

# Система автоматизированного визуального контроля печатных плат Aplite



**ПОСЛЕ ПЕРЕЖИТОГО ДЕСЯТИЛИТИЯ РЕОРГАНИЗАЦИИ, КОНВЕРСИИ И СПАДА ОБЪЁМОВ ПРОИЗВОДСТВА В МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СЕГОДНЯ НАБЛЮДАЕТСЯ ОПРЕДЕЛЁННЫЙ ПОДЪЁМ. ПОЯВЛЯЮТСЯ НОВЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ, СОВЕРШЕНСТВУЮТСЯ ТЕХНОЛОГИИ, РАСТЁТ ЧИСЛО ЗАКАЗОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ (ПП).**

Современные технологии изготовления ПП насчитывают более 20 стадий, основанных на гальванических и механических процессах с использованием других дополнительных приёмов. На интернет-сайтах ряда компаний-производителей подробно представлены эти этапы. С целью повышения процента выхода годных изделий в нескольких точках технологического конвейера заготовки ПП тщательно проверяются по значительной совокупности параметров: механических, геометрических, электрических. Большая роль при этом отводится визуальному (оптическому) контролю рисунка печатного монтажа на предмет обнаружения таких дефектов, как короткие замыкания и разрывы проводников, нарушения различных технологических допусков и так далее.

Визуальный контроль на отечественных предприятиях, как правило, не автоматизирован. Оператор использует микроскоп, прослеживая рисунок непосредственно, либо на подсоединённом мониторе. Такой контроль является слабым местом в цепочке, поскольку человеческий фактор обеспечивает не самую высокую достоверность.

Проблема автоматизации оптического контроля традиционно решается применением сложных программно-аппаратных комплексов, относящихся к классу систем технического зрения, разработка которых ведётся в ряде стран мира. На сегодняшний день промышленно выпускаемых отечественных установок контроля нет, а зарубежные (к при-

меру, продукция фирм ORBOTECH, LLOYD-DOYLE, BARCO) чрезвычайно дороги. В этом свете идея использования стандартного планшетного сканера для ввода изображений контролируемых образцов с последующей их обработкой на персональном компьютере выглядит очень привлекательно.

Во-первых, реализация такой системы позволяет снизить стоимость контрольной станции на два порядка, по сравнению с упомянутыми зарубежными контрольными станциями. Во-вторых, штатная вычислительная техника обеспечивает возможность конфигурирования системы с повышением её пропускной способности. Возможно гибкое конфигурирование по локальной сети предприятия ряда сканеров и компьютеров. Кроме того, наличие аппаратно-независимого программного обеспечения открывает перспективы для его встраивания, например, в плоттеры, производящие фотошаблоны (ФШ), для выходного контроля сгенерированного рисунка. Что касается реальности применения обычного сканера — она подтверждается их достаточно высокой разрешающей способностью. Так, разрешение 1200 dpi обеспечивает для плат 4 класса точности (0,15 мм) 7 пикселей на дорожку, что вполне достаточно для приемлемой работы алгоритмов контроля.

Но за всё приходится платить. Такое универсальное устройство ввода (мы не говорим здесь о дорогих профессиональных моделях сканера) уступает специализированным системам и в произ-

водительности, и в качестве получаемых изображений. Скомпенсировать эти недостатки удалось разработкой оригинальных быстродействующих алгоритмов обработки изображений.

Задача решалась поэтапно. Первая версия системы была настроена на проверку чёрно-белых ФШ, что обеспечило контроль на самых ответственных ранних стадиях производства. В основу был заложен метод сравнения с электронным эталоном, импортированным из системы проектирования. Изображения образца и эталона сравнивались "на просвет", разница, превышающая заданный порог по линейным размерам, отображалась в качестве дефектов. Были реализованы функции измерения, вычисления площадей металлизации, дефектных площадей и др. Главная проблема при этом состояла в том, как обеспечить совмещение двух картинок за приемлемое время, поскольку точно позиционировать заготовку на сканере достаточно проблематично. Соответствующие алгоритмы совмещения были разработаны и развиты в следующей версии системы, контролирующей и ПП.

Суть совмещения состоит в определении угла наклона и сдвигов контролируемого образца относительно идеального положения. В качестве дополнительных параметров совмещения рассматриваются пара масштабных коэффициентов, которые компенсируют отклонение разрешения сканера от номинального. В системе реализованы три метода автоматического совмещения.

