

Ю.Ю. КОЗИНА, А.А. КОЗИН
 Одеський національний ПУ
 Л.О. КОМАРОВА
 Військовий інститут КНУ
 Є.В. СТЬОПІН
 НА образотворчих мистецтв

ПРИМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНТУРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ШАБЛОНОВ

В цілях забезпечення завадостійкості на етапі отримання контурного препарату зображень шаблонів запропоновано застосувати морфологічні операції та комбінований обхід по контуру. Проведені експерименти, що підтверджують перевагу запропонованої методики отримання контуру в порівнянні з існуючими.

The morphological operations and combined round to contoured for providing of noise stability stage of receipt of contour preparation of images of templates is suggested. Experiments confirmative advantage of the offered method, are conducted, as compared to known.

Ключові слова: шаблони, реперні знаки, морфологічні операції.

При производстве изделий микроэлектроники одной из важнейших технологических операций является контроль качества шаблонов – носителей информации о размерах и конфигурации изделий. Эта задача решается с помощью программно-аппаратных комплексов (ПАК), включающих подсистемы формирования, регистрации и распознавания изображений. При этом используются сложные и дорогостоящие осветительно-фокусирующие устройства (ОФУ), телевизионные датчики (ТД) высокого разрешения и устройства точной механики, обеспечивающие высокие производительность и достоверность контроля качества шаблонов. Стоимость таких комплексов составляет в среднем сто тыс. у.е. за единицу, и их применение обосновано в случае крупносерийного производства изделий. Однако, в последние годы все чаще возникает потребность в производстве мелких и средних партий, предназначенных для использования в аппаратуре специального назначения. В этом случае применение существующих ПАК приводит к неоправданному росту стоимости контроля качества шаблонов. Такое противоречие может быть разрешено снижением требований к техническим параметрам ОФУ, ТД и устройствам точной механики, что в свою очередь, приводит к появлению нежелательных мультипликативных и аддитивных помех на изображениях шаблонов. Таким образом, возникает необходимость в разработке помехоустойчивых методов обработки изображений шаблонов. В работе [1] предложен помехоустойчивый метод локализации реперных знаков (объектов известной формы, наносимых на поверхность шаблонов). В данной работе разработана методика получения контурного препарата изображений шаблонов на основе морфологических операций, позволяющая выделить и проследить контур реперных знаков в условиях помех.

Постановка задачи обработки контуров изображений. При выделении и коррекции контура объекта широко используются методы математической морфологии. Так, например, в методе Канни производится [2]:

- сглаживание изображения с помощью гауссовского фильтра с целью уменьшения аддитивных флуктуационных помех;
- оценка градиента как квадратного корня из суммы квадратов производных по двум ортогональным направлениям с целью подчеркивания перепадов интенсивности изображения;
- пороговая обработка оценки градиента изображения, которая включает немаксимальное подавление скачков интенсивности изображения – величина скачка интенсивности в каждой точке контура полагается равной нулю, если она не превышает величину скачка интенсивности в двух соседних точках по направлению градиента изображения;
- морфологическая обработка контура изображения (с помощью дилатации), при которой задаются два порога на значения интенсивности изображения; к точкам, значение интенсивности в которых превышает верхний порог, присоединяются только соседние с ними точки, значение интенсивности в которых превышает нижний порог.

Морфологическая операция наращивания точек контура – дилатация, применяющаяся также для устранения его разрывов, состоит в следующем [3]. Пусть множество A – множество точек изображения, к которому применяется морфологический оператор и множество B – структурный элемент (примитив), т.е. произвольное множество точек изображения, определяющее морфологическое расстояние. Дилатация множества A по примитиву B определяется так:

$$A \oplus B = \{z \mid (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\}. \quad (1)$$

где \hat{B} – центральное отражение множества B .

Целесообразность использования морфологических операций при обработке контура. Использование морфологической операции в сочетании с немаксимальным подавлением скачков интенсивности изображения улучшает помехоустойчивость метода Канни. Однако, на результат

применения этого метода влияют предварительное сглаживание изображения и подчеркивание перепадов его интенсивности путем оценки градиента. В работе [1] для подчеркивания перепадов интенсивности использовано гиперболическое вейвлет-преобразование (ГВП), а для поиска точек экстремума функции интенсивности вместо пороговой обработки использован субградиентный итеративный алгоритм поиска экстремумов в пространстве ГВП. Применение ГВП на этих этапах позволило повысить помехоустойчивость выделения контура объекта. Было выявлено, что полученный контур содержит дефекты, такие как разрыв контура; расширенные области границ толщиной более чем один пиксель; пиксели, образующие ошибочные ветки контура. Данные дефекты изображения контура мешают корректно проводить обработку на последующих этапах. Потребность в устранении таких дефектов привела к необходимости использования морфологических операций дилатации, замыкания, утончения и усечения.

