

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

УДК 004.932.2

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЗАУЖЕНИЙ ПРОВОДЯЩЕГО РИСУНКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ И НЕ ОБУСЛОВЛЕННЫХ НАЛИЧИЕМ РАКОВИН

А. В. Григорьев, И. И. Кочегаров, Н. К. Юрков

Техника физического эксперимента все более усложняется. Автоматизированные системы измерений и анализа объединяются в комплексы, интегрируются в сложные системы. Эти системы должны быть совместимы друг с другом в смысле создания предпосылок для многопрофильного обеспечения надежности сложных электронных систем, в том числе и путем создания систем межоперационного контроля [1, 2].

В настоящее время интенсивно идет процесс роста плотности проводящего рисунка печатных плат и, как следствие, уменьшения ширины печатных проводников, снижения расстояния между ними. В результате возрастают требования к системам межоперационного контроля печатных плат. В данной статье представлена автоматизированная система для подсчета заужений проводящего рисунка печатной платы, обусловленных и не обусловленных наличием раковин.

В основу системы положен способ допускового контроля печатных плат, изложенный в [3].

Предлагаемая в настоящей работе система относится к классу систем обработки распределенных регистрируемого параметра независимо от его физической природы [4–6].

Растровое изображение слоя печатной платы является полутоновым. Первая задача системы контроля печатных плат – преобразование этого полутонового изображения в бинарное, т.е. присвоение пикселям, принадлежащим проводнику, признака проводника, а пикселям, принадлежащим поверхности диэлектрической основы печатной платы (фону), – признака фона. Традиционные схемы бинаризации, основанные на том, что интенсивность регистрируемого параметра сравнивается с некоторым пороговым уровнем, во многих случаях контроля печатных плат и их слоев не работают. Опыт применения многоуровневой системы [7] весьма плодотворен, но этот метод не решает всех специфических проблем, которые возникают при бинаризации полосковых структур печатных плат. Хорошие перспективы имеет так называемая структурно-разностная бинаризация [8–10].

Отрезок прямой линии в плоскости изображения, длина которого служит пороговой константой, получил название **различительного сечения**. Область связанных элементов проводника (фона) получила название **сегмента** проводника (фона). Область связанных элементов проводника (фона), через каждую точку которой можно провести хотя бы одно прямолинейное сечение сегмента, длина которого меньше длины различительного сечения, получила название **индикаторного кластера (ИК)** проводника (фона). Область связанных элементов проводника (фона), ни через одну из точек которой нельзя провести ни одного прямолинейного сечения сегмента, длина

которого была бы меньше длины различительного сечения, получила название **стабильного кластера (СК)** проводника (фона). Количество СК проводника (фона), к которым примыкает ИК проводника (фона), получило название **связности** этого ИК. ИК проводника (фона), связность которого равна нулю, получил название несвязного ИК. ИК проводника (фона), связность которого равна единице, получил название односвязного ИК. ИК проводника (фона), связность которого равна двум или более, получила название многосвязного ИК. Общий термин, объединяющий односвязные и многосвязные ИК – **связные ИК**. Под **заужением** печатного проводника понимается многосвязный ИК этого проводника. Под **раковиной** понимается несвязный ИК фона, а под **вкраплением** – несвязный ИК проводника. Заужения подразделяются на два класса: **заужения, обусловленные раковинами**, и **заужения, не обусловленные раковинами**.

На рис. 1 представлен фрагмент печатной платы.

