

ОСОБЕННОСТИ БИНАРИЗАЦИИ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ РЕАКЦИИ ДАТЧИКОВ ДЕФОРМАЦИЙ

Проведён анализ проблемы диагностики нагруженности и ресурса деталей машин по показаниям датчиков деформаций интегрального типа. Изложена методика преобразования изображения реакции датчиков в бинарном виде. Материал может быть полезен при решении проблем техносферной безопасности.

Ключевые слова: датчик деформации интегрального типа, детали машин, цифровое изображение, ресурс, диагностика.

T.R. Zmyzgova

THE BINARIZATION'S FEATURES OF GRAYSCALE IMAGES OF REACTION OF STRAIN GAUGES

Analysis of problem of diagnostics of loading and resource of parts of machines according to integral strain gauges indications. The technique to transform the image of reaction of the strain gauge to the binary form is given. The material can be helpful in solving the problems of technosphere safety.

Key words: integral strain gauges, machine parts, digital image, resource, diagnostics.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 16 января 2014 г.

Решение проблемы регистрации в процессе испытаний степени усталостного повреждения деталей, обеспечивающих безопасность эксплуатации машин, требует на этапе конструкторской и технологической доработки оценки их нагруженности и работоспособности в местах вероятного разрушения, а на этапе эксплуатации – исключения возможности аварий и своевременного установления сроков ремонта и замены поврежденных деталей. Главная цель этих работ состоит в том, чтобы на основе результатов испытаний уточнить и адаптировать к конкретному производству машин расчётные модели, на базе которых в дальнейшем решать задачи обеспечения качества машин при их доводке или наладивании производства, определения их конструктивных и технологических параметров, оптимальных по критериям работоспособности и надежности деталей.

Традиционные экспериментальные методы оценки качества новых механизмов и машин нередко требуют при конструктивной и технологической доработке деталей машин, а также при выяснении и устранении причин отказов прибегать к длительным испытаниям деталей на долговечность. Трудоёмкость и время операций конструкторской и технологической отработки деталей новых образцов машин могут быть значительно сокращены с применением таких экспериментальных методов, которые позволяют на ранних стадиях испытаний установить характер распределения циклических напряжений (деформаций) на исследуемых поверхностях деталей и, тем самым, оценить их работоспособность. Поэтому проблема разработки средств и методов экспериментального

исследования нагруженности и прогнозирования ресурса деталей и металлоконструкций машин, позволяющих с минимальными затратами в условиях стендовых испытаний определить места вероятного разрушения, оценить их напряженно-деформированные состояния и предсказать сроки разрушений, является весьма актуальной.

Данное обстоятельство требует разработки принципиально иных подходов к решению задачи, позволяющих не только осуществлять научные исследования усталости, но и обеспечивать возможность получения данных по накоплению усталостных повреждений в процессе работы изделий с целью прогнозирования их остаточного ресурса. Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является использование методик, основанных на обработке информации, полученной с использованием **датчиков деформации интегрального типа (ДДИТ)** [1]. Благодаря универсальности и большим потенциальным возможностям ДДИТ, появилась уникальная возможность решения широкого спектра задач по исследованию характера изменений напряжений и деформаций на поверхностях деталей, восстановлению законов их распределения и определению эквивалентных напряжений, оценке мест и сроков вероятного разрушения деталей при стендовых и эксплуатационных испытаниях машин. ДДИТ особенно эффективны при создании систем диагностики работоспособности и усталости деталей в реальных условиях эксплуатации машин.

Оценка реакции ДДИТ, которые подвергаются действию циклически меняющейся нагрузки в условиях известного напряженно-деформированного состояния, с точки зрения накопления пластических деформаций, может выполняться разными методами: по моменту появления первых "темных пятен", по первым зернам измененной структуры, на основе измерения микротвердости датчика, с использованием оригинальных оптических средств измерения отражательной способности поверхности датчика, на основе количественной оценки микроструктуры, на основе анализа цифровых фотографий реакции ДДИТ.