Описание предложенной методики. С помощью использования дилатации (рис.1) устраняются разрывы в изображении контура путем их перекрытия. На рис. 1, а представлено изображение контура реперного знака с дефектами в виде разрывов. Благодаря применению дилатации по данному контуру с помощью примитива, получили перекрытие разрывов контура.

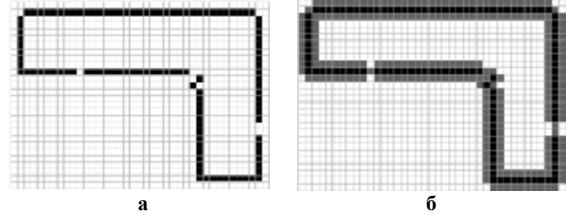


Рис. 1. Пример применения дилатации: контур объекта с дефектом – разрыв (а); перекрытие разрыва с помощью дилатации (б)

Для сглаживания участков контура предложено использовать операцию замыкания [3].

При проведении замыкания контура изменяется его толщина с одного пикселя до размера маски. Для нормирования толщины контура к размеру в один пиксель необходимо провести утончение на основе эрозии. Эрозия множества A по примитиву B определяется как:

$$A - B = \{z \mid (B)_z \subseteq A\}. \quad (2)$$

При утончении множества A по примитиву B используется выражение [3]:

$$A \otimes B = A \setminus (A - B) = A \cap (A - B)^C. \quad (3)$$

В результате операции эрозии, при утончении множества A по примитиву B , появляются дефекты в виде ошибочных веток, вызванные неоднородностью линий, из которых состоит контур. Данные дефекты мешают при следующей операции обработки контура – прослеживании. Как правило, все ошибочные ветки приводят к обрыву, в результате чего прослеживание контура останавливается. Для устранения данного дефекта, предложено провести усечение ошибочной ветки путем последовательного удаления ее конечной точки. Усечение достигается на основе утончения (2) с применением последовательности примитивов, структура которых позволяет выявлять только конечные точки.

Определяющим фактором для помехоустойчивости алгоритмов анализа контуров остается операция прослеживания. Результатом действия алгоритмов прослеживания является упорядоченный массив координат точек контура. Эта операция носит эвристический характер и в значительной степени зависит от содержания обрабатываемых изображений. Поэтому для заданных объектов, как правило, разрабатывают свою эвристическую процедуру прослеживания контуров.

В данной работе алгоритм прослеживания реализован на основе рекурсивного поиска. Он представляет собой процедуру, исходными данными для которой являются координаты текущего пикселя $p_i(x_i, y_i)$. Получив его координаты, начинаем проверку всех соседей данного пикселя на соответствие каждому из них единицы в заданном окне. Если соседний пиксель прошел проверку, то он становится текущим $p_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$ и для него рекурсивно запускается процедура поиска. Критерием ее остановки является обрыв контура или условие $p_0(x_0, y_0) = p_n(x_n, y_n)$. Соседние пиксели могут выбираться по принципу четырехсвязного или восьми-связного пути [3] (рис. 2).

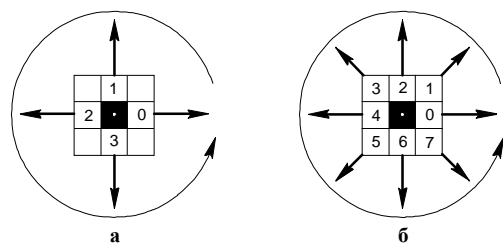


Рис. 2. Принцип выбора пикселей при прослеживании контура: окно для получения четырехсвязного контура (а); восьмисвязного контура (б)

Четырехсвязный обход по контуру имеет недостаток, в результате чего выполнение обхода по контуру прекращается (рис. 3, а). При использовании в данном случае восьмисвязного обхода по контуру прослеживание проходит без остановки (рис. 3, б).

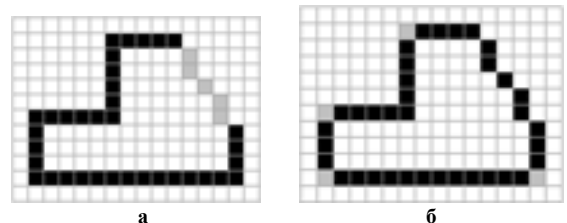


Рис. 3. Варианты обхода по контуру: четырехсвязный (а); восьмисвязный (б)

При прослеживании контура с использованием восьмисвязного обхода получаем дефект, который заключается в пропуске угловых пикселей контура. Поэтому в работе предложено использовать комбинированный обход по контуру, который имеет преимущество обоих выше приведенных вариантов

(рис. 4). При цьому така послідовність вибору пікселів (рис. 4, а) дозволила устранили перерахункові вище дефекти прослеживания контура (рис. 4, б).

