

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

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

Дата поступления в редакцию  
05.05 1999 г.

Оппонент к. т. н. С. Г. АНТОЩУК

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СКАНИРУЮЩИХ СИСТЕМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

*Использование разработанных базовых процедур позволило достичь устойчивого распознавания и обеспечить обработку изображений в реальном масштабе времени.*

*The use of developed base procedures has allowed to reach stable identification and achieve image processing in real time.*

Для обеспечения неразрушающего контроля изделий электронной техники (ИЭТ) часто применяются сканирующие системы обработки и распознавания изображений. Такие системы применяются при контроле внешнего вида ИЭТ и (или) их внутренней структуры с помощью проникающих излучений и полей [1, с. 7]. При контроле внешнего вида производится визуальное наблюдение ИЭТ и сравнение их с эталонными образцами. (Примером в этом случае служит контроль качества изготовления печатных плат и фотошаблонов [1, с. 8]. Контроль внутренней структуры предполагает формирование изображений с помощью какого-либо испытательного воздействия и распределенной системы датчиков. Примером здесь может быть контроль качества микроструктур и качества пайки.

Область применения сканирующих систем ограничивает недостаточная их эффективность, которая определяется быстродействием, помехоустойчивостью, разрешающей способностью и стоимостью. Повысить эффективность можно совершенствуя аппаратную часть и методы обработки изображений. Первое направление требует сканирующих устройств с низким уровнем шумов и высокой разрешающей способностью, равномерной освещенности объекта и высокопроизводительных вычислительных комплексов. При этом значительно растет стоимость сканирующих систем. В ряде случаев сканирующие устройства с требуемыми характеристиками еще не созданы или не могут быть созданы принципиально. Поэтому предпочтительней второе направление, позволяющее достигнуть требуемой эффективности без существенного повышения стоимости.

Структура сканирующих систем обработки и распознавания изображений выглядит следующим образом. Осветительная установка генерирует испытательное воздействие и фокусирует его на объекте исследований. Сканирующее устройство считывает отраженное от объекта

испытательное воздействие. Первичный преобразователь преобразует считанное воздействие в напряжение, а напряжение преобразуется аналого-цифровым преобразователем в цифровой код. Полученное двумерное поле данных поступает в кадровый накопитель. Вторичный преобразователь сигналов изображений (ВПСИ) сокращает объем обрабатываемой информации, снижает влияние помех и преобразует двумерное поле в более удобный для дальнейшей обработки и классификации вид. Двумерное поле поступает в устройство кодирования и хранения.

Процедуры ВПСИ можно разделить на две группы. Процедуры первой группы (выделение характерного фрагмента, сегментация изображения, отслеживание контуров) зависят от содержания изображений, используют, как правило, априорные данные о структуре изображения и форме объекта распознавания и разрабатываются для каждой сканирующей системы отдельно. Базовые процедуры второй группы используются в широком диапазоне решаемых задач. К ним относятся предварительная обработка, выделение контуров и бинаризация изображений, анализ контуров. При этом помехоустойчивость и быстродействие сканирующей системы в основном определяют процедуры предварительной обработки и выделения контуров. Целью данной работы является разработка высокоэффективных базовых процедур *предварительной обработки, выделения контуров и бинаризации изображений.*

Вследствие пространственной неравномерности освещения (испытательного воздействия) при формировании изображений возникает мультипликативная помеха. Поэтому для обеспечения равномерного освещения объекта используются сложные и дорогостоящие комплексы осветительной аппаратуры, различные фокусирующие устройства. Освещение реализуется оптическим, тепловым полем, рентгеновским, гипер- и ультразвуковым излучением, потоком электронов или ионов и т. д. Для формирования изображений используются датчики различной физической природы и (зачастую) с очень высоким уровнем внутренних аддитивных шумов. Поэтому реальное изображение ( $I_n$ ), как правило, поражено мультипликативной и аддитивной помехами, имеет апертурные линейные искажения, а также содержит в себе информацию, не используемую при дальнейшей обработке. *Предварительная обработка умень-*

шает уровень апертурных искажений, уровень помех, избыточность изображений, компенсирует флюктуации освещенности.