Интенсивное развитие и интеграция информационных и компьютерных технологий в научные исследования, актуальность развития существующих способов определения усталостных повреждений и прогнозирования ресурса деталей и конструкций машин на основе показаний ДДИТ привели к необходимости создания новых автоматизированных методов обработки экспериментальных данных, полученных с использованием ДДИТ. При этом в качестве исходной экспериментальной информации используется непосредственно цифровое изображение, регистрирующее различную степень накопленных усталостных повреждений на исследуемых участках поверхности деталей машин и металлоконструкций. Компьютерная обработка и анализ экспериментальных данных, представленных в виде цифровых изображений реакции ДДИТ, позволяет существенно повысить информационность и достоверность методов диагностики усталости деталей машин в реальных условиях эксплуатации, однозначность идентификации выявленных параметров [7].

Анализ существующих методов обработки изображений свидетельствует, о том, что все они, применительно непосредственно к изображениям, отражающим реальное текущее состояние реакции ДДИТ, помимо ограниченных возможностей, неэффективны в реализации и поэтому не могут непосредственно использоваться и требуют либо конструктивного изменения, либо создания принципиально новых подходов. Поэтому задача компьютерной обработки и распознавания изображений реакции ДДИТ представляется актуальной и имеет научную новизну. Среди комплекса проблем, которые должны решаться в этом направлении, особенное значение приобретает создание теоретических и эмпирических предпосылок для построения автоматизированных систем обработки экспериментальной информации, представленной в виде цифровых изображений реакции ДДИТ.

Для решения поставленной задачи необходимо создание новых алгоритмов, которые предназначены для анализа изображений и позволят осуществлять научные исследования усталости на основе компьютерной обработки изображений реакции ДДИТ. Для того, чтобы предотвратить отрыв между теоретически разработанными методами автоматизации и планирования технических экспериментов и их практической реализацией, необходима тщательная разработка соответствующего математического и программного обеспечения.

Для исследования задач распознавания изображений реакции ДДИТ, с целью последующей диагностики усталости деталей машин и их конструкций, наиболее эффективно применение структурного подхода теории распознавания образов. Практическое использование структурных методов связано с необходимостью поиска, определения и выделения признаков распознавания. Методы отбора и выделения исходных информативных признаков составляют одну из важнейших задач теории распознавания образов [4].

При структурном распознавании изображений используются, в основном, топологические (число связных компонент, число узлов и др.), метрические признаки (длина, толщина, периметр, площадь) и признаки формы (петли, дуги кривизна, выпуклость, вогнутость и др.), а также характеристики взаимного расположения структурных элементов и признаков объектов. Процесс поиска, нахождения и выделения этих признаков, определения характеристик взаимного расположения непосредственно на исходном изображении исключительно сложен. Для упрощения решения этих задач целесообразно использовать различные процедуры предварительной обработки и преобразования изображений, которые сохраняют основные структурные свойства изображений, достаточные для последующего анализа и распознавания.

Предварительный анализ изображений реакции ДДИТ позволяет сделать вывод о том что, большинство из них искажено шумами аппаратуры сканирования, дискретизации или каналов передачи данных, имеют неравномерные яркость и контрастность. Это приводит к разрывам и разрушению изображений объектов, появлению малоконтрастных и зашумленных участков, маскировке сложных объектов анализа, что нередко является причиной большого числа ошибок и отказов, особенно автоматических систем сканирования и распозна-

вания. Подавляющее большинство методов исследования изображений основано на выделении объектов и дальнейшем их анализе, поэтому прежде чем подвергнуться анализу, изображение должно пройти этап препарирования (фильтрации) [3, 5].

Препарирование представляет собой целый класс поэлементных преобразований изображений и часто используется в автоматических системах обработки визуальной информации. Этот процесс состоит в выполнении операций улучшения визуального качества и операций формирования графического препарата (сегментация, выделение контуров) изображения.

Операции улучшения визуального качества изображений предполагают выравнивание общего яркостного фона изображения, ликвидацию на нем высокочастотных помех и различного рода артефактов (засветка отдельных участков, провалы, трещины и т.д.), выполнение, в случае необходимости, операций контрастирования, бинаризации и других функциональных преобразований. При этом выходное описание исходного информационного образа должно быть максимально приспособлено для хранения, передачи и анализа (принятия решения на основе этой информации). Но при всех этих преобразованиях одним из важнейших показателей должно быть сохранение максимального числа особых элементов исходной информации.

