

К. т. н. Г. Ю. ЩЕРБАКОВА, А. А. ДИЛЕВСКИЙ, д. т. н. В. Н. КРЫЛОВ,
к. т. н. О. В. ЛОГВИНОВ, к. т. н. О. Е. ПЛАЧИНДА

УДК 621.382

Украина, Одесский национальный политехнический университет
E-mail: Galina_onpu@mail.ru

Дата поступления в редакцию
25.06 2011 г.

ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ БИНАРИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ФОТОШАБЛОНОВ В ПРОСТРАНСТВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Предложен метод, основанный на применении субградиентного итеративного метода оптимизации в пространстве вейвлет-преобразования, который удовлетворяет требованиям задачи автоматизированного оптического контроля фотошаблонов по погрешности и помехоустойчивости.

Для современного производства электронной аппаратуры характерно использование автоматизированных систем обработки изображений (АСОИ) при контроле печатных плат и интегральных микросхем, которые изготавливаются с использованием фотошаблонов (ФШ). В таких системах проводится выделение и анализ дефектов контролируемого изделия при сравнении его изображения с эталонным. Чтобы обеспечить возможность сравнения, должно быть проведено позиционирование или ориентация изображения контролируемого ФШ: определение и коррекция угла наклона, сдвигов и изменения масштаба относительно эталона. В [1] на основе локализации реперных знаков разработан метод, позволяющий производить позиционирование с достаточной для автоматизированного оптического контроля погрешностью, когда отношение сигнал/помеха больше чем 7 (по мощности). Для того чтобы произвести сравнение ФШ с эталоном, необходимо бинаризовать его изображение, что обеспечивает инвариантность к трансформации интенсивности и существенно сокращает объем обрабатываемой видеоинформации.

Бинаризация изображения традиционно может быть реализована одним из двух методов. Первый метод использует пространственную обработку и в условиях неравномерной освещенности отличается высокой погрешностью. Поэтому в АСОИ используется, как правило, второй — метод пороговой обработки [2], при котором на основе анализа гистограммы интенсивностей пикселей изображения отыскивается порог бинаризации T . Бинаризация при пороговой обработке — это операция преобразования полутонового изображения (интенсивность пикселей которого изменяется в диапазоне от 1 до 256) в двоичное изображение по порогу интенсивности (порогу бинаризации). При бинаризации должно быть принято решение, что именно наблюдается в пикселе — изобра-

жение дорожки либо подложки (полезный сигнал либо фон). Далее пикселу присваивается значение «0» либо «1» соответственно:

$$B(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } A(x, y) > T; \\ 0, & \text{если } A(x, y) \leq T, \end{cases} \quad (1)$$

где $A(x, y)$, $B(x, y)$ — интенсивность пикселей исходного полутонового и результирующего бинаризованного изображений ФШ соответственно.

Влияние основного недостатка этого метода — низкой помехоустойчивости — снижают посредством сглаживания гистограммы интенсивности пикселей изображения методами низкочастотной фильтрации, медианной фильтрации, оконной обработки [3]. Однако при этом повышается погрешность определения порога бинаризации T , которая в рассматриваемой задаче не должна превышать 50% от ширины дорожки.

Количество мод на гистограмме зависит от степени зашумленности изображения. При этом, как правило, интенсивности пикселей изображения дорожек и подложки ФШ сосредоточены вблизи двух преобладающих мод. Автоматизированный поиск T в АСОИ проводится обычно с помощью итеративных методов гладкой оптимизации нулевого и первого порядков. В качестве начального приближения в этих методах выбирают полусумму максимального и минимального значений интенсивности, т. е. средний уровень интенсивности [2, с. 857]. Общим достоинством таких методов является высокая точность. К недостаткам относится низкая помехоустойчивость, а также то, что отыскивается не глобальный, а ближайший к начальной точке поиска локальный оптимум. Поэтому флуктуационные помехи на изображении затрудняют автоматизацию поиска порога бинаризации и обуславливают необходимость применения в АСОИ дорогостоящих осветительно-фокусирующих устройств.

Для снижения влияния указанных недостатков при решении задачи анализа гистограмм можно использовать субградиентный итеративный метод оптимизации в пространстве вейвлет-преобразования (ВП), который отличается повышенной помехоустойчивостью и пониженной погрешностью [4]. Для этого необходимо разработать на его основе субградиентный итеративный метод бинаризации.

