

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ИНСПЕКЦИИ

П.Е. Хрусталева (Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева)

Рассматривается система автоматической оптической инспекции, выделяющая сквозные отверстия на печатной плате оптимизированными средствами технического зрения и искусственного интеллекта.

Ключевые слова: печатная плата, автоматическая оптическая инспекция, дефектоскопия, цифровая обработка изображений, нейронная сеть.

Проблема создания и внедрения систем автоматической инспекции на различных предприятиях является актуальной не только из-за непосредственного снижения себестоимости изготовления продукции путем ускорения самого процесса обработки и контролирования определенных параметров изделий. Наличие систем инспекции для автоматизации операций является требованием ряда заказчиков. Для лица, выбирающего предприятие-изготовителя заказного изделия, минимизация влияния человеческого фактора на определенных этапах ТП путем автоматического обнаружения различного рода дефектов оказывается не менее важным фактором, чем, например, качество оборудования, на котором будет выполняться работа.

В настоящее время популярным методом оценки качества изготовления печатных плат является рентгеновская диагностика [1, 2]. Оборудование рентгеновского контроля позволяет проводить диагностику и локализацию наиболее часто встречающихся дефектов, таких как отклонение диаметров переходных отверстий и/или их смещение. Недостатком такого метода автоматической инспекции является его высокая цена и специальные требования к помещению, в котором будет производиться диагностика.

Совместно с рентгеновским контролем существуют АОИ системы (Automation Optical Inspection Systems), принимающие сигнал в видимом диапазоне длин волн. В [3] рассматривается АОИ система, которая принимает решение о наличии дефекта путем сравнения снимка проверяемой печатной платы с эталоном, хранящимся в памяти системы. Предложенный способ дефектоскопии формирует изображение, которое подготавливается к сравнению с эталоном путем порогового разделения гистограммы яркости, где для каждой цветовой составляющей определяется интервал яркости, который будет соответствовать объектам, находящимся на плате. Таким образом, данный метод выделяет пиксели изображения, обладающие идентичными значениями цветовых компонент, что может быть достаточно полезным при контролировании параметров ряда изделий. Описанный способ функционирования АОИ системы может найти дефект, исходя из элементарного несоответствия условий освещения, при которых создавалось эталонное изображение и инспектировалось полученное изделие, но главным недостатком системы является невозможность выделения объекта при условии, что в его окрестности будут присутствовать разные цветовые гаммы. А это нередко бывает на платах, имеющих значительное число элементов, например, с маркировкой, цвет кото-

рой значительно отличается от цвета элемента. Сам компонент может быть разделен двумя цветами и т.д.

В работах [4, 5] сообщается об АОИ системе, где реализованы две модели совмещения эталона и полученного бинарного изображения печатной платы, в котором интенсивность цвета в каждой точке является скалярной функцией, принимающей значения 0 или 1. Данный подход снижает число ошибок, возникающих на этапах анализа дефекта. Однако переход от векторной функции, описывающей мультиспектральное изображение к скалярной, характеризующей полутоновое изображение, на этапе бинаризации значительно повысит процент возникающих ошибок в работе системы за счет потери информативности признаков изображения, содержащего дефекты. Применение одного лишь метода бинаризации с выделением значений яркости, соответствующих областям, занимаемым объектами, представляющими интерес так же, как и в приведенном выше случае, негативно скажется на результатах дефектоскопии.

Учитывая потенциал современных методов цифровой обработки изображений (ЦОИ) и искусственного интеллекта, предлагается спроектировать систему автоматической оптической инспекции, обладающую рядом преимуществ по сравнению с уже существующими. Структурная схема такой системы автоматической инспекции сквозных отверстий, присутствующих на печатной плате, приведена на рис. 1.

В определенный момент времени печатная плата, размещенная на поверхности белого цвета, попадает в поле зрения оптической системы, принимающей сигнал в видимом диапазоне длин волн. После регистрации мультиспектральное изображение печатной платы передается в систему обработки изображений Miranda для прохождения ряда операций.

