

УДК 004.424.2+004.624

**А.В. Инютин**Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Беларусь  
Беларусь, 220012, г. Минск, ул. Сурганова, 6**МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ СЕГМЕНТАЦИИ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ****A. V. Inyutin**United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Belarus  
Surganova, st., 6, Minsk, 220012,**METHOD FOR INCREASING THE ACCURACY OF PCB IMAGE  
SEGMENTATION**

Разработан метод повышения точности сегментации изображений печатных плат, основанный на экспертной классификации цветовых кластеров, полученных с помощью k-means кластеризации в пространстве RGB. Метод позволяет повысить точность сегментации на границах элементов топологии и улучшает качество анализа изображения печатной платы.

**Ключевые слова:** печатные платы, изображения, сегментация

The paper proposes a method of increasing the accuracy of the PCB image segmentation based on expert classification of color clusters obtained using the k-means clustering in the RGB space. The method improves the accuracy of segmentation boundaries topology elements and improves the quality of the PCB image analysis.

**Ключевые слова:** печатные платы, изображения, сегментация

**Введение**

Электроника является одной из крупнейших отраслей промышленности в мире с объемом рынка более 1 триллиона долларов в год и тенденцией его дальнейшего увеличения, что определяет спрос на технологическое оборудование [1–2]. Несмотря на то что согласно [3], стоимость печатных плат достигает всего лишь около 3 % от любого готового изделия в электронной промышленности, без обеспечения высокого качества печатной платы, как одной из основных компонент радиоэлектронной продукции, не возможен выпуск конкурентоспособной продукции.

Система контроля качества печатных плат, использующая оптический метод контроля, состоит из модулей захвата изображения, его предварительной обработки и анализа (рис. 1). На вход системе подается цифровое изображение печатной платы. На этапе предварительной обработки производится коррекция геометрических искажений, бинаризация и, при необходимости, удаление шума.

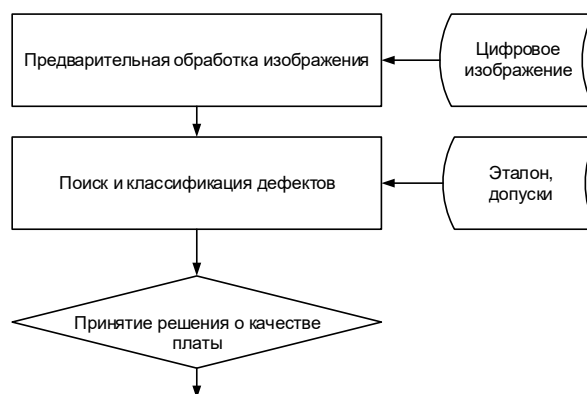


Рис. 1. Структурная схема системы контроля качества печатных плат

На этапе поиска дефектов производится локализация дефектов на базе набора выбранных методов контроля, эталона и набора допусков. В результате формируется ведомость дефектов, в которой хранится их описание. Принятие решение о качестве печатной платы производится или автоматически, или оператором вручную после анализа дефектной ведомости и просмотра значимых дефектов. В результате плата может быть принята для дальнейшей работы, отправлена на ремонт или отбракована, а в производственный процесс могут быть внесены необходимые изменения.

Основное требование к системе контроля – это определение всех действительных дефектов с минимальным количеством ложных. Для удовлетворения такого требования необходимо использовать комбинацию разных методов поиска дефектов, но без качественного выделения элементов топологии (дорожек, контактных площадок) на изображении провести анализ изображения невозможно. Исключение составляет только метод прямого сравнения изображений, но он значительно ограничен по возможностям.

### **Сегментация изображений печатных плат**

Для выделения элементов топологии используется сегментация. Известны три основных группы методов сегментации: областно-ориентированные, гранично-ориентированные, статистические [4–7]. Областно-ориентированные методы используют разбиение входного изображения на элементарные в некотором смысле области, из которых затем составляются искомые области (сегменты). Гранично-ориентированные методы основаны на фиксировании изменений интенсивности пикселей на границах объектов. При статистическом методе пиксели одного и того же объекта принадлежат одному и тому же кластеру пространства признаков.

Предложен метод повышения точности сегментации изображений печатных плат, который заключается в экспертной классификации результатов кластеризации, представленных в виде набора изображений, соответствующих каждому кластеру, и цветового куба, осями координат которого являются значения яркости R, G и B компонент. Кластера на кубе представлены в виде точки, размер которой соответствует количеству пикселей кластера, цвет – его усредненному цвету, а цвет граничной линии – его номеру.

На рис. 2 приведено исходное изображение печатной платы после оплавления сплава олово-свинец.