Целью настоящей работы является создание базовой информационной технологии анализа гистограмм и на ее основе — метода бинаризации изображений ФШ интегральных схем и печатных плат, обеспечивающего допустимую для задачи бинаризации погрешность при отношении сигнал/помеха больше чем 7 (по мощности).

Разработанная технология анализа гистограмм включает в себя несколько основных этапов.

На первом этапе строится гистограмма интенсивности пикселей изображения ФШ (рис. 1, а). На втором этапе определяются две основные моды (максимумы) гистограммы. Точку старта поиска для каждой из мод выбирают как $L+1$ и $255-L$ соответственно. Здесь L — длина носителя вейвлет-функции (ВФ), которая определяется требуемой помехоустойчивостью и точностью с учетом того, что максимальный диапазон изменения интенсивности $x=1 \dots 256$.

Поиск максимумов гистограммы осуществляется с помощью субградиентного итеративного метода оптимизации в пространстве ВП [4], который определяется следующей итерационной схемой:

$$c[n] = c[n-1] - \gamma[n] \times \sum_{m=1}^L \alpha_m[n] \tilde{\nabla}_{c^+} Q(x[n], c[n-1], a[n-m]), \quad (2)$$

где $c[n-1]$ — координата максимума;
 $\gamma[n]$ — величина шага n -й итерации;
 $Q(x[n], c[n-1], a[n-m])$ — значения интенсивности пикселей на гистограмме;
 $a[n-1]$ — скаляр

Здесь $\alpha_m[n]$, $m=1, \dots, L$ — компоненты вектора, полученного в результате дискретизации ВФ. Эта функция получена путем снятия ограничений на вид ВФ в итерационной схеме алгоритма регулярного итерационного поиска в пространстве ВП.

В качестве базового метода для оптимизации использован градиентный метод [5]. Исходными данными для него служат: начальное значение координаты максимума; начальное значение шага $\gamma=1$; коэффициент β , обуславливающий изменение шага γ вблизи максимума, $\beta=0,5$; точность ϵ определения оценки субградиента.

Процедура вычисления максимума предполагает следующее:

- вычисление оценки субградиента и сравнение с заданным значением;
- если вычисленное значение оценки субградиента меньше заданного ϵ , процедуру прекращают;
- вычисление величины шага, для чего задается начальное значение величины шага $\gamma = 1$ и вычисляется вспомогательное значение приращения функции Δ ; если приращение меньше нуля, то принимают значение $\gamma[n] = \gamma$ и переходят к следующему этапу, иначе — $\gamma[n] = \beta\gamma$ и возвращаются к предыдущему этапу;
- расчет координаты максимума на n -й итерации;
- присвоение номеру итерации следующего значения ($n = n+1$) и переход к начальному этапу вычисления максимума.

При вычислении оценки субградиента на каждой итерации на первом этапе вычисляется свертка значений функционала $Q(x[n], c[n-1])$ с ВФ Хаара. Это позволяет переместить поиск в район экстремума с погрешностью, определяемой асимметрией этого функционала. С целью снижения этой погрешности на втором этапе оценки субградиента при поиске максимумов гистограммы при бинаризации вычисляется взвешенная сумма HWT значений гистограммы $Q(x[n], c[n-1])$ с гиперболической функцией $\Psi(j)=1/(\alpha x)$ при начальном масштабе $\alpha=0,5$:

$$HWT(c[n]) = Q(x[n], c[n-1]) * \Psi(j), \quad (3)$$

где $*$ — операция взвешенного суммирования;
 $j = 1, L$.

Далее, после определения оценки субградиента, определяют приближение к значению координаты одной из двух мод гистограммы, используя итеративный алгоритм в пространстве ВП по схеме

$$c_i[n+1] = c_i[n] + \gamma[n+1] WT(c_i[n]). \quad (4)$$

Здесь $WT(c_i[n])$ — значение взвешенной суммы с ВФ для $c_i[n]$, $i = 1, \dots, M$, где M — количество мод (при бинаризации $M = 2$).

