

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ

Разрабатывается программный модуль бесконтактного теплового контроля качества радиоэлектронных модулей на печатной плате при производстве РЭС. Рассматриваются и усовершенствуются методы, необходимые для подготовки видимого изображения четырех печатных плат, выделения контуров всех элементов на них, а также нахождения неисправных элементов на печатных платах путем наложения полученных контуров на термограмму.

Введение

Существует задача контроля качества радиоэлектронных модулей на печатной плате (ПП), а именно проверка правильности монтажа элементов и проверка на дефекты платы в целом.

Для решения этой задачи целесообразно использование теплового неразрушающего контроля качества печатных плат. Данный метод контроля имеет ряд преимуществ, таких как бесконтактность процесса и относительно низкая стоимость наряду с другими современными методами контроля качества ПП.

Постановка задачи исследования

Целью данного исследования является разработка программного модуля для осуществления бесконтактного теплового контроля качества печатных плат.

Для проектирования данного программного модуля необходимо выбрать метод автоматизированного контроля качества ПП, осуществив при этом анализ существующих методов контроля, обосновать выбор метода теплового неразрушающего контроля, разработать алгоритм подготовки видимого изображения печатных плат (выбрать и усовершенствовать методы для фильтрации изображения, повышения контраста и оконтуривания элементов). После подбора и доработки выбранных методов необходимо провести анализ полученных результатов контроля качества.

В процессе производства печатных плат используют различные методы контроля качества, которые предназначены для обеспечения выпуска продукции, отвечающей требованиям нормативных документов.

Существуют следующие методы контроля качества печатных плат:

- а) электрическое тестирование;
- б) оптический контроль;
- в) рентгеновский контроль;
- г) тепловой неразрушающий контроль.

Данные методы используются для контроля качества печатных плат на различных этапах изготовления. Для дальнейшего проектирования программного модуля был выбран тепловой неразрушающий контроль активного типа (с применением внешних нагревателей), так как его использование целесообразно при проверке готовой продукции.

В тепловых методах неразрушающего контроля используется тепловая энергия, распространяющаяся в объекте контроля. Температурное поле поверхности объекта является источником информации об особенностях процесса теплопередачи, которые, в свою очередь, зависят от наличия внутренних или наружных дефектов.

Различают пассивный и активный тепловой контроль. При пассивном тепловом контроле анализ тепловых полей изделий производят регистрацией их собственного теплового излучения. Активный тепловой контроль предполагает нагрев объекта внешним источником энергии.

Основной характеристикой температурного поля, являющейся индикатором дефектности, служит величина локального температурного перепада. Координаты места перепада, его рельеф или, иными словами, топология температурного поля и его величина в градусах являются функцией большого количества факторов. Эти факторы можно подразделить на внутренние и внешние. Внутренние факторы определяются теплофизическими свойствами контролируемого объекта и дефекта, а также их геометрическими параметрами. Эти же факторы определяют временные параметры процесса теплопередачи, в основном, процесса развития температурного перепада. Внешними факторами являются характеристики процесса теплообмена на поверхности объекта контроля (чаще всего величина коэффициента конвективной теплоотдачи), мощность источника нагрева и скорость его перемещения вдоль объекта контроля.

Существуют следующие способы активного теплового контроля изделий:

а) кратковременный локальный нагрев изделия с последующей регистрацией температуры той же (при одностороннем контроле) или противоположной области (при двустороннем контроле);

б) с использованием сканирующей системы, состоящей из жестко закрепленных относительно друг друга источников нагрева и регистрирующего прибора (например, радиометра), перемещающихся с постоянной скоростью вдоль поверхности образца;

в) одновременный нагрев поверхности образца вдоль некоторой линии с последующей регистрацией температуры вдоль той же линии (при одностороннем контроле) или вдоль аналогичной линии с противоположной поверхности образца (при двустороннем контроле). Подобная регистрация может быть осуществлена, например, прибором “Термопрофиль”;

г) одновременный нагрев всей поверхности образца и последующая одновременная регистрация температурного распределения на этой же или на противоположной поверхности. Подобный способ контроля может быть осуществлен при помощи тепловизора.

