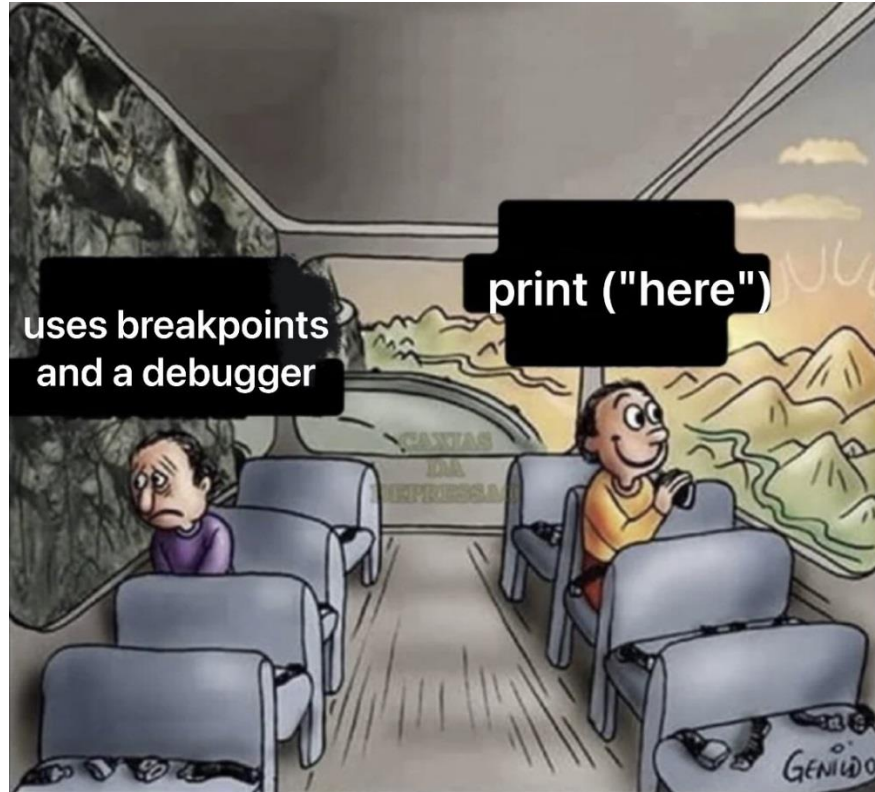


# Программно-аппаратные платформы Интернета вещей и встраиваемые системы

Лекция 10

**ОТЛАДКА ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ**

# Способы отладки



# Проблемы отладки ПО на микроконтроллере

- Нет ресурсов для встроенного отладчика
  - Отладчик работает на внешнем компьютере
- Сложность эмуляции микроконтроллера со всей периферией
  - MPLAB, Proteus
- Сложность эмуляции внешних устройств
- Средства отладки ПО превращаются в программно-аппаратный комплекс

