

$(\tau_{Yb, Eu})_2 = 0,30$ мс. Относительный вклад быстрой компоненты затухания в общий общую интенсивность люминесценции $[\int I_1(t)dt / \int I(t)dt] = I_{10}\tau_1 / (I_{10}\tau_1 + I_{20}\tau_2)$ составляет 26,5 % (Yb:GdAlO₃) и 22,0 % (Yb, Eu:GdAlO₃). Быструю компоненту τ_1 затухания можно связать с ионами иттербия, находящимися в аморфной фазе и дефектах кристаллической решетки, а медленную компоненту τ_2 затухания отнести к ионам иттербия в нанокристаллах GdAlO₃. Если для оценки эффективности η_{ET} переноса энергии в выражении (1) использовать значения медленных компонент затухания люминесценции, то получаем $\eta_{ET} = 27$ %. Если же использовать значения средних времен затухания люминесценции $(\tau_{Yb})_{cp} = 0,255$ мс $(\tau_{Yb, Eu})_{cp} = 0,183$, то эффективность $\eta_{ET} = 28$ % (средние значения средних времен затухания, исходя из математического определения среднего значения функции, определяются по формуле $\tau_{cp} = \int I(t)dt / \int I(t)dt$). Видно, что получаемые значения эффективности η_{ET} переноса энергии очень близки (27 % и 28 %). При этом скорость переноса энергии $Yb^{3+} \rightarrow Eu^{3+}$, которая может быть оценена как $p_{ET} = \frac{1}{\tau_{Yb, Eu}} - \frac{1}{\tau_{Yb}}$, составляет 0,9 мс⁻¹ в первом случае и 1,5 мс⁻¹ – во втором случае.

Предложенный выше механизм ап-конверсионной люминесценции подтверждается полученной зависимостью интегральной интенсивности I_{UCL} ап-конверсионной люминесценции ионов европия Eu^{3+} от мощности возбуждения P ионов иттербия (рисунок 5). Возбуждение люминесценции осуществлялось на длине волны 960 нм (волновое число 10417 см⁻¹), а регистрация – в спектральных диапазонах, соответствующим переходам $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$ и $^5D_0 \rightarrow ^7F_4$ ионов европия (рисунок 1). Из данных рис. 5 следует, что $I_{UCL} \sim P^n$, где $n = 2,0$ для люминесценции на переходе $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$ и $n = 1,9$ для $^5D_0 \rightarrow ^7F_4$ люминесценции. Это свидетельствует о том, что в процесс возбуждения ап-конверсионной люминесценции ионов европия вовлечены два фотона, то есть, подтверждая тем самым двухфотонный механизм возбуждения данной люминесценции [2].

Литература

1. Energy transfer and enhanced 1.54 μm emission in Erbium-Ytterbium disilicate thin films / M. Miritello [et al.] // Optics Express. – 2011. – V. 19 (21). – P. 20761–20772.
2. Power dependence of upconversion luminescence in lanthanide and transition-metal-ion systems / M. Pollnau [et al.] // Phys. Rev. B. – 2000. – V. 61 (5). – P. 3337–3346.

УДК 681+004

ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИНОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВЫБОРКИ

Юхновская О. В.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Рассматривается вопрос применения мультиномального распределения для выявления аномальных значений. Сформулирован критерий определения значения как аномального.

Ключевые слова: аномальные значения, бинаризация, компьютерная система Wolfram Mathematica.

APPLICATION OF MULTINORMAL DISTRIBUTION FOR DETECTION ABNORMAL SAMLE VALUES

Yuhnovskaya O.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The issue of using multinormal distribution to identify anomalous values is considered. A criterion for determining a value as anomalous is formulated.

Key words: anomalous values, binarization, computer system Wolfram Mathematica.

*Адрес для переписки: Юхновская О. В., пр. Независимости, 65, г. Минск 220013, Республика Беларусь
e-mail: yuhnovskaja@bntu.by*

В современных условиях широкого распространения информационных технологий с каждым днем все более актуальным становится использование технологий автоматического распознавания текста на изображениях, таких как, например, обработка результатов анкетирования, перевод изображений страниц книги в текст, который может подвергаться дальнейшей обработке.