Если найденная на этом этапе координата экстремума (моды) отличается от координаты экстремума предыдущего этапа не более чем на δ (заданную точ-

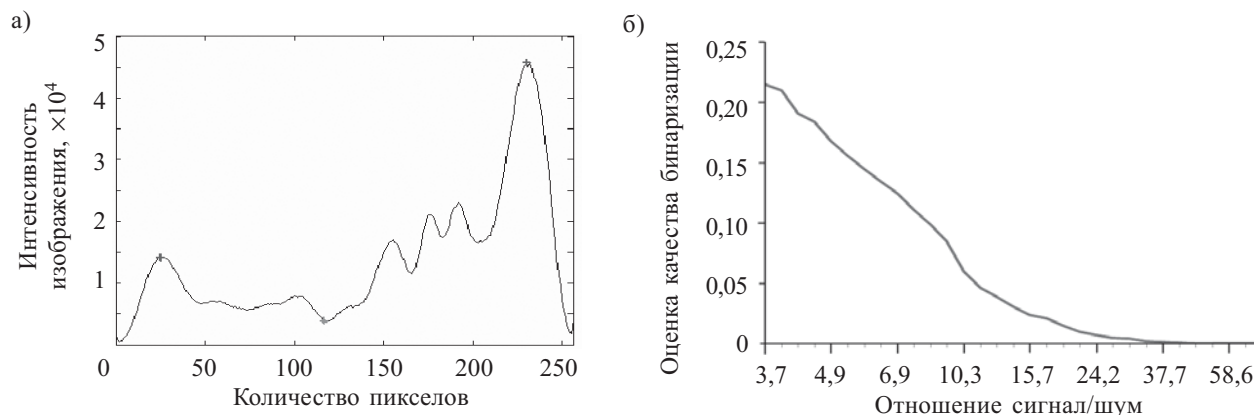


Рис. 1. Гистограмма интенсивности пикселей изображения ФШ (а) и график зависимости качества бинаризации от отношения сигнал/шум (по мощности) (б)

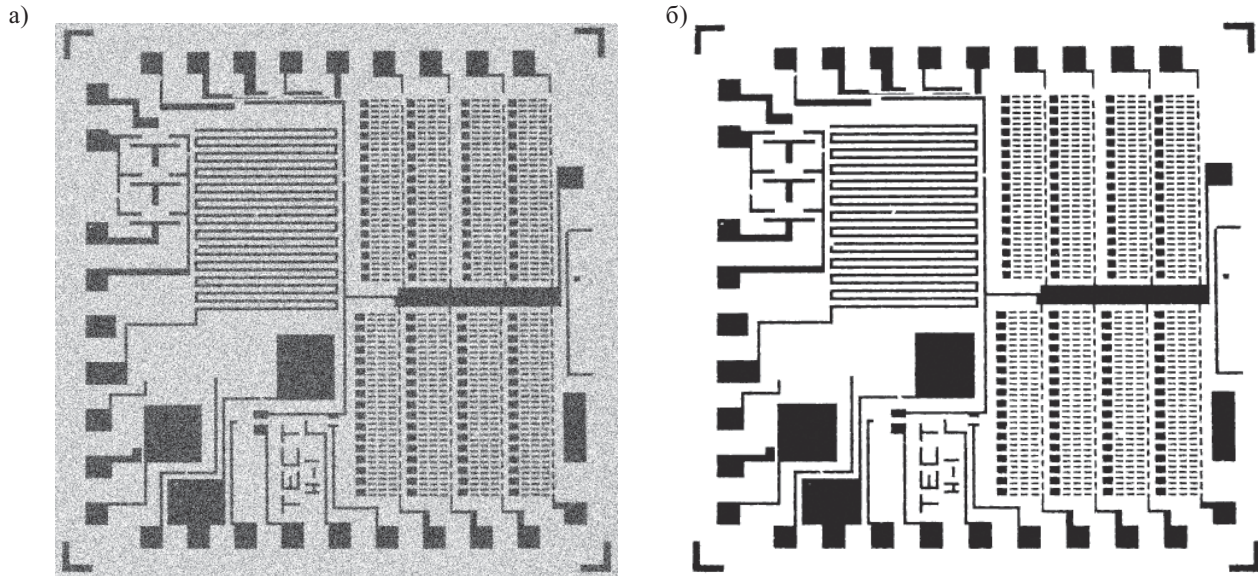


Рис. 2. Изображение ФШ при отношении сигнал/шум, равном 7, (а) и бинаризованное изображение ФШ (б)

ность поиска координаты оптимума), процесс поиска заканчивается.