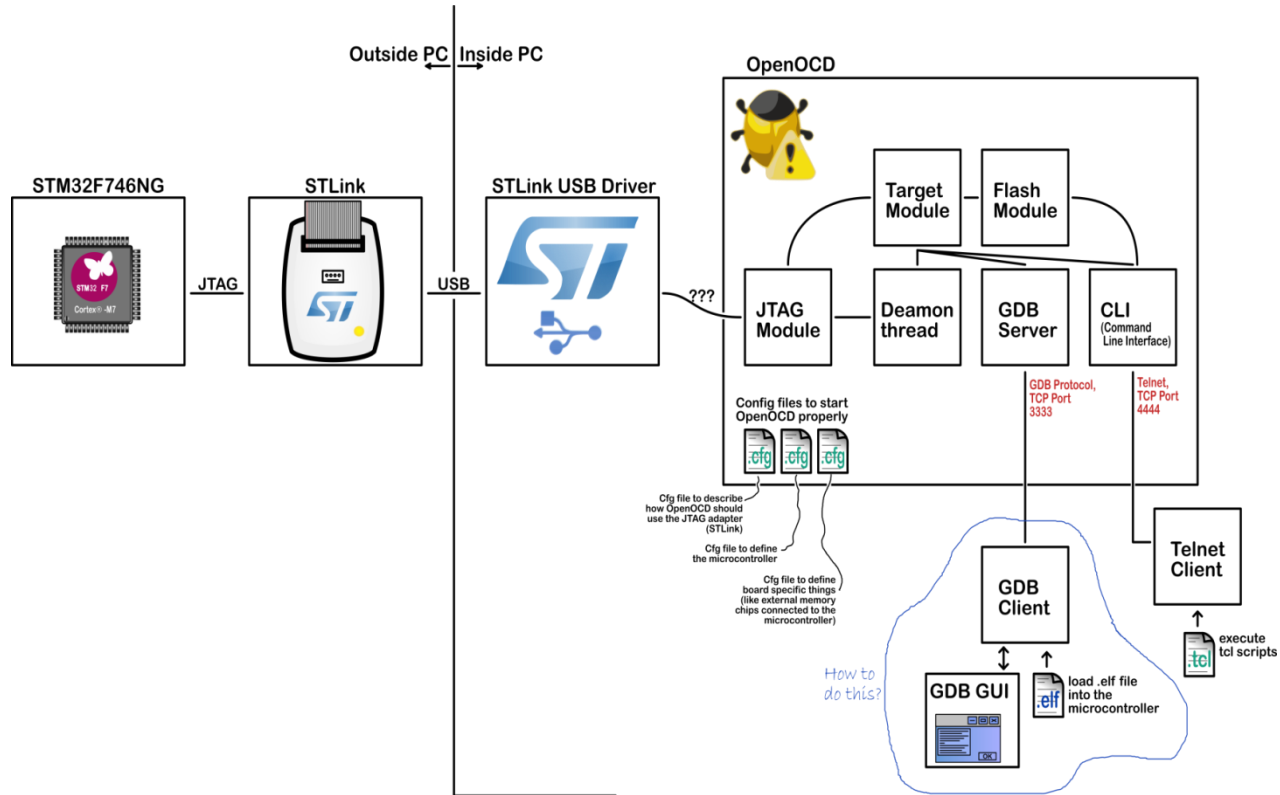
# Интерфейс JTAG

- 4-проводной интерфейс (TMS, TCK, TDI, TDO) + Reset
- Не зависит от загруженной в контроллер программы
- Имеет прямой доступ к ядру и памяти
- Может управлять выполнением программы
- Требуется аппаратного адаптера (JTAG-эмулятор, JTAG-отладчик)
- Версии JTAG с уменьшенным до 2 числом сигналов: SWD, cJTAG

# Подключение по JTAG

- Среда разработки (опционально)
  - Исходный код, файл ELF
- Отладчик (gdb + OpenOCD или аналогичный)
- JTAG-адаптер
  - USB-интерфейс -> JTAG
- Непосредственно сам микроконтроллер

# Подключение по JTAG



# Примеры отладочных адаптеров



- ST-Link
  - Собственный протокол обмена
  - JTAG и SWD
  - Мост USB-UART



# Примеры отладочных адаптеров



- ST-Link (китайский клон)
  - Собственный протокол обмена
  - JTAG и SWD
  - Мост USB-UART

# Найдите десять отличий



# Примеры отладочных адаптеров



- Segger J-Link
  - Собственный протокол обмена
  - JTAG и SWD
  - Мост USB-UART
  - Поддерживает множество МК самых разных производителей
  - Множество китайских клонов

# CMSIS-DAP

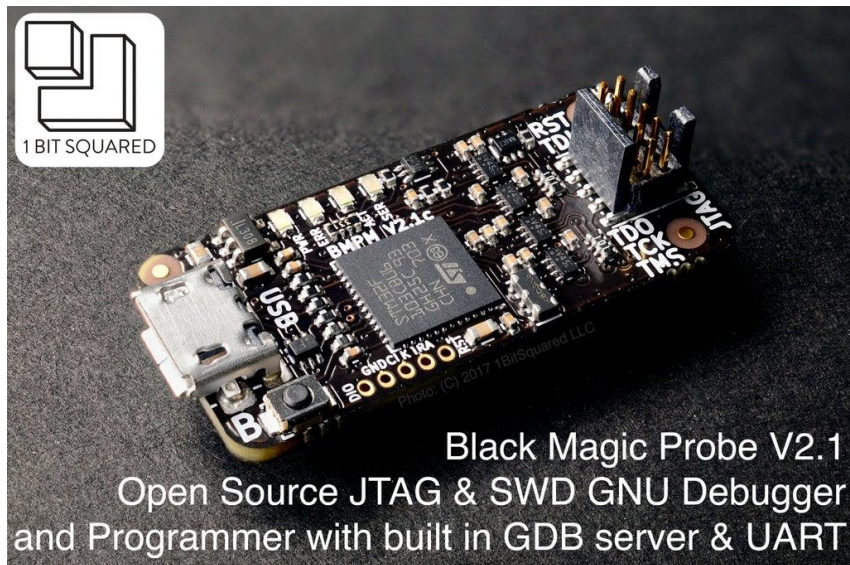
- Реализация JTAG и SWD-отладчика с открытым исходным кодом
- Работает на любом микроконтроллере с USB, есть слой адаптации к конкретному «железу»
- Поддерживается многими средствами разработки (в том числе OpenOCD)