Эффективность выявления дефектов каждым из описанных способов теплового контроля уменьшается от первого к четвертому, а производительность - возрастает.

Бесконтактные методы теплового контроля основаны на использовании инфракрасного излучения, испускаемого всеми нагретыми телами. Инфракрасное излучение занимает широкий диапазон длин волн от 0,76 до 1000 мкм. На практике преимущественно используются два спектральных диапазона 3,5 и 8,14 мкм, совпадающие с окнами максимальной прозрачности атмосферы и являющиеся наиболее информативными. Спектр, мощность и пространственные характеристики этого излучения зависят от температуры тела и его излучательной способности, обусловленной, в основном, его материалом и микроструктурными характеристиками излучающей поверхности. Например, шероховатые поверхности излучают сильнее, чем зеркальные. При повышении температуры мощность излучения быстро растет, а ее максимум сдвигается в область более коротких длин волн. Эта закономерность характеризуется законом смещения Вина.

Характер спектра зависит, в основном, от агрегатного состояния вещества. Для твердых характерны непрерывные спектры излучения.

Для характеристики теплового излучения удобным оказалось понятие абсолютного черного тела (АЧТ), т.е. тела, поглощающего все падающее на него излучение. Излучение АЧТ описывается аналитически, оно является функцией только его температуры. Физической моделью АЧТ может служить замкнутая полость с отверстием, значительно меньшим ее габаритов.

Законы излучения АЧТ могут применяться с известной поправкой для большинства реальных тел, что определяет их значение.

Суммарную плотность потока излучения АЧТ в зависимости от его температуры определяет закон Стефана-Больцмана (получаемый интегрированием закона Планка).

В основу принципа действия тепловизионных приборов положено двумерное преобразование собственного теплового излучения от объектов и местности, или фона, в видимое изображение, что является одной из высших форм преобразования и хранения информации. Наличие в поле зрения регистрируемого теплового контраста позволяет визуализировать на мониторе полутоновые черно-белые или адекватные им “псевдоцветные” тепловизионные изображения.

Тепловизионная техника обладает рядом достоинств и присущих только ей возможностей: обнаружение удаленных теплоизлучающих объектов (или целей) независимо от уровня естественной освещенности, а также до определенной степени - тепловых и других помех (дождя, тумана, снегопада, пыли, дыма и др.).

Тепловизор позволяет выделять на тепловом изображении объекта области одинаковых температур с помощью изотерм, высвечивающихся на мониторе. В нижней части кадра формируется серая шкала, которая используется для измерения температуры. При этом яркость отдельных участков изображения объекта сравнивают с яркостью элементов шкалы, для которой при калибровке прибора определяют температурный перепад, соответствующий переходу от белого к черному.

Разрабатываемый программный модуль бесконтактного теплового контроля качества печатных плат должен производить:

- получение видимого изображения 4 печатных плат, находящихся на конвейере;
- фильтрации полученного изображения;
- повышение контраста изображения;
- оконтуривание всех элементов на печатной плате;
- анализ и подготовка термограммы, полученной в ходе нагревания элементов платы;
- выделение на термограмме зоны интереса в кадре, а именно области, содержащей дефект.

Для выделения на термограмме интересующей нас области, а именно области с превышением граничного значения интервала рабочих температур, производится нормализация видимого изображения с помощью восьми реперных точек, выделенных на термограмме и на видимом изображении.

Использование восьми реперных точек позволяет одновременно работать с четырьмя платами.

Методы решения и полученные результаты

Первым этапом разработки программного модуля контроля качества печатной платы является повышение контраста изображения. В отличие от существующих сглаживающих фильтров, которые снижают локальную контрастность изображения, размывая его, контрастоповышающие фильтры производят обратный эффект.

Ядро контрастоповышающего фильтра имеет значение, большее 1, в точке (0, 0), при общей сумме всех значений, равной 1. Например, контрастоповышающим фильтром является фильтр с ядром, задаваемым матрицей:

$$M_1^{\text{contr}} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix},$$

или матрицей:

$$M_2^{\text{contr}} = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}.$$

Эффект повышения контраста достигается за счет того, что фильтр подчеркивает разницу между интенсивностями соседних пикселей, удаляя эти интенсивности друг от друга.