*Совмещение по внешним границам* основывается на том, что большинство заготовок имеют прямоугольные внешние границы. При работе этого метода внешние границы образца и эталона аппроксимируются четырьмя прямыми, после чего угол наклона, сдвиги и масштабы вычисляются из геометрических соображений. Данный метод является самым быстрым, но его точность ограничена точностью изготовления и обнаружения внешних границ. В системе контроля он используется в качестве первого приближения к искомому решению.

*Непосредственное совмещение* основывается на оптимизации функции разности площади изображений образца и эталона при варьируемых параметрах совмещения — горизонтальном и вертикальном сдвигах, повороте и изменении масштаба. На каждой итерации оптимизирующего алгоритма обходятся два больших изображения, а при изменении угла или масштабов производится ещё и регенерация растрового эталона. По этой причине метод работает медленнее предыдущего.

*Совмещение по фрагментам.* Задача разбивается на две подзадачи: поиск фрагментов и собственно совмещение. Для ПП в качестве фрагментов удобно использовать контактные площадки и отверстия, местоположение которых можно и нужно определять в ходе контрольных операций. После того как координаты фрагментов определены, сдвиги и поворот могут быть рассчитаны таким образом, чтобы большинство контактных площадок и отверстий совпали. Данный алгоритм совмещения в большинстве случаев обеспечивает приемлемую точность и производительность.

Следующий этап развития системы был значительно сложнее — контроль заготовок ПП на разных стадиях изготовления. Качественно другая проблема — многоцветные изображения ПП занимают огромные объёмы памяти, оттенки областей металлизации и диэлектрика меняются в широком диапазоне. Эта задача решена с помощью *алгоритмов бинаризации*, что позволило свести её к предыдущей — сравнению чёрно-белых изображений образца с эталоном, дополненному алгоритмами топологического контроля и классификации дефектов.

Бинаризация выполняется отдельным модулем, не привязанным к особенностям ПП, и может применяться для других изображений. Модуль позволяет в ин-

терактивном режиме указать характерные цвета представителей двух классов — проводник и диэлектрик, построить обучающую выборку и на этой основе классифицировать все точки цветового пространства.

На математическом языке эта задача формулируется как разбиение множества объектов на два класса по трём признакам, где в качестве объектов выступают точки входного изображения, а в качестве признаков — красная, зелёная и синяя составляющие цвета этих точек.

В основу алгоритма распознавания заложен аналог метода потенциальных функций с использованием оригинальной метрики, учитывающей оттенки одного цвета при классификации.

В данной задаче качество распознавания может быть существенно повышено за счёт применения контекстно-зависимых алгоритмов, когда при классификации отдельной точки необходимо учитывать её пространственную окрестность. В этом случае задача бинаризации разбивается на три этапа:

- преобразование цветного изображения в полутоновое, то есть переход от трёхмерной задачи к одномерной;
- фильтрация полутонового изображения с целью сглаживания шумов, то есть учёт окрестности;
- и, наконец, собственно бинаризация, которая может осуществляться простейшим пороговым методом.

Третья группа задач и алгоритмов, разработанных в системе контроля — это *автоматическое обнаружение и классификация дефектов*. Здесь нельзя ограничиваться одним только методом сравнения с эталоном, поскольку его результаты с трудом поддаются автоматической классификации.

Один из простейших методов сводится к анализу информации о местоположении контактных площадок и отверстий, получаемой в процессе совмещения по фрагментам. Сравнивая идеальные и фактические координаты контактной площадки и отверстия, можно определить нарушения различных технологических допусков.

Кроме того, разработан метод проверки топологии, позволяющий обнаружить разрывы цепей, короткие замыкания, а также нарушения допусков на минимальную ширину проводника и минимальное расстояние между проводниками.

Определённым достижением в этой части явилась разработка относительных допусков, учитывающих различную ширину проводников. Все допуски, как на топологию, так и на контактные площадки задаются в единицах, соответствующих ГОСТ 23751-86.

Более подробно разработанные алгоритмы описаны в статье [1].