Данные технологии обработки и распознавания рукописного текста являются актуальными и вос-

требованными в различных сферах деятельности, а разработка методов и алгоритмов распознавания ранее написанного рукописного текста позволит повысить эффективность работы таких систем. Однако и полученный после работы алгоритма результат может содержать аномальные значения, которые также необходимо выявлять. Анализ ряда литературных источников [1–4] позволяет сделать вывод о том, под аномальными значениями при измерениях можно понимать отклонение результатов измерения

от ожидаемых значений, соответствующих паспортным данным измерительных приборов и измеряемым параметрам объекта.

Для выявления аномальных значений выборки может быть использована мультипликативная модель, а именно двумерное нормальное распределение с коэффициентами значимости.

Мультипликативная модель определения аномальных значений основана на применении плотности мультиформального распределения. Вначале вычисляются числовые характеристики выборки значений признаков, затем строится соответствующая плотность распределения и применяется условие определения аномального значения.

Рассмотрим вначале одномерный случай. Нормальное распределение – это один из типов непрерывного распределения вероятностей для вещественной случайной величины.

Пусть нормально распределенная случайная величина с математическим ожиданием μ и дисперсией σ^2 .

$$X \sim N(\mu, \sigma^2).$$

В двумерном случае, если случайные величины X , Y независимы, плотность распределения может быть найдена по формуле:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2}.$$

Также этот случай можно и далее распространить на m -мерное пространство признаков.

Предположим, что в рассматриваемом наборе данных был только один признак, и этот признак имел нормальное распределение, тогда можно построить алгоритм обнаружения аномалий, используя функцию $f(x)$. Также можно установить некоторое пороговое значение ε , которое будет определять, является ли случай аномальным или нет. Значение ε следует задавать эвристически, и его значение будет зависеть от варианта использования и предпочтительной чувствительности к аномалиям в каждом определенном эксперименте.

Пусть обучающий набор с m элементами (x^1, x^2, \dots, x^m) , где x^i является n -мерным вектором в общем случае, верхний индекс обозначает номер рассматриваемого признака.

Для каждого признака x^i вычислим параметры μ и σ^2 .

$$(\mu^1, \mu^2, \dots, \mu^m), (\sigma^{2^1}, \sigma^{2^2}, \dots, \sigma^{2^m}),$$

где

$$\mu^i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k^i,$$

$$\sigma^{2^i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_k^i - \mu^i)^2,$$

верхние индексы i – номер элемента выборки; j – номер признака.

Поскольку параметры являются независимыми, то умножая f^i можно построить функцию правдоподобия:

$$f(x^1, \dots, x^m) = f(\mu^1, \sigma^{2^1}) \dots f(\mu^m, \sigma^{2^m}).$$

По этой формуле определяется вероятность того, что этот новый элемент является аномальным. Теперь, когда получено значение функции f , проверяем меньше ли оно значения ε .

Условия определения аномального значения:

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } f < \varepsilon \\ 0, & \text{если } f \geq \varepsilon \end{cases}$$

Важным является замечание, что если значение является аномальным по некоторому единичному признаку x^i , не означает, что данное значение будет аномальным при учете всех признаков.

Под коэффициентом весомости свойства x^i будем понимать количественную характеристику важности и значимости данного признака среди других свойств. Количественное выражение будет приниматься в процентах либо долях единицы.

В связи с существенным влиянием параметров весомости на результаты оценки или возможности их определение следует проводить одновременно несколькими методами. Сравнение полученных таким образом результатов позволит увеличить объективность выводов.

Пусть вектор (G^1, G^2, \dots, G^m) нормированных коэффициентов весомости. Чем ближе коэффициент к 1, тем наблюдается большая значимость данного признака.

При рассмотрении аддитивных моделей рассматривается средневзвешенная вида

$$X_{0i} = \sum_{k=1}^m G^k \times x^i.$$

Чувствительность средневзвешенной арифметической комплексной оценки является постоянной величиной. Поэтому изменение любого, даже важнейшего показателя при большом числе единичных показателей не оказывает существенного влияния на комплексную оценку. Это может привести к тому, что при выходе значения какого-либо единичного показателя за предельно допустимое значение, комплексная оценка качества останется высокой за счет остальных показателей.

