

Компания Espressif.

Обзор продукции

Сергей Стукало, к. т. н.
ssn@gamma.spb.ru

Чипы, модули и программное обеспечение Espressif разрабатываются большой международной командой квалифицированных разработчиков.

В январе 2018 года компания Espressif Systems (Шанхай, Китай) — ведущий производитель в области разработки и изготовления высокопроизводительных маломощных Wi-Fi и Wi-Fi/Bluetooth-решений — произвела и продала 100-миллионный чип IoT, подтвердив свое лидерство на рынке IoT. Чипированные и модульные решения компании отмечены многочисленными наградами крупных промышленных форумов и потребительских ассоциаций.

Выпуск в 2014 году SoC (System-on-a-Chip) чипа ESP8266 был признан поворотным моментом для мирового рынка IoT. Эффект ESP8266 был повторен выходом текущего флагманского SoC-чипа ESP32 в 2016 году, ставшего самым интегрированным Wi-Fi- и двухрежимным Bluetooth-чипом в индустрии IoT.

Сегодня решения Espressif используются во многих популярных высокотехнологичных продуктах, от планшетов, телевизионных приставок, управляющих устройств до интеллектуальных приборов освещения и климат-контроля HVAC. Чипы Espressif — основа высокозащищенных профессиональных решений, таких как камеры наблюдения, механизмы контроля доступа, телеметрические системы, сенсорные сети и роботы.

Espressif совершила революцию в IoT, предоставив открытый доступ к своим кодам. Продолжением этого подхода стали платформы разработки программного обеспечения IoT — ESP-IDF и ESP-ADF, позволяющие создавать в их средах многочисленные клиентские проекты и платформы.

Двухъядерные модули Wi-Fi с Dual-mode Bluetooth

Внешний вид, описание и характеристики модулей представлены в таблице 1.

Особенности

Модули содержат два независимых ядра CPU с регулируемой тактовой частотой 80–240 МГц.

До +19,5 дБм на выходе антенны обеспечивает устойчивость радиоканала даже в неблагоприятных условиях приема. Имеется классический Bluetooth для устаревших подключений, поддерживающий профили L2CAP, SDP, GAP, SMP, AVDTP, AVCTP, A2DP (SNK) и AVRCP (CT). Также реализована поддержка профилей низкой мощности Bluetooth (BLE), включая профили L2CAP, GAP, GATT, SMP и GATT, такие как BluFi, SPP-like и т. д. Bluetooth Low Energy (BLE) подключается к смартфонам, передавая низкоэнергетические сигналы-маяки для легкого обнаружения.

Ток в режиме сна составляет менее 5 мкА, что делает эти модули максимально пригодными для использования в устройствах с батарейным питанием (компактные носимые устройства и закладки).

Интегрированная флэш-память 4 Мбайт.

Периферийные устройства включают емкостные сенсорные датчики, датчик Холла, маломощные усилители сигнала, интерфейс SD-карты, Ethernet, высокоскоростной SPI, UART, PS и I²C.

Полностью сертифицированные модификации, в том числе со встроенными антеннами и специализированными программными стеками.

Флагман линейки — модуль ESP32-WROOM-32 на плате 25,2×18 мм. Содержит чипсет ESP32 SoC, флэш-память, прецизионные дискретные компоненты и антенну на PCB, обеспечивающие выдающиеся радиочастотные характеристики в приложениях с ограниченным объемом. Схемное решение модуля и оптимизированная компоновка его четырехслойной печатной платы доступны для скачивания на сайте производителя и могут использоваться в качестве исходной справочной информации для разработки собственных аппаратных решений на основе ESP32.

Модуль ESP32-WROVER с 4,5 Мбайт ОЗУ и двухъядерным процессором 240 МГц нацелен на высокие требования к производительности. Можно создавать интернет-камеры, интеллектуальные дисплеи, системы голосового управления или интернет-радиоприемники с помощью этого высокоинтегрированного сверхмощного модуля, подключая к нему ЖК-дисплеи, камеры, микрофоны и кодеки.

Рабочий температурный диапазон перечисленных ниже модулей: –40...+85 °С.