Один из важнейших этапов преобразования цифровых изображений реакции ДДИТ подразумевает реализацию алгоритма бинарного квантования, в результате чего происходит разделение яркостного диапазона на две составляющие по пороговому значению. Здесь осуществляется переход от полутонового изображения, содержащего все уровни яркости, к бинарному, точки которого имеют яркость 255 – белый цвет, соответствующий максимальной интенсивности, или 0 – черный цвет, соответствующий минимальной интенсивности. Операция бинаризации или бинарного квантования является особенно полезной, когда для исследования важны очертания объектов, присутствующих на изображении, а детали, содержащиеся внутри объектов или внутри фона, не представляют интереса.

Бинарное квантование позволяет повысить детальность наблюдаемой картины в выбранном диапазоне яркостей, причем выходное изображение использует полный динамический диапазон. Кроме того, оно приводит к выявлению границ отдельных участков, создавая общее интегральное представление о наблюдаемой сцене, дает возможность наблюдения мелких деталей на всех участках изображения и позволяет обрабатывать и получать качественный результат на изображениях со сложным фоном с меняющимися яркостными характеристиками, что особенно важно для изображений, полученных с ДДИТ. Кроме того, при замене исходного полутонового изображения бинарным препаратом ощутимо сокращается объем запоминающего устройства для хранения изображения, поскольку бинарный препарат для записи каждой точки бинарного изображения требует лишь 1 бит памяти, в то время как полутоновое изображение для решения той же задачи при наиболее часто применяемом формате представления – 8 бит. Основной проблемой при проведении бинарного кван-

тования является определение порогового значения, сравнение с которым яркости исходного изображения позволяет определить значение выходного изображения в каждой его точке. При слабом исходном контрасте, правильный выбор этого значения позволяет минимизировать изменение геометрии исходных объектов.

Используемые бинарные преобразования можно условно разбить на три основных направления. Первое – бинаризация по пороговому значению. Второе – бинаризация с учётом анализа гистограммы. Третье – бинаризация по площади.

Наиболее распространенным является именно первый метод, программная реализация которого для некоторых типов изображений реакции ДДИТ дает неплохие результаты при диалоговом вводе пользователем величины порогового параметра бинаризации. В качестве примера на рис. 1 приведено одно из полутоновых изображений реакции ДДИТ, а на рис. 2 – реализация метода бинаризации по различным пороговым значениям.



Рис. 1. Изображение реакции ДДИТ

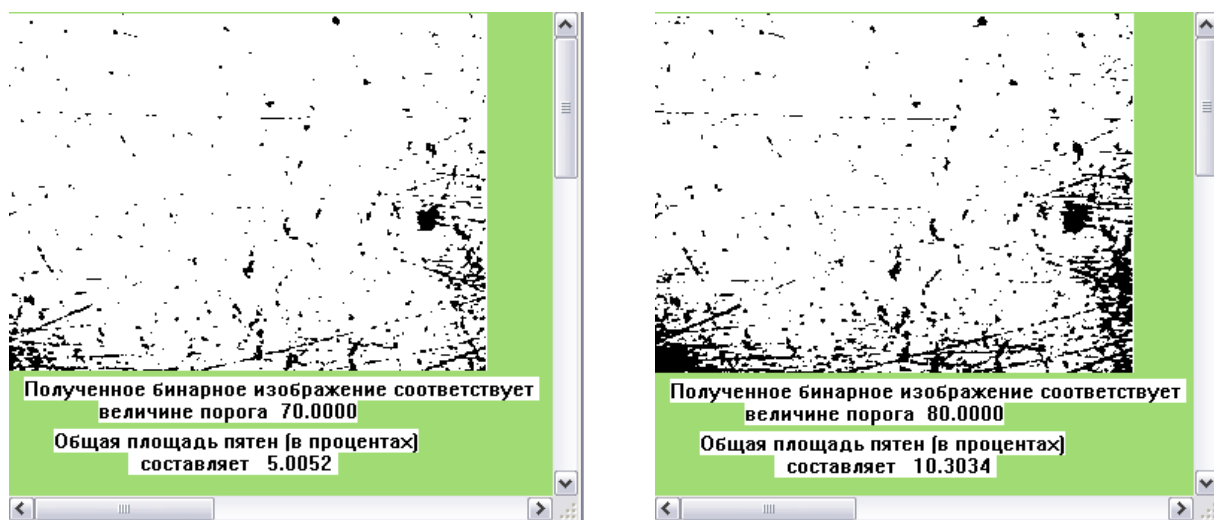


Рис. 2. Бинаризация изображения реакции ДДИТ по различным пороговым значениям

Следует отметить, что при простом пороговом методе наблюдается потеря большого количества мелких деталей из-за относительно больших ошибок выводимой интенсивности для каждого пиксела.