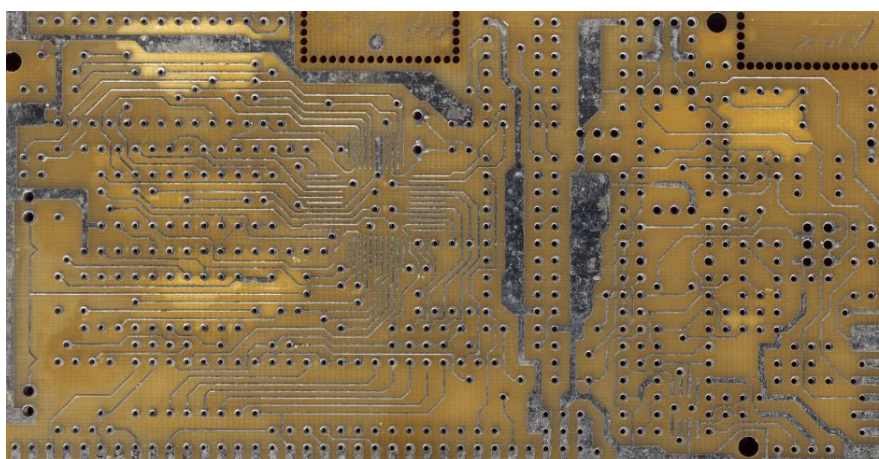


Рис. 2. Исходное изображение печатной платы после оплавления сплава олово-свинец



Рис. 3. Гистограмма яркости для исходного изображения

На рисунке 4 изображен цветовой куб с результатами k-means кластеризации в пространстве RGB.

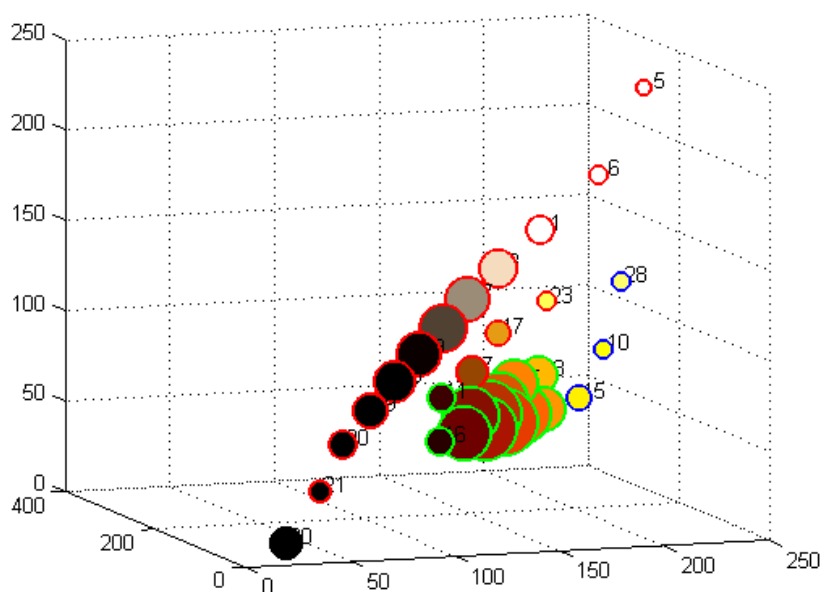


Рис. 4. Цветовой куб с результатами k-means кластеризации в пространстве RGB

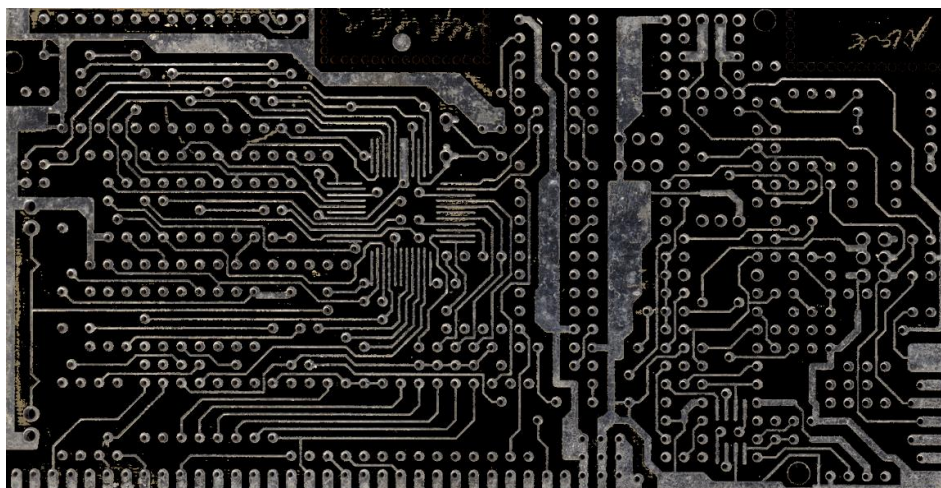
На рисунке 5 показаны результаты сегментации: дорожки, диэлектрический материал и его дефект – вздутие.