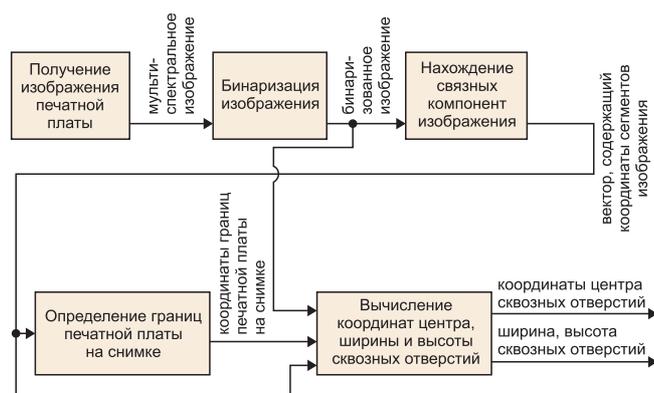


Рис. 1. Структурная схема системы автоматической оптической инспекции

Использование неоптимизированных методов обработки изображения значительно повлияет на общую производительность всей системы в целом и качество полученных результатов в частности. Учитывая, что по конвейеру может проходить значительное число изделий за короткий промежуток времени, целесообразно проводить многокритериальную оптимизацию [6, 7] процедур обработки изображения. В качестве критериев оптимальности таких процедур выступают: временные потери, возникающие при использовании алгоритмов ЦОИ, зависимость времени работы процедуры сегментации от топологии и размера изображения и т.д. Для бинаризации изображения может использоваться дифференциальный оператор Собела, при помощи которого вычисляется градиентное поле полноцветного изображения.

После процедуры нахождения контуров на снимке происходит поиск компонент связности, которые располагаются на бинарном изображении. Задача сегментации бинарного изображения не является тривиальной. В своем стандартном исполнении процедура сегментации не претендует на роль оптимального метода выделения связанных компонент изображения в условиях РВ, поэтому рекомендуется заменить древовидную структуру данных для объединения-поиска на вектор и при переразметке компонент связности использовать последовательное, а не рекурсивное обращение к структуре [7].

Затем, используя данные вектора, содержащего координаты сегментов изображения определяются границы печатной платы на снимке. На следующем этапе для вычисления координат центра сквозных отверстий, их ширины и высоты используются результаты, полученные после предыдущих этапов обработки изображения, которые анализирует нейросетевой классификатор, по-

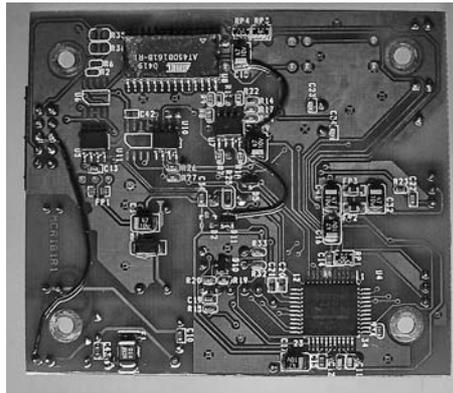


Рис. 2. Изображение печатной платы, размещенной на поверхности белого цвета

строенный на базе многослойного перцептрона. Вначале определяются кандидаты, претендующие на включение в перечень сквозных отверстий. Нейронная сеть анализирует внутреннюю структуру связанных компонент изображения: заполненность сегментов снимка, форму объекта, определенную на этапе процедуры бинаризации, и принимает решение об отношении определенного сегмента изображения к классу сквозных отверстий. После этого непосредственно вычисляются координаты центра отверстия, его ширина и высота.

Изображение тестовой печатной платы и результат работы системы приведены на рис. 2, 3.

В данной работе показана возможность обработки изображения оптимизированными методами, анализирующими полноцветное, а не полутоновое изображение. Данные способы ЦОИ рассматривают внутреннюю структуру объекта, созданную перепадами яркости, определенными на этапе бинаризации. Необходимо также заметить, что для определения дефектов, присутствующих на месте сквозных отверстий не требуется проводить полное попиксельное сравнение снимка изготовленной платы с эталоном. Достаточно лишь сравнить координаты центра отверстия, его ширину, высоту с уже известными данными и при возникновении спорных ситуаций сопоставить внутреннюю структуру отверстия на проверяемой плате с внутренней структурой, расположенной в пределах той же окрестности на эталоне. Такое сравнение исключает значительные временные и качественные потери, которые неизбежно возникают при попиксельном сравнении изображений всей поверхности платы, особенно при больших разрешениях и наличии любого рода возмущающих воздействий на процесс инспекции, например вибрации.

