

Н. С. РОЗИНЬКОВ

(Москва)

ГИБРИДНЫЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ РАСПОЗНАЮЩИЕ СИСТЕМЫ ДЕФЕКТΟΣКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ

Для решения задачи прогнозирования работоспособности электрорадиоизделий (ЭРИ) на основе обработки результатов неразрушающего контроля в настоящее время все шире применяются методы теории распознавания образов. За последнее десятилетие теория и техника распознавания образов достигли значительных успехов. Этому в немалой степени способствовало использование когерентно-оптических и голографических методов записи, обработки и считывания информации и разработка обшей методологии построения гибридных оптико-электронных распознающих систем (РС) [1, 2].

Широкие возможности когерентно-оптических систем по выполнению различного рода интегральных преобразований предварительной обработки изображений и выделению информативных признаков позволяют значительно сократить требования к информационной емкости устройств обработки результатов неразрушающего контроля и использовать на стадии обучения и классификации вместо мощных ЦВМ специализированные мини-ЭВМ [3].

Большое число работ, посвященных методам машинного распознавания дефектов ЭРИ, данные об оптических РС и анализ перспектив создания и применения гибридных оптико-электронных РС позволили разработать структурную схему гибридной оптико-электронной РС для дефектоскопического контроля ЭРИ и их визуализированных (оптических, рентгеновских, инфракрасных и др.) изображений (рис. 1).

В состав РС входят: устройство восприятия информации (УВ), обеспечивающее ввод изображений в РС; устройство предварительной обработки (УПО), осуществляющее частичное преобразование и сжатие объема информации и (или) выделение дефектов; устройство выделения информативных признаков (УВП), производящее измерение геометрических размеров элементов и дефектов или формирующее меры близости контролируемых изображений с эталонными; устройство классификации (УК), классифицирующее дефекты по видам и степени опасности, и блок обучения (БО), управляющий процессом дефектоскопического контроля. РС имеет блок памяти (БП), в котором заложены и непрерывно накапливаются данные о качестве ЭРИ и их характерных особенностях.

РС должна обладать способностью к обучению и самообучению, т. е. использовать непрерывно накапливаемые данные о дефектах для повышения качества распознавания. Дело в том, что при выполнении количественных оценок, связанных с осуществлением дефектоскопического контроля, используется набор характеристик, связанных с определенными видами дефектов, их возможной формой и месторасположением. Однако несовершенство моделей дефектов, фиксируемых на изображениях изделий, и, как правило, недостаточный объем обучающей последовательности приводят к тому, что набор характеристик оказывается неточным. Поэтому весьма существенной оказывается проблема автоматического улучшения данных.

Влияние отдельных блоков РС на формирование выходного сигнала, свидетельствующего о наличии и степени опасности дефектов в распознаваемых изображениях, может быть различным. Это зависит от характера структуры, геометрии и топологии изделий, наличия априорной информации о возможных видах дефектов, их формы и месторасположения,

удачности выбора первичных признаков и вида разделяющего алгоритма, причем выбор конкретного способа описания влияет на оптимальный выбор разделяющего алгоритма. Кроме того, возможно выполнение одними и теми же блоками нескольких функций.

Важной особенностью некоторых задач дефектоскопического контроля визуализированных изображений являются наличие мешающего фона, а также некоторая неопределенность положения и ориентации отдельных элементов изображений. В связи с этим большое значение приобретают различные методы фильтрации изображений, нормировки, получения инвариантных аналогов и т. п.

Аналоговые когерентные и некогерентные устройства могут быть использованы для реализации любой части РС, изображенной на рис. 1, но наибольший эффект достигается при реализации информационно-емких операций предварительной обработки и выделения информативных признаков, требующих большой производительности (выполнения различных интегральных преобразований).

Принципы построения и алгоритмы работы устройств классификации цифровых РС, применяющих машинную обработку, хорошо изучены [4—6]. Краткие характеристики наиболее распространенных методов теории распознавания образов приведены в [3]. Возможности аналоговых оптических устройств в области реализации операций обучения и классификации дефектов и оценки степени их опасности изучены недостаточно. Однако некоторые данные [7, 8] свидетельствуют об их эффективном использовании при классификации сигналов и изображений.

В связи с тем, что в большинстве случаев обучение и классификация требуют выполнения комплекса простых логических операций, которые наиболее эффективно реализуются на ЦВМ, при дефектоскопическом контроле изделий сложной конструкции и топологии, в первую очередь изделий микроэлектроники, представляется перспективным операцией предварительной обработки, выделения дефектов или формирования мер близости контролируемых изображений с эталонными (бездефектными) выполнять аналоговыми оптическими устройствами, а обучение и классификацию осуществлять при помощи специализированных мини-ЭВМ. При дефектоскопическом контроле изделий простой конструкции и топологии, таких как знаковосинтезирующие индикаторы, индикаторные панели, узлы электронных приборов и другие, операции классификации можно проводить как средствами некогерентной, так и когерентной оптики.