На втором этапе поиска моды для оценки субградиента использовано гиперболическое вейвлет-преобразование, полученное по лифтинговой схеме [6]. На каждом уровне поиска координаты оптимума значение масштаба α увеличивается в соответствии с последовательностью $\alpha = \{0, 5; 1; 2; 3; 4; 5\}$. Если условие окончания поиска координаты оптимума при значении $\alpha = 5$ не достигается, оценка субградиента производится разностным методом. После этого поиск заканчивается. В процессе поиска координаты экстремума осуществляется последовательный переход (с ростом α) от поиска с помощью вейвлета Хара, способного обеспечить высокую помехоустойчивость, вплоть до поиска с помощью дифференциатора, способного дать максимальную точность. Далее проверяют вышеописанное условие точности определения значения моды, и если оно достигнуто, процесс останавливают.

Метод бинаризации, разработанный на основе этой технологии, предполагает после определения координат максимумов гистограммы определение их полусуммы. Это значение используется как стартовая точка для поиска порога бинаризации T . Далее с помощью описанного выше субградиентного итеративного метода оптимизации отыскивается T как пороговое значение минимума интенсивности.

Для разработанного метода было проведено исследование зависимости качества бинаризации от отношения сигнал/помеха. Исследовался черно-белый перепад, размер изображения составлял 256×256 пикселей. Качество бинаризации определялось как отношение количества ошибочно бинаризованных пикселей к общему количеству пикселей изображения черно-белого перепад. Отношение сигнал/помеха по мощности определялось как отношение квадрата разности интенсивности изображений объекта и фона к квадрату их среднего квадратического отклонения.

В результате исследования (рис. 1, б) можно сделать вывод, что при отношении сигнал/помеха не менее чем 7 ошибка бинаризации не превышает 0,12. Это обеспечивает требуемую точность распознавания дорожек на ФШ: при ширине дорожки в 4 пикселя ошибочно может быть бинаризован только один пиксел дорожки, что меньше 50% от ширины дорожки, это значит, что в процессе бинаризации не будут создаваться условия для ошибочного контроля целостности дорожек (рваная дорожка не будет принята за целую и наоборот).

Для иллюстрации работы метода на рис. 2 приведены результаты обработки изображения ФШ с аддитивным шумом при отношении сигнал/помеха, равном 7, и результаты бинаризации этого изображения.

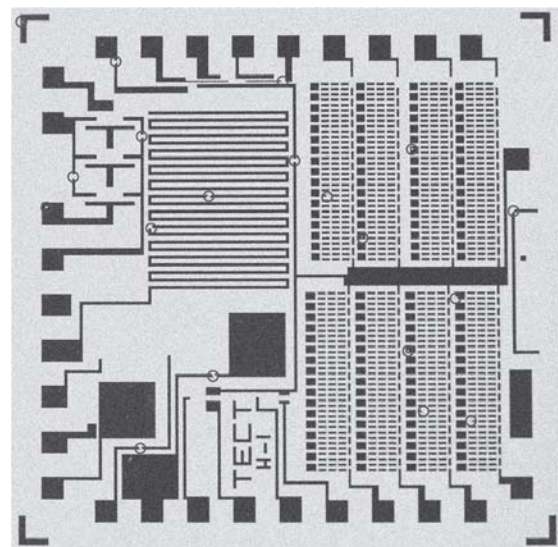


Рис. 3. Изображение фотошаблона с выявленными дефектами

Выявление дефектов на изображении исследуемого ФШ производится на основе его сравнения с эталонным. Так как пиксели бинаризованных изображений имеют значения «1» или «0», сравнение проводится на основе логической операции «исключающее или»:

$$C(x, y) = A(x, y)B(x, y) \quad A(x, y)B(x, y) = A(x, y) \oplus B(x, y). \quad (5)$$

Чтобы исключить из рассмотрения ложные дефекты (результаты относительного сдвига на 1 пиксел изображений контролируемого ФШ и эталона), для обеспечения помехоустойчивости принятия решения о присутствии дефекта используется медианная фильтрация. Изменяя длину носителя медианного фильтра, можно выявлять дефекты с заданной точностью. На рис. 3 представлено изображение ФШ с выявленными дефектами, которые обведены кружочками.

