

УДК 004.3

Обзор микроконтроллеров и камер для создания встроенных систем компьютерного зрения

Вершинин Евгений Владимирович

vershinin@bmstu.ru

Поляков Ян Александрович

polyakovyaa@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Представлен обзор микроконтроллеров и камер, используемых для создания встраиваемых систем компьютерного зрения. Рассматриваются основные требования к таким системам, а также особенности популярных микроконтроллеров камер. На основании анализа выделены оптимальные сочетания оборудования для различных задач компьютерного зрения: от бюджетных решений для базовых функций до высокопроизводительных модулей для сложных задач. Работа содержит рекомендации по выбору компонентов для эффективного построения встраиваемых систем с учетом их производительности, стоимости и энергопотребления.

Ключевые слова: компьютерное зрение, микроконтроллеры, камеры, ESP32, STM32, Raspberry Pi Pico, Nvidia Jetson Nano, OV7670, OV2640, Arducam, Raspberry Pi Camera Module

Современные технологии компьютерного зрения (CV) все больше внедряются в портативные устройства и системы с ограниченными ресурсами. Компактные микроконтроллеры и камеры, интегрированные в единое устройство, обеспечивают мощные функции анализа изображений, распознавания объектов, и автоматизированного принятия решений в реальном времени. Эти встраиваемые системы используются в автоматизации производственных процессов, управлении роботами, автономных транспортных средствах, безопасности и умном доме. Рассмотрим, какие микроконтроллеры и камеры используются для реализации таких решений.

Цель работы — анализ микроконтроллеров и камер, подходящих для создания встраиваемых систем компьютерного зрения, с учетом их технических характеристик, производительности, совместимости и области применения. На основании этого анализа можно определить наиболее оптимальные решения для создания эффективных, энергоэкономичных и функциональных систем компьютерного зрения в условиях ограниченных ресурсов.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- выявить основные требования к оборудованию для встраиваемых систем компьютерного зрения;
- провести анализ существующих микроконтроллеров, используемых в системах компьютерного зрения;
- выделить доступные модели камер;
- определить оптимальные сочетания микроконтроллеров и камер.

Чтобы создать систему компьютерного зрения на базе микроконтроллера, нужно учитывать ряд параметров:

- производительность микроконтроллера: чем выше производительность, тем больше данных можно обрабатывать в реальном времени;
- поддержка нейросетевых моделей: некоторые микроконтроллеры поддерживают библиотеки машинного обучения и нейросетевые фреймворки;
- энергоэффективность: для портативных устройств важно обеспечить оптимальный баланс между производительностью и энергопотреблением;
- поддержка интерфейсов камер: микроконтроллер должен иметь возможность подключения различных типов камер;
- наличие памяти: обработка изображений требует значительного объема оперативной и флеш-памяти.

Данные параметры помогут подобрать микроконтроллер, который будет выполнять необходимые функционал [1].

Рассмотрим несколько популярных микроконтроллеров, предназначенных для создания компактных систем компьютерного зрения.

ESP32 — один из самых популярных микроконтроллеров благодаря низкой стоимости и наличию встроенных Wi-Fi и Bluetooth [2].

Характеристики:

- процессор: двухъядерный до 240 МГц;
- память: 520 КБ SRAM, до 4 МБ флеш;
- поддержка камер: интерфейс для подключения внешних камер через интерфейс DVP;
- библиотеки: ESP32-CAM поддерживает библиотеку ESP-WHO для компьютерного зрения;
- применение: мониторинг, обнаружение лиц и объектов, IoT-камеры.

STM32 от STMicroelectronics — это семейство микроконтроллеров на базе архитектуры ARM Cortex, которое предлагает широкий диапазон моделей с различной производительностью и энергоэффективностью [3].

Характеристики:

- процессор: от Cortex-M0 до Cortex-M7;
- память: от 32 КБ до 1 МБ флеш;
- поддержка камер: интерфейс DCMI, который позволяет подключать камеры;
- библиотеки: поддержка OpenMV IDE для работы с компьютерным зрением;
- применение: системы безопасности, промышленные роботы, умный дом.

Raspberry Pi Pico оснащен микроконтроллером RP2040, может быть основой для простых задач компьютерного зрения с использованием дополнительных модулей [4].

Характеристики:

- процессор: двухъядерный ARM Cortex-M0+ с тактовой частотой 133 МГц;
- память: 264 КБ SRAM, без встроенной флеш-памяти (нужен внешний накопитель);

- поддержка камер: с внешними камерами через GPIO;
- библиотеки: возможность подключения к внешним устройствам, поддерживающим CV, как OpenMV;
- применение: простые системы безопасности, DIY проекты, обработка базовых изображений.

Nvidia Jetson Nano — это полноценный модуль для выполнения задач компьютерного зрения и глубокого обучения. Он сочетает в себе графический процессор и процессор ARM.

Характеристики:

- процессор: ARM Cortex-A57, 4 ядра;
- графический процессор: 128 ядер NVIDIA Maxwell;
- память: 4 ГБ LPDDR4;
- поддержка камер: CSI камеры и USB камеры;
- библиотеки: поддержка фреймворков PyTorch, TensorFlow и OpenCV;
- применение: сложные задачи компьютерного зрения, роботы, дроны, автопилотируемые машины.

При выборе камеры для встроенных систем компьютерного зрения также нужно учитывать ряд факторов: разрешение, поддержка интерфейсов, частота кадров и чувствительность к свету.

OV7670 — это недорогая VGA-камера с разрешением 640x480, часто используемая в проектах с микроконтроллерами. Ее основными преимуществами являются:

- компактность и простота подключения;
- поддержка интерфейса DVP;
- применяется в простых задачах CV, как обнаружение объектов и распознавание форм;
- особенности: низкое разрешение, подходит для базовых проектов.

OV2640 — популярная камера с разрешением до 2 МП. Подходит для использования с ESP32-CAM:

- поддерживает интерфейсы DVP, SPI;
- применяется в системах видеонаблюдения, распознавания лиц, IoT устройства;
- особенности: хорошее соотношение цены и качества.

Arducam предлагает широкий спектр камер для встраиваемых систем и поддерживает различные интерфейсы, такие как USB, SPI, и CSI:

- разрешение: от VGA до 16 МП;
- интерфейсы: поддержка CSI, USB, SPI, совместимость с Raspberry Pi, Nvidia Jetson и Arduino;
- применяется в сложных задачах CV, мониторинг, научные исследования;
- особенности: высокая универсальность и широкий ассортимент камер для различных задач.

Raspberry Pi предлагает несколько моделей камер, оптимизированных для работы с Raspberry Pi и Jetson Nano. Модули доступны в версиях с разрешением от 8 до 12 МП:

- поддерживает интерфейс CSI;
- применяется в системах мониторинга, IoT, распознавании объектов;
- особенности: высокая совместимость и хорошее качество изображения.

При создании встраиваемых систем компьютерного зрения важно подобрать оборудование так, чтобы оно максимально соответствовало поставленным задачам по производительности, энергопотреблению и стоимости.

ESP32-CAM — это компактный и доступный модуль, сочетающий в себе микроконтроллер ESP32 и камеру OV2640. Он уже имеет встроенную поддержку Wi-Fi и может выполнять базовые задачи компьютерного зрения, такие как распознавание лиц, обнаружение объектов и видеопередача по сети.

Микроконтроллеры STM32, такие как STM32F4 или STM32F7, в сочетании с камерой OV7670 представляют собой решение с минимальными затратами для базовых задач компьютерного зрения. Камера OV7670 имеет невысокое разрешение (640x480), но достаточное для детектирования простых объектов и распознавания форм.

Raspberry Pi Pico, хотя и не оснащен встроенными средствами для работы с камерами, может использоваться с Arducam Mini 2MP, которая подключается через интерфейс SPI. Это бюджетное решение для простых задач CV и DIY-проектов, где требуется базовое распознавание объектов и простая обработка изображений.

Комбинация Nvidia Jetson Nano и камеры Raspberry Pi Camera Module (например, V2 с разрешением 8 МП) подходит для создания высокопроизводительных систем компьютерного зрения, которые могут обрабатывать сложные задачи, включая классификацию объектов и использование нейросетей для детального анализа.

Для задач, где требуется большее разрешение изображения, чем может обеспечить OV7670, можно использовать STM32 с одной из более продвинутых моделей камер Arducam. Камеры Arducam предлагают разрешения от 2 до 16 МП и поддерживают различные интерфейсы, включая USB и CSI, что позволяет подобрать оптимальную конфигурацию.

ESP32-CAM подходит для бюджетных приложений с базовыми возможностями CV, тогда как Jetson Nano с камерой Raspberry Pi предлагает высокую производительность для сложных задач машинного обучения. Для задач среднего уровня можно использовать комбинации STM32 и Arducam, а для экспериментов и небольших проектов подойдут решения на базе Raspberry Pi Pico.

Литература

- [1] Евстраткин К.С., Султанова А.Р., Ерпелев А.В. OpenCV. Варианты использования компьютерного зрения. *Цифровые технологии: наука, образование, инновации. III Международ. науч. форум профессорско-преподавательского состава и молодых ученых: сб. матер.* Москва, РГСУ, 2021, с. 28–31.
- [2] Бобылкин И.С., Куземкин А.А., Иванов А.В., Ямпольский Д.А., Туркеев А.Д. Система идентификации личности человека на базе модуля ESP32-CAM. *Радиолокация, навигация,*

связь. XXIX Междунар. науч.-техн. конф., посв. 70-летию кафедры радиофизики ВГУ: сб. тр. Воронеж, ВГУ, 2023, т. 1, с. 337–343.

- [3] Конченков В.И., Скакунов В.Н. *Семейство микроконтроллеров STM32. Программирование и применение*. Волгоград, ВГУ, 2015, 78 с.
- [4] Брыжинский К.А., Никулин В.В. Исследование возможностей микрокомпьютера Raspberry Pi. XLV *Огаревские чтения: материалы конф.* Саранск, МГУ им. Н.П. Огарева, 2017, ч. 1, с. 644–648.

Review of microcontrollers and cameras for creating embedded computer vision systems

Vershinin E.V.

vershinin@bmstu.ru

Polyakov Y.A.

polyakovyaa@student.bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article presents an overview of microcontrollers and cameras used to create embedded computer vision systems. The main requirements for such systems, as well as the features of popular camera microcontrollers, are considered. Based on the analysis, optimal combinations of equipment for various computer vision tasks are identified: from budget solutions for basic functions to high-performance modules for complex tasks. The work contains recommendations on the selection of components for the efficient construction of embedded systems, taking into account their performance, cost and power consumption.

Keywords: computer vision, microcontrollers, cameras, ESP32, STM32, Raspberry Pi Pi-co, Nvidia Jetson Nano, OV7670, OV2640, Arducam, Raspberry Pi Camera Module