

Таблица 1 – Механические характеристики направленно-армированных композитов при растяжении и изгибе

Образец	$\sigma_p / \sigma_{\text{н}}$, МПа	$E_e / E_{\text{н}}$, ГПа	δ , %	ν
Стеклопластик 1	380/372	25,0/16,2	2,38	0,19
Стеклопластик 2	142/96	5,47/4,1	7,57	0,25
Углепластик	611/482	58,3/32,9	1,84	0,06

Заключение. Проведенные механические испытания ряда высокопрочных композитов, полученных с использованием различных схем армирования полимерного связующего стекло- и углеродными тканями, выявили ряд особенностей их деформирования и разрушения при растяжении и изгибе, а именно весьма низкие значения коэффициента Пуассона при косоугольной укладке волокон наполнителя.

Исследование поддержано БРФФИ (проект № T24T-067 «Биоподобные композиты конструкционного и триботехнического назначения на основе полимеров и эластомеров, реализующие самоупрочнение и самозалечивание структурных повреждений».

Список литературы

- 1 Материалы с отрицательным коэффициентом Пуассона (обзор) / Д. А. Конек [и др.] // Механика композиц. матер. и констр. – 2004. – Т. 10, № 1. – С. 35–69.
- 2 Rad, A. B. Static Analysis of Non-Uniform 2D Functionally Graded Auxetic-Porous Circular Plates Interacting with the Gradient Elastic Foundations Involving Friction Force / A. B. Rad // Aerospace Science and Technology. – 2018. – Vol. 76. – P. 315–339.
- 3 Auxetics and Other Systems with "Negative" Characteristics / K. W. Wojciechowski [et al.] // Physica Status Solidi (B). – 2020. – Vol. 257, is. 10.
- 4 Cellular Auxetic Structures for Mechanical Metamaterials: A Review / P. U. Kelkar [et al.] // Sensors. – 2020. – No. 20. – 3132.
- 5 Madke, R. R. Anti-Impact Behavior of Auxetic Sandwich Structure with Braided Face Sheets and 3D Re-entrant Cores / R. R. Madke, R. Chowdhury // Composite Structures. – 2020. – Vol. 236:111838.

УДК 681.2+004

АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИЗ МАССИВА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

О. В. ЮХНОВСКАЯ, М. А. ГУНДИНА, К. В. ПАНТЕЛЕЕВ
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Алгоритмы автоматического определения объектов широко используются в цифровых устройствах и включают в себя несколько этапов. Для начала производится локализация области интереса. Затем она изолируется от остальной части изображения или, наоборот, в случае необходимости рассматривается в качестве области интереса. Дальнейшая сегментация позволяет определить необходимые элементы изображения.

Современные устройства формирования изображений позволяют решать комплекс технических и научных задач, требующих синтеза и анализа методов обработки с использованием пороговой бинаризации, классификации изображений, кластеризации, применением машинного обучения [1, 2]. Развитие микропроцессорной техники позволяет повысить сложность применяемых алгоритмов для решения прикладных задач. В литературе широко обсуждаются также вопросы сегментации, распознавания образов, описания и представления деталей, морфологического анализа снимков, полученных промышленным оборудованием.

Предварительная обработка такого изображения направлена на улучшение и восстановление изображения. Этот процесс устраняет шум, выделяет края и улучшает общее качество изображения. При предварительной обработке изображения полутоновое изображение проходит через множество процедур масштабирования, расширения, фильтрации и улучшения контуров и др. [3, 4].

При сегментации изображения актуальной задачей является определение области аномальных значений.

Известно, что аномальные значения способны существенно исказить функционирование математических моделей анализа данных. Это может привести к снижению надежности и некорректной работе информационно-измерительной системы, однако аномальные значения могут быть использованы для выявления областей интереса на изображении [5].

Единицы статистической совокупности, у которых значения анализируемого признака существенно отклоняются от основного массива, называются аномальными явлениями, «грубыми ошибками» или выбросами. Возможны и аномальные результаты, обусловленные сбоями при измерениях и регистрации данных, резкими отклонениями условий наблюдений, нештатной работой оборудования, ошибками операторов. Наличие аномальных явлений может привести к недостоверным результатам при оценивании и контроле соответствия характеристик системы предъявляемым требованиям. Поэтому аномальные результаты измерений необходимо выявлять.