Для дельнейшей фильтрации изображения после повышения контрастности был выбран метод SUSAN, разработанный С.М. Смитом в 1995 году.

Использование метода SUSAN необходимо для очистки реального изображения от различных видов шумов. Этот метод включает в себя два этапа. Сначала определяется «шумовой» пиксель (как правило, в выявлении шума и состоит основная сложность). Затем значение шумового пикселя заменяется на новое, как правило рассчитанное из окружающих пикселей значение.

Обычно при использовании метода SUSAN рассматривается группа пикселей 5x5 элементов, центральной пиксель этой матрицы является тестируемым.

При разработке автоматизированного метода контроля качества группа обрабатываемых пикселей была уменьшена до 3x3, так как при работе с маленькими элементами ПП необходимо максимально точно фильтровать шумы. Использование матрицы пикселей 3x3 несколько замедляет работу программы, но показывает более точные результаты, необходимые для следующего этапа оконтуривания элементов.

В ходе проверки рассчитывается отклонение яркости пикселя от среднего значения яркости. Если фильтр «решает», что такого пикселя быть не должно, его «шумовое» значение заменяется новым, вычисленным на основе окружающих пикселей.

Критерий определения шума в данном методе состоит в рассмотрении n пикселей, попавших в матрицу пикселей.

Находим сумму отклонений яркости пикселей от среднего значения:

$$S = \sum_{i=0}^{n-1} \Delta_i,$$

где $\Delta_i = |\bar{b} - b_i|$; b_i – значение пикселя i ; $\bar{b} = \sum_{i=0}^{n-1} (b_i / n)$ – среднее значение яркости.

Определяется относительный вклад отклонения Δ_k тестируемого пикселя в значение S :

$$P_k = \frac{\Delta_k}{S},$$

здесь k – номер тестируемого пикселя.

Очевидно, что $\sum_{i=0}^{n-1} p_i = 1$.

Если в рассматриваемом фрагменте изображения наблюдается более-менее равномерное распределения яркостей пикселей, то и значение p_i будет не сильно отличаться от $1/n$.

Яркость шумового пикселя значительно отличается от средней яркости окружающих его пикселей.

Величина Δ_k такого пикселя больше, чем у остальных пикселей, а значит величина P_k будет превышать $1/n$. Это и является критерием шумового пикселя.

Если $P_k > \frac{1}{n}$, значит, пиксель k является шумом.

После выявления шумового пикселя необходимо решить, что с ним делать. Здесь возможны следующие варианты:

- заменить шумовой пиксель средним значением $\bar{b}$;
- заменить шумовой пиксель средним значением, вычисленным с учетом значений всех пикселей, за исключением шумового.

В усовершенствованном методе автоматизированного контроля использован другой вариант решения задачи выявления шумового пикселя, так как он позволяет наиболее точно найти шумовые пиксели.

Необходимо заменить шумовой пиксель средним значением, посчитанным с учетом значений всех пикселей, не удовлетворяющих критерию отбора шума. Данное решение предполагает, что в рассматриваемый фрагмент может попасть более одного пикселя, удовлетворяющего критерию «шум», и при расчете нового значения их не следует учитывать.

Представлен результат обработки элемента смонтированным на ПП усовершенствованным методом SUSAN (рис.1).

