + (v - c_v - v_0)^2},$$

$$D_2(u, v) = \sqrt{(u - c_u - u_0)^2 + (v - c_v - v_0)^2},$$

где D_0 - радиус фильтра с центром в точках (u_0, v_0) и, в силу симметрии, в $(-u_0, -v_0)$, при этом (c_u, c_v) - координаты центра частотного прямоугольника.

Применение режекторной фильтрации к изображению позволяет восстановить исходное изображение, в данном случае – изображение, которое проецировалось на шелкографическую форму с нанесенным на нее светочувствительным слоем. Данное преобразование описывается следующим образом:

$$g(x, y) = \mathfrak{F}^{-1}[H(u, v)F(u, v)],$$

где $g(x, y)$ - восстановленное изображение, $F(u, v)$ - Фурье-образ исходного изображения, \mathfrak{F}^{-1} - оператор обратного преобразования Фурье.

На рис. 1 также приведены спектрограмма изображения, общий вид передаточной функции узкополосного режекторного фильтра для данного спектра помех и результат применения режекторной фильтрации к исходному изображению. Как показано на рис. 1г, текстура областей на полученном изображении в результате его улучшения не имеет четко выраженных и отдельно расположенных зерен. Такое изображение должно быть подвергнуто дальнейшей сегментации, в том числе путем выделения регионов и контуров известными методами [4]. Затем необходимо выполнить сравнение с эталонным изображением. При этом сравниваться будут лишь контуры с векторным описанием. При таком подходе задача сегментации изображения формулируется как задача поиска границ регионов. Методы поиска границ хорошо разработаны для полутоновых изображений. Полутоновое изображение рассматривается как функция двух переменных и предполагается, что границы регионов соответствуют максимумам градиента этой функции. Для их поиска применяется аппарат дифференциальной геометрии (в простейшем случае это фильтры Roberts, Kirsch, Prewitt, Sobel). Для повышения устойчивости к шуму, перед применением фильтрации изображение обычно размывают. Благодаря коммутативности оператора Лапласа и Гауссова фильтра, можно одновременно осуществлять размытие и поиск границ. В методе Canny комбинируются результаты поиска границ при разной степени размытия. Другой подход основан на применении фильтров, осуществляющих дифференцирование по

направлению [3]. Для поиска границ комбинируются результаты применения различных базисных фильтров.