На рис. 2 представлена схема гибридной оптико-электронной РС, предназначенной для непрерывного автоматического контроля дефектов

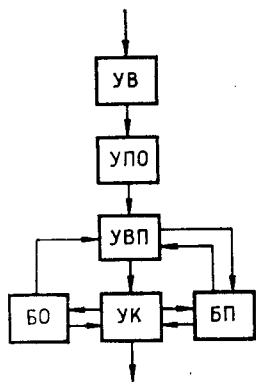


Рис. 1. Структурная схема гибридной оптико-электронной РС дефектоскопического контроля ЭРИ.

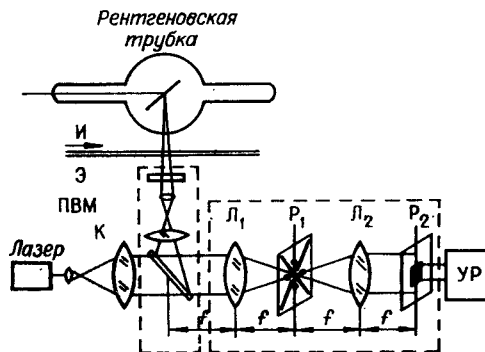


Рис. 2. Схема гибридной оптико-электронной РС дефектоскопического контроля экранированных кабелей.

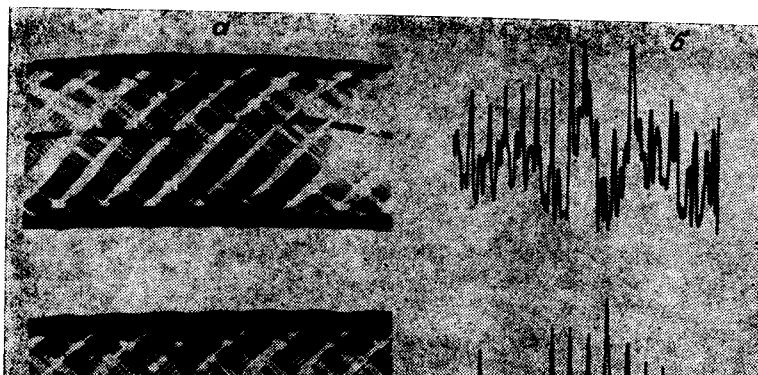


Рис. 3. Изображения экранированного кабеля, полученные при рентгеновском контроле (а), и денситограммы внутренней жилы (б).

внутренней жилы экранированных кабелей. Традиционная схема рентгеновского контроля, основанная на непосредственном анализе рентгеновских изображений, в ряде случаев неэффективна. Дефекты внутренней жилы (рис. 3, а) обнаруживаются лишь при визуальном наблюдении, так как регистрирующее устройство (УР) не может выделить обрыв или искривление внутренней жилы на фоне экрана ни по амплитуде, ни по временному положению (рис. 3, б).

Для выделения дефектов в РС используется метод пространственной фильтрации, позволяющий произвести подавление изображения экрана и выделить изображение внутренней жилы и ее дефектов в соответствии с выражением

$$s(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega_x, \omega_y) H(\omega_x, \omega_y) e^{j(\omega_x x + \omega_y y)} d\omega_x d\omega_y,$$

где $S(\omega_x, \omega_y)$ — пространственно-частотный спектр контролируемого изображения, $H(\omega_x, \omega_y)$ — коэффициент передачи пространственно-частотного фильтра, ω_x, ω_y — пространственные частоты.

РС работает следующим образом. Рентгеновское изображение экранированного кабеля визуализируется при помощи флуоресцентного экрана Э и вводится в когерентно-оптическую систему при помощи пространственно-временного модулятора (ПВМ) типа «свет — свет». Световой пучок лазера расширяется коллиматором К и модулируется изображением, записанным на мишени ПВМ. Линза Л₁ осуществляет фурье-преобразование входного изображения и образует в плоскости Р₁ пространственно-частотный спектр этого изображения, причем при осуществлении непрерывного контроля экранированного кабеля при различном расположении жилы внутри экрана его спектр находится все время на оптической оси устройства. В эту плоскость помещается амплитудный режекторный фильтр, имеющий расположение заграждающих элементов, соответствующее спектральным составляющим пространственно-частотного спектра экрана. Этот фильтр производит выделение изображения внутренней жилы и ее дефектов на фоне экрана за счет пространственной фильтрации спектральных составляющих последнего.