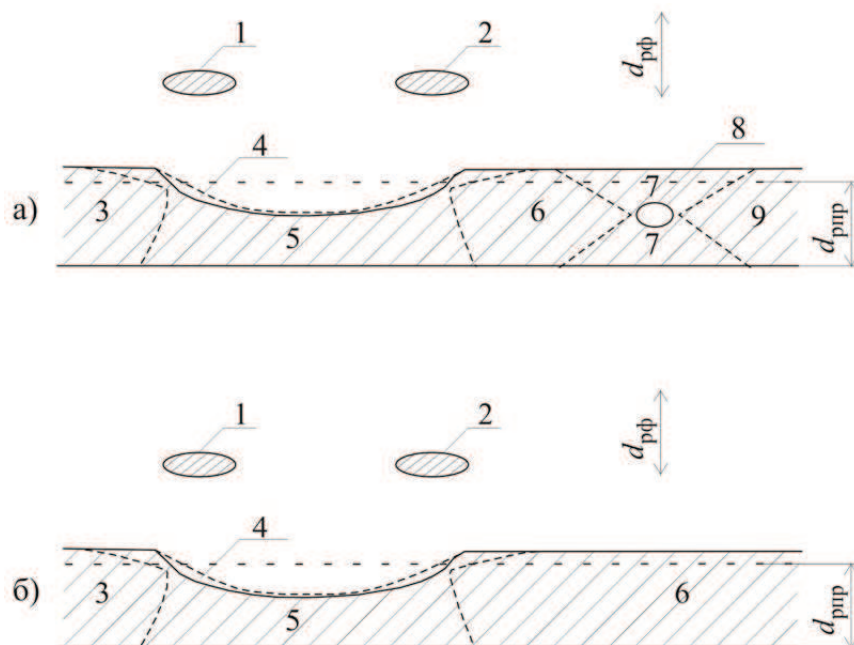


Рис. 1. Фрагмент печатной платы:

а – исходное изображение; *б* – откорректированное изображение

Области 1 и 2 (рис. 1, *а*) являются областями связанных элементов проводника, т.е. сегментами проводника. Через любую точку каждого из этих сегментов проводника можно провести хотя бы одно прямолинейное сечение этого сегмента, длина которого будет меньше различительного сечения проводника $d_{рпр}$. Из этого следует, что каждый из этих сегментов является ИК проводника. Ни один из этих ИК проводника не примыкает ни к одному из СК проводника. Следовательно, связность каждого из этих ИК проводника равна нулю. Таким образом, каждый из сегментов проводника 1 и 2 является несвязным ИК проводника, т.е. вкраплением.

Область 8 является областью связанных элементов фона, т.е. сегментом фона. Через любую точку этого сегмента фона можно провести хотя бы одно прямолинейное сечение этого сегмента, длина которого будет меньше различительного сечения фона $d_{рф}$. Из этого следует, что данный сегмент является ИК фона. Этот ИК фона не примыкает ни к одному из СК фона. Следовательно, связность этого ИК фона равна нулю. Таким образом, сегмент фона 8 является несвязным ИК фона, т.е. раковиной.

Аналогично, области 3, 6, 9 являются СК проводника, область 4 – ИК фона, области 5, 7 – ИК проводника.

ИК проводника 5 примыкает к двум СК проводника: 3 и 6. Следовательно, связность данного ИК проводника равна двум. ИК проводника 7 примыкает к двум СК проводника: 6 и 9. Следовательно, связность данного ИК проводника равна двум. Таким образом, ИК проводника 5 и 7 являются многосвязными ИК проводника, т.е. заужениями.

На рис. 1,б представлено то же самое изображение фрагмента печатной платы, только откорректированное: каждому пикселю раковины присвоен признак проводника. В результате заужение 7 исчезло, а заужение 5 осталось. Это значит, что заужение 5 относится к классу заужений, не обусловленных раковинами, а заужение 7 относится к классу заужений, обусловленных раковинами.

Общее количество заужений, принадлежащих фрагменту печатной платы по рис. 1, $N_{ЗАУ} = 2$. Количество заужений, обусловленных раковинами, $N_{ЗАУР} = 1$. Количество заужений, не обусловленных раковинами, $N_{ЗАУНЕР} = 1$.

В публикациях [11, 12] предложен способ автоматизированного обнаружения и идентификации типов дефектов проводящего рисунка печатной платы.

Система, реализующая этот способ, формирует ИК проводника и фона, определяет связность каждого ИК, формирует **области интереса**, каждая из которых состоит из смежных ИК проводника и фона, определяет связность каждого ИК, определяет геометрические параметры каждой области интереса и на основании этого анализа принимает решение о том, является данная область интереса дефектом или нет. Если некоторая область интереса является дефектом, то система идентифицирует тип этого дефекта и определяет его местоположение. К преимуществам этой системы следует отнести полноту представляемого системой структурного описания изображения печатной платы, к недостаткам – низкую производительность контроля.

Представляемая в настоящей статье система также формирует ИК и СК. Но она не формирует областей интереса, не определяет связность каждого ИК, не определяет его геометрических параметров. Эта система корректирует исходное изображение, присваивая раковинам признак проводника, формирует ИК и СК исходного и откорректированного изображения и на основании подсчета количества этих объектов и вычислений по формулам определяет общее количество заужений $N_{ЗАУ}$, количество заужений, обусловленных раковинами $N_{ЗАУР}$, и количество заужений, не обусловленных раковинами $N_{ЗАУНЕР}$, на печатной плате. Эта информация является исходной для выбраковки заделов и принятия решений по коррекции технологических процессов. За счет того, что система не производит такого большого числа операций, какое производит базовая система, достигается повышение производительности контроля минимум в 5 раз.