В таблице 1 приведено сравнение предложенного метода повышения точности сегментации с результатами двухэтапного алгоритма сегментации изображений [5]. Качество сегментации  $Q$  оценивалось как:

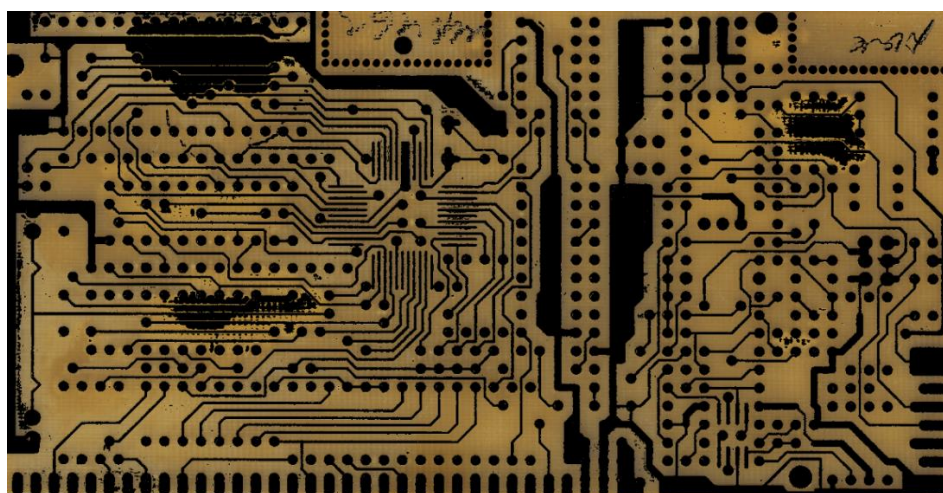
$$Q = \frac{S_{image} - \sum_i S_{error_i}}{S_{image}},$$

где  $S_{image}$  – общая площадь изображения,  $S_{error_i}$  – площадь  $i$ -го ошибочно сегментированного фрагмента изображения. Примером ошибочно сегментированного фрагмента может являться часть дорожки, отнесенной к диэлектрику, и наоборот.

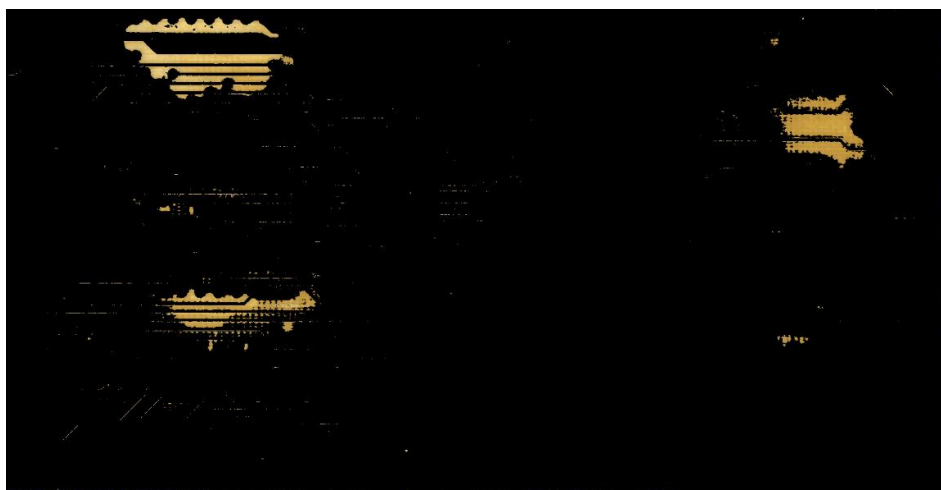
Из таблицы следует, что предложенный метод сегментации дает лучший результат по сравнению с автоматическим двухэтапным алгоритмом сегментации изображений.



