

К. т. н. В. Н. КРЫЛОВ, к. т. н. Г. Ю. ЩЕРБАКОВА

Украина, г. Одесса, Гос. политехнический ин-т

Дата поступления в редакцию  
24.06—26.11 1999 г.

Оппонент к. т. н. С. Г. АНТОЩУК

## СОВМЕЩЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

*Предложена методика распознавания реперных знаков при позиционировании многослойных печатных плат в процессе их автоматического оптического контроля.*

Современное производство изделий электронной техники характеризуется повышением плотности компоновки и уменьшением ширины проводников многослойных печатных плат (МПП), увеличением их размеров и числа слоев. При оптическом контроле печатных плат это приводит к увеличению объема обрабатываемой информации и повышению требований к разрешающей способности средств контроля. В свою очередь, число пропущенных дефектов не должно превышать 0,5%, а отношение числа ложных тревог к суммарному числу ложных тревог и обнаруженных дефектов должно быть менее 5% [1].

Вместе с тем низкое механическое качество подложки приводит к высокому уровню шумов на изображении. Вероятность появления дефекта на МПП достаточно высока: 10%-ная вероятность дефекта в слое приводит к 65%-ной вероятности его появления в десятислойной печатной плате. Значительный объем информации вызывает утомление оператора: при непрерывных однотипных измерениях оператор работает без ошибок только первые 3–4 часа [2]. Все это делает актуальной разработку систем автоматического оптического контроля слоев МПП и фотомасштабов.

Системы оптического контроля состоят из оптико-электронного блока и системы обработки изображений. Оптико-электронный блок включает оптическую систему, датчик изображения, осветительную систему, двухкоординатный стол, блок обработки видеосигнала, осуществляющий усиление, квантование и нормирование видеосигнала. Система обработки изображений представляет собой проблемно ориентированный программно-аппаратный комплекс обработки и распознавания изображений

Системы обработки изображений выполняют задачи ориентации и совмещения контролируемого и эталонного изображений, затем выделяют и анализируют дефекты. Позиционирование проводится путем обнаружения и распознавания реперных знаков на изображении МПП и занимает до 40% вре-

мени обработки. Вторая задача решается путем сравнения с эталоном либо с помощью метода проектных норм [1].

Реперные знаки представляют собой объекты известной формы, наносимые на поверхность МПП. Для увеличения точности позиционирования применяются одна или более специальных меток прямоугольной формы либо объекты топологии, например контактные площадки [3, стр. 222].

Для обнаружения и распознавания реперных знаков применяют различные методы — интегральные, контурные и характерных точек [3, стр. 230–233]. Метод характерных точек прост в реализации, имеет высокое быстродействие, но не обеспечивает инвариантность к сдвигу и повороту МПП. При использовании интегральных методов растут вычислительные затраты, поскольку параметры положения вычисляются по информации о всем полутоновом изображении платы. При контурном методе для распознавания используются контуры реперных знаков. Реализация этого метода требует произвести выделение и анализ контура с высокой помехоустойчивостью. Здесь объем вычислительных затрат хотя и снижается по отношению к интегральным методам, однако остается достаточно высоким.

Последовательность процедур метода распознавания, предложенного авторами, включает:

- выделение контуров реперных знаков;
- прослеживание этих контуров;
- выделение на этих контурах характерных точек (ХТ);
- расчет по ХТ геометрических моментов-признаков (ГМП);
- определение по ГМП, является ли исследуемый объект реперным знаком.

Целью данной работы является разработка методики расчетов признаков формы изображений реперных знаков.

В нашем случае к набору признаков формы предъявляются следующие требования: высокая помехоустойчивость, инвариантность к масштабу, инвариантность к сдвигу и повороту в поле зрения, высокая вычислительная эффективность в условиях ограниченного вычислительного ресурса.

Удобной и надежной системой признаков для распознавания плоских фигур в условиях помех служат геометрические моменты-признаки (ГМП). ГМП в исходной системе координат  $(x, y)$  имеют вид

$$m_{\alpha\beta} = \int_0^{L_x} \int_0^{L_y} I(x,y) x^\alpha y^\beta dx dy, \quad (1)$$

где  $I(x, y)$  — обрабатываемое изображение;  
 $L_x, L_y$  — геометрические размеры изображения;  
 $\alpha, \beta$  — порядок момента.

При распознавании (из-за больших вычислительных затрат) используют не сами моменты-признаки, а рассчитанные на их базе характеристики. Инвариантность к повороту легче реализуется в полярной системе координат.