Примерная структурная схема автоматизированной системы для подсчета заужений и раковин проводящего рисунка печатной платы представлена на рис. 2.

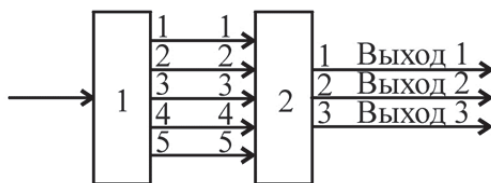


Рис. 2. Примерная структурная схема автоматизированной системы для подсчета заужений и раковин проводящего рисунка печатной платы

Схема содержит два функциональных блока: блок накопления 1 и блок вычисления 2. На входе системы исходное бинарное изображение печатной платы. Блок накопления корректирует исходное изображение и накапливает информацию. По окончании цикла на его выходах 1–5 формируется следующая информация (табл. 1)

Таблица 1

№ выхода	Информация о количестве
1	СК проводника исходного изображения
2	ИК проводника откорректированного изображения
3	связных ИК проводника откорректированного изображения
4	СК проводника откорректированного изображения
5	сегментов проводника откорректированного изображения

Блок вычисления 2 производит вычисления на основании исходных данных, полученных от блока накопления, и формирует на выходах результаты (табл. 2).

Таблица 2

№ выхода	Информация о количестве
1	заужений печатных проводников
2	раковин печатных проводников, не приводящих к заужениям
3	раковин печатных проводников, приводящих к заужениям

Структура блока накопления представлена на рис. 3.

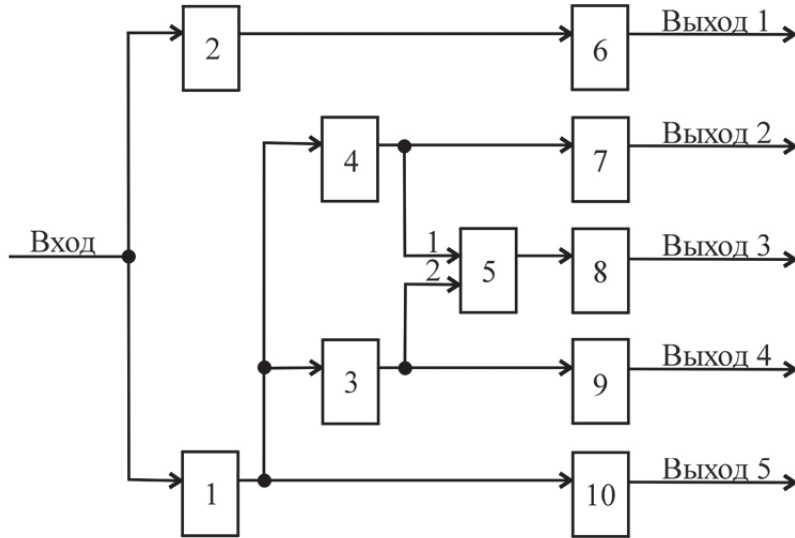


Рис. 3. Структура блока накопления

Блок 1 формирует откорректированное изображение. Этот блок обнаруживает раковины и присваивает их элементам признак проводника. В результате в откорректированном изображении раковин нет (рис. 1,б). Блок 2 формирует СК проводника исходного изображения. Блоки 3 и 4 формируют СК проводника и ИК проводника откорректированного изображения соответственно. Блок 5 отличает несвязные ИК проводника от связанных и присваивает пикселю, принадлежащему связанному ИК проводника, соответствующий признак. Связность объекта этот блок не определяет. В результате счетчики объектов 6–10 формируют на своих выходах информацию согласно табл. 1.

Информация с выходов блока накопления 1 (см. рис. 1) поступает на одноименные входы блока вычисления 2.

Структура блока вычисления представлена на рис. 4.

