

# ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Русакович Е. С., Деменковец Д. В.

Кафедра программного обеспечения информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: smegor55@gmail.com, Demenkovets@bsuir.by

*Рассматривается возможная реализация элемента составной части индустриальной системы мониторинга, контролирующего работу технологического оборудования или перемещение людей в запрещённых зонах с помощью видеокамеры низкого разрешения. Обоснован выбор вычислительного модуля элемента, предложен эффективный алгоритм удаления фона изображения, полученного из видеопотока.*

## ВВЕДЕНИЕ

Промышленные производства требуют внедрения роботизированных технологий, компьютерного зрения и систем безопасности персонала.

Разрабатываются индустриальные системы мониторинга для контроля технологических параметров, детекции сбоев и нарушений работы оборудования. Эти системы в частности применяются для соблюдения правил техники безопасности, охраны труда и контроля движения в специальных зонах.

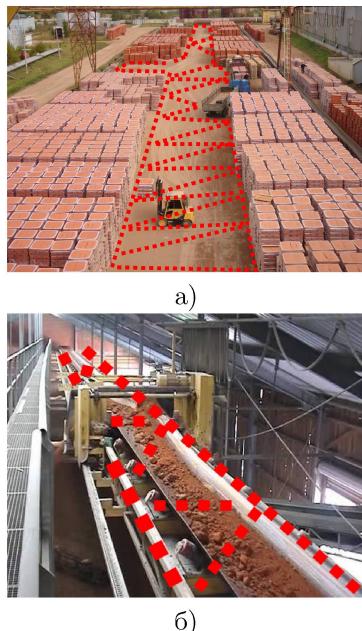


Рис. 1 – Примеры контролируемых производственных пространств

Например, на некоторых производствах рабочие выполняют операции на специально оборудованных постах, выход на линию движения конвейера не допускается; на загрузочных питателях в горнодобывающих и перерабатывающих производствах, не должно образовываться заторов материала в связи с остановкой конвейерного оборудования. Отслеживается контроль и безопасность рабочего персонала в производственных ангарах и цехах. Эти события могут детектиро-

ваться автоматически с передачей информации по коммуникационным каналам в общую систему управления или охраны предприятия.

## I. АППАРАТНАЯ ПЛАТФОРМА

Ранние системы мониторинга и безопасности включали в себя различные датчики положения, световые барьеры, ограждения, емкостные датчики присутствия. В современных системах контроля перемещений источником данных является видеокамера. Полученные изображения должны быть должным образом обработаны с целью классификации событий.

Возникает необходимость контролировать различные технологические производства, будь то цеха переработки, выработки полезных ископаемых, роботизированные сборочные линии и другие. Выполнение обработки видеопотока в этих условиях на персональных компьютерах или выделенных серверах требует значительных вычислительных мощностей оборудования. Целесообразным является реализация алгоритмов обработки и распознавания непосредственно в встроенным программном обеспечении видеокамеры, которая будет передавать сигнал о произошедшем событии по выделенному каналу связи (проводному либо беспроводному).

В качестве камеры совмещённой с вычислительным модулем предлагается использовать плату ESP32-CAM [1], включающую:

- 2 микропроцессора Xtensa LX6 (производительность до 240 МГц);
- модули Bluetooth и Wi-Fi;
- интерфейсы SPI, UART, I2C;
- 4 МБ встроенной флэш-памяти;
- 512 КБ оперативной памяти;
- интерфейс SD-карты памяти;
- сенсор камеры в UXGA разрешении.

Плата включает множество различных интерфейсов, обладает достаточной вычислительной мощностью и может быть интегрирована в компактное устройство.

## II. ПРОГРАММНАЯ ЧАСТЬ

Программная реализация системы контроля включает следующую последовательность модулей:

- взаимодействие с видеокамерой;
- обработка кадров;
- детектирование событий;
- отправка сообщений по каналам связи.

Работа этих модулей в системе, логически асинхронная, реализуется параллельно для эффективного использования доступных вычислительных ресурсов. Для этого встроенная исполняемая программа работает в рамках операционной системы реального времени, которая распределяет процессорное время между модулями. Используется FreeRTOS – операционная система реального времени с поддержкой многозадачности и механизмами синхронизации [2].