В случае двумерного нормального распределения будем использовать средневзвешенную мультипликативного вида, определяемую по следующей формуле:

$$X_{0i} = \sum_{k=1}^m (x^i)^{G^k},$$

где элементы вектора G выступают в роли степеней множителей.

В отличие от средневзвешенной арифметической, чувствительность средневзвешенной геометрической зависимости комплексной оценки к

изменению единичных оценок очень высокая; благодаря этому малые значения одних показателей не могут быть перекрыты высокими значениями других показателей качества.

Литература

1. Подстригаев, А. С. Классификация и способы устранения аномальных ошибок измерения частотно-временных параметров сигналов в широкополосных приемниках / А.С. Подстригаев // Журнал Сиб. фед. университета. Техника и технологии. – 2022. – № 15 (2). – С. 223–237.
2. Dunning, T. Practical Machine Learning: A New Look at Anomaly Detection / T. Dunning, E. Friedman. – Sebastopol (California): O'Reilly, 2014. – 66 p.

3. Гундина, М. А. Особенности процесса определения количества аномальных значений при обработке измерительной информации / М. А. Гундина, П. С. Богдан, О. В. Юхновская. // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2024. – № 2 (77). – С. 96–103.

3. Юхновская, О. В. Определение аномальных значений при анализе измерительных данных / О. В. Юхновская, К. В. Пантелеев, М. А. Гундина // Новые направления развития приборостроения : материалы 17-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, Минск, 17–19 апреля 2024 г. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: О. К. Гусев (пред. редкол.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2024. – С. 220.

УДК 681+004

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Юхновская О. В., Гундина М. А., Пантелеев К. В.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В работе представлено исследование методов автоматической обработки изображений с аномальными значениями. Целью исследования является разработка алгоритма локализации областей интереса на промышленных изображениях с последующим их распознаванием. Основное внимание уделено анализу различных алгоритмов выделения контуров, фильтрации и сегментации, таких как проекционный метод, нейронные сети, а также комбинированные подходы, использующие медианную фильтрацию и бинаризацию. Алгоритм реализован в системе Wolfram Mathematica и предназначен для обработки изображений, получаемых с промышленного оборудования. Предлагаемое решение позволяет улучшить четкость контуров и повысить точность распознавания, что подтверждается экспериментальными результатами.

Ключевые слова: промышленное изображение, аномальные значения, область интереса, бинаризация, компьютерная система Wolfram Mathematica.

APPLICATION OF COMBINED ALGORITHMS FOR AUTOMATED ANALYSIS OF INDUSTRIAL IMAGES

Юхновская О.В., Hundzina M., Pantsialeu K.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. This study presents an investigation of automatic image processing methods for detecting anomalous values in instrumentation systems. The research aims to develop an algorithm for localizing regions of interest in industrial images, followed by their recognition. Special attention is given to analyzing various contour detection, filtering, and segmentation algorithms, such as projection methods, neural networks, and combined approaches using median filtering and binarization. The algorithm is implemented in Wolfram Mathematica and is designed to process images obtained from industrial equipment. The proposed solution improves contour clarity and enhances recognition accuracy, as confirmed by experimental results.

Key words: industrial image, anomalous values, region of interest, binarization, computer system Wolfram Mathematica.

*Адрес для переписки: Гундина М. А., пр. Независимости, 65, г. Минск 220013, Республика Беларусь
e-mail: hundzina@bntu.by*

Автоматическая обработка изображений с аномальными значениями является актуальной задачей в приборостроении, поскольку может использоваться для автоматического выделения областей интереса и сжатия исходных данных [1]. Устройства, работающие с такими алгоритмами, представляют собой программно-аппаратные комплексы. Стандартный комплекс включает

четыре модуля: получение изображения, извлечение области интереса, сегментацию и распознавание для дальнейшей обработки. Эффективность и точность системы в значительной мере зависят от второго модуля, для которого применяются различные подходы. Так, алгоритм с использованием проекции и евклидова расстояния достигает 87 % производительности [2]. Алгоритм на основе