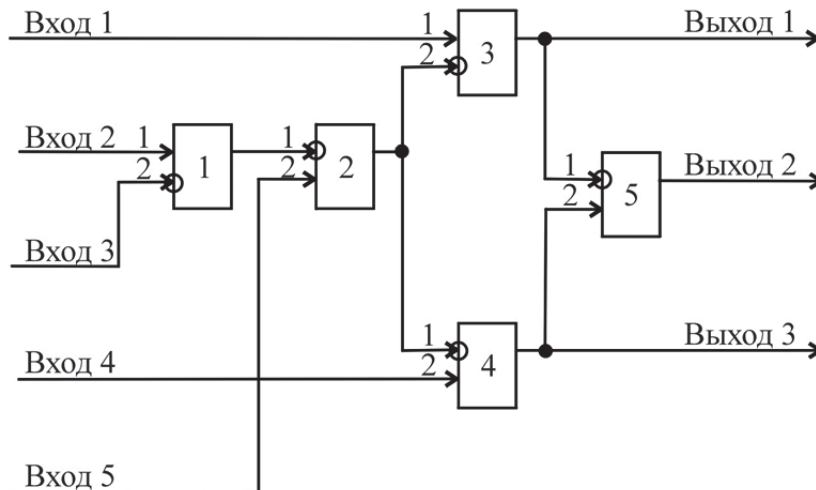


Рис. 4. Структура блока вычисления

В составе блока вычисления все функциональные блоки являются сумматорами. Каждый из них возвращает сумму чисел, поступающих на их входы. Кружок на входе или на выходе блока означает то, что цифровой код на этом выходе представлен с противоположным знаком. Таким образом, если на одном из входов сумматора кружок, то такой сумматор представляет собой вычитающее устройство.

Блок 1 (см. рис. 4) возвращает разность между общим количеством ИК откорректированного изображения $N_{КИК}$ и количеством связанных ИК $N_{КИКСВ}$ этого изображения. В результате на его выходе сформируется количество несвязных ИК откорректированного изображения $N_{КИКНЕСВ}$:

$$N_{КИКНЕСВ} = N_{КИК} - N_{КИКСВ}. \quad (1)$$

На рис. 1,б представлено откорректированное изображение фрагмента печатной платы. Это изображение содержит 3 ИК проводника – области 1, 2 и 5. Таким образом, $N_{КИК} = 3$. Один из этих ИК проводника (область 5) является связным. Два других ИК проводника (области 1 и 2) – несвязные ИК проводника. Это вкрапления. Таким образом, $N_{КИКНЕСВ} = 2$; $N_{КИК} = 3$; $N_{КИКСВ} = 1$.

Блок 2 (см. рис. 4) возвращает разность между количеством сегментов проводника откорректированного изображения N_K и количеством несвязных ИК проводника этого изображения $N_{КИКНЕСВ}$. В результате формируется так называемое эталонное число Э:

$$\mathcal{E} = N_K - N_{КИКНЕСВ}. \quad (2)$$

Несвязные ИК проводника – это вкрапления металлизации на поверхности диэлектрической основы печатной платы. Такой несвязный ИК проводника представляет собой сегмент проводника. Но это – паразитный сегмент. Сегмент, возникший помимо воли разработчика. Таким образом, эталонное число – это количество запланированных сегментов проводника на печатной плате. На рис. 1,б три сегмента проводника, т.е. $N_K = 3$. Два из этих сегментов (области 1 и 2) являются несвязными ИК проводника. Таким образом, эталонное число $\mathcal{E} = 1$.

Блок 3 (см. рис. 4) вычитает эталонное число Э из количества стабильных кластеров исходного изображения. Эта разность представляет собой общее количество заужений печатных проводников:

$$N_{ЗАУ} = N_{СК} - \mathcal{E}. \quad (3)$$

В приведенном примере (см. рис. 1) эталонное число $\mathcal{E} = 1$, количество СК проводника исходного изображения (см. рис. 1,а) $N_{СК} = 3$, общее количество заужений печатных проводников $N_{ЗАУ} = 2$.

Блок 4 (см. рис. 4) вычитает эталонное число Э из количества стабильных кластеров откорректированного изображения. Эта разность представляет собой количество заужений печатных проводников в откорректированном изображении, т.е. количество заужений печатных проводников, не обусловленных раковинами:

$$N_{ЗАУНЕР} = N_{КСК} - \mathcal{E}. \quad (4)$$

В приведенном примере (см. рис. 1) эталонное число $\mathcal{E} = 1$, количество СК проводника откорректированного изображения (см. рис. 1,б) $N_{КСК} = 2$, количество заужений в откорректированном изображении, т.е. количество заужений, не обусловленных раковинами, $N_{ЗАУНЕР} = 1$.

