

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОВИЗИОННОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА

Савеня П.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ключев А.П. – ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. Рассматривается информационная система тепловизионного мониторинга на основе инфракрасного сенсора *MLX90640*. Предложен алгоритм для обнаружения тепловых аномалий, который включает в себя абсолютный порог, статистический Z-критерий, а также оценку скорости нагрева. Показано, что применение одновременно нескольких критериев и кластеризации снижает долю ложных тревог по сравнению с однопороговыми методами.

Ключевые слова: тепловизионный мониторинг, пожарная безопасность, обнаружение тепловых аномалий, инфракрасный датчик, информационная система

Введение. Традиционные средства защиты от пожаров – это дымовые и тепловые извещатели, которые используются для обнаружения возникшего возгорания. Значительная доля промышленных пожаров начинается с локального перегрева или тления, которые могут длиться продолжительный период времени без видимых признаков горения [1]. Позднее обнаружение такого предпожарного состояния может приводить к крайне высокому ущербу.

Анализ существующих решений показывает, что: системы, которые работают по единственному пороговому критерию, показывают высокую долю ложных тревог при изменении фоновой температуры среды; точечные датчики не обеспечивают контроля поля температур, что не позволяет локализовать источник нагрева. Для устранения указанных недостатков предлагается информационная система тепловизионного мониторинга с многокритериальным анализом термограмм.

Основная часть. Ключевым преимуществом тепловизионного контроля в инфракрасном диапазоне перед классическими методами является возможность работы в условиях задымления, полной темноты и высокой запылённости, то есть именно в тех условиях, когда оптические системы видимого диапазона обнаружения теряют эффективность, что делает подход с использованием ИК-тепловизионного мониторинга особенно актуальным для промышленных объектов с повышенным риском возгорания. Устройство сбора данных, посредством инфракрасного сенсора *MLX90640* формирует поле температур (термограмму в виде матрицы с разрешением 24x32 пикселя и частотой обновления до 32 кадров в секунду [2]), и виде кадра температур передает на сервер с дополнительными метаданными: меткой времени, средним, а также минимальным и максимальным значением температуры кадра.

Ядро аналитики реализует адаптивный попиксельный алгоритм [3]. Для каждого пикселя непрерывно отслеживается динамика температуры во времени. Шаг дискретизации определяется частотой опроса сенсора, формула 1:

$$\Delta t = 1/f_{fps}, \quad (1)$$

где f_{fps} – частота обновления кадров сенсора, Гц.

Коэффициент экспоненциального сглаживания вычисляется через постоянную времени, определяющую скорость адаптации модели к изменению фоновой температуры, формула 2:

$$\alpha = 1 - e^{-\Delta t/\tau}, \quad (2)$$

где τ – постоянная времени адаптации, с.

На основе полученного коэффициента для каждого пикселя непрерывно обновляется скользящее среднее и дисперсия, формулы 3 и 4:

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \alpha_\mu(x_t - \mu_{t-1}), \quad (3)$$

$$\sigma_t^2 = (1 - \alpha_\sigma)\sigma_{t-1}^2 + \alpha_\sigma(x_t - \mu_{t-1})^2, \quad (4)$$

где x_t – температура пикселя в момент времени t , °C;

μ_t – оценка базовой температуры;

σ_t^2 – оценка дисперсии;

α_μ – коэффициент сглаживания среднего;

α_σ – коэффициент сглаживания дисперсии.

Для оценки степени отклонения текущей температуры от адаптивного фона вычисляется стандартизованная аномалия (z-критерий) пикселя, формула 5:

$$z_t = \frac{x_t - \mu_t}{\max(\sigma_t, \sigma_{min})}, \quad (5)$$

где σ_{min} – минимальный порог дисперсии, исключающий деление на ноль при стабильном фоне.

Помимо статистической аномалии, важным признаком предпожарного состояния является динамика нагрева. Скорость нагрева пикселя и её сглаженная оценка определяются по формуле 6:

$$\begin{aligned} d_t &= \frac{x_t - \mu_t}{\Delta t}, \tilde{d}_t \\ &= (1 - \alpha_d)\tilde{d}_{t-1} \\ &\quad + \alpha_d d_t, \end{aligned} \quad (6)$$

где d_t – мгновенная скорость нагрева, °C/c;

$\tilde{d}_t$ – сглаженная оценка скорости нагрева;

α_d – коэффициент сглаживания производной.