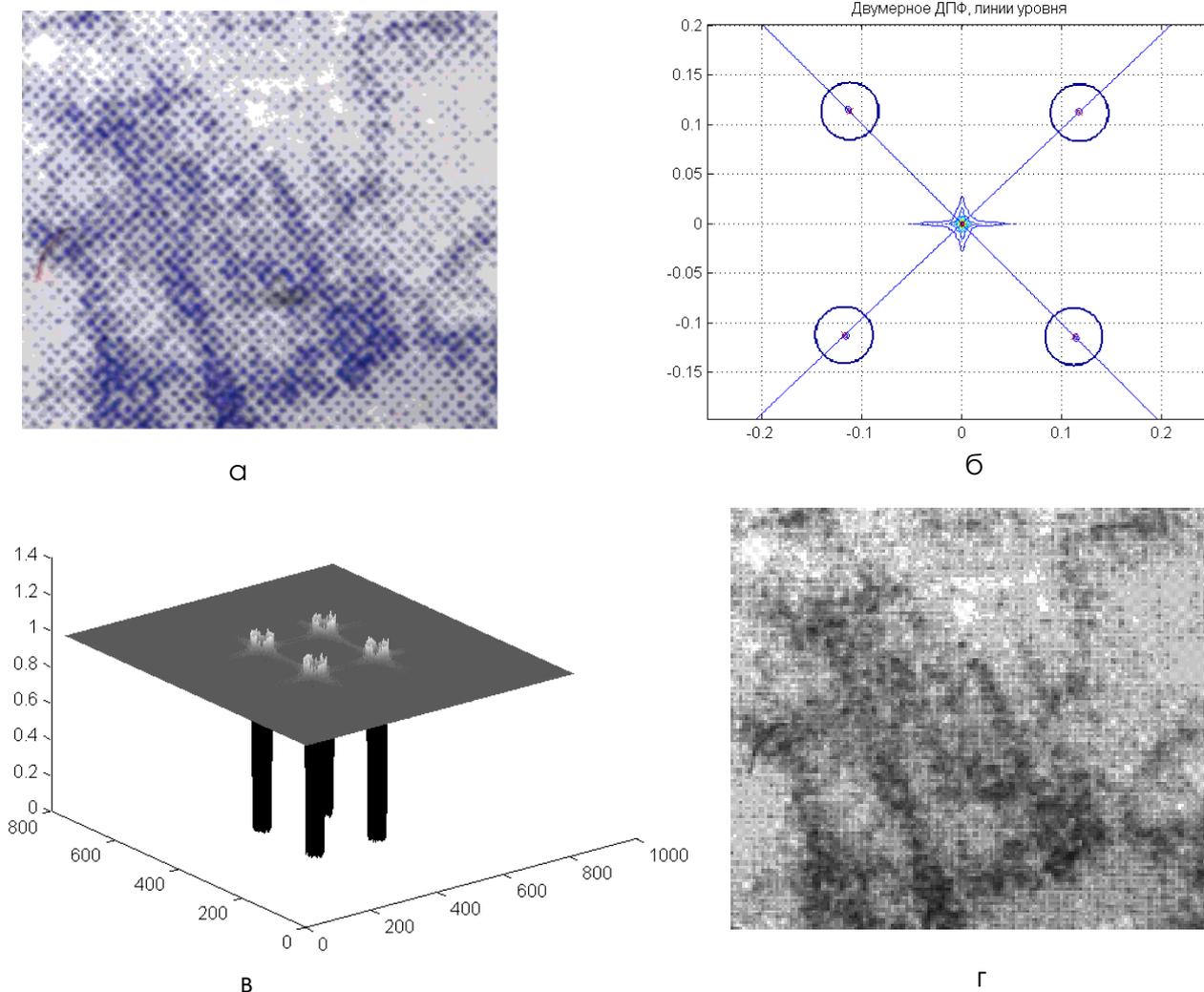


Рисунок 1 – Результаты экспериментальных исследований: а) исходное изображение; б) его спектрограмма с выделенными областями периодической составляющей; в) передаточная функция построенного узкополосного режекторного фильтра; г) результат режекторной фильтрации

При формировании очередной порции керамических красок для заправки в трафаретные устройства, обеспечивающие нанесение декора на поверхность плиток методом шелкографии, возможна определенная погрешность дозирования, вариативность химического состава результирующей смеси. Кроме того, в ходе продолжительных этапов технологического процесса изготовления изделия могут быть привнесены возмущающие факторы, влияющие на процесс спекания керамических красок и, соответственно, дополнительно влияющие на цветовой оттенок получаемого декора. Вместе с тем комплектация плиток близкого оттенка в общий набор упаковочных контейнеров является одним из самых существенных (после обеспечения сортности) требований заказчика.

Важной производственной задачей является также подбор существующего фриза под выпущенную производителем (купленную заказчиком) облицовочную плитку. Фризом является отделочный элемент для больших облицуемых площадей, и выбор его означает реализацию готовой технологии производства с принятым изображением, объемами

керамических красок и полученным цветовым оттенком при использовании определенной технологии термической обработки.

Рассмотрим далее подходы к автоматизации качественной комплектации плиток после отбраковки не соответствующих требованиям к сортности, а также автоматизации близкого к ней процесса подбора фриза под имеющуюся облицовочную плитку в соответствии с тоном. Введение в процесс контроля и сортировки плиток методов не только органолептического, но и измерительного контроля, позволяет ускорить процесс, сделать его результаты более точными, получить определенную объективную доказательную базу для взаимоотношений с заказчиком (конфликтных ситуаций, а значит, имиджевых и финансовых потерь станет существенно меньше).