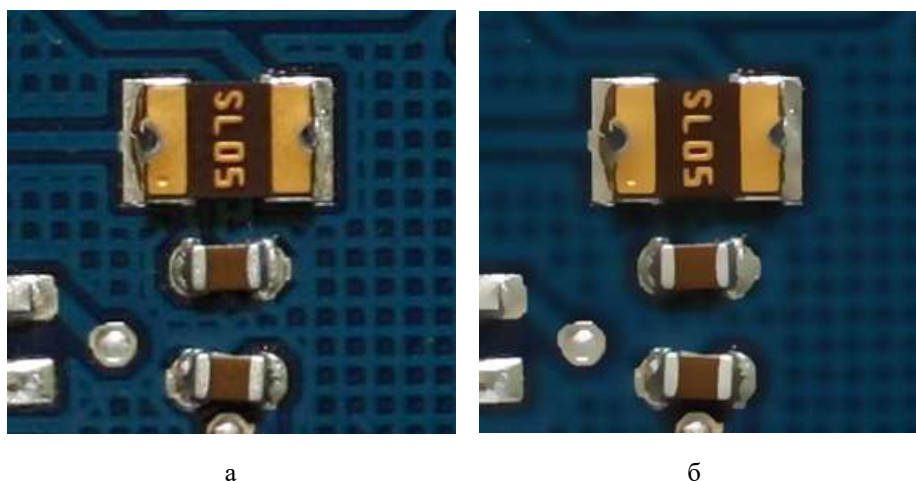


Рис. 1. Результат обработки видимого изображения методом SUSAN: а – исходное изображение; б – обработанное

Следующим шагом при подготовке видимого изображения является выделение контуров.

В разрабатываемом методе автоматизированного контроля качества для усовершенствования выбран метод Робертса и разностный метод.

При усовершенствовании первого метода матрица преобразований уменьшена до размера 3×3 пикселя и в ходе запуска формировалась лишь после предварительной фильтрации изображения печатных плат.

Так же определяются весовые коэффициенты пикселей в операциях сложения.

Яркость пикселей, попавших в область действия матрицы, примерно одинакова. Это значит, что после сложения получится сумма, близкая к нулю. Если же преобразуемый пиксель (ему соответствует центральный элемент матрицы 3×3) имеет яркость, превышающую окружающие пиксели, то результат сложения будет больше нуля.

Сумма элементов матрицы равна нулю. Поэтому изображение превратится в черно-белое. Если же центральный элемент матрицы сделать, например, равным 9, то тогда цвета изображения в основном не изменятся и будут выделены лишь границы.

Как было отмечено ранее, перед началом работы данного метода необходимо произвести предварительную фильтрацию усовершенствованным методом SUSAN.

На рис. 2 представлен результат использования стандартного и усовершенствованного метода Робертса после предварительной фильтрации изображения.

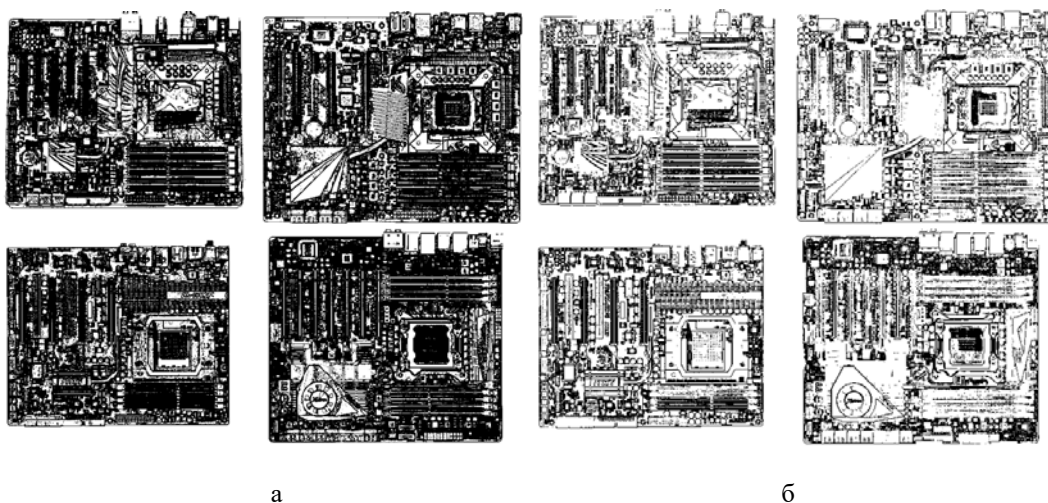


Рис. 2. Результат выделения контуров элементов на ПП с помощью метода Робертса после фильтрации: а – стандартный метод; б – усовершенствованный метод

Следующим этапом является наложение выделенных контуров элементов ПП на термограмму. На рис. 3 представлен результат наложения полученного контура на термограмму.