Таблица 1. Двухъядерные модули Wi-Fi с Dual-mode Bluetooth










Модуль	Описание	Чип	Размеры, мм	Pins	Flash, Мбайт	PSRAM, Мбайт	Антенна	Отладочное средство
 ESP32-WROOM-32	ESP-WROOM-32 содержит ESP32 SoC, флэш-память, высокоточные дискретные компоненты и PCB-антенну, которая обеспечивает отличные радиочастотные характеристики в приложениях с ограниченным объемом	ESP32-D0WDQ6	18×25,5×3,1	38	4	N/A	Антенна PCB, 2 дБи	ESP32-DevKitC
 ESP32-WROOM-32D	ESP-WROOM-32D базируется на ESP32-D0WD и предназначен для широкого спектра приложений, от маломощных сенсорных сетей до самых сложных задач, таких как голосовое кодирование, потоковое воспроизведение музыки и декодирование MP3	ESP32-D0WD	18×25,5×3,1	38	4	N/A	Антенна PCB, 2 дБи	ESP32-DevKitC
 ESP32-WROOM-32U	ESP32-WROOM-32U базируется на ESP32-D0WD. Оснащен разъемом U.FL	ESP32-D0WD	18×19,2×3,2	38	4	N/A	Антенна IPEX	ESP32-DevKitC
 ESP32-WROVER	ESP32-WROVER имеет SPI-память 4 Мбайт и PSRAM 8 Мбайт, ориентирован на широкий спектр приложений. Предустановленная прошивка отсутствует	ESP32-D0WDQ6	18×31,4×3,3	38	4	8	Антенна PCB, 2 дБи	ESP-WROVER-KIT, ESP32-LyraT, ESP32-LyraTD-MSC
 ESP32-WROVER-I	ESP32-WROVER-I оснащен разъемом U.FL. Модуль имеет SPI-память 4 Мбайт и PSRAM 8 Мбайт, ориентирован на широкий спектр приложений. Предустановленная прошивка отсутствует	ESP32-D0WDQ6	18×31,4×3,3	38	4	8	Антенна IPEX	N/A
 ESP32-WROVER-B	ESP32-WROVER-B имеет SPI-память 4 Мбайт и PSRAM 8 Мбайт, ориентирован на широкий спектр приложений, начиная от маломощных сенсорных сетей и заканчивая такими сложными задачами, как голосовое управление и кодирование, потоковое воспроизведение музыки и декодирование MP3. Предустановленная прошивка отсутствует	ESP32-D0WD	18×31,4×3,3	38	4	8	Антенна PCB, 2 дБи	ESP32-DevKitC, ESP-WROVER-KIT-VB, ESP32-Azure IoT Kit
 ESP32-WROVER-IB	ESP32-WROVER-IB снабжен разъемом U.FL. Модуль имеет SPI-память 4 Мбайт и PSRAM 8 Мбайт, ориентирован на широкий спектр приложений, от маломощных сенсорных сетей до самых сложных задач, таких как голосовое управление и кодирование, потоковое воспроизведение музыки и декодирование MP3. Предустановленная прошивка отсутствует	ESP32-D0WD	18×31,4×3,3	38	4	8	Антенна IPEX	ESP32-DevKitC, ESP-WROVER-KIT-VIB
 ESP32-PICO-D4	ESP32-PICO-D4 — это модуль System-in-Package (SiP), который интегрирует все периферийные компоненты, включая кварцевый генератор, память Flash, фильтрующие конденсаторы и RF-часть в едином пакете. Объем встроенной флэш-памяти SPI - 4 Мбайт. Память PSRAM и встроенная антенна у модуля отсутствуют	ESP32	7×7×0,94	48	4	N/A	N/A	ESP32-PICO-KIT

Таблица 2. Одноядерный модуль с Wi-Fi и Dual-mode Bluetooth

Модуль	Описание	Чип	Размеры, мм	Pins	Flash, Мбайт	PSRAM, Мбайт	Антенна	Отладочное средство
 ESP32-SOLO-1	ESP32-SOLO-1 содержит ESP32 SoC, флэш-память, высокоточные дискретные компоненты и PCB-антенну, которая обеспечивает отличные радиочастотные характеристики в приложениях с ограниченным объемом	ESP32-S0WD	18×25,5×3,1	38	4	N/A	Антенна PCB, 2 дБи	ESP32-DevKitC

Одноядерный модуль с Wi-Fi и Dual-mode Bluetooth

Внешний вид, описание и характеристики модуля представлены в таблице 2.