Освещающая компонента  $R(x,y)$  образуется, как правило, из низкочастотных пространственных составляющих. Компонента  $I_0(x,y)$ , определяемая отражающей способностью объекта, как правило, богата деталями, т. е. образуется из высокочастотных пространственных составляющих. Для предварительной обработки чаще всего применяются гомоморфная фильтрация или система пространственной автоматической регулировки усиления.

При гомоморфной фильтрации [2, с. 101] изображение  $I_0(x,y)$  логарифмируется, после чего мультипликативная помеха превращается в аддитивную:

$$\ln I_{\Pi}(x,y) = \ln I_0(x,y) + \ln R(x,y).$$

Теперь к первичному изображению применимы методы борьбы с аддитивной помехой с помощью линейной фильтрации.

Такой алгоритм обработки (логарифмирование и полосовая пространственная фильтрация) адекватен логарифмически-линейной модели зрительного анализатора (ЗА). В качестве подсистемы предварительной обработки может быть использована трехзвенная модель ЗА Холла [2]. Пространственный фильтр нижних частот моделирует ограниченную разрешающую способность ЗА из-за конечных размеров апертуры линзы хрусталика и фоторецепторов. Пространственный фильтр верхних частот моделирует механизм латерального торможения. Для моделирования ЗА в пространственно-временной области использовались интегро-степенные ряды Вольterra-Винера, что позволило повысить вычислительную эффективность метода [2, с. 41].

Другим перспективным методом улучшения качества изображений и устранения мультипликативной помехи является система пространственной автоматической регулировки усиления (ПАРУ). В данной работе разработана следующая процедура предварительной обработки на базе ПАРУ. На вход регулирующего элемента (РЭ) поступает сигнал строки изображения. Коэффициент усиления РЭ изменяется в соответствии со значением управляющего напряжения. Опорное значение интенсивности определяется как главный максимум гистограммы характерного фрагмента. Устройство усреднения (УУ) определяет среднее значение интенсивности в окрестности обрабатываемого пикселя. Так как объем окрестности выбирается много больше толщины объекта, на выходе УУ будет локальная оценка фона. В соответствии с разницей между локальной и глобальной оценками фона будет производиться изменение коэффициента усиления РЭ. В результате фон в каждом локальном фрагменте будет стремиться к главному максимуму гистограммы характерного фрагмента (к глобальной оценке фона).

Исследования реальных сигналов позволяет утранить в процессе обработки помехи типа «яркое черное или белое пятно». Для этого можно использовать операцию ранговой срезки для всех объектов, превышающих по яркости заранее определен-

ный динамический диапазон выделяемых объектов. Эти области заменяются глобальной оценкой фона.

*Выделение контуров и бинаризация изображений* предназначены для снижения объема обрабатываемой информации и обеспечивают инвариантность к трансформациям яркости.

Помехоустойчивое выделение контуров остается предметом активных исследований. Дифференциальные методы выделения контуров (например операторы Кирша, Собела и Канни) обладают простотой и быстродействием, но имеют низкую помехоустойчивость. Удовлетворительное качество выделения контуров достигается при отношении «сигнал/помеха» не менее 10. Корреляционно-экстремальные методы имеют высокую помехоустойчивость. Однако при обработке протяженных (размытых) перепадов интенсивности требуются дополнительные каналы обнаружения, плохо различаются объекты разной формы со сходными размерами и энергией, трудно выбрать порог обнаружения. Здесь вычислительные и аппаратные затраты в 5–40 раз выше, чем в случае дифференциальных методов. Для повышения эффективности сканирующих систем необходима разработка методов выделения контуров, сравнимых с дифференциальными методами по быстродействию и разрешающей способности и с корреляционно-экстремальными методами — по помехоустойчивости.