Наиболее оправданным для математического описания изображения является применение теории вероятностей, случайных процессов и случайных полей. При этом определение оптимального порога бинарного квантования представляет собой статистическую задачу.

Следует отметить, что исследуемые изображения, хранимые как полутоновые, по своему содержанию мало отличаются от бинарных. Плотность вероятности $w(x)$, описывающая распределение яркости такого изображения, может содержать два хорошо разделяющихся пика, то есть плотность распределения яркостей такого изображения бимодальна. В данном случае задача установления порога тривиальна. Экспериментально подтверждено, что при исследовании таких изображений за порог бинарного квантования можно взять любое значение между этими пиками (рис. 3).

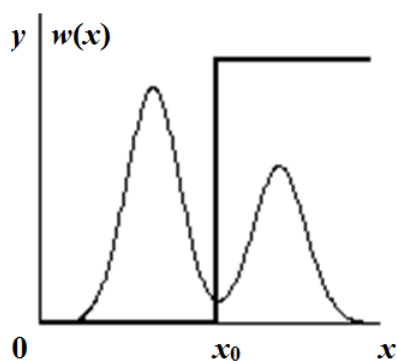


Рис. 3. Определение порогового значения x_0 для бинаризации изображения с бимодальной плотностью $y = w(x)$ распределения яркостей пикселей

На практике нередко встречаются определенные трудности, связанные с тем, что, во-первых, изображение искажено шумом, и, во-вторых, как для объектов, так и для фона характерен некоторый разброс яркостей. В результате пики функции плотности распределения $y = w(f)$ "расплываются", хотя обычно её бимодальность сохраняется. В такой ситуации можно выбрать порог бинаризации f_0 , соответствующий положению минимума между модами, то есть использовать функцию поэлементного преобразования, показанную на рис. 4 в).

Гистограммный пороговый фильтр основан на анализе яркостных характеристик изображения. Но по реальным снимкам выделить объект на снимке возможно только при рассмотрении его в RGB-формате. Для этих целей может быть применён гистограммный пороговый фильтр. Данный алгоритм использует гистограмму распределения яркости элементов исходного изображения следующим образом. Вначале выполняется построение гистограммы яркости элементов изображения, затем анализируется её форма. Если в результате анализа выявлена бимодальная форма гистограммы, то локальный минимум впадины

выбирается в качестве порога бинарного преобразования. Если же анализ гистограммы не определил бимодальную форму, то есть пики на гистограмме четко не обозначены, то наилучший результат получается, если в качестве порогового значения выбрать среднее значение яркостей изображения.

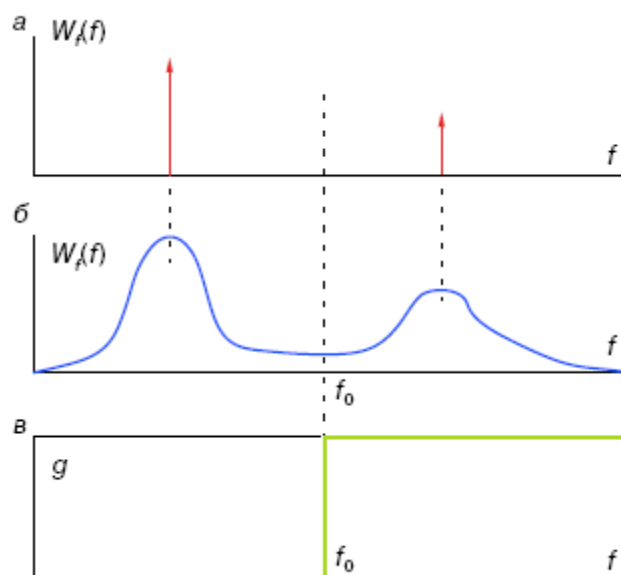


Рис. 4. Использование функции поэлементного преобразования для определения порога бинаризации

Гистограмма свидетельствует об общей яркости и контрастности изображений. Динамический диапазон элементов, которые образуют изображение, очевиден, таким образом, гистограммы являются ценным методом для процесса как количественной, так и качественной обработки изображений. Сравнительный анализ гистограмм исследуемого изображения и изображения, принятого за эталон, позволяет выявить несоответствие изображений, даже если визуально они практически неотличимы друг от друга.