# Примеры отладочных адаптеров



- UMDK-RF
  - Прошивка с открытым исходным кодом на базе CMSIS-DAP
  - Интерфейс SWD
  - Мост USB-UART
  - Измерение потребляемого тока

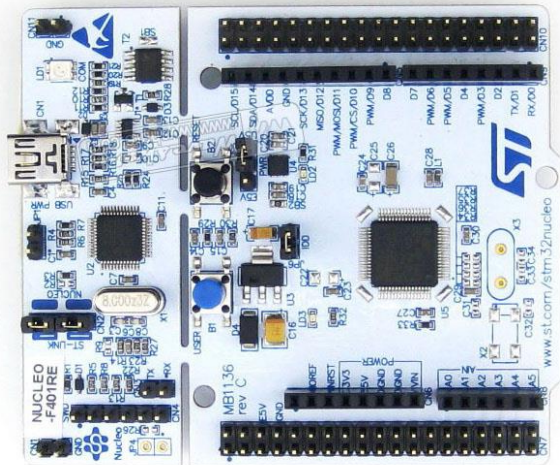
# Примеры отладочных адаптеров



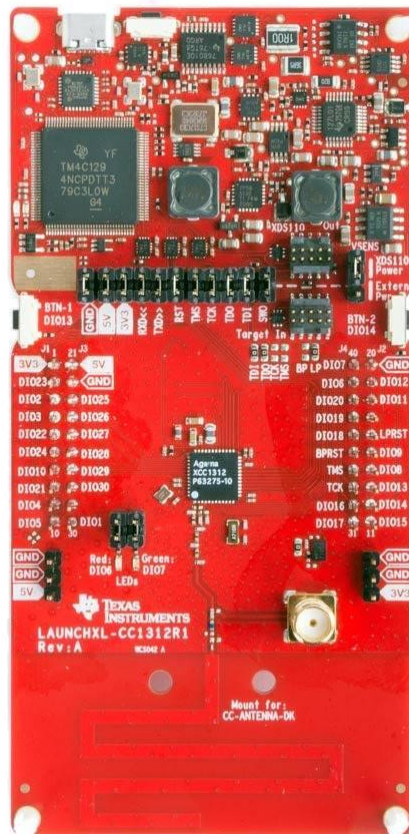
- Black Magic Probe
  - Прошивка с открытым исходным кодом на базе CMSIS-DAP
  - JTAG и SWD
  - Мост USB-UART
  - Встроенный GDB-сервер



# Примеры отладочных адаптеров



Всякая ерунда  
вспомогательная



Основная часть

# IDE для микроконтроллеров

- IDE — надстройка над компилятором (например, gcc) и отладчиком (например, gdb)
- Удобный редактор кода
- Справка и динамические подсказки
- Скрипты для компиляции проекта
- Скрипты для загрузки проекта в микроконтроллер
- Скрипты для отладки проекта в микроконтроллере
- Не все IDE могут работать с проектами сложной структуры



# IDE для микроконтроллеров

- Свободные и бесплатные
  - Eclipse
  - Microsoft Visual Studio Code
- Коммерческие (обычно со своим компилятором, отладчиком и всем-всем-всем)
  - KEIL  $\mu$ Vision (принадлежит ARM Holdings)
  - IAR
- Собственные IDE производителей
  - как правило, на базе Eclipse

[illegible]