В данной работе предложен следующий метод выделения контуров и бинаризации изображений. Для повышения быстродействия предлагается осуществить переход от «плавающей» обработки к групповой [2, с. 82], при которой производится сдвиг на один фрагмент, что позволяет повысить быстродействие не менее чем в 4 раза. Существующие методы используют для выделения контуров «плавающую» обработку, т. е. после обработки текущего фрагмента происходит сдвиг на 1 пиксель и обработка повторяется. Вместо традиционной двумерной обработки предлагается осуществлять одномерную обработку по строкам и столбцам, что также позволяет значительно повысить производительность операции выделения контуров.

Объем обрабатываемого фрагмента был выбран исходя из требований к разрешающей способности, помехоустойчивости и быстродействию и равен 4. Для повышения разрешающей способности перепад интенсивности подчеркивается. Для подчеркивания использовано пофрагментное дискретное преобразование Гильберта, т. к. оно достаточно эффективно подчеркивает контура, имеет высокую по сравнению с операцией дифференцирования помехоустойчивость, не изменяет закон распределения и дисперсию шума, сближает идеальный и протяженный перепады. Определение формы перепадов интенсивности и оценка их параметров осуществляется на базе теории статистических решений. При «связывании» решений во фрагментах применяется процедура рангового сглаживания.

Для повышения помехоустойчивости предлагается производить дополнительную медианную обработку в пространстве решений, позволяющую уменьшить влияние флюктуационных помех. Практика использования медианной обработки в исходном про-

странстве доказывает, что она является высокоэффективным аппаратом в борьбе с импульсными помехами. При наличии же флюктуационных помех этот метод оказывается бесполезным.

В результате действия разработанных операторов выделения контуров формируются наборы решений в строках (столбцах), состоящие из нулей и единиц (пространство решений). Действие флюктуационной помехи приводит к возникновению сбивных пикселей в пространстве решений, т. е. к импульсной помехе. Поэтому предлагается перевести реальное изображение в пространство решений и затем подвергнуть его ранговой медианной обработке. Так как предметом обработки являются нули и единицы, отпадает необходимость в построении вариационного ряда, что составляет основной объем вычислительных затрат при реализации ранговых методов.

Следует отметить, что переход в пространство решений позволяет реализовать процедуру бинари-

зации с высокими помехоустойчивостью и быстродействием.

\*\*\*

Использование разработанных базовых процедур предварительной обработки с помощью ПАРУ, выделения контуров и бинаризации изображений позволяет существенно повысить эффективность сканирующих систем неразрушающего контроля ИЭТ. Применение этих процедур позволило достичь устойчивого распознавания при отношениях «сигнал/шум»  $q \geq 3$  (по мощности) или  $q \geq 1,7$  (по амплитуде) и обеспечить обработку изображений в реальном масштабе времени.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Власенко В. А., Шкодин О. И. Микропроцессорные системы неразрушающего контроля качества изделий электронной техники. — К. : Техніка, 1990.

2. Крылов В. Н., Максимов М. В. Вторичные преобразователи сигналов изображений. — Одесса : Астропринт, 1997.

## ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ И ОХЛАЖДЕНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

ТРИО

Сборник издается с 1993 г. (До 1993 г. — «Вопросы радиоэлектроники». Сер. ТРТО.) Подписной индекс 74479. Почтовый адрес редакции: Украина, 65078, Одесса, ул. Терешковой, 27. Тел.: (0482) 66-80-81.

## ЭЛЕКТРОНИКА

НАУКА  
ТЕХНОЛОГИЯ  
БИЗНЕС

Журнал издается с 1996 г. Подписной индекс 71775, 47299. Почтовый адрес редакции: Россия, 125319, Москва, а/я 594. Тел.: (095) 234-01-10. Факс: (095) 956-33-46. E-mail: journal@electronics.ru http: www.electronics.ru

ЖУРНАЛ  
CHIP  
NEWS  
НОВОСТИ  
О МИКРОСХЕМАХ

Журнал издается с 1996 г. Подписной индекс 72208. Почтовый адрес редакции: Россия, 111141, Москва, Зеленый проспект, 2/19. Тел.: (095) 306-00-26, 306-91-19. E-mail: editor@sei-macro.msk.ru