

*Д. В. Куреев**

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ТЕРМОГРАММ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

Мониторинг технического состояния различных сооружений является важной составляющей его успешной эксплуатации. Своевременное проведение обследования на предмет наличия дефектов необходимо для обеспечения безопасности, надежности и долговечности конструкций. Этот процесс позволяет выявить и устранить проблемы, которые могут привести к авариям, разрушениям или дополнительным затратам на ремонт и обслуживание.

На текущий момент широкое применение при обследовании объектов заняли методы неразрушающего контроля, которые позволяют оценить качество материалов и конструкций без их разрушения.

Эффективным методом неразрушающего контроля является тепловой контроль. Этот метод основан на измерении температуры поверхности объекта для обнаружения дефектов. Он позволяет обнаружить перегревы, трещины, утечки [1]. Устройством проведения теплового контроля является тепловизор. Современные тепловизоры позволяют осуществлять съемку как в видимом, так и в инфракрасном диапазоне (термограмма).

Стоит отметить, какого-либо универсального формата термограмм на текущий момент нет. Каждый производитель тепловизоров создает для собственных форматов, поэтому, вполне вероятно, может возникнуть необходимость в обработке термограммы, например, в формате растрового изображения. Следовательно, должна иметься возможность обрабатывать термограммы, используя только растровое изображение и информацию о максимальной и минимальной температуре на термограмме. Наиболее часто для растровых изображений термограмм используется палитра градаций серого, однако широко распространено использование других цветных палитр. В данном случае будем использовать линейную цветовую палитру. Минимальной температуре будет соответствовать черный цвет, максимальной – желтый. Подобную палитру также называют палитрой каления [2].

* Работа выполнена под руководством кандидата технических наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» Ю. В. Минина.

Для обработки термограмм необходимо реализовать следующие возможности:

- построение матрицы температур;
- выделение температурных аномалий на термограмме.

Важной составляющей обработки термограмм является построение матрицы температур. Матрица температур представляет собой матрицу $T [N \times M]$, в которой N – высота термограммы в пикселах, M – ширина термограммы в пикселах, и каждый элемент матрицы t_p является температурой отдельного пиксела на исходной термограмме. Элемент t_p рассчитывается в соответствии со следующей формулой

$$t_p = t_{\min} + \frac{C_{gr}}{510} (t_{\max} - t_{\min}),$$

где t_{\min} – минимальная температура по термограмме; t_{\max} – максимальная температура по термограмме; C_{gr} – сумма зеленой и красной составляющих растрового изображения.

Использование константы со значением 510 обусловлено выбором цветовой палитры, в данном случае она является суммой красной и зеленой составляющих растрового изображения термограммы. Например, для палитры градаций серого данная константа будет иметь значение 255.

Температурная матрица позволяет идентифицировать температуру каждого пиксела на термограмме. Также температурная матрица используется для выделения температурной аномалии. Для выделения температурной аномалии используется подход расчета температуры порога по формуле

$$t_{th} = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{255} C + t_{\min},$$

где C – коэффициент температуры порога [3].

Коэффициент температуры порога рассчитывается по формуле

$$C = \frac{255 \cdot (t_{cp} - t_{\min})}{t_{\max} - t_{\min}}.$$

По рассчитанному пороговому значению температуры строится новая температурная матрица, которая в данном случае будет представлять собой разреженную матрицу $T_a [N \times M]$. Заполненные элементы матрицы T_a будут соответствовать области температурной аномалии. Классификация каждого элемента на предмет того, входит ли он в температурную аномалию или нет, осуществляется по следующему условию.

Если $t_{th} < t_p$, то элемент t_p входит в зону температурной аномалии, иначе t_p не входит в зону температурной аномалии.

Зная температуру каждого пиксела аномального участка, можно построить новую термограмму, на которой будет выделена аномальная область. Расчет цвета пиксела по температуре для палитры каления осуществляется в несколько шагов.

На первом шаге данного этапа осуществляется расчет суммы красной и зеленой составляющих растрового изображения термограммы по следующей формуле

$$C_{gr} = 510 \cdot (t_c - t_{min})(t_{max} - t_{min}),$$

где t_c – температура текущего пиксела.

На втором шаге проверяется составляющая по следующим условиям.

Если $C_{gr} > 255$, то $C_r = 255$, $C_g = C_{gr} - C_r$, иначе $C_r = C_{gr}$, $C_g = 0$.

Предложенный алгоритм расчета цвета пиксела по температуре можно представить с диаграммой деятельности (рис. 1).

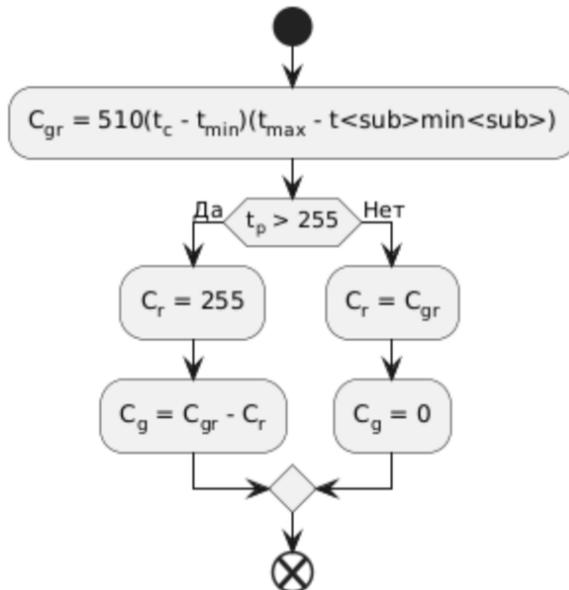


Рис. 1. Диаграмма деятельности расчета цвета пиксела по температуре

Таким образом, при обработке каждого элемента матрицы T_a получаем новую термограмму, на которой выделяется аномальная зона.