а)



б)



в)

Рис. 5 Результаты сегментации: дорожки (а), диэлектрический материал (б) и его дефект – вздутие (в)



Таблица 1. Оценка качества сегментации

Сегментация изображения	Параметры	Качество сегментации Q
Экспертная классификация результатов k-means кластеризации	Количество кластеров 30	0,962
Двухэтапный алгоритм с разделимостью цветов $c$ и чувствительностью $s$	$c=0.4, s=0.2$	0,884
	$c=0.5, s=0.2$	0,920
	$c=0.6, s=0.1$	0,897
	$c=0.6, s=0.2$	0,896
	$c=0.6, s=0.3$	0,864
	$c=0.7, s=0.2$	0,897
	$c=0.8, s=0.2$	0,801

### Заключение

Разработан метод повышения точности сегментации изображений печатных плат, основанный на экспертной классификации цветowych кластеров, полученных с помощью k-means кластеризации в пространстве RGB. Увеличение качества сегментации достигается за счет сокращения неидентифицируемых или ошибочно идентифицируемых областей изображения. Метод предназначен для подготовки данных для контроля качества печатных плат.

### Литература

1. IPC: Domestic PCB Market to Improve [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://epsnews.com/2015/12/04/ipc-domestic-pcb-market-improve/>
2. Wearable Tech a Key Growth Area in a Heavily Challenged Consumer Electronics Market [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://futuresource-consulting.com/2016-08-Worldwide-CE-Market-Update-8314.html>.
3. Гаш М. Тенденции европейского рынка печатных плат / М. Гаш // Печатный монтаж. – 2006. – №2. – С. 38–39.
4. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Кн. 2 / У. Прэтт. – М.: Мир, 1982. – 480 с.
5. Kerfoot I.B. Theoretical analysis of multispectral image segmentation criteria / I.B.Kerfoot, Y. Bresler // IEEE Trans. Image Processing. – 1999. – Vol. 8. – № 6. – P. 768 – 820.
6. Coleman G.B. Image Segmentation by Clustering / G.B. Coleman, H.C. Andrews // Proc IEEE. – Vol.67. – 1979. – P. 773 – 785.
7. Ваткин М.Е. Идентификация объектов на цветных изображениях топологического слоя интегральной схемы / М.Е.Ваткин, А.А.Дудкин, А.В.Инютин // Информатика. – 2005. – №4 – С. 57–67.

### Literatura

1. IPC: Domestic PCB Market to Improve [Elektronnyiy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://epsnews.com/2015/12/04/ipc-domestic-pcb-market-improve/>
2. Wearable Tech a Key Growth Area in a Heavily Challenged Consumer Electronics Market [Elektronnyiy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://futuresource-consulting.com/2016-08-Worldwide-CE-Market-Update-8314.html>.
3. Gash M. Tendentsii evropeyskogo ryinka pechatnyih plat / M. Gash // Pечатnyiy montazh. – 2006. – #2. – S. 38–39.
4. Prett U. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy. Kn. 2 / U. Prett. – M.: Mir, 1982. – 480 s.
5. Kerfoot I.B. Theoretical analysis of multispectral image segmentation criteria / I.B.Kerfoot, Y. Bresler // IEEE Trans. Image Processing. – 1999. – Vol. 8. – #6. – P. 768 – 820.

6. Coleman G.B. Image Segmentation by Clustering / G.B. Coleman, H.C. Andrews // Proc IEEE. – Vol.67. – 1979. – P. 773 – 785.
7. Vatkin M.E. Identifikatsiya ob'ektov na tsvetnyih izobrazheniyah topologicheskogo sloya integralnoy shemyi / M.E. Vatkin, A.A. Dudkin, A.V. Inyutin // Informatika. – 2005. – #4 – S. 57–67.

## RESUME

**A.V. Inyutin**

### **Method for increasing the accuracy of PCB image segmentation**

The PCB quality inspection system, based on the optical control method, consists of image capture, preprocessing and analysis modules. At the preprocessing stage, geometric distortion correction, binarization and, if necessary, noise removal are performed. At the defect search stage, defects are localized based on a set of selected monitoring methods and parameters of the production process (layout artwork and set of tolerances). The main requirement for a control system is the definition of all actual defects with a minimum number of false ones. To meet this requirement, it is necessary to use a combination of different defect search methods, but without qualitative highlighting of topology elements (tracks, pads) in the image, it is impossible to analyze the image. This determines the relevance of the research topic. Inspection of printed circuit boards is carried out at various stages of production, in which its have different colors and the quality of the layer surface. Segmentation is used to highlight the topology elements. The purpose of the study is to improve the accuracy of segmentation of printed circuit boards.

As a result, a method for improving the accuracy of segmentation of PCB images is proposed. The method consists in the expert classification of the k-mean clusterisation results represented as a set of images corresponding to each cluster and a color cube which coordinate axes are the brightness values of the RGB components. Clusters on the cube are points, which size corresponds to the number of pixels in the cluster, the color is its average color, and the color of the boundary line is its number.

The article shows that the proposed segmentation method gives the best result in comparison with the automatic two-stage algorithm of image segmentation.

*\* Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (договор № Ф16-070).*

*Надійшла до редакції 24.10.2016*