Блок 5 (см. рис. 4) вычитает из общего количества заужений $N_{ЗАУ}$ количество заужений, не обусловленных раковинами $N_{ЗАУНЕР}$. В результате получается количество заужений, обусловленных раковинами $N_{ЗАУР}$:

$$N_{ЗАУР} = N_{ЗАУ} - N_{ЗАУНЕР}. \quad (5)$$

В приведенном примере (см. рис. 1) общее количество заужений $N_{ЗАУ} = 2$ (см. рис. 1,а), количество заужений, не обусловленных раковинами $N_{ЗАУНЕР} = 1$ (см. рис. 1,б), количество заужений, обусловленных раковинами (см. рис. 1,а), $N_{ЗАУР} = 1$.

Список литературы

1. Информационная технология многофакторного обеспечения надежности сложных электронных систем / Н. К. Юрков, А. В. Затылкин, С. Н. Полесский, И. А. Иванов, А. В. Лысенко // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 75–79.

2. Голушко, Д. А. Методика исследования динамических характеристик технических систем на основе рассогласования фаз внешнего вибрационного воздействия / Д. А. Голушко, А. В. Затылкин, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 4. – С. 88–92.
3. Пат. RU 2522870. Способ допускового контроля печатных плат / А. Л. Држевецкий, Н. К. Юрков, А. В. Григорьев, А. В. Затылкин, И. И. Кочегаров, Е. С. Крюкова. – Опубл. 20.07.2014, Бюл. № 20.
4. Shishulin, D. N. Research of the Vibration Effects on the Mirror Antenna's Radiation Using ANSYS / D. N. Shishulin, N. K. Yurkov, A. N. Yakimov // Modern problems of radioengineering, telecommunications, and computer science : Proceedings of the International Conference TCSET'2014. – 2014. – 25 February – 1 March. – P. 135.
5. Shishulin D. N. Modeling the radiation of a mirror antenna taking vibration deformations into account / Shishulin D. N., Yurkov N. K., Yakimov A. N. // Measurement Techniques. – 2014. – V. 56, № 11. – P. 1280–1284.
6. Maksimov, E. Yu. A finite-element model of the thermal influences on a microstrip antenna / E. Yu. Maksimov, N. K. Yurkov, A. N. Yakimov // Measurement Techniques. – 2011. – V. 54, № 8. – P. 207–212.
7. Grigor'ev, A. V. Sequential discrete multilevel automated system for recording electron-diffraction patterns / A. V. Grigor'ev, A. L. Drzhevetskii, S. V. Orekhov // Measurement Techniques. – 1996. – № 39. – P. 483.
8. Принцип негативно-контурной классификации растровых элементов полутоновых изображений / А. В. Григорьев, А. Л. Држевецкий, В. Я. Баннов, В. А. Трусков, А. С. Косококов // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2014. – Т. 2. – С. 21–24.
9. Баранов, Н. А. Управление состоянием готовности системы безопасности к отражению угрозы / Н. А. Баранов, Н. А. Северцев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2012. – Т. 1. – С. 8–10.
10. Дедков, В. К. Компьютерное моделирование характеристик надежности нестареющих восстанавливаемых объектов / В. К. Дедков, Н. А. Северцев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2010. – Т. 1. – С. 368–370.
11. Методы обнаружения и локализации латентных технологических дефектов бортовой радиоэлектронной аппаратуры : моногр. / Н. К. Юрков, В. Б. Алмаметов, А. В. Затылкин, А. В. Григорьев, И. И. Кочегаров. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – 184 с.
12. Алгоритм выявления латентных технологических дефектов фотошаблонов и печатных плат методом оптического допускового контроля / И. И. Кочегаров, И. В. Ханин, Н. К. Юрков, А. В. Григорьев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2014. – Т. 2. – С. 54–57.

Григорьев Алексей Валерьевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
8-(412)-36-82-12
E-mail: a_grigorev@mail.ru

Кочегаров Игорь Иванович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
8-(412)-36-82-12
E-mail: ico@mail.ru

Юрков Николай Кондратьевич

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
8-(412)-56-43-46
E-mail: yurkov_NK@mail.ru

Grigor'ev Aleksey Valer'evich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Kochegarov Igor Ivanovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Yurkov Nikolay Kondrat'evich

doctor of technical sciences, professor,
head of sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)