Эксперт-сортировщик предварительно, на основе опыта взаимодействия с заказчиком и на основе собственного эстетического вкуса оценивает принадлежность фриза (плитки) к сортаменту по оттенку керамических красок после термической обработки. Далее сравнение двух сходных изображений по оттенку декора (эталонного и текущего) можно проводить путем непосредственной оценки коэффициента корреляции Пирсона для всех цветовых каналов. Однако результаты вычисления для двух изображений плиток существенно зависят от случайных сдвигов и поворотов объектов контроля, а реализация метода требует больших вычислительных затрат.

Для автоматизированного определения отличия между изображениями по их цвету (группе оттенков) ряд авторов предлагают использовать центроидные методы (простое расстояние в цветовом пространстве, например, в пространстве XYZ , между изображениями или кластерами на них) [5]. В этом случае необходимо найти эталонное изображение путем усреднения цвета по пикселям в окне размером 8×8 или 16×16 для устойчивости результатов обработки. Мера расстояния между изображениями выглядит следующим образом:

$$D = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2},$$

где x_A, x_B, y_A, y_B - средние значения параметров x и y в цветовом пространстве XYZ для изображений A и B .

Как показали исследования, усреднение по цвету дает нежелательные эффекты при обработке изображений с несколькими сосредоточенными тонами, которыми как раз и характеризуются изображения плиток и фризов.

Достаточно часто используемым в области поиска изображений по эталонному методу является сравнение гистограмм яркостей распределения цветов на изображении. Гистограммная форма представления цветового тона изображения является наиболее близким аналогом человеческому восприятию общего цветового оттенка (тона) изображения. Для эффективной реализации такого подхода используемое цветовое пространство должно удовлетворять следующим требованиям: интуитивности (под этим понимается разделение яркостных и цветовых составляющих); равномерности (при одинаковых изменениях численного значения цвета одинаково меняется и зрительное восприятие цвета); низкому уровню корреляции между каналами (в таком случае обеспечивается максимально малая вероятность возникновения артефактов на изображении при изменении значения одного канала).

Применение методов оценки цветового оттенка декора на изображении плитки в часто используемых цветовых пространствах (особенно в RGB) не дает хороших результатов, т.к. эти пространства не отвечают перечисленным требованиям. Автором предложено использовать цветовое пространство $l\alpha\beta$ [6] (модификация пространства LMS), хорошо приспособленное для автоматизации процесса классификации таких изображений с результатами, сходными с результатами экспертных оценок. При этом α и β являются координатами цветности. Результаты экспериментов по экспертной оценке внешнего вида

изделий, проведенные со специалистами керамических предприятий г.г. Краматорска и Славянска, а также покупателями (дизайнерами и специалистами по интерьеру), подтвердили правильность данного выбора.

Рассмотрим процесс преобразования изображений из пространства RGB в пространство $l\alpha\beta$.

Шаг 1. Переход из RGB в вещественной нормировке в коническое пространство LMS :

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3811 & 0.5783 & 0.0402 \\ 0.1967 & 1.7244 & 0.0782 \\ 0.0241 & 0.1288 & 0.8444 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}.$$

Шаг 2. Переход из LMS в $l\alpha\beta$:

$$\begin{bmatrix} l \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5774 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4082 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7071 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lg L \\ \lg M \\ \lg S \end{bmatrix}$$

С использованием реальных изделий были построены трехмерные гистограммы вида, приведенного на рисунке 2а. Такие гистограммы являются двумерными распределениями вероятностей присутствия на изображении пикселей соответствующих цветов в пространстве $l\alpha\beta$ и сравнивать их можно с помощью мер сравнения двумерных распределений.