В качестве объекта для отработки алгоритмов автоматического обнаружения и выявления аномальных значений (области интереса) из массива данных были использованы измерительные данные, полученные при зондовом картировании распределения поверхностного электростатического потенциала (заряда) композиционного материала на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) диаметром 50 мм. Шаг сканирования поверхности составил 1 мм. Образец характеризовался наличием области с заведомо известным «аномальным» значением потенциала (рисунок 1). В качестве средств измерений использовали сканирующую зондовую зарядочувствительную установку СКАН-2019. Измерительная установка СКАН-2219 является аналогом сканирующего зонда Кельвина (Scanning Kelvin Probe, метод SKP), однако отличается от последнего использованием оригинального микропроцессорного зонда [6], работающего по схеме «синусоидальное возбуждение – отклик» [7]. Следует отметить, что микропроцессор осуществляет как управление измерительным процессом, так и предварительную обработку данных с последующей передачей массива на персональный компьютер для визуализации и статистического анализа результатов с помощью пользовательского интерфейса [8], а в случае необходимости – с помощью стороннего программного обеспечения (OriginPro, SciDaVis и др.).

Согласно алгоритмам определения аномальных значений на первом этапе выявляются значения, которые выходят за границы интервала возможного варьирования характеристики признака. Исходя из физического смысла исследуемой величины как аномальные могут рассматриваться те значения, которые не соответствуют общему характеру изменения величины при последовательных наблюдениях, а также значения, приращения которых превышают предельно возможную скорость изменения величины.

Процесс определения аномальных значений и дальнейшего автоматической локализации области интереса, ограниченного окружностью, в основном делится на следующие этапы.

1 Предварительная обработка изображения. На этом этапе осуществляется улучшение изображения с помощью изменения формы гистограммы изображения. Такие преобразования гистограммы обычно применяются для ее выравнивания.

2 Бинаризация изображения. Для перевода изображения из полутонового в бинарное можно использовать пороговый детектор. Важным является выбор величины порога (при большой величине порога может произойти разрыв контура, а при малой появляются неинформативные пиксели).

3 Морфологическая обработка. Выделение границ основывается на алгоритмах, выделяющих точки цифрового изображения, в которых резко изменяется яркость или есть другие виды неоднородностей. Основной целью обнаружения резких изменений яркости изображения является фиксация важных перепадов и изменений.

4 Выявление области интереса.

Определение координат области осуществляется с помощью разработанного алгоритма (см. рисунок 1, в).



Рисунок 1 – Автоматическое обнаружение аномальных значений:
а – исходное изображение; *б* – изображение, полученное пороговой бинаризацией и операцией закрытия;
в – автоматически выделенная область интереса

Таким образом, разработанные алгоритмы автоматического определения объектов могут быть интегрированы непосредственно в измерительные системы или в пользовательский интерфейс, обеспечивая автоматическое обнаружение и выявление области интереса без использования стороннего программного обеспечения для статистической обработки данных.

Список литературы

- 1 **Blanchet, G.** Digital signal and image processing using Matlab / G. Blanchet, M. Charbit. – London : ScienceEurope, 2001. – 764 p.
- 2 **Селянкин, В. В.** Анализ и обработка изображений в задачах компьютерного зрения : учеб. пособие / В. В. Селянкин, С. В. Скороход. – Таганрог : Изд-во ЮФУ, 2015. – 82 с.
- 3 **Patel, S. G.** Vehicle License Plate Recognition Using Morphology and Neural Network / S. G. Patel // International Journal on Cybernetics & Informatics. – 2013. – No. 2 (1). – P. 1–7.
- 4 **Reshma, P.** Noise Removal and Blob Detection Approach for Number Plate Identification / P. Reshma // International Journal of Computer Applications. – 2012. – Vol. 47. – P. 13–16.
- 5 Вероятность и математическая статистика : энциклопедия / под ред. Ю. В. Прохорова. – М. : Большая Российская энциклопедия, 2003. – 911 с.
- 6 Универсальный цифровой зондовый электромметр для контроля полупроводниковых пластин / А. Л. Жарин [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2023. – Т. 14, № 3. – С. 161–172.
- 7 Интеллектуальный сенсор для измерительных систем, работающих по схеме синусоидальное возбуждение – отклик / В. А. Микитевич [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2023. – Т. 14, № 1. – С. 18–26.
- 8 Цифровой измеритель контактной разности потенциалов / К. В. Пантелеев [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2016. – Т. 7, № 2. – С. 136–144.