Так как основная информация о геометрической форме фигур содержится в контурах, введена следующая процедура для вычисления ГМП по контуру объекта:

$$m'_p = \sum_{j=1}^J \Delta\rho \int_0^{2\pi} \rho^p I(\rho, \varphi) d\varphi, \quad (2)$$

где  $\Delta\rho = R_{\max} / J$ ;

- $J$  — количество точек контура;
- $\rho, \varphi$  — полярные координаты точек контура относительно центра тяжести объекта;
- $p$  — порядок момента;
- $R_{\max}$  — расстояние от центра тяжести фигуры до максимально удаленной точки изображения.

Авторами предложено перейти к расчету ГМП с использованием информации исключительно о *характерных точках*. Обычное интегрирование при этом теряет смысл. Поэтому используется интегрирование по Лебегу, и выражение для вычисления ГМП по характерным точкам контура определяется следующим образом:

$$C_p = \left| \sum_{i=0}^J \rho_{i0}^{*(p+2)} \sin(\Delta\varphi_i) \right|, \quad (3)$$

где  $\rho_{i0}^* = \rho_i^* / \rho$ ;  $\rho_i^* = \sqrt{\rho_i \rho_{i+1}}$ ;  $\Delta\varphi_i = \varphi_{i+1} - \varphi_i$ ;

- $\rho$  — нормировочный множитель (вводится для того, чтобы обеспечить инвариантность вектора признаков к масштабу, и выбирается пропорциональным  $\sqrt{s}$ );
- $s$  — площадь объекта;
- $\rho_i^*$  — среднее геометрическое радиус-векторов;
- $\Delta\varphi_i$  — разность фаз между  $i$ -й и  $(i+1)$ -й ХТ;
- $J$  — количество ХТ.

В случае если  $\Delta\varphi_i$  достаточно мало, т. е. ХТ достаточно много, можно считать, что  $\sin(\Delta\varphi_i) \approx \Delta\varphi_i$ . Тогда это выражение принимает вид

$$C_p = \left| \sum_{i=0}^J \rho_{i0}^{*(p+2)} \Delta\varphi_i \right|. \quad (4)$$

Исследования свойств этого вектора признаков показали:

- признаки инвариантны к параллельному переносу, т. к. нуль полярной системы координат совмещается с центром тяжести фигуры;
- признаки устойчивы к изменению масштаба, т. к. радиус-векторы характерных точек нормируются. При изменении масштаба составляющие вектора ГМП изменяются в среднем на 5%;
- признаки инвариантны к углу поворота объекта. Это обеспечивается суммированием по обходу

контура. При повороте вектор ГМП изменяется не более чем на 3%;

- сглаживающие качества моментов определяют высокую помехоустойчивость метода. При отношении сигнал/помеха не менее 5 (по мощности) вектор ГМП изменяется не более чем на 10%;

- ГМП полностью описывают объект, поэтому ансамбль признаков легко наращивается до получения устойчивого распознавания;

- малое количество обрабатываемых характерных точек (не менее чем на порядок ниже количества пикселей контура) определяет высокое быстродействие метода.

Для реализации предложенной методики необходимо использовать помехоустойчивые процедуры выделения и прослеживания контуров, определения координат характерных точек [4]. Результатом действия алгоритмов прослеживания является упорядоченный массив координат точек контура объекта. Процедура прослеживания контура в условиях помех сложна, носит эвристический характер и в этой статье не рассматривается.

Для нахождения координат ХТ авторами разработан метод, использующий веерный интерполятор первого порядка. Веерный интерполятор производит подбор наиболее длинного прямолинейного участка между двумя точками контура. При этом расстояние от промежуточных точек контура до прямолинейного отрезка не должно превышать заданного порога  $\Delta$ . Размер апертуры  $\Delta$  выбирается исходя из геометрических размеров объекта и требуемой разрешающей способности. В нашем случае

$$\Delta_i = |\Delta x_i| + |\Delta y_i| \leq \Delta, \quad (5)$$

где  $\Delta x_i, \Delta y_i$  — расстояние от  $i$ -й промежуточной точки контура до интерполяционного отрезка прямой.

Алгоритм веерной интерполяции работает следующим образом.

1. Начальная точка прослеженного контура  $(x_0, y_0)$  вводится в буферное устройство.

2. Выбирается точка контура  $(x_n, y_n)$ . Размер интерполяционного отрезка  $n$  выбирают равным фрагменту, применяемому для контурной обработки ( $n=4$ ) [5, с. 136]. Определяется наклон интерполяционного отрезка  $m = (y_n - y_0) / (x_n - x_0)$ . По этим данным вычисляются координаты точек, делящих отрезок прямой на  $n$  равных интервалов.

3. Вычисляются расстояния  $\Delta_i$  между соответствующими точками кривой и интерполяционного отрезка.