Сопоставим качество функционирования разработанного метода инспекции, анализирующего полноцветное изображение, с известным способом, основанном на исследовании монохромного изображения для выделения дефектов. В качестве тестового образца использовано изображение печатной платы, приведенное на рис. 2. В табл. 1 значения инспектируемых параметров при различных методах обработки изображения приведены в пикселях.

Результаты, приведенные в табл. 1, относятся лишь к одному тестовому образцу, изображенному на рис. 2. Для отображения общей картины функционирования разработанного метода и монохромного способа инспекции целесообразно определить долю обнаруженных отверстий от их общего числа в процентах и точность определения их расположения после ряда экспериментов. Результаты, полученные экспериментально для 60 тестовых образцов представлены в табл. 2. Координаты центров отверстий выделенных обоими ме-

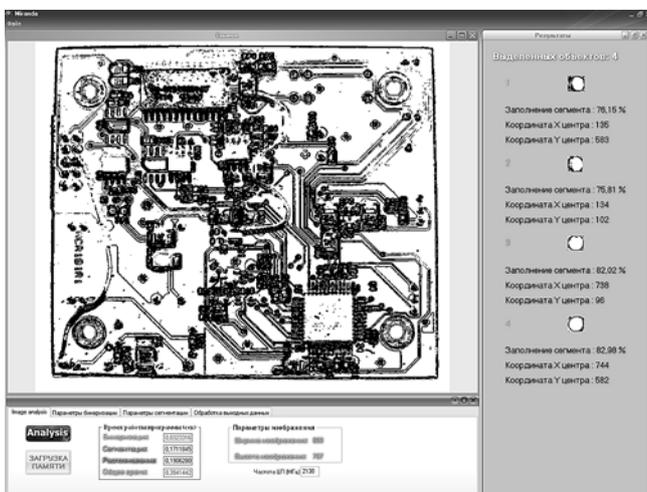


Рис. 3. Интерфейс системы выделения сквозных отверстий на печатной плате

Таблица 1

Порядковый номер выделенного отверстия	Метод инспекции, анализирующий монохромное изображение				Разработанный метод инспекции, анализирующий полноцветное изображение				Эталонные значения			
	Координата X центра	Координата Y центра	Высота	Ширина	Координата X центра	Координата Y центра	Высота	Ширина	Координата X центра	Координата Y центра	Высота	Ширина
1	137	98	39	30	134	102	31	28	135	100	30	30
2	165	586	56	59	135	583	30	32	135	581	30	30
3	741	98	39	32	738	96	28	30	740	100	30	30
4	774	586	55	59	744	582	29	31	740	581	30	30

Таблица 2

№ платы	Количество отверстий, присутствующих на плате	Количество отверстий, найденное монохромным методом	Количество отверстий, найденное разработанным методом	K_w для монохромного метода	K_w для разработанного метода	K_h для монохромного метода	K_h для разработанного метода
1	4	4	3	0,054	0,054	0,054	0,085
2	1	0	1	0	0,038	0	0,038
3	4	4	4	0,884	0,102	1,6635	0,6985
4	5	3	3	0,212	0,019	0,212	0,019
5	6	4	6	0,571	0,571	0,571	0,571
6	8	7	8	0,335	0,031	0,335	0,031
7	10	6	8	0,166	0,203	0,075	0,041
8	3	3	1	0,07	0,057	0,07	0,25
9	4	4	4	0,739	0,3935	0,739	0,3935
10	4	4	4	0,048	0,041	0,131	0,092
...							
50	6	2	4	0,071	0,214	0,285	0,285
51	12	11	12	0,06	0,06	0,4405	0,545
52	21	21	21	0,06	0,06	0,428	0,428
53	3	3	3	0,1047	0,0571	0,248	0,272
54	2	2	2	0,15	0,1	0,052	0,052
55	4	2	1	0,542	0,454	0,352	0,25
56	4	4	3	0,55	0,5	0,0714	0,43
57	4	0	2	0	0,06	0	0,615
58	8	7	8	0,216	0,0265	0,216	0,0735
59	11	6	11	0,148	0,169	0,307	0,294
60	7	5	7	0,067	0,0565	0,067	0,0565
Итого (сумма)	385	329	350	10,4851	7,7724	11,7004	10,7224