### III. ОБРАБОТКА КАДРОВ

Наиболее трудоёмкая задача – обработка кадров видеопотока. Заключается в выделении объектов расположенных в кадре. В данном случае задача сводится к подзадаче отделения статичного фона от других объектов. Фон изображения принимается за неизменный, так как система предназначена для использования в цехах, рабочих помещениях, где фон значительно не изменяется за все время контроля. В задаче отделения фона выделяют следующие этапы:

1. Получение кадра.
2. Предобработка кадра.
3. Удаление фона.
4. Постобработка кадра.

Алгоритмы удаления фона отличаются по следующим параметрам: затраты памяти, время исполнения, результативность в усложнённых условиях. К усложнённым условиям [3] относятся:

- остановка объекта;
- смена освещения;
- наличие теней;
- динамический фон.

Для мониторинга промышленных производств смена освещения и присутствие теней менее актуальны, чем динамический фон или остановка объекта.

Согласно исследованию [4] наиболее эффективными алгоритмами с точки зрения всех ограничивающих условий встроенной системы являются: вычитание фона с адаптивным обновлением и Гауссова модель. Статистические методы (такие как Гауссова модель) относятся к параметрическим методам, в них для каждого пикселя изображения необходимо сохранять и обновлять дополнительные параметры (математическое ожидание и среднееквадратичное отклонение), что увеличивает расход памяти для выполнения методов. В ESP32-САМ предусмотрено только 512 КБ встроенной оперативной памяти и это ограничение является самым критичным. Наиболее ресурсоёмким и эффективным методом в данном случае будет вычитание фона с адаптивным об-

новлением фоновой модели. Данный алгоритм представлен на рисунке 2.

### IV. ПОСТОБРАБОТКА КАДРОВ

Постобработка кадров выделяет из множества полученных пикселей изображения отдельные объекты. Она включает в себя морфологические операции, фильтрацию скоплений точек незначительного размера, разбиение на объекты, получение контуров и нахождение центроидов. Путём анализа полученных параметров объектов за промежуток времени можно сделать вывод о произошедших событиях. Например, анализируя контуры объектов возможно детектировать пересечение запрещённых зон, отслеживая центроиды и контуры можно судить о характере взаимодействия объектов.

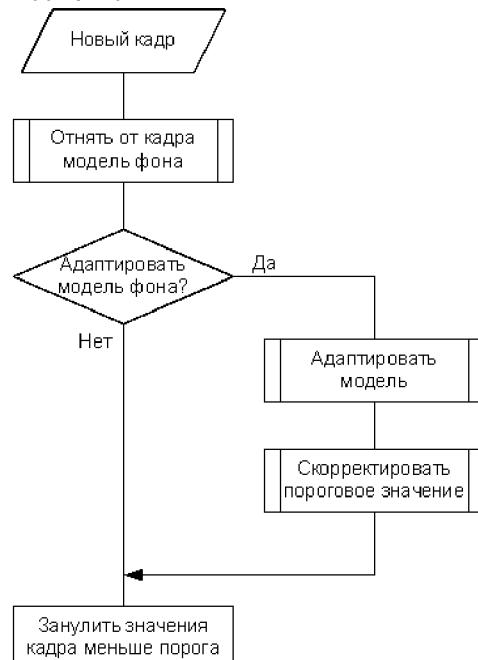


Рис. 2 – Алгоритм вычитания фона

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен алгоритм удаления фона, являющийся основным системе мониторинга, влияющий на качество работы системы в целом. Элемент системы мониторинга может быть внедрён для контроля перемещений в выделенных зонах, мониторинга соблюдения норм техники безопасности и охраны труда.

1. EPS32 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>. – Дата доступа: 21.10.2025.
2. FreeRTOS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.freertos.org/>. – Дата доступа: 21.10.2025.
3. Vacavant, A. A Benchmark Dataset for Outdoor Foreground/Background Extraction / A. Vacavant, T. Chateau, A. Wilhelm, L. Lequière // Asian Conference on Computer Vision. – 2012. – P. 291–300.
4. Sobral, A. A comprehensive review of background subtraction algorithms evaluated with synthetic and real videos / A. Sobral, A. Vacavant // Computer Vision and Image Understanding. – 2014. – Vol. 122. – P. 4–21.