# **ОТЛАДКА ПЕРИФЕРИЙНЫХ УСТРОЙСТВ**

# Рабочее место удаленщика



# Осциллограф vs логический анализатор

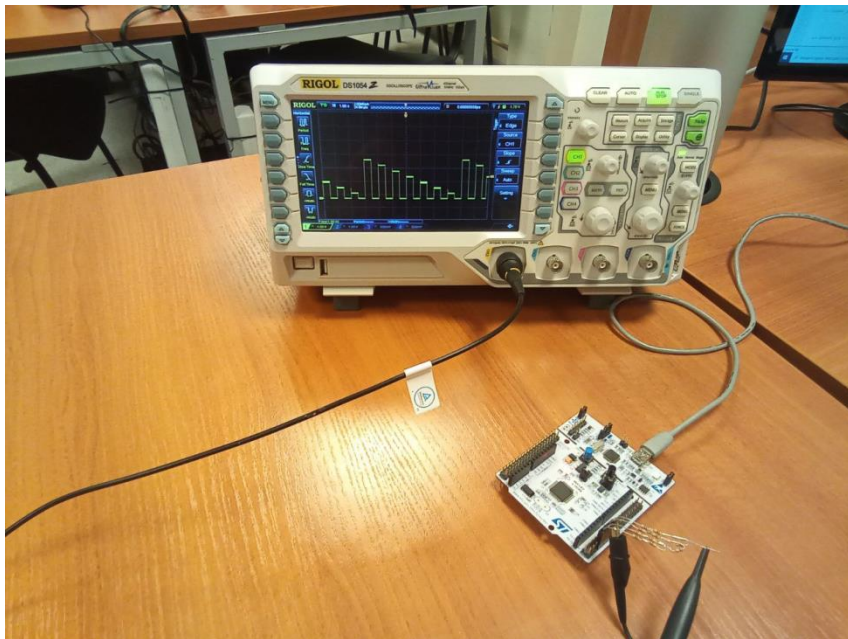
- Оба фиксируют изменение сигнала во времени
- Осциллограф:
  - 2 – 4 канала измерения
  - аналоговые сигналы
  - декодирование протоколов — в некоторых моделях
- Логический анализатор:
  - 8 – 32 каналов измерения
  - только цифровые сигналы
  - декодирование протоколов — обязательная функция

# Осциллограф: основные параметры

- Число каналов
- Максимальная частота оцифровки сигнала
- Полоса пропускания аналогового тракта
- Объём памяти оцифрованного сигнала
- Дополнительные опции:
  - декодирование протоколов
  - математические функции
  - ...

# Нестандартное применение

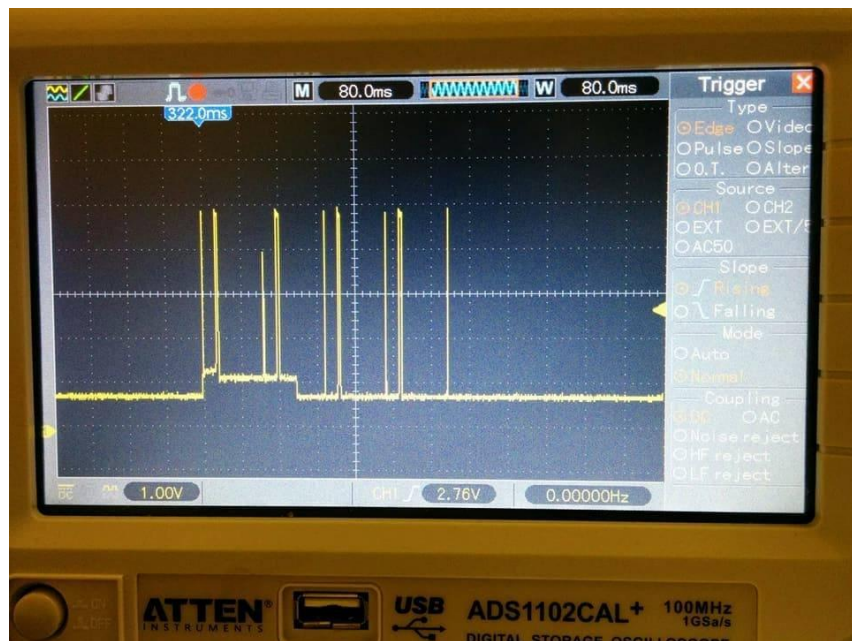
- Выводим номер текущего процесса в ОС через простейший R2R ЦАП





# Нестандартное применение

- Смотрим потребление тока (температурный датчик с LoRaWAN)





# Осциллограф: основные типы

- USB-осциллограф: приставка к компьютеру
  - проблема качества и эргономики ПО
  - проблема изоляции от USB-порта
  - стоимость
- Носимые осциллографы
  - «игрушечные» модели на базе микроконтроллеров (частота дискретизации – от 200 кГц до 1 МГц)
  - профессиональные модели (не дешевле настольных)
- Настольные осциллографы
  - оптимальный выбор для инженера-разработчика
  - современные модели могут подключаться к ПК

# Логический анализатор

- 8/16/32 цифровых канала
- USB-приборами вполне можно пользоваться