годами на подавляющем большинстве снимков определялись системой с достаточно высокой точностью, поэтому в таблице 2 приводится лишь количество отверстий, найденных обоими методами и коэффициенты точности определения ширины (K_w) и высоты (K_h) инспектированных отверстий. Коэффициенты K_w и K_h определяются по формуле (1).

$$K_w = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{|W_{ист_i} - W_{выч_i}|}{W_{ист_i}}}{N}, \quad K_h = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{|H_{ист_i} - H_{выч_i}|}{H_{ист_i}}}{N}, \quad (1)$$

где K_w – величина, показывающая среднюю относительную погрешность определения ширины отверстий на одном тестовом снимке; K_h – величина, показывающая среднюю относительную погрешность определения высоты отверстий на одном тестовом снимке; N – количество найденных отверстий на од-

ной печатной плате; $W_{ист}$, $H_{ист}$ – соответственно истинное значение ширины и высоты отверстия в пикселях; $W_{выч}$, $H_{выч}$ – соответственно значение ширины и высоты отверстия, вычисленное системой Miranda.

Для выявления "пределных" возможностей системы большинство из тестовых образцов были получены в некачественных условиях съемки. На многих печатных платах присутствовало значительное число радиоэлектронных элементов в отличие от платы, изображенной на рис. 2. Также при тестировании имели место другие негативные факторы: неточная фокусировка, обусловленная воздействием вибрации, небольшая разрешающая способность матрицы фотоэлементов оптического устройства.

На рис. 4 приведены диаграммы, отображающие суммы средних относительных погрешностей определения ширины и высоты сквозных отверстий на