Особенности

Летом 2018 года начал серийный выпуск первого в этой линейке модуля ESP32-SOLO-1 (встроенный чипсет ESP32-S0WD на базе высокопроизводительного одноядерного процессора с тактовой частотой 40 МГц (чип поддерживает ее кратное увеличение до 160 МГц)). ESP32-SOLO-1 — мощный, универсальный Wi-Fi + Bluetooth v4.2 BR/EDR & BLE-модуль, предназначенный для широкого спектра приложений. Модуль имеет стандартный набор интерфейсов — GPIO, SD, SPI, I²C, UART, ADC/DAC, LED PWM, Motor PWM.

До +19,5 дБм на выходе антенны обеспечивает хорошие показатели устойчивости радиоканала.

Классический Bluetooth для устаревших подключений, также поддерживающий L2CAP, SDP, GAP, SMP, AVDTP, AVCTP, A2DP (SNK) и AVRCP (CT). Поддержка профилей низкой мощности Bluetooth Low Energy (BLE), включая профили L2CAP, GAP, GATT, SMP и GATT, а также BluFi, SPP-like и т. д. BLE подключается к смартфонам, передавая низкоэнергетические маяки для легкого обнаружения.

Потребляемый ток в режиме сна составляет менее 5 мкА, что делает этот модуль пригодным для применения в приложениях с батарейным питанием (автономные датчики и закладки) и в компактных носимых

устройствах. Модуль предназначен для широкого спектра приложений, начиная от маломощных сенсорных сетей и заканчивая самыми сложными задачами, такими как голосовое управление и кодирование, потоковое воспроизведение музыки и декодирование MP3.

Периферийные устройства и интерфейсы включают емкостные сенсорные датчики, датчик Холла, малошумящие усилители сигнала, интерфейс SD-карты, Ethernet, высокоскоростной SPI, UART, I²S и I²C.

Интеграция Bluetooth, Bluetooth LE и Wi-Fi гарантирует универсальность устройства и возможность его использования в самом широком спектре приложений: от простых клиентских решений до прямого подключения к Интернету через Wi-Fi. При использовании Bluetooth возможно удобное подключение пользователя к телефону или передача низкоэнергетических радиомаяков для обнаружения модуля и его последующей активации. Реальная чувствительность приемника от -98 дБм (при DSSS, 1 Мбит/с).

Операционная система ESP32-freeRTOS с LwIP; TLS 1.2 со встроенным аппаратным ускорением. Также поддерживаются протоколы безопасности (шифрация) в эфире (OTA), благодаря этим технологиям разработчики могут обновлять свои продукты удаленно (даже после их выпуска) с минимальными затратами и усилиями.

Пины SCK/CLK, SDO/SD0, SDI/SD1, SHD/SD2, SWP/SD3 и SCS/CMD, а именно GPIO6–GPIO11, подключены к SPI-flash-памяти, встроенной

в ESP32-SOLO-1, и не рекомендуются к использованию для других целей.

Рабочий температурный диапазон: -40...+85 °C.

Рабочее напряжение: 3,3 В (2,7–3,6 В) при токе до 500 мА.

Одноядерные модули с 802.11b/g/n 2,4 ГГц Wi-Fi

Внешний вид, описание и характеристики модулей представлены в таблице 3.

Особенности





Маломощные, высокоинтегрированные решения Wi-Fi на чипсете ESP8266EX, интегрирующем 32-разрядный одноядерный микроконтроллер Tensilica L106 (MCU), обеспечивающий сверхнизкое энергопотребление, 16-разрядный RSIC, поддержка тактовой частоты до 160 МГц. Дизайн с минимумом внешних компонентов (до 7).

До +19,5 дБм на выходе антенны обеспечивает хорошие условия ведения связи в сложной помеховой обстановке. Потребляемый ток в режиме сна составляет менее 20 мкА, что делает эти модули пригодными для использования в устройствах с батарейным питанием и в носимых решениях.

Периферийные устройства могут подключаться через UART, GPIO, I²C, I²S, SDIO, PWM, ADC и SPI.

Благодаря интегрированной операционной системе реального времени (RTOS) и функциональному стеку Wi-Fi около 80% вычислительной мощности контроллера чипсета ESP8266EX

Таблица 3. Одноядерные модули с 802.11b/g/n 2,4 ГГц Wi-Fi

Модуль	Описание	Чип	Размеры, мм	Pins	Flash, Мбайт	PSRAM, Мбайт	Антенна	Отладочное средство
 ESP-WROOM-02	ESP-WROOM-02 модуль на базе ESP8266EX. Имеет широкий температурный диапазон: -40...+85 °C (-40...+125 °C, доступен по индивидуальному заказу)	ESP8266EX	18×20×3	18	2	N/A	Антенна PCB, 2 дБи	ESP-Launcher
 ESP-WROOM-02D	ESP-WROOM-02D — модуль на базе ESP8266EX, имеет оптимизированную радиочастотную характеристику. Температурный диапазон: -40...+85 °C	ESP8266EX	18×20×3,2	18	2	N/A	Антенна PCB, 2 дБи	ESP8266-DevKitC
 ESP-WROOM-02U	ESP-WROOM-02U — модуль на основе ESP8266EX, с оптимизированной работой радиоканала. Для подключения антенны имеет разъем U.FL. Температурный диапазон: -40...+85 °C	ESP8266EX	18×14,3×3,2	18	2	N/A	Антенна IPEX	ESP8266-DevKitC
 ESP-WROOM-S2	ESP-WROOM-S2 может работать как slave SDIO/SPI, при этом скорость SPI составляет до 8 Мбит/с. Модуль имеет широкий температурный диапазон: -40...+125 °C. Доступен по индивидуальному заказу	ESP8266EX	16×23×3	20	2	N/A	Антенна PCB, 2 дБи	N/A

доступно для программирования и разработки пользовательских приложений.

Модули сертифицированы, в том числе в модификациях со встроенными антеннами и специализированными программными стеками.

Отладочные платы для модулей Wi-Fi+BT/BLE (диапазон 2,4 ГГц)

Внешний вид, описание и характеристики плат представлены в таблице 4.

Особенности

- Подключение к ПК: USB.
- Варианты питания: USB (по умолчанию), или 5 В/GND, или контакты 3,3 В/GND.
- SDK: исходный код ESP-IDF и примеры приложений.

Отладочные платы для модулей Wi-Fi (диапазон 2,4 ГГц)

Внешний вид, описание и характеристики плат представлены в таблице 5.

Особенности

- Подключение к ПК посредством USB.
- SDK: исходный код SDK ESP8266 и примеры приложений.

Отладочные платы для разработки и отладки аудиоприложений

Внешний вид, описание и характеристики плат представлены в таблице 6.

Таблица 4. Отладочные платы для модулей Wi-Fi+BT/BLE (диапазон 2,4 ГГц)


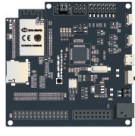

Отладочная плата	Описание	Flash/PSRAM	Интерфейсы	Управление и индикация	Поддерживаемые продукты
 ESP32-PICO-KIT	ESP32-PICO-KIT — самая маленькая отладка для разработки Espressif, вписывается в мини-макет. Полностью функциональна с минимальным количеством дискретных компонентов, в то же время представлены все выходы ESP32-PICO-D4	Flash 4 Мбайт	I/O, USB	Кнопки, светодиоды	ESP32-PICO-D4
 ESP-WROVER-KIT, ESP-WROVER-KIT-VB	ESP-WROVER-KIT — универсальная отладочная плата для разработки решений Espressif. Имея большой функционал: встроенный ЖК-дисплей, JTAG, бескорпусную камеру, светодиоды RGB и т. д., плата готова для размещения модулей ESP32-WROVER или ESP-WROOM-32. Несколько штыревых разъемов и коммутируемых переключателей обеспечивают гибкость подключения и конфигурации ESP-WROVER-KIT. Предустановленная прошивка в модуле ESP32-WROVER отсутствует	Flash 4 Мбайт + 4 Мбайт PSRAM	I/O, JTAG, USB, интерфейс VGA-камеры, светодиодный индикатор RGB, высокоскоростной интерфейс карты Micro-SD, 3,2-дюймовая панель SPI LCD	ЖК-дисплей, кнопки, светодиоды	ESP32-WROVER, ESP32-WROOM-32
 ESP32-DevKitC	ESP32-DevKitC — отладочная плата для разработки решений Espressif. Она имеет все необходимые интерфейсы для работы с различными модулями на основе ESP32, которые могут быть на ней установлены. Предустановленная прошивка в модулях ESP32-WROVER отсутствует	Flash 4 Мбайт	I/O, USB	Кнопки, светодиоды	ESP32-WROOM-32, ESP32-WROOM-32D, ESP32-WROOM-32U, ESP32-SOLO-1, ESP32-WROVER-B, ESP32-WROVER-IB

Таблица 5. Отладочные платы для модулей Wi-Fi (диапазон 2,4 ГГц)

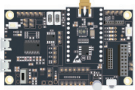

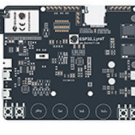

Отладочная плата	Описание	Flash/PSRAM	Интерфейсы	Управление и индикация	Поддерживаемые продукты
 ESP-Launcher	ESP-Launcher — плата разработчика с MicroUSB-разъемом, обеспечивает доступ ко всем 32 контактам чипсета ESP8266EX, предусматривает доступ к часто используемым при макетировании периферийным устройствам и возможность реализации функционала всех построенных на ESP8266EX модулей	Flash 4 Мбайт SPI + 4 Мбайт Flash HSPI	I/O, USB	Кнопки, светодиоды	ESP8266EX
 ESP8266-DevKitC	ESP8266-DevKitC — плата разработчика с MicroUSB-разъемом. Выпускается в двух модификациях: ESP8266-DevKitC-02D-F, ESP8266-DevKitC-02U-F, с различными модификациями модуля ESP-WROOM-02 на борту	Flash 4 Мбайт SPI + 4 Мбайт Flash HSPI	I/O, USB		ESP-WROOM-02D или ESP-WROOM-02U

Таблица 6. Отладочные платы для разработки и отладки аудиоприложений

Отладочная плата	Описание	Flash/PSRAM	Интерфейсы	Управление и индикация	Поддерживаемые продукты
 ESP32-LyraT	ESP32-LyraT — плата разработчика с MicroUSB-разъемом. Плата разработки ESP32-LyraT предназначена для рынка речи и голоса. Объединяет модуль ESP32-WROVER, который включает двухъядерный процессор и 4,5 Мбайт оперативной памяти. С помощью этой платы для реализации высокоинтегрированного аудиорешения требуется лишь несколько периферийных устройств	4 Мбайт Flash + 4 Мбайт PSRAM	Карта Micro SD, аудиовыход, USB, динамик	Кнопки, переключатели, светодиоды	ESP32-WROVER (по отдельному заказу ESP32-WROOM-32)
 ESP32-LyraTD-MSC	ESP32-LyraTD-MSC — отладочная плата для разработки аудиоприложений со встроенным решением для акустического эхоподавления (AEC), поддерживающая распознавание голоса, ближнее и дальнее голосовое пробуждение. Аудиофайлы в формате AAC, FLAC, OPUS и OGG декодируются платой и выводятся без потери качества. Плата поддерживает подключение к DuerOS от Baidu и сервису Alexa Voice Service (AVS) и к Amazon	4 Мбайт Flash + 4 Мбайт PSRAM	USB, I ² S, SPI, Earphone jack, динамик, Micro SD Card, JTAG, Programming	Переключатели, светодиоды	ESP32-WROVER

Особенности

- Подключение к ПК: USB.
- Варианты питания: USB (по умолчанию), или 5 В/GND, или контакты 3,3 В/GND.
- Платформа разработки программного обеспечения IoT — ESP-IDF и базирующаяся на ней среда для разработки аудиоприложений ESP-ADF, позволяющие создавать многочисленные клиентские проекты и платформы.

Отладочные платы для реализации приложений IoT

Внешний вид, описание и характеристики плат представлены в таблице 7.

Особенности

- Подключение к ПК: USB.
- Варианты питания: USB (по умолчанию), или 5 В/GND, или контакты 3,3 В/GND.
- Платформа разработки программного обеспечения IoT — ESP-IDF. Исходный код ESP-IOT-SOLUTION и примеры приложений.

Программатор ESP-Prog

Внешний вид, описание и характеристики платы представлены в таблице 8.

Особенности

- Подключение к ПК: USB.
- Варианты питания: USB (по умолчанию).

Чипированные решения

Внешний вид, описание и характеристики чипсетов представлены в таблице 9.

Особенности

Чипсет ESP32 — высокоинтегрированное решение для приложений Wi-Fi и Bluetooth IoT, требующее в клиентском дизайне лишь около 20 внешних компонентов. ESP32 объединяет антенный переключатель, радиочастотный по-

лосовой фильтр, усилитель мощности, МШУ приемного тракта, фильтры ПЧ и модуль управления мощностью. Различные версии ESP32 содержат один (Single Core) или два (Dual Core) маломощных 32-разрядных микропроцессора Xtensa LX6. Все решение занимает минимум площади печатной платы (PCB). Чипсет поддерживает AGC (Automatic Gain Control) — динамическую автонастройку радиотракта, в зависимости от изменений внешних условий передачи и приема радиосигнала и помеховой обстановки. Поддерживает инфраструктуру и режимы BSS Station mode/SoftAP mode/Promiscuous mode и подключение внешней памяти QSPI flash/SRAM, вплоть до 4×16 Мбайт, с аппаратным шифрованием на основе AES. Весь объем внешней памяти отображается на кодовое пространство процессора, поддерживая 8-, 16- и 32-разрядные приложения и доступ. При этом обеспечивается выполнение пользовательского кода. Также в ESP32 предусмотрена передача потокового видео от камеры. Чипсет ESP32 имеет четыре модификации, доступные в форм-факторах QFN 5×5 мм и QFN 6×6 мм. Чипы ESP32 предлагают отличное соотношение цены и качества, надежны и имеют высокую производительность при использовании в сложных приложениях IoT.

ESP32 поддерживает использование разнесенных антенн с помощью внешнего ВЧ-переключателя. При этом один из выходов GPIO управляет им, выбирая лучшую антенну для минимизации эффектов замирания в канале.

Чипсет ESP8266EX — маломощное высокоинтегрированное решение Wi-Fi, разработанное на основе 32-разрядного микропроцессора Tensilica L106 для мобильных устройств, носимой электроники и для приложений IoT, обеспечивающее низкое энергопотребление за счет применения нескольких патентованных технологий. Энергосберегающая архитектура чипсета предполагает три режима работы: активный, спящий и режим глубокого сна.

Их комбинированное использование позволяет работать от батарейного питания дольше. ESP8266EX содержит 32-разрядный контроллер Tensilica L106, стандартные цифровые периферийные интерфейсы, антенные переключатели, RF-фильтр, усилитель мощности, МШУ, фильтры и модули управления питанием — все в одном компактном корпусе. Максимальная тактовая частота — 160 МГц. Необходимый минимум внешних компонентов — 7.

Благодаря включению операционной системы реального времени (RTOS) и функционального стека Wi-Fi около 80% вычислительной мощности доступно для программирования и работы пользовательских приложений. Имеется проработанное SDK для быстрой разработки пользовательского ПО (примеры реализации). Для его размещения необходима внешняя SPI flash-память (поддерживается до 16 Мбайт).

Предлагается три режима работы: активный режим, спящий режим и режим глубокого сна.

Чипсет ESP8285 имеет встроенную поддержку 8-мегапиксельной камеры. Встроенный 32-битный микроконтроллер Tensilica L106. Разработан для приложений домашней автоматизации, интеллектуальных систем управления освещением, промышленного сетевого контроля, контроля детей и животных, IP-камер, создания сенсорных сетей и устройств носимой электроники, систем Wi-Fi-локации, локальных Wi-Fi систем, активных радиометок. Поддерживается SDK.

Чипсет ESP8089 создавался как полный и автономный 2,4-ГГц сетевой Wi-Fi-процессор для сетей Wi-Fi 802.11 b/g/n для использования в планшетах и телеприставках. Процессорное ядро Xtensa LX106, аналог ESP8266, но более старая 40-нм технология с другой прошивкой внутренней памяти. Выступая в качестве беспроводного адаптера, ESP8089 может работать

Таблица 7. Отладочные платы для реализации приложений IoT




Отладочная плата	Описание	Flash/PSRAM	Интерфейсы	Управление и индикация	Поддерживаемые продукты
 ESP32-Sense Kit	Комплект разработчика сенсорных решений ESP32-Sense Kit используется для разработки и тестирования беспроводных сенсорных решений на базе ESP32. Комплект состоит из материнской и нескольких дочерних плат. Материнская плата содержит дисплейный блок, главный блок управления и блок отладки. В дочерних имеются сенсорные контакты в разных сочетаниях и формах (линейный слайдер, слайдер кольцевой, матричные пружинные кнопки)	Flash 4 Мбайт SPI	I/O, USB, ESP-Prog	Сенсорные датчики, светодиоды, RGB-выход, поддержка 7-сегментных индикаторов	ESP32-WROOM-32, ESP32-WROOM-32D, ESP-Prog
 ESP32-MeshKit-Sense	ESP32-MeshKit-Sense — плата разработчика IoT-решений на базе ESP32. Оснащена следующими периферийными устройствами: датчики температуры и влажности, датчик освещения и т. д. Плата может быть сопряжена с дисплеями. Используется для исследования вопросов текущего потребления модулей на базе ESP32 в нормальном рабочем состоянии или в спящем режиме при подключении к различным периферийным устройствам (датчикам и сенсорам)	Flash 4 Мбайт SPI	I/O, USB, LCD, ESP-Prog	Светодиоды, кнопки	ESP32-WROOM-32, ESP32-WROOM-32D, ESP-Prog, ESP32-MeshKit-Light

Таблица 8. Программатор ESP-Prog

Отладочная плата	Описание	Интерфейсы	Управление и индикация	Поддерживаемые продукты
 ESP-Prog	Программатор ESP-Prog — один из инструментов разработки и отладки Espressif, включающий функционал автоматической загрузки прошивки, последовательный порт и онлайн-отладку JTAG. Функции автоматической загрузки прошивки и последовательной связи с ESP-Prog поддерживают платформы ESP8266 и ESP32, а онлайн-отладка JTAG поддерживается только платформой ESP32. В качестве чипа контроллера USB Bridge в ESP-Prog используется FT232RL	I/O, USB, соединительные разъемы наиболее популярных стандартов	Сенсорные датчики, светодиоды, RGB-выход, поддержка 7-сегментных индикаторов	ESP32-WROOM-32, ESP32-WROOM-32D

с любыми системами на базе микроконтроллеров, обеспечивая беспроводную связь через интерфейс SP/SDIO. Идеален для эксплуатации в сотовых телефонах, в медиаплеерах (PMP) MP3 или MP4, в цифровых видеокамерах, мобильных игровых устройствах и пультах-таблетках.









Чипсет ESP8689 — решение, предназначенное для приложений Wi-Fi и Bluetooth. Для интеграции в различные устройства требует не более 16 компонентов обвязки. 32-битное ядро микропроцессора Xtensa LX6 разработано по 40-нм технологии. Чипсет нацелен на достижение наилучшей производительности и мощности, универсальности и надежности в широком диапазоне применений и различных профилей потребляемой мощности, прежде всего в мобильных приложениях.

Espressif — это динамично развивающаяся инновационная компания, коллектив высококвалифицированных профессионалов, сумевших в рекордные сроки разработать впечатляющую линейку высококачественных и высокотехнологичных продуктов для индустрии IoT, привлечь к их дальнейшей разработке и совершенствованию специалистов и энтузиастов по всему миру, достичь рекордных объемов производства и внедрения. Это десятки тысяч предприятий, использующих решения компании в своих разработках, и десятки миллионов пользователей, даже не подозревающих, что в их домашней и офисной технике, в медицине, на транспорте и на производстве, на торговых и развлекательных площадках — повсюду их окружают решения Espressif, делая нашу жизнь проще, интереснее, эффективнее и безопаснее. ■

Литература

1. Банк документации. www.esp-adf.readthedocs.io/.
2. Банк документации. www.github.com/espressif/esp-adf/.
3. ESP8266EX Datasheet.
4. ESP8266EX Hardware Reference.
5. ESP32 Datasheet.
6. ESP32 Hardware Reference.
7. ESP32-WROVER Datasheet
8. Стукало С. Отладочная плата ESP32-LyraT для модулей ESP32-WROVER компании Espressif. Голосовые интеллектуальные приложения // Беспроводные технологии. 2018. № 2.
9. ESP32-PICO-D4 Datasheet.
10. Примеры приложений API-функций ESP-ADF.
11. JTAG Debugging.
12. Форум esp32.com — место, где ведется обсуждение и находятся ресурсы сообщества ESP32.

Таблица 9. Чипированные решения

Чипсет	Описание	Flash/PSRAM	Интерфейсы	Питание, В	Габаритные размеры, мм
 ESP32-D0WQ6	Wi-Fi b/g/n + BT/BLE Dual Mode (Bluetooth v4.2 BR/EDR и BLE). Dual Core. Форм-фактор QFN. До 600 DMIPS. Диапазон рабочих температур: -40...+125 °C*	448 кбайт ROM, 520 кбайт SRAM, 16 кбайт SRAM в RTC, нет Embedded Flash	SPI, I ² C, I ² S, SDIO, UART, CAN, ETH, IR, PWM, датчик температуры, сенсорный датчик, DAC, ADC	2,3–3,6**	6×6
 ESP32-D0WD	Wi-Fi b/g/n + BT/BLE Dual Mode (Bluetooth v4.2 BR/EDR и BLE). Dual Core. Форм-фактор QFN. До 600 DMIPS. Диапазон рабочих температур: -40...+125 °C*	448 кбайт ROM, 520 кбайт SRAM, 16 кбайт SRAM в RTC, нет Embedded Flash	SPI, I ² C, I ² S, SDIO, UART, CAN, ETH, IR, PWM, датчик температуры, сенсорный датчик, DAC, ADC	2,3–3,6**	5×5
 ESP32-D2WD	Wi-Fi b/g/n + BT/BLE Dual Mode (Bluetooth v4.2 BR/EDR и BLE). Dual Core. Форм-фактор QFN. До 400 DMIPS. Диапазон рабочих температур: -40...+105 °C (сужен из-за встроенной памяти)*	448 кбайт ROM, 520 кбайт SRAM, 16 кбайт SRAM в RTC, QSPI flash/SRAM 16 Мбайт	SPI, I ² C, I ² S, SDIO, UART, CAN, ETH, IR, PWM, датчик температуры, сенсорный датчик, DAC, ADC	2,3–3,6**	5×5
 ESP32-S0WD	Wi-Fi b/g/n + BT/BLE Dual Mode (Bluetooth v4.2 BR/EDR и BLE). Single Core. Форм-фактор QFN. До 200 DMIPS. Диапазон рабочих температур: -40...+125 °C*	448 кбайт ROM, 520 кбайт SRAM, 16 кбайт SRAM в RTC, нет Embedded Flash	SPI, I ² C, I ² S, SDIO, UART, CAN, ETH, IR, PWM, датчик температуры, сенсорный датчик, DAC, ADC	2,3–3,6**	5×5
 ESP8266EX	Wi-Fi b/g/n. Single Core. Форм-фактор QFN32-pin. Потребляемый ток < 20 мкА в спящем режиме и менее 1,0 мА (DTIM = 3) или 0,5 мА (DTIM = 10) при сохраняющемся подключении. Диапазон рабочих температур: -40...+125 °C	RAM < 50 кбайт, 80 кбайт DRAM, 64 кбайт ROM, 32 кбайт SRAM, нет Embedded Flash (включая 16 Мбайт external Flash)	UART, SDIO, SPI, I ² C, I ² S, IR Remote Control, GPIO, ADC, PWM, LED Light & Button	2,5–3,6**	5×5
 ESP8089	Wi-Fi b/g/n, Wi-Fi Direct (P2P), Miracast, SoftAP. Single Core. Форм-фактор QFN32-pin. Потребляемый ток < 10 мкА в спящем режиме и менее 0,86 мА (DTIM = 3) или 0,5 мА (DTIM = 10) при сохраняющемся подключении. Диапазон рабочих температур: -40...+125 °C	нет Embedded ROM, нет Embedded Flash	SDIO 2.0, SPI, UART, SDIO, GPIO	2,5–3,6**	5×5
 ESP8689	Wi-Fi b/g/n + BT/BLE Dual Mode (Bluetooth v4.2 BR/EDR и BLE), Wi-Fi Direct (P2P), P2P Discovery, P2P Group Owner mode, P2P Power Management, BSS Station mode/SoftAP. Single Core. Форм-фактор QFN32-pin. Процессорное ядро Xtensa LX6. Потребляемый ток < 0,8 мА в Light-sleep-режиме	нет Embedded Flash	3×UART/SDIO/SPI/I ² S/GPIO/PCM	2,8–3,6**	5×5
 ESP8285	Wi-Fi b/g/n, Wi-Fi Direct (P2P), Group Client (GC), BSS Station mode/SoftAP/SoftAP + Station. Single Core. Форм-фактор QFN32-pin. Процессорное ядро Tensilica L106. Потребляемый ток < 10 мкА в спящем режиме и менее 0,86 мА (DTIM = 3) или 0,5 мА (DTIM = 10) при сохраняющемся подключении. Диапазон рабочих температур: -40...+125 °C	RAM < 50 кбайт, нет Embedded ROM, нет Embedded Flash	2×UART/SDIO/SPI/I ² C/I ² S/IR Remote Control/GPIO/ADC/PWM	2,7–3,6**	5×5

Примечания.* Потребляемый ток < 5 мкА в спящем режиме (и с отключенным таймером < 0,1 мкА) и менее 1,0 мА (DTIM = 3) или 0,5 мА (DTIM = 10) при сохраняющемся подключении.
** Рекомендованное значение питающего напряжения — 3,3 В при токе нагрузки от 500 мА.