Для учёта накопленного во времени аномального отклонения применяется экспоненциально взвешенное скользящее среднее (EWMA) положительных z-критериев, формула 7:

$$z_t^{ewma} = (1 - \beta)z_{t-1}^{ewma} + \beta \max(z_t, 0), \quad (7)$$

где β – коэффициент накопления аномальной энергии.

На основе накопленных отклонений формируется карта риска объекта, отражающая зоны длительного или повторяющегося перегрева, формула 8:

$$R_t = \lambda R_{t-1} + \max(z_t - z_{floor}, 0), \quad (8)$$

где λ – коэффициент затухания;

z_{floor} – нижний порог, отсекающий незначимые отклонения.

Тревога формируется на основе четырёх независимых критериев: абсолютный перегрев; статистическая аномалия; превышение скорости нагрева; накопленная аномалия. Каждый

критерий требует подтверждения на протяжении N последовательных кадров, что исключает срабатывание от одиночного шумового кадра [4]. Итоговая маска опасных пикселей определяется объединением всех четырех условий.

Для снижения доли ложных тревог к полученной маске применяется связанная кластеризация по схеме 4-соседства с фильтром минимального размера кластера. Для каждого кластера, прошедшего фильтрацию, вычисляются характеристики зоны опасности: пиковая температура, отклонение от фона, максимальный z -критерий и координаты зоны поражения.

Серверная часть системы обеспечивает обработку потока термограмм в реальном времени, хранение кадров, тревог и карт риска, а также ролевую модель доступа и журнал аудита действий операторов. Клиентская панель отображает живой поток термограмм, активные тревоги, историческую карту рисков и журнал инцидентов. Применение ансамблевого подхода принципиально отличает предложенную систему от однопороговых решений: срабатывание возможно только при одновременном выполнении нескольких условий с заданной персистентностью, что соответствует исключительно реальным предпожарным ситуациям.

Заключение. Разработана информационная система непрерывного тепловизионного мониторинга, реализующая сбор термограмм с сенсора *MLX90640*, их передачу и адаптивную попиксельную обработку на сервере. Предложенный многокритериальный алгоритм – сочетание абсолютного порога, z -критерия, оценки скорости нагрева, *EWMA*-накопления и кластеризации, что позволяет обнаруживать предпожарные состояния на стадии локального перегрева и существенно снижать долю ложных тревог. Система обеспечивает пространственную локализацию источника нагрева, что недостижимо при использовании традиционных точечных датчиков.

Список литературы

1. Brushlinsky, N. N. *World fire statistics* / N. N. Brushlinsky, M. Ahrens, S. V. Sokolov, P. Wagner. Geneva: CTIF, 2023. 64 p.
2. *MLX90640 Far Infrared Thermal Sensor Array Datasheet* [Электронный ресурс]. Melexis N.V., 2019. 40 p. Режим доступа: <https://www.melexis.com/en/documents/documentation/datasheets/datasheet-mlx90640>. Дата доступа: 20.02.2026.
3. Tarigan, Widia Br., Robet, Tarigan, Feriani Astuti. *IoT Sensor Data Analysis for Early Fire Detection Using Dynamic Threshold* // *Sinkron: Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika*. 2026. Vol. 10, No 1. P. 200–209. DOI: 10.33395/sinkron.v10i1.15478.
4. Температурный мониторинг как метод предупреждения пожаров на промышленных объектах / В. П. Молчанов [и др.] // *Пожаровзрывобезопасность*. 2021. Т. 30, № 2. С. 18–27.

UDC 614.84:004.9

THERMAL MONITORING INFORMATION SYSTEM FOR IMPROVING FIRE SAFETY OF THE OBJECT

Savenia P.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kluev A.P. – Senior Lecturer at the Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. thermal monitoring information system based on the infrared sensor *MLX90640* is considered. An algorithm for detecting thermal anomalies is proposed, which includes an absolute threshold, a statistical Z -criterion, and an assessment of the heating rate. It has been shown that the use of multiple criteria and clustering simultaneously reduces the share of false alarms compared to threshold methods.

Keywords: thermal imaging monitoring, fire safety, detection of heat anomalies, infrared sensor, information system