

ОТЗЫВ

УВАЖАЮЩИЙ	Документ зарегистрирован
	02.11.15
	Входящий: 72-1849/15
	Документовед
	ОДУС Сорокоумова И.Ю.
	20

официального оппонента кандидата технических наук, доцента Харинова М.В. на диссертационную работу Григорова Михаила Сергеевича "Математическое и программно-техническое обеспечение неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Диссертационная работа М.С. Григорова посвящена техническому совершенствованию установки для неразрушающего контроля изделий микроэлектроники по рентгеновским снимкам, анализируемым оператором. Целью исследования является сокращение продолжительности анализа снимков без снижения эффективности оценки объектов контроля благодаря улучшению качества визуально анализируемых изображений и уменьшению количества снимков, которые требуются оператору для принятия решения. Достижение поставленной цели обеспечивается развитием как программного, так и аппаратного обеспечения установки для неразрушающего рентгеновского контроля за счет разработки, патентования и внедрения предложенных соискателем технических решений.

Модернизируемая соискателем штатная установка для неразрушающего контроля состоит из источника излучения в виде рентгеновской трубки, детектора излучения, блока формирования оцифрованного рентгеновского изображения и блока стандартных операций с цифровыми изображениями, получаемыми для дальнейшего визуального или автоматизированного контроля. Получаемый снимок зависит от управляющих параметров источника рентгеновского излучения (анодного напряжения и тока), а также момента времени съемки и представляет собой полутонное изображение объектов контроля преимущественно прямоугольной формы с выраженной ориентацией и порядком расположения по горизонтали и вертикали.

Модернизация установки заключается в автоматизации процесса съемки для визуального улучшения качества рентгеновских изображений, и существенном расширении функциональных возможностей установки за счет разработки и внедрения дополнительного конструктивного блока автоматической сегментации, анализа и комплексирования набора рентгеновских изображений сцены с объектами контроля на основе формальной оценки качества фрагментов изображения, который, помимо улучшения выводимых оцифрованных изображений, поддерживает также и управление источником излучения при их генерации. Результатом модернизации является новое устройство, которое, в отличие от штатного, обеспечивает снижение необходимого числа анализируемых снимков за счет адекватной оценки качества.

В обработке изображений использование численной оценки (показателя качества) рассматриваемых фрагментов рентгеновского изображения существенно отличает разработанные соискателем методы сегментации, анализа и комплексирования изображений от известных аналогов, которые для сегментации изображений используют общеизвестный "пирамидальный" подход. Аппроксимация объектов различной формы квадратными сегментами изображения в рамках пирамидального подхода оказывается проблематичной и преодолевается благодаря сложной последующей обработке¹. В диссертации М.С. Григорова указанная проблема обходится благодаря специфике рассматриваемых изображений и постановке задачи вычисления не самих объектов контроля, а прямоугольных блоков изображения, которые "видит" компьютер и которые

¹ Чочиа П.А. Пирамидальный алгоритм сегментации изображения // Информационные процессы. 2010. Т. 10, № 1, С. 23–35.

воспроизводят сочетания объектов контроля с требуемой оценкой качества визуального восприятия оператором. Таким образом, новизна предложенного соискателем метода анализа и формирования составного рентгеновского изображения заключается в новом применении пирамидального подхода к сегментации актуального типа изображений с использованием адекватной оценки качества.

Ограниченный класс изображений и применение простейшего пирамидального подхода для их аппроксимации не снижает актуальности диссертации, которая отражает современные тенденции развития методов обработки изображений. За более чем полувековую историю своего развития в области машинного зрения сложилось многообразие программных и аппаратных средств автоматизированной и автоматической обработки изображений различного типа сцен и объектов. Тем не менее, даже для распознавания изображений с априори известными объектами (текста на произвольном фоне, лиц в сложных условиях съемки, усложняющихся электронных модулей и др.) пока не созданы стандартные программные средства получения требуемых инженерных продуктов. Критической проблемой является унификация способов сегментации изображений, которая предполагает, прежде всего, численную оценку качества сегментов изображения с выделенными объектами. В работе Григорова М.С. на основе подобной оценки строится визуально улучшенное изображение изделий микроэлектроники, что при современном состоянии теории и практики обработки изображений определяет несомненную актуальность исследования.

Рецензируемая работа состоит из введения, четырех глав текста, заключения, списка литературы и приложения. При общем объеме 142 страниц содержит 47 иллюстраций и 12 таблиц. Список цитированной литературы содержит 100 библиографических ссылок, включая 15 публикаций соискателя по теме диссертации, из которых следует отметить 2 патента и 4 публикации в рецензируемых журналах из перечня ВАК.

Во **введении** обоснована актуальность области применения результатов диссертационной работы, сформулированы ее цель и задачи, заявлены научная новизна и положения, выносимые на защиту, оценивается практическая значимость и приведены сведения об апробации, публикациях, а также реализации результатов работы. В качестве замечания можно указать, что во внушительном списке авторов ключевых работ было бы уместно ограничиться десятком авторов, упоминающихся в списке литературы, а также сослаться на известных разработчиков пирамидального подхода, например, S.L.Tanimoto (1981), В.В. Александрова и Н.Д. Горского (1985), П.А.Чочиа (2010). В числе авторов популярных работ по оценке качества цифровых изображений имело смысл упомянуть авторов Z. Wang и др., ссылки на которых имеются в диссертации.

В **первой главе** диссертации соискатель характеризует роль и место неразрушающего рентгеновского контроля в масштабе электронной промышленности страны. Разбирает различные технологические схемы построения цифровых приемников рентгеновских изображений и сравнивает их между собой. Отмечает многократное применение неразрушающего контроля в общей схеме технологического производства изделий микроэлектроники. Описывает критерии выбора системы рентгеновского контроля из числа существующих, включая системы 3-D-контроля. Перечисляет виды контролируемых дефектов. По содержанию и форме подачи материала складывается впечатление, что соискатель проектирует типовую систему неразрушающего рентгеновского контроля, имеющую важное народнохозяйственное значение для «стратегии импортозамещения» «в условиях санкционной политики», что было бы более оправдано при представлении диссертации на соискание ученой степени доктора, а не кандидата технических наук. В заключительной части главы на конкретном примере

оценивается снижение трудоемкости действий оператора от внедрения полученных решений, чем мотивируется постановка задачи исследования. Указанные расчеты, по всей видимости, логичнее отнести к оценке эффекта внедрения при обосновании практической значимости диссертации.

Расширенное описание предметной области исследований является полезным для обоснования актуальности применения разработанных программно-технических средств неразрушающего контроля к сходным изображениям изделий электронной промышленности. Рассматриваемое в диссертации понятие электронного модуля «ЭМ», определяется и поясняется ссылками на одиннадцать ГОСТ-ов, но не сопровождается обобщенным описанием особенностей самих изображений, что снижает доступность материала. По мнению оппонента, имеющийся текст первой главы можно было значительно сократить, и компенсировать сокращение объема за счет перенесения в нее общих сведений из других глав.

Вторая глава диссертации описывает разрабатываемую установку для неразрушающего рентгеновского контроля в целом. В начале главы соискатель приводит основные формулы по теории рентгеновского излучения и взаимодействию излучения с веществом, выписанные из справочной и учебной литературы, и иллюстрирует применение формул на примерах объектов контроля с неоднородной структурой. Выписанные сведения полезны для лучшего понимания содержания диссертации, в которой помимо программного обеспечения обработки готовых снимков предлагается патентоспособное улучшение устройства для их получения. Исходная установка для неразрушающего рентгеновского контроля описывается блок-схемой на рис. 2.1 - «Концептуальная модель системы НРК ЭМ». При этом соискателем справедливо отмечается скудный набор стандартных операций с изображением, который «является интеллектуальной собственностью компаний производителей». Модернизированная установка представлена блок-схемой на рис. 2.5 - «Структурно-функциональная модель системы НРК ЭМ» с расширенным программно-алгоритмическим обеспечением обработки изображений, которое в рабочем режиме (on-line) обеспечивает автоматизацию получения рентгеновских изображений, генерацию составного изображения, а также управление процессом получения снимков за счет выбора временных интервалов съемки. Далее, дается анализ процессов получения рентгеновских изображений в исходной и модернизированной установках. При этом соискатель показывает достигаемый эффект от внедрения предлагаемой структурно-функциональной модели, который заключается в снижении требований к квалификации оператора, а также уменьшении трудоемкости и продолжительности контроля. Новизна обсуждаемого решения обосновывается сравнением с аналогами в области средств автоматизации медицинской рентгеновской диагностики, которые ориентированы на выделение конкретных объектов контроля и поэтому оказываются менее эффективными при разнообразии деталей контролируемых изделий микроэлектроники.

Третья глава в данном исследовании является основной и имеет самостоятельное значение при оценке диссертации в целом по признакам актуальности, новизны, достоверности и практической значимости.

В обзорной части главы соискатель очерчивает свой кругозор в отношении базовых методов предварительной обработки и сегментации изображения посредством локальных, спектральных, гистограммных и пороговых преобразований, а также описывает пирамидальный подход к обработке изображений. При этом уточняет свою версию известных алгоритмов разбиения изображения на квадратные блоки в сочетании со слиянием блоков, в которой для учета специфики снимков объектов контроля, поддерживается вычисление результирующих сегментов прямоугольной формы. Здесь же дается краткий обзор известных подходов к оценке качества цифровых изображений.

Следует особо отметить, что в постановочной части главы на стр. 57 соискатель четко формулирует задачу адекватной сегментации изображения как задачу количественной оценки качества субъективно воспринимаемого изображения. Для общего вида изображений адекватная оценка качества в настоящее время представляет собой одну из наиболее актуальных проблем машинного зрения. Решение проблемы для частного случая рентгеновских изображений электронных модулей представляет несомненный интерес.

Для адекватной оценки рассматриваемых изображений и их фрагментов прямоугольной формы соискателем предложен «показатель качества», получаемый по формуле (3.17) делением средней яркости пикселей фрагмента изображения на нормировочный коэффициент, который введен в работах А.А.Черноморца для характеристики «энергетических свойств» изображения и вычисляется посредством спектрального разложения по пространственным частотам. В качестве критерия качества для фрагментов изображения экспериментально установлен диапазон допустимых значений показателя качества.

Предложенный в качестве адекватной оценки качества показатель качества рентгеновского снимка имеет двойное назначение. В методе «формирования рентгеновского мультиизображения электронного модуля» в формируемом рентгеновском изображении сохраняются сегменты со значениями показателем качества в установленном диапазоне. В способе «мультиэнергетической рентгенографии» для источника рентгеновского излучения предусматривается последовательность управляющих команд, полученная из условия оптимизации значений показателя качества при формировании целевых сегментов изображения. Важным научным результатом диссертационного исследования М.С. Григорова, который получен на примере рентгеновских изображений электронных модулей, является способ генерации составного изображения всей сцены с требуемым качеством визуального восприятия, достигаемым за счет оптимизации формальной оценки качества для каждого фрагмента изображения.

Достоверность научного решения обоснована результатами сравнения расчетов и экспертных оценок, а также установленным эффектом применения показателя качества для улучшения качества рентгеновских снимков в автоматическом режиме формирования результирующего составного изображения.

Предложенный показатель качества является первым в своем роде решением, идея которого, по всей видимости, будет активно развиваться в дальнейшем. Возможным вариантом дальнейшего применения предложенной оценки является использование различных версий показателя качества для оценки качества составного изображения и для управления источником рентгеновского излучения.

В **четвертой** главе соискателем приведено подробное описание программно-технического комплекса. Выделены подсистемы, реализующие предложенные математические и программно-технические решения. Описаны функции программных модулей комплекса в различных режимах работы установки для неразрушающего рентгеновского контроля. Представлены алгоритмы, разработанные для расширения возможностей автоматического анализа рентгеновского контроля электронных модулей. Авторские права на представленные алгоритмы защищены четырьмя свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ. Для оценки эффекта модернизации установки проведены сравнительные испытания ее работы до и после внедрения разработанного математического и программно-технического обеспечения, которые показали выигрыш по времени в три раза.

К основным результатам работы можно отнести следующие:

1. Для повышения эффективности рентгеновского контроля изделий микроэлектроники на базе типовой установки с блоком управления источником излучения и блоком стандартных операций с цифровыми изображениями, предложена структурно-функциональная модель, предусматривающая дополнительный многофункциональный блок, в котором анализ последовательности рентгеновских изображений совмещается с синтезом результирующего изображения сцены и управлением источником излучения за счет обратной связи.
2. Разработан и защищен патентом метод формирования рентгеновского изображения электронного модуля на основе пирамидальной сегментации изображений из определенного набора, отличающийся тем, что качество полученных сегментов прямоугольной формы оценивается по нормализованной средней яркости (показателю качества), и визуальное улучшенное изображение составляется из сегментов со значениями показателя качества в установленном диапазоне.
3. Для дальнейшего улучшения результирующего рентгеновского изображения и уменьшения необходимого количества изображений объектов контроля предложен способ «мультиэнергетической рентгенографии», в котором количественный показатель качества учитывается при оптимизации режима генерации исходного набора рентгеновских изображений.
4. Предложенные технические решения реализованы в программно-техническом комплексе для неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей, в конструкцию которого включен защищенный патентом фотодатчик, обеспечивающий улучшение рентгеновских изображений по резкости экспонируемых объектов контроля при снижении потребляемой мощности, а в программное обеспечение добавлен пакет программ для автоматизации контроля изделий микроэлектроники.

Недостатками работы являются:

1. Интенсивное употребление аббревиатур в тексте диссертации и автореферата, особенно в сочетаниях, например, «ЦС НРК ЭМ» или «РИ ФЭ ЭМ» несколько нарушает читаемость труда. Сам автор, в схеме на рис. 4.2 (стр.100 диссертации) употребляет, видимо устаревшую аббревиатуру «ИМ», которую, судя по контексту, в текущей редакции следовало заменить на «ЭМ».
2. В диссертации встречается повторение текста: в первой главе на стр.31 и во второй главе на стр.35 повторяется перечисление из четырех пунктов, начинающееся словами «в качестве источника рентгеновского излучения применяется рентгеновская трубка...»
3. «Квадродерево», в котором, при расчетах, встречаются узлы, связывающие менее четырех дуг, в диссертации на стр.51 именуется «мультиквадродеревом». Можно подумать, что автор для исходного набора рентгеновских снимков не ограничивается вычислением единственного дерева. В общепринятой терминологии подобное дерево называют «усеченным квадродеревом», что представляется более удачным.
4. Название второй главы диссертации «Структурно-функциональная модель системы неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей» совпадает с названием ее раздела 2.2. Судя по содержанию, в названии главы уместно было бы добавить «Разработка модели..» или употребить термин «модель» во множественном числе. При этом раздел 2.3 «Постановка задачи разработки математического обеспечения неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей» следовало бы отнести к следующей, третьей главе «Математическое обеспечение неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей».

По мнению оппонента, указанные недостатки не снижают общего впечатления от рукописи и не влияют на положительную оценку диссертационной работы Григорова М.С.

Результаты диссертации Григорова М.С. представляют практическое решение сложной научно-технической задачи эффективного улучшения визуального качества рентгеновских снимков электронных модулей, и имеют также большое значение для развития современных подходов к адекватной численной оценке качества сегментации цифровых изображений, в частности, для разрабатываемой в настоящее время в СПИИРАН модели «квазиоптимальных приближений цифрового изображения»².

Содержание автореферата достаточно полно отражает содержание диссертации.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация "Математическое и программно-техническое обеспечение неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей" соответствует требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней" №842 от 24.09.2013 г., а ее автор Григоров Михаил Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Официальный оппонент

старший научный сотрудник лаборатории прикладной информатики

Федерального государственного бюджетного учреждения науки "Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук(СПИИРАН)"

кандидат технических наук (05.13.16 - Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях), доцент
"28" октября 2015 г.

Подпись Харинова М.В. заверяю
Ученый секретарь СПИИРАН
Кандидат военных наук, доцент



Харинов
Михаил
Вячеславович

Сила Е.П.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук(СПИИРАН)", <http://spiiiras.nw.ru>
199178, г. Санкт-Петербург, 14-я линия, 39;
Тел. (812) 328-33-11
E-mail: khar@iias.spb.su

² M.V. Kharinov Pixel Clustering for Color Image Segmentation // Programming and Computer Software, 2015. Vol. 41, No. 5, pp. 258–266.