На основе описанных выше способов обработки термограмм был разработан программный модуль на языке программирования *Python 3.10* с использованием библиотеки работы с изображениями *OpenCV*, для построения пользовательского интерфейса использовалась библиотека *PySide 6*.

В качестве примера рассмотрим термограмму работающего теплового вентилятора. На оригинальной термограмме можно отчетливо наблюдать как горячие области, так и холодные. Минимальная зафиксированная температура на термограмме равна $25,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, максимальная – $96,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2).

С использованием разработанного алгоритма произведем обработку инфракрасного снимка. На выходе получаем изображение, на котором выделена область высоких температур. В данном случае областями высоких температур являются нагревательный элемент теплового вентилятора и нагретая напротив стена (рис. 3).

Для дальнейшей интерпретации результатов термограммы требуется совмещение термограммы со снимком в видимом диапазоне, распознавание объекта интереса на этом снимке. А затем, путем наложения обработанной термограммы на инфракрасный снимок идентифицировать проблемную зону.

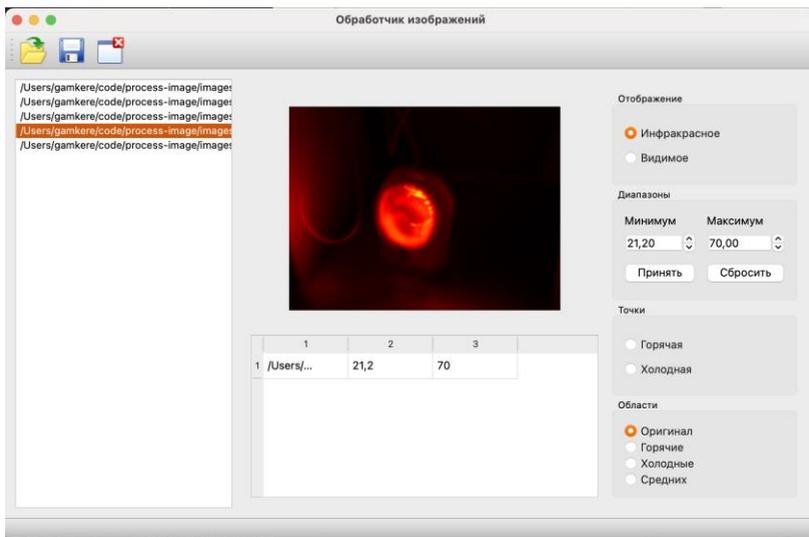


Рис. 2. Оригинальная термограмма

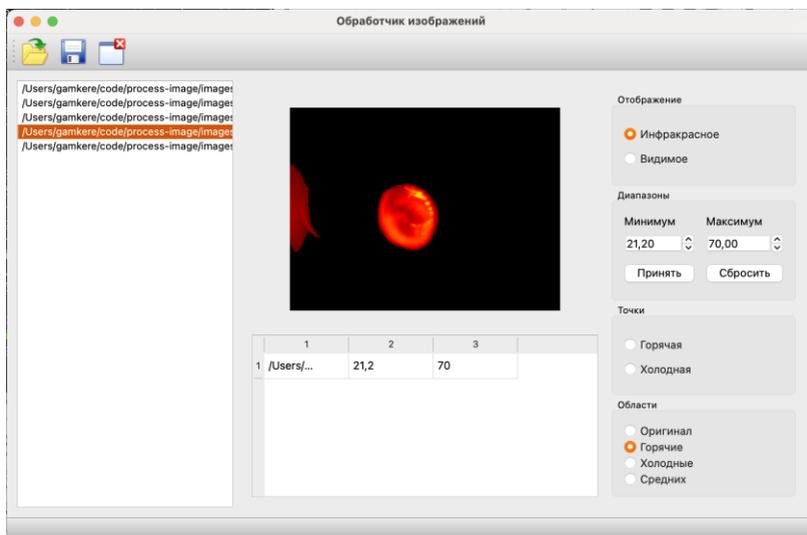


Рис. 3. Обработанная термограмма

Список литературы

1. Вавилов, В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль / В. П. Вавилов. – М. : ИД Спектр, 2009. – 544 с.
2. Вавилов, В. П. Инфракрасная термографическая диагностика в строительстве и энергетике / В. П. Вавилов, А. Н. Александров. – М. : Энергопрогресс, 2003. – 76 с.
3. Мамедова, Р. А. Особенности обработки тепловизионных изображений для диагностики заболеваний конечностей КРС / Р. А. Мамедова // Техника и технологии в животноводстве. – 2021. – № 4(44). – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-obrabotki-teplovizionnyh-izobrazheniy-dlya-diaagnostiki-zabolevaniy-konechnostey-krp>

*Кафедра «Информационные системы и защита информации»
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*