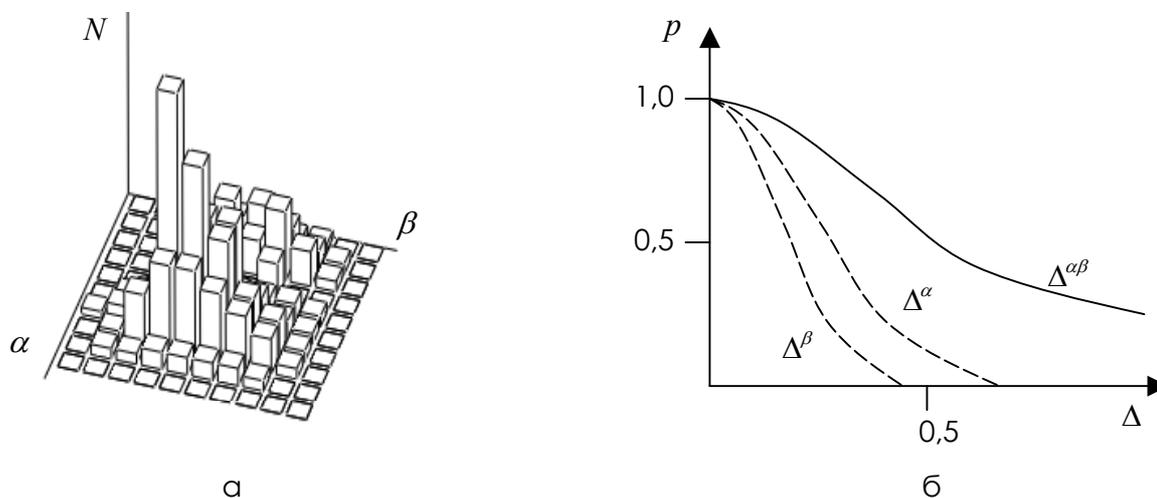


Рисунок 2 – Результаты экспериментальных исследований: а) фрагмент трехмерной гистограммы, где α и β - квантованные координаты цветности в пространстве $l\alpha\beta$; б) зависимость точности автоматизированной классификации плиток от относительного расстояния между гистограммами (эталонного и классифицируемого изображений, в среднем)

При этом гистограмма на рисунке 2а является результатом усредненных гистограмм нескольких изображений, отобранных экспертом как такие, что безусловно принадлежат контролируемому цветовому оттенку. Для упрощения вычислительного процесса, после

квантования отсчетов по осям α и β такую гистограмму можно представить в виде двумерной матрицы со значениями в ячейках, равными частотному значению N .

В таком представлении для определения близости изображений по цветовому оттенку можно применить различные меры близости матриц, в частности, Евклидово расстояние:

$$d^e = (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2)(\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2)^T,$$

где \mathbf{v}_1 и \mathbf{v}_2 - векторы значений частотности для сравниваемых изображений.

Для проверки эффективности использования трехмерных гистограмм (двумерных распределений) по сравнению с двумерными гистограммами (одномерными распределениями) по отдельным каналам α и β были проведены вычислительные эксперименты для имеющихся экспертных оценок.

Результаты определения зависимости относительного расстояния между гистограммами ($\Delta^{\alpha\beta}$ - для трехмерных и Δ^α , Δ^β - для двумерных) и точности автоматизированной классификации плиток по цветовому оттенку (тону) приведены на рисунке 2б.

Анализ рисунка 2б позволяет сделать вывод, что требуемую достоверность автоматизированной классификации изделий по цветовому тону можно обеспечить при существенно больших относительных расстояниях между гистограммами в случае использования их трехмерного варианта (двумерных распределений).

По итогам выполненных автором исследований сделаны следующие **выводы**.

Режекторная фильтрация позволила улучшить изображение декора КПП и сократить требуемые вычислительные ресурсы для последующей сегментации и выделения контуров.

Достоинством предложенного подхода является сохранение его эффективности при изменении разрешающей способности используемой для получения изображения матрицы фотоэлементов (приборов с зарядовой связью) в соответствующих видео- или фотокамерах.