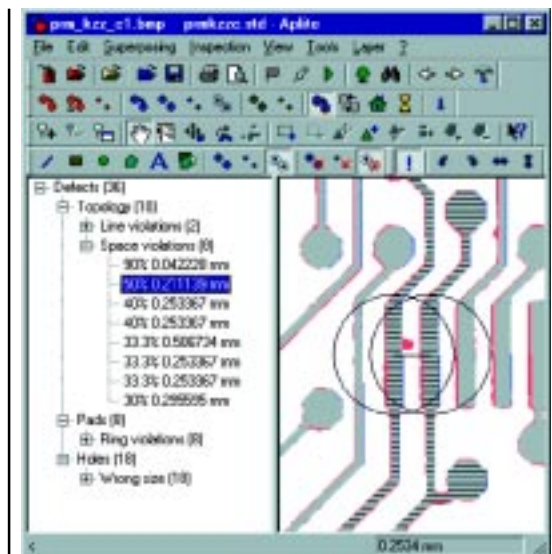
Далее представим возможности системы автоматизированного контроля ПП Aplite 3.1, разработанной в Екатеринбурге в Институте машиноведения УрО РАН.

Система предназначена для контроля следующих изделий:

- позитивные и негативные чёрно-белые и цветные фотошаблоны;
- заготовки печатных плат после сверления металлизированных отверстий;
- заготовки печатных плат с нанесённым топологическим рисунком на любой стадии изготовления.

Позволяет обнаруживать следующие дефекты:

- искажения масштаба (растяжение плёнки фотошаблона);
- разрывы проводников;
- перемычки между проводниками;
- нарушение допусков на минимальную ширину печатного проводника



**Рисунок 1** Окно системы Aplite

- и минимальное расстояние между проводниками;
- отсутствующие и смещённые отверстия;
- отверстия, имеющие неверный диаметр;
- отсутствующие и смещённые контактные площадки;
- контактные площадки, имеющие неверный размер или искажённую форму;
- нарушения кольца контактной площадки (гарантийный пояс);
- все расхождения образца и эталона, размеры которых превышают пороговое значение.

На рис. 1 представлено окно системы, в котором отображается автоматически найденное недопустимое сужение

промежутка между проводниками. Окно поделено на 2 области — слева выведено дерево дефектов, справа — изображение результатов контроля. Возможна настройка системы как на русский, так и на английский интерфейс.

На панель инструментов выведено четыре строки кнопок. Первая отвечает за запуск сканирования из системы, открытие сохранённых документов, инициацию процедур совмещения и контрольных операций, последовательный просмотр дефектов. После импорта эталона система автоматически выполняет следующее:

- сканирует заготовку;
- проводит первоначальное совмещение по внешним границам с определением ориентации шаблона;
- проводит точное совмещение изображений;
- отображает отчёт о крупных дефектах;
- проводит топологический контроль с обнаружением разрывов, перемычек и на-

- рушений технологических допусков на минимальную ширину проводника и минимальное расстояние между проводниками;
- проводит контроль контактных площадок и отверстий с обнаружением отклонений диаметра от нормы и смещений центра.

Далее система переходит в интерактивный режим, в котором оператор имеет возможность изучить изображение отчёта и результаты контроля. Если ФШ не имеет прямоугольной рамки, а края ПП не соответствуют эталонной линии обреза, первоначальное совмещение может не дать результат с необходимой точностью. Тогда система переходит в интерактивный режим, и оператор устанавливает ориентацию шаблона и совмещает изображения вручную с помощью визуальных средств. Затем автоматический процесс контроля возобновляется, начиная с точного совмещения.

Второй ряд кнопок позволяет просматривать различные слои, в том числе, слои топологии шаблона, отверстий шаблона, топологии контактных площадок и отверстий эталона и слой совмещения, в котором любая пара слоёв может просматриваться одновременно.

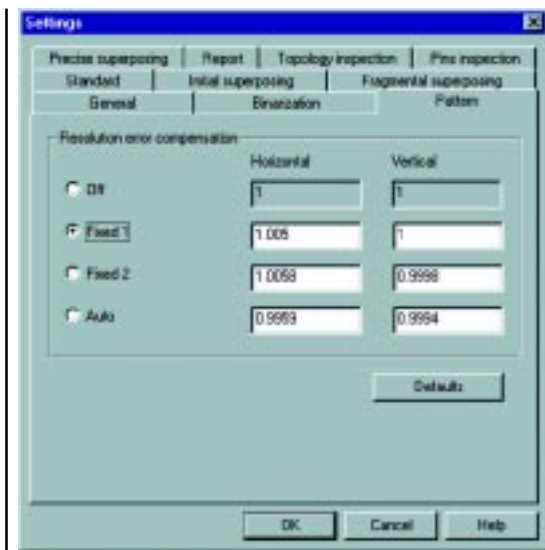
В третьем ряду находятся кнопки управления режимами отображения, а также инструменты просмотра изображений, совмещения и редактирования эталонов.