Линза Л₂ выполняет обратное фурье-преобразование и образует в плоскости Р₂ отфильтрованное изображение кабеля (рис. 4), причем качество изображения зависит от применяемой оптики, точности изготовления фильтра и его установки.

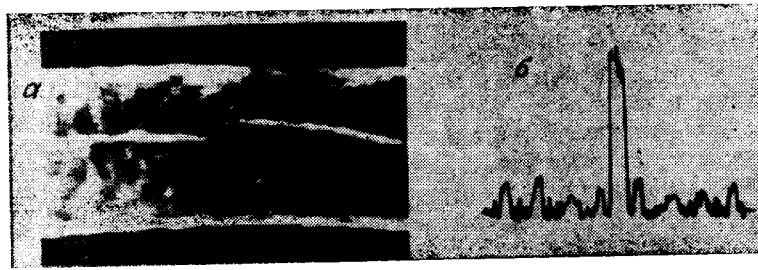


Рис. 4. Отфильтрованное изображение экранированного кабеля (а) и денситограмма внутренней жилы (б).

При контроле экранированных кабелей с определенным положением жилы внутри экрана для индикации наличия дефектов можно использовать регистрирующее устройство в виде узкой щели в вертикальном направлении, фотоприемника и устройства сигнализации. Размеры щели выбираются исходя из допустимого положения жилы внутри экрана. При контроле экранированных кабелей, у которых жила может иметь смещения внутри экрана, как на рис. 3, в качестве устройства регистрации необходимо применять устройства со следящей разверткой.

Приведенное изображение и денситограмма внутренней жилы с дефектом показывают, что отфильтрованное изображение имеет световой контраст дефектов B_d/B_ϕ , определяемый превышением яркости изображения дефекта B_d над яркостью фона B_ϕ , на котором они проявляются, достаточный для автоматического контроля дефектов внутренней жилы.

Использование гибридных оптико-электронных РС является перспективным направлением автоматизации дефектоскопического контроля схем управления с выходом на индикаторные элементы, индикаторные панели и другие устройства отображения информации.

Выбор типа оптико-электронной РС зависит от конструкции индикатора, способа индикации знаков и сложности формируемых изображений. Для индикаторов, имеющих простую форму синтезируемых знаков, целесообразно использовать некогерентные оптико-электронные РС с последовательным анализом всех формируемых изображений. Одна из возможных схем реализации такой РС при дефектоскопическом контроле семиэлементных знаков синтезирующих индикаторов (И) с прямоугольным расположением сегментов приведена на рис. 5.

Изображения всех знаков (в данном случае цифр), последовательно формируемых схемой управления, проецируются при помощи объектива Л на матрицу фотодетекторов МФ. Каждый фотодетектор имеет щелевую диаграмму, расположенную таким образом, что через нее проходит свет только от одного сегмента. Выходные сигналы фотодетекторов, несущие информацию о яркости сегментов, поступают в устройство классификации (УК), которое в соответствии с заранее выбранным алгоритмом проводит контроль правильности индикации цифр, яркости всего изображения и отдельных сегментов.

При дефектоскопическом контроле индикаторов, синтезируемые изображения которых имеют сложную форму, таких как И «с возможностью восстановления искаженных знаков» и других видов специальных И, возможно использование когерентно-оптических РС.

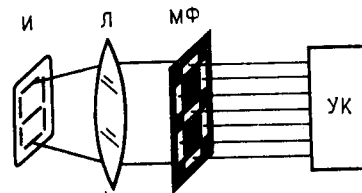


Рис. 5. РС для дефектоскопического контроля семиэлементных И:

И — индикатор, Л — линза, МФ — матрица фотодетекторов, УК — устройство классификации.

В когерентно-оптической РС использование голограммы Френеля с плоской опорной волной позволяет формировать как изображения цифр, так и их пространственно-частотные спектры [9]. Кроме того, эта голограмма дает возможность получить одинаковую яркость мультиплицированных изображений и их спектров и значительно уменьшить размеры устройства за счет исключения линз и других оптических элементов, необходимых в других устройствах мультипликации. Применение пространственных спектров изображений позволяет всю дальнейшую обработку сделать нечувствительной к поперечным смещениям входных изображений.

Многоканальный спектроанализатор МС состоит из 10 идентичных каналов, в каждом из которых установлен комплексный фильтр соответствующей цифры, осуществляющий корреляционную обработку входных изображений. Комплексный фильтр представляет собой фурье-голограмму, полученную по традиционной схеме [10]. На выходе каждого канала стоит фотодетектор, величина выходного сигнала которого зависит от интенсивности светового отклика и определяется следующим выражением:

$$U_{\text{вых}i} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} s(x, y) s_{0i}(x' - x, y' - y) dx dy, \quad i = 1, 2, \dots, 10,$$

где $s(x, y)$ — контролируемое изображение, $s_{0i}(x, y)$ — i -е эталонное изображение.