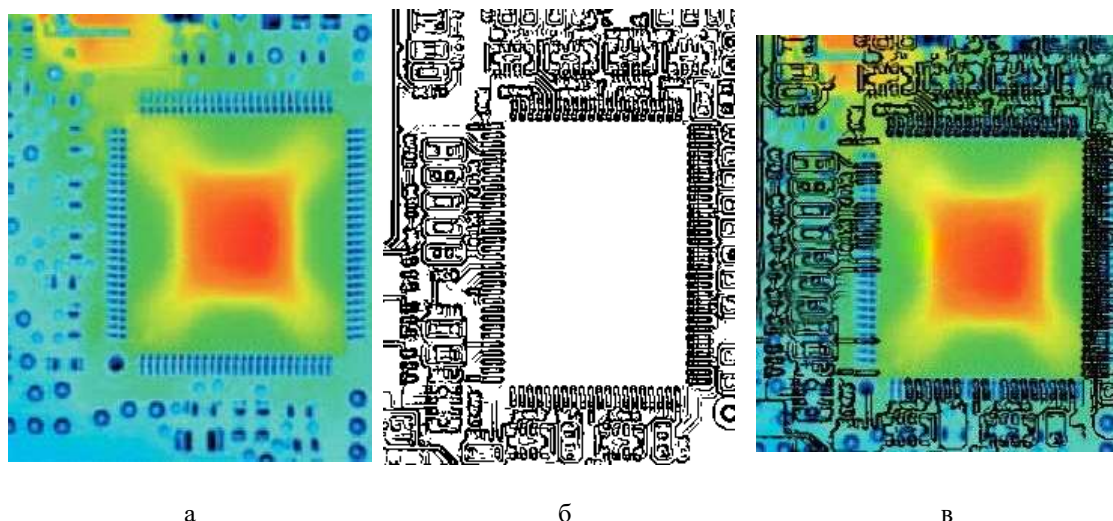


Рис. 3. Результат наложения контура на термограмму: а – часть термограммы; б – часть полученного контура; в – результат наложения полученного контура на термограмму

Разработанный программный модуль контроля качества также сопоставляет полученные результаты с базой данных, а именно обнаруживает пиксели («шумовые пиксели»), которые будут отображать перегрев элементов.

«Шумовые» пиксели автоматически сверяются с ранее разработанной базой данных. Данная БД содержит в себе наименования элементов и интервалы рабочих температур для каждого из элементов. Также она содержит положение каждого из элемента на плате. Если показание температуры выходит за границы интервала рабочих температур, то разработанная программа выводит сообщение о том, что элемент бракован.

Выводы

В ходе разработки программного модуля был выбран и обоснован метод теплового неразрушающего контроля. Также были выбраны и усовершенствованы методы подготовки видимого изображения, наложения полученных контуров на термограмму. Использование разработанного модуля позволит ускорить процесс одновременного контроля качества 4 печатных плат.

Список литературы: 1. Программно-технические средства диагностики цифровых моделей систем управления технологическим оборудованием [Текст] : [моногр.] / И. Ш. Невлюдов, М. А. Омаров, Б. А. Шостак ; МОН Украины. Х. : НТМТ, 2008. 216 с. 2. Путятин Е. П. Обработка изображений в робототехнике [Текст] / Е. П. Путятин, С. И. Аверин. М. : Машиностроение, 1990. 320 с. 3. Поляков А.Ю., Брусенцов В.А. Методы и алгоритмы компьютерной графики в примерах на Visual C++. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 560 с.

Поступила в редколлегию 14.09.2015

Гурина Дарья Владимировна, аспирантка кафедры ТАПР ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14.

Гарячевская Ирина Васильевна, канд. техн. наук, доцент кафедры информационных технологий в физико-энергетических системах, заместитель декана по учебной работе физико-энергетического факультета Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина. Адрес: Украина, 61022, Харьков, пл. Свободы, 4.