Таким образом, приведенные данные показывают, что базовая информационная технология анализа гистограмм и разработанный на ее основе метод бинаризации изображений удовлетворяют требованиям задачи автоматизированного оптического контроля фотошаблонов и печатных плат по погрешности и помехоустойчивости (ошибка бинаризации не превышает 1 пиксела). Поэтому они могут быть рекомендованы для широкого круга задач, в которых используются пороговые методы бинаризации.

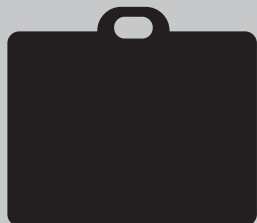
ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Крылов В. Н., Щербакова Г. Ю., Козина Ю. Ю., Волошин В. В. Помехоустойчивая классификация реперных знаков в пространстве гиперболического вейвлет-преобразования // Региональный міжвузівський збірник наукових праць «Системные технологии». — 2007. — № 6 (53). — С. 125—130. [1. Krylov V. N., Shcherbakova G. Yu., Kozina Yu. Yu. // Regional'nyi mizhvuziv's'kii zbirk naukovikh prats' «Sistemnye tekhnologii». 2007. N 6 (53). P. 125]
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера, 2005. [Gonsales R., Vuds R. Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii. M.: Tekhnosfera, 2005.]
3. Крылов В. Н., Щербакова Г. Ю., Козина Ю. Ю. Помехоустойчивая бинаризация изображений фотошаблонов в пространстве гиперболического вейвлет-преобразования // Труды Одесского политехн. ун-та. — 2007. — Вып. 2 (28). — С. 119—122. [Krylov V. N., Shcherbakova G. Yu., Kozina Yu. Yu. // Trudy Odesskogo politekhn. un-ta. 2007. Iss. 2 (28). P. 119]
4. Крылов В. Н., Щербакова Г. Ю. Иерархический субградиентный итеративный метод оптимизации в пространстве вейвлет-преобразования // Электроника и связь. — 2008. — № 6 (47). — С. 28—31. [Krylov V. N., Shcherbakova G. Yu. // Elektronika i svyaz'. 2008. N 6 (47). P. 28]
5. Полак Э. Численные методы оптимизации. Единый подход. — М.: Мир, 1976. [Polak E. M.: Mir, 1976.]
6. Krylov V. N., Polyakova M. V. Contour images segmentation in space of wavelet transform with the use of lifting // Optical-electronic informatively-power technologies. — 2007. — N 2 (12). — P. 48—58.

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

- Метод определения радиационной стойкости интегральных схем с помощью низкоэнергетичного рентгеновского излучения (Украина, г. Киев)
- Bonded Nd-Fe-B magnets — composite materials for various applications (Serbia, Belgrade)
- Природа переходов и механизмы генерации в лазерах с электронной накачкой на основе оптически однородных, радиационно легированных кристаллов CdS (Германия, г. Штутгарт)
- Реализация и исследование непрерывной и импульсной синхронизации работы генераторов Чуа (Украина, г. Черновцы)
- Фотолюминесцентный метод определения механизмов пластической деформации на границе раздела «оксид кремния — кремний» (Украина, г. Одесса)
- Проектирование цифровых фильтров с независимым управлением фазочастотной характеристикой (Россия, г. Тольятти)
- Многозондовое подключающее МЭМС устройство для контроля компонентов с матричными шариковыми выводами (Украина, г. Харьков, г. Львов)
- Исследование влияния толщины кремниевых пластин на характеристики многопереходных солнечных элементов с вертикальными *p-n*-переходами (Украина, г. Днепропетровск)



- Интенсивность теплоотдачи при кипении на поверхности малого размера (Украина, г. Киев)
- Полуактивный радиочастотный датчик контроля расхода электроэнергии (Украина, г. Винница)
- Адсорбционно-кинетическая модель осаждения пленок поликристаллического кремния, легированного кислородом в процессе роста (Республика Беларусь, г. Минск)
- Электромагнитные кристаллы на основе низкоимпедансных неоднородностей (Украина, г. Киев)

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции