

Hard Fault

или

(Фундаментальные Основы Программирования
Микроконтроллеров)

Александр Барунин

1 января 2025 г.

Оглавление

1 Об авторе	11
2 Предисловие	13
3 Отзывы благодарных читателей	15
4 Аббревиатуры	17
5 Атрибуты Хорошой Прошивки (Firmware)	21
5.1 Микросекундный UpTime счетчик (камертон)	21
5.2 Сторожевой таймер (сторожевой пёс)	21
5.3 Загрузчик (BootLoader)	21
5.4 NVRAM (числохранилище)	22
5.5 Модульные тесты (скрепы)	22
5.6 Health Monitor (медбрать)	22
5.7 Full-Duplex Command Line Interface (CLIшка)	22
5.8 Диагностика	23
5.9 Аутентификация бинаря (optional)	24
5.10 Black-Box Recorder (Чёрный ящик)	24
5.11 Переход в энергосбережение	25
5.12 Итоги	25
6 Архитектура Хорошего Кода Прошивки (Массив-Наше Всё)	27
6.1 Пролог	27
6.2 Массивы конфигурационных структур	28
6.3 Массив функций инициализаций прошивки	29
6.4 Массив функций для суперцикла	30
6.5 Массив параметров в NVRAM	32
6.6 Массив отладочных токенов для диагностики	32
6.7 Массив команд для CLI	33
6.8 Массив функций-модульных тестов	34
6.9 Массив функций потоков для RTOS	35
6.10 Итоги	37
6.11 Гиперссылки	37

7 Модульное Тестирование в Embedded	39
7.1 Пролог	39
7.2 Достоинства модульных тестов	39
7.3 Недостатки модульных тестов	41
7.4 Общие принципы модульного тестирования	42
7.5 Автотесты	44
7.6 Итоги	45
7.7 Гиперссылки	45
8 Атрибуты Хорошего Загрузчика	47
8.1 Пролог	47
8.2 Терминология	47
8.3 Достоинства загрузчика	48
8.4 Недостатки загрузчика	48
8.5 атрибуты хорошего загрузчика	49
8.6 Итоги	52
8.7 Гиперссылки	52
9 Атрибут Хорошего С-кода	53
9.1 Пролог	53
9.2 Фундаментальные правила оформления Си-кода	53
9.3 Аномалии оформления сорцов из реальной жизни (War Stories)	62
9.4 Финальная структура добротного программного компонента	63
9.5 Итог	64
10 Что Должно Быть в Каждом FirmWare Репозитории	65
10.1 Пролог	65
10.2 Компонент для поддержки каждого конкретного процессорного ядра (Core)	66
10.3 Компонент для поддержки каждого конкретного микроконтроллера (microcontroller)	66
10.4 Компонент для поддержки каждой конкретной платы (platform code,boards)	66
10.5 Отдельная папка для каждой конкретной сборки (projects)	66
10.6 Абстрактные структуры данных (ADT)	66
10.7 Загрузчик (BootLoader)	67
10.8 MicroController Abstraction Layer (MCAL)	67
10.9 Драйверы периферийных чипов (ASICs)	70
10.10 Папка со всем оставшимся (miscellaneous)	70
10.11 Чужой код (Third Party)	70
10.12 sensitivity	70
10.13 computing	71
10.14 Connectivity	73
10.15 Storage	74
10.16 Код для информационной безопасности (Security)	74
10.17 Модульные тесты	75

10.18 Сборка из Make	75
10.19 Скрипты сборки CMake	75
10.20 Скрипты автосборки	75
10.21 Скрипты авто прошивки	76
10.22 Скрипты отчистки и автоматического форматирования	76
10.23 Статические библиотеки	76
10.24 Кодогенераторы	76
10.25 Авто генерация документации	76
10.26 Какие папки должны быть в репозитории?	77
10.27 Итог	77

11 Архитектура Хорошо Поддерживаемого драйвера 79

11.1 Пролог	79
11.2 xxx_drv.c/xxx_drv.h с функционалом	79
11.3 xxx_isr.c/xxx_isr.h	80
11.4 Файл xxx_types.h с типами*	80
11.5 Отдельный xxx_const.h файл с перечислением констант*	81
11.6 xxx_param.h файл с параметрами драйвера*	82
11.7 config_xxx.c config_xxx.h файл с конфигурацией по умолчанию	83
11.8 xxx_commands.c xxx_commands.h файл с командами CLI*	84
11.9 xxx_diag.c/xxx_diag.h файлы с диагностикой*	85
11.10 test_xxx.c/test_xxx.h Файлы с модульными тестами диагностикой*	85
11.11 Make файл xxx.mk для правил сборки драйвера из Make*	86
11.12 xxx_dep.h файл с проверками зависимостей	87
11.13 Должен быть файл xxx_preconfig.mk	88
11.14 Функционал драйвера	89
11.15 Итоги	93
11.16 Гиперссылки	93

12 DevOps для производства Firmware 95

12.1 Пролог	95
12.2 Репозиторий с кодом (репа/общак)	95
12.3 Код-генерация	96
12.4 Проект должен собираться скриптами	96
12.5 Сборок должно быть много	96
12.6 Проект собирать Make файлами	96
12.7 Статические анализаторы	97
12.8 Автосборки	97
12.9 Сервер сборки	98
12.10 Модульные тесты (скрепы)	98
12.11 Hardware In The Loop (HIL) стенд	98
12.12 Code Coverage (высший пилотаж)	99
12.13 Ежедневные планерки	99
12.14 Эпилог	99
12.15 Гиперссылки	99

13 Способы Отладки и Диагностики FirmWare	101
13.1 Пролог	101
13.2 Модульные тесты (скрепы / гипс)	101
13.3 Health Monitor (Мед брат)	101
13.4 CLI(шка) (Command Line Interface) (или Компьютерная томография МРТ)	102
13.5 HeartBeat LED (медленный стетоскоп)	104
13.6 Пошаговая отладка GDB через SWD/JTAG (или Хирургическое вмешательство с наркозом или КТ)	104
13.7 Утилита arm-none-eabi-addr2line.exe (Ультразвуковое Исследование УЗИ)	104
13.8 Функции Assert (или ПЦР тест)	105
13.9 GPIO и осциллограф (Кардиограмма)	105
13.10GPIO и логический анализатор (Электроэнцефалография)	105
13.11DAC (Цифро-Аналоговый Преобразователь) (или микроскоп)	106
13.12Логирование на дисплей (Глюкометр)	106
13.13Утилита STM-Studio (Электроэнцефалография)	106
13.14 Логирование в SD карту (Копрограмма)	108
13.15Эмуляция прошивки как процесса на РС (клонирование)	108
13.16DMM цифровой мультиметр (градусник)	108
13.17Контроль качества пайки (Load-detect)	108
13.18Вывод системной частоты наружу (стетоскоп)]	108
13.19Итог	109
13.20Гиперссылки	109
14 Почему Нам Нужен UART-CLI?	
(Добавьте в Прошивку Гласность)	111
14.1 Пролог	111
14.2 Почему люди используют CLI?	113
14.3 Аналогии CLI на бытовом уровне	121
14.4 Где уже используют CLI	122
14.5 Список наиболее часто употребительных команд CLI	123
14.6 Некоторые незначительные недостатки CLI	124
14.7 Итоги	126
14.8 Гиперссылки	126
15 Почему Сборка с Помощью Eclipse ARM GCC Плагинов это Типичный Путь.	129
15.1 Пролог	129
15.2 Теория сборки Си программ в IDE с плагинами	130
15.3 Пошаговая отладка	135
15.4 Минусы сборки Eclipse плагинами из-под IDE	135
15.5 Достоинства сборки из-под Eclipse с ARM плагинами	137
15.6 Аналогии	137
15.7 War story	138
15.8 Что делать?	138

15.9 Итоги	139
15.10 Гиперссылки	140
16 Почему важно собирать код из скриптов?	141
16.1 Пролог	141
16.2 Как отлаживаться	148
16.3 Достоинства сборки кода из Make файлов	148
16.4 Аналогии	151
16.5 CMake или GNU Make?	152
16.6 Кто собирает код из скриптов?	153
16.7 Вывод	154
16.8 Гиперссылки	155
17 NVRAM для микроконтроллеров	157
17.1 Пролог	157
17.2 Достоинства on-chip NorFlash	158
17.3 Типичные требования к NVRAM	159
17.4 Терминология	160
17.5 Основная идея механизма NVRAM	160
17.6 Добавление IDшников и интерпретатора (PARAM)	163
17.7 Итоги	165
17.8 Гиперссылки	165
18 Коллоквиум по программированию микроконтроллеров	167
18.1 Вопросы по коду	167
18.2 Системы сборки	168
18.3 Структуры данных	169
18.4 Про DevOps	169
18.5 Про прерывания	169
18.6 Про ToolChain	169
18.7 Вопросы про RTOS(ы)	170
18.8 Про цифровые фильтры	171
18.9 Про железо (аппаратное обеспечение)	171
18.10 По интерфейсам	172
18.11 По протоколам	172
18.12 Вопросы про стек	173
18.13 Беспроводные интерфейсы	173
18.14 Про heap память	173
18.15 Про загрузчики (Bootloader)	174
18.16 Решение проблем (TroubleShooting)	174
18.17 Вопросы для развернутого устного ответа (System Design)	175
18.18 Вопросы для проверки навыков пользования компьютером	175
18.19 Трудные вопросы (со звездочкой *)	176
18.20 Вопросы на способность тестирования и отладки	176
18.21 Варианты для тестового задания дома	176

19 Вы в самом деле хотите стать программистом-микроконтроллеров?	179
19.1 Пролог	179
19.2 Что вообще пишут программисты МК и на чем?	179
19.3 Программирование на Си в Linux	180
19.4 Как проходят собеседования на роль программист микроконтроллеров?	181
19.5 Программирование микроконтроллеров - это даже не профессия	182
19.6 В России профессионалы программирования микроконтроллеров ни- где не нужны.	183
19.7 Где работать программистом-микроконтроллеров? (Black Mesa по-русски)	186
19.8 Что разрабатывать?	191
19.9 Какие командировки у программистов микроконтроллеров?	193
19.10 Тестирование электронных плат кастрюлей	194
19.11 Docker по-русски	194
19.12 Про профессиональные традиции	197
19.13 Про материщину	197
19.14 Сильная зависимость от внешних факторов	198
19.15 Про Санкции и Эмбарго	199
19.16 У программистов микроконтроллеров начальник-схемотехник	203
19.17 Код прошивки абсолютно никого не интересует	206
19.18 Нельзя просто так пойти и купить овцу!	207
19.19 В России Две Школы Программирования Микроконтроллеров	209
19.20 Невозможность Профессиональной Эмиграции	210
19.21 Программисты микроконтроллеров - странные люди	211
19.22 Все в ХакСпейсы! (или ячейка друзей электроники)	212
19.23 Соло работа. Мало общения на работе.	213
19.24 В Программировании Микроконтроллеров Нет Людей-Легенд	215
19.25 Религиозные аспекты в программировании микроконтроллеров	216
19.26 В профессии программист микроконтроллеров нет женщин	217
19.27 Второстепенная работа	218
19.28 Трудоёмкость отладки и поиска ошибок внутри прошивок	227
19.29 Мало ресурсов	228
19.30 Даже не мечтайте про удалёнку из Таиланда	229
19.31 Образовательный BackGround	229
19.32 Прошивки это всегда простые и тривиальные программы	230
19.33 Много работы с перекладыванием бумажек	234
19.34 Программист-микроконтроллеров = курьер	234
19.35 Невозможность монетизации	234
19.36 Низкий престиж профессии программист микроконтроллеров в рос- сийском обществе	235
19.37 Программист-микроконтроллеров это устаревшая профессия	236
19.38 Чего вообще хорошего в профессии программист микроконтроллеров?	237
19.39 Итог	239
19.40 Гиперссылки	241

ОГЛАВЛЕНИЕ

9

20 Литература

243

Глава 1

Об авторе

Автор учебника - это российский инженер программист Hi-Tech электроники. Питомец Национального Исследовательского Университета МИЭТ (Московский институт электронной техники) 2015 года. Автор начинал работу в лаборатории министерства обороны. Далее работал старшему проектах, которые разработали серию IoT приборов для умных домов. Последние 7 лет разрабатывает system software для электроники в автопроме. Автор написал firmware более чем для шестидесяти электронных плат на основе микроконтроллеров с архитектурами AVR, ARM и Power PC. С 2012 года автор обладает 12-летним опытом и экспертизой в проблемах разработки программного обеспечения для встраиваемых систем на основе современных микроконтроллеров.

Глава 2

Предисловие

Предлагаемая вашему вниманию книга написана по материалам моих текстовых заметок в культовом русскоязычном сообществе разработчиков habr.

Я решил написать учебник по программированию МК на основе своего инженерного опыта.

Тексты на habr были подвергнуты широчайшим общественным обсуждениям в комментариях. И, тем самым, мною были внесены улучшения по формулировкам и содержанию.

Изначально я очень скептически относился к своим текстам. Однако со временем стал регулярно получать благодарственные сообщения от искренних читателей из разных городов России, Латвии, Германии и даже США.

Если это такой хороший материал, то он не должен пойти прахом.

Благодарности сподвигли меня скомпоновать отдельную брошюру, а потом и полноценный учебник посвященный проблемам разработки системного программного обеспечения для микроконтроллеров.

Учебник я писал в свободное от основной работы время. По ночам, по выходным, в государственные праздники и в редкие отпуска.

В довесок к этому я работал в английском автопроме и с горечью осознавал как отстали российские технологии программирования микроконтроллеров от техноМЫСЛИ запада.

Поэтому своевременность данного материала объясняется убийственным отставанием российской школы программирования микроконтроллеров от практик программирования MCU в западной Европе и США.

Благодаря рекомендациям из этой книги у Вас будет разработка без хлопот (*hassle free*).

Для работы с этим учебником Вам понадобится персональный компьютер (PC), любая твёрдотельная учебно-тренировочная электронная плата с микроконтроллером ARM Cortex-M, кабель USB, переходник с USB на UART и программатор для MCU на отладочной плате.

Из программного обеспечения понадобится текстовый редактор, компилятор GCC, терминал последовательного порта TeraTerm (или PuTTY) и утилита GNU Make.

Как автор учебника, я хотел бы выразить глубокую благодарность своему учителю, наставнику и визионеру Владимиру Романову опыт работы с которым помог

мне освоить эту непростую профессию в большей степени. Ни до, ни после работы с Владимиром, я так и не встречал людей с более прогрессивным опытом, взглядами и экспертизой.

Если бы я знал все вещи указанные в учебнике сразу после ВУЗ(за), то жизнь сложилась бы лучше

Александр Барунин

aabzele@gmail.com

Глава 3

Отзывы благодарных читателей

1. (Россия)

"Добрый день. Спасибо за статьи на хабре, дружище) зачётно пишешь, живой жизненный слог)) весело, толково, доходчиво и запоминаемо, приятно читать)) благодаря твоей статье я понял, что компания в которой я трудоустроен довольно неплохая, почти все критерии отбора исполняются и стиль написания фирмвари питерский) Спасибо ещё раз за статью, несколько раз перечитал её, каждый раз новое и интересное находжу, просто мало авторов которые так хорошо пишут об этой профессии. У вас писательский талант без преувеличения, понятно пишите и передаёте опыт новичкам. в общем вы правы... "

С уважением, Андрей

2. (г.Уфа, Россия)

"Повезло, что прочитал Ваши статьи: Как собрать Си программу в OS windows. Как Вы работали программистом, про правила написания кода. Вы так с юмором, просто и ясно пишете, что решил Вам написать. Человек, который имеет мужество написать: "Я только в 4й организации по-настоящему программировать микроконтроллеры научился. внушает уважение к своим уникальным знаниям.

С уважением, Раис

3. (г Санкт-Петербург, Россия)

"Давно читаю ваши статьи — с чем-то согласен, с чем-то нет.
С уважением, Даниил "

4. (Бостон, USA)

"Привет, хочу немного поддержать Вас морально, видя полное непонимание со стороны читателей статьи "Градация Навыков ... на самом деле

статья правильная, но аудитория находится далеко по своему опыту и ментальности .. статьи Ваши нравятся, толково написано .."
Всего доброго, Виктор (30+ лет в разработе) "

Глава 4

Аббревиатуры

Акроним	Расшифровка
ACI-	Arm Custom Instructions
ADC-	Analog-to-digital conversion
AHB-	Advanced High-performance Bus
AMBA-	Advanced Microcontroller Bus Architecture
APB-	Advanced Peripheral Bus
API-	Application Programming Interface
ARM	Advanced RISC Machines
ASIC-	Application-specific integrated circuit
ATB-	Advanced Trace Bus
AXI-	Advanced eXtensible Interface
BIOS	basic input/output system
BPU-	Breakpoint Unit
C-AHB-	Code AHB
CDE-	Custom Datapath Extension
CI-	Continuous Integration
CIC-	Cascaded integrator-comb
CLI-	command-line interface
CMSIS-	Common Microcontroller Software Interface Standard
CPP-	C PreProcessor
CRC-	Cyclic Redundancy Check
CTI-	Cross Trigger Interface
CTM-	Cross Trigger Matrix
D-AHB-	Debug AHB
DFU-	device firmware update
DMA-	Direct memory access
DSP-	Digital Signal Processing
DWT-	Data Watchpoint and Trace
EEPROM-	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EFI	Extensible Firmware Interface
EMC-	Электромагнитная совместимость

EPPB-	External Private Peripheral Bus
ETM-	Instruction Trace Embedded Trace Macrocell
FOTA-	Firmware Over The Air
FPU-	Floating-point Unit
FS-	File System
FSM-	Finite-state machine
FW-	FirmWare
GDB-	GNU DeBugger
GNU-	GNU's Not UNIX
GPIO-	General-purpose input/output
GPU -	Graphics Processing Unit
HMI-	Human-machine interface
I2C-	Inter-Integrated Circuit
ID-	Identifier
IDAU-	Implementation Defined Attribution Unit
IEEE-	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IF-	interface
ISR-	Interrupt Service Routine
ITM-	Instrumentation Trace Macrocell
JTAG-	Joint Test Action Group
KIIS-	Keep It ISOLATED Stupid
LED-	light-emitting diode
MAC-	Multiply and Accumulate
MBR-	Master Boot Record
MCO-	Multiplexed Clock-Out
MCU-	Micro Controller Unit (Микроконтроллер)
MPU-	Memory Protection Unit
MTB-	Micro Trace Buffer
NDA-	non-disclosure agreement
NMI-	Non-maskable Interrupt
NVIC-	Nested Vectored Interrupt Controller
NVRAM-	Non-volatile random-access memory
NVS-	Non-Volatile Storage
OBD-	On-Board Diagnostics
OTA-	Over The Air
PC-	personal computer
PCB-	Printed circuit board
PHY-	Physical layer
PMSA-	Protected Memory System Architecture
PMU-	Power Management Unit
PPB-	Private Peripheral Bus
PSA-	Platform Security Architecture
RAII-	Resource acquisition is initialization
RAM-	Rand Access Memory

ROM-	Read Only Memory
RTOS-	real-time operating system
S-AHB-	System AHB
SAU-	Security Attribution Unit
SD-	Secure Digital (Memory Card)
SIMD-	Single Instruction, Multiple Data
SPI-	Serial Peripheral Interface
SRAM-	Static RAM
SWC-	SoftWare Component
SWO-	Serial Wire Output
TPA-	Trace Port Analyzer
TPIU-	Trace Port Interface Unit
TUI-	Text-based user interface
UART-	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
UDS-	Unified Diagnostic Services
UNIX-	Uniplexed Information and Computing System
UTF-	Unicode Transformation Format
WFE-	Wait for Event
WFI-	Wait for Interrupt
WIC-	Wake-up Interrupt Controller
ОКРы-	Опытно-конструкторские работы
РПЦ-	Русская Православная Церковь

Глава 5

Атрибуты Хорошой Прошивки (Firmware)

В этой главе я бы хотел перечислить и обсудить некоторые общие системные поведенческие атрибуты хорошего firmware (прошивки) для микроконтроллерных проектов, которые не зависят от конкретного приложения или проекта. Некоторые атрибуты могут показаться Вас очевидными однако по издёвке судьбы в 9 из 10 российских embedded компаний нет и не знают ни одного из перечисленных атрибутов.

5.1 Микросекундный UpTime счетчик (камертон)

В хорошей прошивке должен быть точный аппаратный микросекундный up-time счётчик. Это для программных компонентов которые используют время. Например TimeStamp(ы) для логирования, limiter, планировщик, функции выдержки пауз, LoadDetect. Реализовать этот счетчик можно на SysTick таймере или на периферийном Timer.

5.2 Сторожевой таймер (сторожевой пёс)

Прошивка может зависнуть при некорректных входных данных или в результате стресс тестирования. Сторожевой таймер позволяет автоматически перезагрузиться и устройство не останется тыквой.

5.3 Загрузчик (BootLoader)

Программатор есть далеко не всегда. Программатор часто не видит микроконтроллер из-за статического электричества или из-за длинного шлейфа. Часто программатор в одном единственном экземпляре на всю компанию в целом здании. Загрузка программатором это чисто developer(ская) прерогатива. У Customer нет и

никогда не будет отладчика и особого шлейфа для PCB. Загрузчик по UART позволит записать новый артефакт на дешевом переходнике USB-UART. Также загрузчик позволит наладить DevOps и авто-тесты внутри компании. В идеале загрузчик должен уметь загрузить бинарь по всем доступным интерфейсам которые только есть на плате (PCB) USB, UART, RS485, RS485, CAN, LIN, BLE, 100BaseTX, WiFi, LoRa и пр.

5.4 NVRAM (числохранилище)

Энергонезависимая Key-Value Map(ка) или NVRAM, FlashFs. Есть десятки способов ее реализовать. Это простая файловая система для хранения многочисленных параметров: калибровочные коэффициенты, ключи шифрования, IP адреса, TCP порты, счетчик загрузок, наработки на отказ, настройки трансиверов, серийные номера и многое другое. В моей нынешней прошивке уже 60 параметров. Это позволит не настраивать устройство заново каждый раз после пропадания питания и не плодить зоопарк прошивок с разными параметрами. Устройство всегда можно будет до-программировать уже в run-time(е) просто исполнив несколько команд в CLI. Также FlashFS позволяет передать сообщение от приложения загрузчику и наоборот.

5.5 Модульные тесты (скрепы)

Тесты позволяют делать безопасное перестроение упрощение кода, локализовать причины сбоев. Тесты выступают как документация к коду. Код тестов должен быть встроен прямо внутрь кода прошивки. По крайней мере для Debug сборок. Тесты можно запускать как при старте питания так и по команде из CLI.

5.6 Health Monitor (медбрат)

Это отдельная задача, поток или периодическая функция, которая периодически проверяет все компоненты, счетчики ошибок и в случае, если возникли какие-то сбои, HM как-то сообщает об этом пользователю. HM должен работать непрерывно. Например при ошибке посылает красный текст в UART-CLI а при предупреждении - желтый текст. Health монитор повысит надежность изделия в целом и позволит найти ошибки, которые пропустили модульные тесты.

5.7 Full-Duplex Command Line Interface (CLIшка)

CLI наверное самое полезное. Как её только не называют: "CUI" "TUI" "командный интерфейс" "Shell" "Bash" подобная консоль Real Time Terminal (RTT), "Терминал" "Printf отладка" "CLI" "Консоль UART Debug Terminal". Это уже намекает на её супер полезность. Однако суть одна. Это текстовый интерфейс командной строки

поверх UART(или UDP, TCP, RS232). Подойдет любой Full/Half Duplex интерфейс. Чтобы общаться с устройством на человеческом языке. Запрос-ответ. Как в Linux только в случае с микроконтроллером.

С помощью CLI можно запускать модульные тесты софта и железа, просматривать куски памяти, отображать диагностические страницы, управлять GPIO, пульять пакеты в SPI, UART, I2C, 1Wire, I2S, SDIO, CAN, испускать PWM(ки), включать-/выключать таймеры. В общем CLI для тотального управления гаджетом. Стоит заметить, что CLI это, к слову, единственный способ отлаживать прошивку в микроконтроллерах без JTAG (AVR, ESP32).

Да и отладка по JTAG это тоже так себе подход. Ведь любая точка останова нарушает тайминги и с пошаговой отладкой вы отлаживаете уже не ту программу, что будет работать в реальности. Только с CLI можно делать Non Invasive Debug. Когда есть CLI(шка), команды установки уровней логирования и чтения памяти по адресу, то отпадает даже необходимость в пошаговой отладке по JTAG. Вернее JTAG/SWD понадобится только для отладки UART и запуска CLI. Далее отладка только через CLI.

С помощью CLI вы сможете до-программировать поведение устройства уже после записи самой прошивки во Flash. Можно хранить CLI-скрипты на SD карте и запускать их подобно bat файлам. Как OS устанавливает и запускает утилиты. Просто подключившись к UART через TeraTerm/Putty/HTerm и отправив несколько команд. Также CLI выступает как интерпретатор команд. А без CLI вам бы пришлось варить еще кучу сборок с какой-то специфической функцией на 1 раз. А потом поддерживать на плаву этот зоопарк проектов.

Посмотрите какая классная CLIшка у российского Flipper Zero, нет только раскраски логов в красный, желтый, синий, зелёный, розовый.

Посмотрите какая классная CLIшка у швейцарского U-Blox ODIN C099-F9P

Посмотрите какая классная CLIшка у китайского STM32 устройства NanoVNA V2 Zephyr RTOS из коробки со своей собственной CLI.

Очевидно, что оглушительный успех этих продуктов в значительной мере определен наличием удобной и развитой CLI.

Даже авторитетные авторы FreeRTOS, рекомендуют использовать CLI.

5.8 Диагностика

У каждого компонента есть внутренние состояния: Black-Box Recorder, режимы микросхем, драйверов, какие-то конкретные переменные: up-time счетчики, дата, время сборки артефакта, версия, ветка, последний коммит. Всё это надо просматривать через CLIшку. Для этого и нужна подробная диагностика. Без CLI диагностики прошивок получилось бы то же самое, если у медицины отнять МРТ, УЗИ, рентгеновские аппараты и даже термометры.

Прошивка без диагностики это как автомобиль без приборной панели, зеркал, с грязным лобовым стеклом без дворников. Пробовали на таком ездить?

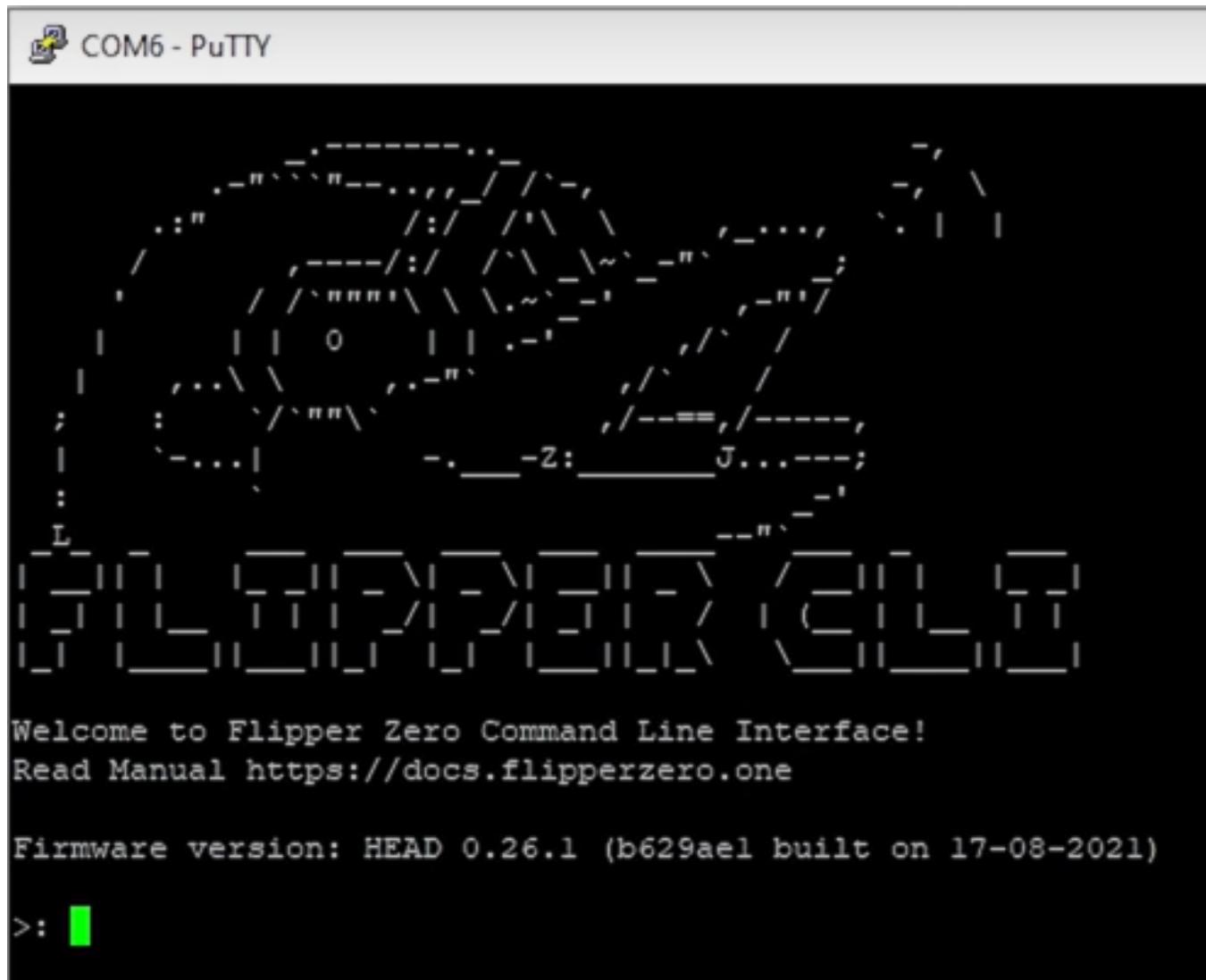


Рис. 5.1: CLI y Flipper Zero

5.9 Аутентификация бинаря (optional)

Рано или поздно придется защищать гаджет от того чтобы на него не накатили чужеродный софт и не превратили его в BotNet. Можно поставить внешний сторожевой таймер и он будет сбрасывать прошивки, которые не догадываются о реальной схемотехнике. А можно добавить в загрузчик Decrypter, который будет записывать только тот артефакт, который после расшифровки содержит валидную контрольную сумму и подпись.

5.10 Black-Box Recorder (Чёрный ящик)

У него много имен: черный ящик, LogBook, BlackBox, Прошивка может записывать логи не только в UART (который может никто не смотреть) но и в NOR/Flash или лучше SD карту. Если организовать циклический массив-строк на N-записей, то можно записывать, например, последние M минут работы. Лог сообщения с TimeStamp(ами). А затем можно делать post-processing логов для расследования инцидентов.



Рис. 5.2: CLI у U-Blox ODIN C099-F9P

5.11 Переход в энергосбережение

Можно по команде из UART-CLI понизить частоту системной шины до минимума. Отключить тактирование от ненужной периферии и таким образом микроконтроллер перейдет в режим низкого энергопотребления. Это особенно важно если устройство работает от батареи.

5.12 Итоги

Если говорить про освоение нового микроконтроллера или очередной электронной платы, то надо довести прошивку до ортодоксально канонической формы. Что значит ортодоксально каноническая форма?

Это сборка собранная из GNU Make скриптов, без RTOS, в которой есть UART-CLI, NVRAM, heart beat LED, (кнопка) и модульные тесты вызываемые из CLI. Также следует сразу подготовить отдельную сборку загрузчика через UART-CLI.

Только на этой почве можно полноценно начинать наращивать любой функционал.

Без этого минимума-минимумов будет не разработка, а стрельба из лука с завязанными глазами.

Как по мне эти 11 атрибутов являются просто джентльменским набором любой нормальной современной взрослой промышленной прошивки. Своего рода коробочки в которую можно положить любой функционал. Если у Вас в репозитории и прошивке всего этого нет, то, наверное, говорить о разработке какого либо устройства не следует. Как ни крути, но сначала надо поднять систему. Писать прошивку без этих 7-10 свойств - это как ходить по улице без одежды.

The screenshot shows a terminal window titled 'COM22 - Tera Term VT'. The menu bar includes 'File', 'Edit', 'Setup', 'Control', 'Window', and 'Help'. The command line starts with 'ch>'. The user types 'help' and receives a detailed list of available commands and their usage:

```

ch>
ch>
ch>
ch> help
There are all commands
help:           lists all the registered commands
reset:          usage: reset
cwfreq:         usage: cwfreq {frequency(Hz)}
saveconfig:     usage: saveconfig
clearconfig:    usage: clearconfig {protection key}
data:           usage: data [array]
frequencies:   usage: frequencies
scan:           usage: scan {start(Hz)} {stop(Hz)} [points] [outmask]
sweep:          usage: sweep [start(Hz)] [stop(Hz)] [points]
touchcal:       usage: touchcal
touchtest:      usage: touchtest
pause:          usage: pause
resume:         usage: resume
cal:            usage: cal [load|open|short|thru|done|reset|on|off]
save:           usage: save {id}
recall:         usage: recall {id}
trace:          usage: trace [0|1|2|3|all] [{format}|scale|refpos|channel|off] [{value}]
marker:         usage: marker [1|2|3|4] [on|off|{index}]
edelay:         usage: edelay {value}
pwm:            usage: pwm {0.0-1.0}
beep:           usage: beep on/off
lcd:            usage: lcd X Y WIDTH HEIGHT FFFF
capture:        usage: capture
version:        usage: Show NanoVNA version
info:           usage: NanoVNA-F U2 info
SN:             usage: NanoVNA-F U2 Serial Number

```

Рис. 5.3: CLI у NanoVNA V2

The screenshot shows the FreeRTOS website with a navigation bar at the top. The 'LIBRARIES' tab is selected, showing a tree view of available libraries. Under 'FreeRTOS Plus', 'FreeRTOS+CLI' is selected. The main content area is titled 'FreeRTOS+CLI: An Extensible Command Line Interface Framework'. It features an 'Introduction' section and a note about the simplicity and efficiency of the framework.

LIBRARIES

- Home
- LTS Libraries
- Library Categories
- FreeRTOS Plus
 - Overview
 - FreeRTOS+TCP
 - FreeRTOS+IO
 - FreeRTOS+CLI
 - Introduction

FreeRTOS+CLI
An Extensible Command Line Interface Framework

Introduction

FreeRTOS+CLI (Command Line Interface) provides a simple, small, extensible and RAM efficient method of enabling your FreeRTOS application to process command line input. The steps required to add a command are shown in the clickable diagram below - click each stage in the process individually to be taken to a worked example.

Рис. 5.4: CLI у FreeRTOS

Глава 6

Архитектура Хорошего Кода Прошивки (Массив-Наше Всё)

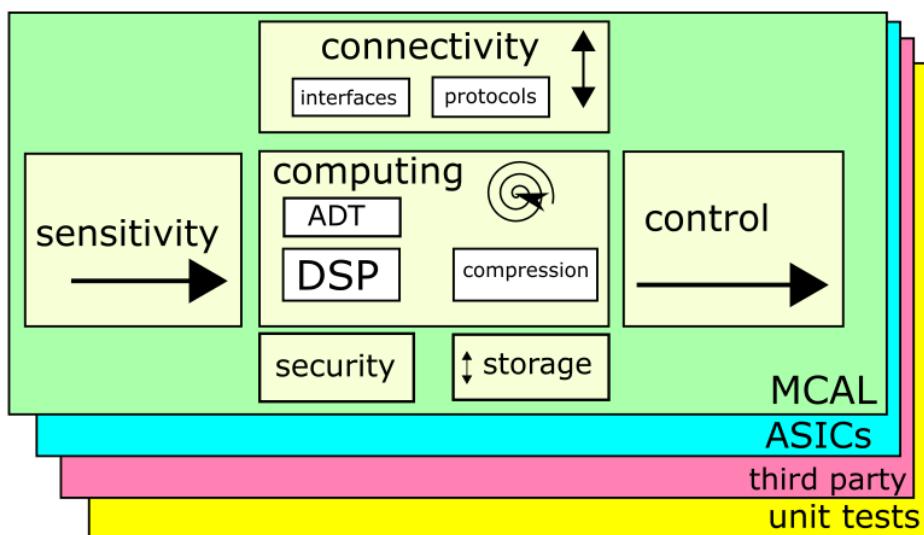


Рис. 6.1: Архитектура хорошей прошивки

6.1 Пролог

Массивы окружают нас всегда и везде: многоквартирные дома, вагоны в составе поезда, дачные домики вдоль улицы, книги на полке, строевая ходьба в армии, бусы на груди у женщин, кресла в кинотеатре, кнопки на клавиатуре. Вот и получается, что, как ни крути, а и архитектуру кода программ тоже интуитивно так и хочется везде, где можно, организовывать в массив.

В этом тексте я написал о некоторых трюках в организации кода для микроконтроллеров. Кому-то может при прочтении покажется, что это всё очевидно, обыденно

и прозаично, однако за 12 лет я видел что-то похожее только в одном проекте, и то лишь от части. Итак, поехали...

6.2 Массивы конфигурационных структур

Дело в том, что для большинства прошивок конфиги на 100То есть конфиги для прошивки, как ни крути, известны до этапа компиляции программы. Да, это так...

Вот и получается что один из самых нормальных способов передавать конфиги в прошивки - это через переменные окружения. Про это у меня есть отдельный текст .

Это удобно с точки зрения масштабирования кодовой базы. Плюс в том, что переменные окружения можно определять прописывая прямо в скриптах (Make, CMake и т.п.).

Однако не всё удобно передавать через переменные окружения. Это происходит из-за того, что переменные конфигов имеют разные типы данных: целые числа, вещественные числа, комплексные числа, строки. К этому приходится приспособливаться. Большинство просто добавляет тонны макроопределений и превращает свой код в свалку. Это не наш путь.

Я решил пойти другим путём и остальные более детальные конфиги стал передавать через массивы структур. Вот как тут конфиг монохроматических светодиодов:

Листинг 6.1: конфиг монохроматических светодиодов

```
#include "led_mono_config.h"

#ifndef HAS_LED
#error "Add HAS_LED"
#endif /*HAS_LED*/

#include "data_utils.h"

const LedMonoConfig_t LedMonoConfig[] = {
{
    .num = 1, .period_ms = 500,
    .phase_ms = 500, .duty = 10,
    .pad = { .port = PORT_D, .pin = 15 },
    .name = "Green", .mode = LED_MODE_BAM,
    .active = GPIO_LVL_LOW, .valid = true,
},
{
    .num = 2, .period_ms = 1000, .phase_ms = 0,
    .duty = 10, .pad = { .port = PORT_D, .pin = 13 },
    .name = "Red", .mode = LED_MODE_OFF,
    .active = GPIO_LVL_LOW, .valid = true,
}
};
```

```

{
    .num = 3,           .period_ms = 1000,
    .phase_ms = 0,      .duty = 10,
    .pad = {.port = PORT_D, .pin = 14},
    .name = "Yellow",   .mode = LED_MODE_PWM,
    .active = GPIO_LVL_LOW, .valid = true,
},
};

LedMonoHandle_t LedMonoInstance[] = {
    { .num = 1, .valid = true, },
    { .num = 2, .valid = true, },
    { .num = 3, .valid = true, },
};

uint32_t led_mono_get_cnt( void ) {
    uint32_t cnt = 0;
    uint32_t cnt1 = 0;
    uint32_t cnt2 = 0;
    cnt1 = ARRAY_SIZE( LedMonoInstance );
    cnt2 = ARRAY_SIZE( LedMonoConfig );
    if( cnt1 == cnt2 ) {
        cnt = cnt1;
    }
    return cnt;
}

```

Далее одна универсальная функция правильно обрабатывает каждый узел с конфигами. Один за другим для каждого элемента конфигурационного массива. Очень удобно.

Это ещё и потому удобно, что *.tar файл покажет вам смещение в *.bin файле, где лежит эта структура. И вы сможете вручную аккуратно изменить константу перед прошивкой.

6.3 Массив функций инициализаций прошивки

Что такое инициализация? Это ведь упорядоченное множество Си-функций. То есть инициализация - это последовательность запуска Си-функций в правильном порядке. Только и всего... А почему бы тогда не организовать эту последовательность в массив функций? Да запросто... Вот.

Листинг 6.2: Массив функций инициализаций прошивки

```
#ifdef HAS_MICROCONTROLLER
```

```
#include "board_config.h"
#define BOARD_INIT \
{ .init_function = board_init, .name = "board", },
#ifndef /*HAS_MICROCONTROLLER*/
#define BOARD_INIT
#endif /*HAS_MICROCONTROLLER*/

/*Order matters!*/
define INIT_FUNCTIONS \
MCAL_INIT \
HW_INIT \
INTERFACES_INIT \
PROTOCOLS_INIT \
CONTROL_INIT \
STORAGE_SW_INIT \
SW_INIT \
UNIT_TEST_INIT \
ASICS_INIT \
BOARD_INIT

/*Order matter!*/
const SystemInitInstance_t SystemInitInstance[] = {INIT_FUNCTIONS};
```

Выигрыш тут тройной:

1. Вся инициализация в одном месте.
2. Порядок инициализации определён индексом в массиве.
3. Для каждой функции инициализации легко выполнить один какой-то общий пролог и эпилог-код. Например печать порядкового номера в UART, дергание GPIO импульса или сброс сторожевого таймера. Если прошивка зависнет в инициализации, то посчитав импульсы в GPIO вы поймете на какой функции (индекс в массиве указателей) прошивка зависла в инициализации.

Да и потом, прошивка, по хорошему, должна печатать и отчет о своей загрузке в UART или в SD карту. Это так называемый лог начальной загрузки (ЛНЗ).

Лог позволит анализировать ошибки в конфигурациях или брак в аппаратуре PCB (железе) еще до запуска суперцикла.

6.4 Массив функций для суперцикла

У каждой прошивки так или иначе есть суперцикл. Либо он прописан явно внутри main(), либо в составе bare-bone потока на какой-нибудь RTOS. Тут тоже, функции суперцикла можно объединить в массив структур. При этом каждую функцию можно

```

12.739.898 I,[Nau8814] Init 1 Nau8814
12.755.899 I,[HMON1] Init Nau8814 OK
42:____^
12.774.900 W,[SYS] BoardInit
12.787.901 I,[SYS] BoardName:[TERM-TEST]
12.805.902 I,[SYS] XTall:8000000 Hz
12.820.903 I,[HMON1] Init board OK
43:____^
12.839.904 E,[SYS] InitIncomplete 42/43, Only 97.67 %
12.861.905 I,[SYS] AllInitsUniq!
12.875.906 I,[SYS] InitCats:43
12.889.907 E,[HMON1] Init SYS Error
12.905.908 I,[SYS] init Error!
12.920.909 I,[SYS] ProgramLaunched!
12.926.910 I,[event] Data-Man 22 2024

```

Рис. 6.2: лог начальной загрузки (ЛН3)

пропускать через компонент limiter и, тем самым, вызывать её с определённым в конфиге периодом. Не чаще чем, скажем, 500ms.

Про это у меня есть отдельный текст. Называется *Диспетчер Задач для Микроконтроллера*

Листинг 6.3: Массив функций для суперцикла

```

#ifndef HAS_BOARD_PROC
#include "board_at_start_f437.h"
#define BOARD_TASK { .name="board", \
    .period_us=BOARD_POLL_PERIOD_US, \
    .limiter.function=board_proc, },
#else
#define BOARD_TASK
#endif /**/

#define TASK_LIST_ALL \
    ASICS_TASK \
    APPLICATIONS_TASKS \
    BOARD_TASK \
    MCAL_TASKS \
    TASK_CORE \
    COMPUTING_TASKS \
    CONNECTIVITY_TASKS \
    CONTROL_TASKS \
    SENSITIVITY_TASKS \
    STORAGE_TASKS

TaskConfig_t TaskInstance[] = {
    TASK_LIST_ALL
};

```

6.5 Массив параметров в NVRAM

Любой прошивке надо запоминать какие-то параметры в энергонезависимой памяти. Это происходит по разным причинам. Про это есть отдельный текст:

NVRAM для микроконтроллеров

Листинг 6.4: Массив параметров в NVRAM

```
const ParamItem_t ParamArray[] = {
    FLASH_FS_PARAMS
    PARAMS_GNSS
    IWDG_PARAMS
    PARAMS_PASTILDA
    PARAMS_SDIO
    PARAMS_TIME
    PARAMS_BOOTLOADER
    { .facility=BOOT, .id=PAR_ID_BOOT_CMD, .len=1,
      .type=TYPE_UINT8, .name="BootCmd" },
    { .facility=BOOT, .id=PAR_ID_REBOOT_CNT, .len=2,
      .type=TYPE_UINT16, .name="ReBootCnt" },
    { .facility=SYS, .id=PAR_ID_SERIAL_NUM, .len=4,
      .type=TYPE_UINT32, .name="SerialNum" },
};
```

У каждого NVRAM параметра есть минимум такие свойства как

Поэтому в прошивке определяем массив структур, который явно покажет с какими параметрами прошивка будет работать после запуска.

6.6 Массив отладочных токенов для диагностики

Как правило в прошивках есть UART для printf() отладки. Одновременно с этим, каждая взрослая прошивка состоит из десятков программных компонентов. Для того, чтобы отличать какому именно программному компоненту принадлежат те или иные отладочные сообщения в коде прошивки должно быть определено перечисление, где каждому программному компоненту будет присвоено натуральное число. Таким образом, при печати лога (в UART или SD карту) каждому такому числу ставится в соответствие текстовый токен. Поэтому в прошивке должен быть определен массив структур, где каждая структура ставит в соответствие числу его текстовый токен.

Листинг 6.5: Массив отладочных токенов для диагностики

```
const static FacilityInfo_t FacilityInfo[] = {

#ifndef HAS_AES
    { .facility = AES, .name = "AES" },

```

```
#endif /*HAS_AES*/

#ifndef HAS_AD9833
{ .facility = AD9833, .name = "AD9833", },
#endif /*HAS_AD9833*/

#ifndef HAS_NOR_FLASH
{ .facility = NOR_FLASH, .name = "NorFlash", },
#endif /*HAS_NOR_FLASH*/

#ifndef HAS_NVRAM
{ .facility = NVRAM, .name = "NvRam", },
#endif /*HAS_NVRAM*/
...
};
```

Благодаря этим токенам в этом логе явственно видно какому именно программному компоненту принадлежит каждая строчка в логе.

Удобно? Очень!

```
COM38 - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
2:8-->
2:8-->ta
129.521.906 W,[Board] RunTestAudio
129.537.907 W,[Board] SERVICE PressOk Duration:2500 ms

132.039.908 I,[Relay] RELAY7_BlinkDone!
132.259.909 I,[Nau8814] PlayIdz,Ampitude:1000
132.278.910 I,[Nau8814] Play_Idz Ampitude: 1000
132.297.911 I,[I2S1] I2S2, DAC1, Amp:1000, Phase:0
132.318.912 W,[SwDac] Mode:Sin, Freq 1000 Hz, Amp 1000, Phase 0 ms, OffSet 0
132.346.913 I,[SwDac] CalcArray:Dac:1,Freq:48 kHz,1 Period
132.369.914 I,[SwDac] SampleSize 2 Byte
132.385.915 I,[SwDac] SampleTime 20833 ns
132.403.916 I,[SwDac] Amplitude: 1000,Freq:1 kHz,Sample:2byte,Patt:XX
132.429.917 I,[SwDac] MaxTime 1ms
132.444.918 I,[SwDac] SampleCnt 48
132.459.919 I,[SwDac] SamplerMode SIN
132.507.920 I,[SwDac] RecReady
132.522.921 I,[I2S] Write I2S_2_Words:48
132.539.922 W,[I2S] I2S2_Set,Role:MasterIx
132.557.923 W,[I2S] Set_I2S2,Role:MasterIx
132.575.924 W,[I2S] I2S_2_SampleRate:48000 Hz,RxBuff:600 Sample,BusRole:MasterTx,D
132.621.925 W,[GPIO] PB15,I2S2_SD,Dir:Out,Mode:ALT1,Mux:5,LL:H,Pull:Air,Pin:0,Ld:0,
132.651.926 I,[GPIO] B_ClkOn
132.665.927 I,[GPIO] 3_ClkOn
132.679.928 W,[I2S] IntOn
132.691.929 I,[I2S] I2S2_PlayStarted...
132.760.930 I,[Nau8814] I2sPlayOk
132.823.931 I,[Nau8814] PlayGenOk
140.388.932 W,[Nau8814] Listen:1,Dur:1000 ms
140.464.933 W,[I2S] Listen:2,Dur:1000 ms
140.538.934 I,[I2S] SampleTime:20.833u
140.606.935 I,[I2S] RecDuration:6.250ms
140.673.936 I,[I2S] Parts:160=160
```

Рис. 6.3: У каждой строчки есть префикс указывающий какому компоненту она принадлежит

6.7 Массив команд для CLI

В каждой нормальной взрослой прошивке есть UART-CLI. Для отладки очень полезна UART-CLI. Функции CLI тоже складируем штабелями в массив структур. Подробнее про это можно почитать в тексте: Почему Нам Нужен UART-Shell?

Листинг 6.6: Массив команд для CLI

```
#define CLI_CMD(LONG_CMD, SHORT_CMD, FUNC)      \
{ .short_name = SHORT_CMD,           \
.long_name = LONG_CMD,           \
.handler = FUNC }

bool nau8814_i2c_ping_command(int32_t argc, char* argv[]);  

bool nau8814_reg_map_command(int32_t argc, char* argv[]);

#define NAU8814_COMMANDS          \
NAU8814_DAC_COMMANDS          \
NAU8814_ADC_COMMANDS          \
CLI_CMD("nau8814_ping", "nap", nau8814_i2c_ping_command),  

\  

CLI_CMD("nau8814_map", "nrm", nau8814_reg_map_command),  

\

#define CLI_COMMANDS            \
ASICS_COMMANDS          \
APPLICATIONS_COMMANDS          \
CONTROL_COMMANDS          \
CONNECTIVITY_COMMANDS          \
COMPUTING_COMMANDS          \
MCAL_COMMANDS          \
MULTIMEDIA_COMMANDS          \
PROTOTYPE_COMMANDS          \
STORAGE_COMMANDS          \
SENSITIVITY_COMMANDS

const CliCmdInfo_t CliCommands[] = {CLI_COMMANDS};
```

6.8 Массив функций-модульных тестов

Прошивка может из CLI вызывать модульные тесты, которые есть у неё на борту. Список модульных тестов это тоже массив структур, где каждая содержит указатель на функцию с тестом и название самого теста.

Листинг 6.7: Массив функций-модульных тестов

```
bool test_c_types(void) {
    LOG_INFO(TEST, "%s()..", __FUNCTION__);
    bool res = true;

    EXPECT_EQ(4, sizeof(long));
```

```

EXPECT_EQ(4, sizeof(1UL));
EXPECT_EQ(4, sizeof(1L));
EXPECT_EQ(4, sizeof(size_t));
EXPECT_EQ(4, sizeof(1l));

EXPECT_EQ(4, sizeof(1));
EXPECT_EQ(4, sizeof(-1));
EXPECT_EQ(4, sizeof(0b1));
EXPECT_EQ(4, sizeof(1U));
EXPECT_EQ(4, sizeof(1u));
EXPECT_EQ(4, sizeof(1.f));

LOG_INFO(TEST, "%s() Ok", __FUNCTION__);
return res;
}

#define TEST_SUIT_SW \
{ "array_init", test_array_init}, \
{ "bit_fields", test_bit_fields}, \
{ "c_types", test_c_types}, \
{ "memset", test_memset}, \
{ "memcpy", test_memcpy}, \
{ "bit_shift", test_bit_shift}, \
{ "int_overflow", test_int_overflow}, \
{ "sprintf_minus", test_sprintf_minus}, \
{ "endian", test_endian}, \

/* Compile time assemble array */
const UnitTestHandle_t TestArray[] = {
#endif HAS_SW_TESTS
    TEST_SUIT_SW
#endif /*HAS_SW_TESTS*/

#ifndef HAS_HW_TESTS
    TEST_SUIT_HW
#endif /*HAS_HW_TESTS*/
};

};

```

6.9 Массив функций потоков для RTOS

Если ваша прошивка работает какой-нибудь RTOS, то надо создать массив структур, которые будут содержать указатели на функции потоков, размер стека и прио-

36 ГЛАВА 6. АРХИТЕКТУРА ХОРОШЕГО КОДА ПРОШИВКИ (МАССИВ-НАШЕ ВСЁ)

ритет для каждой задачи аргументы к потоку и прочее. И так для каждой задачи. Очевидно, что если потоков больше чем два, то имеет смысл сделать массив структур с конфигами для каждого потока.

Вот как тут.

Листинг 6.8: Массив функций потоков для RTOS

```
#include "FreeRTOSConfig.h"

#include "free_rtos_drv.h"
#include "data_utils.h"
#ifndef HAS_KEEPASS
#include "keepass.h"
#endif /*HAS_KEEPASS*/

const RtosTaskConfig_t RtosTaskConfig[] = {
    { .num=1, .TaskCode=bare_bone,
        .name="BareBone",
        .stack_depth_byte=2048,
        .priority=PRIOITY_LOW,
        .valid=true },
    { .num=2,
        .TaskCode=default_task,
        .name="DefTask",
        .stack_depth_byte=256,
        .priority=PRIOITY_LOW,
        .valid=true },
#ifndef HAS_KEEPASS
    { .num=3,
        .TaskCode=keepass_proc_task,
        .name="KeePass",
        .stack_depth_byte=1024,
        .priority=PRIOITY_LOW,
        .valid=true },
#endif /*HAS_KEEPASS*/
};

RtosTaskHandle_t RtosTaskInstance[] = {
    { .num=1, .valid=true },
    { .num=2, .valid=true },
#ifndef HAS_KEEPASS
    { .num=3, .valid=true },
#endif
};
```

```

uint32_t rtos_task_get_cnt(void){
    uint32_t cnt = 0 ;
    uint32_t cnt1 = 0 ;
    uint32_t cnt2 = 0 ;
    cnt1 = ARRAY_SIZE(RtosTaskConfig) ;
    cnt2 = ARRAY_SIZE(RtosTaskInstance) ;
    if (cnt1==cnt2) {
        cnt = cnt1 ;
    }
    return cnt ;
}

```

Таким образом вы будете помнить про все потоки в данной сборке.

6.10 Итоги

Подводя черту можно заменить, что в программировании микроконтроллеров массив это универсальная структура данных. Массив это фундаментальная структура данных. При добавлении в прошивку очередного программного компонента вы просто добавляете в каждый массив по одному элементу.

А теперь внимание.. Формирование этих всех массивов можно организовать на этапе отработки препроцессора! Да... Следите за руками... Переменные окружения вызывают нужные скрипты сборки. Скрипты сборки передают макросы препроцессора. Макросы препроцессора выбирает нужный код. Компилятор собирает только нужный код! Easy!

Благодаря тому что у вас каждая сущность хранится в массиве Вы можете также в RunTime проверять конфиги на наличие дубликатов, найти конфликты и прочее.

Можно и вовсе справедливо заметить, что любая программа как машинный код - это тоже не что иное как массив assembler инструкций в ROM памяти. А микропроцессор - это эдакая электрическая цепочка, которая просто исполняет одну инструкцию за другой из ROM, пока не достигнет конца массива инструкций. Вот как-то так...

В сухом остатке, благодаря организации всех программных сущностей в массивы у Вас прошивка, как кристалл растёт из одной исходной точки. У вас одна точка отсчета для техподдержки и одна точка отсчета для масштабирования всего проекта.

Надеюсь, что этот текст поможет другим программистам микроконтроллеров тоже эффективнее компоновать свои сборки.

6.11 Гиперссылки

1. NVRAM для микроконтроллеров
2. Почему Нам Нужен UART-Shell?

38 ГЛАВА 6. АРХИТЕКТУРА ХОРОШЕГО КОДА ПРОШИВКИ (МАССИВ-НАШЕ ВСЁ)

3. Архитектура Хорошо Поддерживаемого драйвера
4. Модульное Тестирование в Embedded
5. Диспетчер Задач для Микроконтроллера

Глава 7

Модульное Тестирование в Embedded

"Код без модульных тестов — Филькина грамота"

7.1 Пролог

Часто в РФ приходится слышать мнение, что в Firmware разработке якобы в принципе не может быть никакого модульного тестирования. Во всяких военных НИИ даже бытует расхожее мнение

Не нужны никакие тесты. Если программист хороший, то и код он пишет без ошибок.

Попробуем разобраться какие есть плюсы и минусы в модульном тестировании и понять надо оно или нет.

Что такое модульный тест? Это просто функция, которая вызывает другую функцию с известными константными параметрами. А потом проверяет результат. Это способ получить обратную связь от того кода, который был написан Software In The Loop (SIL). Модульные тесты должен писать прежде всего сам автор основного кода. Также весьма полезны непредвзятые тесты от человека со стороны.

7.2 Достоинства модульных тестов

Зачем могут быть нужны модульные тесты?

1. Прежде всего для контроля работоспособности функционала. Тут всё очевидно. Тест доказывает, что какой-то код работает.
2. Для безопасного перестроения программы (рефакторинга). Часто первый написанный код не самый понятный, переносимый и быстрый. Код просто минимально допустимо работает. При масштабировании оригиналный код однозначно придётся менять, упрощать. Модульные тесты дадут сигнал, если перестройка проекта вышла из-под контроля и что-то рассыпалось.

3. Тесты как способ документирования кода. Посмотрите на тест и вы увидите как заполнять прототип функции и вам не придётся писать doxygen для каждой функции или параграфы из комментариев.

Хороший С-код понятен без комментариев.

4. Модульные тесты служат критерием завершения работы на конкретном этапе. Разрабатываем код пока не пройдут тесты. Далее принимаемся за следующий программный компонент. Всё четко и понятно.
5. Существующие тесты помогут для контроля исполнения работы. Team Lead может написать тесты, а инженер-программист разработает программные компоненты для прохождения этих тестов.
6. Для снятия ответственности с программиста. Программисты должны быть сами заинтересованы в том, чтобы писать код с тестами. В этом случае они всегда смогут сказать:

Смотрите. Код, который я написал, прошел тесты позавчера. Значит я не причем в том, что сегодня прототип загорелся перед инвесторами

Если в организации не принято тестировать код, то в таких организациях как правило крайними делают именно программистов. Вам оно надо?

7. Для покрытия кода. Если есть тест для компонента, значит есть и покрытие кода в этом компоненте. При настроенном измерении покрытия кода можно при помощи модульных тестов выявлять лишний и недостижимый код.
8. Когда практикуется тестирование кода, то и код естественным образом получается структурируемый, модульный, простой, понятный и переносимый. Это один из любимых побочных эффектов модульных-тестов, модульные тесты убивают спагетти-код.

Напротив, когда тесты не пишутся, то код получается похож на спагетти: циклические функции по 5к строк, перемешанный аппаратно-зависимый и аппаратно-независимый код, куча магический циферок и прочее.

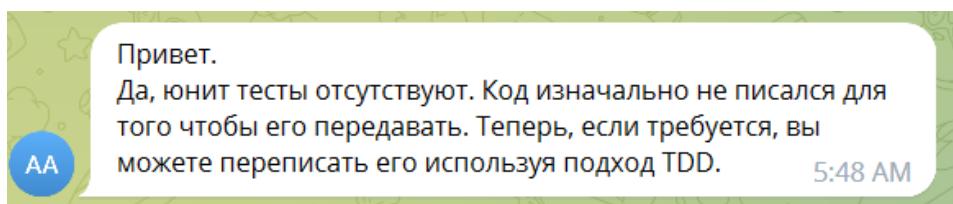


Рис. 7.1: Жалкое оправдание за галимый код

9. Модульные тесты дадут вам гарантию, что в другом окружении (на другой платформе (PowerPC, AVR, ARC, ARM Cortex-M, x86, RISC-V) и другом компиляторе

(IAR, CCS, GCC, GHS, Clang)) функционал будет вести тебя как и прежде и работать как и задумывалось изначально.

Без тестов при миграции на очередной микроконтроллер другого вендора или альтернативный компилятор языка С у вас будет просто не работать часть функционала и вы не будете понимать почему это происходит, далее вы и еще будете долго ловить гейзенбаги и шреденбаги в самый неподходящий момент и в самом неподходящем месте.

10. Модульные тесты полезны для регрессионного тестирования. Для гарантии, что новое изменение не поломало старый функционал. Так как все зависимости предугадать невозможно.
11. Разработка с тестированием придает процессу создания softvera положительный азарт. После коммита так и хочется открыть CI и проверить прошли ли все тесты. Если прошли, то наступает радость, эйфория и гордость за проделанную работу.

Напротив при программировании без тестирования разработчика преследует чувство тревоги, неуверенности. Такие программисты так и ждут, что в любой день придут ругать и критиковать его за найденную ошибку в программе.

12. Прогон модульных тестов ровным счетом ничего не стоит. Тесты можно прогонять хоть каждый день (например во время перерыва).

Напротив, ручное же тестирование программ по check-листву очень дорого так как это человеко-часы. Плюс при ручном тестировании в ход ступает целый калейдоскоп когнитивных искажений свойственный человекам.

13. Модульные тесты это очень удобная метрика для менеджера проекта. Если тесты проходят и их количество день ото дня возрастает то значит что всё идет хорошо.
14. Если код покрыть модульными тестами, то в пошаговой отладке нужда как таковая отпадает сама собой. Чтобы найти баг надо только прогнать скопом все тесты и отчет сам покажет, какая функция оказалась бажной.

7.3 Недостатки модульных тестов

1. Нужна память для хранения кода с тестами. Часто можно услышать высказывание:

Я не буду добавлять тесты в сборку, так как у меня мало Flash памяти в микроконтроллере

Разруливается эта ситуация очень просто. Если все тесты не помещаются в NorFlash память, то делим общее количество тестов на несколько сборок. Записываем тесты по очереди на Target, прогоняем группы тестов и сохраняем их логи в отчет или генерируем CSV таблицу с полным отчётом. Всё это можно

легко сделать автоматически в том же CI/CD на основе бесплатного Jenkins. Но это при условии, что в прошивке у вас есть загрузчик и интерфейс командной строки Shell/CLI, чтобы заливать части софта и просить запустить тесты.

Или ещё проще. Берём микроконтроллер того же ядра ARM Cortex-M4, но с большим объёмом Flash памяти. Гоняем тесты на нем. Нарабатываем в нем корректный код. Как только тесты будут проходить, работающий код копаем в MCU с меньшим Flash.

Это как в атомной промышленности плутоний нарабатывают на стационарных физических реакторах с графитовым замедлителем. Затем плутоний извлекают из физического реактора, химическим образом отчищают, переплавляют и встраивают в ядерные заряды или в РИТЭГи для космических зондов, маяков и прочего.

2. Сам код тестов может содержать ошибку. Вот тут придется организовать инспекцию программ. Тесты надо писать так чтобы в них нечemu было ломаться.
3. Можно написать чрезмерное и избыточное количество тестов. Повторные тесты только с разными именами. Это реальная проблема. Для ликвидации этого по хорошему надо измерять покрытие кода. А это весьма высокоорганизованный процесс. Нужен программный инструментарий для измерения покрытия кода в RunTime прямо на Target(e). Как правило такие технологии платные (Testwell CTC++, LDRA).

Однако есть и второй более простой путь. Писать тесты исходя из технических требований (если они есть). Тут всё просто. Есть требование - будет тест. Нет требования - не будет теста.

Однако проблема этого метода в том, что в России часто ведут разработки без чётких требований к изделию. Без письменного технического задания. Так, поболтали и пошли с чем-то колупаться.

4. Модульные тесты не могут протестировать весь нужный функционал. Нужны еще интеграционные тесты. На эту тему есть множество мемов. Классический пример - это uTest для дверей в метро.

По отдельности они могут отлично открываться, но это не значит, что дверцы откроются одновременно в одну сторону.

7.4 Общие принципы модульного тестирования

Ок. Допустим, что пришли к выводу, что модульные тесты всё-таки нужны. Однако как же делать это пресловутое модульное тестирование?

1. Код отдельно тесты отдельно. Тесты и код разделять на разные программные компоненты. Распределять по разным папкам. Один и тот же тест тестирует разные версии своего компонента.



Рис. 7.2: Формально модульные тесты проходят

2. Каждый тест должен тестировать только что-то одно
3. Прежде чем начать чинить баг надо написать тест на этот баг. Это позволит отладить сам тест.
4. Тест должен быть полностью детерминированным. Алгоритм теста должен быть постоянным. Не стоит использовать в teste генератор случайных чисел. Иначе можно получить тест который, то будет проходить, то не будет.
5. Тест должен легко пониматься. Юнит тест должен быть простым как табуретка.
6. Тест должен быть коротким
7. У теста минимальные затраты на сопровождение

8. Тест должен проверять предельные случаи
9. Тесты должны быть интегрированы в цикл разработки
10. Тест должен легко запускаться. Например по команде из UART CLI.
11. Тест должен быть устойчив к рефакторингу
12. Тест проверяет только самые важные участки кода
13. Чинить тесты надо в первую очередь. После продолжать писать production код.
14. Тесты либо работают либо удалены.
15. Желательно чтобы тест писал не разработчик тестируемого компонента. Нужен непредвзятый взгляд. Например разработчик другого компонента может добавить часть своих тестов для компонента своего смежника.
16. Тесты составлять по принципу три А: Arrange, Act, Assert AAA
17. В модульных тестах не должно быть оператора if в явном виде
18. Модульный тест должен воспроизводится. Успешный тесты (зеленые) должны быть успешными при повторном запуске. Красные тесты на бажном коде должны постоянно падать. Результат модульного теста не должен зависеть от случайных величин таких как "угол Солнца над горизонтом или фаза Луны".
19. Любой предыдущий тест не должен ломать последующий тест. Даже если все тесты по отдельности проходят. То есть любая перестановка порядка исполнения модульных тестов должна проходить успешно.
20. Модульные тесты надо прогонять на Target устройстве. То есть прямо на микроконтроллере (см HIL). В естественной среде обитания. Запускать тесты можно по команде через UART-CLI или Shell при помощи Putty или TeraTerm

7.5 Автотесты

Модульные тесты и автотесты это, суть одно и то же. Мы по команде разом пускаем на исполнение сотни и сотни модульных тестов.

Дело в том что система тестирования как правило оказывается сложнее самого продукта.

1. Вы написали код для воспроизведения звука через микросхему аудиокодека SGTL5000XM MAX9860 или WM8731. Как это автоматически протестировать? Как проверить что звук в самом деле есть? А вот как. Надо воспроизвести синус (например на 2000 Hz), записать 50...100ms звука встроенным в этот же аудио кодек ADC, затем вычислить DFT, найти максимум, сверить максимум DFT с настройками воспроизведения. Если есть совпадение, то тест пройден. Иначе нет. В результате нет нужды в операторе чтобы подтверждать услышанный звук.

И затраты на разработку тестирование и отладку программных компонентов ADC, DFT окажутся в три-четыре раза больше, чем на разработку простецкого драйвера DAC.

Поэтому тут может оказаться лучше прибегнуть к покупке готового тестировочного оборудования, в данном примере какого-нибудь акустического спектроанализатора с UART интерфейсом.

2. Для автоматического тестирования копеечного графического монохромного дисплея SSD1306 нужна какая-то камера с видео аналитикой, чтобы распознать и классифицировать то тестовое изображение, которое мы воспроизвели. Можно, например, отрисовывать на дисплее SSD1306 QR-коды и распознавать их считывателем DataMatrix кодов с UART интерфейсом.

В связи с этим общее правило автоматического тестирования таково

Разработка системы авто тестов всегда дороже разработки продукта для которого она предназначена.

Если вы затратили на разработку продукта N рублей, то на разработку стенда авто тестов вы потратите $3N$ рублей. Тут вариантов нет. При этом разрабатывать систему авто тестов должны более квалифицированные инженеры и программисты, чем те кто разрабатывают сам продукт. Вот так...

7.6 Итоги

Плюсов у модульного тестирования много. Минусов мало и они решаемые. Как по мне модульные тесты на самом деле нужны всем: программистам, team lead(ам) и менеджерам.

Если в сорцах прошивки нет модульных тестов, то это Филькина грамота

Пишите код firmware с тестами.

7.7 Гиперссылки

1. Запускаем юнит тесты на микроконтроллере
2. Модульное тестирование для малых встраиваемых систем

Глава 8

Атрибуты Хорошего Загрузчика

"Если дом начинается с двери, то прошивка начинается с загрузчика."

8.1 Пролог

Поговорим о загрузчиках для микроконтроллерных проектов. Допустим у вас есть фитнес браслет, электро-самокат, робот пылесос, беспроводные наушники, или электронная зубная щетка и Вы хотите обновить прошивку загрузчиком. Какое же поведение должно быть у хорошего загрузчика?

8.2 Терминология

1. загрузчик - это отдельная прошивка, которая загружает другую прошивку. Обычно загрузчик стартует сразу после подачи электропитания перед пуском самого приложения. Это чисто системная часть кода.
2. боевая flash - диапазон flash памяти в котором исполняется приложение микроконтроллера.
3. временная flash - диапазон Flash памяти (on-chip или off-chip) в которую складируется новая прошивка
4. прошивка (firmware) - содержимое энергонезависимой памяти электронного устройства с микроконтроллером. В прошивке всегда есть код, а иногда ещё образ файловой системы NVRAM, конфиги процессора. Монолитная прошивка может содержать еще и загрузчик.
5. NVRAM - энергонезависимая память с произвольным доступом. По сути Key-Val-Мар(ка). В ней могут храниться любые бинарные данные, ассоциированные со своим ID(шником).

6. тыква / кирпич - электронное устройство с бракованной прошивкой, которое либо зависло либо постоянно без конца перезагружается. Такое устройство можно восстановить только программатором.
7. таблица векторов прерываний - это таблица адресов функций обработчиков прерываний. Первая колонка это номер прерывания, вторая колонка абсолютный адрес обработчика прерываний в on-chip NOR-Flash памяти. Обычно в этой таблице сотни записей. У каждого микроконтроллера она своя. В бинарном файле перечислена вторая колонка как массив uint32_t : — , — *ISRFlash*.
8. connectivity - всё что связано с интерфейсами и протоколами.

8.3 Достоинства загрузчика

1. Можно обновлять прошивку без программатора (обновление "в полях"). Среди программистов-микроконтроллеров есть даже мем что

Самая лучшая функция прошивки это возможность обновления прошивки.

2. Можно обновлять прошивку по любому интерфейсу: UART, BlueTooth, WiFi, LTE, CAN и прочее.
3. Когда есть загрузчик, то можно делать DevOps. Автоматически обновлять прошивки после сборки из репозитория.

8.4 Недостатки загрузчика

1. Надо выделить под загрузчик часть Flash памяти. Это порядка нескольких десятков килобайт ROM.
2. Устройство стартует чуть медленнее.

Главная задача хорошего загрузчика - это дать возможность обновлять прошивку и ни при каких обстоятельствах не позволить устройству превратиться в тыкву.

Какие программные компоненты обычно должны быть в загрузчике?

Программный компонент	Необходимость
Драйвер Flash памяти	обязательно
Драйвер UART	обязательно
NVRAM	обязательно
CRC	обязательно
CLI	желательно
Драйвер внешней Flash памяти	зависит от платформы
Драйвер SD карты	зависит от платформы
драйвер SPI-flash	зависит от платформы
поддержка Fat-FS	зависит от платформы

8.5 атрибуты хорошего загрузчика

Далее представлены атрибуты хорошего загрузчика. Эти правила написаны кровью! Можете просто сразу вставлять их в техническое задание на разработку встроенного программного обеспечения.

1. Саму физическую загрузку прошивки должен осуществлять не загрузчик, а как не парадоксально само приложение. Дело в том, что в приложении больше памяти и больше драйверов для разнообразных интерфейсов. Поэтому ничего не мешает 10BlueTooth, 30Затем принять конфиги из модулированного звука через аудиокодек, а настройки NVRAM получить от сканера QR кодов в драйвере видеокамеры. У приложений обычно и так есть поддержка очень богатого connectivity. Если бы вы пытались засунуть поддержку всех возможных интерфейсов и протоколов в загрузчик, то загрузчик был бы больше самого приложения! Поэтому закачкой данных должно заниматься именно приложение. Приложение как губка впитывает прошивку со всех сторон.
2. Загрузчик должен быть компактным в плане требуемого ROM. Если загрузчик маленький, то будет больше места для приложения и его бизнес логики, которая и создает основную ценность продукта.
3. Загрузчик должен быть однопоточной NoRTOS прошивкой. Так можно уменьшить *.bin(арх) и упростить код загрузчика. По факту загрузчику на UART многозадачность нужна как собаке бензобак. Если код простой, то и ломаться там будет не чему и техподдержка и отладка проще.
4. Загрузчик перед записью должен проверять контрольную сумму приложения. Если CRC32 не совпадает то такую прошивку лучше не прописывать. Правильная CRC это всего лишь гарантия, что прошивка как файл передалась корректно. Это не защита от чужеродного firmware.
5. Загрузчик должен уметь прошивать как минимум по UART. Когда всё сломается пере прошивка по UART окажется единственным спасением. Нет проводного интерфейса проще UART. В UART нечему ломаться. UART требует меньше всего NOR-Flash(a). Плюс для UART куча дешевых переходников USB-UART и бесплатного софта для serial портов типа Putty и TeraTerm.
6. Загрузчик должен проверять, что первое слово прошивки по нулевому адресу это реальный для данного микроконтроллера адрес RAM памяти. Дело в том, что в Cortex-M это указатель Stack Pointer прошивки. Если это не так, то эту прошивку загружать нельзя. Она всё равно зависнет тот час же.
7. Загрузчик должен проверять, что в бинарном файле прошивки действительные (валидные) адреса таблицы векторов прерывания. В Cortex-M это адрес +0x00000004 от начала прошивки в начале бинарного файла. Надо проверить, что там валидный ResetHandler. Что его адрес принадлежит Flash памяти.

8. Перед прыжком в приложение загрузчик должен отключить все прерывания. Иначе программа приложения зависнет, если в ней сработает прерывание для которого в приложении нет функции обработчика.
9. В загрузчике должна быть NVRAM. Это позволит передавать команды от приложения к загрузчику. Или сервер может прописать в NVRAM правильную контрольную сумму для того чтобы загрузчик мог рассчитать CRC и сверить с тем что прописал сервер в NVRAM. В случае несовпадения отказаться загружать подозрительную прошивку. Вот минимальный список переменных для управления загрузчиком

Переменная NVRAM

Начальный адрес по которому следует прописывать прошивку

Ожидаемая контрольная сумма прошивки

Команда загрузчику. Запустить прошивку, оставаясь в загрузчике, запустить без прове-

Длина прошивки в байтах

Счётчик числа запусков загрузчика (BootCnt)

Ключ шифрования

10. Перед прыжком в приложение отключить системный таймер, так как в приложении может быть RTOS. Если сработает прерывания по системному таймеру до инициализации планировщика, то приложение с RTOS зависнет.
11. Если это Cortex-M ядро, то перед прыжком в приложение надо указать ядру, где теперь будет новая таблица адресов обработчиков прерывания

Листинг 8.1: Указать начало таблицы прерываний

```
SCB->VTOR = app_start_address ;
```

12. Загрузчик может переназначить верхушку стека. Хотя это и так сделает StartUp код приложения до запуска main().

Листинг 8.2: Определить верхушку стека

```
__set_MSP(stack_top) ;
```

13. У загрузчика должна быть UART-CLI. Это позволит подключиться к консоли загрузчика и проверить диагностику, прописывать NVRAM. Протокол CLI - текстовый. Его понимает и человек и утилита. Через CLI можно даже прошивку обновить.
14. Если загрузчику не удалось записать прошивку из энергонезависимого Flash хранилища (SD-карта, off-chip SPI-flash или on-chip flash), то загрузчик должен написать про это красный текст в UART-CLI и перейти в режим ожидания прошивки по UART.
15. Загрузчик должен как-то проверить, что прошивка, которая поступила принадлежит именно нужному аккредитованному вендору, а не злоумышленнику. Поэтому

в прошивку надо добавить специальную константу по константному заданному адресу, чтобы загрузчик мог найти эту константу и в случае её совпадения с нужным значением прописать эту прошивку в боевую flash. Или можно оформить эту магическую константу по произвольному адресу просто добавив перед ней известную преамбулу. Тогда загрузчик может просканировать всю память приложения и найти константу по преамбуле.

16. Прошивка должна приходить в зашифрованном виде. В этом же зашифрованном виде она должна храниться в off-chip flash (SPI или SD). Прошивка должна расшифровываться по кусочкам прямо в загрузчике и после расшифровки записываться в боевую flash. Ключ шифрования брать из NVRAM.
17. Для дополнительной безопасности на электронной плате можно поставить внешний аппаратный сторожевой таймер (например этот TPS3828-33QDBVRQ1). Этот таймер сбрасывается через GPIO pin. Надо периодически подавать отрицательные перепады, чтобы плата не сбрасывалась. Оригинальная прошивка знает про этот pin. Если кто-то попытается записать неоригинальную прошивку, которая не догадывается о существовании внешнего аппаратного сторожевого таймера, то эта неоригинальная прошивка будет постоянно сбрасываться.
18. Instant firmware update (мгновенное обновление прошивки). Загрузчик должен уметь записывать и запускать принятую прошивку по любому смещению адреса Flash памяти. Это позволит сэкономить время на отчистку и запись прошивки в боевую flash память. Вместо удаления старой прошивки и записи на её место новой можно просто переключить боевую память на другой диапазон и тут же запустить на исполнение от туда код.
19. Когда стартует загрузчик или приложение прошивка должна увеличивать счётчик запусков BootCnt. Если счетчик запусков превысит число N (например N=5), то загрузчик/приложение прикажет сам себе остаться в загрузчике. Приложение же должно обнулять счетчик запусков BootCnt после успешной инициализации или, например, на 30й секунде своей работы. Это своего рода защита от тыквы (зависания в инициализации приложения). Если залили приложение, которое из-за исключения постоянно reset(ится) где-то в инициализации, то такое приложение после N reset(тов) автоматически свалится в загрузчик и можно будет спокойно записать по UART нормальную прошивку для ремонта.
20. Загрузчику не обязательно находится в начале Flash памяти. Загрузчик можно прописывать в самый последний сектор flash памяти, а приложение в начало Flash. Это позволит запускать приложение быстрее. Как загрузчик прыгает в приложение так и приложение может прыгать в загрузчик. Но тогда не будет работать пункт 19.
21. Сам загрузчик обычно записывают программатором по SWD или JTAG однако в приложении должна быть возможность записать другой загрузчик.

22. Исходя из соображений компактности в самом загрузчике должен быть только один интерфейс для обновления (DFU). Если гаджет - это автомобильный ECU, то интерфейс CAN, в остальных случаях часто самым компактным вариантом оказывается UART. Если в загрузчике вообще нет ни одного интерфейса, то появление кирпичей это вопрос буквально пары недель эксплуатации.
23. Загрузчик это не только ещё одна прошивка в репозитории. Для загрузчика нужна инфраструктура и экосистема. В самом простом виде это консольное Win приложение (FW Loader) под PC для отправки прошивки по serial COM порту. А для смуси-поколения надо сделать FW Loader с GUI-интерфейсом, потом загрузку из браузера Chrome, Opera, FireFox. Причем надо всё сделать под три операционки: Windows, Linux, Mac. Также нужно мобильное приложение для отправки прошивки из-под Android и iOS. И ещё нужен Web-сервер с авторизацией для поиска необновлённых электронных зубных щеток и раскатывания новых обновлений FW на них. Поэтому загрузчики это на самом деле очень-очень много работы.

8.6 Итоги

Как видите, разработка надежного универсального быстрого загрузчика это достаточно комплексная задача.

8.7 Гиперссылки

1. Удаленное обновление прошивки микроконтроллера
2. Безопасная и защищенная реализация бутлоадера
3. Микроконтроллер и Bootloader. Описание и принцип работы.
4. Использование загрузчика
5. OpenBLT
6. Загрузчик с шифрованием для STM32
7. Пишем загрузчик на Ассемблере и С. Часть 1
8. Пишем загрузчик на Ассемблере и С. Часть 2

Глава 9

Атрибут Хорошего С-кода

"Код надо писать единообразно, безобразно."

(Владимир Романов)

9.1 Пролог

Этот текст адресован когорте программистов на С(ях). Это не академические атрибуты из пыльных учебников, это скорее правила буравчика оформления сорцов, которые кристаллизовались на основе многолетней коммерческой разработки firmware. Некоторые приёмы случайно совпали с MISRA, некоторые с CERT-С. А остальное является результатом множества итераций инспекций программ и перестроек после реальных инцидентов. В общем тут представлен обогащенный концентрат полезных практик программирования на С(ях).

9.2 Фундаментальные правила оформления Си-кода

Что-то покажется очевидным, но, тем не менее, именно это очевидное почти все и игнорируют.

1. Все функции должны быть менее 45 строк. Так каждая функция сможет уместиться на одном экране. Это позволит легко анализировать алгоритм и управлять модульностью кода. Также множество мелких функций удобнее покрывать модульными тестами.
2. Не допускать всяческих магических чисел в коде. Это уничтожает читаемость кода. Все константы надо определять в перечисления заглавными буквами в отдельном файле для каждого программного компонента.
3. На все сборки должна быть одна общая кодовая база (общак, репа, копилка). Модификация в одном компоненте должна отражаться на всех сборках организации, использующих компонент (например алгоритмы CRC). Это позволит сэкономить время на создание новых проектов для новых программ.

4. Все .c файлы должны быть оснащены одноименным .h файлом. Так эффективнее переносить, анализировать и мигрировать проекты на очередные аппаратные платформы. И сразу понятно, где следует искать прототипы функций из *.c файлов.
5. Аппаратно-зависимый код должен быть отделен от аппаратно независимого кода по разным файлам и разным папкам. Так можно тестировать на другой архитектуре платформо-независимые функции и алгоритмы. Всякую математику, калькуляторы всяческих CRC(шек) и работу со строками.
6. Константы следует определять при помощи перечислений enum в большей степени, чем препроцессором. Так можно собрать константы из одной темы в одном месте и они не будут разбросаны по всему проекту.
7. Не вставлять функции внутрь if(). Коды возврата приходится анализировать пошаговым GDB отладчиком до проверки условия. Понимаете?

вот это очень плохо:

```
if (MmGet(ID_IPv4_ROLE, tmp, 1, &tmp_len) != MM_RET_CODE_OK) {
    return ERROR_CODE_HARDWARE_FAULT;
}
```

Надо писать код так, чтобы было возможно его проверять пошаговым gdb отладчиком. Поэтому каждое элементарное действие должно быть на одной строке. Вот так уже гораздо лучше.

```
int ret = MmGet(ID_IPv4_ROLE, tmp, 1, &tmp_len);
if (ret != MM_RET_CODE_OK) {
    return ERROR_CODE_HARDWARE_FAULT;
}
```

8. Использовать static функции везде, где только можно. Это повысит модульность.
9. Используй препроцессорный error для предупреждения о нарушении зависимостей между компонентами.

```
#ifndef ADC_DEP_H
#define ADC_DEP_H

#ifndef HAS_MCU
#error "+ HAS_MCU"
#endif

#ifndef HAS_ADC

```

```
#error "+ HAS_ADC"
#endif

#ifndef HAS_GPIO
#error "+ HAS_GPIO"
#endif

#endif /* ADC_DEP_H */
```

10. Если что-то можно проверить на этапе make файлов, то это надо проверить на этапе make файлов. Каждый компонент должен проверять, что подключены нужные зависимости. Это можно сделать через условные операторы make файлов.

```
$(info I2S_MK_INC=$(I2S_MK_INC))
ifeq ($(I2S_MK_INC),Y)
    I2S_MK_INC=Y

    I2S_DIR = $(WORKSPACE_LOC) bsp/bsp_stm32f4/i2s
    #@echo $(error I2S_DIR=$(I2S_DIR))

    INCDIR += -I$(I2S_DIR)
    OPT += -DHAS_I2S

    SOURCES_C += $(I2S_DIR)/i2s_drv.c

    ifeq ($(DIAG),Y)
        SOURCES_C += $(I2S_DIR)/i2s_diag.c
    endif

    ifeq ($(CLI),Y)
        ifeq ($(I2S_COMMANDS),Y)
            OPT += -DHAS_I2S_COMMANDS
            SOURCES_C += $(I2S_DIR)/i2s_commands.c
        endif
    endif
endif
```

11. Если что-то можно проверить на этапе препроцессора, то это надо проверить на этапе препроцессора. Каждый компонент должен проверять, что подключены нужные зависимости. Это можно сделать через макросы компонентов.
12. Если что-то можно проверить на этапе компиляции, то это надо проверить на этапе компиляции (static_assert(ы)). Например можно проверить, что в конфигурациях скорость UART не равна нулю. В RunTime не должно быть проверок,

которые можно произвести на этапе компиляции, препроцессора или make файлов.

13. Не дублировать конфиги. Каждый параметр должен конфигурироваться в одном месте программы. Если 2 структуры нуждаются в одинаковых конфигах, то это должно рассчитываться в run-time(e) исходя из главного корневого конфига.
14. Каждой set функции должна быть поставлена в соответствие get функция. И наоборот. Это позволит написать модульный тест для данного параметра.
15. Если переменная это физическая величина, то в суффиксе указывать размерность (timeout_ms). Это увеличивает понятность кода.
16. В хорошем Си-коде в принципе не должно быть комментариев. Никаких. Лучший комментарий к коду - это адекватные имена файлов, функций и названия переменных. Понимаете, сам язык Си это и есть комментарий. Да... Для компилятора. Чтобы gcc понял, как собрать *.bin(арх). А текстовый комментарий надо понимать, как информация в крайнем исключительном случае, а не как инфошум.
17. Все Си-функции должны всегда возвращать код ошибки. Минимум тип bool или числовой код ошибки. Так можно понять, где именно что-то пошло не так. Проще говоря, не должно быть функций, которые возвращают void. Функции void это, по факту, бомбы с часовым механизмом. В один день они отработают ошибочно, а вы об этом ничего даже не узнаете.
18. Для каждого программного компонента создавать несколько *.c *.h файлов: Это позволит ориентироваться в коде и управлять модульностью.
19. Если функция получает указатель, то пусть сразу проверяет на нуль значение указателя. Так прошивки не будут падать при получении нулевых указателей. Это повысит надежность кода. Вы же не знаете как и кто этот код будет испытывать. Хорошая функция всегда проверяет то, что ей дают.
20. Если есть конечный автомат, то добавить счетчик циклов. Так можно будет проверить, что автомат вообще вертится.
21. В идеале все переменные должны иметь разные имена. Так было бы очень удобно делать поиск по grep. Но тут надо искать компромисс с наглядностью.
22. У каждой функции должен быть только 1 return. Это позволит дописать какой-то функционал в конце, зная, что он точно вызовется.
23. Не использовать операторы >, >= Вместо них использовать <, <= просто поменяв местами аргументы там, где это нужно. Это позволит интуитивно проще анализировать логику по коду. Человеку ещё со времен школьной математики понятнее, когда то, что слева - то меньше, а то, что справа - то больше. Так как ось X стрелкой показывала вправо. Особенно удобно при проверке переменной

на принадлежность интервалу. Получается, что $>$ и \geq это вообще два бессмысленных оператора в языке C.

24. В проекте обязательно должны быть модульные тесты. Тесты это просто функции, которые вызывают другие функции в run-time. Это позволит сделать безболезненную перестройку кода, когда архитектура начнет скрипеть. Тесты можно вызывать как до запуска приложения, так и по команде из UART- CLI.
25. Избегайте бесконечных циклов while (1) при блокирующем ожидании чего-либо. Например ожидание прерывания по окончании отправки в UART. Прерывания могут и не произойти из-за сбоя. while (1) это просто капкан в программировании. Всегда должен быть предусмотрен аварийный механизм выхода по TimeOut(y) как тут.

```

bool UartSendWaitLI( uint8_t uart_num , uint8_t* tx_buffer , uint16_
    bool res = false ;
    // We send mainly from Stack . We need wait the end of transfer
    UartHandle_t* UartNode = UartGetNode(uart_num) ;
    if(UartNode && tx_buffer && length) {
        UartNode->uart_h->EVENTS_TXDRDY = 0 ;
        UartNode->uart_h->EVENTS_ENDTX = 0 ;

        UartNode->uart_h->TXD.PTR = (uint32_t)tx_buffer ;
        UartNode->uart_h->TXD.MAXCNT = length ;
        UartNode->uart_h->TASKS_STARTTX = 1 ;
        uint32_t start_ms = time_get_ms32() ;
        uint32_t cur_ms = time_get_ms32() ;
        uint32_t diff_ms = 0 ;
        while (!UartNode->uart_h->EVENTS_ENDTX) {
            cur_ms = time_get_ms32() ;
            diff_ms = cur_ms - start_ms ;
            if(UART_SEND_TIME_OUT_MS < diff_ms) {
                res = false ;
                break ;
            }
        }
        res = true ;
    }
    return res ;
}

```

26. Использовать макрофункции препроцессора для кодогенерации одинаковых функций или пишите кодогенераторы, если препроцессор запрещён MISRA(ой). Копипаста - причина программных ошибок №1.

27. Все высокоуровневые функции в конец .c файла. Это избавит от нужды указывать отдельно прототипы static функций. Например поэтому функции `xxx_init()` `xxx_proc()` должны быть вообще в самом конце файла. Если проводить аналогию из медицины, то это как центрифугирование крови. Си код тоже надо разделять на фракции!



Рис. 9.1: Даже у крови есть фракции

28. Скрывать область видимости локальных переменных по максимуму.
29. Если код не используется, то этот код не должен собираться. Это уменьшит размер артефактов. Уменьшит вероятность ошибок.
30. Давайте переменным осмысленные имена, чтобы было удобно grep(ать) по кодовой базе.
31. (optional) Если Вы в Си передаете что-то через указатель или возвращаете через указатель, то указываете направление движения данных приставками `in`, `io` или `out` и показываете это ключевым словом `const`.
- ```
bool ProcSomeData(const uint8_t * const in_buffer ,
 uint8_t* const out_buffer ,
 int len ,
 int * const out_len);
```
- Это позволит легче читать прототипы, не погружаясь глубоко в тело самой Си-функции.
32. Если в коде есть список чего-либо (прототипы функций, макросы, перечисления), то эти строки должны быть отсортированы по алфавиту. Если сложно сортировать вручную, то можно прибегнуть к помощи консольной утилиты `sort`. Это позволит сделать визуальный бинарный поиск и найти нужную строчку. Также при сравнении 2-х отсортированных файлов отличия будут минимальные.
33. Функции `CamelCase` переменные `snake_case`. Чисто ради наглядности.
34. Все `*.h` файлы снабжать защитой препроцессора от повторного включения. Это же касается `*.mk` файлов.

35. Сборка из Makefile(ов) является предпочтительнее чем сборка из GUI-IDE. Make позволяет по-полной управлять модульностью кодовой базы. Если вы собираете сорцы из Makefile, то вы можете инициировать сборки прямо из командной строки. А это значит, что процесс сборки можно автоматизировать. Прикреплять в Jenkins. А утром контролировать результаты сотен сборок, что отработали ночью. Производительность работы с Makefile выше.

В случае с IDE вам придется вручную водить мышку, чтобы стартонуть сборку. А если что-то случилось с версией IDE, то вы вообще не сможете запустить сборку. IDE это форма технологического диктата со стороны вендора IDE (IAR, KEIL). Они там будут решать кому можно, а кому нельзя собирать исходники. Вам оно надо?

36. Для синтаксического разбора регистров использовать объединения вкупе с битовыми

```
/* Table 15. IB2-ADDR: 10000010 */
typedef union {
 uint8_t reg_val;
 struct{
 uint8_t clipping_information:1;
 uint8_t output_offset_information:1;
 uint8_t input_offset_information:1;
 uint8_t fault_information:1;
 uint8_t temperature_warning_information: 3;
 uint8_t res:1;
 };
} Fda801RegIB2Addr_t;
```

Это позволит делать парсинг полей одной строчкой.

```
Fda801RegIB2Addr_t Reg;
Reg.reg_val = reg_val;
```

37. Соблюдать программную иерархичность. Низкоуровневый модуль не должен управлять (вызывать функции) более высокоуровневого модуля. UART не должен вызывать функции LOG. И компонент LOG не должен вызывать функции CLI. Управление должно быть направлено в сторону от более высокоуровневого компонента к более низкоуровневому компоненту. Например CLI->LOG->UART. Не наоборот.

38. Делать автоматическое форматирование отступов исходного кода. Подойдет например бесплатная утилита clang-format или GNUIndent. Это позволит делать простые выражения при поиске по коду утилитой grep. И будет минимальный diff при сравнении истории файлов. Придерживаться какого-нибудь одного стиля форматирования. Пусть будет "единообразно безобразно".

39. При сравнении переменных с константой константу ставьте слева от оператора `==`. Когда константа на первом месте, то компилятор выдаст ошибки присвоение к константе в случае опечатки
40. В каждом `if` всегда обрабатывать `else` вариант даже если `else` тривиальный. Это позволит предупредить многие осечки в программе.
41. Всегда инициализировать локальные переменные в стеке. Иначе там просто будут случайные значения, которые могут что-нибудь повредить.
42. Тесты и код разделять на разные компоненты. То есть код и тесты должны быть в разных папках. Включаться и отключаться одной строчкой в `make`-файле.
43. Собирать артефакты как минимум двумя компиляторами (`CCS + IAR`) или (`GCC+GHS`) или (`Clang+GCC`) и тп. Если первый компилятор пропустил ошибку, то второй компилятор может и найти ошибку.
44. Прогонять кодовую базу через статический анализатор. Хотя бы бесплатный `CppCheck`. Может, найдется очередная загвоздка.
45. За `if`, `for ...` всегда должны быть `.`. Весьма вероятно, что условие будет пополнено операторами.
46. `Include(ы)` всегда должны только содержать только название конечного файла. `Include(ы)` не должны содержать часть пути к файлу.

Листинг 9.1: Так нельзя

```
#include "C:/code_base/trunk/utils/data_types/cyclical_buff/cycli
```

Вот так гораздо лучше

Листинг 9.2: Так нужно

```
#include "cyclical_buff.h"
```

Таким образом вы сможете спокойно перетасовывать файлы в папках проекта и проект по-прежнему будет собираться.

И визуально это намного легче читать, поддерживать. А сами пути к заголовочным файлам надо передавать через опцию `-I` компилятора через `make` скрипты. В Си-коде же пути в подключаемом файле должны быть максимально короткими.

47. Если вы определяете глобальную структуру, то указывайте имя полей. Так это продолжит работать, если кто-нибудь вдруг решится поменять порядок полей в определении структуре.

неправильно

## Листинг 9.3: Плохо

```
const LedConfig_t LedConfig[LED_CNT] = {
 {LED_GREEN_ID, 1000, 0, 60, PORT_C, 13, "Green", LED_MODE_PWM},
};
```

правильно

## Листинг 9.4: Отлично

```
const LedConfig_t LedConfig[LED_CNT] = {
 {.num=LED_GREEN_ID,
 .period_ms=1000,
 .phase_ms=0,
 .duty=60,
 .pad.port=PORT_C,
 .pad.pin=13,
 .name="Green",
 .mode=LED_MODE_PWM,
 .valid=true},
};
```

48. Когда Switch разрастается больше 45 строк, то надо делать статические LookUpTable(лы) (LUTы). Элементом LUT(а) может являться указатель на функцию до 45 строк.

```
static const AdcChannelInfo_t AdcChannelInfoLut[] = {
 {.code = ADC_CHANNEL_0, .adc_channel = ADC_CHAN_0},
 {.code = ADC_CHANNEL_1, .adc_channel = ADC_CHAN_1},
 ...
 {.code = ADC_CHANNEL_999, .adc_channel = ADC_CHAN_999},
};

uint32_t AdcChannel2HalChan(AdcChannel_t adc_channel) {
 uint32_t code = 0;
 uint32_t i = 0;
 for(i = 0; i < ARRAY_SIZE(AdcChannelInfoLut); i++) {
 if(AdcChannelInfoLut[i].adc_channel == adc_channel) {
 code = AdcChannelInfoLut[i].code;
 break;
 }
 }
 return code;
}
```

49. Не делать сложно то, что можно сделать просто. Дело в том что вероятность поломки программы возрастает с увеличением её сложности. Это универсальный принцип и работает и в механике и в электронике.
50. В проекте не должно быть бесхозных функций, которые никто так или иначе не вызывает из `main()` во всей кодовой базе. Надо писать код по мере надобности. Код как кристалл должен произрастать из одной точки кристаллизации. Надо собирать Си-код вот с этими опциями компилятора.

`OPT += -Werror=unused-but-set-variable`

`OPT += -Werror=unused-variable`

`OPT += -Werror=unused-function`

### 9.3 Аномалии оформления сорцов из реальной жизни (War Stories)

1. Магические циферки на каждой строчке
2. Переиспользование глобальных переменных
3. Функции от 1000 до 5000 строк и даже более
4. Доступ к регистрам микроконтроллера в каждом файле проекта
5. Повторяемость кода
6. Очевидные комментарии
7. "заборы" из комментариев (например ////////////////)
8. Бесхозные функции, которые никто не вызывает во всём проекте.
9. \*.c файлы оснащены разноименными \*.h файлами.
10. Статические прототипы функций в \*.h файлах.
11. Макросы маленькими буквами
12. Код без модульных тестов
13. Код как в миксере перемешанный с модульными тестами
14. Вставка препроцессором `include` \*.c файлов. (Это просто полнейшая школота).
15. Вся прошивка в одном `main.c` файле 75000 строк аж подвисает текстовый редактор.
16. Длинные пути к файлам в `includ(ax)` (начиная с корня диска C:)
17. С-функции с именами литературных персонажей.

## 9.4 Финальная структура добротного программного компонента

Для каждого программного компонента SWC надо создавать несколько файлов разных типов: \*.c ; \*.h; \*.mk; \*.cmake и пр. Этот список представлен в порядке возрастания уровня вашей экспертизы как программиста.

1. \*.h файл прототипов функций самого SWC.
2. \*.c файл самого SWC. Функционал и бизнес логика.
3. test\_xxx.h файл прототипов функций с модульными тестами.
4. test\_xxx.c файл с модульными тестами.
5. xxx.mk файл скрип сборки для GNU make
6. xxx\_const.h файл с определением констант для данного SWC.
7. xxx\_types.h файл с определением типов данных для данного SWC.
8. xxx\_nvram.h файл с определением энергонезависимых параметров NVRAM для данного программного компонента (SWC)
9. xxx\_commands.h файл прототипов функций команд CLI.
10. xxx\_commands.c файл команд CLI для данного SWC.
11. config\_xxx.h файл с определением конфигурационной структуры по умолчанию.
12. config\_xxx.c файл с массивом конфигурационных структур по умолчанию.
13. xxx\_diag.h файл прототипов функций диагностики.
14. xxx\_diag.c файл с определением функций диагностики.
15. xxx\_isr.c файл код обработчика прерываний
16. xxx\_isr.h файл код обработчика прерываний
17. xxx\_preconfig.mk файл для установки нужных переменных окружения зависимостей для данного SWC
18. xxx\_dep.h файл проверки зависимостей на фазе препроцессора.
19. xxx.gvi файл перечень зафиксимостей для graphviz. Это позволит вам потом автоматически составить граф зависимостей и вычислить правильную последовательность инициализации всей программы.
20. xxx.cmake файл скрип сборки для CMake

21. Kconfig файл конфигурации для системы KConfig. Это на тот случай, если вы вдруг захотите вклитить свой код в Zephyr Project или в upstream ядра Linux.

Как видите, список получился будь здоров... Это позволит проще ориентироваться в коде и управлять модульностью. Зато именно такое разбиение SWC позволит вам добиться максимальной переносимости программного компонента между аппаратными платформами с разными ресурсами: AVR, ARC, ARM, xTensia, Power PC или x86.

## 9.5 Итог

Общая канва такова, что надо писать C-код по таким понятиям как простота, тестопригодность, поддерживаемость, ремонтопригодность, модульность, согласованность (принцип наименьшего удивления), масштабируемость, иерархичность, конфигурируемость, изоляция компонентов и переносимость.

Если вы программируете на C(ях) микроконтроллеры, то можно ещё добавить внимание на то, что надо делать UART-CLI для отладки и верификации прошивки в run-time(е), добавлять встроенные модульные тесты, собирать из самописных Makefile(ов) и всё у вас будет очень даже модульно, масштабируемо и гибко.

1. Сайт с пояснением назначения функций в Си
2. Архитектура Хорошо Драйвера
3. Архитектура хорошего программного компонента
4. Пиши на С как джентльмен
5. The Power of Ten–Rules for Developing Safety Critical Code

# Глава 10

## Что Должно Быть в Каждом FirmWare Репозитории

“У нас аккуратный, чистый репозиторий и моя задача, чтобы он таким и оставался.”

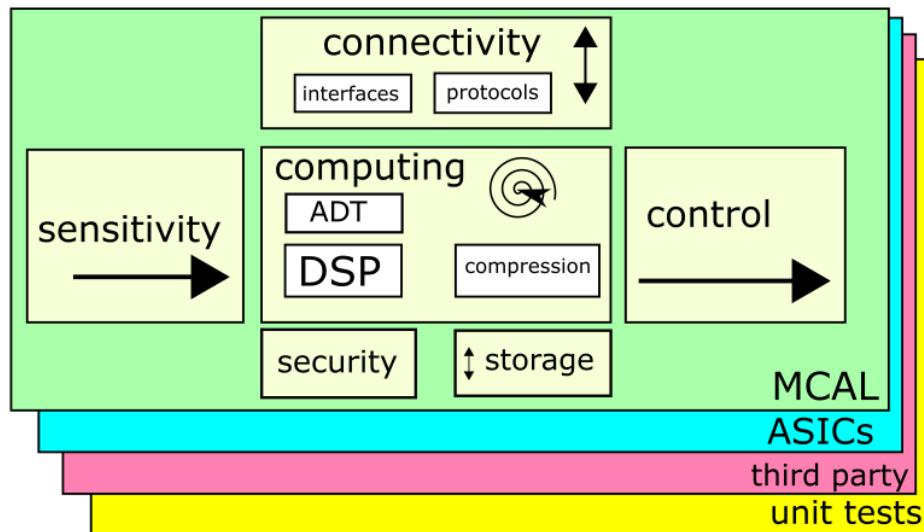


Рис. 10.1: Структура хорошего репозитория

### 10.1 Пролог

В этом тексте я предлагаю порассуждать, что же должно быть в нормальном взрослом firmware репозитории (репе/общаке) безотносительно к конкретному проекту. То есть самые универсальные и переносимые программные компоненты (кирпичики/SubSystems), которые могут пригодиться в практически любой сборке.

## 10.2 Компонент для поддержки каждого конкретного процессорного ядра (Core)

Для каждого конкретного процессорного ядра (Cortex-M3/Cortex-M33/PowerPC/Tensilica Xtensa и пр.) должна быть папка с сорцами описания этого ядра. Это функции вкл/откл прерываний, проверка прерывание ли сейчас, перезагрузка ядра, печать таблицы прерываний, управление системным таймером и прочее.

## 10.3 Компонент для поддержки каждого конкретного микроконтроллера (microcontroller)

Для каждого конкретного MCU должна быть папка с описанием этого MCU. Это прежде всего перечень пинов, описание ядра, памяти и доступной периферии.

## 10.4 Компонент для поддержки каждой конкретной платы (platform code,boards)

Для каждой платы должна быть создана отдельная папка в репозитории. Там должны быть исходники конфигурации, которые говорят сколько в этой конкретной плате кнопок, LED(ов), SPI, I2C, SDIO. Какие там есть драйверы чипов и прочее.

## 10.5 Отдельная папка для каждой конкретной сборки (projects)

В репозитории должна быть папка projects. В ней должны лежать корневые директории для каждого отдельного проекта. Все сборки должны делить общую кодовую базу. Поэтому в папке с проектом (projects->board\_name\_bootloader\_m) в принципе не должно быть \*.c файлов. Максимум один Makefile, парочка конфигов в \*.h, и ещё несколько скриптов: config.mk, cli\_config.mk, diag\_config.mk.

## 10.6 Абстрактные структуры данных (ADT)

В репозитории должна быть реализация самых базовых абстрактных структур данных. Вот они перед вами.

1. Программный компонент работы с массивами Array
2. Циклический массив

Циклический массив определено понадобится для реализации цифровых фильтров, энергонезависимых журналов.

### 3. Универсальная FIFO (очередь)

В любом Firmware проекте точно понадобится надежная FIFO(шка). Например, FIFO нужна для предварительного хранения данных приходящих из UART Rx, для хранения кнопок с HID клавиатуры, для хранения принятых пакетов из LoRa или TCP. FIFO нужна для того же CLI. Причем реализация FIFOшки должна подстраиваться под любой тип данных: char, uint16\_t, array[N].

### 4. HashSet.

HashSet также понадобится для разбора XML как и LIFO.

### 5. Универсальная LIFO (стек)

Если ваша прошивка парсит XML файл с конфигами на SD карте, то вам точно понадобится реализация LIFO.

### 6. Связанный список

Linked List в прошивке может вам понадобится для организации списка команд CLI.

### 7. Set.

### 8. Синтаксический разбор строчек (String).

При реализации CLI нужны функции для синтаксического разбора чисел всех типов данных из текстовых ASCII строк. Поэтому для каждого типа данных (float, int32\_t, string, hexArray) следует реализовать парсеры типов данных. Своего рода интерпретаторы чисел. Это очень большая часть кода порядка 2k строк на чистом Си.

## 10.7 Загрузчик (BootLoader)

Загрузчик нужен для обновления прошивки без специализированного оборудования типа программаторов. Это очень важно для пользователей. Загрузчик обязательно должен уметь обновлять по UART так как драйвер UART занимает мизерное количество On-Chip NorFlash памяти. Остальные интерфейсы обновления по обстоятельствам или поддержка этих тяжеловесных интерфейсов (CAN, USB, LoRa, TCP, WiFi) должна быть в приложении так как там больше Flash памяти. Задача минимального загрузчика это найти в NorFlash приложение и прыгнуть в него. А если приложения нет, то просить прошивку в UART, чтобы совсем в тыкву не превращаться. Тем более, что переходники с USB-UART (например на основе чипа CP2102) самые дешевые из всех возможных интерфейсов. Всего порядка 6 EUR.

## 10.8 MicroController Abstraction Layer (MCAL)

MicroController Abstraction Layer для каждого семейства микроконтроллеров. Это пожалуй самая большая папка в репозитории. Тут будет очень много кода. Однако

он весь однообразный.

Кодовая база должна быть универсальной так в AUTOSAR или Zephyr, однако для каждого семейства микроконтроллеров будет своя уникальная реализация MCAL.

В MCAL надо прописать реализации универсального переносимого крос платформенного API, на основе которого вы и будете строить своё микроконтроллерное приложение. MCAL код нужен, например, для управления GPIO, прописи on-chip FLASH, запуска аппаратных таймеров, пульсации пакетов в I2C,SPI,I2S,UART, вычитывания ADC и прочего. Если вендор поставляет свой HAL, то вы должны написать Binding(и) для этого HAL чтобы вызывать его из универсальных функций MCAL. Понимаете?

Что обычно лежит в папке MCAL?

1. ADC
2. CAN
3. Clock
4. DAC
5. DMA
6. Ext interrupts
7. FLASH
8. GPIO
9. I2C
10. I2S
11. Input capture
12. Interrupts
13. IO Mux
14. NVS
15. PDM
16. PWM
17. RTC
18. SDIO
19. SPI
20. SWD

21. Timer
22. UART
23. USB
24. WatchDog

Это всё то что имеет аппаратную реализацицию внутри MCU. Для пуска и управления аппаратными подсистемами микроконтроллера надо создавать в репозитории отдельную папку для каждой подсистемы. Причем прототипы функций у всех микроконтроллеров должны быть одинаковые. Разное только тело функции.

Для каждого семейства MCU будет отдельная папка с реализацией binding(ов) к MCAL

1. mcal\_common В папке MCAL common лежат папки MCAL только с прототипами функций и общий код. Много weak функций.
2. mcal\_at32f4
3. mcal\_cc26x2
4. mcal\_esp32
5. mcal\_nrf5340
6. mcal\_stm32F4
7. mcal\_spl
8. mcal\_opencm3
9. mcal\_zephyr
10. mcal\_milandr
11. mcal\_amur
12. mcal\_embox
13. mcal\_autozar
14. mcal\_spc58nn
15. mcal\_some\_company\_internal\_hal
16. и так далее

MCAL тут выступает как Proxy (доверенный уполномоченны код) между вашим приложением и кодом от производителя микроконтроллера. Это необходимо, чтобы не менять код от вендора и не брать на себя ответственность за чужие кояски. Все нестыковки разрулит ваш MCAL код.

## 10.9 Драйверы периферийных чипов (ASICs)

Драйверы периферийных чипов с управлением по I2C/SPI/MDIO. В каждой электронной плате есть множество умных навороченных чипов с конфигурацией по I2C/SPI/MDIO, например DS3231. Я видел ASIC чип у которого 936x 32-битных регистров конфигурации. В репозитории должна быть папка "asics" для складирования драйвов для каждого такого чипа и отдельная папка с модульными тестами для чипа. Напишите в комментариях драйверы каких умных SPI/I2C/MDIO чипов писали Вы.

## 10.10 Папка со всем оставшимся (miscellaneous)

В эту папку надо складывать те компоненты, которые сложно классифицировать во что-то конкретное. Функций Base64 кодека, функции реверса порядка слов/байт/-бит, функции swap для всех типов данных, сравнение float(ов) и прочее. Всё это как правило пригождается в разработке firmware от проекта к проекту. В идеале папка miscellaneous должна быть пустая.

## 10.11 Чужой код (Third Party )

Наверняка в вашей прошивке будет код от других Open Source проектов. Это может быть FreeRTOS, LwIP, FatFs. Этот код тоже надо подвергнуть версионному контролю. Однако ни в коем случае не надо этот код менять как бы плохо но бы не был написан. Иначе вы станете владельцем этого кода и понесете за него ответственность. Очень важно также не переформатировать этот Third party код, как как это позволит делать сравнение используемого кода с новой его версией от официального вендора.

## 10.12 sensitivity

Sensitivity - это всё что связано с вводом информации в программу. В репозитории должна быть прям отдельная папка sensitivity.

### 1. Программный Таймер

Программный таймер это способ из одного аппаратного таймера сделать сотни программных таймеров. Очень полезно, если все аппаратные таймеры исчерпаны или их настройка на неизвестном SoC(e) очень трудна и непонятна. Хороший программный таймер позволяет настраивать период и фазу счета и полностью конфигурируется в run-time из CLI.

### 2. Драйвер подавление дребезга контактов

Часто в электронных платах есть тактовые кнопки и герконы. Они при замыкании создают дребезг. Поэтому в репозитории должен быть драйвер кнопки, который подавляет дребезг контактов,

умеет отличать короткое нажатие от длинного, двойного. Всё это пригодится при отладке.

3. Драйвер опроса кнопок
4. Универсальный API для обобщенного акселерометра
5. Универсальный API для обобщенного датчика света
6. Универсальный API для FM tuner-а
7. Универсальный API для RTC
8. Программный компонент измерения точного времени
9. Программный компонент контроля качества пайки
10. и тому подобное

## 10.13 computing

Рассмотрим папку computing. В папке computing следует складировать все компоненты которые так или иначе связаны с вычислением чего-либо. Каждая прошивка так или иначе что-то считает. Поэтому в репозитории должна быть папка computing. Немного линейной алгебры и численных методов. Еще может понадобится целочисленное возведение в степень и вычисление квадратного корня. Бывает надо 7-битное знаковое число или 13-битное знаковое число преобразовать в стандартный  $\text{int32}_t$ .

1. триггер Шмитта. Это звено для реализации гистерезиса. Очень полезно для подавления аналогового шума с датчиков при релейном управлении чем-либо.
2. расчет делителя непряжения
3. расчет аналогового фильтра
4. расчет предделителей аппаратных таймеров
5. расчет семплов delta sigma модулятора
6. реализация методов DSP обработки
7. решатели уравнений
8. астрономические вычислители
9. генераторы QR кодов
10. SHA256
11. Топологическая сортировка

12. SDR обработка чего-либо

13. обработчики интервалов

14. арифметика над GNSS координатами. Она же сферическая геометрия Римана.

15. Компонент limiter Это функция, которая следит за тем, чтобы конкретная функция не вызывалась чаще, чем установлено в параметрах. Очень полезно при реализации примитивов RTOS. Можно прямо в суперцикле пропускать все вызовы через limiter и таким образом выставлять период срабатывания каждой функции.

16. Векторная алгебра В системах автоматического управления на MCU очень нужна функция для вычисления угла между векторами (с учетом знака, естественно). А это сразу подтягивает реализацию скалярного и векторного умножения.

17. Вычислители контрольных сумм CRC При реализации протоколов понадобится целая куча разнообразных контрольных сумм (CRC8, CRC16, CRC24, CRC32). Также CRC нужны для энергонезависимых файловых систем. Сюда же относятся алгоритмы Hash функций (например SHA256) и цифровых подписей.

18. Программная реализация календаря Если в проекте предусмотрены часы реального времени, на плате есть кварц и батарейка, а аппаратные часы внутри MCU могут только увеличивать каждую секунду счетчик, то придется найти и протестировать надежный программный календарь. Даешь количество секунд, получаешь дату и время и наоборот.

19. Компонент компрессии-декомпрессии. Может случиться, что битовая скорость трансивера очень низкая (LoRa, BLE), а данных надо передавать много. В этом случае может спасти сжатие или компрессия данных (например кодек LC3, SBC или GZip) и декомпрессия на стороне приемника. В результате должен быть надежный и протестированный программный компонент кодек сжатия данных.

20. Direct digital synthesis (DDS)

При работе с ЦАП/DAC(ами) пригодится вычисление семпла синуса, семпла PWM, Chirp(a), Saw(a), Fence(a).

21. Цифровые фильтры. Цифровые фильтры (ЦФ) нужны не только для обработки аудиопотока и радарных данных. ЦФ понадобится для реализации подавления дребезга контактов, для вычисления направлений движения RFID маяков и прочего.

Всё это добро сохраняем в папку computing. Какую математику приходилось реализовывать в микроконтроллерах вам?

## 10.14 Connectivity

Connectivity, в свою очередь, можно разбить на три папки внутри: log, interfaces и protocols.

### 1. Компонент управления логированием (log)

Должен быть программный компонент для управления логированием в UART (или на SD карту). Раскраска логов в TeraTerm или Putty, выбор или отмена TimeStamp выбор отмена логирования для конкретного компонента. Это поможет анализировать лог загрузки устройства и следить за событиями внутри прошивки в run-time-е, просто глядя в UART. Обычно такой программный компонент называют log.

### 2. interfaces

В папке interfaces надо содержать программные компоненты, которые реализуют всяческие сетевые интерфейсы.

- (a) CAN
- (b) DTMF
- (c) BPSK
- (d) 1-WIRE
- (e) RS485
- (f) LoRa
- (g) RS232
- (h) UWB
- (i) Sockets

### 3. protocols

- (a) Синтаксический разбор строчек При реализации CLI нужны функции для синтаксического разбора чисел всех типов данных из текстовых ASCII строк. Поэтому для каждого типа данных (float, int32\_t, string, hexArray) следует реализовать парсеры типов данных. Своего рода интерпретаторы чисел. Это очень большая часть кода порядка 2k строк.
- (b) Command Line Interface (CLI) CLI (Command Line Interface) он же Shell он же консоль он же TUI (Text User Interface)  
CLI(шка) обязательный компонент для отладки и тестирования прошивок. С этим компонентом можно общаться с устройством на человеческом языке. Многие успешные продукты обладают CLI (российский Flipper-Zero, китайский NanoVNA V2, швейцарский U-Blox ODIN C099-F9P, канадский Bluetooth модуль BC127 от Sierra Wireless).

- (c) base64
- (d) iso-tp
- (e) nmea
- (f) rds
- (g) RTCM3
- (h) UDS
- (i) UBX
- (j) DS-TWR

## 10.15 Storage

1. NVRAM: или энергонезависимая Key-Value-Map(ка) В любой крупной Си программе накопится очень много параметров и констант, которые придется варировать, настраивать, калибровать. Чтобы не пере собирать и пере прошивать каждый раз гаджет, надо реализовать энергонезависимый журнал прямо на Target(e). Вот вам War Story. Устройство висит под потолком. Подключился через LoRa к CLI. Прописал новый параметр через CLI, reset(нул) прошивку через CLI и у тебя новая прошивка. Easy.
2. Реализация механизма выделения и освобождения памяти. Весьма вероятно, что придется накропать собственную надежную детерминированную и переносимую версию функций malloc и free, с возможностью расширенной диагностики и сборки мусора.

## 10.16 Код для информационной безопасности (Security)

В репозитории должна быть папка с программными компонентами информационной безопасности.

1. Шифровальщик AES256 Рано или поздно передаваемую прошивку по загрузчику придется шифровать или хранить в памяти в шифрованном виде. Поэтому надо выбрать доверенный и протестированный алгоритм шифрования данных, например AES256. В TI чипах cc26x2 AES и вовсе реализован аппаратно, и этот компонент можно отнести вообще в BSP.
2. KeePass
3. CRC
4. salsa20
5. и прочее

## 10.17 Модульные тесты

Вся работа пойдет прахом, если ошибка в очередном коммите тихо останется незамеченной и поломает бизнес логику. Грош цена репозиторию без тестов! Код без модульных тестов Филькина грамота. Поэтому надо покрывать код модульными тестами. Каждая нетривиальная функция должна быть покрыта тестами. Аппаратно-независимый код можно вообще тестировать прямо на LapTop PC отдельным процессом.

Поэтому в репозитории должна быть папка с модульными тестами.

## 10.18 Сборка из Make

Утилита Make это самый гибкий способ управлять циклическими репозиториями. Можно одной строчкой добавлять или исключать сотни файлов для сотен сборок. Поэтому для каждой сборки надо самим писать Makefile для каждого компонента \*.mk файл. Сборка из Make стимулирует придерживаться модульности и изоляции компонентов друг от друга. Make идеален для масштабирования кодовой базы.

Makefile(лы) хороши тем, что можно добавить кучу проверок зависимостей и assert(ов) на фазе отработки bash-скриптов прямо в \*.mk файлах, ещё до компиляции самого кода! Так как язык программирования make поддерживает условные операторы и функции! Можно очень много ошибок отловить на этапе отработки утилиты make. При этом make очень прост. Вся спека GNU Make это 226 странички. Это не CMake со своими тысячами и тысячами страниц мануала. Стю Фельдман (автор Make) просто гений.

## 10.19 Скрипты сборки CMake

Рано или поздно вам придется интегрировать свой код в другие репозитории. Вероятно придется собирать компанейский репозиторий в составе Cmake проектов. Например в Zephyr Project(е) или для микроконтроллеров ESP32. Поэтому каждый программный компонент должен содержать также \*.cmake скрипт с правилами сборки этого программного компонента.

## 10.20 Скрипты автосборки

Каждая сборка должна собираться из скриптов. Скрипты должны записывать в On-Chip Flash hash последнего коммита и название GIT ветки. Это потом позволит откатиться назад и выявить причину бага в конкретный момент истории.

Буквально открыл папку с проектом, жмакнул \*.bat файл и максимум через 2 минуты получил полный комплект артефактов \*.hex \*.bin \*.elf \*.map. Easy! Также сборка из скриптов позволит вам добавить сборки на сервер сборки Jenkins и каждое утро следить за тем, что собирается, а что нет.

## 10.21 Скрипты авто прошивки

Должна быть возможность автоматически прошивать Target. Буквально жмакнул скрипт flash.bat из папки с проектом и скормил прошивку микроконтроллеру. И еще и лог обновления сохранился в текстовый файлик.

Этот же скрипт с артефактами можно будет отгрузить клиенту, так как установку IDE для обновления прошивки от user(ов) какого-н фитнес браслета ожидать точно не стоит.

## 10.22 Скрипты очистки и автоматического форматирования

Это для причесывания кода утилитой clang-format. Чтобы отступы были предсказуемыми по всему проекту. Это позволит писать более простые регулярные выражения для навигации по коду утилитой grep.

Batch скрипт авто очистки в корне репозитория позволит удалить временные файлы с расширениям \*.d \*.o \*.obj \*.bak \*.i \*.pp и высвободить тонну места на диске. Тем более, что у вас на диске будет как минимум 2 экземпляра репозитория: workspace для работы и release для сервера сборки типа Jenkins(a).

## 10.23 Статические библиотеки

Некоторые программные компоненты распространяются не в виде исходников, а в виде предварительно скомпилированных библиотек (например кодек Ic3). Поэтому их \*.a файлы надо тоже подвергать версионному контролю.

## 10.24 Кодогенераторы

В программировании микроконтроллеров часто много повторяющегося по структуре кода. Например синтаксический разбор CAN матриц (8 байт полезных данных в пакете). Поэтому в репозиторий можно добавить утилиты-кодогенераторы для генерации С-функций делающих синтаксический разбор пакетов с известной структурой.

## 10.25 Авто генерация документации

Надо относится как программированию не только к созданию артефактов. Надо относится как к программированию также для создания документации. При разработке Firmware документацией является схема toolchain, блок схемы плат, блок схемы комплексов, инструкции. Все эти \*.pdf, \*.svg можно синтезировать из кода на языке dot или LaTeX. Поэтому должны быть makefile(ы) для сборки документации. Прекрасно выровненные текстовые документы можно авто генерировать на языке LaTeX.

## 10.26 Какие папки должны быть в репозитории?

Код любой прошивки можно условно разделить на 5 фракций. Это sensitivity, connectivity, computing, storage, security и control. Поэтому для каждого понятия должна быть папка в репозитории.

Чтобы у вас не получился венигret из программных компонентов.

## 10.27 Итог

Суммирую вышесказанное, можно разделить код на аппаратно-зависимый, аппаратно не зависимый и документацию. Плюс часть инфраструктурных сборок для кодогенераторов и модульных тестов на desktop.

Это тот минимальный джентельменский набор, который просто необходим, чтобы банально начать что-то делать на микроконтроллерах. Без этих базовых компонентов вы столкнетесь с серьезными изнуряющими трудностями при масштабировании, переносе и интеграции.



# Глава 11

# Архитектура Хорошо Поддерживаемого драйвера

"Надо сделать не то, что они просят, а то что им нужно."<sup>11</sup>

## 11.1 Пролог

Итак, вам дали плату, а в ней 4 навороченных умных периферийных чипа с собственными внутренними конфигурационными по SPI/I2C регистрами. Это могут быть такие чипы, как lis3dh, at24cxx, si4703, ksz8081, sx1262, wm8731, tcan4550, fda801, tic12400, ssd1306, dw1000, или drv8711. Не важно, какой конкретно чип. Все они работают по одному принципу. Прописываешь по проводному интерфейсу чиселки в их внутренние регистры и там внутри чипа заводится какая-то электрическая цепочка. Easy.

Допустим, что на GitHub драйверов для вашего I2C,SPI чипа нет или качество этих open source драйверов оставляет желать лучшего. Как же оформить и собрать качественный драйвер для I2C,SPI,MDIO чипа? И почему это вообще важно?

Смоки, тут не Вьетнам, это боулинг, здесь есть правила.

Понятное дело, что нужно, чтобы драйвер был модульным, поддерживаемым, тесто-пригодным, диагностируемым, понятным. Прежде всего надо понять, как организовать структуру файлов с драйвером. Это можно сделать так:

## 11.2 `xxx_drv.c/ xxx_drv.h` с функционалом

Должна быть функция инициализации, обработчика в цикле, проверка Link(a), функции чтения и записи регистра по адресу. Плюс набор высокоуровневых функций для установки и чтения конкретных параметров. Это тот минимум минимумов,

на котором большинство разработчиков складывает руки. Далее следует материал уровня advanced.

### 11.3 `xxx_isr.c/xxx_isr.h`

Отдельные файлы с кодом драйвера, который должен отрабатывать в обработчике прерываний

Это нужно для того, чтобы подчеркнуть тот факт, что к этому ISR коду надо относиться с особенной осторожностью. Например, это ядро программного таймера.

Код работающий внутри обработчика прерывания должен обладать следующими свойствами:

1. Должен быть оптимизирован по быстродействию.
2. Этот код сам не должен вызывать другие прерывания.
3. Надо убедиться, что там нем арифметики с плавающей точкой. Иначе это тоже будет медленно выходить из контекста.
4. Там нет логирования.
5. Все переменные, которые модифицируются внутри прерывания помечены как volatile.

### 11.4 Файл `xxx_types.h` с типами\*

Отдельный `xxx_types.h` файл с перечислением типов\*. В этом файле следует определить основные типы данных для данного программного компонента. Также определить объединения и битовые поля для каждого регистра.

Листинг 11.1: Битовое поле для регистра

```
/* page 105
 7.2.27 Register file: 0x19 DW1000 State Information */
typedef union {
 uint8_t byte[4];
 uint32_t dword;
 struct {
 uint32_t tx_state : 4; /* bit 0-3: TX_STATE*/
 uint32_t res1 : 4; /* bit 4-7: */
 uint32_t rx_state: 5; /* bit 8-12: RX_STATE*/
 uint32_t res2 : 3; /* bit 13-15:*/
 uint32_t pmsc_state : 4; /* bit 16-19: PMSC_STATE*/
 uint32_t res3 : 12; /* bit 20-31:*/
 };
} Dwm1000SysState_t;
```

Делать отдельный \*.h файл для перечисления типов данных это не блажь. Хранить код и данные в разных местах - это основной принцип гарвардской архитектуры компьютеров. Этого же принципа логично придерживаться и в разработке кода.

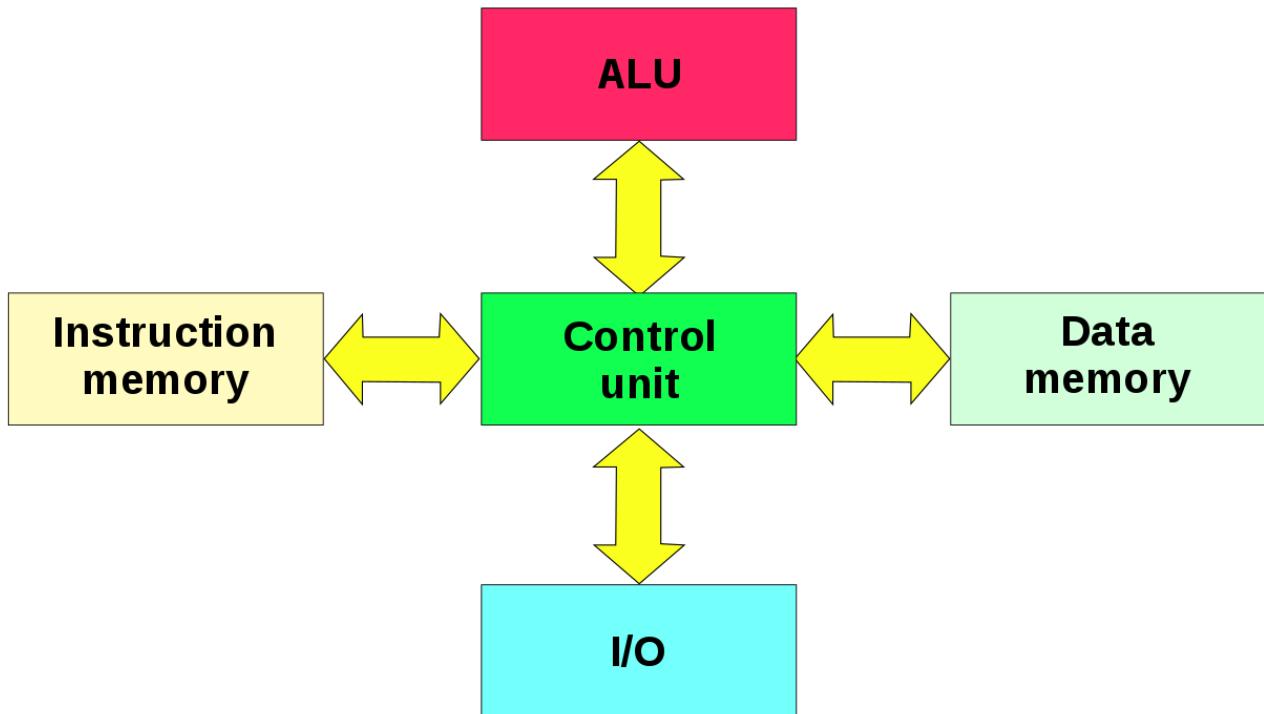


Рис. 11.1: Harvard architecture

## 11.5 Отдельный xxx\_const.h файл с перечислением констант\*

Отдельный xxx\_const.h файл с перечислением констант\*. Тут надо определить адреса регистров, перечисления. Это очень важно быстро найти файл с константами и отредактировать их, поэтому для констант делаем отдельный \*.h файл.

Листинг 11.2: Перечисление констант

```

typedef enum {
 BIT_RATE_110_KBPS = 0, /*110 kbps*/
 BIT_RATE_850_KBPS = 1, /*850 kbps*/
 BIT_RATE_6800_KBPS = 2, /*6.8 Mbps*/
 BIT_RATE_RESERVED = 3, /*reserved*/
 BIT_RATE_UNFED = 4,
} Dwm1000BitRate_t;

```

## 11.6 xxx\_param.h файл с параметрами драйвера\*

xxx\_param.h файл с параметрами драйвера\* Каждый драйвер нуждается в энергонезависимых параметрах с настройками (битовая скорость, CAN-трансивера или несущая частота радиопередатчика). Именно эти настройки будут применяться при инициализации при старте питания. Параметры позволяют существенно изменять поведение всего устройства без нужды пересборки всех сорцов. Просто прописали через CLI параметры и перезагрузились. И у вас новый функционал. Успех! Поэтому надо где-то указать как минимум тип данных и имя параметров драйвера.

Листинг 11.3: Перечисление параметров NVRAM

```
ifndef SX1262_PARAMS_H
define SX1262_PARAMS_H

#include "param_drv.h"
#include "param_types.h"

ifdef HAS_GFSK
include "sx1262_gfsk_params.h"
else
define PARAMS_SX1262_GFSK
endif

ifdef HAS_LORA
include "sx1262_lora_params.h"
else
define PARAMS_SX1262_LORA
endif

define PARAMS_SX1262 \
 PARAMS_SX1262_LORA \
 PARAMS_SX1262_GFSK \
 {SX1262, PAR_ID_FREQ, 4, TYPE_UINT32, "Freq"}, /*Hz*/ \
 {SX1262, PAR_ID_WIRELESS_INTERFACE, 1, TYPE_UINT8, "Interface"} \
/*LoRa or GFSK*/ \
 {SX1262, PAR_ID_RX_GAIN, 1, TYPE_UINT8, "RxGain"}, \
 {SX1262, PAR_ID_RETX, 1, TYPE_UINT8, "ReTx"}, \
 {SX1262, PAR_ID_IQ_SETUP, 1, TYPE_UINT8, "IQSetUp"}, \

```

```
{SX1262, PAR_ID_OUT_POWER, 1, TYPE_INT8, "OutPower"}, /*LoRa ou
endif /* SX1262_PARAMS_H */
```

## 11.7 config\_xxx.c config\_xxx.h файл с конфигурацией по умолчанию

config\_xxx.c/config\_xxx.h файл с конфигурацией по умолчанию\*. После старта питания надо как-то проинициализировать драйвер. Особенно при первом запуске, когда FlashFs,NVRAM ещё пустая. Для этого создаем отдельные файлы для конфигов по умолчанию. Это способствует методологии "код отдельно, конфиги отдельно". Драйвер должен легко масштабироваться. Поэтому для каждого программного компонента конфиг надо хранить именно в массиве.

Листинг 11.4: Конфиг для программного компонента

```
include "data_utils.h"
include "ds3231_config.h"
include "ds3231_types.h"

const Ds3231Config_t Ds3231Config[]={
 {.num=1, .i2c_num=1, .valid=true, .hour_mode=HOUR_MODE_24H},
 {.num=2, .i2c_num=2, .valid=true, .hour_mode=HOUR_MODE_24H},
};

Ds3231Handle_t Ds3231Item[]={
 {.num=1, .valid=true, .init=false},
 {.num=2, .valid=true, .init=false},
};

uint32_t ds3231_get_cnt(void){
 uint8_t cnt=0;
 cnt = ARRAY_SIZE(Ds3231Config);
 return cnt;
}
```

Конфиг и сам драйвер надо писать так, чтобы драйвер поддерживал сразу несколько экземпляров сущностей драйвера. Так драйвер можно будет масштабировать новыми узлами.

## 11.8 `xxx_commands.c` `xxx_commands.h` файл с командами CLI\*

У каждого взрослого компонента должна быть ручка для управления. В мире компьютеров исторически еще со временем UNIX (в 197x) такой "ручкой" является интерфейс командной строки (CLI) поверх UART. Поэтому создаем отдельные файлы для интерпретатора команд для каждого конкретного драйвера. Буквально 3-4 команды: инициализация, диагностика, get ,set регистра. Так можно будет изменить логику работы драйвера в Run-Time. Вычитать сырье значения регистров, прописать конкретный регистр. Показать диагностику, серийный номер, ревизию , пульять пакеты в I2C, SPI, UART, MDIO и т. п.

Листинг 11.5: Команды CLI

```

ifndef DWM1000_COMMANDS_H
define DWM1000_COMMANDS_H

#include "std_includes.h"

ifdef __cplusplus
extern "C" {
endif

bool dwm1000_read_register_command(int32_t argc, char* argv[]);
bool dwm1000_read_offset_command(int32_t argc, char* argv[]);
bool dwm1000_init_command(int32_t argc, char* argv[]);
bool dwm1000_diag_command(int32_t argc, char* argv[]);
bool dwm1000_reset_command(int32_t argc, char* argv[]);

define DWM1000_COMMANDS
\
 CLI_CMD("dro" , dwm1000_read_register_command , "Dwm1000ReadReg"
\
 CLI_CMD("dwd" , dwm1000_diag_command , "Dwm1000Diag") ,
\
 CLI_CMD("dwi" , dwm1000_init_command , "Dwm1000Init") ,
\
 CLI_CMD("dwr" , dwm1000_reset_command , "Dwm1000Reset") ,

ifdef __cplusplus
}
endif

```

```
endif /* DWM1000_COMMANDS_H */
```

## 11.9 xxx\_diag.c/xxx\_diag.h файлы с диагностикой\*

У каждого драйвера есть куча всяческих констант. Значения подобраны вендором обычно рандомно. Эти константы надо интерпретировать в строки для человека-понимания. Поэтому создается файл с Hash функциями. Суть проста: даешь бинарное значение константы и тут же получаешь её значение в виде текстовой строчки. Эти Hash функции как раз вызывает CLI(шка) и компонент логирования при логе инициализации board(ы).

Листинг 11.6: Интерпретатор констант

```
const char* DacLevel2Str(uint8_t code){
 const char *name="?";
 switch(code){
 case DACLEV_CTRL_INTERNALY: name="internally"; break;
 case DACLEV_CTRL_LOW: name="low"; break;
 case DACLEV_CTRL_MEDIUM: name="medium"; break;
 case DACLEV_CTRL_HIGH: name="high"; break;
 }
 return name;
}
```

## 11.10 test\_xxx.c/test\_xxx.h Файлы с модульными тестами диагностикой\*

Драйвер должен быть покрыт модульными тестами (скрепы). Это позволит делать безопасное перестроение кода с целью его упрощения. Тесты нужны для отладки большого куска кода, который трудно проходить пошаговым отладчиком. Тесты позволят быстрее делать интеграцию. Помогут понять, что сломалось в случае ошибок. Т.е. тесты позволяют сэкономить время на отладке. Тесты будут поощрять вас писать более качественный и структурированный код.

Если в вашем коде нет модульных тестов, то не ждите к себе хорошего отношения. Так как код без тестов - это Филькина грамота.

## 11.11 Make файл xxx.mk для правил сборки драйвера из Make\*

Сборка из Make это самый мощный способ управлять модульностью и масштабируемостью любого кода. С make можно производить выборочную сборку драйвера в зависимости от располагаемых ресурсов на печатной плате. Код станет универсальным и переносимым. При сборке из Makefile(ов) надо для каждого логического компонента или драйвера вручную определять make файл. Make - это целый отдельный язык программирования со своими операторами и функциями. Спека GNU Make всего навсего это 224 страницы.

Листинг 11.7: mk файл сборки программного компонента

```

ifeq ($(SI4703_MK_INC),Y)
SI4703_MK_INC=Y

SI4703_DIR = $(WORKSPACE_LOC) Drivers/si4703
#@echo $(error SI4703_DIR=$(SI4703_DIR))

INCLUDE_PATHS += -I$(SI4703_DIR)

OPT += -DHAS_SI4703
OPT += -DHAS_MULTIMEDIA
RDS=Y

FM_TUNER=Y
OPT += -DHAS_FM_TUNER

SOURCES_C += $(SI4703_DIR)/si4703_drv.c
SOURCES_C += $(SI4703_DIR)/si4703_config.c

ifeq ($(RDS),Y)
 OPT += -DHAS_RDS
 SOURCES_C += $(SI4703_DIR)/si4703_rds_drv.c
endif

ifeq ($(DIAG),Y)
 ifeq ($(SI4703_DIAG),Y)
 SOURCES_C += $(SI4703_DIR)/si4703_diag.c
 endif
endif

ifeq ($(CLI),Y)
 ifeq ($(SI4703_COMMANDS),Y)
 OPT += -DHAS_SI4703_COMMANDS
 endif
endif

```

```

 SOURCES_C += $(SI4703_DIR)/si4703_commands.c
 endif
endif
endif

```

Вот так должен примерно выглядеть код драйвера в папке с проектом:

| Name               | Type     | Size  |
|--------------------|----------|-------|
| fda801_types.h     | H File   | 12 KB |
| fda801_logBook.txt | TXT File | 7 KB  |
| fda801_drv.h       | H File   | 3 KB  |
| fda801_drv.c       | C File   | 38 KB |
| fda801_diag.h      | H File   | 4 KB  |
| fda801_diag.c      | C File   | 28 KB |
| fda801_const.h     | H File   | 7 KB  |
| fda801_config.h    | H File   | 1 KB  |
| fda801_config.c    | C File   | 6 KB  |
| fda801_commands.h  | H File   | 4 KB  |
| fda801_commands.c  | C File   | 21 KB |
| fda801.mk          | MK File  | 1 KB  |

Рис. 11.2: Содержимое папки с файлами

## 11.12 xxx\_dep.h файл с проверками зависимостей

Добавить xxx\_dep.h файл с проверками зависимостей на фазе препроцессора. Это позволит отловить на стадии компиляции ошибки отсутствия драйверов, которые нужны для этого драйвера.

Листинг 11.8: Проверка зависимостей препроцессором

```
ifndef DWM3000_DEPENDENCIES_H
define DWM3000_DEPENDENCIES_H

ifndef HAS_DWM3000
error "+HAS_DWM3000"
endif

ifndef HAS_SPI
error "+HAS_SPI"
endif

ifndef HAS_GPIO
error "+HAS_GPIO"
endif

ifndef HAS MCU
error "+HAS MCU"
endif

ifndef HAS_LIMITER
error "+HAS_LIMITER"
endif

endif /* DWM3000_DEPENDENCIES_H */
```

### 11.13 Должен быть файл xxx\_preconfig.mk

Дело в том что перед запуском сборки хорошо бы проинициализировать переменные окружения, которые нужны для данной конкретной сборки. Часть этих переменных можно прописать в корневом config.mk. Однако можно случайно упустить какие-то конкретные зависимости. По этой причине каждый драйвер должен содержать файл xxx\_preconfig.mk для явного определения зависимостей.

Листинг 11.9: Преконфиг

```
define KEEPASS_COMPONENT_VERSION "1.2"

$(info AT24CXX_PRECONFIG_MK_INC=$(AT24CXX_PRECONFIG_MK_INC))

ifeq ($(AT24CXX_PRECONFIG_MK_INC),Y)
AT24CXX_PRECONFIG_MK_INC=Y
```

```

TIME=Y
AT24CXX=Y
I2C=Y
GPIO=Y
endif

\end{figure}

```

```

\section{ xxx.gvi } Graphviz
xxx.gvi Graphviz

```

```

\begin{lstlisting}[label=some-code, caption=Graphviz

subgraph cluster_Keepass {
 style=filled;
 color=khaki1;
 label = "Keepass";

 Base64->KEEPASS
 Salsa20->KEEPASS
 LIFO->XML
 GZip->KEEPASS
 AES256->KEEPASS
 XML->KEEPASS
 SHA256->KEEPASS
 COMPRESSION->KEEPASS
}


```

Подробнее про генерацию зависимостей можно почитать тут

## 11.14 Функционал драйвера

Со структурой драйвера приблизительно определились. Хорошо. Теперь буквально несколько слов о функционале этого обобщенного драйвера.

1. Должна быть инициализация чипа, функция `bool xxx_init(void)`. Причем повторная инициализация драйвера или любого другого программного компонента не

должна приводить к зависанию прошивки или иным ошибкам. Первоначальная проверка link(a), запись строчки в логе загрузки, прописывание либо конфигов по умолчанию, либо конфигов из on-chip Nor FlashFs, определение уровня логирования для данного компонента.

2. В суперцикле должна быть функция xxx\_proc() для опроса (poll(инга)) регистров чипа, его переменных и событий. Эта функция будет синхронизировать удаленные регистры чипа и их отражение в RAM памяти микроконтроллера. Эта функция proc, в сущности, и будет делать всю основную работу по функционалу и бизнес логике драйвера. Функция xxx\_proc() может работать как в суперцикле, так и в отдельном RTOS потоке.
3. У каждого драйвера должны быть счетчики разнородных событий: количество отправок, приёмов, счетчики ошибок, прерываний. Это нужно для процедуры health monitor. Чтобы драйвер сам себя периодически проверял на предмет накопления ошибок и в случае обнаружения мог отобразить в лог (UART или SD карта) красный текст или перезагрузить плату.
4. Если ваш чип с I2C, то вам очень повезло, так как в интерфейсе I2C есть бит подтверждения адреса и можно разом просканировать всю I2C шину. Драйвер I2C должен обязательно поддерживать процедуру сканирования шины и печатать таблицу доступных адресов. Вот как тут.

```

9.849-->
10.003-->
10.102-->h i2c scan
argc 2
AvailableCommands:Key1:i2c
Key2:scan

+-----+
| Num | Acronym | CommandName | Description |
+-----+
| 1 | i2cs | i2c_scan | I2cScan |
+-----+
15.569-->i2cs
0.000:I [I2C] InterfaceNum 1
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
0x	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1x	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2x	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3x	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
4x	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
5x	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
6x	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
7x	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
8x	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
9x	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
ax	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
bx	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
cx	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
dx	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
ex	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
fx	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
0.000:I [I2C] 1 ScanOk
23.910-->

```

Рис. 11.3: Сканирование всех 7-битных адресов шины I2C

5. У каждого компонента должна быть версия. Должна быть поддержка чтения версии компонента в run-time

Листинг 11.10: Версия компонента

```
#define KEEPASS_COMPONENT_VERSION "1.2"
```

При каждом изменении в коде драйвера версию надо увеличивать.

6. У каждого драйвера должна быть функция вычитывания всех сырых регистров разом. Это называется memory blob. Так как поведение чипа целиком и полностью определяется значениями его внутренних регистров. Вычитывание memory blob-а позволит визуально сравнить конфигурацию с тем, что прописано в спецификации на ASIC и понять в каком режиме чип работает прямо сейчас.

| No | Addr | BinAddr   | Val    | BinVal              | name       |
|----|------|-----------|--------|---------------------|------------|
| 1  | 0x00 | 0000_0000 | 0x1242 | 0001_0010_0100_0010 | DeviceID   |
| 2  | 0x01 | 0000_0001 | 0x1253 | 0001_0010_0101_0011 | ChipID     |
| 3  | 0x02 | 0000_0010 | 0xcb01 | 1100_1011_0000_0001 | PowerCFG   |
| 4  | 0x03 | 0000_0011 | 0x0000 | 0000_0000_0000_0000 | Channel    |
| 5  | 0x04 | 0000_0100 | 0xd804 | 1101_1000_0000_0100 | SysConfig1 |
| 6  | 0x05 | 0000_0101 | 0x0111 | 0000_0001_0001_0001 | SYSCONFIG2 |
| 7  | 0x06 | 0000_0110 | 0xb07f | 1011_0000_0111_1111 | SYSCONFIG3 |
| 8  | 0x07 | 0000_0111 | 0xbc04 | 1011_1100_0000_0100 | TEST1      |
| 9  | 0x08 | 0000_1000 | 0x0002 | 0000_0000_0000_0010 | TEST2      |
| 10 | 0x09 | 0000_1001 | 0x0000 | 0000_0000_0000_0000 | BOOTCONFIG |
| 11 | 0x0a | 0000_1010 | 0x401e | 0100_0000_0001_1110 | StatusRssi |
| 12 | 0x0b | 0000_1011 | 0x00b2 | 0000_0000_1011_0010 | ReadChan   |
| 13 | 0x0c | 0000_1100 | 0x00ff | 0000_0000_1111_1111 | RDSA       |
| 14 | 0x0d | 0000_1101 | 0x0000 | 0000_0000_0000_0000 | RDSB       |
| 15 | 0x0e | 0000_1110 | 0x0000 | 0000_0000_0000_0000 | RDSC       |
| 16 | 0x20 | 0010_0000 | 0x0000 | 0000_0000_0000_0000 | RDSD       |

Рис. 11.4: Значения регистров

7. Если ваш чип является трансивером в какой-то физический интерфейс, будь то проводной (10BASE5, CAN, LIN, 1-Wire, RS485, MIL-STD-1553, ARINC) или беспроводной (LoRa, UWB, GFSK), то чип должен периодически посыпать Hello пакеты в эфир. Их еще называют Blink пакет или HeartBeat сообщение. Это позволит другим устройствам в сети понять, кто вообще живет на шине, а кто вовсе завис.
8. Должен быть механизм непрерывной проверки SPI,I2C,MDIO link(a). Это позволит сразу определить проблему с проводами, если произойдет потеря link(a). Обычно в нормальных чипах есть регистр ChipID (например DW1000). Прочитали регистр ID, проверили с тем, что должно быть в спеке(datasheet), значение совпало - значит есть link. Успех! С точки зрения надежности не стоит вообще закладывать в проект чипы без chip-ID именно по той причине, что их иначе невозможно протестировать. Вот чип LIS3DH хороший ASIC. В нём есть chip-ID.

9. Должен быть предусмотрен механизм записи и чтения отдельных регистров из командной строки поверх UART. Это поможет воспроизводить и находить ошибки далеко в run-time-е.
10. (Advanced) Должна быть диагностика чипа. В идеале даже встроенный интерпретатор регистров каждого битика, который хоть что-то значит в карте регистров микросхемы. Либо, если нет достаточно On-Chip NorFlash-а, должна быть отдельная DeskTop утилита для полного и педантичного синтаксического разбора memory blob-а, вычитанного из UART. Так как визуально анализировать переменные, глядя на поток нулей и единиц, если вы не выучили в школе шестнадцатиричную таблицу умножения, весьма трудно и можно легко ошибиться. Поэтому интерпретатор регистров понадобится при сопровождении и отладке гаджета.
11. \* Если есть функция, которая что-то устанавливает, то должна быть и функция, которая это что-то прочитывает. Проще говоря, у каждого setter-а должен быть getter, подобно тому как в математике у каждой функции есть обратная функция.
12. Если у чипа есть внутренние состояния (Idle, Rx, Tx и проч), то об изменении состояния надо сигнализировать в UART Log. Это нужно для отладки драйвера чипа.
13. В коде драйвера должны быть ссылки на страницы и главы из спецификации, которые поясняют почему код написан именно так. Это детализация констант, структура пакета, адреса регистров, детализация битовых полей и прочее.

Суммируя вышесказанное, получается вот такой список необходимых файлов

| №  | приоритет | Файл                             | расширение | Назначение файла                                             |
|----|-----------|----------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------|
| 1  | 10        | xxx_drv.c                        | c          | файлы с самим функционалом                                   |
| 2  | 10        | xxx_drv.h                        | h          | файлы с самим функционалом                                   |
| 3  | 10        | <a href="#">xxx_preconfig.mk</a> | mk         | установка нужных переменных окружения для данного компонента |
| 4  | 9         | xxx_isr.c                        | c          | код обработчика прерываний                                   |
| 5  | 9         | xxx_isr.h                        | h          | код обработчика прерываний                                   |
| 6  | 9         | xxx_const.h                      | h          | константы данного программного компонента                    |
| 7  | 9         | test_xxx.c                       | c          | модульные тесты                                              |
| 8  | 9         | test_xxx.h                       | h          | модульные тесты                                              |
| 9  | 9         | xxx.cmake                        | cmake      | скрипты сборки для CMake                                     |
| 10 | 9         | <a href="#">xxx.mk</a>           | mk         | скрипты сборки для make                                      |
| 11 | 9         | xxx_types.h                      | h          | типы данных для данного программного компонента              |
| 12 | 8         | xxx_diag.c                       | c          | диагностика. Преобразователи типов данных в строку           |
| 13 | 8         | xxx_diag.h                       | h          | диагностика                                                  |
| 14 | 8         | xxx_commands.c                   | c          | команды CLI для управления и отладки программного компонента |
| 15 | 8         | xxx_commands.h                   | h          | команды CLI                                                  |
| 16 | 8         | config_xxx.c                     | c          | конфигурация для каждого экземпляра                          |
| 17 | 8         | config_xxx.h                     | h          | конфигурация                                                 |
| 18 | 6         | xxx.gvi                          | gvi        | перечень зафиксированных зависимостей для graphviz           |
| 19 | 6         | xxx_dep.h                        | h          | проверка зависимостей на фазе препроцессора                  |
| 20 | 3         | xxx_param.h                      | h          | параметры                                                    |
| 21 | 1         | Kconfig                          | --         | конфигурация для KConfig                                     |

Рис. 11.5: список необходимых файлов программного компонента

## 11.15 Итоги

То что тут перечислено - это базис любого драйвера. Своего рода ортодоксально-каноническая форма, строительные леса.

Остальной код зависит уже от конкретного ASIC чипа, будь это чип управления двигателем, беспроводной трансивер, RTC или простой датчик давления. Как видите, чтобы написать адекватный драйвер чипа надо учитывать достаточно много нюансов и проделать некоторую инфраструктурную работу.

Не стесняйтесь разбивать драйвер на множество файлов. Это потом сильно поможет при custom(мизации), переносе и упаковке драйвера в разные проекты с разными ресурсами.

Если есть замечания на тему того, какими ещё атрибутами должен обладать обобщенный драйвер периферийного I2C,SPI,MDIO чипа, то пишите в комментариях.

## 11.16 Гиперссылки

1. Архитектура Хорошо Поддерживаемого драйвера для I2C/SPI/MDIO Чипа
2. Эффективное использование GNU Make



# Глава 12

# DevOps для производства Firmware

## 12.1 Пролог

Часто слышал мнение, что в embedded программировании в принципе не может быть никакого DevOps(а). Якобы вот есть GUI(ня) в IAR и там надо много мышкой водить. "Ты же не станешь ставить шаговые двигатели для сдвигания мышки" и т. п.

В этом тексте я намерен пофантазировать каким мог бы быть абстрактный процесс разработки firmware с точки зрения DevOps. И перечислить атрибуты такого процесса.

По правде, говоря все мы немного dev ops(ы). Сейчас объясню почему... Мы же не вручную код на assembler(e) пишем. Вовсе нет! Мы из абстрактного языка Си компилятором генерируем артефакты (\*.hex, \*.bin файл). А это значит, что мы DevOps(еры) все.

Однако этого конечно же не достаточно. Нужно рассмотреть ещё вот эти атрибуты.

## 12.2 Репозиторий с кодом (репа/общак)

Это может быть. Git, SVN, Mercurial, ClearCase, Perforce. Репозиторий нужен не только для хранения, распространения кодовой базы среди разработчиков, но и в случае поломки сборок репозиторий позволит откатиться в истории на прежние версии кода, когда все было относительно хорошо. Можно восстановить случайно удаленные файлы. Репозиторий позволяет распределить работу среди нескольких вкладчиков. Контроль версий запоминает все шаги. С репозиторием намного спокойнее жить и работать.

Плохие примеры когда код в компании передают через DropBox, USB-Flash(ку) или архивом в электронном письме. В этом случае нет никаких гарантий, что у каждого разработчика та же версия, что у остальных.

## 12.3 Код-генерация

В firmware проектах часто много повторяющегося кода. Это синтаксический разбор содержимого payload бинарных пакетов (например CAN, RS485 и пр.). Синтаксический разбор регистров каких-н умных навороченных периферийных SPI, I2C, MDIO микросхем (драйверы сенсорных экранов, внешние ADC, трансиверы, драйверы исполнительных механизмов, интеллектуальное управление питанием и пр.). Для автоматизации написания кода синтаксического разбора можно прибегнуть к созданию простых консольных утилит код-генераторов. На основе текстовых файликов структуры пакета при помощи код генераторов можно мгновенно сформировать циклические \*.c \*.h файлы. Код генератор повысит гибкость проекта, уменьшит вероятность ошибки, ускорит внесение изменений.

## 12.4 Проект должен собираться скриптами

Многие IDE (IAR, Code Composer Studio) могут запускать сборки из командной строки Windows, просто запустив \*.bat скрипт. Запускать сборки со скриптов полезно еще и по той причине, что окна GUI(ни) в IDE IAR часто зависают.

А в окно log(a) сборки в CCS не помещается весь текст 6 минут работы компилятора и теряются первые сообщения о критических предупреждениях. Если вы собираете проект из скриптов, то у вас останется log файл компилятора и вы сможете проанализировать все сообщения и исправить осечки.

## 12.5 Сборок должно быть много

Чтобы создать хорошую модульную кодовую базу с полной изоляцией компонентов надо собирать проект по частям. Подобно тому как в математике интегрируют по частям. Например если это IoT устройство, то надо подготовить сборку только с GNSS, сборку только с LTE модемом, сборку для проверки качества пайки платы, сборку с загрузчиком, приложение, отладочная сборка с модульными тестами.

Также полезно сделать сборку для какого-н другого микроконтроллера (ESP32, STM, TI, AVR). Это даст гарантию, что код в самом деле переносимый. Если каждая сборка собирается без ошибок, то это как раз и является свидетельством, что код достаточно модульный и переносимый.

Когда на одной кодовой базе много сборок, то компилятор сам подсказывает тебе, где конфликты и как написать переносимый код. Понимаешь?

## 12.6 Проект собирать Make файлами

Когда Make файлы являются для вас исходниками, то вы можете делать супер модульный код. Буквально одной строчкой в \*.mk файле добавлять и исключать компоненты из сборок. Если же вы привыкли пользоваться IDE, то вам для добавления одного компонента придется в одной вкладке IDE добавить пути к заголовочным

файлам в другом окне добывать переменные препроцессора, в третьем окне IDE добавлять сами \*.c файлы и так для всех 55 сборок. И это все мышковозня. А в Make файлах это будет всего лишь 1 строка.

IDE хороши в основном для прототипирования. Разработчики, которые пользуются только IDE не понимают какой путь проходит код от написания до попадания в Flash. Не догадываются даже о существовании файлов с расширениями \*.mk, \*.a, \*.opt, \*.so, \*.dot, \*.i, \*.asm, \*.o, \*.icf, \*.ld, \*.cmd, \*.elf, \*.out, и прочее. Хотя все эти файлы мелькают в workspace директории.

В промышленном подходе к разработке надо писать Make \*.mk файлы вручную и подвергать их версионному контролю.

## 12.7 Статические анализаторы

После компиляции код следует подвергать статическому анализу. Можно воспользоваться бесплатным CppCheck. Это позволит выявить и исправить еще некоторые критические ошибки.

## 12.8 Автосборки

Есть одна типичная проблема. Можно склонировать код из репозитория и выяснить, что он уже как полгода не собирается и никто об этом не догадывался, так как код собирался только локально на DeskTop(е) разработчика. Забыли подвергнуть версионному контролю какие-то файлы.

Кодовая база в репозитории должна быть валидной каждый день. То есть сборки должны собираться без ошибок и без предупреждений компилятора из кода, что в репозитории. Кто за этим будет следить?

Когда есть репозиторий и скрипты сборки можно автоматизировать запуск сборок при помощи бесплатной программы Jenkins.

Это утилита с Web интерфейсом, которая запускает скрипты. Когда работает Jenkins, то можно не только удостовериться, что код синтаксически правильный, но и всегда каждый день получать свежие артефакты.

Там есть удобная навигация и сортировка по категориям Job(ов). Можно даже открыть доступ Jenkins(y) клиентам продукта и они не будут беспокоить разработчиков вопросами, где же нам взять прошивку. Клиенты сами смогут взять ту прошивку, которая им нужна из Jenkins.

Надо использовать CI/CD, чтобы прошивки собирались изолированно на отдельном сервере из Git репозитория. Это позволяет гарантировать чистую сборку. А для таких автосборок необходимы скрипты сборки (GNU Make).

Чтобы не было такого, что одна и та же прошивка ведет себя по-разному в зависимости от того на чём компе она была собрана. Или такого, что код склонированный с репозитория вообще не собирается. Потому, что автор забыл закомитить какие-то файлы.

## 12.9 Сервер сборки

Настроить Jenkins это весьма кропотливая работа и много мышковозни. Запускать CI на каждом компьютере каждого разработчика это еще и бессмысленная повторная работа. Плюс нагрузка LapTop(а), лишний шум во время работы от кулера. На самом деле достаточно осуществить пуск сервера только 1 раз для всех разработчиков.

Нужен какой-то общий компьютер. Можно задействовать дешевенький Win(довый) NetTop PC (Зомби). Запустить на нем Jenkins и оставить его работать 24/7. За ночь он соберет все сборки. Когда кому-то понадобился артефакт, то он подключается по Win Remote Desktop Connection или TeamViewer к зомбику и скачивает себе артефакт, посмотрит все ли в порядке с остальными сборками и в случае поломки сделает коммиты, чтобы починить код.

## 12.10 Модульные тесты (скрепы)

То что код собирается в репе это еще ни о чем не говорит. Код может собираться без единого предупреждения, а при загрузке на target плата будет бесконечно Reset(тся). Код должен корректно стартовать и исполняться. Как это проверить автоматически? Это можно сделать при помощи модульных тестов. Модульные тесты это просто функции, которые запускают другие функции и проверяют output. Должна быть сборка для тестирования программы изнутри (методом белого ящика). В идеале надо тестировать все нетривиальные функции. В каждом firmware проекте есть hardware зависимый код и hardware независимый код (математика, строки, абстрактные структуры данных). Часть кода, который не зависит от железа можно собирать, запускать и тестировать прямо на x86-64. Памяти на PC много и все тесты поместятся. В Jenkins должен быть отдельный Job для запуска тестов на PC.

Если же в MCU не хватает достаточно NorFlash памяти для сборки проекта с модульными тестами, то можно задействовать отладочную плату с чипом того же семейства но с большим объёмом NorFlash. Подключив нужную периферию перемычками получится прототип тестируемого устройства.

## 12.11 Hardware In The Loop (HIL) стенд

Остаются аппаратно-зависимые тесты. Их надо запускать и выполнять прямо на target(e). Чтобы это автоматизировать надо минимум 3 вещи. Устройство, загрузчик и CLI. Соединив Target с NetTop компьютером по UART получится HIL стенд. Загрузчик позволит автоматически обновлять прошивку по тому же UART. CLI позволит подключиться к target по UART и запустить тесты, вычитать лог и сохранить отчет. Все это можно упаковать в отдельные Job(ы) на Jenkins.

## 12.12 Code Coverage (высший пилотаж)

Как понять, что составлено достаточно модульных тестов? Может случится, что какие-то строки протестированы 100 раз а другие ни разу. Ответить на этот вопрос можно только если как-то считать по каким строкам код прошел во время тестов, а какой код является недостижимым. Для этого есть специальные проприетарные Tool(ы) например Testwell CTC++.

## 12.13 Ежедневные планерки

Когда несколько разработчиков делают одну кодовую базу надо как-то координировать действия, переоценивать трудоемкость задач, расставлять приоритеты, сообщать от том что сделано, какие есть загвоздки и что каждый собирается делать. Для этого надо собираться каждый день в первой половине на 5...7 минут и устно проговаривать. Так можно исключить ситуации, когда одно и то же сделано несколько раз каждым разработчиком.

Еще раз хочу отметить, что все перечисленные 12 DevOps атрибутов всего на всего плоды моей фантазии. И если кто-то увидит в этом какие-то корреляции с реальностью, то это всего лишь совпадение.

## 12.14 Эпилог

При наложенном DevOps можно организовать полностью удаленную работу даже для процесса разработки Firmware. Разработчику достаточно делать коммиты в репозиторий и анализировать Job(ы) Jenkins(a) и изредка подключаться к HIL стенду.

В теории не обязательно даже локально устанавливать Cross ToolChain, ничего кроме своего любимого текстового редактора и браузера. Так 1 человек может контролировать до 20 сборок.

Хороший DevOps позволяет увеличить bus factor до бесконечности. Что является хорошей метрикой.

Надеюсь этот текст поможет кому-нибудь автоматизировать свои проекты.

## 12.15 Гиперссылки

1. CI CD прошивок для микроконтроллеров в Wires Board (Начало на 25:50)
2. Конвеерум 30: Эволюция рабочего окружения для embedded разработки
3. Атрибуты Хорошей Прошивки



# Глава 13

# Способы Отладки и Диагностики FirmWare

"Любая разработка начинается с полноценных средств для отладки. Подобно тому как альпенизм начинается с верёвок."

## 13.1 Пролог

В этой главе перечислены основные способы отлаживать и диагностировать проекты на микроконтроллерах. Для аналогии буду каждому методу отладки метафорично приводить в соответствие аналогию из медицины.

Любая разработка начинается там, где появляются полноценные средства отладки. То есть возможность делать диагностику. Когда нет способов диагностики, то и говорить о разработке не приходится. Это просто закон жизни.

Программировать МК без отладки это как писать ручкой с закрытыми глазами.

## 13.2 Модульные тесты (скрепы / гипс)

Часто возникает ситуация, когда есть большой кусок кода и нет возможности пройти этот код отладчиком. Например времени мало. В этом случае можно просто покрыть этот код модульными тестами. Модульный тест это по сути функция которая вызывает другую функцию с известными параметрами и спотрин на получившийся результат. Если вывод совпал с ожиданием то тест пройден. Говорят зелёный тест. Также тесты позволяют без опаски совершать перестройку софта. Тесты будут стимулировать вас писать более модульный и качественный код.

## 13.3 Health Monitor (Мед брат)

Health Monitor (HM) просто поток или отдельная периодическая функция, которая только лишь регулярно проверяет критические параметры прошивки. Своего рода

периодические модульные тесты. НМ проверяет, например, что UART и CLI не упала. Что есть всяческие Link(и) с I2C, SPI чипами. Что напряжение не просело. Плюс Health Monitor(а) в том, что если что-то внезапно рухнет (например от заряженной частицы из космоса), то прошивка об этом узнает сразу и что-нибудь да предпримет. Health Monitor обладает правами выполнить какой-то мелкий ремонт: переинициализировать отдельный компонент, что-нибудь починить или и вовсе Reset(нуть) гаджет.

## 13.4 CLI(шка) (Command Line Interface) (или Компьютерная томография МРТ)

А вот CLI это как раз самый мощный способ отладки прошивок. Как правило CLI терминал это полнодуплексный текстовый интерфейс поверх UART. CLI как способ человеку общаться с прошивкой через понятый обоим сторонам текстовый интерфейс. При этом нужно всего 3 провода (Rx, Tx и GND) и поддержка в коде прошивки. По факту раз запустив CLI и GDB вам уже больше не понадобится. Далее отладка будет только через CLI. Далее вы ограничены одной только своей фантазией в том какие CLI команды добавить в сборку. Можно по команде вычитывать любую память. Можно запускать функции по их адресу в физической памяти. Можно просматривать значения счетчиков, можно пульять пакеты в интерфейсы I2C, SPI, UART. Можно добавить интерпретаторы аппаратных регистров таймеров. Да что угодно.

Важно, чтобы CLI была не просто простыней унылого текста как в NanoVNA V2. В хорошей CLI должно быть: эхо, энергонезависимая история введенных команд, help, TAB-автонабор, авторизация, аутентификация, поддержка цветов, отрисовка таблиц. Это минимальный джентельменский набор взрослой CLI.

Чтобы ошибки отображались красным текстом, предупреждения желтым текстом. Чтобы печатались таблицы для GPIO пинов и каналов ADC.

Также надо различать такие понятия как логирование и CLIшка. При обычном беспонтовом логировании микроконтроллер тупо и отчаянно шлет текст на улицу (в UART). В случае с CLI пользователь может даже сам асинхронно отправить текст в микроконтроллер со стороны улицы. Должна быть установка и отключение логирования для конкретных программных компонентов (например для SPI или ADC), чтобы не было ниагарского водопада из логов, парализующего работу всей прошивки и всякое взаимодействие с программой. CLI не обязательно делать в UART. Подойдет и TCP/UDP, LoRa, BLE-SPP. Просто правда в том, что UART прост как палка и стартует почти сразу после reset(а). Раньше прочих навороченных интерфейсов как TCP стек, а значит и отладить по UART можно будет практически всё.

Причем логировать можно и в RAM память, а отобразить накопившийся лог в UART только после того как проинициализируется подсистема UART (функция flush). Поэтому писать логи можно даже для инициализации подсистемы тактирования, которая отрабатывает до запуска аппаратных драйверов. Достоинство CLI в том, что CLI не нарушает таймингов в той мере, как это делает пошаговая отладка по JTAG/SWD. Вы отлаживаете прошивку "без наркоза". С CLI(шкой) у вас будет тотальный контроль над софтом и железом. Попробуйте запилить CLI и вы сами

### 13.4. CLI(ШКА) (COMMAND LINE INTERFACE) (ИЛИ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ)

The screenshot shows a terminal window titled "COM5 - Tera Term VT". The window contains a log of system initialization. The log includes information about the board (Olimex), MCU (stm32f), date (Aug 7 2022), time (18:29:41), timestamp (Thu Aug 04 01:55:52 2022), Cstd (1), StdHosted (1), StdCver (199901), branch (GIT\_BRANCH\_AUTO\_REPLACE), lastCommit (GIT\_LAST\_COMMIT\_HASH\_AUTO\_REPLACE), and a FlashCRC32 value (0x39666553). It also lists compiler details (main() Addr 0x0800d709 Error, Compiler GCC). The log continues with various system configuration parameters (GNUC, GNUC\_MINOR, GNUC\_PATCHLEVEL, version [10.3.1 20210824 (release)], NoInline, TG, Made in Russia, SCB->UTOR, AddrOfMain, BootStackEnd, AppStackEnd, AppResetHandler, BootResetHandler, Main Task started, up time: 1710 ms), and concludes with a message "AppLoadedFine!". At the bottom, there is a prompt "37.747-->".

Рис. 13.1: Фрагмент лога загрузки прошивки

The screenshot shows a terminal window displaying a diagnostic report for GPIO pins. The report starts with a series of initialization messages from the system (SCB->UTOR, AddrOfMain, BootStackEnd, AppStackEnd, AppResetHandler, BootResetHandler, Main Task started, up time: 1710 ms). Below these, the command "1.877-->" is shown, followed by two other commands: "2.181-->" and "2.405-->gl u2". The main part of the screen is a table listing GPIO configurations. The columns are labeled: No, pad, level, dir, pull, lconnect1, lconnect2, name. The rows show the following data:

| No | pad  | level | dir | pull | lconnect1 | lconnect2 | name          |
|----|------|-------|-----|------|-----------|-----------|---------------|
| 0  | PA8  | L     | Out | Air  | U2.4      | -         | USB_HS_UBUSON |
| 1  | PA10 | L     | Out | Air  | U2.1      | -         | USB_FS_UBUSON |
| 2  | PB5  | H     | In  | Air  | U2.3      | -         | USB_HS_FAULT  |
| 3  | PB6  | H     | In  | Air  | U2.2      | -         | USB_FS_FAULT  |

At the bottom, the prompt "4.450-->" is visible.

Рис. 13.2: Диагностика GPIO

УВИДИТЕ, КАК ВАМ САМИМ ПОНРАВИТСЯ ТАКАЯ ОТЛАДКА.

## 13.5 HeartBeat LED (медленный стетоскоп)

Самое важное. Каждое электронное устройство должно иметь хотя бы один светодиод (LED) для того, чтобы пользователь, инженер или техник мог понять, что встроенное firmware вообще вертится и исполняется, а не зависло. HeartBeat LED это своего рода Smoke Test. Если LED не мигает, то тут дальше и говорить не о чём. Сразу очевидно, что прошивка либо не стартировала, либо и вовсе зависла. В случае немигающего LEDа надо подкатывать тяжелую артиллерию. Также желательно ставить отдельно красный LED для индикации ошибки в софте или железе.

HeartBeat LED обычно ставят мигать с частотой 1Hz и, если это в самом деле так, то можно тут же дать гарантию, что тракт подсистемы тактирования тоже корректно настроен.

В общем, господа, делайте всегда HeartBeat LED.

## 13.6 Пошаговая отладка GDB через SWD/JTAG (или Хирургическое вмешательство с наркозом или КТ)

В микроконтроллерах есть специальные прерывания, которые позволяют программе останавливаться на заданном адресе (аналогия с анабиозом), который binutils(ами) конвертируется в строку кода в сорцах. Чтобы этим воспользоваться нужно запустить GDB сервер отладки и GDB клиент. Можно остановить программу на конкретной строчке кода.

Однако пошаговая отладка плоха тем, что она нарушает таймингами Real Time программы. Стоит поставить одну единственную точку останова и вы уже отлаживаете совершенно не ту программу, которую писали. Аппаратные таймеры ушли далеко вперёд. Внешний сторожевой таймер начинает сбрасывать микроконтроллер.

GDB - это как рентгеновская компьютерная томография. Не стоит её делать часто, так как это опасно для здоровья.

Однако пошаговая GDB отладка порой недоступна по той простой причине, что во Flash памяти банально нет места, чтобы зашить \*.bin(арь) с ключами, добавляющими отладочные символы (-g3 -ggdb -gdwarf-2 -O0). Поэтому такую прошивку можно будет отладить разве, что по UART-CLI.

## 13.7 Утилита arm-none-eabi-addr2line.exe (Ультразвуковое Исследование УЗИ)

Если вы поймали HardFault и удалось извлечь значение регистров PC и LR, то можно определить на какой строчке упала прошивка выполнив преобразование адреса в номер строки. Вот такой скрипт покажет проблемную строчку в коде.

Листинг 13.1: Правильный if

```
echo off
cls

set ELF_FILE=C:/applications/nrf5340/build/app/zephyr/zephyr.elf
set ADDR2LINE="arm-none-eabi-addr2line.exe"

%ADDR2LINE% -e %ELF_FILE% 0x000054cd
%ADDR2LINE% -e %ELF_FILE% 0x0000857e
```

## 13.8 Функции Assert (или ПЦР тест)

Это просто функции, которые выстреливают, когда их аргумент равен нулю.

Есть свой assert на каждую фазу сборки проекта: makeAssert->preprocAssert->staticAssert-> DynamicAssert. StaticAssert отрабатывает на этапе компиляции. Например, что конфиги валидные. DynamicAssert отрабатывает на этапе исполнения. Можно еще расставить как капканы preprocAssert и даже makeAssert, если вы собираете сборку из makefile(ов). Если сработал DynamicAssert, то можно подключить GDB отладчик и поставить точку останова внутри DynamicAssert. Далее просмотреть стек вызовов и определить причину осечки. В общем пользуйтесь функциями категории assert по-полной.

## 13.9 GPIO и осциллограф (Кардиограмма)

В прошивках есть очень быстрые RealTime процессы, которые надо измерять. Как это сделать? А вот так... Можно выставлять напряжение на свободных GPIO пинах и далее смотреть их на экране осциллографа. Главное чтобы осциллограф был цифровой так как нужны функции захвата перепадов напряжения. Плюс нужно минимум 2 канала для отладки чего либо нетривиального. Также крайне важно, чтобы осциллограф не гудел как пылесос, иначе не будет никакого желания вообще включать такой осцилл.

## 13.10 GPIO и логический анализатор (Электроэнцефалография)

Более предпочтительным вариантом осциллографу является логический анализатор. У логического анализатора больше каналов (8..16 каналов). Можно анализировать сразу целые много проводные шины (SPI, I2S, SDIO). Есть очень хороший логический анализатор Saleae. Подключается к РС по USB 3.0. В отличие от осциллографов логический анализатор абсолютно бесшумный, что позволяет сосредото-

чится на анализе. Анализ графиков делается прямо на мониторе. Софт рассчитывает периоды, частоты скважность на лету. Также у Saleae очень удобные цепляши.

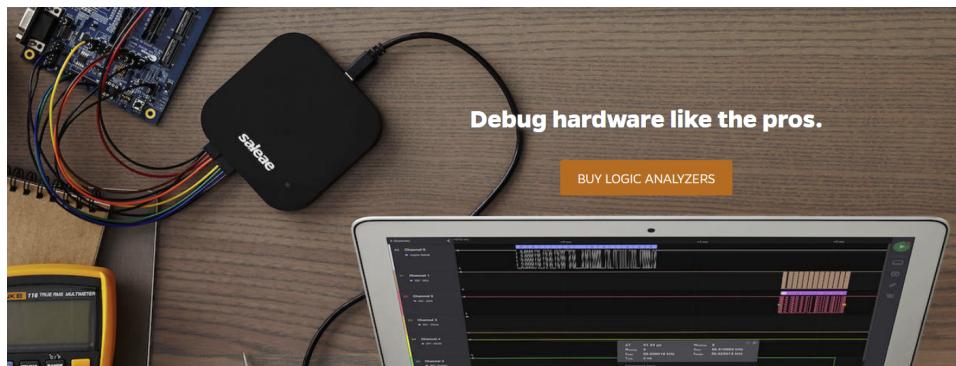


Рис. 13.3: Внешний вид логического анализатора Saleae

## 13.11 DAC (Цифро-Аналоговый Преобразователь) (или микроскоп)

Когда GPIO не хватает, то можно выставлять аналоговое напряжение на одном DAC пине и тоже смотреть осциллографом с достаточным разрешением. В большинстве адекватных MCU(шек) всегда есть встроенный 10...12бит ЦАП для таких случаев. Очень удобно при отладке планировщиков многопоточных прошивок. По ступеням напряжения на выходе ЦАП можно определить реальный приоритет потоков.

## 13.12 Логирование на дисплей (Глюкометр)

В принципе, если есть достаточно пинов, то для автономности отладки можно поставить какой-нибудь дисплей и отображать на нем важные метрики софта. Получится устройство тамагочи, которое само все про себя расскажет своему хозяину. Советую смотреть в сторону OLED экранов так как у OLED светятся символы, а не фон. Выглядит футуристично и очень приятно читать.

## 13.13 Утилита STM-Studio (Электроэнцефография)

У ST есть хипстерская Tool(a), которая позволяет по SWD/JTAG следить за конкретными переменными в физической памяти (REG, RAM, ROM) микроконтроллера.

Просто скармливаешь STMStudio \*.tar файл и подключаешь по SWD Target. Причем эта Tool(a) позволяет строить графики по значениями переменных в памяти. Это как утилита ArtMoney в случае с взломом компьютерных игр на PC, только для микроконтроллера. STMStudio mega удобна при отладке систем автоматического



Рис. 13.4: oled дисплей

управления, ПИД регуляторов, цифровых фильтров, триггеров Шмитта и прочей DSP обработки. Меняя значения переменных можно даже управлять поведением прошивки! Все бы вендоры микроконтроллеров выпускали бы такие шедевральные утилиты для своих чипов как STMStudio для STM32 микроконтроллеров.

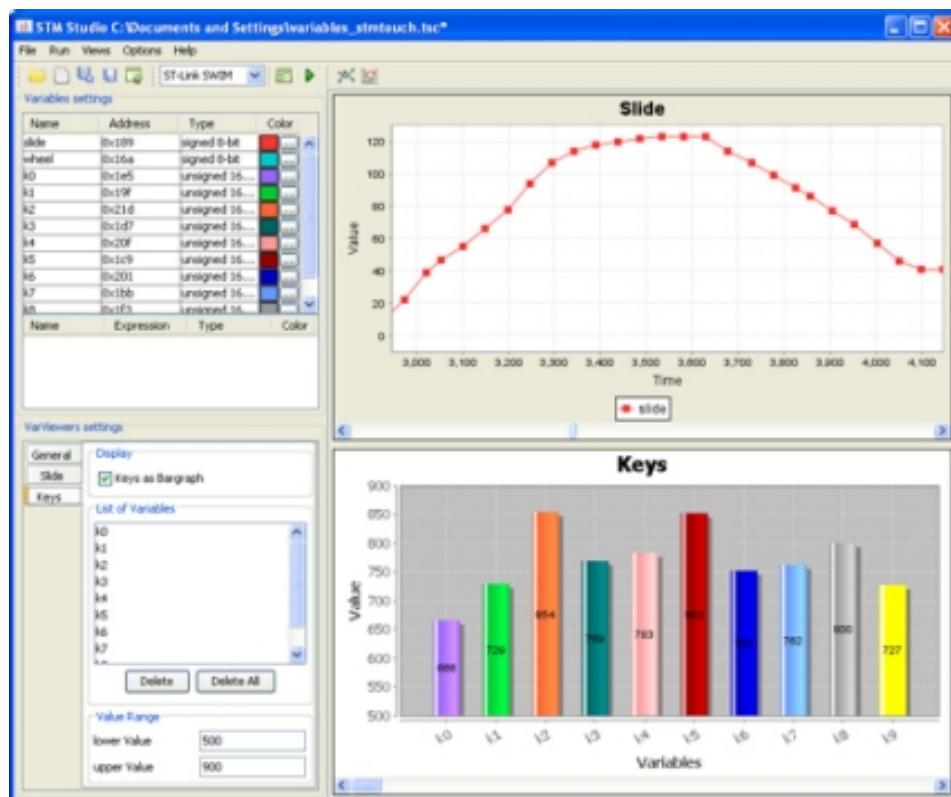


Рис. 13.5: Программа для просмотра памяти MCU

## 13.14 Логирование в SD карту (Копрограмма)

UART это весьма медленный интерфейс. Максимум 1 MBit/s. Поэтому отладка логированием в UART всё же немного, но нарушает тайминги, а значит и логику работы устройства. Если быстродействие гаджета критично, а логи тоже очень нужны, то логи можно записывать в какие-нибудь число хранилище. Например SD карту или OffChip SPI-NorFlash на несколько мегабайт. Там 25MHz это норма. Однако придется собрать файловую систему (например FatFs) на SD карте, чтобы потом можно было писать в настоящие файлы и читать их на LapTop. Затем в период Idle выгрузить логи в тот же самый UART или TCP/UDP. Easy.

## 13.15 Эмуляция прошивки как процесса на РС (клонирование)

Если у вас в прошивке есть CLI, то вы можете собрать прошивку прямо на nettop x86. Прошивку можно запустить на исполнение как консольное приложение в командной строке cmd. Затем исполняя команды в stdin и наблюдая за выводом в stdout вы можете отладить огромные куски кода, которым всё равно на архитектуру. Протестировать реализацию протоколов, математику, аллокатор памяти, криптографию, fifo fifo циклический буфер, алгоритмы расчета контрольных сумм, шрифты графических экранчиков, триггер Шmitta, распознаватели строчек и многое другое что не зависит от архитектуры.

## 13.16 DMM цифровой мультиметр (градусник)

DMM можно проверить самые базовые параметры электронной платы: напряжение питания на разных рельсах, частоту PWM на LED(ax), прозвонить пины, измерить постоянные ток.

## 13.17 Контроль качества пайки (Load-detect)

Идея очень проста. Надо выбрать конкретный пин, пробежаться по всем трём подтяжкам напряжения, в каждой подтяжке прочитать и запомнить логическое состояние пина на GPIO. Затем найти в подсказке строчку которая и скажет, что подключено к пину со стороны улицы.

## 13.18 Вывод системной частоты наружу (стетоскоп)]

В микроконтроллерах STM32 есть один или два пина MCO<sub>1</sub>MCO<sub>2</sub>(*MultiplexedClock-Out*)().

| # | voltage<br>pull air | voltage<br>pull down | voltage<br>pull up | text<br>Warning | text<br>load solution |
|---|---------------------|----------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|
| 0 | 0                   | 0                    | 0                  |                 | short GND             |
| 1 | 0                   | 0                    | 3,3                |                 | open load             |
| 2 | 0                   | 3,3                  | 0                  | 1               | Error                 |
| 3 | 0                   | 3,3                  | 3,3                | 1               | short VBAT            |
| 4 | 3,3                 | 0                    | 0                  | 1               | short GND             |
| 5 | 3,3                 | 0                    | 3,3                | 1               | open load             |
| 6 | 3,3                 | 3,3                  | 0                  | 1               | Error                 |
| 7 | 3,3                 | 3,3                  | 3,3                |                 | short VBAT            |

Рис. 13.6: LUT для Load-detect

Листинг 13.2: Вывод системной частоты наружу

```

HAL_RCC_MCOConfig(RCC_MCO1, RCC_MCO1SOURCE_HSE, RCC_MCODIV_4);
HAL_RCC_MCOConfig(RCC_MCO2, RCC_MCO2SOURCE_SYSCLK, RCC_MCODIV_5);

{.pad.port=PORT_C, .pad.pin=9, .name="MCO_2", .stm_mode=GPIO_MODE_OUTPUT,
 .gpio_pull=GPIO_PULL_UP, .speed=GPIO_SPEED_FREQ_HIGH,
 .alternate= GPIO_AF0_MCO},

{.pad.port=PORT_A, .pad.pin=8, .name="MCO_1", .stm_mode=GPIO_MODE_OUTPUT,
 .gpio_pull=GPIO_PULL_UP, .speed=GPIO_SPEED_FREQ_HIGH,
 .alternate= GPIO_AF0_MCO},

```

Потом берем осциллограф, измеряем реальную частоту, сравниваем с настройками в коде, делаем вывод.

## 13.19 Итог

Как видите во встраиваемом софте есть целая куча способов отлаживать код и железо. Конечно тут не все зависит только от программиста. Некоторые опции отладки требуют и от разработчика HardWare некоторых предварительных телодвижений (добавить LED(ы), UART, TestPad(ы), Flash, SWD разъем). Что вы возьмете на вооружение решать вам. Мне же для отладки в 99

Общая идея такова, что более высокоуровневые программные компоненты можно отлаживать только менее высокоуровневыми программными компонентами.

Если вам известны еще оригинальные способы отлаживать Embedded Software/Firmware, то пишите их в комментарии.

## 13.20 Гиперссылки

1. Cross-Detect для Проверки Качества Пайки в Электронных Цепях
2. Почему Нам Нужен UART-Shell?

3. Модульное Тестирование в Embedded
4. Настройка Пошаговой Отладки JLink+Eclipse
5. Отладка интерфейса I2S
6. Пошаговая GDB отладка ARM процессора из консоли в Win10
7. Атрибуты Хорошей Прошивки
8. Load-Detect для Проверки Качества Пайки

# Глава 14

## Почему Нам Нужен UART-CLI? (Добавьте в Прошивку Гласность)

"Есть только один способ это проверить"

### 14.1 Пролог

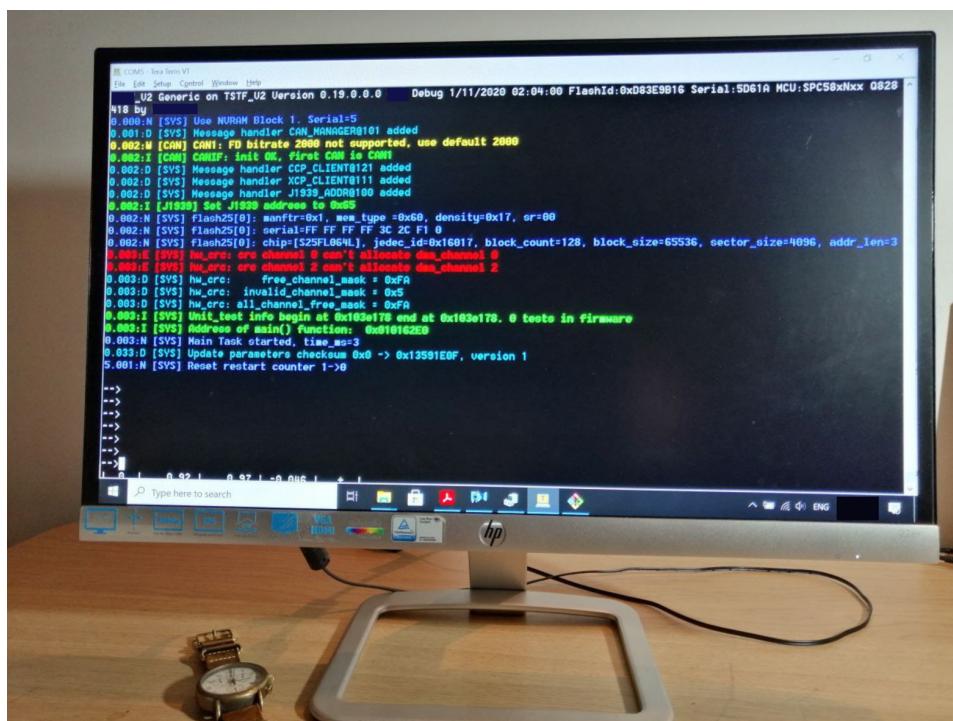


Рис. 14.1: Внешний вид CLI

В самолетостроении есть такое понятие как оснастка. Это формы для литья, ре-

жущие инструменты, контрольно-измерительные приспособления, стапели и прочее.

Как и в любой другой разработке в разработке программного обеспечения для микроконтроллеров в качестве оснастки выступает интерфейс командной строки поверх UART. UART-Shell.

Да, есть такая классическая технология отладки Firmware как интерфейс командной строки поверх UART (Real Time Terminal). Как её только не называют: TUI, CLI, Shell, RTT, консоль, последовательный терминал, "портал" и прочее. Это уже намёк на то, что штука это полезная и используют её по-разному.

Почему UART? Ответ прост. UART самый дешевый и простой проводной последовательный интерфейс. Для него доступны как переходники UART-USB (CP2102) так и готовый стабильный софт (TeraTerm, Putty, Hercules и прочее).

В России бытует мнение якобы:

Да мне UART-CLI не нужна так как у меня устройство удаленное и к нему нет доступа кроме беспроводных интерфейсов

Это высказывание можно перефразировать так:

Да нам JTAG/SWD не нужен так как у нас устройство удаленное и к нему нет доступа кроме беспроводных интерфейсов

Иллюзия таких рассуждений в следующем:

1. Во первых. У вас после какого-то коммита сломался ваш беспроводной интерфейс или CAN. И что вы будете делать? Предаваться конвульсиям, судорогам и параличу? Чтобы понять, что сломалось, вам поможет 2 минуты с и пара команд диагностики из UART-CLI или 1 день прочесывания кода пошаговым GDB отладчиком по JTAG/SWD. Лично я выбираю первый вариант.

| No | pad  | level | mode   | dir | pull | MuxS | MuxG | connect2 | name       |
|----|------|-------|--------|-----|------|------|------|----------|------------|
| 0  | PA8  | L     | ALT1   | ?   | Air  | 1    | 1    |          | MCLK       |
| 1  | PA3  | L     | Out    | Out | Air  | 0    | 0    |          | Debug      |
| 2  | PA4  | L     | Analog | In  | Air  | 0    | 0    |          | DAC1_OUT   |
| 3  | PA5  | L     | Analog | In  | Air  | 0    | 0    |          | DAC2_OUT   |
| 4  | PD13 | L     | Out    | Out | Air  | 0    | 0    |          | LED_Red    |
| 5  | PD14 | L     | Out    | Out | Air  | 0    | 0    |          | LED_Yellow |
| 6  | PD15 | H     | Out    | Out | Air  | 0    | 0    |          | LED_Green  |
| 7  | PF12 | L     | ALT1   | ?   | Air  | 2    | 2    |          | DIGIT_EXT1 |
| 8  | PF13 | L     | ALT1   | ?   | Air  | 2    | 2    |          | DIGIT_EXT2 |
| 9  | PF14 | L     | ALT1   | ?   | Air  | 2    | 2    |          | PWM_ADC1   |
| 10 | PF15 | L     | ALT1   | ?   | Air  | 2    | 2    |          | PWM_ADC2   |
| 11 | PE5  | H     | ALT1   | ?   | Air  | 2    | 2    |          | ENS        |
| 12 | PF0  | H     | ALT1   | ?   | Up   | 4    | 4    |          | I2C2_SDA   |
| 13 | PF1  | H     | ALT1   | ?   | Up   | 4    | 4    |          | I2C2_SCL   |
| 14 | PA0  | L     | In     | In  | Down | 0    | 0    |          | Button     |
| 15 | PA9  | H     | ALT1   | ?   | Air  | 7    | 7    |          | USART1_TX  |
| 16 | PA10 | H     | ALT1   | ?   | Up   | 7    | 7    |          | USART1_RX  |
| 17 | PC6  | H     | ALT1   | ?   | Air  | 8    | 8    |          | USART6_TX  |
| 18 | PC7  | H     | ALT1   | ?   | Up   | 8    | 8    |          | USART6_RX  |

Рис. 14.2: CLI показывает состояние GPIO пинов

2. Во вторых UART-CLI нужна в основном для отладки в Debug(жной) сборке. В Release(ных) артефактах Shell можно и выпилить. Причем если Вы собираете из самостоятельно написанных GNU Makefile(ов), то выпиливание из проекта CLI это заменить один символ в \*.mk файле с конфигами с (Y на N). Про торжество makefile(ов) есть вообще отдельный текст.
3. В третьих CLI можно пустить по любому интерфейсу и протоколу: CAN, LoRa, UDP, UWB. Просто в этом случае придется писать консольную утилиту-переходник для LapTop(а). Хипстерская Tool(а) типа с stdin/stdout текстовый CLI в конкретный бинарный протокол + драйвер интерфейса. А если жалко трафика, то придется еще и пропускать CLI трафик через программный компонент компрессии. Заметьте, никакой GUI(ни) пока не нужно.
4. UART CLI нужна как раз для отладки и верификации механизмов удаленного доступа (например стека LTE/Ethernet/TCP/IP/LoRa). Сами по себе беспроводные стеки это тонна кода, который тоже надо как-то отлаживать. Я могу сказать, что даже для запуска того же LoRa надо подтянуть кучу зависимостей: GPIO, SPI, DMA, FlashFS, UART, TIMERS, SX1262. В BlueTooth зависимостей на два порядка больше. И для стабильного Link(а) эти зависимости все по отдельности должны работать безупречно.

Общая канва такова, что более сложный программный компонент можно отладить только менее сложным компонентом. Ethernet отлаживают, в частности, при помощи UART-Shell. UART отлаживают связкой GPIO+JTAG. GPIO отлаживают мультиметром или логическим анализатором.

Тут можно провести аналогию. У каждого микропроцессора есть система команд. Это список Assembler инструкций, которые может исполнять этот микропроцессор. Аналогично и у электронной платы должна быть тоже своя система команд. То есть список действий, которые может выполнять эта конкретная плата. Вот такое простое рассуждение приводит к заключению, что прошивка должна быть UART-CLI.

Нужен какой-то портал для доступа к прошивке.

## 14.2 Почему люди используют CLI?

Далее я перечислил основные причины и возможности, которые дает Вам UART-CLI:

1. UART-CLI как датчик зависания прошивки

UART-CLI нужна по той причине, что CLI служит индикатором зависания прошивки. Суть очень проста. Если прошивка зависла, то CLI не печатает в TeraTerm/Putty эхо введенного символа. Не отвечает на команду. А если поток исполнения живой, то эхо появляется.

UART-CLI особенно выручает на устройствах без LEDов. Что очень часто.

Допустим у вас плата без HeartBeat LED(а). Ну пожалели разработчики денег, ну бывает. Вы накатили прошивку и ничего не происходит. Вообще ничего не поменялось. А вот UART CLI позволит произвести такой простой Smoke тест

как “А не зависла ли прошивка?”. Для этого достаточно просто открыть UART консоль и нажать Enter. Если появился курсор (–>), то тест пройден. Прошивка вертится. Успех.

```
1.113 :I [SYS] AppStackEnd: 0x20020000 Offset: 131072 Bytes
1.117 :I [SYS] AppResetHandler: 0x880406bd
1.120 :I [SYS] BootResetHandler: 0x880f24cd
1.124 :I [SYS] LittleEndian
1.126 :I [SYS] Main Task started, up time: 1126 ms

2.998-->
4.118-->
4.978-->■
```

Рис. 14.3: курсор CLI показывает

2. Нехватка on-chip NOR-Flash памяти для GDB символов

Прошивку далеко не всегда удается отлаживать по SWD или JTAG банально из-за нехватки on-chip NOR-Flash памяти для сборки \*.bin(аря) с отладочными символами (опции компилятора -g3 -ggdb -gdwarf-2). Поэтому в таких случаях выручает только отладка при помощи UART-CLI. Да, господа, вот так...

### 3. CLI для автоматизации процессов

С UART CLI можно автоматизировать работу с Target(ом). Автоматически прописать тесты. Автоматически прописать серийный номер. Автоматически прописать ключи шифрования.

4. Пошаговая отладка долго загружается

Потом, пошаговая SWD отладка имеет свойство очень долго загружаться. Буквально делаешь в Eclipse команду Terminate and Relaunch и IDE думает, думает, думает и только через 2 минуты происходит долгожданный reboot. Это как? Уже лучше и быстрее через UART-CLI отлаживаться.

5. CLI чтобы запросить версию софта и железа

Через UART-CLI вы всегда сможете узнать версию прошивки

```
File Edit Setup Control Window Help
1:11> .z1
25.472-247 V_ISYS Config:EBML.LIS3DH_ProgType:Generic_Debug.
25.476-248 V_ISYS board:[BAT_START_P437]
25.476-249 V_ISYS PCH:PCIe:0000:00:00.0
25.476-250 V_ISYS Sector:5120000000000000
25.486-251 V_ISYS Address:0x00200000 Region:Generic
25.486-252 V_ISYS Page:0x00000000000000000000000000000000
25.496-253 V_ISYS Date:Mon 28 Jan 2024 Time:10:29:49 Timestamp:[Fri Oct 25 11:11:06 2024] minInO Addr:0xb0000000 Valid:Ctd:1 SubIndex:1999H Git_L
25.496-254 V_ISYS Commit:GIT_LAST_COMMIT_HIGH_AUTO_REPLACE_Git_Branch:GIT_BRANCH_AUTO_REPLACE_GitSha:0x2f3fc9fa_0xBuidCtd:77 Compiler:GCC
25.496-254 V_ISYS TG:Pushdev_MadeInRussia
1:11>
1:11>
```

Рис. 14.4: CLI показывает версию прошивки

## 6. UART-CLI как резервная отладка

Если у вас перестал работать Ethernet, то UART-CLI поможет понять в чем загвоздка. Это обыкновенное резервирование для отладки.

## 7. Нехватка пинов на MCU

Интерфейсы JTAG/SWD как и пошаговую GDB отладку не всегда удается использовать, так как пины для JTAG/SWD уже используются схемотехниками под

всякие реле и кнопки. При этом саму прошивку записывают по UART через заводской загрузчик от производителя MCU (пины BOOT[2]). Вот и получается, что и для отладки прошивки ничего не остаётся кроме как задействовать UART-CLI.

## 8. UART-CLI дешевле JTAG

Оборудование для отладки через UART CLI дешевле, чем оборудование для отладки по JTAG в сотни раз, так как не нужен дорогой программатор. Цена JTAG программаторов, кажется, вообще ничем не ограничена. Видел от 7kRUB до 5kEUR.

## 9. Нет проблем со статическим электричеством

UART-CLI менее подвержен статическому электричеству в сравнении с SWD и JTAG. У SWD программаторов часто нет Link(a) с Target(ом). UART же работает всегда.

## 10. У UART-CLI длиннее провода

UART-CLI harness можно протянуть на большую длину чем SWD/JTAG. SWD обычно не работает уже при длине шлейфа около 40 см. Для UART 1 м до HIL стенда это вообще ни о чём.

## 11. Отладка через UART CLI удобнее, чем отладка по JTAG так как нужно всего 4 провода (Rx Tx GND VDD) вместо 20 проводов JTAG.

## 12. CLI можно использовать как имитатор устройства. Человек может отправлять данные в CLI в конкретную API(шку), а микроконтроллер будет реально думать, что это какой-то протокол или вообще устройство. То есть варианты комбинаций способов отладки с CLI ограничены только вашей фантазией.

## 13. Через CLI можно загрузить в устройство энергонезависимые конфиги. Например параметры модуляции беспроводных трансиверов.

## 14. CLI проста в использовании. Исполнять команды в CLI сможет даже необученный персонал просто следуя скачанной инструкции из pdf(ки) и вам не надо будет посыпать программиста в командировку за Урал, чтобы тот настроил радар или перепрошил RFID СКУД.

## 15. Из консоли TeraTerm можно скопипастить любой кусок текста. При работе с GUI-подобным конфигуратором часто скопипастить текст нельзя так как текст иногда отрисовывается прямо на канве как картинка.

## 16. Через CLI можно инициализировать запуск модульных тестов и увидеть отчет исполнения тестов. Можно запустить только те тесты, которые имеют в своем имени конкретную подстроку (например "i2c").

Или запустить только один конкретный тест. Можно отлаживать программу по частям подобно тому как в школьной математике функции интегрируют по частям.

## 17. Через CLI можно верифицировать функционал. Заставить испустить синус определенной частоты на DAC или распечатать в UART содержимое файла в FatFS.

```

COM3 - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
2:3-->
2:3-->
2:3-->
2:3-->tsr gpio+
cmd_unit_test_run() argc 1
126.899 :I [TEST] key1 [gpio+] 1 time
unit_tests_run() key gpio+
126.910 :I [TEST] unit_test_run_key() key gpio
***** Run test gpio_const .86/104
126.925 :I [TEST] test_gpio_const()
!OKTEST
***** Run test gpio_pull .87/104
126.949 :I [TEST] test_gpio_pull()
!OKTEST
***** Run test gpio_write .88/104
126.972 :I [TEST] test_gpio_write()
126.978 :W [TEST]
Gpio PD0=DMM1000_CS...
126.986 :I [TEST] test_gpio_pin_lev()
127.094 :I [TEST] Set Pad:PD0 DMM1000_CS to 0 OK!
127.182 :I [TEST] test_gpio_pin_lev()
127.210 :I [TEST] Set Pad:PD0 DMM1000_CS to 1 OK!
127.218 :I [TEST] Wire Pad:PD0 DMM1000_CS Ok!
127.226 :W [TEST]
Gpio PC11=DMM1000_WKP...
127.234 :I [TEST] test_gpio_pin_lev()
127.342 :I [TEST] Set Pad:PC11 DMM1000_WKP to 0 OK!
127.350 :I [TEST] test_gpio_pin_lev()
127.458 :I [TEST] Set Pad:PC11 DMM1000_WKP to 1 OK!
127.466 :I [TEST] Wire Pad:PC11 DMM1000_WKP Ok!
127.475 :W [TEST]
Gpio PB7=LedBlue...
127.482 :I [TEST] test_gpio_pin_lev()
127.590 :I [TEST] Set Pad:PB7 LedBlue to 0 OK!
127.598 :I [TEST] test_gpio_pin_lev()
127.706 :I [TEST] Set Pad:PB7 LedBlue to 1 OK!
127.714 :I [TEST] Wire Pad:PB7 LedBlue Ok!
127.722 :W [TEST]
Gpio PB14=LedRed...
127.729 :I [TEST] test_gpio_pin_lev()
127.837 :I [TEST] Set Pad:PB14 LedRed to 0 OK!
127.845 :I [TEST] test_gpio_pin_lev()
127.953 :I [TEST] Set Pad:PB14 LedRed to 1 OK!
127.961 :I [TEST] Wire Pad:PB14 LedRed Ok!
!OKTEST
***** Run test gpio_types .89/104
128.068 :I [TEST] test_gpio_types()
!OKTEST
128.077 :W [DECA] Init
128.187 :I [TEST] Test duration 1197 ms =1.197 s= 0.01995 min
128.117 :I [TEST] All 4 tests passed!
2:8-->
```

Рис. 14.5: Через CLI можно прогнать модульные тесты

18. CLI стимулирует писать более модульный код так как для каждого компонента надо где-то хранить список его внутренних команд.
19. CLI побудит вас сделать общий на все компоненты API для доступа к периферии, компонентам и драйверам. Это позволит вам в будущем быстро мигрировать с одного микроконтроллера на другой просто определив API(шные) функции для очередного чипа. А это первый шаг к методологии AUTOSAR или Zephyr Project.
20. Через CLI можно обновить прошивку. Можно передавать куски прошивки в формате base64 или просто hex в виде ASCII (получается base16). Или по протоколу zModem поверх CLI.
21. CLI это вообще универсальный протокол. Можно и прошивку кидать, и конфиги прописывать, и различную диагностику выгребать. CLI понимает и человек и

компьютер. Для CLI не нужен вспомогательный софт. Всё работает из коробки.

22. UART CLI можно через переходник [USB\_TypeC -USB-A(Nest)]-[USB-A(Fork)-UART (чип CP2102)] подключить к Android смартфону и управлять электронной платой с сенсорного экрана телефона по приложению Serial USB Terminal, прямо стоя на улице.

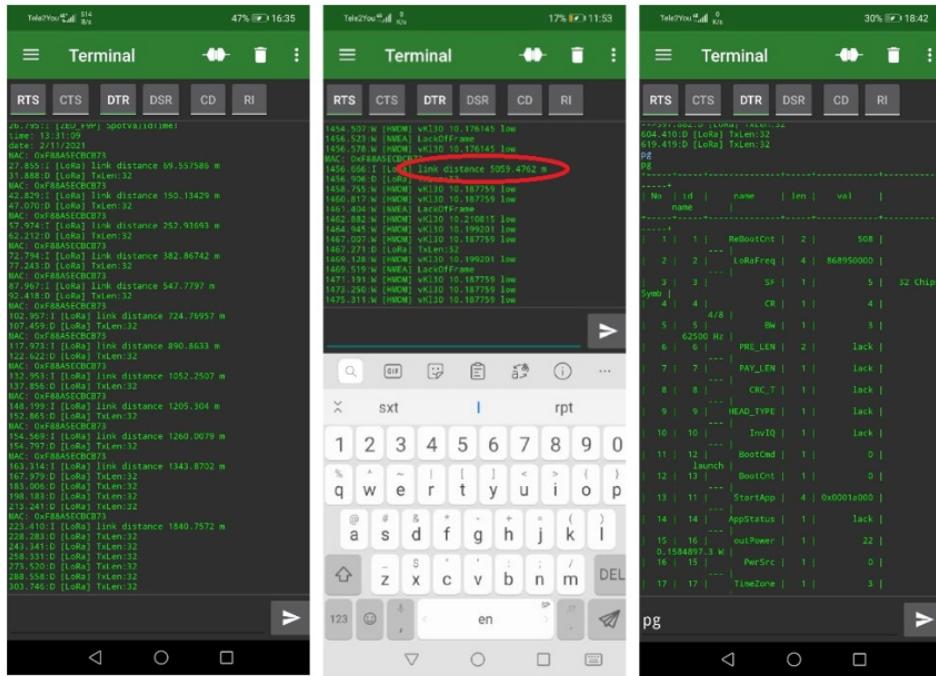


Рис. 14.6: Можно управлять платой с телефона

23. UART-CLI позволит вам воспроизводить известные баги. Вы просто напишите модульный тест, который проделает последовательность операций и запустите его из CLI.
24. CLI повышает вероятность, что написанный код вообще запустят хоть раз перед отгрузкой до 95
25. Еще очень важный момент. Если в прошивке визуально работает UART-CLI, то это автоматически означает, что правильно сконфигурировалось тактирование процессорного ядра и периферии, значит что включен контроллер прерываний, что работает FIFO. Работающий CLI это отличный модульный тест.
26. Эмуляция прошивки как процесса на PC. Если у вас в прошивке есть CLI, то вы можете собрать прошивку прямо на NetTop x86. Прошивку можно запустить на исполнение как Win консольное приложение в командой строке cmd.  
Затем, исполняя shell команды в stdin и наблюдая за цветным выводом в stdout вы можете отладить огромные куски кода, которым всё равно на архитектуру. Протестировать реализацию протоколов, математику, аллокаторы памяти, криптографию, компрессию/декомпрессию, fifo, lifo, циклический буфер, цифровые фильтры FIR, IIR, CIC, hashset(ы), алгоритмы расчета контрольных сумм, шрифты графических экранчиков, триггер Шмитта, распознаватели строчек, генераторы QR кодов и многое-многое другое, что не зависит от архитектуры. Без CLI

```

0.271 :I [SYS] Made in Russia
0.277 :I [SYS] AddrOfMain: 0x 401a74
0.282 :I [SYS] LittleEndian
0.286 :I [SuperLoop] Start
0.291 :I [SuperLoop] Init
0.299 :I [SuperLoop] Started, UpTime: 299 ms

-->
-->
-->
-->h
argc 0
AvailableCommands:
+-----+
| Num | Acronym | CommandName | Description |
+-----+
| 1 | ll | log_level | SetOrPrintLogLevels
| 2 | ld | log_diag | LogDiag
| 3 | lf | log_flush | LogFlush
| 4 | lc | log_color | LogColor
| 5 | ltc | log_try_color| LogTryColor
| 6 | tcl | task_clear | TaskInit
| 7 | tcr | task_ctrl | TaskControl
| 8 | tdi | task_diag | TaskDiag
| 9 | tsa | test_all | Print all unit tests
| 10 | tsr | test_run | Run test
| 11 | e | echo | SetEcho
| 12 | h | help | PrintListOfShellCommands
| 13 | vi | version | PrintVersionInformation
| 14 | si | sysinfo | PrintInformationAboutThreads&OS
+-----+
-->
-->

```

Рис. 14.7: Эмуляция прошивки как процесса на РС

вы бы не смогли отлаживать платформа-независимый микроконтроллерный кода на "большом компьютере".

27. UART-CLI позволит проводить контроль исполнения работы при работе в команде программистов. Вы просто откроете консоль TUI, запустите команды своего смежника и сразу поймете работает его программный компонент или драйвер или не работает.

Shell это самый очевидный способ доказать или опровергнуть наличие или отсутствие конкретного функционала в прошивке.

28. CLI не так грубо нарушает timing(и) время исполнения программ как пошаговая отладка , при отладке через CLI код протекает в естественном режиме и лишь изредка слегка замедляется редким выводом в UART. Это вам не точки останова JTAG, которые останавливают программу на несколько секунд и полностью нарушают логику приложения. Для современных 200MHz микроконтроллеров 1 секунда это как для человека эра. С Shell(ом) получается none disturb отладка.
29. Еще в далеком 1986 в микроконтроллерные устройства в прошивки встраивали интерпретаторы Basic(a). Примером тому служит гаджет Электроника МК-90. Получалось что устройство можно было допрограммировать уже в Run-Time(e)! Хорошая CLI это по сути тоже интерпретируемый язык программирования. Когда в устройстве есть CLI, то существует больше use case(ов) для этого устройства.
30. Дополнительная ценность  
Когда у Вас в прошивке есть CLI, любое ваше устройство помимо базового

функционала превращается в супер калькулятор покруче любого Cassio. Только вместо клавиатуры и дисплея два провода UART. Можно прямо в консоли TeraTerm/PuTTY попросить микроконтроллер расшифровать кусок Base64, RLE, AES256, вычислить SHA256, посчитать CRC16, решить задачку на поиск пересечения временных интервалов, определить точное количество дней между 2мя датами, вычислить расстояние между двумя GNSS координатами, найти угол между векторами, решить линейное уравнение, вычислить формулу и прочее и прочее.

Вот, например, прошивка рассчитывает ёмкость керамического конденсатора по его трехбуквенной маркировке. А раньше это была головная боль.

```

 .107-->
7.291-->cc 104
12.538,110 I,[AnalogFilter] Cap:0.000001=100.000nF
12.543,111 I,[AnalogFilter] Capacity:[104]->100.000nF
12.547-->
45.345-->cc 105
50.810,112 I,[AnalogFilter] Cap:0.000001=1.000uF
50.814,113 I,[AnalogFilter] Capacity:[105]->1.000uF
50.818-->
1:16-->cc 106
85.401,114 I,[AnalogFilter] Cap:0.00001=10.000uF
85.406,115 I,[AnalogFilter] Capacity:[106]->10.000uF
1:25-->

```

Рис. 14.8: Консольный конденсаторный калькулятор

Буквально недавно выручила консоль. Когда есть UART-CLI, вы можете из любого устройства с ADC сделать прибор для проверки напряжения для пальчиковых батареек AAA, AA.

Когда есть CLI прошивка превращается в Swiss Army Knife.

### 31. Простота работы с UART-CLI и гибкость

Работать с CLI по UART легко и приятно и UART-CLI ничем Вас не ограничивает в плане формата payload(a). Можете посыпать открытый текст в любом удобном для данной ситуации способом (например в ascii), можете отрисовывать ASCII таблицы.

Читать вывод прямо глазами. Не нужно писать никаких вспомогательных host утилит, достаточно существующих TeraTerm/Putty.

### 32. CLI для экономии денег и времени

Если у вас в электронное плате нет UART-CLI, а только какой-то проприетарный бинарный протокол, то Вам надо тогда писать ешё утилиту переходник на PC чтобы подключиться к устройству. А потом еще такую же утилиту для Win, Linux, Mac, Android, iOS, MS-DOS, OS/2, IBM POWER8 и БЭСМ-6. Не проще ли просто реализовать текстовый UART-CLI протокол с раскраской логов, ASCII таблицами на уровне Firmware и подключаться по любому терминалу последовательного порта (Putty/TeraTerm), которые и так есть для всех OS? UART-CLI избавит

```

COM24 - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
>>> cl h
argc 0
AvailableCommands:
+-----+-----+-----+
| Num | Acronym | CommandName | Description |
+-----+-----+-----+
| 1 | avd | auto_volume_diag | AutoVolumeDiag |
| 2 | cld | clock_diag | ClockDiag |
| 3 | ut | up_time | UpTime |
| 4 | swp | sw_pause | SwPause |
| 5 | hwp | hw_pause | HwPause |
| 6 | gl | gpio_list | GpioList |
| 7 | gi | gpio_init | GpioInit |
| 8 | gd | gpio_dir | GpioDir |
| 9 | ge | gpio_test | GpioTest |
| 10 | gt | gpio_toggle | GpioToggle |
| 11 | gg | gpio_get | GpioGet |
| 12 | gp | gpio_pull | GpioPull |
| 13 | gs | gpio_set | GpioSet |
| 14 | ll | log_level | SetOrPrintLogLevels |
| 15 | ld | log_diag | LogDiag |
+-----+-----+-----+

```

Рис. 14.9: ASCII таблица в UART CLI

Вас от написания калейдоскопа ненужных по-наме утилит-переходников под все известные платформы. Ну сами подумайте, откуда у СНГ(шной) электронной embedded конторы деньги на зарплату 250kRUR/мес для C/Java программиста для написания всех этих одноразовых РС утилит-переходников?

### 33. Внешнее управление микроконтроллеров по UART.

Вы можете реализовать в UART-CLI всего 2 команды: чтение физического адреса и запись в физический адрес. Далее вы можете соединить target PCB и большой компьютер переходником USB UART и уже писать прошивку на РС. Говоря метафорично, микроконтроллер будет выступать марионеткой, DeskTop-РС кукловодом, а ниточками - 2 провода от UART. Таким образом вы становитесь никак не ограничены в размере бинаря и при этом можете сопрягать прошивку со всеми ресурсами РС: базы данных, монитор, доступ в интернет и прочее.

### 34. Пользователи продукта будут Вам благодарны за CLI

Даже если Вы добавите сокращенный Shell в релизную сборку для какого-нибудь прибора, то пользователи будут Вам очень благодарны за такой extra функционал. Они смогут проделывать свои специфические операции с вашим прибором. Подключать его к большому компьютеру и писать для устройства скрипты. Примером устройств, где CLI оставлен в релизе являются векторный антенный анализатор NanoVNA V2, трансивер Flipper Zero, отладочная плата U-Blox ODIN, Bluetooth модуль BC127 и прочее. Поэтому, можно сказать, что CLI нужна не сколько разработчику сколько продвинутому пользователю продукта.

### 35. UART-CLI используют другие

UART-CLI давно используют в США, Европе и Китае. Поэтому и нам в России тоже надо уметь работать с UART-CLI. К сожалению Россия всегда догоняет Запад в технологическом плане.

Именно на Западе первыми стали строить реактивные авиа двигатели, радары, ракеты, атомное оружие, вертолёты, атомные подводные лодки, водородные

бомбы, цифровые компьютеры, персональные автомобили, космические челноки, карманные калькуляторы, самолёты, фотоаппараты. Перечислять можно очень долго. А смысл в том, что традиции нарушать как-то не принято.

Можно и дальше перечислять достоинства CLI (будь то по UART или UDP).

## 14.3 Аналогии CLI на бытовом уровне

Метафорично CLI в прошивке это как строительные леса в civil engineering(e).

Когда строят дом, его облачают в строительные леса (scaffolding). Они выглядят кустарно, некрасиво однако отлично помогают строительству. И это же не значит, что эти строительные леса останутся навечно после использования дома. Так же и в программировании. Для строительства кода тоже нужны своеобразные строительные леса в виде другого кода: диагностика, printf отладка, CLI, модульные тесты, скрипты сборки.

Вы когда-н видели чтобы дом строили без строительных лесов? Вот и я не видел.

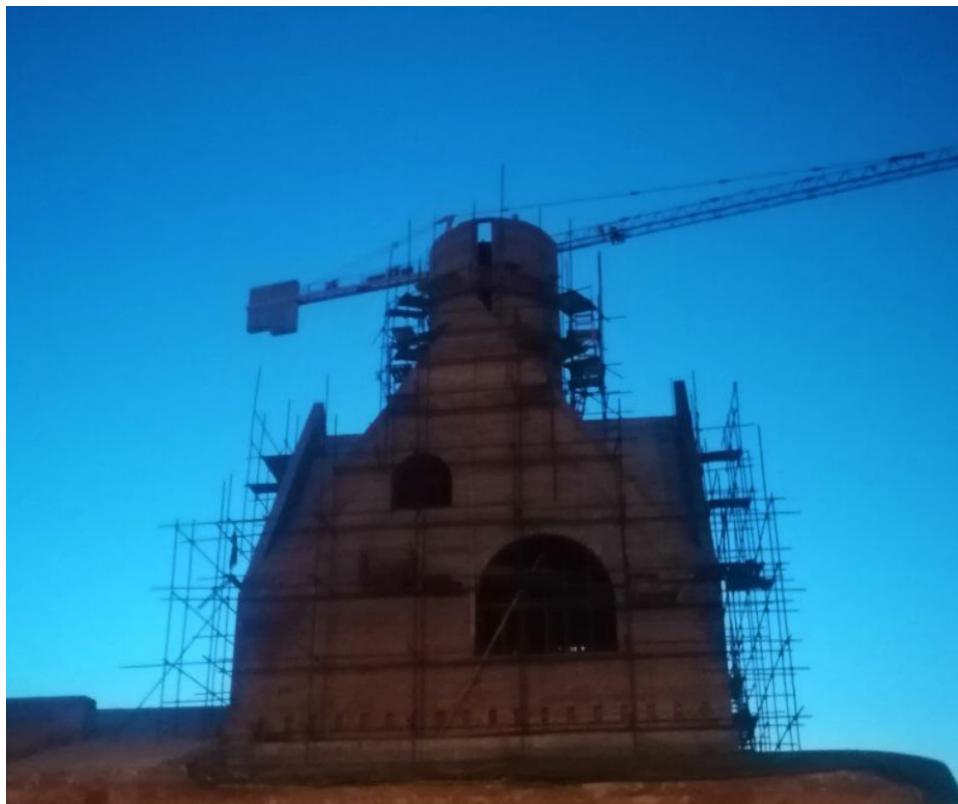


Рис. 14.10: CLI в прошивке это как строительные леса на стройке

Вы где-нибудь видели, чтобы строители летали на JetPackах с кисточкой и ведром в руках при покраске фасада многоэтажек? Вот и я не видел.

CLI для программиста микроконтроллеров это как для врача биолога микроскоп. С CLI можно внимательно разглядеть внутренности программы во время исполнения.

Вот скажите мне после этого, почему же тогда большинство российских программистов МК на 15м-20м году опыта в свои 43 года говорят:

Что еще за UART-CLI? О чём это вы? ... А чё, так можно было что ли?!

Ответ:

"Не можно, а нужно!".

В программировании МК тоже есть такое понятие как инфраструктурный код. В программировании MCU(шек) инфраструктурный код это тандем UART Shell + модульные тесты. Без этого ваш проект банально рухнет под собственным весом спустя год и произойдет это в самый неподходящий момент. Или код просто не будет работать, а вы об этом даже не будете догадываться.

Отказываться от UART-CLI это тоже, что если бы военные говорили:

Да нам авиация вообще не нужна. У нас вот есть артиллерия. Поэтому мы обычно мортирами и долбим по противнику.

Разработка электроники это как боевые действия. И тут нужны все виды вооружения.

## 14.4 Где уже используют CLI

Знаете, я восхищаюсь разработчиками советского калькулятора Электроника МК-85. Они смогли в далёком 1986 году в микроконтроллер с 16kByte ROM встроить интерпретатор целого языка программирования Basic.

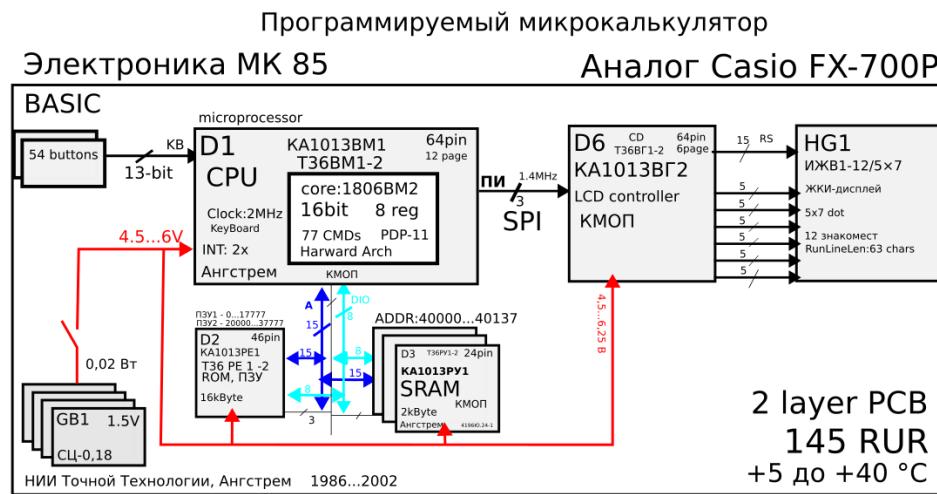
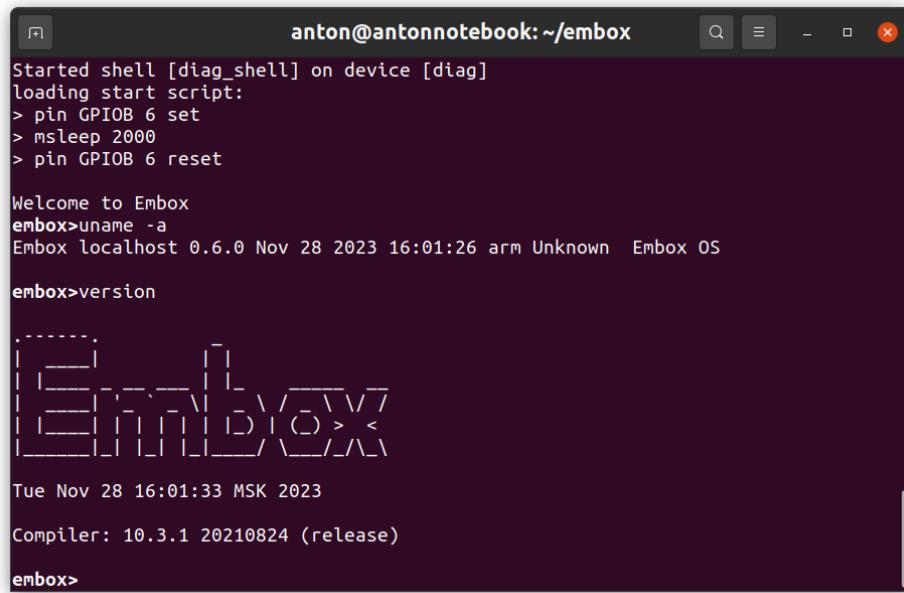


Рис. 14.11: Электроника МК 85

В наши же дни в 2024 современные российские программисты с 25ю годами опыта не могут в микроконтроллере с 4Mbyte Flash завести UART-CLI. Это как?

Причем есть же примеры очень успешных продуктов, которые с самого начала заложили UART-Shell в свой прошивки. Это загрузчик U-Boot, анализатор NanoVNA V2, трансивер FlipperZero, приемник GNSS U-Blox ODIN C099-F9P, Bluetooth трансивер BC127. Потом, в кодовой базе Zephyr project есть Shell.

Ещё в проекте Embox есть своя своеобразная UART-CLI.



The screenshot shows a terminal window titled "anton@antonnotebook: ~/embox". The window contains the following text:

```
Started shell [diag_shell] on device [diag]
loading start script:
> pin GPIOB 6 set
> msleep 2000
> pin GPIOB 6 reset

Welcome to Embox
embox>uname -a
Embox localhost 0.6.0 Nov 28 2023 16:01:26 arm Unknown Embox OS

embox>version

[ASCII art logo consisting of brackets and arrows]

Tue Nov 28 16:01:33 MSK 2023

Compiler: 10.3.1 20210824 (release)

embox>
```

Рис. 14.12: CLI в Embox

Для промышленной аппаратуры CLI и вовсе норма жизни (например авиационный RF приемник AW100Rx). Даже в домофонах есть UART-Shell вот (начало на 1:30):

Очевидно, что оглушительный успех этих продуктов в значительной мере определен наличием удобной и развитой CLI.

## 14.5 Список наиболее часто употребительных команд CLI

Вот список наиболее часто употребительных команд CLI безотносительно к конкретному проекту:

1. Показать список доступных команд Help/TAB
2. перезагрузиться
3. запустить модульные тесты
4. установить/считать напряжение на GPIO
5. установить подтяжку напряжения на GPIO
6. показать версию софта и железа
7. показать напряжение на входах ADC
8. запуск аппаратных таймеров
9. установить уровень логирования для конкретного компонента
10. включить/отключить конкретное прерывание
11. прыгнуть в загрузчик

12. перенастроить частоту процессорного ядра
13. показать таблицу состояния потоков и их свойства (стек, приоритет),
14. показать счетчик принятых/отправленных пакетов по всем протоколам
15. Вычитать кусок памяти из REG RAM FLASH
16. показать список файлов в файловой системе FatFs
17. пульнуть произвольные данные в SPI/I2C/I2S/MDIO
18. Найти адрес по значению
19. Просканировать шину I2C,
20. повторить конкретную команду N раз с периодом P
21. отобразить в UART содержимое конкретного файла

У меня в среднем на каждую сборку приходится максимум 120 Shell команд.

```

8.355-->
8.495-->
8.635-->Ё
9.055 :E [SYS] UnknownCommand [Ё]
9.058-->h
argc 0
AvailableCommands:
+-----+-----+-----+
| Num | Acronym | CommandName | Description |
+-----+-----+-----+
| 1 | jb | jump_boot | jump boot
| 2 | e | echo | SetEcho
| 3 | vi | version | PrintVersionInformation
| 4 | h | help | PrintListOfShellCommands
| 5 | si | sysinfo | PrintInformationAboutThreads&OS
| 6 | cld | clock_diag | Clock diag
| 7 | swp | sw_pause | SW pause
| 8 | tstk | try_stack | Explore stack RAM
| 9 | reboot | soft_reboot | Reboot board
| 10 | cd | core_diag | Cortex M4 diag
| 11 | cla | count_link_all | CountLinkAll
| 12 | cl | count_link | CountLink
| 13 | rm | read_mem | Read memory address
| 14 | faddr | find_addr | Find address by value
| 15 | wm | write_mem | Write memory address
| 16 | rpt | repeat | Repeat any command N time with period
| 17 | lfun | launch_function | Launch any function by address in ROM
| 18 | dd | dma_diag | DmaDiag
| 19 | dd1 | dma_diag_ll | DmaDiagLowLevel

```

Рис. 14.13: Первые несколько команд CLI

## 14.6 Некоторые незначительные недостатки CLI

1. Нет контрольной суммы CRC в PDU(Protocol data unit). Пользователя же не заставишь в уме высчитывать CRC32 того, что он там написал, и приписывать в конце 32(x) битный hex. Иначе прошивка не ответит. Это было бы ну просто смешно. Однако и тут всё не так плохо. Если вы используете в консоли Putty коды цветов и цвета отображаются на глаз плюс/минус норм, то это уже очень такой хороший знак того, что данные в трафике валидные и не corrupt(ятся).

```

0.654 :I [HMON] Init SYS OK
0.657 :I [SYS] init [OK!]
0.660 :I [SYS] FirmwareLaunched!
0.662 :W [SYS] config: Generic
0.665 :W [SYS] Generic
0.667 :W [SYS] Debug
0.670 :W [CLI] board: Olimex-STM32-H407
0.673 :W [CLI] MCU: stm32f407zg
0.676 :N [CLI] Date: Oct 16 2022
0.678 :N [CLI] Time: 22:48:44
0.681 :N [CLI]TimeStamp: Sun Oct 09 04:24:58 2022
0.684 :N [CLI] Cstd: 1
0.687 :N [CLI] StdHosted: 1
0.689 :N [CLI] StdCver: 199901
0.692 :N [CLI] branch: GIT_BRANCH_AUTO_REPLACE
0.695 :N [CLI] lastCommit: GIT_LAST_COMMIT_HASH_AUTO_REPLACE
FlashCRC32: 0x07E037E5
1.072 :I [SYS] Sector:3 0x800d939
1.075 :I [SYS] Addr: 0x800d939 Region:Generic
1.078 :I [CLI] main() Addr 0x800d939 Valid
1.082 :N [CLI] Compiler GCC

```

Рис. 14.14: Коды цветов как CRC

2. В самом простом виде UART-Shell это открытый текст. Можно перехватить трафик. Можно похитить ценнейшие метрики (логин-пароль, ключи шифрования). Но я подчеркиваю, что UART-CLI это только для отладки софта и железа внутри офиса.
3. Надо защищать устройство от несанкционированного доступа к CLI так как в этом случае можно получить тотальный доступ к устройству, превратить его в BotNet(a). Как защитить терминал в UART? Можно добавить логин и пароль как в Linux. Либо выпускать отдельную desktop tool(y)-терминал для шифровки и расшифровки shell трафика между человеком и электронной платой. Именно так сделали авторы прошивки радиостанции MeshTastic. Там заложены python скрипты-посредники для конфигурации и диагностики LoRa трансивера TTGO T-Beam.
4. Можно нечаянно набрать опасную Shell команду. Например стереть прошивку или замкнуть во внешнем H-мосте VBat на GPIO. Поэтому надо добавить запрос "вы уверены, что хотите выполнять эту опасную команду?" или просто выпилить для каждой конкретной сборки все опасные команды. Или добавить отдельный поток который будет оперативно выявлять и чинить сбои в конфигурациях.
5. В TUI (text user interface) нет контроля непрерывности трафика так как нет как такового заголовка пакета. CLI трафик это атомарные текстовые строки, оканчивающиеся переносом строки. Поэтому каждая Shell команда должна быть самодостаточной и не зависеть от предыдущих shell команд.
6. Есть небольшой overhead. Например DMA от UART-CLI временно блокирует шину данных на время отправки. Для компонента CLI надо немного RAM и Flash.

## 14.7 Итоги

В общем у Shell плюсов больше чем минусов. Смело добавляйте в свои прошивки UART-Shell. Никто не заставляет вас оставлять shell в релизной сборке, однако в отладочной сборке shell должен быть обязательно. Shell реально того стоит. CLI позволяет вам обеими руками по локоть забраться в исполняемый процесс и найти там любой бит при этом не помешав самому потоку исполнения кода. Эта технология позволит вам говорить с устройством на понятном обоим сторонам языке.

CLI в режиме IDLE вообще ничего не печатает в UART-TX и микроконтроллер не нагружается от слова совсем. UART-CLI только отвечает на редкие запросы, которые поступают в провод UART-RX.

Всегда лучше когда UART-CLI консоль есть, нежели когда её нет.

Я заметил одну тенденцию. Те люди, которые тряпят, что UART-консоль якобы не нужна банально не понимают про что идет речь эти CLI никогда в своей жизни не видели (GUI поколение) и они просто не в теме. К таким людям просьба относиться с пониманием.

В России люди не делают UART-CLI лишь по той простой причине, что не умеют программировать на том уровне на котором становится возможно делать синтаксический разбор разных типов данных из текстовых строчек. Это же надо хотя бы один учебник по формальным грамматикам понять... А для типичного выпускника приборостроительного Политеха это просто унижение... То есть наши люди не знают фундаментальных основ программирования! Поэтому и пишут прошивки как слепые котята. Отлаживаются наугад, наудачу, на авось.

А по факту без UART-CLI невозможно работать с микроконтроллерами. Без UART-CLI можно только прикидываться будто ты работаешь, запуская прошивки наугад со скрещенными пальцами играя при этом в бубен на столе.

Я работал в одной российской компании, где не было ни UART-CLI, ни модульных тестов, зато там в штате был, внимание, самый настоящий дьякон Российской Православной Церкви (РПЦ) для, благословления электронных плат! Он ходил по этажам и брызгал электронные платы святой водичкой. За отдельную плату также благословлял автомобили сотрудников от аварий... Да, господа. И такое в России бывает...

А если вы знаете еще известные коммерческие встраиваемые системы с интерфейсом командной строки в serial порте (например маршрутизаторы Cisco), то пишете в комментариях. Интересна их реализация Shell.

## 14.8 Гиперссылки

1. Почему Нам Нужен UART-Shell?
2. Почему важно собирать код из скриптов
3. UART-CLI в проекте Embox
4. CLI в подъездном домофоне
5. MCU-CLI-w25Q80-emu|EEPROM

6. embedded-cli
7. Пишем терминальный сервер для микроконтроллера на C
8. Только консоль. Почему текстовый интерфейс настолько эффективен
9. консоль в микроконтроллере с micro readline
10. Command line interpreter на микроконтроллере своими руками
11. Реализация многофункционального терминального интерфейса для МК AVR



# Глава 15

## Почему Сборка с Помощью Eclipse ARM GCC Плагинов это Тупиковый Путь.

"Не согласен - критикуй,  
критикуешь - предлагай,  
предлагаешь - делай,  
делаешь - отвечай!"  
(Сергей Павлович Королёв)

### 15.1 Пролог

В период с 199x по 202x на территории России развелось порядка двадцати тысяч программистов-микроконтроллеров, которые никогда в своей жизни не вылезали из всяческих GUI IDE (IAR, KEIL, Code Composer Studio, Atolic True Studio, CodeVision AVR, Segger Embedded Studio и прочие). Как по мне, так это очень печально. Во многом потому, что специалист в Keil не сможет сразу понять как работать в IAR и наоборот. Другие файлы для настроек компоновщика. Другая xml настройки проекта. Миграция на другую IDE тоже вызывает большую трудность, так как это сводится к мышковозне в IDE-GUI.

Это как если пилот летавший на Boeing 737 не сможет понять, как управлять AirBus A320 и наоборот. Там другой HMI. Вместо штурвала джойстик, мониторы не на том месте и прочее. Всё как-то непривычно.

Отдельная тема это бесплатный Eclipse с плагинами. Это вообще как кабина от Ил-62. Аналоговая, топорная, бесхитростная.

В программировании микроконтроллеров часто Eclipse с плагинами используют потому, что в нем есть плагины, которые генерируют make файлы для сборки программ на Си, согласно разметке проекта в XML под названием .cproject и .project.



Рис. 15.1: Кабины Boeing и AirBus



Рис. 15.2: Кабины ИЛ-62

Эти плагины были сделаны, главным образом, для того, чтобы вовлечь в процесс программирования микроконтроллеров школьников и прочих специалистов без профильного IT образования и опыта в области Computer Science. Понимаете?

Далее я напишу почему сборка с Eclipse плагинами для IDE не годится для промышленного программирования.

## 15.2 Теория сборки Си программ в IDE с плагинами

По сути, построение любого Си-кода в IDE сводится к трем простым, но очень частым действиям

1. Добавить мышкой исходник к проекту
2. Добавить мышкой пути к папкам с кодом
3. Добавить мышкой макросы препроцессора к проекту

То что вы прощёлкиваете мышкой всё это запоминает IDE.

1. Проблема: Поломаный cproject или project То что вы прощёлкиваете мышкой всё это запоминает IDE. Всё это сваливается в файл .cproject. Этот файл .cproject — это авто-генеренный файл, в который руками лучше не соваться. Ибо если Вы случайно там что-то поменяете и сохраните, то в один утренний день у Вас просто не откроется проект! Далее у Вас начнется приступ судороги, конвульсии и паралич. Нормально так, да?... Это проблема номер 1.
2. Проблема: Ручное Прописывание Путей Это вообще самая больная тема при сборке при IDE с плагинами. При сборке из-под IDE вам всегда придется вручную мышкой в настройках IDE прописывать пути к программным компонентам и к заголовочным файлам

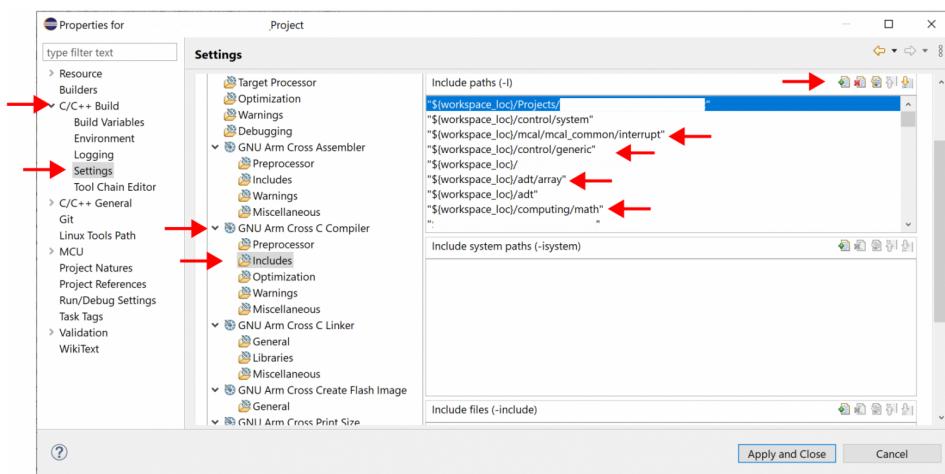


Рис. 15.3: Ручное Прописывание Путей

Но есть один трюк. Он заключается в том, чтобы прописывать пути в переменную окружения `INCDIR` и скормить её в IDE. Можно написать \*.bat скрипт. Этот скрипт надо отработать до запуска Eclipse. Тут очень важно чтобы черточка была именно 45 гардусов "/". Иначе система сборки не распознает этот путь. Далее надо прописать make переменную `INCDIR`

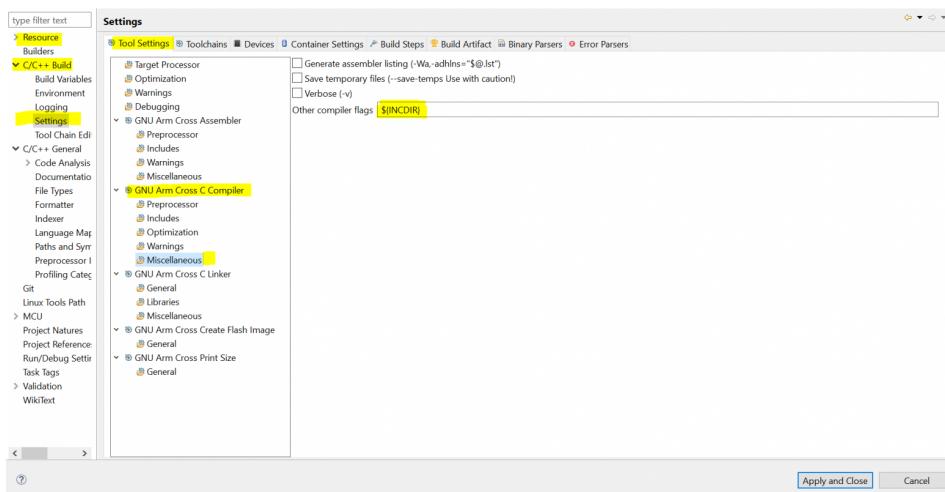


Рис. 15.4: Добавление путей пачкой

Однако и тут всё не так гладко. Максимальная длина переменной окружения в cmd

всего 8192 символа. А сохранить setx(ом) между сессиями можно и вовсе всего только 1024 символа в одной переменной окружения. Понимаете? Вот и получается, что так можно прописать только очень мало путей. Остальное вручную мышкой пока не заноет запястье.

3. Проблема: Ручное прописывание макро определений для препроцессора. Очередная беда Eclipse IDE с ARM плагинами - это ручное прописывание макросов препроцессора. Макросы прописываются вот тут Properties -> C/C++ Builds -> Settings -> Tool Settings -> GNU Arm Cross C Compiler -> Preprocessor -> Define Symbol (-D)

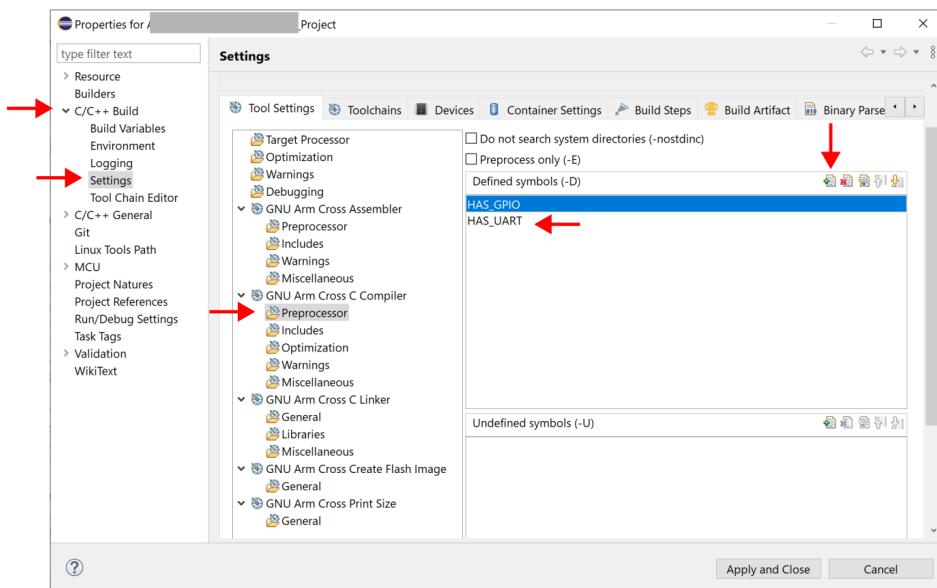


Рис. 15.5: Ручное прописывание макро определений

тут в GUI окне Вы тоже мышкой добавляете и прописываете свои макросы один за другим, пока не заболит рука. Потом нажимаете Apply and Close. Но есть один трюк. Можно передать файл `extraconfig.h`

Далее опцией `-include` прописав строчку `-include extraconfig.h`.

Рис. 15.6: прописывание всех макро определений разом

Как видно в логе сборки, макросы передаются успешно извне:

Таким образом Вы сэкономите неделю времени!

4. Не собрать из скриптов. Сборку можно инициировать мышкой или горячей клавишей Ctrl+B или тоже мышкой из IDE. Однако очень мало кто знает, что можно также инициировать сборку и из консоли! Да.. Это так... Для начала, если у Вас на PC нет прав администратора, чтобы изменить переменную PATH, то можете каждый раз изменять переменную PATH из консоли Windows cmd вот так

После этого можно смело запускать скрипт сборки `build_eclipse.bat`

При этом Eclipse откажется собирать проект, если вы предварительно не сделаете refresh вручную опять мышкой из-под IDE. Как сделать авто refresh из-под командной

строки - тоже не ясно. Нигде про это не написано. Люди на форумах жалуются, что нереально сделать авто refresh из-под командной строки. Это, к слову, 4тый гвоздь в крышку гроба Eclipse ARM плагинов. Вы уже понимаете всю глубину наших глубин?

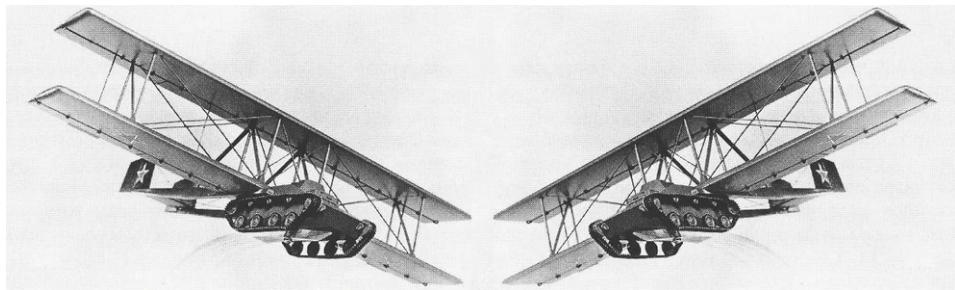


Рис. 15.7: Запуск сборки мышкой из-под GUI-IDE - это так же нелепо как летающие танки.

- Проблема: Ручное прописывание ключей компоновщику. При сборке через плагины, вам надо также вручную мышкой прописывать ключи для компоновщика . Например -l m для подключения математических функций (sin, log, cos).



Рис. 15.8: Ручное прописывание ключей компоновщику.

Проблема в том, что это надо проделывать для каждой отдельной сборки, даже если код у сборок общий. То есть опять происходит бессмысленное дублирование конфигов и лишняя работа.

- Проблема с генерацией артефактов. К сожалению, Eclipse с ARM плагинами не может одновременно сгенерировать \*.hex и \*.bin артефакты. Либо \*.hex либо \*.bin. GUI прошивальщики требуют hex, а консольные прошивальщики требуют именно \*.bin. Поэтому пришлось делать костыль и прописать синтез \*.bin отдельно в скрипте перепрошивки утилитой arm-none-eabi-objcopy

Вот скрипт файла `flashbin.bat`

Вот лог успешной перепрошивки:

Либо, как вариант, можно добавить настройку генерировать бинарный \*.bin файл как Post-build-steps. Находится это поле по следующему GUI-IDE адресу в GUI: Properties -> C/C++ Build -> Settings -> Build Steps-> Post-build-steps

Причем если взять один и тот же проект и на разных компах, добавить этот Post-build-steps, то .cproject будет, внимание, на 30Хотя оба User(a) GUI-IDE мышкой вы-



Рис. 15.9: Дублирование конфигов это как самолёт с двумя штурвалами.

```
C:\Windows\System32\cmd.exe
project_dir=C:\projects\code_base_workspace\ \Projects\A
 artefact_bin=C:\projects\code_base_workspace\ \Projects\

Artery AT-Link Programmer V3.0.08

Connect.....
AT-Link Plus FW: V2.2.10 Serials: F4A81400004001210C159507 (WinUSB)
AT-Link connected
MCU Part Number: AT32F435ZMT7 Flash size: 4032KB
MCU connected

Disable flash access protection
Disable flash access protection finished!
Disable erase and program protection
Disable erase and program protection finished!
Download file opening.....
Open file succeed!
Erase MCU sectors of file size.....
Erase sectors finished
File downloading.....
File download finished!
Read memory and Verification.....
Verification finished!
Reset and run.....
Reset and run finished!

Done!
Press any key to continue ...
Press any key to continue . .
C:
```

Рис. 15.10: лог успешной перепрошивки

полнили одни и те же действия. Вот так, господа.... Вы уже "любите" Eclipse ARM плагины?

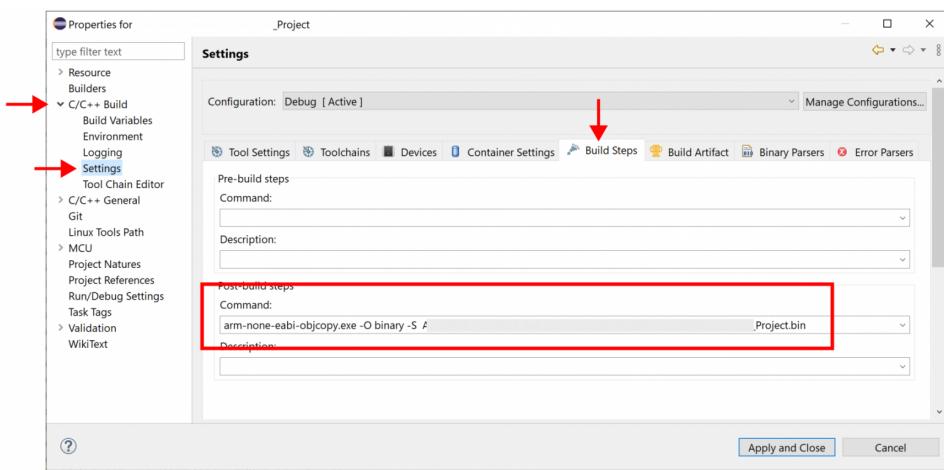


Рис. 15.11: Post-build-steps

## 15.3 Пошаговая отладка

В принципе, пошаговой отладке абсолютно всё равно какая IDE. Пошаговой отладке нужен только GDB сервер, GDB клиент и специально подготовленный \*.elf файл. Далее можно хоть из консоли код по строчкам проходить.

Пошаговая GDB отладка ARM процессора из консоли в Win10

## 15.4 Минусы сборки Eclipse плагинами из-под IDE

1. Конфиги внутри .cproject не отсортированы. Хотя IDE могла бы это и сделать. В результате у двух похожих проектов diff .cproject составляет 99,99% это очень трудно проходит инспекцию программ.
2. Высокие накладные расходы на создание ещё одной сборки.



Рис. 15.12: Высокие накладные расходы на создание ещё одной сборки средствами IDE

Как следствие создавать отдельные сборки для конкретных плат User(ам) IDE

просто лень. В итоге у всех одна сборка - Франкенштейн сразу для всех электронных плат и всех микроконтроллеров!



Рис. 15.13: сборка - Франкенштейн сразу для всех электронных плат и всех микроконтроллеров!

Издевка судьбы ещё и в том, что одной сборки обычно никогда не бывает! Для каждой электронной платы нужно как минимум пять сборок! Следите за руками... Первичный загрузчик (MBR), Вторичный загрузчик, Generic release, assembly test, Generic debug. Плюс сборки для того чтобы гонять прошивку на отладочных платах от производителя микроконтроллера, пока ваше изделие находится в производстве. Уже получается минимум 6 сборок, господа. Вот и получается, что надо сразу начинать разработку на основе самостоятельно написанных make скриптов, а не на этих ваших пресловутых Arduino(ображных) GUI(невых) IDE. Вот такие вот пирожки с капустой, понимаете...

3. Eclipse плагины не позволяют менять код во время компиляции. Программа может собираться долго. И ваша работа парализована на время сборки. Прошивки надо именно, что варить так как собираются они по 7-15 минут
4. Eclipse плагины собирают всё что лежит в папке. Как то что нужно, так и то, что не нужно. Это провоцируют путаницу и ошибки.
5. Много мышковозни. Вы конечно можете открыть файл настроек проекта .cproject и дополнять его в текстовом редакторе. Однако эти действия не легальны как бы... При этом если Вы случайно измените там в ненужном месте лишний символ или оставите пробел или TAB, то у вас перестанет собираться сборка! Весь проект на помойку! Вас же при этом от страха застигнут судороги, конвульсии и паралич. Оно вам надо? Может всё-таки на 7м году опыта уже лучше самим писать скрипты сборки? А?...
6. Разработчик GUI-IDE не за что не отвечает. Проблема IDE плагинов в том, что Вы отдаете управление над ситуацией каким-то левым плагинам, написанными непонятно кем. При этом этот кто-то не несет абсолютно никакой ответственности

за свою работу. У вас происходит control leak. Это тоже, что у летчика самолет перестанет слушаться штурвала или джойстика.

## 15.5 Достоинства сборки из-под Eclipse с ARM плагинами

1. Если Вы ещё пока слабо разбираетесь в языке сборки make, то Вы можете проанализировать те makefile(ы), которые для Вас любезнейшим образом синтезировали Eclipse ARM plugins и, на основе этого, написать свои более структурированные и модульные makefile(лы). Вот, пожалуй, хорошее достоинство ARM plugins для Eclipse.
2. Eclipse IDE с плагинами это средство избавления от санкционных и дорогих IDE IAR и Keil.
3. Eclipse IDE с плагинами это бесплатный инструментарий для сборки прошивок. Для бедных.
4. Многие пользуются Eclipse IDE только потому, что им нужна функция автоматического форматирования отступов в исходниках горячей кнопкой Ctrl+Shift+F. А утилитой clang-format.exe или GNU indent они пользоваться не умеют.
5. В Eclipse плагинах есть функция - дымовая завеса кода
6. Плюс разработки в IDE в том, что можно годами, как пиявка, высасывать из организации зарплату за то, что через те же Make скрипты-сборки можно сделать максимум за 3-4 месяца. Именно по этой причине embedded стартапы и не используют IDE, а используют, как раз, именно самописные скрипты сборки (Make, CMake, Ninja, Meson и прочее).

## 15.6 Аналогии

Если проводить аналогии с атомной энергетикой то, сборка через GUI-IDE - это как реакторы на горизонтальных ТВЭЛах (сборках), а сборка из скриптов это реактор на вертикальных ТВЭЛах.

Горизонтальные реакторы неудобны, так как надо минимум две точки подвеса ТВЭЛа при загрузке топлива. Плюс нужны дополнительные усилия, чтобы проталкивать стержни в активную зону. Потом стержень может расплавиться и застрять. Тогда жди беды.

Напротив, вертикальные ТВЭЛы загружаются под действие силы тяжести и для транспортировки сборки нужна только одна точка подвеса. Расплавленные ТВЭЛы просто высыпаются и онисыпаются в поддон. Easy!

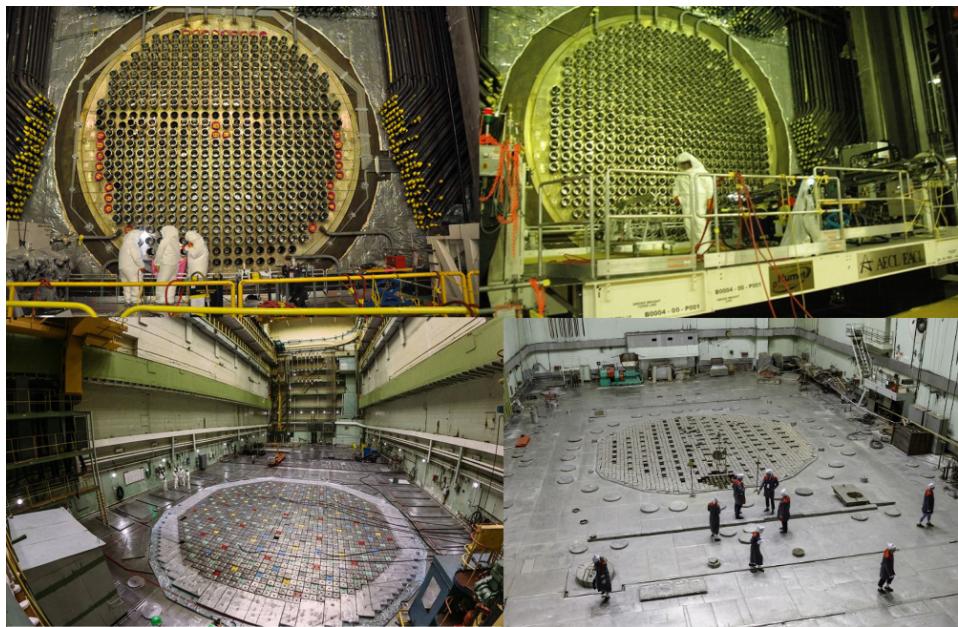


Рис. 15.14: реактор на горизонтальных ТВЭЛах

## 15.7 War story

В одной западной компании мы делали прошивки для заурядных плат, которые, по сути, перекладывают байты. Там были самописные Make скрипты сборки. Каждому программисту удавалось для новой платы написать прошивку за 2-3 недели. До этого я делал, то же самое в другой российской компании, но только в IAR и Keil. И в целом, на разработку прошивки для одной точно такой же электронной платы уходило 2-3 года! Делайте выводы, господа...

Поэтому GUI-IDE - это идеальный инструмент для масштабирования разработки во времени. Пока идет разработка прошивки в Eclipse-IDE с плагинами, там, глядишь, и 35-летняя ипотека выплатится. Успех!

У меня был случай, когда была одна Legacy IAR-IDE сборка 55-ю конфигурациями и надо было для всех конфигураций написать ещё пару \*.c файлов. Так вот... Код я написал за 3-4 часа. Однако у меня ушло две недели тупо на то, чтобы просто в каждую конфигурацию мышкой добавить папку, прописать пути к этой папке и добавить макросы в GUI IDE. Вот так, господа...

Это то же что, если бы другой посторонний человек диктовал бы вам каждый день как вам надо одеваться. И предлагал мятую одежду, рваные носки и рубашку без некоторых пуговиц на рукавах. В дождь выходить без зонта и прочее. Оно вам надо? Вероятно вы сами хотите выбирать себе повседневную одежду? Так?

## 15.8 Что делать?

Пишите сами скрипты сборки. Вариантов масса: Make, Ninja, CMake, Meson, Python в конце концов. Если и возникнут ошибки сборки, то в логе хотя бы будет понятный комментарий об ошибке. Так же Вы сможете вообще использовать любой

текстовый редактор, а не привязываться только к Eclipse.

Ездите на круглых колесах, а не на квадратных. Пишите скрипты сборки сами!

## 15.9 Итоги

Суммируя вышесказанное, я крайне не рекомендую Вам собирать проекты ARM плагинами Eclipse! Это, к слову, также касается и Code Composer Studio, IDE-IAR и IDE-Keil.

В 2024 году в эпоху DevOps программировать в IDE с плагинами - это тоже, что лаптями щи хлебать.

Работа в GUI-IDE - это для тех, кто не в теме. Для OutSider-ов

Собирать прошивки в GUI IDE это как строить деревянные самолёты вместо металлических.

Лучше пишите сами Make или CMake скрипты сборки.

Это даже проще. Ваша жизнь заиграет новыми красками... Вы сможете масштабироваться хоть до Луны.

Обоснованных плюсов в сборке из-под IDE я вообще не нахожу.

Одни только проблемы. Темпы разработки очень-очень низкие. Новые сборки создавать трудно, предстоит полное дублирование конфигов, поддерживать прежние сборки тоже тяжко. Файлы настройки .cproject у всех разные как снежинки, даже если конфиги логически одинаковые.

Также Eclipse с плагинами крайне неприспособлен для сборки из-под командной строки. Это сразу перечеркивает автосборки в Jenkins(е) и вообще DevOps как таковой. И вы автоматически оказываетесь где-то в 198x...199x годах.

Eclipse с плагинами - это только кактус-соло разработка. Только ручные сборки. Ремесленничество, не фабрика. Понимаете?...



Рис. 15.15: Solo разработка в IDE это как вот этот solo полёт

Потом, собирать прошивки в Eclipse с плагинами IDE с плагинами это также неэффективно как ездить на квадратных колёсах.

## 15.10 Гиперссылки

1. Разворачивание среды разработки для STM32
2. Building Projects with Eclipse from the Command Line
3. Почему важно собирать код из скриптов
4. Настройка сборки прошивок для микроконтроллеров Artery из Makefile
5. Дымовая Завеса в Eclipse IDE
6. How to link Eclipse Project with -lm library for "floor" and "pow" function?

# Глава 16

## Почему важно собирать код из скриптов?

### 16.1 Пролог

В период с 199x по 202x на территории РФ развелось порядка двадцати тысяч программистов-микроконтроллеров, которые никогда в своей жизни не вылезали из всяческих GUI IDE (IAR, KEIL, Code Composer Studio, Atolic True Studio, CodeVision AVR, Segger Embedded Studio и прочие). Как по мне, так это очень печально. Во многом потому, что специалист в Keil не сможет сразу понять как работать в IAR и наоборот. Другие файлы для настроек компоновщика. Другая xml настройки проекта. Миграция на другую IDE тоже вызывает большую трудность, так как это сводится к мышковозне в IDE-GUI. Каждая версия IAR не совместима с более новой версией IDE.

Это как если пилот летавший на Boeing 737 не сможет понять, как управлять Airbus A320 и наоборот. Там другой HMI. Нет штурвала, мониторы не на том месте и прочее. Всё как-то непривычно.



Рис. 16.1: boenig vs airbus

Дело в том, что GUI IDE появились в 199x...201x, когда не было расцвета DevOps(а), программист работал один и все действия выполнялись вручную. Мышкой. В то вре-

мя работа в GUI казалась программистам-микроконтроллеров веселее, ведь в IDE много стразиков.

Но с усложнением кодовой базы, с увеличением сборок, с увеличением команд разработчиков появилась нужда в переиспользовании кода, нужда в автосборках, в авто тестах. Появилась методология

код отдельно, конфиги отдельно

и работа с IDE стала только тормозить процессы. Ведь конфиги хранятся в IDE-шной XML(ке). Приходилось дублировать конфиги платы для каждой сборки, что использовала эту плату. Пришлось дублировать код конфигов и этот процесс сопровождался ошибками, из-за человеческого фактора. При масштабировании работы с IDE кодовая база фактически превращалась в зоопарк в болоте.

Это мнение не оригинальное и уже много раз звучало в сообществе.

-  **iig** 7 дек 2019 в 16:19 ▲
  - Как только ваш проект станет немного сложнее чем helloworld, ему понадобится система сборки.
  - +3 Ответить
  - ...
  
-  **igorpr1024** 7 дек 2019 в 16:19 ▲ ▾
  - Минусить — дурное дело, а вот контрагументировать — пожалуйста! Возражу насчёт вести сборку. Дело в том, что пока проект живёт в пределах ноутбука, можно собирать и с помощью IDE. А когда над ним трудятся несколько человек (а ещё и если команда распределённая), то без CI-сервера уже не обойтись. И никакого IDE там нет и быть не может. Дальше. Если сборка идёт скриптом, то обеспечивается воспроизводимость результата сборки. Т.е., если сборщик (make) собрал и получил нужный результат, то как локальную IDE ни настраивай, результат сборки не испортишь и у каждого (и на сервере) он будет одинаковым.
  - +5 Ответить
  - ...

Рис. 16.2: comment

Подробнее про гаражный колхоз сборки из-под GUI-IDE можно почитать тут: Почему сборка из-под IDE это тупиковый путь

Какие недостатки сборки исходников из-под IDE?

1. IDE монолитные и неделимые. Если Вы захотите поменять какую-то часть ToolChain(a) — препроцессор, компилятор или компоновщик, а остальные фазы ToolChain(a) оставить как есть, то ничего из этого у вас не выйдет, так как капот IDE нагло закрыт на замок.
2. IDE стоят дорого, порядка 3500 EUR на один компьютер. Это лишняя дань и оброк для вашей компании. Оно вам надо?
3. IDE(шные) xml очень слабо документированы или не документированы вовсе. У всех вендоров xml имеет свой особенный снобский xml-like язык разметки для конфигурации проекта. При внесении незначительных изменений появляется огромный git diff.

IAR Systems Lead:

from Yandex

Reply Forward De

IAR Systems переслали мне новый запрос, который Вы оставили у них на сайте. Наше предложение, которое я направляла Вам в марте, остается в силе. Для работы с STM32F413ZG Вам будет достаточно редакции Cortex-M.

Cortex-M версия с привязкой к ПК

EWARM-CM цена по акции EUR 2730 (стандартная цена EUR 2925)

Cortex-M версия с привязкой к аппаратному ключу

EWARM-CM-MB цена по акции EUR 3375 (стандартная цена EUR 3600)

Cortex-M версия с привязкой к серверу (доступ по паролю)

EWARM-CM-NW цена по акции EUR 3444 (стандартная цена EUR 3690)

Cortex-M версия (EWARM-CM) ориентирована на работу с Arm Cortex-M0, M0+, M1, M3, M4, M7, M23, M33.

Возможности среды разработки включают поддержку Cortex-M процессоров производства российской компании Миландр. Информация отражена в списке поддерживаемых устройств на сайте производителя.

Лицензии бессрочные. Поставляются текущие версии. В качестве аппаратных средств отладки в дополнение к любому варианту EWARM можем предложить отладчик IJET с нашего склада.

В течение года после покупки IDE можно будет бесплатно обновлять версии (обычно 2-3 раза), а далее со скидкой 80% (запрос на обновление за месяц до окончания годовой SUA) и 50% (1-3 гола с момента покупки).

Рис. 16.3: Стоимость IAR

4. Затруднена сборка из консоли. В основном инициировать сборку в IDE можно мышкой или горячими клавишами. Либо надо делать refresh мышкой из-под IDE.
5. Обратная несовместимость с новыми версиями IDE.
6. В условиях технологического Эмбарго и Санкций законно купить IDE европейского (Германия, Швеция, США) вендора невозможно. Они вас просто пошлют, так как у них Ваша территория числится как criminal state
7. IDE отжирают какие-никакие но ресурсы компьютера, как RAM как и CPU, IDE же надо много оперативки, чтобы отрисовывать окошки со стразиками. IAR и Code Composer, например, раз в день стабильно напрочь зависают, что помогает лишь перезагрузка розеткой.

В общем распространение IDE это яркий пример известного ныне "технологического диктата"(vendor locking) запада для низкосортных народов из стран второго и

```

diff --git a/source/projects/nrf5340_dk_nortos_decadriver_m.cproject b/source/projects/nrf5340_dk_nortos_decadriver_m.cproject
index e4ca0f4..4e4b668 100644
--- a/source/projects/nrf5340_dk_nortos_decadriver_m.cproject
+++ b/source/projects/nrf5340_dk_nortos_decadriver_m.cproject
@@ -26, 7 +26, 7 @@

 <option id="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.debugging.Format_891630087" name="Debug Format" superClass="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.debugging.Format"/>
 <option id="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.toolChain.name_1840176550" superClass="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.toolChain.name" value="GNU Tools for ARM Embedded Processors" valueType="string"/>
- <option id="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.architecture_l16_272331" name="Architecture" superClass="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.architecture" value="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.architecture_arm" valueType="enumerated"/>
+ <option id="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.arm.target.family_74160628" name="ARM family" superClass="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.arm.target.family" value="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.arm.target.mcu" valueType="enumerated"/>
 <option id="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.arm.target.family_mcu_74160628" name="Arm Family - <c>mcu</c>" superClass="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.arm.target.family" value="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.arm.target.mcu" valueType="enumerated"/>
 <option id="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.arm.target.instructionSet_54479903" name="Instruction set" superClass="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.arm.target.instructionSet" value="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.arm.target.instructionSet_hex" valueType="enumerated"/>
 <option id="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.command.prefix_1641188999" name="Prefix" superClass="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.command.prefix" value="arm-none-eabi-" valueType="string"/>
 <option id="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.command.c_204795377" name="C compiler" superClass="ig_guarneclipse.managedBuild.cross.option.command.c" value="gcc" valueType="string"/>
-
```

Рис. 16.4: Добавил в дерево IDE ссылку на одну папочку. Получился такой diff. Как думаете сколько часов его будут review(вить) ? Ответ: в среднем две недели

третьего мира.

Навязывание GUI-IDE (Keil, IAR, CCS, плагинов Eclipse) это форма технологического диктата со стороны стран бывших метрополий. Они привыкли столетиями помыкать своими колониями и до сих пор продвигают эту подлую циничную политику подсовывая vendor locking средств разработки во всякие страны как Кракожия, Такистан, Элбония, Западно-Африканская республика и прочее.

Сами они там у себя этим суррогатом нелепы не пользуются. Понимаете? У них там CMake, Make, Ninja скрипты сборки и полный DevOps в Docker контейнерах. Я работал в одной английской конторе и видел это всё своими глазами.

А туземцам в СНГ они суют эту тухлую песочницу в которой только кривые куличи лепить возможно.

Мы вам продаём песочницу (IDE), а вы сидите там за бортиками, улыбаетесь и лепите свои, никому даром не нужные, куличики (прошивки-паршивки).

Понятное дело, что разработчики IDE во всю пользуются ситуацией и добавляют всяческие программные закладки, такие как слияние исходников в здание с пятью углами, удаленное отключение функционала, ограничение размера выходного бинарного файла до 32kByte и всё на, что им там только хватит их извращённой фантазии!

Понятное дело, что в таких жестких рамках на "сделать что-то серьезное" туземцам рассчитывать не приходится. Сборка в IDE это всегда мелкая серия. Всегда малый ассортимент. Всегда ручное развертывание.

А когда запад нас в очередной раз кинул пришлось начать думать как теперь дальше жить... Хорошим решением оказалось сделать шаг назад в 197x 198x когда на компьютерах всё делали из консоли. Даешь сборку сорцов из скриптов! Можно вообще \*.bat файл написать и он, в общем-то, инициирует запуск нужных утилит,



Рис. 16.5: иллюстрация программирования микроконтроллеров в IDE

однако исторически Си-код собирали культовой утилитой `make`.

Дело в том, что `makefile` придумали в 1976 (Stuart Feldman), тогда, когда к компьютеры были дорогие (65k USD только за несколько сотен килобайт RAM) и к компьютерам подпускали только PhD профессоров из топовых университетов мира. Поэтому и появились такие гениальнейшие утилиты как `awk`, `make`, `grep`, `find`, `gdb`, `sed`, `sort`, `tsort`, `uniq`, `tr` и прочие.

Тогда в далеких 197x у школоты в принципе не было возможности хоть как-то влиять на ход развития софта и генерировать спагетти код и программные смеси как сейчас в 200x...202x.

Когда вы собираете из `Make` вы можете не только собирать исходники, но и

1. Что можно делать из скриптов сборки
2. сортировать конфиги
3. запускать статический анализатор
4. собирать документацию (вызвать `Latex`, `Doxxygen`)
5. строить графы зависимостей на `graphviz`
6. автоматически архивировать артефакты
7. можете прямо из `make` отправлять файлы прошивок потребителям
8. Вызывать процедуру пере прошивки консольными утилитами программатора
9. автоматически генерировать функцию инициализации программы

10. автоматически генерировать конфигурации
11. автоматически обновлять версию прошивки
12. подписывать артефакты
13. автоматически выравнивать отступы в исходниках
14. генерировать список макросов для подсветки синтаксиса
15. и многое другое

Утилите `make` всё равно какие консольные утилиты вызывать. Понимаете? Это универсальный способ определения программных конвейеров.

Утилиту `make` можно использовать не только для дирижирования процессом сборки кода программ. Утилита `make` может также управлять авто генерацией преобразования расширений файлов для черчения или управлять сборкой документации, управлять DevOps(ом). `Make` можно использовать по-разному, как только фантазии хватит. Ибо `Make` совершенно инвариантен и абстрагируется от языка программирования как такового.

Для каждой сборки надо самим писать крохотный `Makefile`

Листинг 16.1: `Makefile`

```
MK_PATH:=$(dir $(realpath $(lastword $(MAKEFILE_LIST))))
WORKSPACE_LOC:=$(MK_PATH)../../

INCLUDE_PATHS += -I$(MK_PATH)
INCLUDE_PATHS += -I$(WORKSPACE_LOC)

include $(MK_PATH) config.mk
include $(MK_PATH) cli_config.mk
include $(MK_PATH) diag_config.mk
include $(MK_PATH) test_config.mk

include $(WORKSPACE_LOC) code_base.mk
include $(WORKSPACE_LOC) rules.mk
```

и конфиг для сборки.

Листинг 16.2: Конфиг для сборки

```
TARGET=pastilda_r1_1_generic
@echo $(error TARGET=$(TARGET))
AES256=Y
ALLOCATOR=Y

....
USB_HOST_HS=Y
```

```
USB_HOST_PROC=Y
UTILS=Y
XML=Y
```

Для каждого компонента \*.mk файл. Язык make простой. Он, в сущности, очень похож на bash. Вот типичный \*.mk файл для драйвера UWB радио-трансивера DW1000.

Листинг 16.3: mk файл для UWB трансивера

```
ifeq ($(DW1000_MK_INC),Y)
DW1000_MK_INC=Y

DW1000_DIR = $(DRIVERS_DIR)/dwm1000
$(info + DW1000)

INCLUDE_PATHS += -I$(DW1000_DIR)
OPT += -DHAS_DWM1000
OPT += -DHAS_DWM1000_PROC
OPT += -DHAS_UWB

DW1000_RANGE_DIAG=Y
DW1000_RANGE_COMMANDS=Y

DW1000 OTP_COMMANDS=Y
DW1000 OTP_DIAG=Y

SOURCES_C += $(DW1000_DIR)/dwm1000_drv.c

include $(DW1000_DIR)/otp/dwm1000_otp.mk
include $(DW1000_DIR)/registers/dwm1000_registers.mk

ifeq ($(DW1000_RANGE),Y)
 include $(DW1000_DIR)/range/dwm1000_range.mk
endif

ifeq ($(DIAG),Y)
 ifeq ($(DW1000_DIAG),Y)
 $(info +DW1000_DIAG)
 OPT += -DHAS_DWM1000_DIAG
 SOURCES_C += $(DW1000_DIR)/dwm1000_diag.c
 endif
endif

ifeq ($(CLI),Y)
```

```

ifeq ($(DWM1000_COMMANDS),Y)
$(info +DWM1000_COMMANDS)
OPT += -DHAS_DWM1000_COMMANDS
SOURCES_C += $(DWM1000_DIR)/dwm1000_commands.c
endif
endif
endif

```

## 16.2 Как отлаживаться

Сейчас же в 201x...202x какой-нибудь 43-летний Junior-embedded программист микроконтроллеров, привыкший к GUI-IDE, может логично провозгласить:

Я вообще не представляю, как без помощи IDE и зелёного треугольника вверху делать пошаговую отладку программы?

Тут есть 4+ ответа:

1. Использовать связку GDB Client + GDB Server и отлаживать код из командной строки.
2. Отлаживать код через интерфейс командной строки CLI поверх UART.
3. В коем-то веке покрывать свой код модульными тестами
4. Использовать другие косвенные признаки отладки кода: HeartBeat LED, Утилита arm-none-eabi-addr2line.exe, Assert(ы), DAC, STM Studio (Аналог ArtMoney из GameDev(a)), Health Monitor

## 16.3 Достоинства сборки кода из Make файлов

В чем достоинства сборки C-кода из Make файлов?

1. Makefile это самый гибкий способ управлять модульностью кодовой базы. Можно буквально одной строчкой добавлять или исключать один конкретный программный компонент (десятки файлов) из десятков сборок. В случае же сборки из-под IDE вам бы пришлось вручную мышкой редактировать .xml для каждой отдельной сборки.
2. Вы можете спросить: "А зачем запускать Eclipse из консоли?" или "Зачем в принципе командная строка?" Ответ прост... Для автоматизации. Автоматика! Слышили про такое? Вся суть любого программирования - это и есть пресловутая автоматизация чего либо. Даже автоматические построения самих проектов. Наработка артефактов.

А сборку из Makefile очень легко автоматизировать. Достаточно в консоли выполнить make all и у вас инициируется процесс сборки, а через 3 мин в соседней папке будут лежать артефакты.

При сборке из скриптов у вас будет одна кнопка. Жмакнул на \*.bat скрипт - получил \*.bin прошивку. Жмакнул на другой \*.bat скрипт - прошил плату. Ну что может быть еще проще?

Лично я хочу чтобы после комита мои 256 сборок в репозитории собирались пока я сплю.

3. Если сборка на скриптах, то каждый может использовать абсолютно любой текстовый редактор или IDE. В этом основное достоинство сборки из скриптов. Я вот люблю текстовый редактор в Eclipse, сосед через стол не представляет жизни без Visual Studio Code от Microsoft. Мы собирали проект на GNU Make вообще без проблем. Мы оба для построения прошивки просто кликаем на built.bat скрипт, который запускает консольную команду make all.
4. После сборки из скриптов вы получите полный лог сборки, в то время как IDE обычно показывают последние 3-4 экрана сообщений компилятора.
5. Дело в том, что GNU Make скрипты пишутся только один раз. Потом только лишь так косметически меняются при добавлении очередных программных компонентов.
6. В Makefile очень просто менять компиляторы. Это, буквально, заменить одну строчку. С GCC на Clang или на GHS. Вот типичный основной makefile для любой сборки на ARM Cortex-Mxx
7. Параллельное написание Make файлов и C-кода стимулирует придерживаться модульности, изоляции программных компонентов и к прослеживанию зависимостей между компонентами. Если вы пишите код и make файлы примерно параллельно, то очень вероятно, что у вас получится чистый, аккуратный репозиторий сам собой.
8. Makefile(лы) хороши тем, что можно добавить много проверок зависимостей и assert(ов) на фазе отработки Make-скриптов прямо в \*.mk файлах еще до компиляции самого кода, даже до запуска препроцессора, так как язык программирования make поддерживает условные операторы и функции. Можно очень много ошибок отловить на этапе отработки утилиты make.
9. Язык Make очень прост. Во всяком случае много проще, чем тот же CMake. Вся спека GNU Make это всего 226 страниц. Для сравнения, спецификация CMake это 429 страниц!
10. Makefile(лы) прозрачные потому что текстовые. Всегда видно, где опции препроцессора, где ключи для компилятора, а где настройки для компоновщика. Всё, что нужно можно найти утилитой grep в той же консоли от GIT-bash даже при работе в Windows 10.
11. Конфиг для сборки можно формировать как раз на стадии make файлов и передавать их как ключи для препроцессора. Таким образом конфиги будут видны в каждом \*.c файле проекта и не надо вставлять с конфигами. Всё можно передать как опции утилите cpp (препроцессора).
12. При сборке из makefile вам вообще всё равно для какой целевой платформы собирать код прошивки. Вы можете минимальными изменениями в makefile собрать

прошивку и крутить её даже на x86. Вместо UART имитировать CLI в Windows консольном приложении на PC.

```

0.271 :I [SYS] Made in Russia
0.277 :I [SYS] AddrOfMain: 0x 401a74
0.282 :I [SYS] LittleEndian
0.286 :I [SuperLoop] Start
0.291 :I [SuperLoop] Init
0.299 :I [SuperLoop] Started, UpTime: 299 ms

-->
-->
-->
-->h
argc 0
AvailableCommands:
+-----+-----+-----+-----+
| Num | Acronym | CommandName | Description |
+-----+-----+-----+-----+
| 1 | ll | log_level | SetOrPrintLogLevels
| 2 | ld | log_diag | LogDiag
| 3 | lf | log_flush | LogFlush
| 4 | lc | log_color | LogColor
| 5 | ltc | log_try_color | LogTryColor
| 6 | tcl | task_clear | TaskInit
| 7 | tcr | task_ctrl | TaskControl
| 8 | tdi | task_diag | TaskDiag
| 9 | tsa | test_all | Print all unit tests
| 10 | tsr | test_run | Run test
| 11 | e | echo | SetEcho
| 12 | h | help | PrintListOfShellCommands
| 13 | vi | version | PrintVersionInformation
| 14 | si | sysinfo | PrintInformationAboutThreads&OS
+-----+-----+-----+-----+
-->
-->

```

Рис. 16.6: эмулятор прошивки в консольном приложении

13. Внутри makefile вы можете выполнить какой-нибудь полезный скрипт. Например подписать прошивку состоянием репозитория

Листинг 16.4: Конфиг для сборки

```

GIT_SHA := $(shell git rev-parse --short HEAD)
OPT += -DGIT_SHA=0x0$ (GIT_SHA)

```

таким образом 3мя строчками вы сделаете то, что отдельными скриптами заняло бы 50+ строк.

Листинг 16.5: Конфиг для сборки

```

LOG_INFO(SYS, "GitSha: 0x%08x", GIT_SHA);

```

14. При сборке из скриптов (например из Make) очень легко добавить новую сборку. Достаточно только написать конфиг и 3 строчки в отдельном Makefile и вот у вас новая специфическая сборка. Одновременно с этим создание новой сборки в GUI-IDE сопряжено с многочисленной мышковозней и дублированием конфигов!



Рис. 16.7: скриптами проще добавить новую сборку в сравнении с IDE

## 16.4 Аналогии

Если проводить аналогию с атомной энергетикой то, сборка через GUI-IDE - это как реакторы на горизонтальных ТВЭЛах (сборках), а сборка из скриптов это реактор на вертикальных ТВЭЛах.

Горизонтальные реакторы неудобны, так как надо минимум две точки подвеса ТВЭЛА при загрузке топлива. Плюс нужны дополнительные усилия, чтобы проталкивать стержни в активную зону. Потом стержень может расплавиться и застрять. Тогда жди большой беды.

Напротив, вертикальные ТВЭЛы загружаются под действие силы тяжести и для транспортировке сборки нужна только одна точка подвеса. А расплавленные ТВЭЛы просто стекают в поддон. Easy!

Make скрипты - это как катализатор в химии. Благодаря GNU Make всё происходит быстрее.

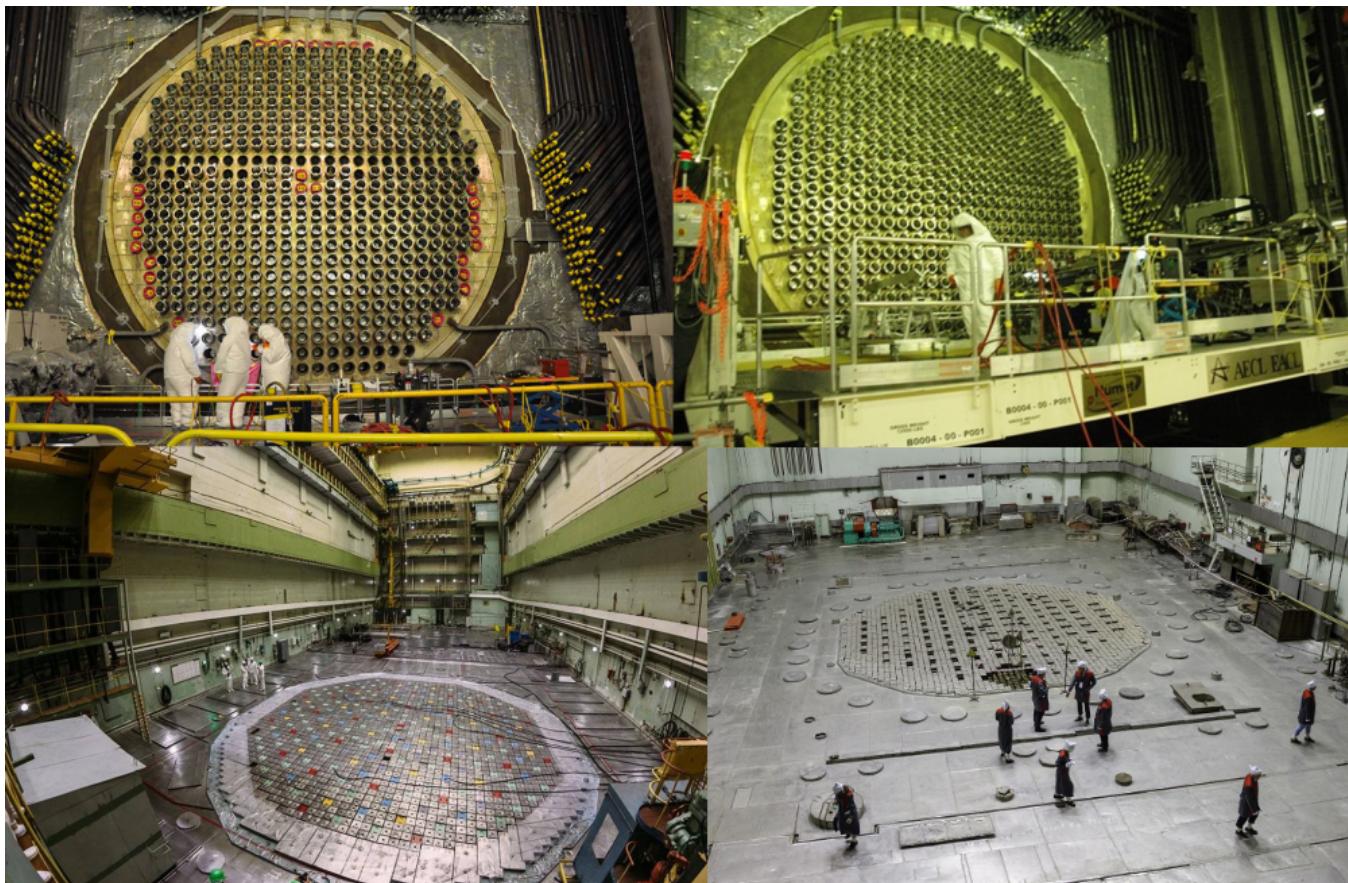


Рис. 16.8: Горизонтальные ТВЭЛы труднее загружать чем вертикальные ТВЭЛы

Скрипты сборки Make - это как стапели, но не для корабля, а для программы.

## 16.5 CMake или GNU Make?

CMake (Cross-platform Make) был разработан для кросс-платформенности. Переводя на кухонный язык, это чтобы одну и ту же программу можно было собирать в разнообразных операционных системах Windows, Linux, MacOS, FreeBSD. Если же Вы все в своей организации работаете только в Windows 10, то вам CMake нужен как собаке бензобак. Да.. Именно так.. Вам много проще будет самим писать GNU Make скрипты, раз нужна только сборка по клику на \*.bat файл.

Потом, если вы до этого никогда не писали никаких скриптов сборки, то сразу кидаться писать CMake пожалуй тоже нет резона. Дело в том, что CMake это даже не система сборки, а надстройка над всеми возможными системами сборки: Ninja, Make и проч. Как AutoTools. CMake, в зависимости от опций командной строки, сам генерирует скрипты сборки. CMake - это всего лишь кодогенератор. И вам будет с непривычки будет архи сложно разобраться с огромным калейдоскопом разнообразных и новых для себя расширений файлов: \*.cmake, CMakeList.txt, \*.c.in \*.mk и прочие. CMake очень навороченная и переизбыточная система.

Если у вас цель просто собирать код дергая скрипты в Jenkins, то лучше сосредоточиться на GNU Make. Тогда у вас в репозитории фактически будут только три типа файлов для версионного контроля: \*.c \*.h и \*.mk файлы. Easy!



Рис. 16.9: скриптами проще добавать новую сборку чем в IDE

CMake же - это очень навороченная утилита и там много избыточного функционала. Много того, что вам никогда даже не пригодится. В случае выбора CMake вам, например, придется помимо ошибок компилятора чинить ещё ошибки отработки CMake скриптов, которые по логу порой даже понять трудно, потом чинить ошибки GNU Make, потом чинить ошибки компилятора, чинить ошибки компоновщика. Ещё CMake перед сборкой занимается тестированием компилятора. В результате долго отрабатывает скрипт. CMake работает в два прогона. Да и сами скрипты сборки make которые выращивает CMake получаются очень грязными. С душком.... Да они работают, но читать их человеку просто не-ре-аль-но....

Лучше, быстрее и надежнее просто ликвидировать лишнюю стадию отработки CMake скриптов и просто самим взять и написать лаконичные скрипты сборки GNU Make. С точки зрения DevOps результат будет абсолютно тем же: сборка из скрипта, по клику. А раз так, то зачем платить больше? Не надо слишком сильно увлекаться FrameWork(o) строительством.

В GNU Make есть всё, что нужно для полноценной автоматизации: топологическая сортировка целей, регулярные выражения, выявление не поменявшихся файлов, функции, операторы. На GNU Make решаются 99,99

## 16.6 Кто собирает код из скриптов?

Почему в программировании микроконтроллеров, да ещё и в России не особо прижились скриптовые системы сборки?

Ответ прост. Прошивки это маленькие программы. Типичные bit(арь) обычно порядка 128kByte. Даже самая крупная прошивка собирается максимум за 3 мин. Её всегда можно из-под IDE собрать кликнув курсором мышки на зелёный треугольник.

А скриптовые системы сборки прежде всего изначально использовались в цик-

лопических программных продуктах: BackEnd сайтов, DeskTop ПО, CAD системы, GameDev. Там \*.exe бинари могут запросто быть по 2Gbyte и более. Да и компы в 1970...1990 слабые были, не то что сейчас. Один проект мог собираться три часа.

Естественно проектов много и собирают артефакты крупных проектов по ночам, пока программисты спят. Утром чинят ошибки компиляции, днем пилят функционал, вечером делают коммиты. Собирают автоматически дергая скрипты сборки на сервере типа Jenkins.

Однако и в embedded разработке сборку из скриптов уже оценил ряд серьезных и успешных российских организаций. Вот, например, Whoosh написал даже текст про свой опыт настройки DevOps: Сборка и отладка прошивки IoT-модуля: Python, make, апельсины и чёрная магия. Ещё Wren Board выступали на конференции с докладом CI/CD прошивок для микроконтроллеров в Wren Board.

Я знаю и другие компании, которые пользуются этой фундаментальной технологией, но пока не пишут про это сообществах.

## 16.7 Вывод

В сухом остатке, в наше время бахвалиться навыками пользования всяческими IDE должно быть уже стыдно. Надо признать, что сборка средствами GUI-IDE (IAR, CCS, KEIL, Eclipse+Plugins) - это уровень кружка робототехники 8-9го класса средней общеобразовательной школы (ГОУ СОШ).

Сборка прошивок GUI-IDE плагинами, а также из-под Keil, IAR, CCS - это признак Junior разработчика.

А сборка из скриптов - это, господа, как ни крути, но фундаментальная технология, которая по плечу только программистам с качественным опытом. Не путать с количественным опытом, когда программист микроконтроллеров просто просиживает штаны по 11 лет на одной работе-Богодельне.

Да, написание make скриптов требует некоторого образования и сноровки, но это плата за масштабирование, автосборки, единообразие, наследование конфигов и модульность репозитория. Усилия инвестированные в изучение make окупаются сторицей!

Потом санкционные реалии таковы, что настало время, чтобы российских программистов микроконтроллеров из детского садика под названием "GUI-IDE" перевести, наконец, в школу (т.е. приучить к makefile или хотя бы к CMake). А дальше приобщать к полноценному DevOps(y). А в идеале к чему-то типа Yocto project.

При этом надо смотреть в сторону Make, CMake. Как вариант, Ninja.

Понимаете, хорошие вещи как классика не устаревают. Вы же сами каждый день пользуетесь пуговицами... А пуговицы, между прочим, вообще в средневековье придумали... Что теперь, давайте без пуговиц ходить что-ли? Make это как пуговицы. Старая, простая и очень полезная вещь.

Сборка программ из скриптов это фундаментальная технология, величайшее достижение нашей эпохи.

Откровенно говоря, только тех, кто умеет собирать проекты из скриптов и можно считать настоящими программистами. А те кто как бы числится программистом и не

умеет читать писать скрипты сборки, это либо самозванцы, устроившиеся на работу по блату или обыкновенная шко-ло-та. Без обид, но, что есть, то есть.

Я естественно понимаю, что это может неприятно читать такое, особенно когда тебе уже далеко за 40 и ты всегда собирал прошивки через GUI-IDE, мышкой, и ещё не освоил в своей жизни никаких систем сборок. Даже CMake. Неграмотный в вопросах систем сборки. Однако учиться никогда не поздно. Для этого есть выходные, отпуски, государственные праздники. "Дорогу осилит идущий так ведь говорят?

Вы же не обижаетесь на некоторые не очень приятные явления природы. Например лютый мороз, радиоактивность, молнии, цунами, торнадо, наводнения, землетрясения и прочее. Но они, как ни крути, объективно существуют и к этому надо просто приспосабливаться.

При сборке из makefile прошивки для микроконтроллеров любых vendor(ов) собираются абсолютно одинаково. Будь-то RISC-V, ST(stm32), cc26x42, AVR (atmega8), Artery, Nordic (nrf53) или spc58nn. Надо просто открыть консоль и набрать make all. Easy! Как в песенке поется: "нажми на кнопку, получишь результат, и твоя мечта осуществится!"

Когда у тебя в организации только одна, максимум 4 прошивки, то в общем-то для работы и GUI-IDE достаточно. А скрипты так, полезный ликбез. Но вот если сборок много, десятки, сотни. Что чаще всего и получается. Когда надо поддерживать на плаву прошлые проекты. Когда организация выпускает большой ассортимент продуктов и разрабатывает новые версии. То тут, друг, как ни крути, но нужны уже скрипты сборки. Да... Не зря же их придумали в своё время.

Есть два культовых доклада в IT конференциях, которые поясняют откуда взялся этот график. Находятся по названиям по первым ссылкам.

1. CI/CD прошивок для микроконтроллеров в Wren Board ( начало на 25:20)
2. Конвеерум 30: Эволюция рабочего окружения для embedded разработки

Собираете свои прошивки из самостоятельно написанных make скриптов, господа, в этом нет абсолютно ничего сложного!

Так как make появился ещё в 1976, то это пожалуй самая изученная тема во всем Computer Science. Материалов для ознакомления, обучения и освоения make ну просто немерено. Океан информации.

## 16.8 Гиперссылки

1. Настройка ToolChain(a) для Win10++C+Makefile+ARM Cortex-Mx+GDB
2. Пример Makefile
3. Эффективное использование GNU Make
4. Обновление Прошивки из Make Скрипта
5. CI/CD прошивок для микроконтроллеров в Wren Board ( начало на 25:20)
6. Конвеерум 30: Эволюция рабочего окружения для embedded разработки
7. GNU Make может больше чем ты думаешь



# Глава 17

## NVRAM для микроконтроллеров

### 17.1 Пролог

В разработке на микроконтроллерах хорошей практикой считается, когда на устройстве есть число-хранилище для запоминания чиселок между сбросом электропитания питания. Все это называют по-своему: NVRAM, StoreFS, FlashFS, Энергонезависимая Key-Value Map(а), HashMap(ка), NVS, memory-manager, накопитель и прочее и прочее.

| dec    | hex         | kByte | kByte  |                     |
|--------|-------------|-------|--------|---------------------|
| sector | Address     | size  | offset | содержимое          |
| 0      | 0x0800 0000 | 16    | 16     | первичный загрузчик |
| 1      | 0x0800 4000 | 16    | 32     | первичный загрузчик |
| 2      | 0x0800 8000 | 16    | 48     | FlashFS Page 1      |
| 3      | 0x0800 C000 | 16    | 64     | FlashFS Page 2      |
| 4      | 0x0801 0000 | 64    | 128    | Generic прошивка    |
| 5      | 0x0802 0000 | 128   | 256    | Generic прошивка    |
| 6      | 0x0804 0000 | 128   | 384    | Generic прошивка    |
| 7      | 0x0806 0000 | 128   | 512    | Generic прошивка    |
| 8      | 0x0808 0000 | 128   | 640    | Generic прошивка    |
| 9      | 0x080A 0000 | 128   | 768    | Generic прошивка    |
| 10     | 0x080C 0000 | 128   | 896    | Generic прошивка    |
| 11     | 0x080E 0000 | 128   | 1024   | Вторичный загрузчик |

Рис. 17.1: Разметка памяти STM32

NVRAM может пригодится для хранения конфигураций умных навороченных микросхем типа беспроводных трансиверов, драйверов шаговых двигателей, значение одометра, пароли, своего CAN-ID(шника), MAC/IP адреса, SSID, пароля от маршрутизатора, серийные номера и т.п. Наличие NVRAM позволяет на порядок уменьшить количество сборок в репозитории, так как устройства всегда можно до программировать уже в Run-Time(е). Буквально открыв UART Shell можно прямо руками в

TeraTerm/Putty прописать во FlashFS/NVRAM конфиги и перезагрузить (reset(нить)) гаджет, чтобы новые настройки применились в инициализации при загрузке до запуска суперцикла. Easy! И не надо варить отдельные прошивки с какими-то специфическими настройками, когда есть FlashFS. И не надо джамперами на GPIO колхозить установку каких-то адресов. FlashFs добавляет в программу положительную динамику.

Прошивка без FlashFs это как LapTop компьютер без жёсткого диска. Нужен ли вам такой?...

## 17.2 Достоинства on-chip NorFlash

Почему именно on-chip NorFlash?

1. Это дешево. Как правило после накатывания прошивки всегда остается ещё пара пустых страниц(секторов) Flash(a). За неё "уже заплачено" при покупке микроконтроллера. Нет нужды ставить еще отдельный off-chip SPI-NorFlash чипы и тем самым увеличивать габариты, стоимость, расширять логистику, уменьшать надежность, увеличивать сложность устройства. FlashFS предусматривают сами производители микроконтроллеров. Например в STM32 первые 4 сектора вообще по 16kByte, остальные больше по 128kByte. Это сделано специально, с расчетом на то, чтобы запускать на маленьких секторах по 16kByte FlashFS(сы) с плавно конфигурируемым размером.

У меня в проектах на STM32 FlashFS обитает во втором и третьем секторах on-chip Nor Flash(a).

2. On-chip FS безопаснее чем off-chip FS, так как нет возможности подцепиться к SPI или SDIO проводам на PCB и тем самым считать передаваемые данные обычновенным китайским логическим анализатором за 500 рублей.

Однако у Nor-Flash памяти есть одна проблема. Стирать её (заполнять 0xFF(ками)) можно только страницами по несколько килобайт (обычно это 4kByte, 8kByte, 16kByte, 64kByte, 128kByte). Одновременно запись заключается в том, что можно только биты 1 сбросить в 0. Иногда даже нельзя до сбросить уже сброшенные биты, например, в байте 0x55. Это как писать шариковой ручкой по бумаге. Написанное не сотрешь ластиком. Есть смысл исписать весь лист, а затем вырвать его и выбросить.

Вот так обычно выглядит API для работы с On-Chip Nor-Flash памятью.

Листинг 17.1: API Flash

```
#ifndef FLASH_DRV_H
#define FLASH_DRV_H

#include <stdbool.h>
#include <stdint.h>
```

```
#include "flash_types.h"

#ifndef HAS_FLASH_WRITE
bool flash_wr(uint32_t addr,
 uint8_t* array, uint32_t array_len);
bool flash_wr4(uint32_t flash_addr,
 uint32_t* wr_array, uint32_t byte_size);
bool flash_erase(uint32_t addr, uint32_t len);
bool flash_erase_pages(uint8_t page_start,
 uint8_t page_end);
#endif

bool flash_read(uint32_t in_flash_addr,
 uint8_t* rx_array, uint32_t array_len);
bool flash_init(void);
bool flash_scan(uint8_t* base, uint32_t size,
 float* usage_prc, uint32_t* spare, uint32_t* busy);
bool is_erased(uint32_t addr, uint32_t size);
bool is_flash_spare(uint32_t flash_addr, uint32_t size);
bool is_flash_addr(uint32_t flash_addr);

#endif /* FLASH_DRV_H */
```

Нам же, людям, удобнее просто записывать данные по ключу. Это как в театре. Даешь номерок, получаешь свою куртку. Или как в телефонной записной книжке. Даешь имя, получаешь номер телефона.

Нужен определенный уровень абстракции, который бы давал такой API и делал бы всю остальную работу под капотом с массивами сырой Flash памяти. Даешь число и массив, Массив записывается. Через неделю даешь число, и получаешь массив.

Это как писать карандашом. Можно написать и можно стереть ластиком и написать что-н другое. Удобно? Очень.

## 17.3 Типичные требования к NVRAM

Попробую перечислить самые базовые требования для таких embedded on-chip файловых систем FlashFS.

1. Рациональное использование Nor-Flash памяти (endurance optimization)
2. Защита данных от внезапного пропадания питания (power off tolerance).
3. Простота реализации чтобы нечemu было ломаться.
4. Файл должен быстро находиться по имени
5. Файл должен быстро записываться
6. Файл должен быстро обновляться

7. Файл должен быстро стираться
8. Компактность кода, который реализует этот алгоритм FlashFS. Чем меньше кода, тем больше файлов.

## 17.4 Терминология

Определится с терминологией. Что такое File?

File- это именованный бинарный массив байтов в памяти. В качестве памяти может выступать RAM, ROM (Flash), FRAM, EEPROM, SD карты. Что значит именованный? Это значит, что к этим данным можно обращаться по значению. Пусть это будет натуральное 16-битное число. Так проще. Так как это массив, то рядом с данными также надо хранить и длину этого массива. Вот так может выглядеть примерный заголовок записи в FlashFs.

Листинг 17.2: заголовок записи в FlashFs

```
struct xFlashFsFileHeader_t {
 uint16_t id;
 uint16_t nid; /* bit inverted id */
 uint16_t length;
 uint8_t crc8; /*only for payload*/
} __attribute__((packed)); /*to save flash memory*/
typedef struct xFlashFsFileHeader_t FlashFsFileHeader_t;
```

Во Flash переменные будут в little-endian формате.

## 17.5 Основная идея механизма NVRAM

Если записывать файлы с одинаковыми ID, то они будут записываться последовательно. Этим достигается защита данных от пропадания питания. Всегда можно взять предыдущий файл. Каждый файл оснащен 8ми битной контрольной суммой CRC. Это позволит выявлять только реальные файлы, а не просто случайные числа в памяти. Чтобы каждый раз не считать контрольную сумму для каждого отступа, есть преамбула из ID(шников). Это FileID и его инвертированная копия. Зачем нужен инвертированный ID? Это для того чтобы ускорить поиск нужного файла. Дело в том что процедура вычисления CRC это весьма продолжительная процедура. Было бы расточительно рассчитывать CRC для каждого отступа, чтобы понять файл тут или не файл. Поэтому алгоритм рассчитывает CRC только по тем отступам, где прописана валидная преамбула.

И вот заполнилась страница флеш памяти. Что делать? Надо отчистить вторую страницу и перекопировать в неё попарно отличные самые свежие файлы.

При копировании страницы перебрасываются только самые последние версии файлов. Старые остаются и ждут своего удаления вместе со всей страницей. При следующем переключении их отчистят вместе со всей страницей NorFlash.

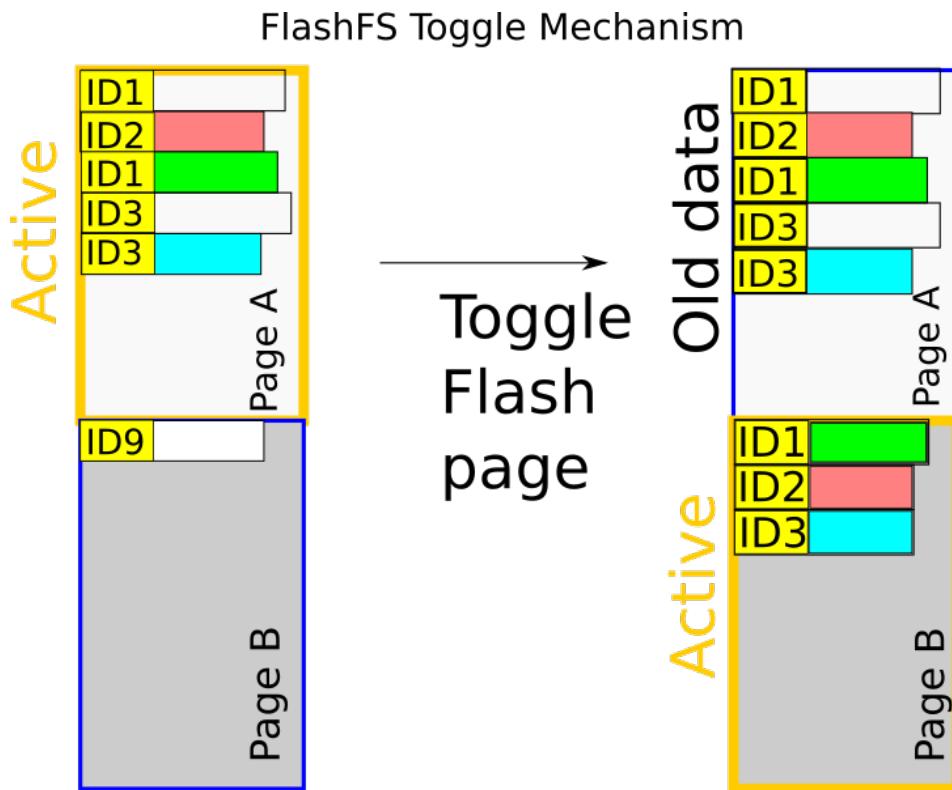


Рис. 17.2: Схема переключения страниц

Помимо функций чтения и записи файлов нужна еще вспомогательная функция, которая будет как раз следить за самой файловой системой. Как только страница "B" переполнится, то background процедура должна выполнить процедуру `toggle flash page`, то есть отчистить страницу "A". Взять самые свежие файлы из страницы "B" и перекопировать их в страницу "A".

Вот так может выглядеть API для микроконтроллерной файловой системы

Листинг 17.3: API для микроконтроллерной файловой системы

```
#ifndef NOR_FLASH_H
#define NOR_FLASH_H

#include <stdbool.h>
#include <stdint.h>

#include "flash_fs_config.h"
#include "flash_fs_types.h"

#ifndef HAS_FLASH_FS_WRITE
bool flash_fs_format(void);
bool flash_fs_erase(void);
bool flash_fs_invalidate(uint16_t data_id);
bool flash_fs_set(uint16_t data_id,
 uint8_t* new_file,
 uint16_t new_file_len);
#endif
```

```

bool flash_fs_maintain(void);
bool flash_fs_turn_page(void);
#endif

bool flash_fs_is_active(uint8_t page_num);
bool flash_fs_init(void);
bool flash_fs_proc(void);
bool flash_fs_get(uint16_t data_id,
 uint8_t* value,
 uint16_t max_value_len,
 uint16_t* value_len);
bool flash_fs_get_active_page(uint32_t* page_start,
 uint32_t* page_len);
bool flash_fs_get_address(uint16_t data_id,
 uint8_t** value_address,
 uint16_t* value_len);
bool is_flash_fs_addr(uint32_t addr);
uint32_t flash_fs_get_page_size(uint8_t page_num);
uint32_t flash_fs_get_page_base_addr(uint8_t page_num);
uint32_t flash_fs_cnt_files(uint32_t start_page_addr,
 uint32_t page_len,
 uint32_t* spare_cnt);
uint32_t flash_fs_get_remaining_space(void);
uint8_t addr2page_num(uint32_t page_start);

#endif /* MEMORY_MANAGER_NOR_FLASH_H */

```

Зависимости программных компонентов для FlashFs можно показать так

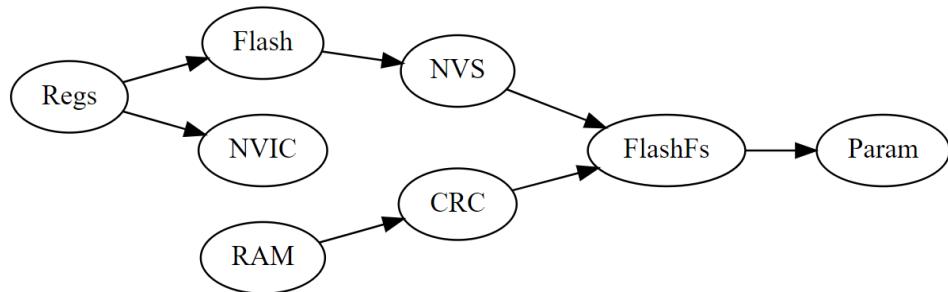


Рис. 17.3: Зависимости программных компонентов для NVRAM

Или так

Вот так может выглядеть диагностика файловой системы . Это список файлов в файловой системе, их адреса, размер, данные внутри, контрольная сумма, ID(шник)

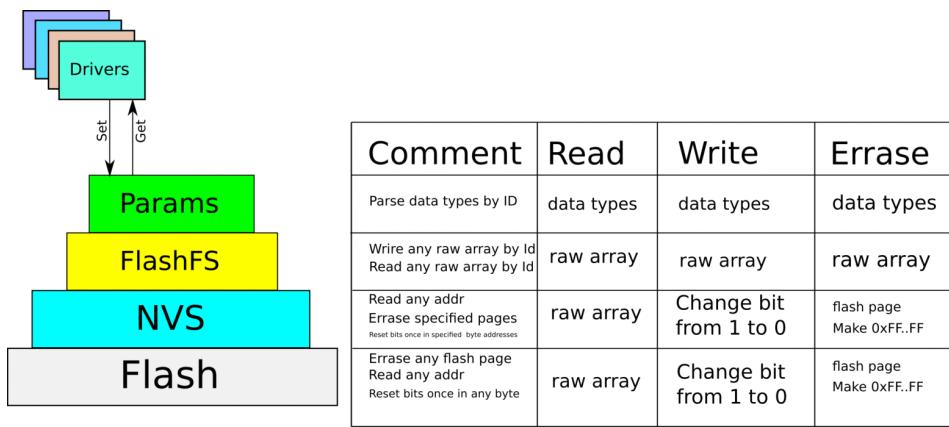


Рис. 17.4: Иерархия программных компонентов

```

4051.5 /
4051.7-->ffc
4052.806:I [FLASH_FS] Page 0x08120000...0x08140000
+-----+
| num | id | len | crc | addr | ldata |
+-----+
0	11	4	0xb8	0x81200d5	0x00000208
1	12	1	0xbd	0x81205a6	0x00
2	60	4	0xa7	0x8120641	0x01000000
3	13	1	0xea	0x8120689	0x08
4	1	2	0xa4	0x8120691	0x9700
+-----+					
4052.967:I [FLASH_FS] Page 0x08140000...0x08160000					
+-----+					
num	id	len	crc	addr	ldata
+-----+

```

Рис. 17.5: Диагностика Flash FS

## 17.6 Добавление IDшников и интерпретатора (PARAM)

С файлами разобрались. Но читать сырье данные в памяти тоже как-то не очень-то удобно. Для человека это просто последовательность нимблов (hex разрядов). Надо как-то интерпретировать эти данные в реальные физические величины и типы данных. Этим займется программный компонент PARAM.

Поверх Flash Fs должен работать еще один уровень абстракции. Я его называю параметры (Param). Работает он так. Даешь ID файла и данные (hex массив с длинной), получаешь тип данных и его значение.

Вот так могут выглядеть прототипы функций для компонента PARAM:

Листинг 17.4: прототипы функций для компонента PARAM

```
#ifndef PARAM_DRV_H
#define PARAM_DRV_H
```

```
#include <stdbool.h>
#include <stdint.h>

#include "param_types.h"

#ifndef HAS_PARAM
#error "+HAS_PARAM"
#endif /*HAS_PARAM*/

bool param_init(void);
bool param_proc(void);

#ifndef HAS_PARAM_SET
bool param_set(Id_t id, uint8_t* in_data);
#endif /*HAS_PARAM_SET*/

bool param_get(Id_t id, uint8_t* out_data);
ParamType_t param_get_type(Id_t id);
uint16_t param_get_real_len(Id_t id);
uint16_t param_get_len(Id_t param_id);
uint16_t param_get_type_len(ParamType_t type_id);
uint32_t param_get_cnt(void);

#endif /* PARAM_DRV_H */
```

Вот теперь с этим можно работать. Переменные понятные, значения интерпретируются. Успех.

| No | id | group   | VarName        | len | val     | name                    |
|----|----|---------|----------------|-----|---------|-------------------------|
| 1  | 70 | IHDG    | iHdgBootOn     | 1   | 0       | Undef ID                |
| 2  | 72 | IHDG    | iHdgGenerOn    | 1   | 0       | Undef ID                |
| 3  | 71 | IHDG    | IHDGOnPeriodMs | 4   | 1000    | Undef ID                |
| 4  | 79 | KEEPASS | FileName       | 7   | db.kdbx | db.kdbx                 |
| 5  | 75 | KEEPASS | TransformKey   | 96  |         | Undef ID                |
| 6  | 74 | SDIO    | ClockDiv       | 1   | 64      | Undef ID                |
| 7  | 1  | BOOT    | ReBootCnt      | 2   | 106     | Undef ID                |
| 8  | 60 | ?       | MaxUpTime      | 4   | 9364260 | 9364.3s=156.1min=2.60 h |
| 9  | 25 | ?       | SerialNum      | 4   | 0       | Undef ID                |
| 10 | 12 | BOOT    | BootCmd        | 1   | 0       | launch                  |
| 11 | 13 | BOOT    | BootCnt        | 1   | 0       | Undef ID                |

151.174 :I [SYS] CndOk!

2:31-->

Рис. 17.6: Диагностика NVRAM

## 17.7 Итоги

Как видите программы для микроконтроллеров строятся из уровней абстракции, которые работают один поверх другого.

Теперь вы представляете как делать энергонезависимую файловую систему для хранения всякого разного (настроек, прошивок, калибровочных параметров). Не обязательно делать файловую систему именно на on-chip Nor Flash. Можно и на off-chip Nor Flash или EEPROM.

Добавляйте в свои прошивки файловые системы. В этом нет ничего сложного. Любая вещь лучше, когда внутри её есть FlashFS.

## 17.8 Гиперссылки

1. NVRAM для микроконтроллеров
2. NVRAM Поверх off-chip SPI-NOR Flash
3. Открытый проект файловой системы для внутренней памяти STM32H
4. ESP32 и файловая система SPIFFS
5. LittleFS – файловая система для ARM MK
6. MicroFAT: A File System for Microcontrollers
7. Устройство NVRAM в UEFI-совместимых прошивках, часть первая
8. Как избежать износа EEPROM



# Глава 18

## Коллоквиум по программированию микроконтроллеров

Это список вопросов для тех кто числится программистом микроконтроллеров и занимается разработкой электроники. Вопросы в частности взяты из технических собеседований при устройстве на работу в разные реальные компании. Постарался отобрать только самые приближенные к практике вопросы, которые можно выделить после 12 лет InSider(ского) опыта. Тут не будет моветонных вопросов из серии "как инвертировать связанный список". Тут представлен обогащенный концентрат. Всё исключительно и только по делу.

### 18.1 Вопросы по коду

1. Зачем static?
2. Зачем ключевое слово volatile C?
3. Может ли быть const volatile?
4. Зачем ключевое слово register?
5. Зачем ключевое слово restrict?
6. Зачем ключевое слово weak?
7. Зачем в C(ях) нужны битовые поля?
8. Зачем в C(ях) нужны объединения?
9. Как проверить, что в числе установлен/сброшен бит?
10. Как проверить, что два float числа равны между собой?
11. В какую память попадет глобальная переменная с ключевым словом const?
12. Какие есть способы передачи переменных в C функцию?
13. Есть ли способ запустить C-код до запуска main?

14. Зачем нужен препроцессорный error?
15. Какое значение в локальной static переменной при первом вызове?
16. В чем недостаток inline функций?
17. Зачем нужен оператор препроцессора ?
18. Как делать примитивы инкапсуляции в C?
19. Какие знаешь адекватные правила MISRA 2004 или MISRA 2012?
20. Как делать примитивы полиморфизма в C?
21. Напишите функцию, которая при передаче по аргументу значения 1 печатает "One". При передаче 2 печатает "Two". Запрещено использовать оператор if и оператор switch.
22. Может ли С функция во время исполнения определить, что ее вызвали рекурсивно?
23. Может ли С функция с переменным числом аргументов узнать сколько у нее аргументов?
24. Назови три способа вернуть массив из функции.
25. Зачем используют do... while(0); если это всего лишь 1 итерация?
26. Зачем нужен extern "C"?
27. Напишете одной строчкой установку значения 0x11223344 по абсолютному адресу 0x20000016.
28. Как упаковать структуру в компиляторе GCC?
29. Зачем нужны упакованный структуры кроме экономии RAM памяти?
30. Есть константный Си-массив структур, который формируется препроцессором (срр.exe) до компиляции gcc из разных файлов проекта. Как проверить во время компиляции (до исполнения кода), что в финальном массиве структур нет повторяющихся элементов?

## 18.2 Системы сборки

1. Что такое система сборки?
2. Зачем использовать какую бы то ни было систему сборки (хоть GNU Make) если можно просто написать \*.bat или \*.sh скрипт который скармливает комилятору исходники? В cmd или bash скриптах же тоже есть переменные и условные операторы.
3. Чем система сборки Ninja отличается от системы сборки Make?
4. Зачем в GNU Make нужно ключевое слово vpath?

## 18.3 Структуры данных

1. Чем циклический буфер отличается от FIFO?
2. Как удалить элемент из связанного списка не зная указателя на предыдущий элемент?

## 18.4 Про DevOps

1. Зачем собирать из скриптов, если всегда можно мышкой щелкнуть на зеленый треугольник в GUI-IDE?
2. Зачем нужны все эти сервера сборки типа Jenkins(а)?
3. Какие файлы следует подвергать версионному контролю в GIT?
4. Что для тебя значит рефакторинг? Что ты подразумеваешь под словом рефакторинг?

## 18.5 Про прерывания

1. Что такое прерывание?
2. Зачем нужны программные прерывания? Можно ведь просто функцию вызвать.
3. Что такое реентерабельная функция?
4. Сколько тактов процессора нужно для запуска возникшего прерывания на Cortex-M4?
5. Сколько тактов процессора нужно для вызова функции?
6. что такое таблица прерываний?
7. Каков алгоритм обработки прерываний? Что происходит во время срабатывания прерывания?
8. что такое вектор прерываний?
9. Какие есть внутренние прерывания?
10. Как регистр программного счетчика PC узнает куда возвращаться после обработки прерывания?

## 18.6 Про ToolChain

1. Как проверить что конкретный \*.c или \*.h файл вообще собирается?
2. Какой путь проходит Си-код с момента написания до попадания во flash память?
3. Как отключить/подавить какое-либо отдельное предупреждение компилятора GCC (например -Wrestrict)?

4. Компоновщик пишет, что прошивка не собирается из-за нехватки on-chip NOR-Flash памяти. Какие меры ты предпримешь, чтобы утрамбовать прошивку?
5. Что такое ABI (application binary interface)?
6. На какие сегменты разбита вся память прошивки? На какие сегменты разбита RAM память?
7. Какие доки(спеки) нужны для того, чтобы разрабатывать встраиваемый софт? Назовите минимум 4 дока.
8. Компилятору подали 5 \*.c файлов и 20 \*.h файлов. Сколько будет \*.o файлов?
9. Тебе предоставили файл \*.c чрезвычайно запутанный препроцессором. Как ты поймешь, что там происходит и в какой последовательности?
10. Что такое binutils? Какие знаете? Что можно с ними сделать?
11. Какие расширения файлов являются результатом работы разработчика MCU (артефакты)? Для чего нужен каждый из них?
12. В каких случаях артефакты в \*.hex файлах предпочтительнее артефактов в \*.bin файлах?

## 18.7 Вопросы про RTOS(ы)

1. Что такое Bare-Bone сборка RTOS прошивки?
2. Что такое поток?
3. что такое гонки в программах?
4. Что такое bit-banding и зачем нужен bit-banding?
5. Что такое контекст потока?
6. Что такое spinlock?
7. Что такое deadlock?
8. Что такое preemptive многозадачность?
9. Что такое критическая секция?
10. Что такое мьютекс?
11. Что такое семафор?
12. Пример атомарной операции?
13. Что такое инверсия приоритетов?
14. Как бороться с инверсией приоритетов?
15. В стеке какого потока работают прерывания?
16. Что значит thread-safe код?
17. В чем разница между мьютексом и семафором?

18. Что такое Reentrancy?
19. В чём разница между Joined и Detached потоками?
20. Написать функцию атомарного обмена содержимого переменных.
21. Что такое атомарные операции?
22. Как измерить процент загрузки MCU в прошивке без ОС?

## 18.8 Про цифровые фильтры

1. В чём достоинство цифровых фильтров в отличие от аналоговых?
2. В чём недостаток FIR фильтра в сравнении с IIR фильтром?
3. Дан цифровой FIR фильтр. Исходников нет, реализован в виде статической библиотеки \*.a файла. Как узнать массив его коэффициентов  $B[0\dots N]$ ?
4. Зачем в квадратурном смесителе нужно два смесителя (перемножителя), а не один, три или четыре?

## 18.9 Про железо (аппаратное обеспечение)

1. Чем резистор, конденсатор и катушки индуктивности отличаются друг от друга? В чём их сходство?
2. Каким напряжением открывается NPN транзистор?
3. Зачем микроконтроллерам функция Pull-Up/Pull-Down, если всегда можно включить LED просто установив логический уровень на GPIO?
4. Что такое PUSH-PULL, а что OPEN-DRAIN?
5. Как на 8MHz(цтовом) микроконтроллере можно измерить частоту примерно 100MHz прямоугольного сигнала с GPIO?
6. Как проверить, что два PWM сигнала на 2x GPIO синфазные?
7. На одной SPIшине 2 Slave чипа. На оба подали одновременно Chip Select 0V и начали вычитывать регистры в которых разные данные. Что будет? Сгорит/не сгорит?
8. Какие регистры есть у микропроцессора ARM Cortex-M3 и для чего они нужны?
9. Что значит суперскалярный микропроцессор?
10. Почему частота часовогого кварца именно 32768 Hz?
11. Что нужно сделать программе с микроконтроллером, чтобы моргать светодиодом? Напишите словами каждый шаг.
12. Как сделать проверку-защиту, что firmware в самом деле предназначено именно для этой электронной платы?
13. По какому интерфейсу код взаимодействует с железом (ядром микроконтроллера)?

14. Что такое scatter/gather IO?
15. В чем отличия между архитектурами 8051, AVR, ARM, Xtensa, PowerPC, MIPS, RICS-V, x86, SPARC, ARC?
16. Что происходит с микроконтроллером между подачей питания и запуском функции main()?
17. Какие виды памяти есть в микроконтроллере.
18. На какие части обычно делится Flash память?
19. На какие части делится RAM память?
20. Как обрабатывать кнопку? Как преодолевать дребезг контактов?
21. Как при помощи микроконтроллера измерить сопротивление выводного резистора?
22. Каким напряжением на затворе открывается P-channel MOSFET?
23. Зачем внутри микропроцессоров нужен MPU?

## 18.10 По интерфейсам

1. Какое напряжение на UART TX в режиме idle?
2. Зачем UART опция 2 стоповых бита, если это уменьшает data rate?
3. На шине SPI 2 разных чипа. На оба подали CS-0v и начали читать. Что произойдет: Сгорит/не сгорит/другое?
4. Как измерить процент загрузки CAN шины?
5. Какая разность потенциалов в CAN когда ничего не передается?
6. Есть два Lin интерфейса. У одного подтяжка data провода к 24V у другого подтяжка data провода к 12V. Data провода соединили. Что будет? Сгорит /не сгорит?
7. может ли i2c работать в режиме нескольких мастеров?
8. Чем CAN принципиально отличается от Ethernet?
9. У тебя на шине RS485 N устройств. Как мастер устройству узнать количество ведомых устройств на RS485шине и их 32 битные адреса за минимальное время?

## 18.11 По протоколам

1. В каких протоколах у переменных big endian, а в каких протоколах у переменных little endian?
2. Зачем в TCP пакете контрольная сумма, если контрольная сумма есть в Ethernet пакете?
3. Зачем нужен IP-адрес, если уже есть MAC-адрес?

4. Как передавать пакеты по 1024 байт, если в PayLoad транспортного протокола помещается всего только 256 байт?
5. Почему CRC часто в конце пакета, а не в заголовке пакета?
6. Зачем нужно кодирование Base64 в Embedded?
7. Насколько процентов кодировка Base64 расширяет размер оригинального бинаря в самом худшем случае?

## 18.12 Вопросы про стек

1. Что происходит когда мы вызываем функцию?
2. Что хранится в стековой памяти?
3. Что такое стековый кадр? И что в нем хранится?
4. Какой код копирует в стек адрес возврата?
5. Можно ли на стеке выделить массив длины которого задается аргументом функции?
6. Какой код копирует из стека адрес возврата из функции для регистра программного счетчика?
7. Кто инициализирует локальные переменные если их не проинициализирован явно?
8. В какую сторону растет стек?
9. Сколько указателей стека в ARM Cortex-M4?
10. Что определяет в каком направлении будет расти стековая RAM память?
11. Какое значение в локальной переменной если ничего не присвоено при создании?
12. Что произойдет при переполнении стека?
13. Как определить на какую максимальную глубину заполнялась стековая память с момента запуска программы?

## 18.13 Беспроводные интерфейсы

1. Как определить что передатчик в самом деле передает что-то?
2. Нет радио Link(a) (например в LoRa). Как выявить в чем дело? Передатчик не передает или приемник не принимает?

## 18.14 Про heap память

1. Как определить размер блока выделенного malloc?
2. Как бороться с фрагментацией памяти?
3. Как проверить сколько памяти выделено в куче в случайном месте программы?

## 18.15 Про загрузчики (Bootloader)

1. Зачем нужен загрузчик во встраиваемых системах? Назовите минимум 3 его функции.
2. Как загрузчик может обмениваться данными с приложением?
3. В чём опасность вызова функций загрузчика из приложения?
4. Как защитить микроконтроллер от загрузки чужеродного кода через загрузчик?
5. Как загрузчику понять, что загрузчик принял в самом деле прошивку, а не набор случайных циферок с правильной CRC?
6. Как сделать обновление прошивки по TCP/IP, если в загрузчике хватает NorFlash памяти только для драйвера UART?
7. Можно ли сделать так, чтобы загрузчик стартовал не с адреса начала Main Flash 0x0800\_0000, а например с адреса 0x0806\_0000?
8. Почему в микроконтроллерах STM32 секторы NOR Flash(a) разных размеров?
9. Вам прислали прошивки в \*.bin файле. Как загрузить и запустить эту прошивку по произвольному отступу в on-chip Nor Flash памяти?
10. Что код загрузчика должен сделать перед прыжком в приложения на ARM-Cortex-Mx?
11. Каким образом кнопочные Siemens, Motorola, Nokia телефоны могли в run-time до устанавливать игры без пере прошивки микроконтроллера внутри?

## 18.16 Решение проблем (TroubleShooting)

1. Тебе дали дорогую плату запрограммировать прямо с производства. Плату ещё ни разу не включали в питание. Крайне вероятно, что плата сгорит при первом же включении из-за брака монтажа. Как ты проверишь плату не испортив ценный полуфабрикат?
2. Прошивка зависла, ваши действия?
3. Какие утечки вы знаете кроме утечки памяти?
4. Прошивка после подачи питания постоянно и непрерывно перезагружается. Как вы станете это ремонтировать?
5. Ты пишешь код, собираешь, запускаешь и вдруг прошивка перезагружается. Твои действия?
6. Как отладить большой кусок кода, если нет возможности пройти JTAG/SWD отладчиком?
7. Какие меры увеличения надежности софта предлагает стандарт ISO-26262?
8. По ходу добавления функционала вы столкнулись с нехваткой RAM памяти для своих глобальных переменных. Как отобразить всё глобальные переменные одной командой в консоли?

9. По ходу добавления функционала вы столкнулись с нехваткой ROM памяти. Как отобразить все функции одной командой в консоли?
10. Зачем мультиметру функция True RMS?
11. Что такое полоса пропускания в осциллографе?

## 18.17 Вопросы для развернутого устного ответа (System Design)

1. Как из одного потока передать массивы разных размеров другому потоку без динамического выделения памяти?
2. Как можно реализовать энергонезависимую Key-Val Map(ку) на микроконтроллере?
3. Как померить процент загрузки микроконтроллера в конкретное время (прошивка NoRTOS)?
4. Как можно реализовать надежную доставку пакетов поверх протокола UDP?
5. Как бы ты реализовал механизм FOTA? Т.е. обновления прошивки по беспроводному интерфейсу (Bluetooth, WiFi, LoRa, RFID, UWB и т.п.)?
6. У тебя на шине RS485 N устройств. Как мастер устройству узнать количество ведомых устройств на RS485 шине и их 32 битные MAC адреса за минимальное время?
7. Чем конечный автомат Мура отличается от конечного автомата Мили?

## 18.18 Вопросы для проверки навыков пользования компьютером

1. Есть текстовый файл-лог размером 50Mbyte. Строки с ошибками обозначены как [E]. Как узнать есть ли в логе ошибки и сколько их?
2. Диск переполнился. Комп тормозит. Как быстро выяснить размер каждой папки?
3. Как из консоли рекурсивно открыть в Notepad++ все файлы с расширение \*.mk?
4. Как рекурсивно удалить все файлы расширения \*.bak?
5. Что такое регулярные выражения?
6. Как отобразить все 3-буквенные слова в текстовом файле?
7. Напиши bash команду, которая ищет во всех файлах папки проекта макрос с под именем "LED" только в файлах board.h
8. Как в папке открытой в консоли рекурсивно заменить слово old\_word на new\_word во всех файлах внутри папки

## 18.19 Трудные вопросы (со звездочкой \*)

1. Как измерить покрытие микроконтроллерного кода после отработки модульных тестов?
2. Опиши как работает JTAG под капотом (установка точки останова).
3. Почему на некоторых MCU RAM память не является непрерывной, а разделена на несколько отдельный непрерывных диапазонов адресов?
4. Как узнать время сборки каждого \*.c файла?
5. Как рассчитать CRC на стадии компиляции, чтобы положить результат в константный массив?
6. Как добавить еще одну отладочную кнопку, если уже все пины заняты.
7. Какой путь проходят данные с момента излучения с GNSS спутника до выхода в NMEA протоколе GNSS приемника?

## 18.20 Вопросы на способность тестирования и отладки

1. Какие существуют способы отлаживать прошивки? Назовите как минимум 10 способов.
2. Какой самый сложный программный или аппаратный баг приходилось искать и починить?
3. Как перезагрузить прошивку? Перечислите как можно больше способов. Минимум 3 способа.
4. Для чего нужны модульные тесты (скрепы)? Назовите 2+ причины.
5. Как отобразить UART лог в коде, который отрабатывает до инициализации отладочного UART?
6. Сколько способов подключить 4 провода к 8 ми клеммникам? Речь идет про конец каждого провода. В один клеммник устанавливается только 1 конец провода.
7. Как избежать чрезмерного, избыточного количества модульных тестов?
8. Как проверить, что инфракрасный передатчик IR в самом деле излучает хоть что-то?
9. Как проверить, что два массива это перестановка одних и тех же чисел?
10. Как протестировать драйвер графического I2C дисплея с SSD1306 в режиме write only?

## 18.21 Варианты для тестового задания дома

1. Напишите функцию для вычисления угла между 2D векторами с учетом знака (правая тройка).

2. Напишите прошивку под STM32F4, которая генерирует на GPIO два аппаратных PWM с возможностью менять фазу, частоту, скважность через UART в run-time.
3. Напишите энергонезависимую FlashFS(NVRAM) для, например, STM32 микроконтроллера. Предусмотрите endurance optimization и защиту данных от пропадания питания.
4. Напишите heap allocator или попросту реализуйте malloc() free().
5. Даны две GNSS координаты. Вычислить азимут в градусах. Покрыть тестами.
6. Напишите минималистичную прошивку STM32 загрузчика (MBR), которая только прыгает в определенный адрес (например 0x08016000), чтобы запустить приложение. Постарайтесь уместить \*.bin файл в 1kByte. У кого меньше бинарь, тот и победил.
7. Напишите диагностическую утилиту интерпретатор 19ти 8ми битных регистров RTC чипа DS3231. Регистровый dump считывать из текстового файла.
8. Напишите Си функцию-переходник, которая преобразует PDM сигнал с MEMS микрофона в PCM сэмплы для загрузки в интерфейс I2S.
9. Написать Си-функцию, которая распознает вещественное число из строчки. То есть универсальный парсер типа данных double. Вот несколько тест кейсов: ".> 0.0; ".5> 0.5; "5.> 5.0; "6> 6.0; "+1e2> 100; "1/3> 0.33;



# Глава 19

## Вы в самом деле хотите стать программистом-микроконтроллеров?

### 19.1 Пролог

В этом опусе я написал о буднях программиста микроконтроллеров в России.

### 19.2 Что вообще пишут программисты МК и на чем?

Основной язык программирования это С. Языку С уже более 50 лет. Язык С потихоньку сдает свои позиции. Кроме микроконтроллеров С уже практически никому не нужен. Навыки программирования на С очень слабо конвертируются. В свое время, видимо, на С написали компилятор для C++ и нужда в С для desktop как таковая отпала. Есть конечно DeskTop проекты написанные на С: Git, JVM, MySQL, Nginx, PostgreSQL, TaranTool, WallArm, однако вероятность, что в этих проектах можно работать из РФ да еще и с опытом из электроники мала. А сам язык С остался для сборки артефактов для микроконтроллеров с экстремально малыми ресурсами (для automotive ECU, SIM карт, IoT). Хотя и сейчас большинство компаний в Евросоюзе уже давно как и микроконтроллерные сборки собирают на C++ 17 и выше. Вероятно, что язык программирования С для МК вскоре и вовсе войдет в историю.

Еще программистам МК приходится обсчитывать аналоговые цепи и вычислять какие-то сложные 8-этажные формулы для настройки PLL таймеров и строить графики. Обсчитывать сигналы post-processing(a) в трактах цифровой обработки сигналов (ЦОС/DSP). Для этого практикуют бесплатный интерпретатор Python и модули matplotlib, math, numpy, scipy и т. п.

Главным образом программисты микроконтроллеров составляют MCAL, HAL, Board Support Package (BSP), пишут драйверы для новых умных периферийных ASIC чипов с управлением по интерфейсам I2C/SPI/MDIO/1Wire/UART/SMBus/PMBus,

пишут загрузчики, портируют RTOS(ы) на разные процессорные ядра, пишут код-генераторы, скрипты сборки, составляют модульные тесты, изредка производят рефакторинг, часто чинят ошибки в Legacy коде, изредка что-то изменяют в коде Assembler(a), который запускается до вызова функции `main()`.

Некоторые компании сами пишут своё system software базового уровня. Так называемый MCAL, HAL, SPL. Даже вопреки тому, что этот код бесплатно в открытом виде дают производители всех микроконтроллеров.

Поэтому программисты-микроконтроллеров годами пишут эти драйверы самого низкого уровня для того чтобы пользоваться GPIO, UART, PWM, ADC, DAC, CAN, I2C, SPI, I2S, DMA. По сути это код-переходник между удобной функцией

и чтением и записью сырых физических регистров, что в карте памяти данного MCU. Ниже кода просто не бывает... Тут кроме конечных автоматов там ничего больше не нужно.

Иногда программист МК даже ничего и не пишет сам вообще! Важно уже не сколько уметь программировать, сколько уметь составлять модульные тесты, собирать, улучшать из готового кода из интернета.

Какие-то исходники можно взять из [github](#) или ядра Linux. Можно раздербанивать Zephyr Project. Там есть код на многие темы. Драйверы для множества чипов. Важно уметь верифицировать найденные сорцы и аккуратно подключить их к нужной сборке.

## 19.3 Программирование на Си в Linux

Справедливо ради стоит упомянуть, что С используют для создания модулей ядра Linux. Как вариант можно пойти работать туда. Но надо быть готовым, что образ дистрибутива будет собираться по часу. В Linux проектах ещё больше бюрократии и секретности, чем в проектах на МК. И С кода в Linux пишут существенно меньше. Разработка в Linux похожа на прикладывание костылей. Вся эта методология device tree overlay - это по сути узаконивание костыллинга и быстрых заплаток в разработке.

Часто Linux программисты даже никогда не видели схемотехнику своего target устройства SBC и datasheet(a) на SoC (так как это секрет компании). Программисты Linux работают в абстрактных условиях. Редактируют дерево устройств DTS, путешествуют по файловой системе, пишут скрипты на Bash и Python, исправляют баги в JavaScript(e) Web GUI и выносят ведрами баги из кода User Space процессов для отладки, перекраивают дерево устройств \*.dts, добавляют драйверы чипов в загрузчик U-Boot и пишут очень много документации и инструкций (Doc Food(a)) на LaTeX.

Они в принципе не работают в Windows. Собирают ядро для Linux из-под Linux (Ubuntu или CentOS) или на удаленных серверах целыми месяцами напролет глядя в черный экран терминала vim по ssh. Тоска зелёная!

И потом, Linux kernel программисты очень скептически относятся к тем, кто пришел в Linux kernel из программирования микроконтроллеров.

## 19.4. КАК ПРОХОДЯТ СОБЕСЕДОВАНИЯ НА РОЛЬ ПРОГРАММИСТ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ?

Во первых все кто пришел в Linux из микроконтроллеров это 90Это первая причина отсутствия общей почвы под ногами с Linux программистами. Потом средства отладки в Linux kernel и MCU совершенно разные, разные системы сборки, разный способ передачи конфигов в программы, разный исходный набор документации, разные традиции оформления кода. Всё разное, понимаете! Только Си язык одинаковый. Фактически Linux разработчики даже не считают программистов-микроконтроллеров программистами как таковыми. Называют их User(ы) GUI(нёвых)-IDE(шек)!

Поэтому закрепиться в коллективе Linux программистов программисту микроконтроллеров получится не с первой, и даже не со второй попытки.

## 19.4 Как проходят собеседования на роль программист микроконтроллеров?

Собеседования на роль программист микроконтроллеров это вообще тема для анекдотов. Первый вопрос, который обычно задают программистам микроконтроллеров грубым голосом и ультимативным тоном звучит так:

Ты будешь печатные платы разводить?

Это, напомню, на роль "программист". Второй вопрос как-то ближе к теме. Звучит так:

Ты будешь на ассемблере программировать?

Еще есть такие варианты

Согласен заниматься реверс инжинирингом и взломом иномарок?

Если ответы нет/нет/нет, то и работу точно не получишь...

В Российском рынке электроники есть одна любопытная закономерность... Чем более ответственный проект и разработка тем, как не странно, проще туда устроиться на работу программистом микроконтроллеров. Мой самый простой job offer, где я, к слову, накосячил во всём: опоздал на 45 минут, сначала вошёл не в то здание, пришел в шортах и гавайской рубашке, ничего не решил на тестовом задании, я получил в компанию, которая разрабатывает авионику для российского пассажирского авиалайнера МС-21! А самое-самое трудное собеседование в моей жизни, где меня гоняли по всему MIT(шному) курсу Computer Science было в компанию, которая разрабатывает электронную папироску для вэйперов. Это как? Вот так, господа...

Также было очень легко получить предложение работы в российскую компанию, которая разрабатывает активные фазированные антенны радио решетки (АФАР) для российских ударных дронов (полная функциональная копия Турецкого Bayraktar TB2)! И одновременно неизвестно сложно получить job offer в российскую компанию, которая делает офисную поилку с газировкой. Там на устройстве поилки одна кнопочка всего: открыть кран с водичкой. Это как?...

Казалось бы, что всё должно быть как раз с точностью до наоборот... В США оружие проектирует инженерная элита. А у нас кто? Кто-нибудь может объяснить мне, что, собственно, происходит в российской электронике?!

При устройстве в российское военное НИИ/ НПЦ/ ФГУП/ ППК/ КБ (на ЗП 22k...42k RUR/ мес) с тебя потребуют пачку минимум из 16 документов! Прежде всего попросят вас после получения job offer написать заявление в местном центре занятости населения, чтобы там бездельники могли формально отчитаться перед государством, что это они вам работу нашли, а не вы сами. Потом надо будет пристести оригинал загранпаспорта, справку о несудимости, ПЦР тест (мазок из носа) и даже справку от психиатра! Это как? А это, видимо, чтобы убедиться, что человек, который пришел в Москву работать на зарплату 42k RUR в месяц Net - это клинически не псих...

Иной раз видел, как найдут в НПЦ сотрудника программиста-микроконтроллеров, да никому нет до него дела. Новичок приходит на промзону и сидит без задания первые два месяца. Потом только про него вдруг вспоминают и дают, наконец, какую-то чисто символическую задачу. Вот так, господа...

## 19.5 Программирование микроконтроллеров – это даже не профессия

Программирование микроконтроллеров – это зачастую даже не отдельная профессия.

В вакансиях часто пишут, что нужен прикладной программист DeskTop PC, там куча требований типа C++/C, QT, JavaScript, базы данных SQL, JSON, Linux и в самом конце в обязанностях приписка программирование микроконтроллеров.

Или вакансия инженер-схемотехник. В требованиях подбор элементной базы, разработка схемотехники, трассировка печатных плат в Altium Designer, разводка BGA DDR памяти, трассировка шин PCI-Express, разводка топологии RF цепей, расчет импедансов, обеспечение требований электромагнитной совместимости, расчет радиаторов охлаждения, черчение корпусов блоков, расчет свинцовой биологической защиты, bring-up электронных плат с производства, закупка электронной элементной базы, а в самом конце маленькая приписочка – программирование микроконтроллеров.

Также программирование микроконтроллеров можно встретить в требованиях к FPGA разработчика: разработка RTL, написание Verilog кода, работа в IDE Vivado, IDE Quartus и в конце приписка программирование микроконтроллеров.

Современный российские НИИ ну никак не хотят признавать программирование микроконтроллеров в отдельную специальность.

Причем в НИИ/НПЦ/ППК/ФГУП собеседования инженеров как правило в ультимативном тоне проводят женщины 40+ лет из отдела кадров с прошлым опытом работы в ЖКХ (найм дворников из средней Азии). В технике они не шарят в принципе, от слова совсем...

Они даже описание вакансии нормально составить не могут. Пишут, что надо программировать внутреннее ПО для вставных систем в Eclipse с ядром RISC-V и ARM32 на языке программирования Ц. Знание интерфейса 12С, JPIO. Доработка зерна Линукс. Составление Mack файлов.... Понимание Zephir.

## 19.6. В РОССИИ ПРОФЕССИОНАЛЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

На прошлой работе все эти тётушки из отделов кадров вместо того чтобы учится особенностям подбора специалистов для разработки электроники в свободное время предпочитают коллективно ездить на экскурсии выходного дня по местным церквям, храмам и монастырям РПЦ с такими же HR как и они из других российских электронных организаций... Это как?...

Кто их таких посадил нанимать специалистов Hi-Tech электроники? Вот такие вот, господа, пирожки с капустой, понимаете?..

Если вы устроитесь в какой-нибудь НИИ/НПЦ/ППК/ФГУП только программируйте микроконтроллеры, то Вас оформят максимум на третью или даже четверть ставки.

Программисты микроконтроллеров, как правило, никогда не числятся как штатные программисты. В большинстве российских организациях у вас, как программиста МК в трудовой книжке будет написано обыкновенно "инженер" (инженеришка какой-то там).

Вишенка на торте, ещё и в том, что современный тётушки-огородницы из российских отделов кадров абсолютно не понимают, что такое профессия "программист-микроконтроллер". Поэтому на ваше резюме на hh.ru будут регулярно откликаться левые HR(ы).

Они будут на полном серьёзе приглашать тебя на роль 1С-программист в бухгалтерию, linux-kernel программиста, чертёжника печатных плат, С-программиста, преподавателя информатики в ПТУ, инженера КИПиА в ЖКХ, программиста станков с ЧПУ и прочее.

Отклики будут от всего, что только угодно, только не на программирование микроконтроллеров... Поэтому только ты сам сможешь понять какая вакансия тебе реально соответствует.

Вот как-то так...

## 19.6 В России профессионалы программирования микроконтроллеров нигде не нужны.

"Те, которые плавать не умеют — те и не тонут, а тонут совсем другие."  
(товарищ Дынин)

Если Вы будете учиться, то уже через 2 года Вы точно будете overqualified. Вот Вам яркий пример... Выучили Вы например CMake (отличный инструмент, без шуток), приходите работать в военное НИИ АФАР-радары программировать, а там до Вас дедушка прошивки собирал из-под IDE-IAR 15 лет подряд. И что? Вы будете CMake скрипты писать для 150 файлов из распакованного \*.zip архива? Нет конечно же. Более того, Вас за такое уволят еще на испытательном сроке! Уж поверь мне...

Понимаете, в России лояльность и конформизм важнее мастерства!

В России в профессии программист МК больше всего увольнений на испытательных сроках происходит именно по причине чрезмерной квалификации нового



Рис. 19.1: профессионалы программирования МК нигде не нужны

сотрудника. Он просто оказывается на голову выше существующего закостеневшего серого коллектива.

Российские организации у программистов микроконтроллеров больше ценят умение вручную трассировать печатные платы в P-CAD 2004 года и умение руками паять SMD компоненты (без микроскопа, как тот самый пьяный тульский косой Левша из сказки), чем все эти Ваши моднявые IT(шные) технологии как DevOps, сборка из скриптов, модульные тесты, кодо-генераторы. Да.. Вот так.. Понимаете?

Российские компании не хотят нанимать опытных программистов-микроконтроллеров. Опытные знают себе цену и у них сформировался свой почерк, свои инженерные привычки в коде и отладке. У опытного программиста неизбежно появятся представления того как надо. Он уже много походил по граблям.

Российские компании, напротив, больше предпочитают нанимать вчерашних желторотых студентиков, юнцов. Происходит это по 3м причинам:

1. Экономия на зарплате. Вчерашнего студента легко унизить, опустить на собеседовании и склонить работать за зарплату вплоть до 25к-42к RUR в мес. А сэкономленное деньги рассовать по карманам низового начальства. Поверьте, в российских инженерных НПЦ деньги есть всегда, и большие. Это буквально видно по составу иномарок на парковке, мерины, BMW X5, Ауди Q5, Audi TT и прочее.
2. Научить юнца под себя, то есть научить малыша своим плохим практикам. Зачастую вчерашние ВУЗ(овцы) ещё не знают о таком понятии как технологии промышленной разработки ПО, поэтому в их голову можно легко вложить любое абсурдное убеждение, даже самое извращённое, например, что передавать код

## 19.6. В РОССИИ ПРОФЕССИОНАЛЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЕРОВ

проекта в \*.zip архиве по почте, и сборка из-под GUI-IDE мышкой - это вообще норма жизни, и тому подобное.

3. Чтобы дорогостоящие инженеры окупались их надо грамотным образом нагружать. Иначе высокопроизводительные разработчики будут просто приставать между задачами, а компания терять средства.

Поэтому с толковыми надо заниматься так называемым, научно производственным менеджментом. В переводе на кухонный язык - это строить диаграммы Ганта. Графы связи задач. Проводить ежедневные утренние планерки, еженедельно проводить синхронизацию по задачам.

Для этого нужны грамотные руководители, которые смыслят в предметной области и за плечами сами имеют качественный опыт разработки.

"Ты, Митрофанова, такого дяди племянница, а "вавилоны" на голове устраиваешь!"

(из к.ф. Добро Пожаловать)

При этом, напомню, в России руководство везде формируется исключительно по принципу кумовства и блата среди родственников руководителя. А в университете родственников не учат диаграммам Ганта и топологической сортировке графа задач. Понимаете?... Вот и получается, что в России нет грамотных руководителей. Откуда взять столько талантливых родственников и соседей по даче?

Поэтому руководству проще нанять дешевых инженеров студентиков, мальков, юнцов и пустить всё на самотёк. Тогда от руководителя вообще ничего не требуется. Только раз в 2-6 месяцев приезжать на работу и справляться о прогрессе. А сэкономленный зарплатный фонд можно опять рассовать по карманам.

Российские НПЦ \ППК \ФГУП существуют только при условии дармового труда юнцов. Они не могут и не хотят нанимать толковых инженеров с качественным опытом так как на зарплату профессионалам им просто жалко нет. Начальство ещё не все страны мира в отпусках посетило. Гештальт не закрыт. Поэтому при найме предпочтение отдается в первую очередь дармовым желторотикам - студентикам.

Ваша же квалификация, публикации, выступления на профильных конференциях и опыт при найме в России не имеют абсолютно никакого значения, а только является, внимание, отягчающим обстоятельством. Да, господа, а Вы как хотели?...

В довесок к этому, никому в России не нужны толковые сотрудники, так как на их фоне начальство выглядит, мягко говоря, некомпетентными людьми. Плюс у новых русских "манагеров" присутствует чёрная зависть мастерству. Поэтому всех демидовых давно изжили с белого офисного света. Нет в русских компаниях больше способных сотрудников.

Поэтому и товар любой российской компании это обычно какой-то отстой. Да такой отстой, что все пытаются купить импортный продукт (иномарку) путь и поддержанную. Народ всегда голосует рублём.

В лихие-нулевые была интеллектуальная quiz телепередача: "Самое слабое звено где после каждого раунда игроки голосованием исключали из команды одного игрока. Дак вот. Команда всегда удаляла самого способного игрока, который отве-

тил на больше всех вопросов. Исключали, как конкурента. Получался отрицательный отбор в трайбе. Так и в жизни.

Российские начальники отделов в НПЦ \НПО \ФГУП, как Иосив Жугашвили нанимают только тех, кто глупее их самих... Поэтому большое предпочтение отдают молодняку, вчерашним студентикам и малькам. Именно так их там и называют. В российских компаниях вы увидите только 10-15 возрастом после 35 лет. А 80 Мальки обычно запуганные, лояльные и на всё согласные... Желания пока у них нехитрые, путешествовать да ходить в качалку. Подсиживать никого мальки не станут.

## 19.7 Где работать программистом-микроконтроллером (Black Mesa по-русски)

В России программисты МК в основном работают в компаниях, которые делают госзаказ на военную технику, так называемые "аналогов нет"(ы).

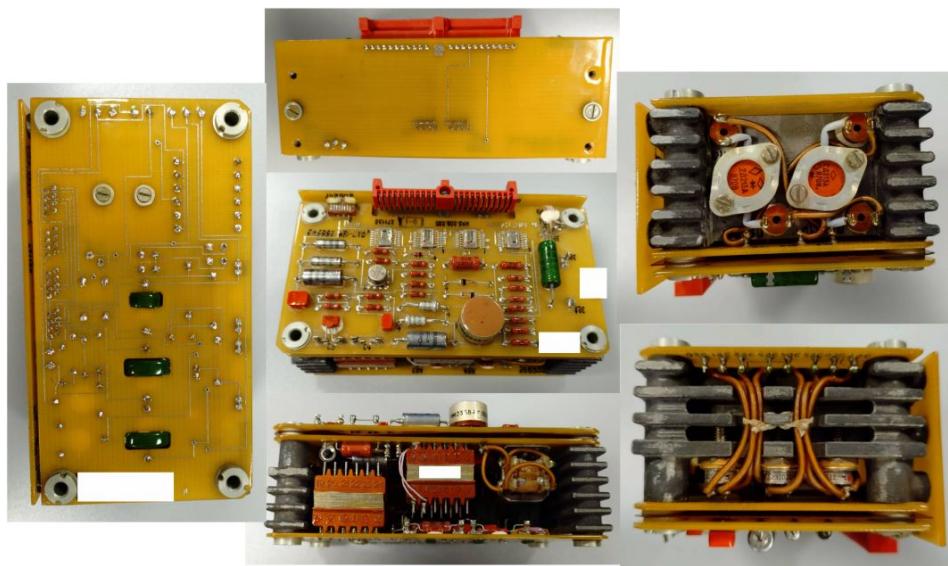


Рис. 19.2: типичный российский Hi-Tech 2020 года

Скажите, вы когда в 2009м свой LapTop от пыли чистили, наверное, примерно такие же вот оранжевые платы видели? Да?...

Обычно чтобы попасть на рабочее место надо подойти к промЗоне размером с аэропорт. До ближайшего метро минимум 3 км. Пройти вдоль советского вафельного бетонного с колючей проволокой забора метров 300.



Рис. 19.3: Забор у типичной промзоны

## 19.7. ГДЕ РАБОТАТЬ ПРОГРАММИСТОМ-МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ? (BLACK MESA ПО- СЛОВЬЮ)

Пройти сквозь вонючее КПП со злым как собака охранником. Пройти 300 метров по внутреннему дворику промзоны мимо полноростовых памятников (в масштабе Zoom 200 красных директоров этой организации). Зайди в ангаро-образное здание (Лямбда-комплекс сектора F), пройти ещё 3 турникеты, потом пройти еще 400 метров по коридорам и вот вы у своего коричневого верстака из дёшевой пресованой ДСП.



Рис. 19.4: по пути на работу программиста-МК приходится каждый день ходить по таким коридорам

У каждой турникеты есть будка в которой сидит злой пожилой сторож, который может от скуки нажатием на кнопку заблокировать турникету, если ты ему вдруг не понравился. Курящие люди естественно ленятся выходить на улицу через все зоны доступа (турникеты) и предпочитают курить свои скрутки и папироски прямо в уборных, которые уже к 13:00 превращаются в газовые камеры.

В самих помещениях как правило навалена всякая арматура и надо двигаться аккуратно чтобы опять не порвать себе штаны.

Здания старые настолько что даже ступеньки раскрошенные. Даже не знаешь куда и как ногу поставить. Подняться на бей этаж - это как взобраться на угольный террикон. Лифты есть, но их включают только когда приезжает какой-то важный гость.

Плюс всяческие ритуалы. 20 принуждать наклеивать на обувь антистатические наклейки, а иногда и облачаться в защитный костюм (душный комбинезон).

В России работа программиста МК происходит как правило в гаражных или около гаражных условиях. Или на чердаках-бардаках как тут

Провода. Высокое напряжение. Много какого-то металлома возле компьютер-



Рис. 19.5: так выглядит один из центров микроэлектроники в России (А-ля 19 век XIX)

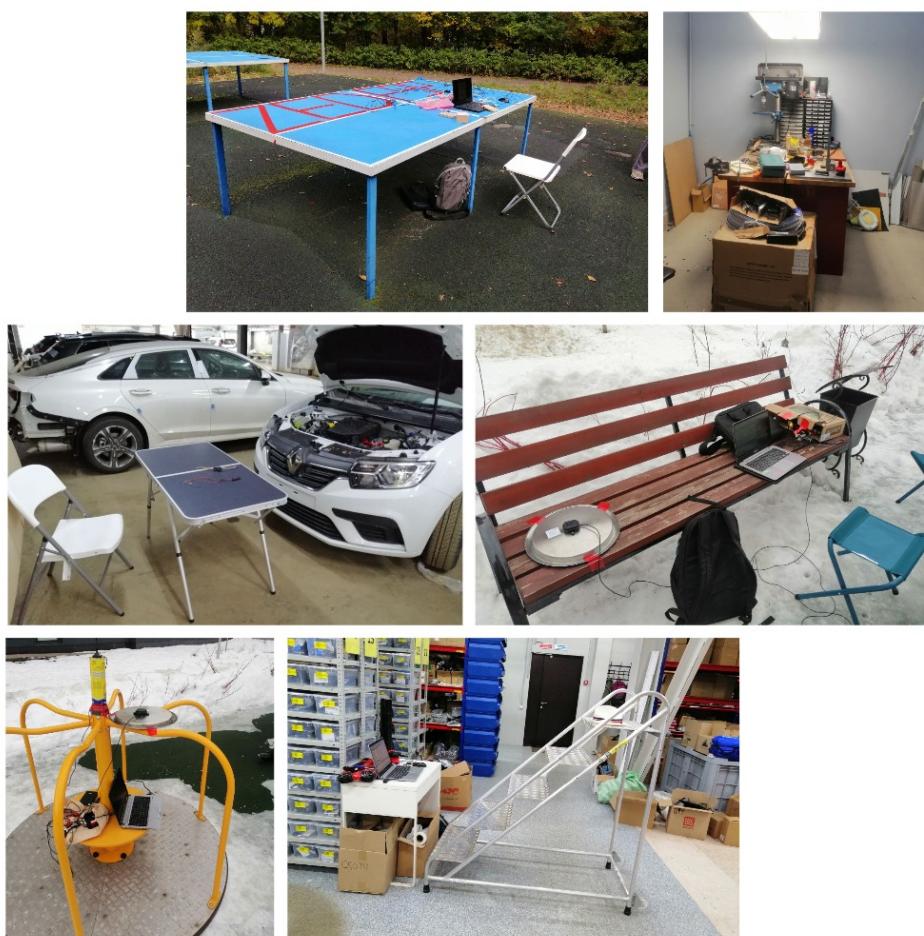


Рис. 19.6: Типичное будничное рабочее место программиста-микроконтроллеров. Романтика...

ров. Хлам на столах с горочкой. У вас под мониторами всегда будет валяться всяческое барахло (отладочные модули, провода, коробки, чехлы, разъёмы, болты).

## 19.7. ГДЕ РАБОТАТЬ ПРОГРАММИСТОМ-МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ? (BLACK MESA ПО-ДРУГИМ СЛОВАМ)

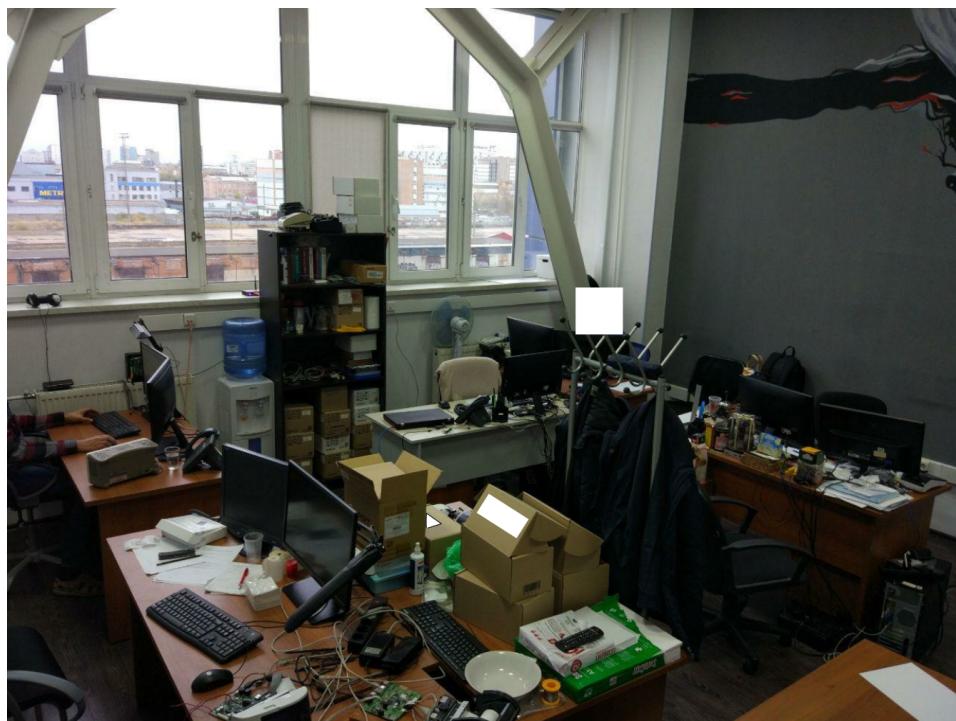


Рис. 19.7: Типичная среда обитания программистов-микроконтроллеров: чердак-бардак

### Embedded SW engineer workbench

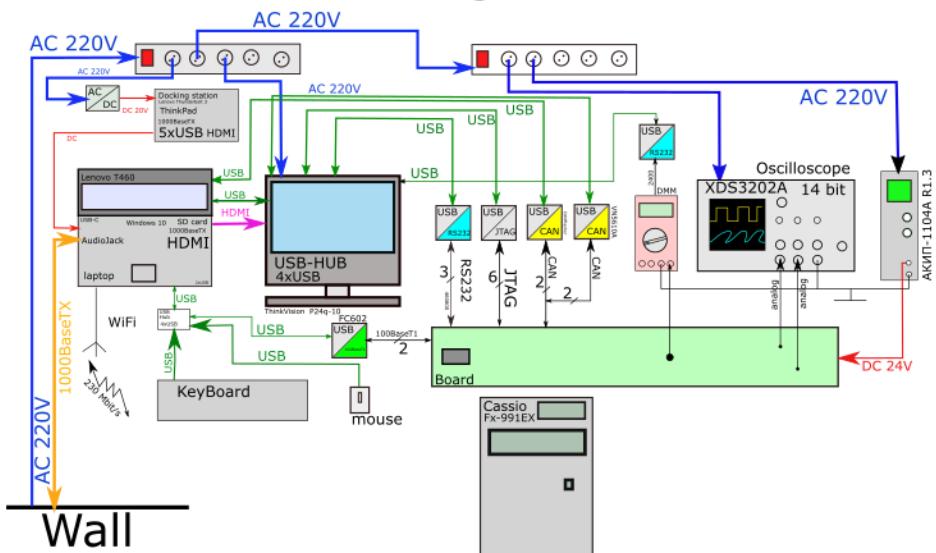


Рис. 19.8: Вот так выглядит минималистический верстак программиста микроконтроллеров

Вероятно, будешь работать по соседству с шумным охладительным оборудованием, так как электронные платы надо подвергать климатическим испытаниям. Там же рядом электронные платы будут сушиться после покрытия лаком, источая специфический запах.

У таких военных НИИ нет имени, нет логотипа, нет сайта, или их сайт это просто баннер с нулевым функционалом.

В отделе кадров даже не знают о существовании сайта hh.ru. Когда появляется вакансия до вакансии пишут от руки синей ручкой и приклеивают на скотч на стеклянных дверях промзоны предприятия. И люди всё равно охотно откликаются! Десятками! Причем, как не странно, приезжие. Даже из Сахалина. Видимо руководство тупо нанимает родственников нынешних сотрудников и формально сажают их на ставки схемотехников и программистов...

Начальники там как правило возрастом 60+. В одном НИИ я был свидетелем как каждый день двое инженеров водили под руки начальника НИИ, чтобы тот просто мог дойти и поесть. Руководство не умеют пользоваться персональным компьютером и всю информацию получают исключительно только в картонных красных папочках. Исходные коды тоже иногда просят распечатать для них. Причем удивляет то, что просят чтобы исходный код был напечатан на миллиметровой бумаге!

Типичный работник военного НИИ привык получать свою небольшую, но стабильную зарплату только за факт своего присутствия в промзоне. Для 60-летних сотрудников треть дня занимаются сплетнями, хвастаются отпусками. Особенно женщины. Вот так-то так...

"Когда секретари бездельничают и занимаются болтовней — это явный признак того, что учреждение находится в состоянии загнивания."  
(Ли Якокка)

Типичный инженер современного российского НПЦ скучен и не интересен в общении. Он ничего не читает, он ни про что не пишет, он не является экспертом ни в одной предметной области, ничего не мастерит, у него два базовых хобби: ходить в "качалку" и путешествовать.

В таких НИИ программистов и схемотехников периодически ещё заставляют писать подробные научные работы по каким-то ноу-хау в софте или железе, что есть в изделии. Аля-патент. Это весьма утомительно из-за обилия формул, схем, графиков и таблиц. Обычно писать такие тексты приходится по выходным, по вечерам и в гос. праздники, так как есть и основные задачи в будни. По сути ты описываешь, то, что сам сделал за полгода на 7-10 страницах.

Потом эту монографию публикуют в каком-нибудь российском журнале при местном институте. Самое подлое в этой истории то, что там на первом месте оказывается фамилии начальника НИИ, начальника отдела и начальника лаборатории. А твоя фамилия, как фактического автора, в списке авторов либо в самом конце, либо и вообще выброшена! При этом поезд в списке указанных авторов к тексту, естественно, никакого отношения, как и к самой работе, не имели. Они текст даже не читали! У самого первого автора даже компьютера на столе нет! Это эдакий намёк тебе:

"Знай своё место, собака! Не высывайся, рудокоп магаданский!" .

Электроника в России - это непрерывно стагнирующая отрасль экономики. Черная дыра для бюджета. Чемодан без ручки. Попадая в эту систему Вы фактически оказываетесь на непрерывно тонущей барже. Порой кажется, что государство финансирует разработки в НИИ по алфавиту. До буквы "Э" очередь доходит в самом конце.



Рис. 19.9: Знай своё место собака!

## 19.8 Что разрабатывать?

Основной источник работы - госзаказы и ОКРЫ. Конечный программист МК как правило даже не знает, что за комплекс разрабатывается в организации. Все платы называются "вычислительный модуль N". Техническое Задание (ТЗ) для программиста МК под запретом. На рабочем компьютере нет доступа в сеть интернет. Монитор становится черным при запуске браузера. Утилиты можно устанавливать только через пароль руководителя отдела. Пароль для открытия диспетчера устройств, пароль, чтобы прописать путь в переменную Path, пароль на установку драйверов, пароль на удаление папок.

Любое электронное устройство, которое вы будете делать скорее всего можно будет назвать одним словом: переходник! Типичное IoT устройство это с одной стороны, например, датчик температуры на шине I2C, а с другой стороны WiFi модуль. Телематика - это тоже переходник: с CAN на LTE и т.д. Всё, что я делал в российской электронике 10 лет подряд это переходники с одного интерфейса на другой интерфейс. Маршрутизаторы, модемы, телематика, СКУД(ы), аудиосистемы, IoT. Переходники. Переходники. Переходники.

Задач по программировать микроконтроллеры в России очень мало. На район с населением 300k человек будет всего 3-5 вакансий и конкурс 11 человек на место. Работу программиста микроконтроллера найти сложно.

При этом ВУЗы выпускают по 300 инженеров в год каждый. А в радиусе 20 км от вуза 30 вакансий. Туда возьмут отнюдь не самых способных выпускников, а тех кто согласится получать меньше всех корма.

Даже если Вы найдёте работу, то Вы сделаете всё за год, даже если будете писать всего лишь по 150 строчек кода в день. У вас буквально Flash память закончится за год. Прошивки пишутся быстро, особенно когда есть заготовки программных ком-

понентов: MCAL, драйверы ASIC чипов, connectivity, sensitivity, computing, storage и control.

Как только Вы напишите прошивку, начальство станет предлагать Вам заняться всяческими смежными обязанностями: технический писатель, сисадмин, тестировщик, чертёжник, схемотехник, тополог, рабочий в производстве на участок ручной пайки поверхностного монтажа, курьер лишь бы хоть как-то оставить Вас в этой организации.

Если Вы будете отказываться, говоря, что хотите программировать микроконтроллеры дальше, то Вас станут изживать как проблемного сотрудника, перестанут давать новые задачи, назначат какую-н скучную рутину (например искать на рынке самые дешевые выводные резисторы), или придумают какую-нибудь провокацию (часто с участием женщин), спровоцируют на конфликт.

В этой профессии все пути тупиковые:

1—Если Вы будете бестолковым программистом, то Вас будут изживать из организации как безнадежного растряпу.

2—Если Вы будете очень толковым сотрудником, то Вас тоже будут изживать из организации ещё более интенсивнее, только уже как явного конкурента.

Да, программисты микроконтроллеров в России комерческому рынку нужны, но только как сезонные работники на одну прошивку (полгода-год), подобно тому как в Финляндии сезонно нанимают сборщиков клубники. А потом тебе снова метаться по собеседованиям, искать фриланс, out source.

Многие будут склонять тебя организовать ИП или работать удалённо как самозанятого. Это называется "предприниматель в спальне".

Поэтому в среднем программисты МК в России за 10 лет меняют работу от 7 до 15 раз!

Ещё программисты микроконтроллеров в НИИ часто работают в развёртывании так называемых АСУ ТП. Это разработка оборудования для управления котельными, электроподстанциями, оборудование для электро-щитков, оборудование для очистных канализационных сооружений. По сути оборудование для ЖКХ. Про это можно почитать тут.

Работать приходится в соответствующих не очень приятных местах на объектах. Как Карлсон лазить по крышам. На крышах, если что, нет уборных. Это крайне специфическая область, где сделки заключаются в основном через откаты. А до зарплат разработчиков доходят сущие крохи.

Вообще в России в профессии программист микроконтроллеров какой-то экзистенциальный тупик. Везде при обсуждении начала разработки любого электронного продукта обычно приходят к одному и тому же выводу, что Россия

- a)—не сделает дешевле, чем в Китае и
- b)—не сделает лучше, чем в США.

Поэтому работу программиста микроконтроллеров надо искать в компаниях, которые, как бы вне свободного рынка, которые получают государственный заказ от министерства промышленности и торговли (МинПромТорга).

## 19.9 Какие командировки у программистов микроконтроллеров?

Программистов микроконтроллеров обычно посылают в командировки в самые некомфортные места, которые себе только можно представить: настраивать СКУД в медные подземные шахты 300 метров под землей за полярным кругом (это где ночь длится полгода), настраивать оборудование в атомных электростанциях (ходить в свинцовых трусах), проверять телематику в открытых карьерах размером 4 на 8 км для добычи какого-то "недоступния" (глотать там пыль), перепрошивать электронные платы на подводных лодках (были случаи когда с инженером ушли в море и забыли его предупредить об этом), тестировать эхолоты на Белое море (с промежуточной остановкой на Соловецком ГУЛАГЕ), тестировать АФАР радары в зоне СВО.

Кстати, в профессии программист микроконтроллеров часто приходится отлаживать радио электронную аппаратуру (РЭА) прямо на улице, ибо GPS и дальнобойную радио связь в офисе ну нико не проверишь не отладишь. И, как правило, по закону подлости такая out-door отладка выпадает на декабрь-январь-февраль... Чтобы Вы понимали, за окном минус -29... -35 градусов по шкале Цельсия, сильный холодный леденящий ветер. Солнце слепит глаза. Даже на смартфоне не видно, что написано, шум от пролетающих фур на трассе. Приходится облачаться в ватники, двойные штаны, балаклаву, варежки, шапку-ушанку. На щеки и губы намазывать толстый слой крема от обледенения лица.

Поэтому такие работы у нас шутливо называется

"выходы в открытый космос".

Все устройства на микроконтроллерах они так или иначе взаимодействуют с физическим миром. Их приходится отлаживать тоже в физическом мире. Далее обстоятельства могут повернуться самым необычным образом. Поэтому получается так, что сначала ты пишешь программный Си-код для микроконтроллера, а потом едешь на механике с ноутбуком на коленках. Или бродишь по шахте в метановом облаке, или меряешь что-то DMM в подводной лодке, или стоишь в метре от потока betta частиц (там же рядом синенькое черенковское свечение), или стоишь по пояс в озере с карасями и с сонаром. Или лежишь в багажнике с мульмитетром и меряешь сопротивление на пропан-бутановом баллоне. Или крутишься на каруселях с инерциальной навигационной системой. Прохожие думают "этот удалёнщик не мог найти себе другое место со своим ноутбуком. У детей карусель отнял." Или стоишь зимой на трассе за городом с антенной в руках. Мимо метаются фуры и ополаскивают тебя дорожной грязью с ног до головы.

И каждый раз в такие дни задаёшь себе один и тот же вопрос:

"Как я тут оказался? Как я вообще дожил до такой жизни? В какой момент я повернул не туда? Я хочу обратно в институт, чтобы выбрать себе другой факультет."

Да это просто романтика, господа! Только ответьте самому себе честно, Оно Вам надо?

## 19.10 Тестирование электронных плат кастрюлей

Особенность этой работы в том, что Вам постоянно будут нужны всяческие примочки, переходники, шлейфы, дефицитные импортные товары. Такие вещи можно купить только в спец магазинах через интернет по предзаказу и предоплате или на Aliexpress. Заказав примочку вам потом ждать два три месяца доставки. Потом ехать забирать эту посылку. Естественно работа в этот период ожидания примочки простаивает. При этом каждые два дня схемотехник с Вас спрашивает результат, которого Вы не можете дать без тех самых примочек, которые застряли где-то на таможне.

В одном российском НПЦ я был свидетелем одного очень оригинального способа тестировать электронные платы (PCB). Вот так это выглядит... Собирают электронную плату (размером с книжку), накрывают плату большой металлической кастрюлей вверх дном, подают питание на электронную плату под кастрюлей. В случае, когда изделие нормальное - ничего не происходит. В случае же, когда изделие бракованное внутри кастрюли раздается глухой хлопок и стук компонентов о стенки кастрюли. Иногда даже кастрюля подпрыгивает! А по ее периметру вспыхивает желтое кольцо. После снятия кастрюли выходит облачко дыма. Вот так в России порой тестируют Hi-Tech электронику.

## 19.11 Docker по-русски

В российских военных НИИ \ППК \textbackslash ФГУП, когда заканчивают разработку программы для электронной платы прибора, то чтобы была возможность потом вернуться к исправлению багов просто берут DeskTop на котором компилировались прошивки, монитор, клавиатуру и даже мышку, обманывают всё это в комок изолентой (установкой как в аэропортах для обмотки багажа) и относят комок на неотапливаемый склад. А программисту просто выдают другой шумный как пылесос DeskTop-компьютер. И у начальства там ещё язык поворачивается называть это хорошими практикам разработки!

Даже если в российских электронных компаниях попробовать внедрить такие западные практики как устраивать ежедневные 5-7ми минутные планерки, то сотрудники будут тупо стоять как истуканы с острова Пасхи и молчать.

Они привыкли неделями напролёт на работе ничего не делать, как какой-то трудиной резерв. Гонять чаи за пустыми разговорами. Каждый день они отчитываются не могут. Не привыкли... Либо просто будут не приходить на планерку так как нечего сказать. А нечего сказать, так как ничего вчера не делал.

Потом если взять ортодоксального российского программиста-микроконтроллеров и поместить его в западную модель программистского делопроизводства: ежедневные планерки, трэкер задач, сборка из скриптов, сервер сборки, статический ана-



Рис. 19.10: Планёрка у программистов-микроконтроллеров

лиз кода, инспекция программ, модульные тесты, снятие покрытие кода, спринты, Kanban. То выясниться, что российский программист-микроконтроллеров вообще не может решить ни одной задачи! По сути типичный российский программист микроконтроллеров не умеет вообще ничего делать, так как он просто не умеет программиривать в том смысле, как это принято во всём цивилизованном просвещенном мире.

Для российского программиста микроконтроллеров единственный вариант по жизни, это сидеть промзоне своего военного НИИ, работать в кактус-соло режиме в какой-нибудь рафинированной GUI-IDE (типа IAR) со встроенными подсказками от Mickey-Mouse(а) и не высовываться!

Там же в промзоне чтобы компенсировать маленькую зарплату Вам будут говорить:

"Да, боец, зарплата у тебя маленькая, зато твою работу покажут самому Президенту!"

или

"Этот прибор, который ты тоже делаешь, промчится на параде по самой Красной Площади!"

Или вот чем нас в НИИ воодушевляли:

"Прибор, который ты тоже тут программируешь полетит не куда-нибудь там, а прямиком на-Лу-ну!"

А закончилось это новым кратером под названием "Луна-25"

Рис. 19.11: Кратер Луна-25

Это всё и будет, пожалуй, основной и единственный бонус, предмет гордости и бальзам на душу тебе как российскому программисту-микроконтроллеров. А если ты будешь роптать и жаловаться на трудность работы в таких условиях, то тебе скажет патрон что-то типа

"Расскажи о своих программистских трудностях шахтерам на Донбасе..."

Кстати про шахтёров... На промзоне каждый день будет обеденный перерыв. Однако то место, где это будет происходить ну никак нельзя назвать такими словами как "кафе" или "столовая". Судя по запахам шуму и освещению более подходящие для этого заведения словами являются "едальня" или "пищеблок".



Рис. 19.12: В культовом сериале КиберДеревня отлично передали антураж пищеблоков российских промзон

В российских военных НИИ/НПО/ППК/ФГУП часто среди сотрудников также набирают массовки на всякого рода государственные мероприятия: премьеру какого-нибудь наитупейшего фильма (без обид), снятого на деньги из гос. бюджета, концерт певчевого под фанеру артиста, чей рейтинг держится на государственном аппарате искусственного поддержания жизни или государственные митинги в Лужниках или Олимпийском за пару сосисок и гречневую кашу. По разнорядке инженеров также отправляют на похороны каких-то местных чиновников. Инженеров просто ловят прямо на работе, вызывают из отпусков, набивают в автобусы и везут пополнять массовку. Если ты Боже упаси откажешься участвовать в этой показухе, то тебе там, как говорят, "создадут условия". В переводе на кухонный язык - назначат грязную скучную и тупую работу (искать самые дешевые выводные резисторы) на полгода вперед пока ты окончательно не потеряешь рассудок.

При этом в профессии программист-микроконтроллеров очень трудно убедить организацию купить инструменты для эффективной работы. Что-нибудь совершенно по мелочи, что-то ну совершенно копеечное: блок питания, переходник USB-UART, штангенциркуль, шлейф, Android приложение для отладки uBlox чипа с GNSS. Надо заполнить кучу формуляров. Написать простыню для обоснования и 80 месяца пока

согласуют и купят. А если и купят, то как правило оказывается, что купили не совсем то, что надо. В результате ты все примочки, как правило, покупаешь за деньги из своего семейного бюджета.

## 19.12 Про профессиональные традиции

Никаких традиций в профессии программист-микроконтроллеров в РФ исторически за 50 лет так и не сложилось. Не получилось... Тут речь идет не о тех традициях, чтобы дать новичку выпить стакан морской забортной воды и поцеловать качающийся молоток. Вовсе нет! Нет традиций в смысле того, что нет хороших практик разработки прошивок для микроконтроллеров! Например, нет доверенной покрытой тестами кодовой базы на всю страну (аналога европейскому AUTOSAR или Zephyr Project). То есть нет тех самых кирпичей из которых можно было бы гарантированно собирать работающее "программное здание". Нет никакой общей культуры разработки системного ПО. Нет системного подхода. Нет преемственности в делах.

Разработка всюду похоже на анархию, Броуновское движение. Зачастую тебе придется работать даже без технического задания! Задачи могут поставить так:

- "1–Оживить плату!
- 2–Подружить микроконтроллер и айфон!
- 3–Подружить платы!
- 4–УУ ВайФай!"

Понимай эту ахинею как хочешь... Нет общей терминологии. Везде свой внутренний нецензурный фольклор.

Кстати про матерщину...

## 19.13 Про матерщину

В российских инженерных коллективах очень рьяно циркулирует просто отборнейшая матерщина. Я по началу никак не мог понять:

"Как же так получилось? Ведь все прошли через институты, университеты. Профессоры, доценты и аспиранты не сквернословили, а тут на работе как-то криминальный фольклор. Что происходит? Почему?"

Потом стал познавать историю предприятия и понял откуда все пошло... Дело в том, что вся российская инженерная школа сформировалась в 193x годах. Тогда всех инженеров, авиаторов, чтобы не платить им зарплату, Иосиф Джугашвили загнал в лагерные шараги и ГУЛАГИ.

Через этот кошмар прошли Поликарпов Николай Николаевич, Туполев Андрей Николаевич, Сергей Павлович Королев, Глушко Валентин Петрович, Роберт Людвигович Бартини и сотни тысяч других более мелких инженеров. В этих местах "не

столько отдаленных<sup>11</sup> советские инженеры много лет жили бок о бок с матёрыми зэками, уголовниками и, естественно, инженеры набрались от них этого пресловутого жаргона.

Спустя 15-20 лет в середине 195х инженеров выпустили из тюрем, каторг, рудников и колоний "За отсутствие состава преступления" и они пошли работать во всяческие НИИ, КБ и НПО. А тюремные привычки и нравы-то никуда ведь не исчезли, а просто плавно перешли в здания без решёток.

Так и продолжается до сих пор. Кликухи, матерщина, издёвки, воровство личных вещей с рабочего верстака и дедовщина - всё это норма жизни в современных НИИ, НПЦ и ФГУП.

В современной российской инженерной молве чрезмерно много жаргона и сквернословия. Это одна из бед. Русские забыли настоящий красивый инженерный язык времён последних инженеров российской империи Владимира Шухова, Косьмы Зворыкина, Игоря Сикорского и прочих.

По факту сейчас у вас только два варианта. Вам придётся в повседневном общении на работе либо самим регулярно применять грязную и пошлую матерщину, как и все, либо лояльно и толерантно относиться к матерщине вокруг Вас. Тут другого, простите, просто не дано...

Более того, в российских инженерных кругах, чем более жёсткую и суровую человек употребляет матерщину, тем выше авторитет этого человека! Да... Техническая же экспертиза на этом фоне уходит куда-то на второй план. Матерщина на работе воспринимается даже как проявление некоторого рода интеллекта, так как те, кто не сквернословят выглядят как овощи. Просьба, друг, относиться к этому с пониманием...

Патроны называет коллег не то "бойцами" не то "боевиками". Понимаете, насколько это специфическая область деятельности - программирование-микроконтроллеров в России.

Может мне просто не повезло 6 раз оказаться в таких вот организациях...

## 19.14 Сильная зависимость от внешних факторов

Есть некоторая нездоровая специфика программирования МК в РФ. Свою оригинальную электронику в России делать отказались еще в конце 196х. Был принят гос. план тотального копирования западных IBM(ов), Intel и Z80 процессоров. В результате Россия стала полным акцептором IT технологий. Сегодня у России нет своего дешевого процессорного RISC/MIPS/PowerPC ядра, нет своего компилятора для известных ядер ARM, PowerPC, RISC-V. У РФ нет даже своего текстового редактора! Благо есть открытый софт (Linux и GCC), которым и пользуются российские компании. Страна полностью зависит от импорта микропроцессоров и ToolChain(а) для микропроцессоров. Микроконтроллеры активно покупают в Норвегии(nRF5x) Италии(STM8), Франции(STM32), США(TI, PIC), Китае(esp32, Artery, GigaDevice), Нидерландах (LPCXXXX), Канаде(BCXXX), Швейцарии(STM32). Toolchain покупают у

Швеции (IAR), Германии(Keil) и США(GHS).

Будучи программистом микроконтроллеров вы будете максимально сильно зависеть от внешних факторов и флюктуаций. Вы будете работать в условиях отсутствия суверенитета.

1—Микроконтроллер, который Вы программируете могут включить в санкционный список.

2—Datasheet на новый чип вам могут отказаться прислать из-за NDA

3—Вам могут аннулировать лицензию на компилятор GHS.

Всё это на западе называется модным выражением "закрыть маршрут разработки" для неугодных стран и компаний.

В США ситуация диаметрально наоборот. Там не то, что есть полный цикл IT продуктов. Так там ещё есть каждый IT продукт в нескольких экземплярах, т.е. от нескольких вендоров. Микропроцессоры AMD, Intel, TI, Microchip. Софт операционных систем от MAC, Windows, BSD. Компиляторы TI, GHS. И всеми любимый текстовый редактор VS Code от Microsoft!

## 19.15 Про Санкции и Эмбагро

При работе в России программистом микроконтроллером тебе прежде всего придется выучить такие слова как: импорт, NDA, vendor locking, санкции и эмбарго.

Дело в том, что Святая Русь - страна санкционная. И это теперь на века... В российской организации могут запросто опрометчиво решиться начать разработку какого-нибудь электронского поделкия, которое можно реализовать только на одном единственном импортном чипе из просвещенного ЕвроСоюза или США. Что-типа AD9208. А Vendor этого чипа например Analog Devices или TI наложит эмбарго либо сразу, либо потом и не будет присылать вам полный datasheet как и сами чипы, техподдержку, так как РФ, по их мнению, является санкционной территорией. И в результате ты, как программист микроконтроллеров тут вообще ничего не сможешь с этим сделать!...

Причем в отсутствии прогресса русский начальник-схемотехник будет обвинять именно программиста, то есть вас... Так как у него в голове не укладывается, что без детализации битовых полей I2C регистров ASICa невозможно написать прошивку. Он просто не поймет, что вы ему говорите.

Такая история у меня лично была уже дважды (чип PM6766 для питание серверов) и модуль ZED\_F9P (высокоточная GNSS-RTK навигация).

Даже если российская компания вдруг задумывает сделать примерно современное электронное устройство с BGA корпусами, PCB антеннами, то как правило это заканчивается тем, что схемотехник(и) сталкиваются с технологическими проблемами, первая ревизия плат вообще не работает из-за неправильного выбора пинов на микроконтроллере (схемотехнические ошибки), компоненты припаяны не той ориентацией, припаяны не те кварцы и в итоге экземпляры электронных плат даже не доходят до стола программиста-микроконтроллеров.

В РФ часто начинают проектировать электронную плату, а потом выясняется, что нет возможности купить нужные микросхемы, разъёмы, светодиоды и прочее.

## 200 ГЛАВА 19. ВЫ В САМОМ ДЕЛЕ ХОТИТЕ СТАТЬ ПРОГРАММИСТОМ-МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ?

Просто схемотехнику живут в вымышленном мире эльфов, где думают что, то, что они нашли в интернете по их желанию тут же им припаяют. В итоге разработка уходит в штопор из-за того, что банально нет возможности собрать до конца художество схемотехников.

Уровень современной российской схемотехнической школы сейчас настолько низок, что о программировании и говорить порой даже не приходится... На предприятиях кроме готовых отладочных плат от вендора зачастую просто нечего программировать. Только, внимание, четвёртая-пятая ревизия российских PCB обычно лишена детских болезней. Пятая! Да, вот так, господа...

В РФ по-настоящему передовые электронные разработки часто попросту не доходят до серийного производства банально из-за очередного эмбарго. Я был свидетелем как один мой коллега в российской организации переписывал прошивку с 32-битного микроконтроллера на 8-битный микроконтроллер. Вот такой, товарищи, "прогресс"! Потом видимо будут переносить функционал с 8-битников на электрорелейные командо-аппараты. Потом на шестеренчато-кулачковые механизмы. Так, что можете смело вместо новых языков программирования типа Rust(a) начинать учиться чертить детали машин. Причем лучше сразу на бумаге! Нас тут, по ходу, снова ждёт паровой век! Аж дух захватывает...

Российские компании не хотят ничего выдумывать. Боятся. Предпочитают копировать то, что уже есть на Западе, без какого бы то ни было оригинального "видения" продукта и товарной политики. Копируют буквально заклёпка в заклёпку, шильдик в шильдик. Тем более, что корни у этого процесса очень-очень глубокие. Например в СССР скопировали американский бомбардировщик B-29 -> и получился Ту-4. Скопировали атомную бомбу Fat Man - в советскую РДС-1. Копировали вертолёты, автомобили, пылесосы, фотоаппараты и даже утюги и кинематограф. Больше примеров можно увидеть тут. Своя придумывалка не работает от слова совсем.

Русские так часто и много копируют технику, что американские режиссеры даже в фильме "Iron Man 2 (2010)" показали русского инженера Ивана Ванко живущего с попугаем.



Рис. 19.13: вот так американцы видят русского инженера-электроника

Это очень символично, так как всеобще известно, что попугаи всегда только повторяют произнесенные фразы и сами никогда ничего не придумывают... Вот так, господа...

А в фильме *The Martian* (2015) американцы вообще не показали существование россиян в составе экспедиции на Марс. Якобы мы для них - пустое место.

В сериале *Silicon Valley* (2014–2019) американцы показали русского выпускника БМК МГУ как донора плазмы.

Голливудские режиссеры в каждом своем фильме помыкают русскими инженерами.

Вот как раз поэтому едва ли в РФ получится участвовать в какой-либо уникальной прорывной разработке на микроконтроллерах. Даже если ты виртуоз в программировании микроконтроллеров, то по настоящему грандиозные проекты в РФ скорее всего всё равно просто не удастся сделать из-за очередного эмбарго и санкций. А между тем проекты реальных гаджетов американских школьников с Kickstarter(a) или CrowdSupply вызывают куда больше восхищения и трепета чем то, что пытаются делать сорокалетние мужики в электронных компаниях РФ со своим якобы "громадным" электронным опытом. (см Software Defined Radio руками шестнадцатилетнего подростка )

В программировании микроконтроллеров нет как таковой градации навыков на junior/middle /senior. Продвижение по ЗП обычно происходит согласно лояльности к руководству. Главное войти в семью (или в клуб, в клан). Проявляется это лояльности и в способности закрывать глаза на отрицательные организационные таланты начальства. Не имеет значение кто работает хорошо, а кто плохо. Результат - это не главное. Главное сидеть тихо, не бузить, не высовываться. Деньги на существование НПЦ все равно выделяет министерство промышленности и торговли. А сотрудники тут все как бы в зоопарке. Понимаете?

Издёвка судьбы ещё и в том, что существование российского ВПК не вписывается в картину мироздания Западной политики. Понимаете? Всё это российское систематическое отставание в развитии происходит, конечно же, не без помощи наших, так сказать, западных партнеров.

"Дядюшке Сэму это всё не нужно!"

На Западе ещё 140 лет назад в конце XIX века их учёные окончательно решили и посчитали, что Россия - это их сырьевой придаток, дойная корова. А они там у себя и будут науку и технику развивать.

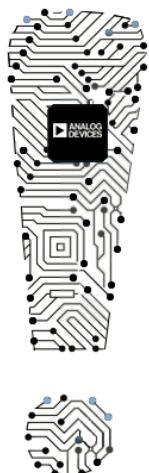
Советские, российские микропроцессорные электронные платы, микроконтроллеры Амур, микропроцессоры Байкал, воронежские ПЛИС, БМК Ангстрема, прекрасные принтеры Picaso 3D, чудо умный от WIRENBOARD представляют для англосаксов интерес только как руда цвет мета.

США и ЕС лелеят мечту, спят и видят Россию нищей грязной раздробленной сырьевой территорией (даже не страной) с мизерным необразованным, спившимся, укуренным, суеверным наркоманским населением без письменности под внешним управлением колониальной администрации... Ну вот как-то так...

"Вопрос: Как называется страна, экспортирующая сырье и импортирующая

готовые изделия? Ответ: колония."  
(Ли Якокка)

Поэтому все западные поставщики микросхем будут постоянно чинить препятствия и козни Вашей российской электронной организации. Проявляется это во всём... Они накладывают эмбарго на продажу литографов ASML. Запрещают продавать в РФ лицензию на компиляторы (например GHS). Навязывают vendor locking программы для разработки: (это IAR, Keil, Code Composer Studio), которые не позволяют делать чтобы то ни было без мышки. Продают мелочёвку по завышенным ценам. Перекрывают цепочки поставок. Запрещают скачивать документацию и утилиты для работы с их сайтов и прочее. Перекрывают доступ к их сайтам.



*Ohm my!*

Access denied under U.S. Export Administration Regulations.

Рис. 19.14: AD перекрыли доступ к datasheet-ам

Отказывают Вам в посещении профильных мастер-классов в Европе. И даже умудряются, не много не мало, а протолкнуть в кабинеты с высокими потолками на руководящие должности российских госкорпораций своих людей для саботажа сверху в стане противника! Да, господа, а вы как хотели?.... Холодную войну, по факту, никто на самом деле не отменял...

В одной российской организации, я был свидетелем как к нам в офис регулярно приходил американский под-поручик от Texas Instruments и буквально диктовал нашему начальнику отдела, какие микросхемы следует закладывать в проект российского прибора. Потом эти микросхемы в самом деле оказывались в финальном приборе. А спустя несколько месяцев эта же Texas Instruments объявила Эмбарго на те микросхемы, что сама же приказала поставить. Вот так, просто кинули...

И Вы тут как рядовой программист-микроконтроллеров ну вообще ничего не сможете с этим сделать...

Я искренне надеюсь, что наши русские спецслужбы тоже протолкнули в руководство американскими Hi-Tech компаниями своих агентов-диверсантов. Которые в свою очередь тоже занимаются саботажем и подрывной работой в стане противника.

Так называемые менеджеры-guerrillas. Эта мысль мне как бальзам на душу. Иначе нам тут в России просто хана.

Поэтому многие настоящие разработки военной электроники в России происходят как бы нелегально, незаконно, глубоко под землёй. В минус первых, минус вторых этажах крупных промзон и университетов. Или вовсе в бункерах и казематах. Естественно, десятки работников-электронщиков там фактически никогда не видят белого света. Также внутри банально трудно дышать. Там так много эшелонов доступа, что без труда туда может проникнуть только сейсмическая бомба. Вот оно Вам надо?

Особенно смешно, когда российская компания начинает делать электронный продукт с прицелом на западный рынок. Под предлогом, что на внутреннем рынке в основном бедные русские и они электронику не могут позволить себе купить.

Стартаперы придумывают себе название компании на латинице. Товар называют на латинице. Закладывает 100базу в свои электронные платы.

А на выхлопе вместо продаж, на них цивилизованный Запад со своим "свободным рынком" вешает станции и объявляют вне закона! Банит их сайт, YouTube-канал, Instagram аккаунт и прочее.

Эти новые-русские купчики до сих пор не могут осознать ту азбучную реальность, что на Западе на научном уровне их ученые лет как 140 назад давно окончательно решили, что Россия - это их сырьевой придаток, а Hi-Tech товаров с этой стороны цивилизованный мир не ждёт, как бы... Этого электронного добра там своего хватает. С избытком...

Поэтому восемьдесят процентов того, что бы сделаете на работе программист-микроконтроллеро в России пойдет прахом. Проект задвинут в тумбочку как какое-нибудь крамольное советское кино. Основные причины это Санкции и Эмбарго на элементную базу.

Ну и по мелочи: отмена выставки. Ошибки в схемотехнике. Дизайн PCB платы не прошел электромагнитную совместимость (EMC). Брак производства. Трагедия на испытаниях. Отсутствие потребителей продукта. Уход инвесторов. Потом, смена руководства отдела. Новый начальник демонстративно зарубит все проекты прошлого руководителя. В общем 80-90

Программист-микроконтроллеров это отличная профессия для тех кто хочет работать "в тумбочку" и "под сукно".

К слову, именно поэтому в Ваших же интересах писать код прошивок максимально модульным, чтобы можно было потом пере использовать программные компоненты в других проектах.

## 19.16 У программистов микроконтроллеров начальник-схемотехник.

В России чтобы быть начальником надо всего два атрибута: высокий рост и русское фамилие. Вот и всё...

Обычно программист микроконтроллеров работает в отделах, которые по совет-

ских называются: "отдел разработки радио электронной аппаратуры" (РЭА). Поэтому, как следует из названия, начальник там - бывший схемотехник. Всё начальство программистов микроконтроллеров в российских организациях в пяти случаях из шести - это в прошлом схемотехники, чертежники или вовсе конструкторы механики. О программировании они знать ничего не хотят из принципа, они из тех кто просто ненавидит программировать еще с института. Начальник-схемотехник даже программирование называет "программизмом прошивание называет "прожиганием микроконтроллер называет словом "мозги а самих программистов-микроконтроллеров "софтотисцами". Это как?

1. Начальник схемотехник никогда не порекомендует тебе воспользоваться утилитой grep.
2. Схемотехник тебе не посоветует настроить GIT.
3. Схемотехник тебе как начинающему программисту-микроконтроллеров никогда не подскажет, что собирать из Makefile(лов) эффективнее, чем сборка из-под GUI-IDE.
4. Схемотехник не скажет, что отладка из UART-CLI эффективнее чем отладка через SWD/JTAG.
5. Схемотехник не порекомендует делать модульные тесты кода.
6. Схемотехник тебе не посоветует запустить сервер сборки Jenkins для контроля сборок.
7. Схемотехник не научит тебя делать code coverage.

От себя могу добавить, что после своего регионального политеха за первые три года своей карьеры работая с начальником-схемотехником, я не научился у него, ровным счетом, абсолютно ничему IT(шному). Учиться у схемотехника программированию невозможно по определению. Если ты попал в отдел РЭА, то это, друг, финал твоей карьере как программиста. Своего рода, конечная остановка в профессиональном развитии.

Справедливи ради, стоит всё-таки упомянуть, что начальник-схемотехник в лучшем случае может научить тебя разве-что некоторым трюкам ручной пайки. Например с применением термо-фена и оранжевой каптоновой ленты, о существовании которой, кстати, в среднем 7 из 8 схемотехников даже не догадываются. Вот, пожалуй и всё...

Причем будь готов к всяческим странностям в таких отделах РЭА. Вот буквально несколько примеров из жизни:

1. Однажды я был свидетелем, как начальник-схемотехник для разработки прошивки по ошибке нанял python программиста!
2. однажды в отделе РЭА ко мне подошел начальник-схемотехник и попросил, чтобы я составил, внимание:

"Документ-требования к транспортировке программного обеспечения (ПО) железнодорожными видами транспорта."

3. Или уже в другой организации ко мне приблизился мой непосредственный начальник (в прошлом чертёжник прямоугольных корпусов) и устно сказал:

"Напиши требования и методику проверки работы твоего программного обеспечения (ПО) по температурным диапазонам ПО."

От же

"Напиши мне IP-код защиты от пыли и песка для твоего программного обеспечения."

4. Или вот начальник схемотехник попросил меня перед новой разработкой:

"—Предоставь, пожалуйста, эскизный проект программного обеспечения для микроконтроллера."

5. В конце разработки начальник схемотехник попросил меня распечатать \*.hex файл с прошивкой для микроконтроллера, чтобы оформить архив на разработку электронного прибора. Распечатать!..

Останься я там работать ещё на полгода-год начальник-схемотехник бы спрашивал:

"Продувал ли ты код прошивки в аэродинамической трубе?"

Интересно Back-End программистов Web сайтов, GameDev разработчиков или программистов мобильных приложений под Android/iOS менеджеры тоже о таком просят???

Типичная российская электронная разработка выглядит примерно так. Начальник отдела открывает Aliexpress и покупает там не глядя какой-то случайный дикий ПЛК, вручает программисту микроконтроллеров этот ПЛК и говорит: "оживи устройство". При этом на ПЛК нет абсолютно никакой документации, продавец на Aliexpress не отвечает на сообщения с вопросами прислать pdf(ку). И всё, что остаётся это взлом хакинг и реверс инжиниринг этого азиатского прибора.

А вот это, господа, коллекция золотых перлов начальников-схемотехников:

"1—Тестировщик ПО не нужен. Вы о чём вообще? Если программист хороший, то и код он пишет без ошибок!"

2—Оживить плату!

3—Подружить платы!

4—Программистам-микроконтроллеров не нужна схемотехника. Пусть код пишут.

5—SVN/GIT не нужен так как у нас только один программист-микроконтроллеров.

6—Зачем ты сделал для разных микроконтроллеров две отдельные \*.hex прошивки? Сделай один универсальный \*.hex файл сразу для всех электронных плат!

7—Не нужны нам программисты-микроконтроллеров! Бот ChatGPT сам составит нам \*.hex файл с прошивкой!

8—Устройство должно отвечать по CAN за ноль микросекунд.

9—Какой ещё DevOps? Не морочьте мне голову!

10—Сделайте Мне хорошо!"

Вот так и живём, господа... Твоя задача - телепатировать, угадать, что хочет начальник-схемотехник и угодить ему, как женщине, ибо мысли излагать на бумаге (ТЗ) он все равно не хочет и не будет! Гордость и предубеждения не позволяют...

Начальство предпочитает ставить задачи программистам микроконтроллеров исключительно только устно. По их мнению, если ты забыл, что произносилось карта-вым голосом с заиканием - это твоя проблема, друг.

Начальник схемотехник не умеет контролировать исполнение работ по программной инженерии. Он сам ПО никогда не создавал. Не обладает опытом. Начальник-схемотехник не будет считать сколько модульных тестов прошел твой код. Ему хочется увидеть презентацию, шоу, фокусы. Иначе он до конца своих дней будет считать, что ты, как программист, ничего на работе не делаешь. Поэтому помимо программирования, ты должен, в значительной мере, быть ещё и шоуменом, фокусником и тамадой, чтобы представить свою работу дремучему начальнику-схемотехнику так, чтобы он хоть что-то понял.

При этом начальник-схемотехник считает, что любую прошивку можно написать за один, ну максимум за 2 дня. Схемотехник убежден, что код даже сохранять не надо. Что любую прошивку можно написать вообще за один присест.

Внимание... начальник-схемотехник не может даже прошить микроконтроллер по инструкции программатором готовым \*.hex файлом! Всегда дёргает программиста помочь ему с этим, по 4 раза на дню. Не царское это дело прошивать плату. Ему гордость не позволяет действовать по инструкциям программиста. Даже блондинки и то умеют обновлять прошивки на своих фитнес браслетах, а начальник схемотехник не может. Это как?

Поймите, вашими начальниками тут всегда будут те, кто в школе и ВУЗе учился много хуже вас программистов, на тройки, те кто играли в карты на задней парте во время уроков, те кто пил пиво на галёрке во время лекций по электронике, те кто прогуливал уроки и пары. Им чужд перфекционизм. Они действуют по другим понятиям.

Поэтому в разработке приборов на микроконтроллерах постоянная конфронтация между программистами и схемотехниками. В провалах схемотехники обвиняют программистов, а программисты - схемотехников.

Начальникам-схемотехникам любезность по отношению к программистам-микроконтроллерам дается с трудом.

Какую бы хорошую прошивку ты не написал, схемотехник непременно назовёт её "галимой прошивкой". И как бы ни старался схемотехник, его электронную плату программисты назовут "мертворожденная PCB".

Это просто уже классика жанра и норма жизни, к которой все давно привыкли...

## 19.17 Код прошивки абсолютно никого не интересует

В программировании микроконтроллеров большинство русских фирм даже не заботятся об исходном коде как таковом вообще. Для их процессов внутри органи-

зации кода как будто бы и не существует вовсе! О коде не говорят. Код не изучают, код не анализируют, исходный код не тестируют, не улучшают, не упрощают. А таких слов как "архитектура ПО MiddleWare и DevOps стены российских электронных организаций никогда в помине и не слышали!

Интерес представляет только физический прибор. Поэтому в большом почёте схемотехники и конструкторы (чертёжники). Дело в том, что микросхемы обычно маленькие габаритами 4x4 мм, а начальство сидит —, —, —

Также в промзонах высоко ценят FPGA разработчиков. Это по сути схемотехники цифровых электрических цепей внутри SoC(ов). Это проявляется в высоких зарплатах у ПЛИС схемотехников и позволения им любого времени прихода на работу. Видел даже как FPGA разработчику оплатили хирургическую операцию в частной клинике! Вот так...

А программистов микроконтроллеров напротив считают бездельниками. Если нужно разработка ПО, то нанимают только одного единственного программиста-микроконтроллеров. Никому там и в голову не приходит, что работы по написанию кода прошивки на самом деле минимум на 7 программистов! При этом Си-исходники можно вообще хранить в открытом доступе и это никого в общем-то тоже не волнует. По факту исходники микроконтроллера никого кроме 1-го единственного разработчика не интересуют. В одной российской организации я видел как программист микроконтроллеров называл Си-функции именами литературных персонажей и это никого абсолютно не волновало, так как кроме него с этим исходным текстом программы MCU никто не работает. А он так просто хотел стать незаменимым сотрудником. И, как правило, один человек делает прошивку для одной электронной платы.

## 19.18 Нельзя просто так пойти и купить овцу!

С другой стороны в некоторых российских электронных организациях таки есть внимание в коду. Это проявляется в наборе подозрительных извращённых требований категории "полная блажь". Вот буквально несколько реальных примеров из жизни. Диктатура абсурда. Парад нелепости.

1. Для всех объявлений глобальных функций в h-файле обязательно ключевое слово `extern!` Не важно что и без него работает.
2. Все параметры функций должны быть перечислены "в столбик".
3. предпоследняя строка исходного файла должна содержать комментарий "`end of file`" (см. шаблон), первая строка файла должна содержать комментарий "`start of file`"
4. Запрет установки программ, запрет открытия диспетчера устройств, запрет открытия диспетчера задач, запрет прописывания переменной `PATH` на локальных PC.
5. Собирать код только мышкой из-под GUI(ни)-IDE (IAR или KEIL) и никаких там скриптов сборки!

6. Запрет на использование стандартных типов данных из файлов `<stdint.h>` `<stdbool.h>` (`bool`, `uint32_t`, `int8_t`.) (`enum`).
7. Каждая конфигурационная константа должна иметь комментарий с "Valid values" в котором описано множество возможных значений данной константы. Перечисления (`enum`) же запрещены, поэтому надо выкручиваться.
8. Строжайший запрет на использование объединений в Си (`union`).
9. Строгий запрет на использование битовых полей в языке программирования Си.
10. Порядок объявления `static` функций должен совпадать с порядком определения функций
11. Строгие правила расставления отступов к коде и вообще искусственно выдуманное форматирование кода, которое даже опциями `clang-format` или `GNU-indent` выставить нереально. Только ручное расstawление отступов!
12. Писать текстовые комментарии к каждой строчке Си-кода.
13. Настройки компоновщика хранить прямо в папке с проектом. И так для каждого проекта с одним и тем же микроконтроллером.
14. Использование кода сторонних библиотек запрещено! Никакого CMSIS, FatFs, FreeRTOS, HAL от официального производителя микроконтроллера! Любое Third Party запрещено!
15. Строгие правила оформления шапки текста перед каждой функцией. Не дай бог поставишь лишний пробел!
16. Строжайший запрет на использование функций из `<math.h>` [`sin()` `cos()` `log10()` `fabs()` и т. п.]ъ!
17. Строгие правила оформления текста в GIT комментариях к коммитам. Что, зачем и почему + код тикета.

Сами понимаете, что всё это просто требования ради требований. Чтобы каждый день показывать черни, кто тут хозяин! Думаю не надо пояснять, что такая мартышкина бюрократия лишь только тормозит достижение реального функционального результата по разработке System Software и действует только на радость нашим геополитическим врагам.

При этом, напомню, что в таких щепетильно "требовательных" организациях, как правило, не принято покрывать код модульными тестами, в прошивках нет NVRAM, в прошивках отсутствует UART-CLI для отладки функционала, нет скриптов сборки, нет и сервера сборки, никакого даже в Jenkins, в прошивках нет загрузчика и многое-многое другое, что, по здравому смыслу вообще-то должно быть сделано как раз в первую очередь! Понимаете?

Порой всё это законотворчество (пункты 1-19) выглядит, как соблюдать правила хирургической стерильности, внимание.... в конюшне! Да.. Именно так...

Или это обыкновенная "диверсия сверху"? Тогда всё предельно логично и понятно. Да... И такое, к сожалению, бывает... Вот даже текст есть про способы подрывной деятельности в тылу.

Я лично абсолютно ничего не имею против требований к коду. Это даже здорово, что есть стабильная работа вокруг всего этого цирка. Однако эти требования обязаны сопровождаться ясной и прозрачной аргументацией для чего их так рьяно нагнетают. Правда в том, что каждое требование к коду сдвигает срок сдачи проекта на 10-15

Скажите мне, смог бы солдат Курчатов Игорь Васильевич сделать плутониевую бомбу с нуля за 4 года с такой бюрократией? Думаю ответ и так вам всем понятен...

## 19.19 В России Две Школы Программирования Микроконтроллеров

В России из-за больших расстояний и слабой коммуникации исторически сформировалось две абсолютно различные, независимые и непримиримые школы программирования микроконтроллеров.

Можно условно их назвать Питерская школа и Московская школа. Что, к слову, вполне соответствует географии.

–Питерская школа это сборка из самостоятельно написных скриптов GNU Make или CMake, отладка кода через UART-CLI, модульные тесты внутри прошивки, текстовые протоколы (CLI, base64), DevOps (в Jenkins), командная работа (парное программирование). Один единственный репозиторий на все электронные платы платы и все проекты. Совместное пере использование каждого программного компонента.



Рис. 19.15: Парное программирование в Советском Союзе

Напротив, московская школа это сборка только из-под GUI-IDE (IAR, Keil, CodeCompiser, плагины Eclipse) мышкой, отладка только через JTAG/SWD, внешние тесты на PC (обычно на Python), бинарные протоколы (80На каждую электронную плату и на каждый отдельный проект отдельный репозиторий. Дублирование каждого драйвера в каждом отдельном репозитории).

Есть также и различия по мелочи:

1. В Питере .bin файлы называют словом сборка. В Москве словом прошивка.
2. В Питере фигурную скобку никогда не переносят на новую строку в Москве переносят всегда.

3. В Питере логически отдельный кусок кода называют "программный компонент в Москве почему-то словом "модуль"
4. В московской школе, когда инициализируют GPIO, то сложно пишут десятки и десятки макроопределений. Получается пол экрана монитора на определение одного GPIO пина. В Питерской школе же просто создают константный массив структур, где заполняют конфиг строчка за строчкой, как в Excel табличку. Получается одна строчка на GPIO пин.

Как говорится: "Найдите 10 отличий..."

Я прошел через обе эти школы и могу сказать, что возникают серьезные конфликты, недопонимание, когда в одном коллективе оказываются представители двух разных школ программирования МК, и тут надо искать компромиссы, вариантов нет. Это как извечные споры между приверженцами Windows или Linux.

Боже упаси Вас на собеседовании в Москве хоть что-то упомянуть из практик Питерской школы. Работу точно не получишь 101И наоборот, в Питере не катируются кодеры апологеты московской школы программирования МК. Их там называют "User(ы) GUI(невых) IDE(шек)".

К сожалению более примитивная московская школа сейчас побеждает. Да, это факт. Главным образом это происходит из-за того, что в Москве просто больше людей и больше работы. Поэтому у московской школы программирования МК оказывается больше лоялистов, конформистов и приспособленцев.

## 19.20 Невозможность Профессиональной Эмиграции

В профессии программист микроконтроллеров насколько бы упорно и усердно Вы не работали, то Вам всё равно не светит профессиональная миграция в развитые страны: США, Австралию, Англию, Новую-Зеландию и т.п.

Дело в том что российская, с позволения сказать, школа программирования микроконтроллеров настолько, мягко говоря, самобытная, что западные коллеги [начиная с восточной Европы (Польша, Финляндия, Эстония) и Балкан (Словения, Хорватия)] Вас просто не поймут и не признают, как Embedded/Firmware программиста. Там другие стандарты, другие методы работы. По-другому устроено делопроизводство. Там всё по-другому. На западе не видели российских микроконтроллеров, российских электронных товаров и справедливо там считают, что в России никто и ничего в этой теме просто не умеет. Сколько бы российского опыта у Вас ни было 5, 10, 15 лет. Всё одно. Лучше с этим сидеть дома.

Российская школа программирования микроконтроллеров ушла не туда. Вместо развития принципов TDD и DevOps, как на западе в российской школе программирования микроконтроллеров больший упор сделали на муштру. Писать в конце файла комментарий словами: "это конец файла в конце каждой функции писать комментарий: "это конец функции перед include писать комментарий: "это заголовочный файл" и так 463 правила..."

Даже гипотетически оказавшись в западной компании, с российским образованием и российским микроконтроллерным опытом Вы не сможете там решить ни одной задачи. Западу как цивилизации проще, привычнее, удобнее и понятнее нанять программиста-индуса или программиста-иранца, чем российского Кулибина, Черепанова или Ползунова.

## 19.21 Программисты микроконтроллеров - странные люди

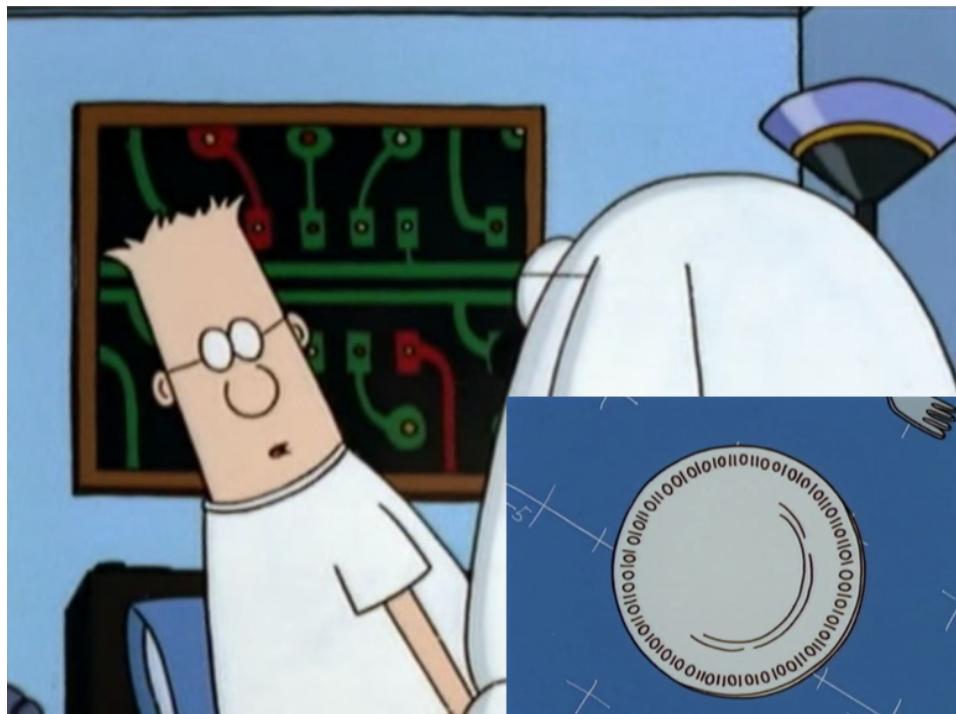


Рис. 19.16: быт программиста-микроконтроллеров

Как правило на один проект сажают одного человека. Командной работы нет в принципе. Поэтому программистами микроконтроллеров работают, как правило, только ортодоксальные интроверты, мизантропы и социопаты. Да простят меня коллеги... В связи с этим программисты микроконтроллеров как правило нелюдимые, нервные, дикие, агрессивные и вспыльчивые. Общаться с ними некомфортно, сложно, а порой и вовсе опасно.

Программисты микроконтроллеров неприятные в общении. Это проявляется в том, что они упрямые, придираются к мелочам. Их кругозор очень ограничен и они не умеют работать в команде. В своих действиях порой похоже на аутистов.

У программистов МК напрочь отсутствуют такие понятия как Soft Skills и эмоциональный интеллект. И с годами ситуация только ухудшается. Программисты МК начинают отращивать себе длинные волосы как у женщин, плести косички, завивать кудри, делать себе наколки, пирсинги и тоннели в ушах. Потом программисты-микроконтроллеров превращаются в нечто, что окружающим приходится пристально

вслушиваться говорит человек глаголы на *xxx(ла)* или *xxx(л)*, чтобы понять перед тобой мужчина или женщина.

Или наоборот программисты микроконтроллеров бреются налысо аж череп блестит как шар для боулинга. Один знакомый программист МК в РФ ходит круглый год под огромным разноцветным зонтиком (даже летом в отличную погоду), другой знакомый программист МК утром на работе, когда заваривает себе кофе кладет в стакан сверху три ледяных кубика! Другой ест мороженое держа его за макушку палочкой вверх.

Другой программист-микроконтроллеров наливает себе в офисе чай использую такую химическую посуду как конические колбы, химический стакан. Наливает заварку через воронку, придерживая фильтр тигельными щипцами. Сам чай пьет из испарительной чаши.

Третий вместо пенала для ручки и карандаша использует химическую пробирку, заткнутую пробкой от вина. Четвертый программист MCU работает перед монитором в офисе в зимней куртке! Я даже видел в России одного программиста-микроконтроллеров гея! Он ходил на работу в женской шелковой одежде в цветочек. При всех ярко-красной помадой красил себе губы перед зеркалом в open-scace и накладывал на обе щеки пудру! Вот так...

И это только то, что можно увидеть на работе. Полагаю, что в обычной жизни программисты микроконтроллеров еще скорость своего автомобиля определяют трубкой Пито, место на парковке во дворе ищут в шлеме дополненной реальности, а в лифте поднимаются с надетой кислородной маской.

Вот как-то так...