Бинарные преобразования изображений по площади, в соответствии с третьим методом, выполняются на основе интегральной оценки яркости центрального элемента в некоторой области, согласно которой затем принимается решение о значении его яркости.

При этом для каждого элемента изображения, который является центром некоторой окрестности, определяются среднее и дисперсия по этой окрестности. Преобразование яркости пиксела осуществляется следующим образом:

$$F_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } f_{ij} < M_{ij} + 0.3 \cdot D_{ij}, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

где f_{ij} – значение яркости пиксела исходного изображения;

F_{ij} – значение яркости пиксела бинарного изображения;

M_{ij} и D_{ij} – соответственно величины среднего и дисперсии в зоне анализа исходного изображения.

При бинаризации изображения не всегда учитывается распределение ошибки. Если необходимо учитывать распространение ошибки на соседние пиксели, то можно улучшить вид информативных деталей изображения. Распределение ошибки на изображении всегда происходит вниз и вправо. В методе Флойда-Стейнберга эта ошибка распределяется на окружающие пиксели, в частности, $3/8$ ошибки распределяется вправо, $3/8$ – вниз и $1/4$ – по диагонали. Учёт этого факта при бинарном квантовании позволяет улучшить общее качество фильтрации [3].

В заключение следует подчеркнуть, что в целом применение описанных процедур приводит к снижению уровня шума на изображении, но при этом нередко устраняются области с высокой информационной ценностью, что препятствует достоверности обработки и классификации показаний ДДИТ. Для устранения этих последствий необходим постоянный контроль результатов фильтрации [6, 8].

Литература

1. **Сызранцев В.Н., Голофаст С.Л.** Измерение циклических деформаций и прогнозирование долговечности деталей по показаниям датчиков деформаций интегрального типа. Новосибирск: Наука, 2004. 206 с.
2. **Сызранцев В.Н., Змызгова Т.Р.** Компьютерная обработка показаний датчиков деформаций интегрального типа // 2-я междунар. науч.-техн. конф. "Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли". Тюмень: ТюмГНГУ. 2006. С. 126-129.
3. **Змызгова Т.Р., Сызранцев В.Н.** Алгоритмы бинарного квантования цифровых изображений реакции датчиков деформаций интегрального типа. Современные методы изучения пластов и скважин при решении задач разработки нефтяных и газовых месторождений // Сборник трудов кафедры "Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений". Вып. 1. Тюмень: ТюмГНГУ, 2004. С. 214-220.
4. **Методы** компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 784 с.
5. **Змызгова Т.Р.** Алгоритм сегментации цифровых бинарных изображений. Аспирант и соискатель. Вып. 2. М.: "Спутник +", 2005. С. 159-162.
6. **Змызгова Т.Р., Рахметуллина С.Ж.** Новые информационные технологии обработки экспериментальных данных реакции ДДИТ как наукоемкие ресурсосберегающие средства контроля надежности металлоконструкций и деталей машин // Матер. междунар. науч.-практ. конф. "20 лет развития Казахстана – путь к инновационной экономике: достижения и перспективы". Казахстан, Усть-Каменогорск: изд-во Восточно-Казахстанского государственного технического ун-та им. Д. Серикбаева, 2011. С. 56- 61.
7. **Змызгова Т.Р.** Экспериментальная методика регистрирования и оценки накопленного усталостного повреждения в материале нефтегазового трубопроводного оборудования с датчиков деформаций интегрального типа. Экспозиция. Нефть. Газ. № 7 (25). Казань: изд-во "Логос". 2012. С. 14-18.
8. **Змызгова Т.Р.** Особенности математических моделей фильтрации изображений реакции датчиков деформаций интегрального типа для оценки поврежденности деталей и конструкций. Техника и технология. Вып. 5. М.: "Спутник +", 2008. С. 34-36.