

Уральский  
федеральный  
университет  
имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина  
Уральский  
энергетический  
институт

УДК 519.6

## ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ В ЗАДАЧАХ РЕАЛИЗАЦИИ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

### APPLYING THE ALGORITHM COMPUTATIONAL MATHEMATICS IN THE TASK OF IMPLEMENTING MACHINE VISION

**Анцупов Григорий Николаевич**, бакалавр каф. «Прикладная математика», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: [ancupov1991@mail.ru](mailto:ancupov1991@mail.ru)

**Евсегнеев Олег Анатольевич**, кан. тех. наук, доцент кафедры вычислительной техники Физико-технологического института, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: [oleg.evsegneev@gmail.com](mailto:oleg.evsegneev@gmail.com)

**Сесекин Александр Николаевич**, д-р. физ.-мат. наук, зав.каф. «Прикладная математика», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: [sesekin@list.ru](mailto:sesekin@list.ru)

**Grigoriy N. Antsupov**, bachelor student, Department «Applied mathematics», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: [ancupov1991@mail.ru](mailto:ancupov1991@mail.ru)

**Oleg A. Evsegneev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Computer Engineering Physics and Technology Institute Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: [oleg.evsegneev@gmail.com](mailto:oleg.evsegneev@gmail.com)

**Alexandr N. Sesekin**, Doctor Sc., Prof., Department «Applied mathematics», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: [sesekin@list.ru](mailto:sesekin@list.ru)

**Аннотация:** В данной работе рассматриваются вопросы, связанные с применением математических методов в инженерных задачах. Поставлена задача реализации системы технического зрения на плате семейства stm32. Модуль выполнен для задач робототехники, где управление роботом непосредственно зависит от полученных видеоданных в режиме реального времени.

**Abstract:** This paper discusses issues related to the application of mathematical methods in engineering problems. The task of implementing machine vision systems on board stm32 family. Module is adapted for robotics applications where control of the robot is directly dependent on the received video data in real time.

**Ключевые слова:** Система технического зрения; обработка видеоданных; распознавание образов;

**Key words:** Machine vision system; processing video data; pattern recognition;

#### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальны вопросы, связанные с системой ориентации в пространстве самолетов-беспилотников. В информационно-измерительной и управляющей системе самолета при автономном управлении анализ данных и формирование управляющих команд выполняется на основании так называемого «Машинного зрения».

Цель данной работы заключается в реализации аппаратно-программных средств систем технического зрения (СТЗ) и дальнейшего их применения как отдельных встраиваемых модулей в другие проекты робототехники.

Основная задача СТЗ – успешное определение координат места посадки. Также требованием к поставленной задаче является вычислительная возможность микроконтроллера и параметры камеры, получающей видеоданные местности.

#### СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

В качестве аппаратной части возьмем отладочную плату STM32F3 и камеру OV7670\_FIFO. Работа СТЗ основана на распознавании образов в получаемом с видеокamеры изображении в режиме реального времени. Система дает команду дрону следовать к месту посадки и выполнять приземление. Искомая цель в видеокадре определяется на основании цвета и формы. В

качестве учебно-тренировочной программы будем искать форму схожую с трапецией. В таком случае гарантируется неизменность контура объекта на полученном изображении.

Алгоритм управления состоит из трех частей:

1. Считывание кадра из буфера камеры
2. Обработка кадров алгоритмами распознавания образов. (Является самой затратной с точки зрения вычислений).
3. Формирование команд ведущих к посадке самолета-беспилотника. [4]

#### СЧИТЫВАНИЕ КАДРОВ ИЗ БУФЕРА КАМЕРЫ

Формирование видеопотока состоит из двух этапов.

- 1) Скапливание кадров в строенном буфере камеры.

Камера OV7670\_FIFO состоит из матрицы и процессора, которые передает изображение. Захватываемое изображение можно пропустить через предобработку, которая задается через интерфейс управления SCCB (Serial Camera Control Bus), также по интерфейсу можно задавать параметры передаваемой картинке. Шина полностью совместима с интерфейсом I2C. Модуль поддерживает форматы RGB, YUV, YCbCr.

- 2) Считывание кадров микроконтроллером из буфера.

Частота считывания на обоих этапах является важным моментом. Запись в буфер начинается после подачи команды на запись в камеру. После формирования кадра микроконтроллер (МК) начинает считывать кадр из буфера. Очевидно, что частота получения кадра в буфер не может быть меньше частоты считывания из буфера. В данной работе была реализована частота 24 кадра в секунду при разрешении 320x240 пикселей. Это не предел, так как возможно получать кадры с частотой 30 кадров с разрешением 640x480 пикселей.

#### ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННОГО КАДРА – ПОИСК ОБЪЕКТА.

При получении кадра необходимо выполнить преобразование кадра в удобный для обработки формат и цветовую модель, выделение искомого контура и отсечение объектов с совпадающим цветом, но отличной формы. Среди полученных контуров выделяются те, что удовлетворяют условию поиска, то есть являются трапецией. Для проверки формы контуров используется соотношение:

$$S = \frac{A + B}{2} * h$$

где S- площадь трапеции в пикселях, A B –длины оснований в пикселях, h- высота.

Каждый распознанный контур проверяется на это условие. Существуют и другие способы определения контура, но вычислительной мощности МК не хватит для их выполнения. На этом же этапе функция распознавания выдает координаты центра найденного контура, которые используются для определения направления движения дрона.

Важным аспектом является выбор цветовой модели, на основе которой будет выполняться распознавание. В данной работе используется RGB цветовая схема, после проведения ряда тестов было выявлено, что RGB цветовое пространство неэффективно, так как кадр считывается в условиях постоянно изменяющейся освещенности, что не позволяет выделять диапазоны так, чтобы каждая компонента ограничивалась неразрывным интервалом.

Нелинейность этого цветового пространства не позволяет выделить определенный цвет неразрывными интервалами компонент R, G и B. При резком изменении освещенности искомым контур переставал отслеживаться камерой.

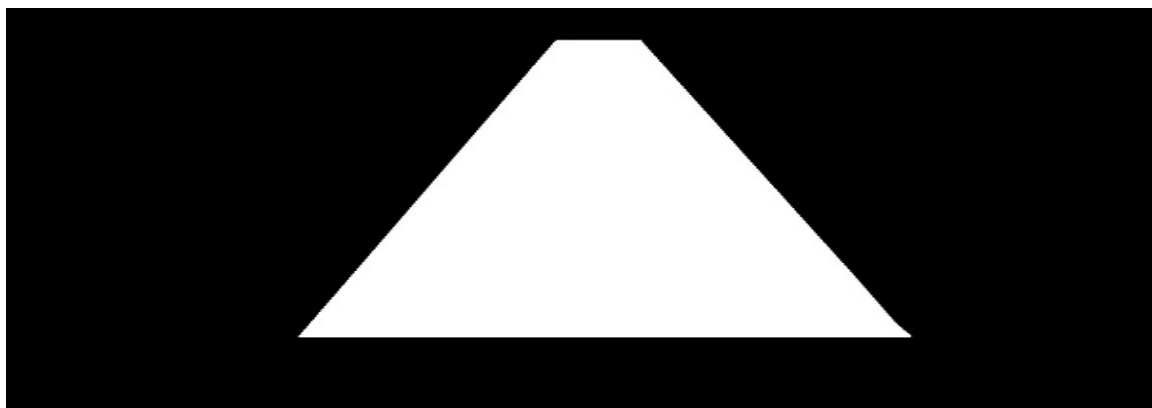


Рисунок 2 – Результаты преобразования изображения

Решение этой проблемы использование формата YCbCr, в котором светимость вычисляется как взвешенное усреднение компонент R, G, B. Вычисляется по формуле:

$$Y = k_r R + k_g G + k_b B$$

где  $k$ -это соответствующий весовой множитель. Остальные компоненты цвета вычисляются как разности между светимостью  $Y$  и компонентами R, G, B [3]

Также немаловажным преимуществом является то, что Cb и Cr можно представить с меньшим разрешением, чем  $Y$ , потому что глаз человека менее чувствителен к цвету предмета, чем к его яркости. Это позволяет сократить объем информации для представления изображения, что намного ускоряет работу распознавания.

#### АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНОВАНИЯ ОБРАЗА

Задачу распознавания условно можно разделить на 2 составляющие:

##### 1) Фильтрация входных данных

Используем оператор Кэнни. Алгоритм принимает матрицу RGB компонент и далее размывает изображение для удаления шума, для этого используется фильтр который может быть приближен к первой производной гауссианы. Далее ищем градиенты, отмечаем границы там, где градиент изображения приобретает максимальное значение. Используется 4 фильтра для обнаружения горизонтальных, вертикальных и диагональных ребер в размытом изображении.

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

$$\theta = \arctg\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$$

В алгоритме только локальные максимумы отмечаются как границы, а потенциальные границы определяются порогами. Конечная граница определяется путем подавления всех краев, несвязанных с определенными границами.

##### 2) Вычисление координат центра объекта

Применим алгоритм жука. Выберем любой пиксель граничащий с объектом и выполним обход объекта по границе. Если находимся не на границе объекта поворачиваем направо, если

попадаем на границу, то поворачиваем налево и так далее пока не обойдем весь объект. Зная координаты каждого пикселя границы можно вычислить координаты центра объекта и проверить принадлежность объекта заданным условиям по форме.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изготовлен модуль реализующий техническое зрение. Аппаратная платформа реализована на основе 32 разрядного микроконтроллера семейства STM32.

Эксперименты показали, что реализация алгоритмов на устройствах с ограниченной вычислительной мощностью возможна, а так как модуль является универсальным, его можно применить в ряде других проектов, в которых требуется реализация технического зрения. Созданная система зрения допускает разработку и применение новых алгоритмов распознавания образов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамов А.Ю. Разработка алгоритма определения расстояния по данным со стереокамер / А.Ю. Абрамов, В.Н. Скакунов, В.О. Лесных // Информационные технологии : матер. Междунар. Науч.-пркт. Конф., г. Прага, Чехия, 22-26 апр. 2013 г. В 4т. Т. 3/ МИЭМ НИУ ВШЭ [и др.] М., 2013. С. 7-9
2. Адаптация алгоритмов технического зрения для систем управления шагающими машинами / С.А. Быков, А.В. Гаврилов, В.Н. Скакунов // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»: межвуз. Сб. науч. Ст. / ВодрГТУ Волгоград, 2011. – вып. 10, №3. С. 52-56.
3. Системы машинного зрения мобильных роботов / Беликов В.А., Жога В.В., Скакунов В.Н. // Известия Волгоградского государственного технического университета / Выпуск №25 (152). Том 22 2014 г.
4. Алгоритмы ускоренной обработки изображений препятствий в системе технического зрения робота/ Нгуен Туан Зунг // Инженерный вестник Дона / Выпуск №1-2. том 34. 2015.