Внесение периодичной помехи вследствие пространственного квантования уровней сигнала на воспринимаемом световом фронте частично компенсируется выявлением этой помехи на спектрограмме и последующей режекторной фильтрацией.

Измерительный контроль цветового оттенка (декора) на основе цветового пространства $l\alpha\beta$, эффективность которого теоретически обоснована и экспериментально подтверждена, позволяет с использованием гистограммных методов и мер близости матриц трехмерных гистограмм автоматизировать процесс подбора плиток (фриз) по цветовому тону изображения.

Условием обеспечения качества контроля и достоверности классификации является стабильность настроек видеокамер и соблюдение условий освещенности в процессе контроля.

Проводить такую классификацию необходимо для плиток, которые не имеют обширных дефектов глазурированной поверхности (для изделий выполнена предварительная отбраковка), и у которых отсутствуют погрешности декора (выполнена сортировка с использованием вышеизложенного метода с учетом эффекта грануляции декора).

Литература

1. Гетьман И. Измерительный контроль керамической плитки при обработке ее изображений и принятии решения о сорте в информационно-измерительной системе. // Research and technology – step into the future. Scientific & Research Journal of Transport and Telecommunication Institute (Riga). – 2009. – Vol. 4. – No 4. – P. 49-50.
2. Гетьман И.А., Зори А.А. Модель оценки качества керамического изделия при помощи фотоэлектрической информационно-измерительной системы // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Обчислювальна техніка та автоматизація”. Випуск 58. – Донецьк: ДонНТУ, 2003. – С. 42-47.

3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – Москва: Техносфера, 2006. – 1072 с.
4. Фурман Я.А. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / Я.А.Фурман, А.В.Кревецкий, А.К.Передреев и др. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.
5. Пономаренко Н.Н., Лукин В.В., Абрамов С.К. Устойчивый поиск изображений по полному и тематическому подобию с использованием многопараметровой классификации // Интернет-математика (Яндекс, Россия). – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2007. – С. 171-180.
6. Ruderman D.L., Cronin T.W., Chiao C.C., "Statistics of Cone Responses to Natural Images: Implications for Visual Coding", J. Optical Soc. Of America. – vol. 15. – no. 8. – 1998. – p. 2036 - 2045.

Abstract

Getman I.A. Methods of measuring control of original appearance of ceramic tiles taking into account the effect of decor granulation and variations of colour tint. The methods of measuring control of decorating images are worked out and investigational on the surfaces of the ceramic glazed tiles and frisian, got by silk-screening, taking into account the effect of decor granulation and variations of colour tint. Application of reject filtration allowed to improve the image of decor and shorten the required calculable resources for subsequent segmentation and selection of contours. It is suggested to automatize the selection process of tiles (frisian) on colour tone with the use of histogram methods and measures of closeness of image histograms three-dimensional matrices.

Keywords: measuring control, ceramic tiles, processing of images, transformation of Fourier, reject filtration, colour space, histogram.

Анотація

Гетьман І.А. Методи вимірювального контролю зовнішнього вигляду керамічних плиток з урахуванням ефекту грануляції декору і варіацій колірного відтінку. Розроблені і досліджені методи вимірювального контролю декоруючих зображень на поверхні керамічних глазурованих плиток і фриз, отриманих шляхом шовкографії, з урахуванням ефекту грануляції декору і варіацій колірного відтінку. Застосування режекторної фільтрації дозволило полішити зображення декору і скоротити необхідні обчислювальні ресурси для наступної сегментації і виділення контурів. Запропоновано автоматизувати процес підбору плиток (фриз) по колірному тону з використанням гістограмних методів і мір близькості матриць тривимірних гістограм зображення.

Ключові слова: вимірювальний контроль, керамічні плитки, обробка зображень, перетворення Фур'є, режекторна фільтрація, колірний простір, гістограма.

Здано в редакцію:
15.04.2010р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Зорі А.А.