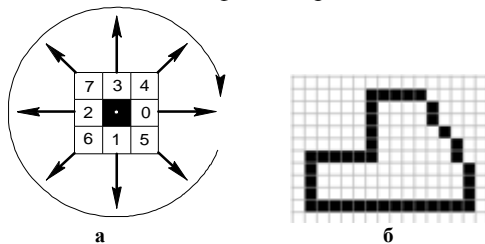


Рис. 4. Применение комбинированного обхода по контуру: последовательность выбора пикселей (а); результат прослеживания контура (б)

Експерименти. Обработано 50 изображений шаблонов в условиях аддитивных и мультипликативных помех. Предложенная методика позволила получить контурный препарат изображений шаблонов в диапазоне отношения сигнал/шум 7..10 (по мощности), что свидетельствует о ее высокой помехоустойчивости.

Выводы. Эксперименты показали, что применение морфологических операций при обработке контуров изображений шаблонов

позволило получить контурный препарат в условиях помех. Это позволит снизить требования к техническим параметрам ОФУ, ТД и устройствам точной механики и разрешить выявленное противоречие.

Литература

1. Крылов В.Н. Позиционирование изображений фотошаблонов в системах автоматизированного оптического контроля / В.Н. Крылов, Г.Ю. Щербакова, Ю.Ю. Козина // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2007. — № 3(69). — С. 61–64.
2. Canny J.E. A computational approach to edge detection / J.E. Canny // IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 1986. — № 8. — P. 679 – 698.
3. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.

Надійшла 22.9.2011 р.

УДК 004.932; 537.523.9

Й.Й. БЛИНСЬКИЙ, О.А. ПАВЛЮК, О.М. СУХОЦЬКИЙ
Вінницький національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СТРИМЕРА, ОТРИМАНОГО МЕТОДОМ ГАЗОРОЗРЯДНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РІДИННОФАЗНОГО ОБ'ЄКТА

Запропоновано математичну модель стримера, отриманого методом газорозрядної візуалізації, отримані характеристики довжини стримера, встановлено емпіричну модель опису яскравості стримера.

A mathematical model of streamer, obtained by gas-discharge visualization obtained characteristics of streamer length, established empirical model describing the brightness of streamer.

Ключові слова: газорозрядна візуалізація, стример, математична модель, довжина, переріз яскравості.

Вступ. Аналіз рідиннофазних об'єктів на сьогодні успішно проводиться за допомогою спектрального аналізу, титрометричного, потенціометричного та інших методів. Ці методи є тривалими і ресурсоемними. Тому останнім часом робляться спроби щодо можливості використання для цих цілей методу газорозрядної візуалізації (ГРВ), оскільки відсутній етап підготовки проби, а аналіз триває декілька секунд.

На сьогодні немає єдиних підходів як на дослідження рідиннофазних об'єктів методом ГРВ, так і на обробку отриманих зображень. В дослідженнях Короткова К. Г. та Коломійця Р.О. проводився аналіз всього газового розряду, що не завжди виправдано. Більш доцільно аналізувати окремі елементи розряду – стримери (суперпозиція в часі електронних лавин, що виникають на півперіодах прикладеної напруги). Стримери характеризуються такими параметрами: довжина, кількість, яскравість, степінь розгалуження. Ці параметри залежать від хімічного складу рідиннофазного об'єкта, тому розробивши їхню математичну модель, можливо чистоту та склад рідиннофазного об'єкта або провести його експрес-діагностику аналізуючи зображення [1, 2].

Метою роботи є розробка математична моделі стримера, яка дає змогу описати чистоту рідиннофазного об'єкта при ГРВ та проведення експериментальних досліджень, які підтверджують даний математичний опис.

Основна частина. Світіння газового розряду навколо рідиннофазного об'єкта, що знаходиться між електродами, виникає, коли на електроди подана високовольтна, високочастотна напруга (частотою понад 1 кГц та напруженістю близько 20–25 кВ/см). При подачі різниці потенціалів на електроди між ними виникає електричне поле, під дією якого в системі починає протікати електричний струм, який тече через рідиннофазний об'єкт між електродами та вздовж поверхні діелектрика, яким покрито один з електродів. Щільність струму визначається за формулою: