

Лекция 8. Встраиваемые устройства для IoT

Цель лекции – изучение основных понятий аппаратной и программной частей IoT устройств.

Введение

Устройства IoT генерируют данные. Данные генерируются с использованием встроенных устройств, датчиков и систем на физическом уровне. Данные требуют вычислений на шлюзе адаптации данных. Обогащенные данные передаются через Интернет для аналитики, визуализации, поиска знаний, приложений и сервисов.

Система нуждается в электронных схемах для вычислений и связи. В схемах используются датчики и исполнительные устройства, в которые встроены вычислительное оборудование и программное обеспечение. Для создания прототипов и проектирования требуются платформы встроенных устройств для генерации данных. Это также требует подключения к Интернету посредством вычислений, адаптации и создания сетей. Программное обеспечение на уровне приложений и поддержки приложений осуществляет мониторинг и управление встроенными устройствами, системами и машинами с помощью исполнительных механизмов на устройствах.

Ниже приведены некоторые ключевые термины, которые необходимо понимать при изучении принципов проектирования прототипов для создания устройств для IoT-приложений:

Встроенная система – это система, которая встраивает программное обеспечение в вычислительную платформу. Система предназначена либо для приложения (приложений), конкретной части приложения, продукта, либо для компонента большой системы.

Встроенное устройство – это устройство, которое встраивает программное обеспечение в вычислительную платформу и выполняет вычисления и обмен данными для конкретных систем.

Микроконтроллерный модуль – это однокристалльный модуль СБИС (также называемый микрокомпьютером), который может обладать ограниченными вычислительными возможностями. Микроконтроллер обладает памятью, флэш-памятью, расширенными возможностями ввода-вывода и рядом встроенных функциональных блоков.

Таймер – это устройство, которое позволяет инициировать новые действия при запуске таймера, на тактовых входах, тайм-аутах или когда количество тактовых входов равно заданному значению.

Порт относится к устройству, которое обеспечивает связь ввода-вывода (IO) между микроконтроллером и другим устройством, таким как датчик, исполнительный механизм или клавиатура, или с внешним вычислительным устройством.

USB-порт позволяет подключать аппаратное обеспечение устройства к компьютеру, загружать разработанные коды в устройство с компьютера или отправлять коды с устройства на компьютер. USB-порт также может обеспечивать питание для зарядки аккумулятора подключенной платформы, поэтому внешнее зарядное устройство не требуется.

Выводы GPIO относятся к выводам ввода-вывода общего назначения. Вывод, который может использоваться в дополнение к цифровым входам и выходам для других целей, таких как Rx и Tx, SDA и SCK, ШИМ, аналоговые входы, выходы или выходы по таймеру. Выводы Rx и Tx используются при приеме и передаче данных на основе протокола UART, SDA и SCK используются при использовании последовательных данных и тактовой связи на основе протокола I2C.

Плата представляет собой электронное оборудование – электронную печатную плату с микроконтроллером или SoC, схемами и разъемами, которые обеспечивают подключение

к другим микросхемам и компонентам схемы. Микросхемы и компоненты схемы также могут быть вставлены, соединены или закреплены на плате с помощью технологии поверхностного монтажа. Плата также может иметь аккумулятор, блок питания, регулятор напряжения или разъемы для подключения питания.

Платформа – это набор, состоящий из вычислительного и коммуникационного оборудования, программного обеспечения и операционной системы (ОС). Платформа позволяет работать с различным программным обеспечением, API, IDE и промежуточным программным обеспечением. Платформа может обеспечивать разработку кода на стадии разработки. Это также может способствовать разработке прототипов для приложения (приложений) или отдельных частей приложения. Модуль (аппаратное обеспечение) - это аппаратное обеспечение меньшего форм-фактора, которое может быть размещено на плате. В модуль может быть встроено программное обеспечение. Это может позволить использовать схему платы с меньшим форм-фактором. Примером может служить радиочастотный модуль, размещенный на электронной плате.

Экран – это вспомогательная схема с соединительными контактами, разъемами и вспомогательным программным обеспечением. Вспомогательная схема обеспечивает подключение платы или вычислительной платформы к внешним цепям. Схема соединяет элементы, которые могут быть подключены к плате или платформе. Использование вспомогательной схемы обеспечивает дополнительные функции, такие как подключение к беспроводным устройствам, таким как ZigBee, ZigBee IP и Bluetooth LE, Wi-Fi, GSM или RF-модулю, или к проводному устройству, такому как Ethernet shield. Ethernet shield обеспечивает проводное подключение платформы к контроллеру Ethernet, а через внешний стандартный сетевой разъем - подключение к проводному модему или Wi-Fi-модему для доступа в Интернет. Shield - это термин, используемый в аппаратном обеспечении Arduino для обозначения вспомогательных схем.

Интегрированная среда разработки (IDE) – это набор программных компонентов и модулей, которые обеспечивают программную среду для разработки и прототипирования.

Операционная система (ОС) – это системное программное обеспечение, которое облегчает запуск процессов, выделение памяти, системные вызовы для iOS, облегчает использование сетевых подсистем, а также управление устройствами, распределение приоритетов процессов и потоков и обеспечивает многозадачность и запуск большого количества потоков. Операционная система обеспечивает выполнение многих системных функций с использованием аппаратного обеспечения данного вычислительного устройства.

Основы встраиваемых вычислений

Встраивание означает встраивание функционального программного обеспечения в вычислительное оборудование для обеспечения функционирования системы для конкретных специализированных приложений. Устройство встраивает программное обеспечение в вычислительное и коммуникационное оборудование, и устройство выполняет функции для приложений.

Встроенное программное обеспечение состоит из инструкций, команд и данных. Вычислительное и коммуникационное устройство нуждается в программном обеспечении. Программное обеспечение выполняет загрузку и включает приложения и службы. Программное обеспечение включает в себя операционную систему. В устройство встроено программное обеспечение, которое также включает в себя API-интерфейсы устройства и промежуточное программное обеспечение, позволяющее устройству выполнять вычислительные и коммуникационные функции.

Загрузчик – это программа, которая запускается при запуске вычислительного устройства, такого как микроконтроллер. Загрузчик инициирует загрузку системного программного обеспечения (ОС) при включении питания системы и завершении самодиагностики при включении питания. Загрузчик также может облегчить

использование системного оборудования и сетевых возможностей. Загрузчик операционной системы может загружаться из внешнего источника. В качестве альтернативы, bootloader сам по себе может функционировать как системное программное обеспечение, когда коды для функций ввода-вывода и основных системных функций операционной системы получены из одного источника. Считается, что загрузка завершается при достижении нормальной рабочей среды выполнения.

Операционная система облегчает использование системного оборудования и сетевых возможностей. Когда загрузка операционной системы в оперативную память завершается, микроконтроллер запускает обычную рабочую среду выполнения. Когда устройство выполняет несколько задач или потоков, также требуется операционная система. Операционная система управляет множеством процессов и функций устройства. Процесс, задача и поток – это набор инструкций, которые выполняются под управлением операционной системы. Операционная система позволяет распределять память между различными процессами, а определение приоритетов процессов позволяет использовать сетевое оборудование и аппаратные функции устройства, а также выполнять программные компоненты и процессы. Операционная система находится во флэш-памяти устройства. Может потребоваться загрузка функций в оперативную память устройства.

Операционная система может быть с открытым исходным кодом, например Linux или ее дистрибутив. Дистрибутив Linux означает пакет или набор программных компонентов и модулей, объединенных вместе для выполнения определенных функций или для конкретного оборудования и распространяемых для более широкого использования и приложений. Например, дистрибутив Arduino Linux работает на печатных платах Arduino, а функции Linux позволяют разрабатывать прикладные программы для использования Arduino.

Операционная система реального времени (RTOS) – это операционная система, которая обеспечивает выполнение процессов на вычислительном и коммуникационном оборудовании в режиме реального времени. RTOS использует концепцию приоритизации и распределения приоритетов для обеспечения выполнения процессов в режиме реального времени.

Интегрированная среда разработки

Коды прикладного программного обеспечения совершенствуются в ходе ряда циклов запуска и тестирования. Цикл на этапе разработки состоит из редактирования-тестирования-отладки. Циклы повторяются на разных этапах разработки до тех пор, пока система не пройдет тщательное тестирование и отладку программного обеспечения. Разработка системы занимает больше времени, чем разработка аппаратной схемы.

Интегрированная среда разработки (IDE) – это набор программных компонентов и модулей, которые обеспечивают программную и аппаратную среду для разработки и прототипирования. IDE позволяет разрабатывать коды на компьютере, а затем загружать коды на аппаратную платформу. IDE включает программное обеспечение, которое взаимодействует с веб-сервером Интернета или облачной службой.

IDE состоит из API-интерфейсов устройств, библиотек, компиляторов, ОСРВ, симулятора, редактора, ассемблера, отладчика, эмуляторов, логического анализатора, записи прикладных кодов для flash, EPROM и EEPROM EEPROM и других программных компонентов для комплексной разработки системы. IDE может быть с открытым исходным кодом. Например, у Arduino есть IDE с открытым исходным кодом с веб-сайта Arduino.

Инструмент IDE или prototуре позволяет создавать прототипы. IDE используется для разработки встраиваемых аппаратных и программных платформ, моделирования и отладки. IDE – это инструмент для разработки программного обеспечения для встраиваемых устройств, который упрощает разработку приложений. Например, в IDE для микроконтроллерной системы предусмотрена библиотека последовательного

программного обеспечения. Библиотека состоит из нескольких программ. В библиотеке есть программы для каждого протокола последовательного интерфейса, которые могут использоваться в устройстве. Программа позволяет напрямую использовать программы, зависящие от протокола, такие как программа для считывания RFID-метки или программа для отправки данных на USB-порт для дальнейшей передачи через Интернет.

Симулятор – это программное обеспечение, которое позволяет разрабатывать на компьютере без какого-либо аппаратного обеспечения, а затем можно подключить оборудование для создания прототипов для внедрения программного обеспечения и дальнейших тестов.

Основным компонентом устройств IoT являются программное обеспечение. Программное обеспечение состоит из интерфейсов прикладного программирования устройств (API) и интерфейса устройства для обмена данными по сети и канала/портов связи, который также включает в себя промежуточное программное обеспечение. Промежуточное программное обеспечение создает стеки протоколов IPv4, IPv6, 6LoWPAN, MQTT, COAP, LWM2M, REST и других коммуникационных протоколов.

Интерфейс подключения состоит из API-интерфейсов связи, интерфейсов устройств и процессоров. Программное обеспечение отдает команды на выполнение действий с полученным сообщением или информацией, за которыми следуют аппаратные выходы через порты для исполнительных механизмов.

Встроенные аппаратные блоки

Аппаратное обеспечение включает в себя следующее:

- Один чип VLSI (very-large integrated)
- Ядро в процессоре набора команд для конкретного приложения (ASIP), называемом MCU
- Ядро в ядре интегральной схемы для конкретного приложения (ASIC)
- Ядро в виде системы на кристалле (SoC) или микросхема SoC с SD-картой для встроенного программного обеспечения и операционной системы (OS).

В следующих подразделах описываются микроконтроллеры, SoC и выбор платформы для создания прототипов..

Микроконтроллерный блок

Микроконтроллер – это однокристалльный СБИС-модуль (также называемый микрокомпьютером), который, хотя и обладает ограниченными вычислительными возможностями, обладает расширенными возможностями ввода-вывода и имеет ряд встроенных функциональных блоков, таких как внутренняя оперативная память, флэш-память, порты ввода-вывода, GPIO, последовательные интерфейсы, таймеры, последовательные порты и таймеры-таймеры на кристалле. Микроконтроллеры, предназначенные для конкретных приложений, имеют дополнительные встроенные функциональные блоки, такие как ШИМ-схемы (1, 2 или 3), АЦП (1, 2, 4 или выше) и другие функциональные блоки.

Микроконтроллер – это микросхема, доступная из различных источников, таких как ATMEL, Nexperia, Microchip, Texas Instruments или Intel. Один и тот же источник может производить различные типы, семейства и группы микроконтроллеров, например, ATMEL производит микроконтроллеры семейств AVR@8 и AVR@32. Семейство микроконтроллеров может иметь разные версии. Ниже приведены рекомендации по использованию конкретной версии микроконтроллера из исходного кода, семейства или группы микроконтроллеров.

- Микроконтроллеры могут быть 8-разрядными, 16-разрядными или 32-разрядными.

- Тактовая частота микроконтроллера может составлять 8 МГц, 16 МГц, 100 МГц, 200 МГц или выше. Тактовая частота зависит от версии и семейства. Производительность определяет количество команд, выполняемых в секунду, которое в первую очередь также зависит от тактовой частоты. Одним из показателей производительности является миллион команд в секунду (MIPS). Другой показатель производительности - миллион операций с плавающей запятой в секунду (MFLOPS).

- MCU включает в себя оперативную память объемом 4 Кбайт, 16 Кбайт, 32 Кбайт или выше. Для чтения и записи байта в оперативную память требуется цикл команд. Оперативная память используется для временных переменных, стеков и потребностей в памяти во время выполнения.

- Микроконтроллер включает в себя EEPROM и флэш-память объемом 512 КБ, 1 кБ, 2 кБ, 4 КБ, 16 КБ, 64 КБ, 128 КБ, 512 кБ или выше. Flash сохраняет программы, данные, таблицы и необходимую информацию на этапах сборки и тестирования, а затем сохраняет окончательную версию прикладной программы во встроенном устройстве.

- MCU включает в себя таймеры, порты ввода-вывода, контакты GPIO, последовательные синхронные и асинхронные порты и контроллеры прерываний.

- Микроконтроллер включает в себя несколько функциональных блоков в определенном исполнении, таких как АЦП, многоканальный АЦП или АЦП с программируемыми выводами положительного и отрицательного опорного напряжения, ШИМ, RTC, I2C, CAN и USB-порты, ЖК-интерфейс, интерфейс ZigBee, Ethernet, модем или другие функциональные блоки, в зависимости от конкретного источника, семейства, группа и версия.

Система на кристалле

Сложные встраиваемые устройства, такие как мобильные телефоны, состоят из схемы, которая выполнена на одном кремниевом чипе. Схема состоит из нескольких процессоров, аппаратных блоков и программного обеспечения. SoC – это система на микросхеме VLSI, которая содержит несколько процессоров, программное обеспечение и все необходимые цифровые и аналоговые схемы на кристалле. SoC объединяет схему обработки данных с памятью и предназначена для специализированных приложений и может содержать аналоговые схемы. SoC может подключать внешнюю SD-карту к мобильному телефону. На карте хранятся внешние программы и операционная система, что позволяет использовать чип для различных целей. Ассоциация Secure Digital создала карту SDIO (защищенный ввод-вывод данных). Карта может быть стандартной, мини-, микро- или наноформатной. Она состоит из флэш-памяти и протокола связи. SoC может быть из разных источников, например, Raspberry Pi и BeagleBone.

Выбор оборудования

Выбор из множества различных доступных платформ зависит от ряда факторов, таких как цена, доступность с открытым исходным кодом, простота разработки приложений и необходимых возможностей, производительность, требуемая от устройства Интернета вещей, а также пригодность для разработки и использования в целях прототипирования и проектирования.

Выбор встраиваемого оборудования, помимо цены, зависит от следующих факторов:

- Требуемая скорость процессора зависит от приложений и сервисов. Например, для обработки изображений и видео требуются высокоскоростные процессоры

- Объем оперативной памяти может составлять 4 Кбайт и более в зависимости от операционной системы и приложений. Например, для использования дистрибутива Linux требуется 256 Кбайт. Мобильные телефоны нового поколения имеют более одного ГБ оперативной памяти.

- Для подключения к сети с использованием вспомогательной схемы (shield) требуется подключение к ZigBee, ZigBee IP, Bluetooth LE, Wi-Fi или проводной сети Ethernet
- USB-хост
- Схемы сопряжения датчиков, исполнительных механизмов и контроллеров, такие как АЦП, UART, I2C, SPI, МОГУТ быть одиночными или многократными
- Требования к питанию: V- и V+, 0 В и 3,3 В, 0 В и 5 В или другие.