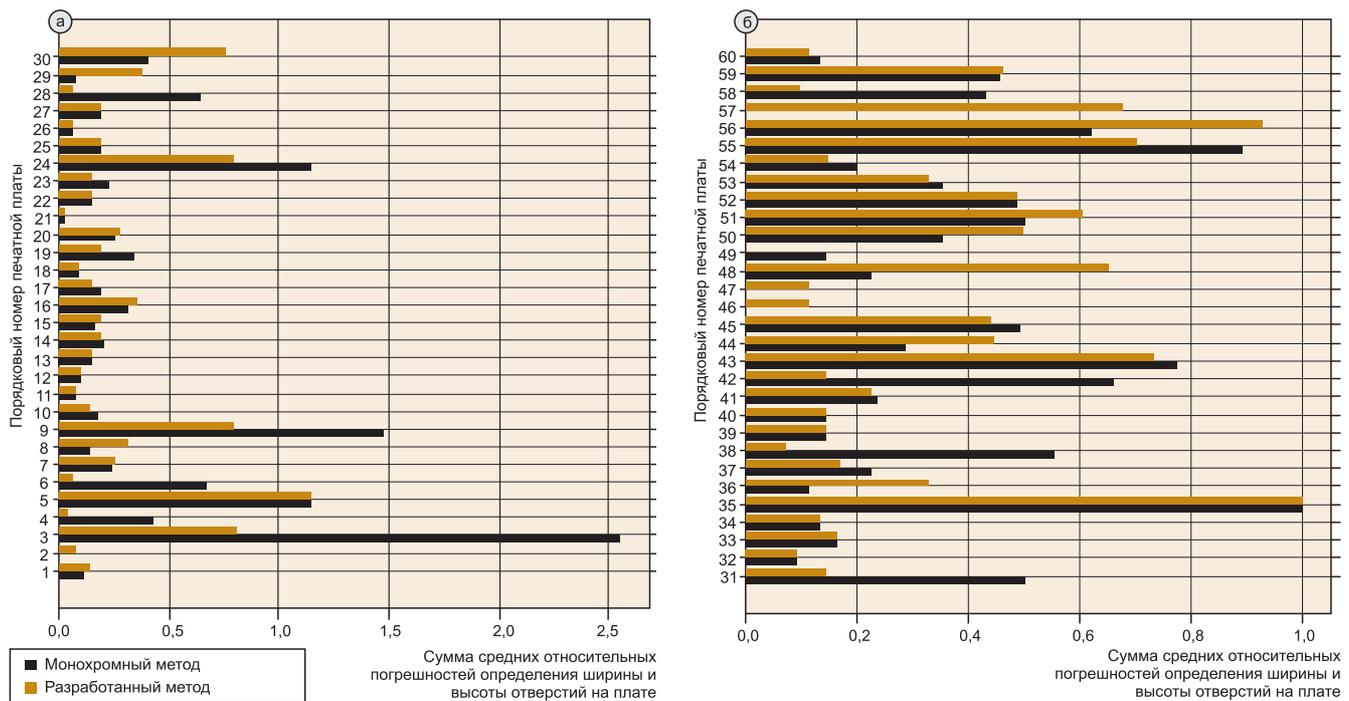


Рис. 4. Диаграммы, вычисленных после применения двух способов инспекции к изображениям тестируемых плат, погрешностей определения параметров отверстий на платах: а) для плат №1...30, б) для плат №31...60

плате, вычисленные после применения двух вышеописанных способов инспекции ко всем изображениям плат, принимавших участие в тестировании.

Подводя итог проведенному экспериментальному тестированию, выделим превосходство разработанного метода инспекции над монохромным способом. Число сквозных отверстий, обнаруженное монохромным методом, составляет 85,45% от общего числа отверстий, присутствующих на плате. В то время как разработанным методом найдено 90,91% сквозных отверстий на 60 печатных платах. Средняя погрешность определения параметров отверстий, вычисляемая по формуле (2) для монохромного метода составляет 19,81%, а для разработанного – 15,67%.

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^M K_{w_i} + K_h}{M} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где δ – величина, показывающая среднюю погрешность определения параметров отверстий на всех тестовых снимках для соответствующего метода инспекции; K_w – величина, показывающая среднюю относительную погрешность определения ширины отверстий на одной плате; K_h – величина, показывающая среднюю относительную погрешность определения высоты отверстий на одной плате; M – число печатных плат, на которых соответствующим методом инспекции найдено хотя бы одно отверстие (значения K_w и K_h отличны от нуля).

Значительная погрешность, возникающая при использовании монохромного изображения для ин-

спекции дефектов на плате, формируется в результате потери информативности признаков во время перехода от полноцветного изображения к монохромному, что влечет за собой смещение и деформацию границ сквозных отверстий на плате.

Список литературы

1. Гафт С. Рентгеновский контроль – мощное средство для диагностики и локализации дефектов современных печатных узлов // Компоненты и технологии. 2004. № 6.
2. Борисенков С., Вотинцев А., Пот Х. Контроль качества: неразрушающий контроль паяных соединений с применением рентгеновского излучения // Компоненты и технологии. 2003. № 2.
3. Медведев А. Контроль печатных плат по признакам внешнего вида // Технологии в электронной промышленности. 2005. № 3.
4. Задорин А., Захарова Г. Система автоматизированного визуального контроля печатных плат Aplite // EDA Expert #3. 2002.
5. Задорин А., Захарова Г. Aplite – система автоматизации автоматического контроля печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2005. № 4.
6. Хрусталева П.Е. Критерий оптимальности процедуры бинаризации изображения. Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации // Тр. IX междунар. конф. "Распознавание – 2010". Курск. гос. техн. ун-т., Курск. 2010.
7. Khrustalev P. Effective method of images segmentation of the objects which are on a non-uniform background // Materials of the III International Conference "Problems of Cybernetics and Informatics". V. I. Baku. Azerbaijan. 2010.

*Хрусталева Павел Евгеньевич – аспирант Ковровской государственной технологической академии имени В.А. Дегтярева.
Контактный телефон (915) 752-82-11. E-mail: khrustaliev@yandex.ru*