4. Значения  $\Delta_i$  сравниваются с порогом  $\Delta$ . Если  $\Delta_i > \Delta$ , то точка с координатами  $(x_i, y_i)$  вносится в массив ХТ. В буферное устройство вводятся координаты точки  $(x_i, y_i)$  и вычислительный процесс продолжается с пункта 2. Если ни одно из значений  $\Delta_i$  не превышает  $\Delta$ , то длина интерполяционного отрезка увеличивается.

5. Критерием остановки является просмотр всего массива прослеженных точек контура и пересечение текущего отрезка прямой с начальной точкой просмотра.

К достоинствам разработанного метода относятся простота в реализации, помехоустойчивость и

быстродействие. При этом возможно смещение выделенных ХТ внутри апертуры и появление ложных ХТ на протяженных слабоискривленных участках контура. Однако эти недостатки лишь незначительно изменяют вектор признаков, рассчитанный по методу ГМП.

Сигнал изображения был рассмотрен как стационарный односвязный марковский процесс с гауссовским распределением. Таким становится стационарный белый шум после линейной фильтрации. Зависимость стационарного марковского процесса от координат описывается уравнением Фоккера—Планка и обратным уравнением Колмогорова. Анализ показал, что математическое ожидание длины интерполяционного отрезка равно

$$E(T)=1,2\Delta^2/D, \quad (6)$$

где  $T$  — длина интерполяционного отрезка;  $D$  — параметр, зависящий от статистических характеристик входного сигнала изображения.

Дисперсия длины интерполяционного отрезка составляет  $\sigma_T=0,6E(T)$ .

Статистические характеристики интерполяционных отрезков не зависят от начальной точки. Это обеспечивает инвариантность признаков формы к повороту.

Разработанный метод анализа контуров может быть успешно использован при распознавании дефектов методом проектных норм.

\*\*\*

Созданная на базе приведенных процедур система автоматического оптического контроля позволя-

ет распознавать реперные знаки инвариантно к масштабу и повороту многослойных печатных плат в поле зрения. При этом быстродействие повышается в 3—5 раз по сравнению с существующими. Система работоспособна при отношении сигнал/помеха 5 и более (по мощности).

Все это позволяет рекомендовать разработанную методику для применения в широком круге задач неразрушающего контроля изделий электронной техники, в которых проводится распознавание объектов по их геометрической форме.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Григорьев В. Н. Автоматический оптический контроль в производстве печатных плат // Зарубежная радиоэлектроника. — 1988. — № 6. — С. 86—95.
2. Лонский И. И. Автоматизированный контроль качества полупроводниковых планарных структур // Электронная промышленность. — 1980. — Вып. 6. — С. 45—49.
3. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А. Н. Писаревский, А. Ф. Чернявский, Г. К. Афанасьев и др. — Л.: Машиностроение, 1988.
4. Крылов В. Н., Щербакова Г. Ю. Повышение эффективности сканирующих систем неразрушающего контроля // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 1999. — № 4. — С. 23—25.
5. Крылов В. Н., Максимов М. В. Вторичные преобразователи сигналов изображений. — Одесса: Астропринт, 1997.

11–15 сентября  
2000 г.

*КрыМиКо 2000* *CriMiCo*

Севастополь  
Крым  
Украина

### 10-я Международная конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии»

*На конференции планируется работа следующих секций:*

- |  |  |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Твердотельные приборы и устройства СВЧ (в том числе интегрированные устройства для средств связи и локации, а также для сопряжения с оптоволоконными и цифровыми устройствами)</li> <li>2. Электровакуумные и микровакуумные приборы СВЧ</li> <li>3. Системы СВЧ-связи, вещания и спутниковой навигации (в том числе методики оценки эффективности сетей связи)</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Антенны и антенные элементы (в том числе оптические технологии в антенной технике)</li> <li>5. Пассивные компоненты, материалы, технология изготовления СВЧ-приборов и нанотехнология</li> <li>6. СВЧ-электроника сверхбольших мощностей и эффекты</li> <li>7. СВЧ-измерения</li> <li>8. СВЧ-техника в экологии, медицине, промышленности и на транспорте</li> </ol> |
|--|--|

*В рамках конференции планируется проведение следующих семинаров:*

- интегрированные телекоммуникационные сети
- проблемы совершенствования образования в области техники СВЧ, телекоммуникационных и информационных технологий

Оргкомитет конференции *КрыМиКо'2000:*  
а/я 240, Севастополь, 99057, Украина  
Телефон: (0692) 424-287 Факс: (0692) 446-544  
E-mail: <weber@execs.com>, <micoc@bios.iuf.net>