Четвёртый ряд предоставляет возможность отключать отображение определённых графических примитивов и вручную указывать ориентацию шаблона.

Настройки системы позволяют задавать тип контролируемого изделия, язык пользовательского интерфейса, обучающие выборки бинаризации, используемые для получения чёрно-белых изображений топологии и отверстий шаблона, настройки подсистемы компенсации погрешности разрешения сканера (изображено на рис. 2), используемый эталон, параметры алгоритмов совмещения и, наконец, допуски алгоритмов обнаружения дефектов (рис. 3).

Подготовка цветового набора заключается в выборе наиболее типичных представителей цветов металлизации и подложки. При помощи мыши пользователь указывает нужные цвета, после чего производится бинаризация с получением корректного топологического рисунка (рис. 4).

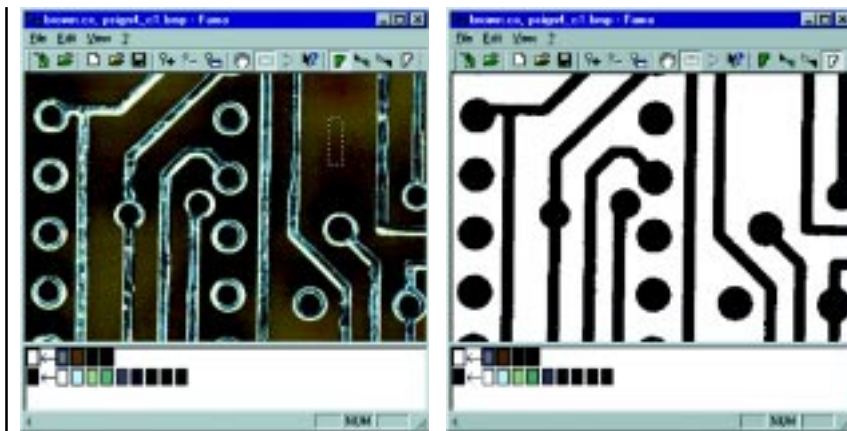
Импорт эталонных изображений возможен в формате Gerber RS274-X и P-CAD 4.5 PLT. Для нормального функционирования системы рекомендует-



**Рисунок 2** Настройки Aplitude



**Рисунок 3** Задание допусков



**Рисунок 4** Определение цветового набора и результат бинаризации

Таблица. Технические характеристики системы Aplite

	Последовательное выполнение операций	Одновременное сканирование и контроль
<b>Средняя производительность:</b>		
квадратных сантиметров в секунду	1,57	2,37
сторон в час	29,9	40,3
секунд на сторону	133	89,4
<b>Распределение времени при контроле:</b>		
сканирование	57,7%	100%
вычисления	27,0%	0%
изучение отчета системы	15,3%	0%

ся использовать компьютер не ниже Pentium 1.5GHz 512 Мб RAM.

Технические характеристики системы приведены в таблице.

Измерения проводились на выборке плат средней площадью 222 см<sup>2</sup> в разрешении 600 dpi, что соответствует точности контроля 42 мкм или 1,7 mil. Использовался компьютер с процессором Intel Pentium III 600, ОЗУ 256 Мб, ОС Windows NT Workstation и сканером Mustek Paragon Power Pro.

Дополнительную информацию о программе Aplite можно получить в офисе компании ЭлектТрейд-М, занимающейся распространением программы, по телефону (095) 974-1480 или адресу [info@elitm.ru](mailto:info@elitm.ru). Для желающих посмотреть программу в работе, в офисе имеется работоспособная версия программы и необходимое сканирующее оборудование.

#### Литература

1. Задорин А.Ю., Захарова Г.Б. Система автоматизации оптического конт-

роля фотошаблонов и печатных плат с использованием стандартного сканера // Гироскопия и навигация. 2001. № 1.