Выходные сигналы всех фотодетекторов попадают в устройство классификации УК, которое осуществляет контроль правильности индикации изображений и их яркости.

Для того чтобы устранить чувствительность РС к возможным поворотам входных изображений, использован метод, описанный в [11]. Сущность этого метода состоит в том, что при создании комплексных и амплитудных фильтров в качестве эталонов применяются изображения, учитывающие возможные при вводе изображений в РС угловые повороты.

При рассмотренном подходе к построению гибридных оптико-электронных РС для дефектоскопического контроля ЭРИ и их визуализированных изображений можно ожидать новых возможностей создания автоматизированных средств контроля ЭРИ, обладающих необходимым быстродействием и метрологическими характеристиками. Его применение позволит уменьшить требования к устройствам автоматического контроля и в ряде случаев упростить их аппаратную реализацию за счет сжатия объема информации в оптической части РС и использования специализированных вычислительных устройств.

Несомненно, гибридные оптико-электронные РС найдут применение и при контроле качества изделий массового производства, таких как интегральные схемы (прежде всего большой и сверхбольшой степеней интеграции), знаковосинтезирующие индикаторы, индикаторные панели и другие. Этому способствует разработка новых и совершенствование существующих методов теории распознавания образов и создание специализированных РС для контроля конкретных типов ЭРИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блок А. С. и др. Гибридные оптико-электронные системы распознавания изображений.— Автометрия, 1974, № 1.
2. Нестерихин Ю. Е. Оптико-электронные системы и автоматизация исследований.— Автометрия, 1977, № 5.
3. Булкин М. А. и др. Применение методов распознавания образов в системах управления качеством изделий электронной техники.— М.: ЦНИИЭлектроника, 1976.

- (Обзоры по электронной технике. Сер. 8. Управление качеством, метрология и стандартизация).
4. Автоматический анализ сложных изображений: Сб. пер./Под ред. Э. М. Бравермана.— М.: Мир, 1969.
 5. Загоруйко Н. Г. Методы распознавания и их применение.— М.: Сов. радио, 1972.
 6. Васильев В. И. Распознающие системы.— Киев: Наукова думка, 1969.
 7. Нежевенко Е. С., Твердохлеб П. Е. Линейный обучаемый классификатор оптических изображений.— Автометрия, 1971, № 3.
 8. Дубицкий Л. Г., Розиньков Н. С. Применение Фурье-голограммы для определения степени дефектности сварных и паяных швов корпусов интегральных схем.— Дефектоскопия, 1978, № 5.
 9. Блок А. С., Карпов Л. П., Крупицкий Э. И. Безлинзовая мультипликация изображений и их пространственных частотных спектров с помощью голограммы Френеля.— Опт. и спектр., 1972, т. 83, № 1.
 10. Vander Lugt A. Signal Detection by Complex Spatial Filtering.— IEEE Trans. Inform. Theory, apr. 1964, vol. IT-10.
 11. Кукаров Г. В., Протасевич В. И., Прякин Ю. А. О возможном способе реализации «инвариантного» голографического фильтра.— Автометрия, 1976, № 3.

*Поступила в редакцию 25 июля 1978 г.;
окончательный вариант — 26 марта 1979 г.*

УДК 621.373.826

**В. Н. БЫКОВ, О. Н. ЕРТАНОВА, Ю. В. ЗУЕВ,
М. Е. ЛАВРЕНТЬЕВ, И. А. ЛЕПЕШИНСКИЙ**
(Ленинград — Москва)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГОЛОГРАММ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА

Сложность исследования и диагностики двухфазных потоков, обусловленная разнообразием структур и типов течения, широким диапазоном размеров дисперсной фазы и скоростей их движения, полидисперсностью, неравномерностью и нестационарностью таких потоков, требует использования современных более точных и информативных методов исследования, к числу которых можно отнести голографические методы [1—3]. Голография позволяет определять как дисперсную структуру потока, так и его динамические характеристики. В данной работе нас будут интересовать лишь дисперсная фаза и следующие ее характеристики: средний размер частиц, распределение частиц по размерам, счетная концентрация частиц. Здесь и далее под частицами подразумевается дискретная фаза (капли в газе, пузырьки в жидкости и т. п.).

В настоящее время для съема и обработки голографической информации об ансамблях микрообъектов, аналогичных дисперсной фазе двухфазного потока, используются методы фотометрирования непосредственно голограммы при помощи микроденситометра [4], методы обработки восстановленного с голограмм изображения микрообъектов [2, 5, 6], методы когерентно-оптической согласованной фильтрации при помощи го-