## 19.22 Все в ХакСпейсы! (или ячейка друзей электроники)

Еще периодически по субботам программисты микроконтроллеров кристаллизируются в так называемых "хакспейсах". Когда я туда впервые пришел и спросил как называется это сообщество мне ответили, что это, внимание, "ячейка друзей электроники!". Это, как правило, арендованное непонятно кем офисное помещение на окраине города без особых удобств и с "бабушкиным ремонтом". Часто подвальное. Там внутри хакспейса они называют друг друга странными кличками: Кот, Крот, Крей, Енот и т.п..

Там появляются такие напомаженные "хакеры". Например у одного типа там ко всем USB-Flash(кам) синей изолентой примотана пороховая петарда (Корсар-4). Это, видимо, чтобы всегда можно было оперативно отформатировать данные. Для антуража там есть стол на котором лежит включенный паяльник, которым никто не пользуется.

В HackSpace(ax) они в основном занимаются, внимание, пьянством! Курят сигареты. Еще смотрят артхаус фильмы. Потом поздно ночью выходят на коллективную уличную прогулку по дворам. Причем удивляет не то, что они выходят на прогулку именно ночью, а то, что они при этом ходят строем по 4-6 человек как какая-то ЧВК

и ещё курят вэйпинг. Эх... Всё это очень похоже на нездоровую секту...

Когда много людей собираются в одном месте без цели, то ничего хорошего в результате не получается.

Я ещё понимаю, если бы они там на энтузиазме делали бы все вместе что-то, по-настоящему, полезное и крутое: робота-собаку, твёрдотопливную ракету, циклотрон, стелларатор, токамак или квадрокоптер. Однако нет! Вместо этого они собираются просто, чтобы пожаловаться друг-другу на судьбу, коллег, начальство.

В общем, программисты-микроконтроллеров - это очень странные люди. Порой думается, что они просто не от мира сего...

## 19.23 Соло работа. Мало общения на работе.

Обыкновенна ситуация, когда программист микроконтроллеров в принципе ни с кем не разговаривает по проекту на работе по полгода и более так как это чисто соло работа. На расстоянии вытянутой руки сидит другой такой же соло-программист микроконтроллеров. Он пишет прошивку для другой электронной платы, которая на 70

Каждый пишет на Си свою базовую версию FIFO, циклического буфера, функцию swap, CRC8, CRC16, CRC24, CRC32, SHA256, парсеры базовых типов данных из строк, NVRAM, allocator, цифрового фильтра, DFT, FFT, загрузчика, reverse<sub>bytes</sub>, ReedSolomon

Понимаете, они так часто переизобретают велосипеды, что им и модульные тесты писать просто некогда!

Программисты MCU в России не умеют работать в команде. Да это факт... Три раза был свидетелем, как программисту МК предлагали напарника, помощника, а тот говорил:

"Ой не надо. Он мне в спину дышать будет. Он мне тут всю экосистему в программе поменяет..."

А по факту проблема в том, что без TDD (Test Driven Development) совместная разработка реально не работает. Вот и получается, что есть только два выхода - делать все по одиночке или делать вместе по TDD. Только до осознания пользы TDD в embedded России пилить и пилить ещё лет 40-50. Вот и остается всё делать по одиночке в кактус-solo режиме.

Промышленная разработка firmware (прошивок) в России похожа на советские кружки судомоделирования или радиолюбителей. Каждый делает что-то как будто для себя и радуется, если получается. Никакой командной работы нет в помине! Нет общей информации. Прошлый опыт быстро обнуляется. Экспертиза не накапливается. Каждый раз из проекта в проект они героически решают одни и те же ошибки. Ещё у программистов МК нет отдельных тестировщиков как класса.

Поймите у программистов микроконтроллеров нет даже менеджера пакетов, как это повсеместно, например, в разработке на Python. В программировании MCU даже нет аналога игровых движков как в GameDev(e). Поэтому каждый раз, в каждом новом микроконтроллерном проекте прошивка проходит путь эволюции от одноклеточной амёбы до циклопического динозавра.

"В российских электронных организациях только одна планерка в год. На ней коллеги решают, что подарить начальнику отдела в день рождения."

В добавок к этому каждый собирает артефакты по-своему. Первый никогда ничего не знал кроме IDE IAR, второй точно так же только в IDE Keil, третий ничего не знает кроме AtilocTrueStudio, 4ый собирает через GCC+Eclipse ARM plugins, 5ый работает в GCC + Make + OpenOCD, бой в GCC+CMake+ST-LINK-gdbserver, седьмой GCC+Ninja+VSCode, 8й программирует в STMCubeIDE, 9ый в Code Composer Studio, 10ый зачем-то собирает прошивки для STM32 из-под Zephyr Project (Yaml , West ,DevTree ,KConfig , CMake ,Ninja ,GCC,VScode,VisualGDB). Другие собирают Ubuntu, C++20, Meson, GDB. В общем полная анархия.

Программисты микроконтроллеров - они как сантехники, каждый ходит со своей корзиной с инструментами.

Повторяемость кода достигает количества программистов в организации умноженная на 1000. Обычно это 550. Их сорцы никто не контролирует, их код не инспектируют, не тестируют, не пере используют. Большинство разработчиков даже юнит тестов не делают. Они даже слов таких как "юнит-тест" в свои 43 года ни разу не слышали! В результате во всех микроконтроллерных программах как правило дичайший хаос (функции по 5к строк, магические циферки на каждой строчке, в каждом файле доступ в регистры) жесткая привязка к FreeRTOS, и этого даже никто не заметит и не остановит! Это особенность российско-татарско-сибирской программистской культуры ведения RD.

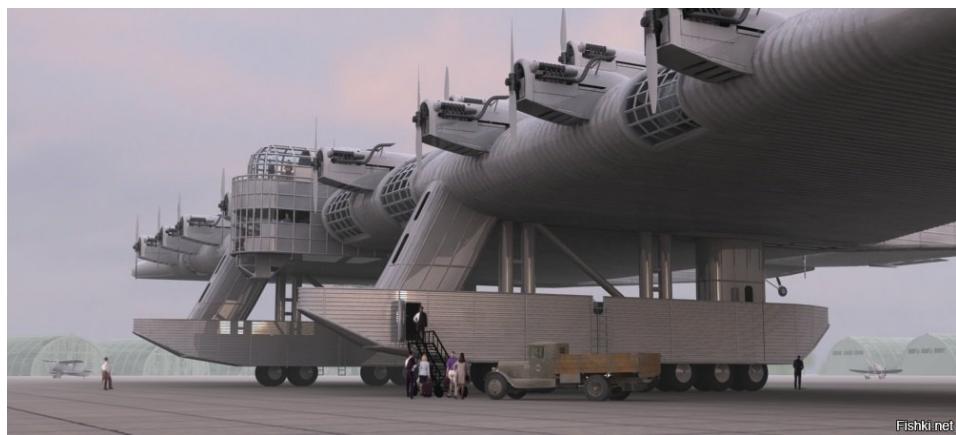


Рис. 19.17: Вот с этим можно сравнить прошивки российских программистов.

Менеджеры не успевают проверять работу своих сотрудников. В результате сотрудники как сделают задачу, так и просто сидят неделями напролёт без дела.

При этом среди российских программистов МК очень большой разброс по способностям. Знания Умения Навыки (ЗУН) 3х разработчиков с 10ю годами опыта могут отличаться в 10, 100 и даже 1000 раз! Когда все работают по одиночке в своих норах этого не заметно. Но как только появляется работа над общей кодовой базой, то вскоре выясняется кто тянет всю команду на дно.

Все толковые разработчики уехали из России лет 30 назад, все полу умные программисты уехали из России 10 лет назад. Это называется утечка мозгов. Поэтому Вам придётся работать, так скажем, с не самыми адекватными программистами и

менеджерами. Уж не взыщите... Что осталось, то и осталось... Они будут проявлять признаки упрямства, мракобесия и обскурантизма. Просьба относиться к этому со снисхождением...

Если ты программист микроконтроллеров, то ты будешь разве-что регулярно согласовывать детали для стендов в которые будут пристегиваться электронные платы, которые ты программируешь. Вот типа таких.

Поэтому твоими основными нормальными коллегами для общения будут слесаря, токари и фрезеровщики...

## 19.24 В Программировании Микроконтроллеров Нет Людей-Легенд

В программировании микроконтроллеров нет людей легенд, как это присутствует в GameDev (Джон Кармак), Mobile (Ян Борисович Кум), Compilers (Джеймс Гослинг), DeskTop ( Ричардом Броди) или Web (Марк Цукерберг).

В Embedded отсутствуют глобально признанные авторитеты разработки внутреннего программного обеспечения и, как следствие, нет знаменитости в этой, с позволения сказать, "индустрии".

В результате, нет примеров и ориентиров того как надо делать. Нет историй успеха в программировании микроконтроллеров.

Никто и никогда Вас не будет чествовать в этой чудо профессии программист-микроконтроллеров. Зато упрекать за то, что вы не телепатировали в пожеланиях к прошивке вас будут регулярно. Тщеславным людям в Embedded разработке делать абсолютно нечего!

Никто в детстве не мечтает стать программистом микроконтроллеров. Да это факт. Я и сам узнал, что есть такая работа только на 4м курсе института в свои 23 года. Как правило, каждый программист микроконтроллеров попал в эту профессию случайно. Учился на инженера-электроника на приборостроительном факультете в своем региональном Политехе. На 3м-4м курсе пошёл работать по специальности в местечковое военное НИИ, а его на работе программировать микроконтроллер посадили.

После защиты диплома, через 6 месяцев подписал форму допуска и стал абсолютно серым телом без рта.

Потом вся оставшаяся жизнь протекает по схеме: сделал проект, получил премию 20kRUR, съездил в Анапу.

На большее рассчитывать и не приходится!

В программисты микроконтроллеров идут те, кто в детстве не наигралась в игрушки (радиоуправляемые машинки, голубые-вертолётики, кораблики и всё такое).

Как правило это выходцы из неблагополучных семей.

## 19.25 Религиозные аспекты в программировании микроконтроллеров

Ещё в программировании микроконтроллеров как нигде неизвестно много религиозных аспектов и всяческой вкусовщины на почве которой происходит много бессмысленных и беспощадных споров.

Например в выборе MCAL кода от вендора, одни ратуют за использование SPL, другие убеждают, что надо использовать HAL. Третьи продвигают LibOpenCm3. Вот реестр всех спорных моментов.

| Технология А               | Технология В               |
|----------------------------|----------------------------|
| Горизонтальный монитор     | Вертикальный монитор       |
| Putty                      | TeraTerm                   |
| IAR                        | Keil                       |
| UART CLI                   | JTAG                       |
| clang-format               | Eclipse Ctr+Shift+F        |
| GIT                        | SVN                        |
| загрузчик                  | программатор               |
| модульные тесты это хорошо | модульные тесты это плохо  |
| SPL                        | HAL                        |
| Bash                       | cmd                        |
| самописные make            | Eclipse + ARM GCC plug ins |
| Linux                      | Windows                    |
| Cmd                        | PowerShell                 |
| FreeRTOS                   | Zephyr RTOS                |
| GNU GDB                    | Visial GDB                 |
| бинарный протокол          | текстовый протокол         |
| Jira                       | .Трекер                    |
| Redmine                    | Jira                       |
| Jlink                      | OpenOCD                    |
| BitBucket                  | Gerrit                     |
| C                          | C++                        |
| meson                      | Cmake                      |
| HAL                        | libopencm3                 |
| clang                      | gcc                        |
| make                       | ninja                      |
| Ubuntu                     | CentOS                     |
| vim                        | emacs                      |
| Inkscape                   | Visio                      |
| MS Visio                   | Inkscape                   |
| C                          | Assembler                  |
| C++                        | Rust                       |

А согласование общего текстового редактора это вообще война всех против всех.

Все эти моменты портят отношения в трайбе и являются зерном серьезного конфликта. Это крайне неприятно перетирать. Компромисс в таких вопросах достигнуть

неимоверно трудно. Найти работу, которая будет по всем пунктам соответствовать вашей локальной техно-религии, извините, просто не-ре-аль-но.

Петушиные бои на почве религиозных аспектов программирования микроконтроллеров неизбежны!

Другая неизбежная досада разработки на Си в том, что на Си очень по разному программируют. Язык позволяет очень гибко оформлять code-style. Вот буквально несколько примеров.

1. Одни используют макросы, другие перечисления.
2. Одни переносят фигурную скобку, другие нет
3. Одни конфиги определяют в .h файле, другие в константных массивах структур
4. Одни макросы определяют в .h файле, другие передают их пучком опций компилятора -Dxxxx
5. Одни static функции определяют внизу другие - вверху.
6. Одни пишут if(3<a) другие пишут if(a>3)
7. Одни пишут // другие /\*\*
8. Одни пишут TAB другие 4 пробела
9. Одни пишут U8 другие uint8\_t
10. Одни пишут CamelCase другие snake\_case
11. Одни пишут while(1) другие for(:)
12. Одни пишут один return другие множественный return
13. Одни пишут if(val==10) другие if(10==val)
14. Надо много комментариев или хороший код понятен и без комментов
15. И таких моментов сотни и сотни
16. Return bool или Return int
17. можно goto или запретить goto

В каждой организации свой внутренний code-style, который кардинально по всем пунктам отличается от code-style предыдущей организации. Поэтому Си программист Си программисту рознь.

Получается так, что два программиста Си не могут работать вместе из-за различной технорелигии.

## 19.26 В профессии программист микроконтроллеров нет женщин

Вернее они в этом деле случайно появляются по ошибке и недоразумению, но не задерживаются больше года, полтора. Знаю одну девушку-фибу бывшую программистку встраиваемых систем в России.

Как-то она на планерке спрашивала что-то типа

"Как найти место на плате, чтобы подключить цепляшу электрода осциллографа к той микросхеме"

Ей коллеги сказали что-то типа

"Найди эту микросхему на плате по количеству пинов, она там такая одна."

После этого девушка сочла, что её жестоко оскорбили и расплакалась. Спустя несколько месяцев сбежала от этой пресловутой электроники сайты программируются на Python(не) и теперь счастлива!

Естественно женщины в профессии программист микроконтроллеров не задерживаются. Гаражные условия труда, провода, высокое напряжение, статическое электричество, матерщина, антистатическая обувь, посещение подземного цеха в комбинезоне для современных российских женщин всё это неимоверный шок и стресс. Разрыв шаблона о профессии программист.

## 19.27 Второстепенная работа

Работа программирования МК тесно связана с электронными платами. Если вы программист МК, то скорее всего вы будете по уши в электронных платах. Они будут на работе, дома на подоконнике, под монитором, на балконе. Словом везде. Вам придется не сколько программировать, сколько исправлять разнородные аппаратные баги, собирать прототипы. Железо часто подводит. Вот буквально несколько примеров.

1. Клещ в разъёмах. Типичная ситуация в программировании микроконтроллеров. Отвалившаяся вилка застряла в гнезде. В электронике это называется "извлечь клеща".

В программировании микроконтроллеров "клещи" происходят на разных платах достаточно часто

И тут вам никакие знания алгоритмов и абстрактных структур данных не помогут, чтобы починить изделие и продолжить работу. Можно задавать в качестве вопроса для собеседования при приеме на работу на должность "программист микроконтроллеров". Как извлечь клеща (отломанную вилку)?

2. Мусор между двумя разъёмами. При включенном переходнике USB-CAN автомобиль не заводится. Стартер работает, но зажигания (вспышек в цилиндрах) не происходит. Разобрали половину впускного коллектора. Три часа искали причину поломки. Оказывается в OBD-II разъем попал кусок фольги от папиросок, которые замкнули три крайних пина.
3. Отсутствие link(a). Программатор не видит target по SWD. Собрали стенд, положили SWD длиной 90 см и нет Link(a) с MCU. Когда кабель 12 см, то link есть. Или нет Link(a) с SD картой по SDIO или SPI. Оказывается стерлись контактные площадки. Вообще проблемы отсутствия всяческого Link(a) в программировании микроконтроллеров будут красной нитью проходить через всю вашу карьеру. Особенно в случае беспроводных интерфейсов.

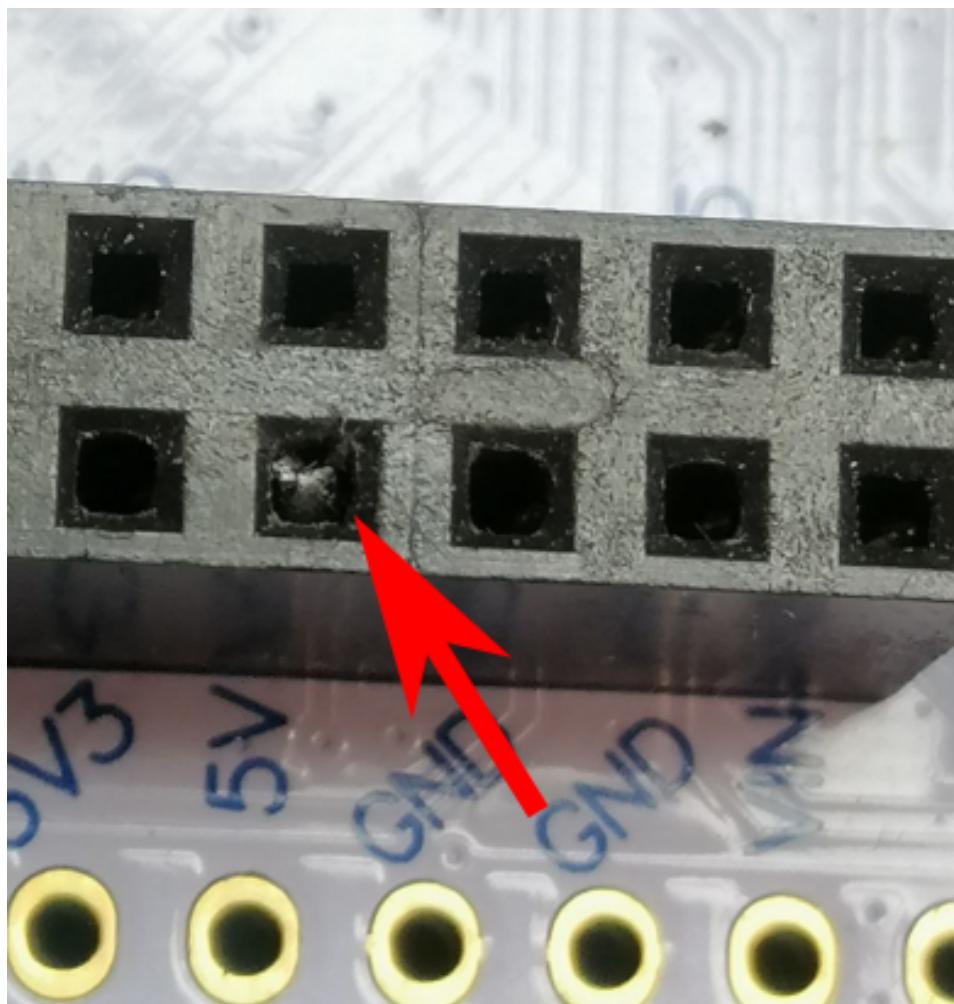


Рис. 19.18: в электронике это называется "извлечь клеща" @

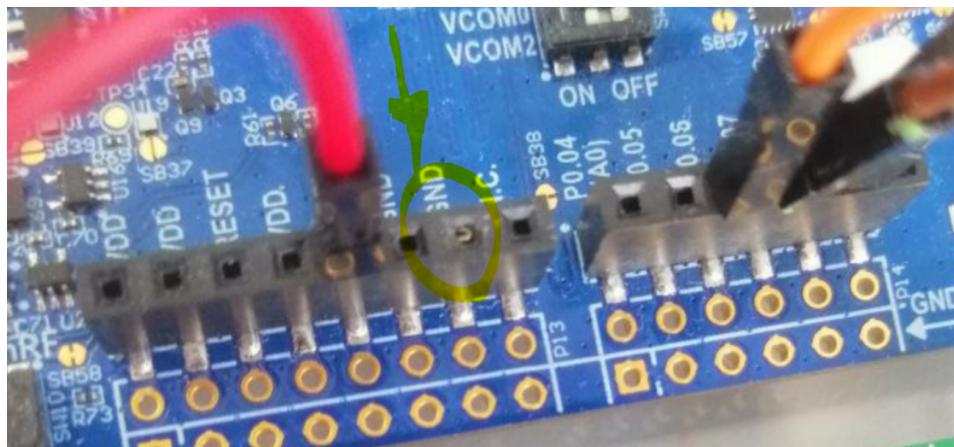


Рис. 19.19: в электронике это называется "извлечь клеща" @

4. Не тот разъём. Еще вторая тупая проблема это когда разъём на электронной плате не соответствует реальному разъёму на программаторе или на каком-н другом шлейфе. И тут начинается конкурс "чей колхоз самый образцовый колхоз". Или вот ручной зажим Tag-Connect не защелкнуть так как пальцы не пролезают между стабилизатором напряжения TracoPower и разъёмом Tag-Connect. Всё не предвидишь. Особенно когда плату разрабатывают полгода.



Рис. 19.20: в OBD-II разъем попал кусок фольги от папиросок

Эту плату разрабатывали полгода и после сборки выяснилось, что не влезает самый главный разъём - для программирования

5. Плата зависает при перезагрузке. Плата работает под отладчиком, а при перебросе питания не стартует прошивка. На другой плате это не проявляется. И эта ситуация потребует неделю на выяснение причины и устранение. Оказывается у этого специфического MCU надо прописать спец адреса во Flash, чтобы он переключился на внешний осциллятор. И так для каждого нового чипа и каждого ToolChain(a).



Рис. 19.21: не тот разъём

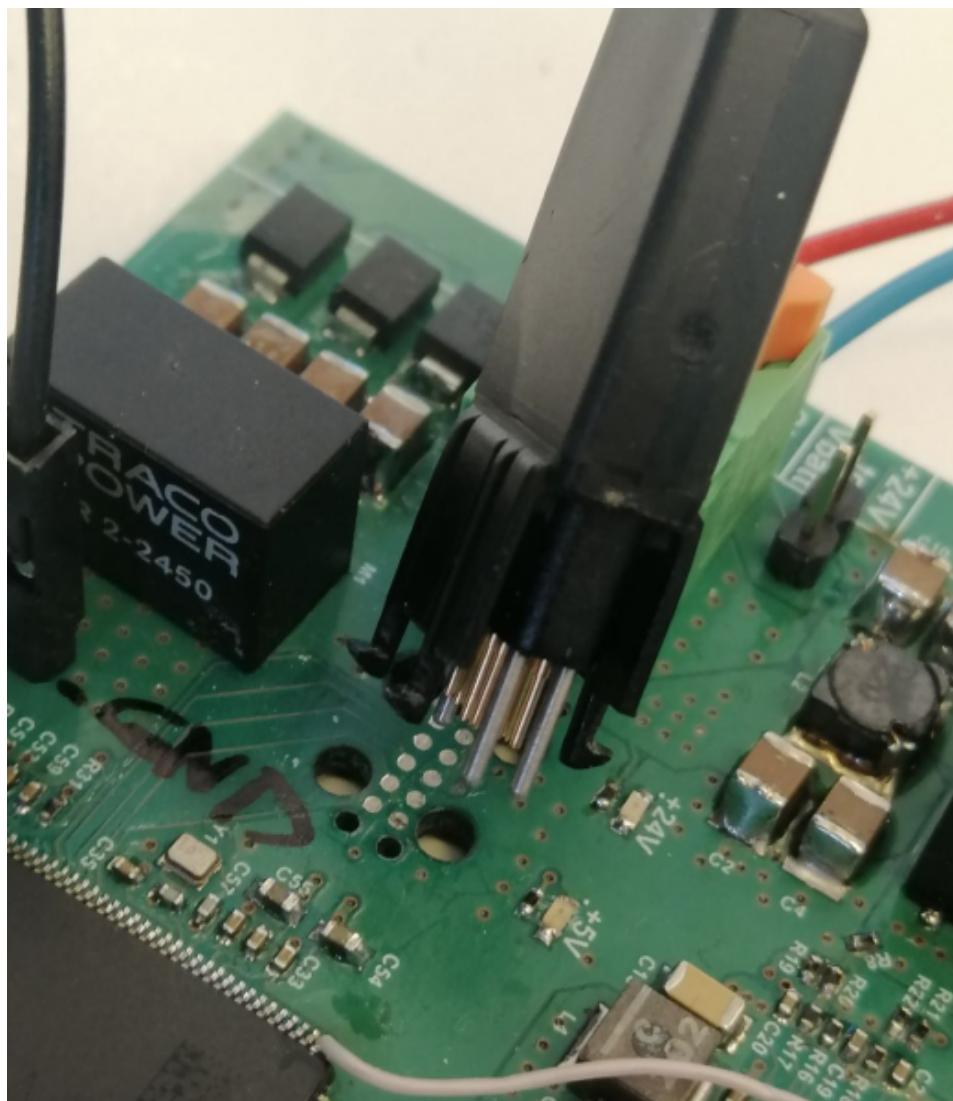


Рис. 19.22: не влезает самый главный разъём программирования

6. "Да USB у него не той системы...". Также проблема в электронике это USB. В каждой 2й плате есть интерфейс USB. Проблема в том, что во всех платах разный разъём для USB: USB mini, USB micro, Type-C. Ты постоянно будешь искать нужный для этой конкретной платы кабель USB.



Рис. 19.23: Да USB у него не той системы...

У тебя будет целый гардероб из разных USB кабелей на каждый день, рядом с носками или галстуками.

Плюс бывают ситуации, когда кабель USB у тебя есть, а вставить его ты не можешь, чёрт побери, так как упирается и мешает декоративная пластмасса!

Или на полевых испытаниях прибора в мороз минус 30 в темноте ты не видишь какой ориентацией вставлять разъём USB mini, который заложили растряпахи-схемотехники, а руки от холода и так не слушаются. А USB micro гнездо имеет свойство откалываться от платы при малейшем поперечном изгибе и плату не запитать. В общем USB-это всегда большая проблема.

7. Платы без монтажных отверстий. Схемотехники забыли/забили добавить по периметру платы монтажные отверстия 3мм. В результате программист 3 недели занимается вот таким современным искусством. Зураб Церетели отдыхает в сторонке

Даже если монтажные отверстия есть, то придется собирать прототипы самому, чертить детали из плексигласа, договариваться со слесарями, токарями, фрезеровщиками, чертить вот такие схемы для сборки прототипа пока основная плата находится в производстве.

Потом капаться в интернет магазинах, чтобы найти стойки, болты и гайки. Заказывать, ехать, забирать, проверять.

8. Не получить лог загрузки программы. Схемотехник по глупости поставил в плату переходник USB-UART (CP2102). Получается, что сначала МК начинает исполнять код и писать в UART, затем спустя несколько секунд Windows определяет последовательный порт. В результате не получить power-on log загрузчика.

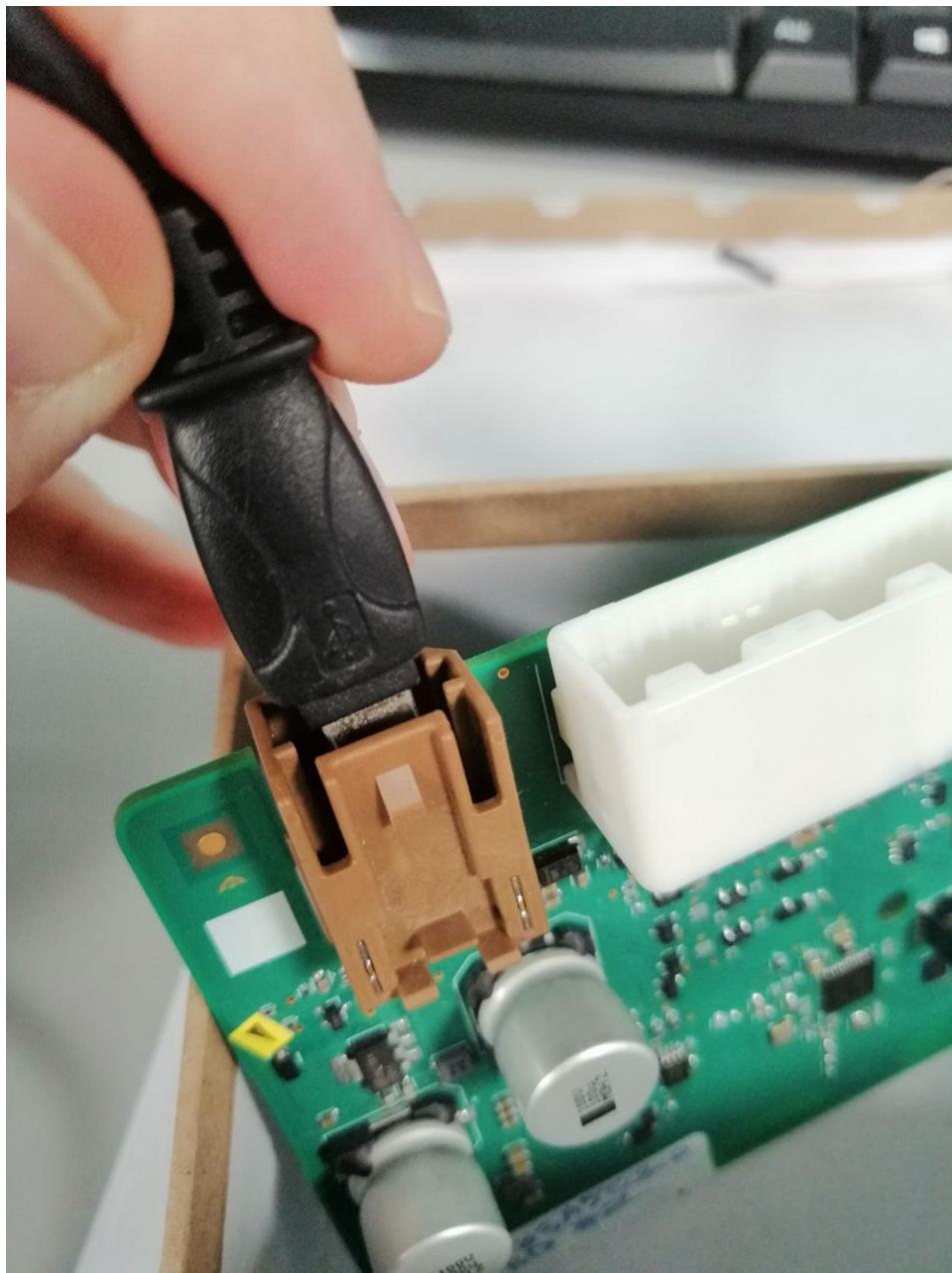


Рис. 19.24: упирается и мешает декоративная пластмасса

9. Припаяли компонент не той стороной. В профессии программист микроконтроллеров часто бывает так, что Вам приносят электронную плату с производства, а эта плата не работает да еще и с целым букетом аппаратных багов. Даже если правильная схемотехника то может оказаться неправильная сборка.  
Наверное производителями электронных компонентов надо наладить производство трапециевидных корпусов специально для россиян для всех электронных компонентов, чтобы исключить эти извечные проблемы с неправильной ориентацией при пайке.
10. Тугие разъёмы. В программировании микроконтроллеров есть такая специфическая проблема как тугие разъёмы. Можно полдня потратить на то, чтобы просто отцепить шлейф от тугого прикипевшего разъёма на электронной плате. В силовой электроники ситуация еще хуже. Там железные разъёмы-клеммники и вовсе



Рис. 19.25: Современное искусство. Пизанская башня.

от высокой силы тока просто привариваются к плате инвертора. И чтобы продолжить работу вы вместо клавиатуры работаете с болгаркой.

11. Пайка под микроскопом. Для того чтобы отлаживать прошивку с крутыми ASICами вам придется анализировать сигналы на осциллографе в шине I2C. Для извлечения сигнала для анализа из I2C тебе придется подпаиваться к тест Pad(ам) на электронной плате тонюсенькими как волос проводами МГТФ. Чтобы Вы понимали, это очень ювелирная работа и производится как правило под микроскопом с увеличением в x70 x100 Zoom. Схемотехники будут всяческие отказываться помогать вам в этом ссылаясь, якобы, на циклопическую загруженность другими проектами. Поэтому прокладывать МГТФ проводку под микроскопом приходится самим программистам-микроконтроллерам, программистам-архитекторам. Вот так. А вы как хотели?

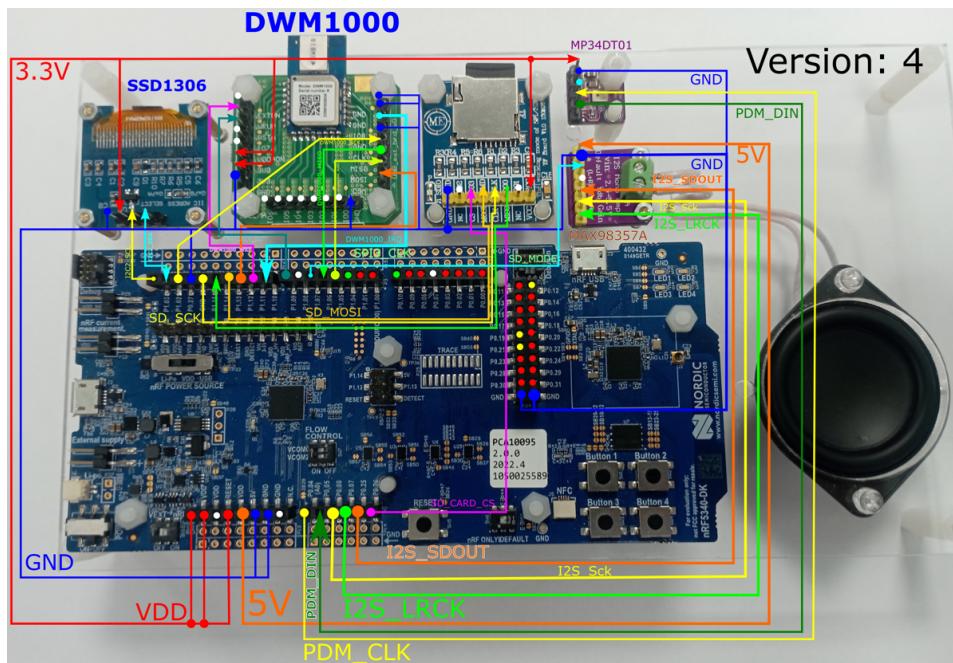


Рис. 19.26: схемы для сборки прототипа пока основная плата находится в производстве

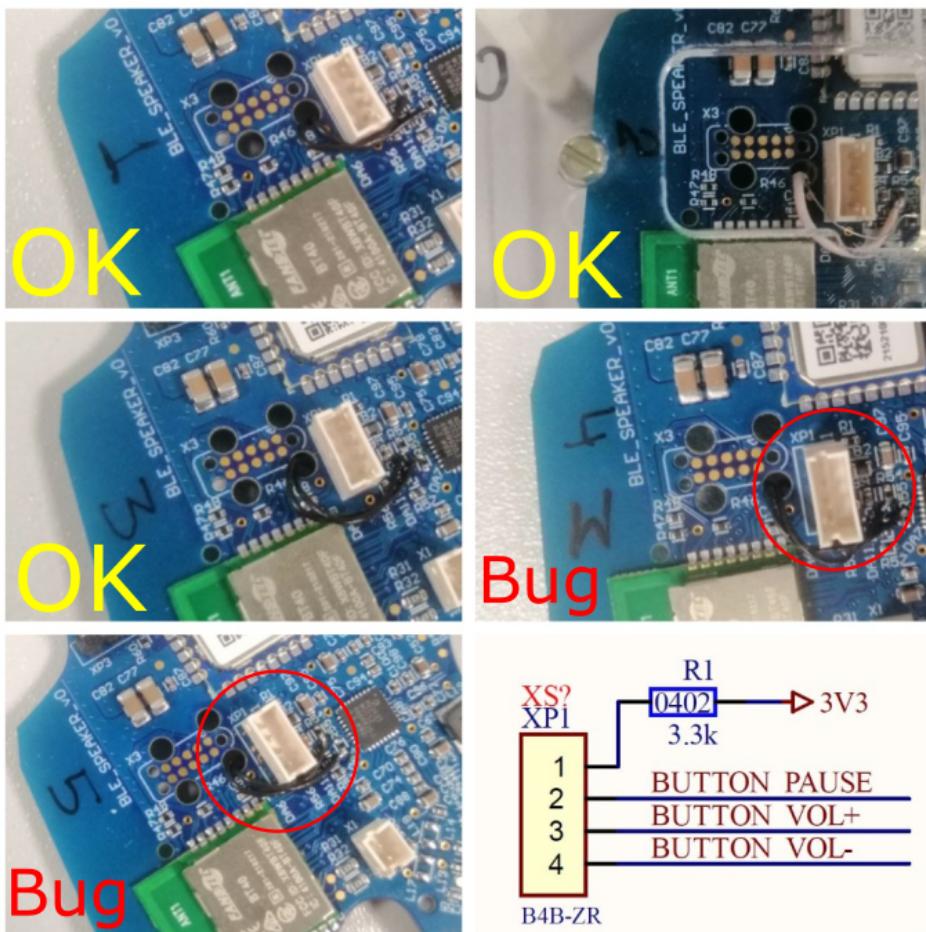


Рис. 19.27: монтажники перепутали ориентацию разъёма XPI

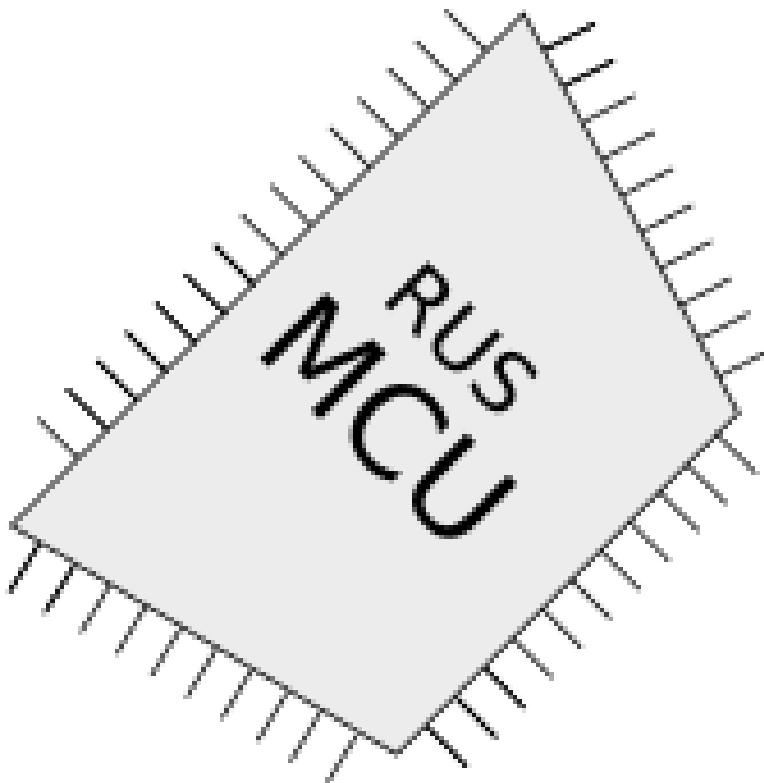


Рис. 19.28: Трапецию можно припаять только одним способом

12. Статическое электричество будет постоянно портить вам жизнь. Потом ставишь электронную плату на недельный тест. Приходишь через неделю снять ценные логи. Только дотрагиваешься до края электронной платы, и проскальзывает искра статического электричества, которая убивает содержимое RAM памяти и прошивка зависает. И весь недельный тест накрывается медным тазом! Вот такие пирожки с капустой...
13. Свежие электронные платы с производства не любят работать. Предпочитают сразу сгореть. Буквально подаешь питание и плата начинает шипеть как гадюка. Разные разъемы будут не контактировать и прочее. Аппаратные проблемы будут еще до запуска кода. На программирование после починки плат остается очень мало времени. И вы тут как программист-микроконтроллеров ну ничего не сможете сделать, чтобы дописать и отладить свою программу. Программу банально не на чем отлаживать.

У меня был случай когда три схемотехника спроектировали электрическую цепь электронной платы (схемотехнику), развели топологию, отправили производство в другую страну, а на выгодае выяснилось, что они забыли вообще даже подать на микроконтроллер питание! Как говорят

У семи нянек дитя без глаза

14. Проблемы с электропитанием. В каждой электронной плате 30 управления электропитанием. Всякого рода переходники напряжений, для установки 1.8V, 3.3V, 5V, 7V, 8V 12V, 24V. Поэтому 60 электропитания. И только 30 приложения для которого и была запланирована вся эта микроконтроллерная разработка...

Суммируя аппаратные баги можно подвести черту, что это либо ошибка в схемотехнике (забыли подать тактирование на чип), или ошибка в топологии. Обычно это короткое замыкание, квадратную микросхему припаяли повернув под углом 90 градусов, кварц установили не на ту частоту, либо заложили чип с инверсными логическими уровнями или вовсе там бракованные микросхемы.

На сам процесс программирования уходит максимум 10...20В основном приходится что-то бесконечно ремонтировать, разбираться с проводами harness(a), искать и закупать примочки. Вы будете постоянно искать этот 20-пиновый шлейф для программатора. Каждый день вам придется тратить 30..45 минут просто на то, чтобы тупо распутывать и распетлять провода. Потом 4 часа искать второй щуп от мультиметра (это который красного цвета), затем ехать в ближайшее метро, чтобы купить 9V батарейку типа КРОНА для этого мультиметра. Вернуться в промзону. Выяснить, что куда подключено, собирать прототип. Обязательно потерянется четвёртый крючок-наконечник для щупа осциллографа. Потом проверять электродами осциллографа наличие электрических сигналов, прозванивать провода, проходить по чек-листу.

Не успеешь разобраться с одной электронной платой, как тебе принесут ещё две-три электронные платы и надо будет вкуривать очередную схемотехнику на 40-60 страниц. А схемотехник, редиска, даже блок-схему не нарисует, сразу даст в лучшем случае электрическую принципиальную схему (ЭЗ) в виде, внимание..., фотографии \*.JPG! (Там поиск по ключевым словам не работает). А в обычном случае и вовсе принесёт плату вообще без доков и скажет, что её тоже надо "оживить"!

Можно запросто неосторожно сжечь оборудование из-за неправильно подключенного заземления. Вы обязательно узнаете как пахнут искры. Они имеют свойство залетать прямиком в нос! Можно потратить весь день на подключение лампочки или чтения состояния зашумленной кнопки. Копаться в разъёмах. Выяснить почему цифровой сигнал не проходит через каскад мультиплексоров.

В профессии программист микроконтроллеров ты почувствуешь физику по-полной: лампочки тебя будут ослеплять, аудиокодеки-оглушать, радиаторы-обжигать, моторы-задевать, напряжение-ударять, бетта-лучи, соответственно, облучать.

## 19.28 Трудоёмкость отладки и поиска ошибок внутри прошивок

Невозможно найти ошибку в программе только пялясь на код. Чтобы найти ошибку в программе надо запускать на исполнение! Анализировать run-time, логи, делать выводы и только потом осознано редактировать код.

Результат твоей работы будет напрямую зависеть от результатов работы предыдущих этапов работы схемотехника, тополога и монтажника. Если тебе дали элек-

тронную плату с не теми припаянным SMD резистором 0402, то ты, как ни крути, не сможешь отладить и написать свой код. На нужный чип просто не поступит тактирование.

На работе из тебя всегда все будут делать должника. Должен прошивку, должен фичу, должен функционал, должен выполнить реверс инжиниринг протокола, должен починить чужие баги и прочее, и прочее.

В программировании MCU с Вас будут спрашивать за функционал прошивки. Однако для разработки и отладки функционала прошивки нужен надежный прототип. Схемотехники будут всячески юлить и отказываться делать для тебя прототип под предлогом, что они не хотят покупать примочки для прототипа. Схемотехник придумает любую причину чтобы этого не делать, вплоть до того, что скажет будто его вчера лиса укусила. В фэнтези-мире схемотехников клей, гвозди и синяя изолента - это лучшее решение всех задач по сборке прототипа.

Поэтому вам как программисту МК также скорее всего придется заниматься конструированием прототипов самому. Это черчение конструктива прототипа, переговоры с производством конструктива, покупка крепежа. Кто хоть раз делал прототипы, тот знает, что тут много нюансов. И на это будет уходить много времени. Как следствие на разработку функционала и поиск багов будет оставаться мало времени.

А чтобы отлаживать код, его надо исполнять. Если в коде баг и нет возможности исполнить код (нет электронной платы), то баг не исправить! Понимаете? Это как писал философ Э.В. Ильенков, если найти в лесу отдельно лежащую человеческую ногу, то не ясно что это такое и зачем нужно. Понятно только, когда эта нога видна в действии (в составе идущего по улице человека или во время танцулей). Аналогично в понимании причины программных багов. Надо запускать код!

А накладные расходы на запуск и исполнения микроконтроллерного кода при разработке на MCU в составе комплекса порой огромные! Знакомые, которые разрабатывали firmware для военных авиационных ECU писали, что одна минута испытаний реактивного двигателя на стенде стоит 300k RUR. Естественно, затраты на испытания вычитают из зарплатного фонда для программистов-микроконтроллеров.

Команда из компании Третий Пин потратили весь 2017 год на выявления 2x Шрёдинбагов в их Пастильде. Оказалось, что в конфиге был указан не тот Flash Latency и в схемотехнике не тот номинал емкости в цепи питания. И в программировании микроконтроллеров это нормально.

## 19.29 Мало ресурсов

Программисты МК в принципе не пишут больших программ. Размер проектов ограничен несколькими сотнями килобайт памяти Nor Flash(a). Обычно 320KByte на всё. Вас будет преследовать постоянная нехватка on-chip Nor Flash памяти. Особенно при разработке первичного загрузчика (16kByte) и вторичного загрузчика(64...128kByte). В принципе невозможность сделать полноценный загрузчик по всем интерфейсам. С RAM ситуация еще хуже. Вам повезет, если размер RAM будет в 4 раза меньше чем Flash(a). Вы регулярно будете ловить исключение HardFault Handler из-за переполнения стека. А частоты микроконтроллеров не превышают 200MHz, так как весь

смысл МК это низкое энергопотребление.

Если микропроцессор x86 это миксер для чисел, то микроконтроллер это ступка для чисел. В MCU ты знаешь начало и конец RAM памяти и её мало.

После программирования микроконтроллеров, с его вечной нехваткой ROM/RAM памяти, запретом динамического выделения памяти, составление программ в User-Space под DeskTop покажется тебе Манной Небесной!

## 19.30 Даже не мечтайте про удалёнку из Таиланда

Чтобы в принципе делать embedded software нужен физический доступ к многочисленному и разнообразному калейдоскопу всяческого промышленного оборудования. Нужен программируемый блок питания, чтобы выставить 1.8 или 24.0 Вольт. Нужна проверка сигналов осциллографом, подключение логического анализатора к I2S, измерение DMM(ом) с функцией TrueRMS, работа с микроскопом для проверки, что микросхемы правильно припаяны. Нужен анализ перегрева электронной платы тепловизором. После пайки нужно отмывать электронные платы в ультразвуковой ванночке. Антенны надо прозванивать векторным антенным анализатором VNA перед привинчиванием. Нужна лазерная резка по плексигласу для изготовления подложек прототипов, нужен 3D принтер для прототипирования корпусов, нужны всяческие отвёрточки: шлиц двоеточием, шлиц треугольником и пр.

Это главное и основное отличие программирования-микроконтроллеров от, например, того же Web программирования. Едва ли вообще можно эффективно работать в роли embedded удаленно. Это как удаленно от плиты готовить еду, удаленно красить стены, строить дом или удалено работать воспитателем в детском саду. Программист МК - это профессия производственная и тут нужно физические первостепенное воздействие на прототип или изделие. В довесок к этому твой ежедневный будничный рюкзак будет наполнен до отказа всяким баражлом, которое тебе придется таскать с собой в метро или Bus(е), если ты вдруг захочешь что-то поделать из дома с пиратским софтом вечером или на выходных.

"Если Вам предлагают работать программистом-микроконтроллеров удаленно, то просто посыпайте таких рекрутеров лесом!"

## 19.31 Образовательный BackGround

Самым полезным background-ом для профессии программист микроконтроллеров я бы назвал профессию разнорабочий/чернорабочий. Программирование микроконтроллеров это на 80-70% электротехника и только на 20-30% ремонтировать сгоревшие платы. Вытравливать электронные платы методом ЛУТ (лазерно-утюжная технология).

Что такое ЛУТ можно посмотреть тут <https://habr.com/ru/articles/713970/> Если коротко - это жесть. Когда я делаю плату ЛУТ(ом) у меня в среднем остается 3

пореза на руках.

Будучи программистом микроконтроллеров вы будете метаться по блошиным радио-рынкам в гетто районах чаще, чем посещать магазины с одеждой и обувью.

Потом выяснять, почему электронные платы с производства не включаются. Предстоит делать закупки примочек, работать курьером, прокладывать проводку, чертить 2D и 3D детали, трассировать печатные платы, паять под микроскопом, измерять электрические сигналы, выпиливать, клеить, шкурить, затачивать сверла, сверлить, фрезеровать, крутить разные отвертки, покрывать электронные платы лаком, настраивать 3D принтер, пылесосить, ездить на автомобиле с ноутбуком на коленях, снимать на камеру ролики для выставок. Монтировать видео. Делать реверс инжиниринг более успешных западных товаров. Настраивать tool-chain(ы) и многое-многое чего ещё.

Вам повезет, если вы вообще за неделю будете хоть что-то программировать в этой чудо-юдо профессии программист-микроконтроллеров. Если же Вы будучи программистом МК не станете выполнять все эти функции чернорабочего и будете, упаси Бог, проявлять принципиальность и вставать в позу, якобы

"Да я тут только код пишу!"

то Вы попросту будете тормозить ход всей работы и Вас публично обвинят в саботаже. Далее вас будут всячески изживать из коллектива и из компании.

## 19.32 Прошивки это всегда простые и тривиальные программы

Да и программы для МК на самом-то деле очень простые. Вся работа прошивки - это перекладывание байтов. Из интерфейса в память. Из памяти в интерфейс. Прочитать по ADC напряжение и выполнить функцию.

"В программировании микроконтроллеров самая большая радость - это когда просто мигает лампочка на электронной плате."

Все что вам понадобится из теории computer science (CS) это теория конечных автоматов, очень редко PID регуляторы, самые базовые и простецкие структуры данных как массив, FIFO(шка), циклический массив).

Очень маловероятно, но может пригодится бинарное дерево поиска для реализации простого NVRAM во внешней памяти. <https://habr.com/ru/articles/732442/>

Пару раз вероятно пригодится динамическое программирование, чтобы просканировать шину RS485. <https://habr.com/ru/articles/752292/>

Может пригодятся численные методы. Плюс цифровые фильтры, преобразование Фурье, триггер Шмитта и AES шифрование для загрузчиков. Вот, пожалуй, и всё...

Остальная громадная классическая теория Computer Science (CS) будет Вам скорее мешать, чем наносить пользу. Я вот ни разу не видел LIFO, AVL деревьев, красно-черных деревьев, косых деревьев в исходниках каких бы то ни было прошивок, хотя open-source(а) насмотрелся порядком. Ни разу не видел хеш-таблиц, фильтров Блума,

графов. Все это добро в большинстве своем даже с доплатой не нужно в программировании микроконтроллеров.

В программировании микроконтроллеров 95% математики или классических алгоритмов из CS. А если на горизонте и вырисовываются такие логические задачи, то это становится праздником, подарком судьбы для программиста МК. Сотрудник с удовольствием делает эту часть работы, а потом ещё и пишет про это пост на habr и рассказывает всем как он здорово справился с этой ситуацией.

Но за 12 лет у меня было только 7-10 таких случаев. В сумме 3-4 месяца по настоящему интересной творческой инженерной работы. А остальные годы это просто рутина и тягомотина по перекладыванию байтов и починке чужих багов.

Причем половина от всех этих математических вкусностей Вам понадобятся даже не сколько в работе, сколько в pet-проектах.

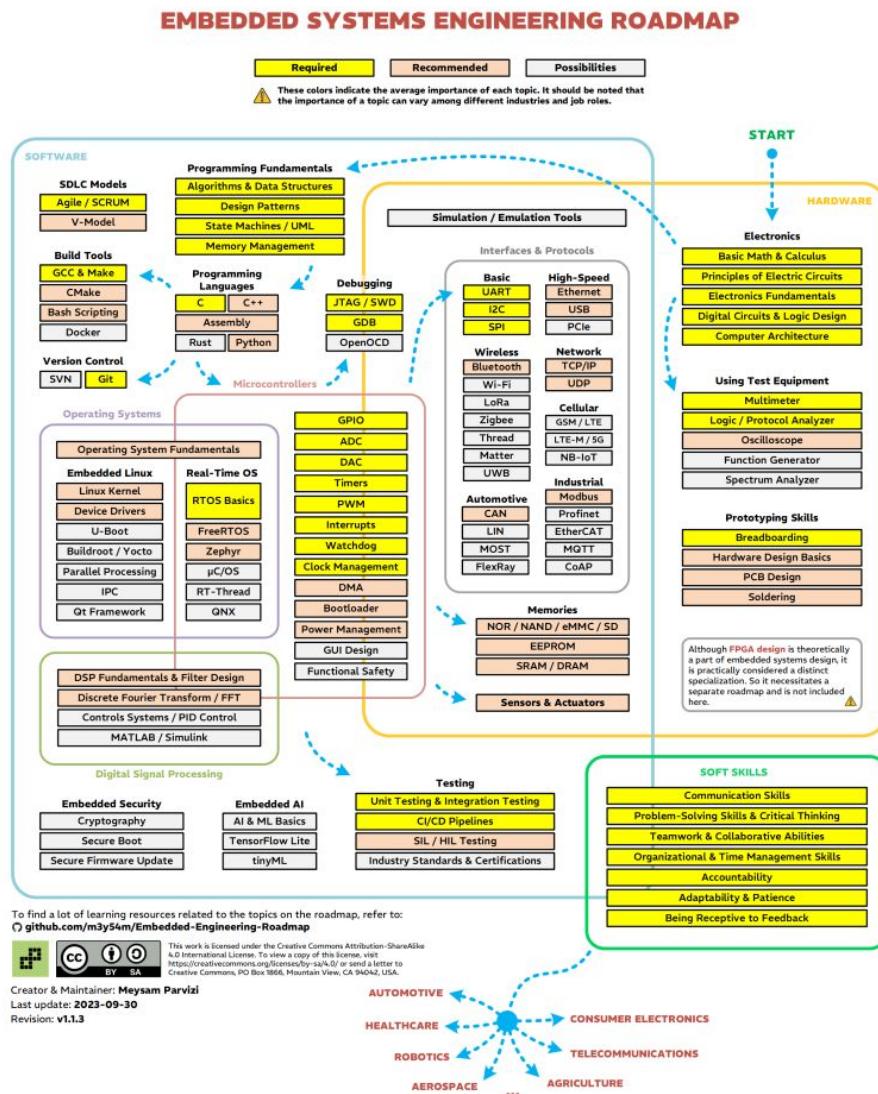


Рис. 19.29: План обучения

Даже если Вы будучи программистом MCU и научитесь чему-то особенному и необычному, то это скорее всего нигде тут не пригодится. В России традиционно электронику делают очень-очень топорными способами:

- без сборки из скриптов,
- без модульных тестов,
- без серверов сборки,
- без кодо генерации,
- без HIL стендов.

Просто тупо пишут функционал и точка.

Однако, вернемся к тезису о простоте программ для микроконтроллеров... Даже если программа для МК Вам кажется сложной, то это значит только то, что программа неправильно написана. Вот примеры пере усложнения кода (обfuscация) из жизни (War Story)

1. Код драйвера I2C EEPROM, который позволяет работать только с одним экземпляром микросхемы на PCB.
2. Плохая архитектура всего проекта.
3. магические циферки на каждой строчке
4. доступ к регистрам в каждом файле проекта
5. повторяемость кода, дублирование кода.
6. Написание тривиальных проектов на C++ вместо Си
7. очевидные комментарии
8. Не пользоваться оператором switch(), а в место него всё делать лесенкой из операторов if().
9. "заборы" из комментариев ////////////////////////////////////////////////////////////////////
10. отсутствие сортировки include(ов)
11. отсутствие сортировки прототипов функций
12. \*.c файлы оснащены не одноименными \*.h файлами.
13. макросы маленькими буквами
14. вся прошивка в одном main.c файле 75000 строк аж подвисает текстовый редактор.
15. код без модульных тестов или код перемешанный с тестами
16. функции от 1000 до 5000 строк и более
17. Использование RTOS там, где это не надо
18. Вставка препроцессором include \*.c файлов.
19. Функции с именами литературных персонажей

Всё это провоцирует мысли, что якобы программировать МК это сложно. Однако при соблюдении элементарных хороших практик программирования, программы для МК получаются простыми и прозрачными. Не надо путать сложность и пере усложненность. Зачастую намеренную (см обfuscация кода) с целью быть незаменимым сотрудником в организации.

В добавок к этому, так как частота микроконтроллера маленькая, то прошивки крутят довольно простые программы. В прошивках, как правило, нет никакого процессинга над данными и нет никакого computing(a). Быстрее бывает отправить данные на Web сервер, чтобы рассчитать что-то там и принять ответ, чем считать что-то на MCU. А если и есть процессинг, то вендоры прячут ЦОС в статические библиотеки (LC3, C1C). Поэтому Вы не сможете оценить красоту алгоритмов и структур данных.

Прошивки - это прочитать значения из датчика и показать циферку на экранчике. Всё сводится к тому, что надо GPIO мигнуть, кнопку прочитать, испустить PWM сигнал и прерывания по перепадам напряжений отловить. В микроконтроллерах нет нужды даже в алгоритмах сортировки. В сущности прошивки только прописывают константы в регистры и считывают регистры SoC(a). А это, в свою очередь, приводит к активации электрических цепочек внутри SoC(a). Со стороны вся цифровая электроника только и делает всего-навсего 4 простых действия:

1. установить на проводе 0V
2. установить на проводе 3.3V
3. считать с провода 0V
4. считать с провода 3.3V

Машина Тьюринга. Вот и всё. Easy!

Программы для MK в основном нужны там, где надо быстро сигналы обрабатывать. Для управления любыми двигателями (прошивки-спиннеры), для считывания датчиков физических величин. В таких вещах не должно быть никакой осечки и неожиданного поведения. Во встраиваемых системах не будет всех передовых технологий как MMU, Cache, динамического выделения памяти. Так как они не дают гарантии на время отклика. Есть правила MISRA, которые вообще запрещают много интересного. Вот они.

Например MISRA запрещает, динамическую память. Нет динамической памяти, а значит нет и абстрактных структур данных. Нет сортировки слиянием, нет быстрой сортировке. Запрет на функции из stdio.h и time.h, запрет рекурсии, запрет на Variable Length Array (VLA). Такой обрубленный Си исключает какой бы то ни был процессинг внутри прошивок.

В программировании MK как такового программирования-то мало. В программировании MK не происходит ничего особенного. Как правило такие программы принимают пакеты из интерфейсов и что-то прописывают в интерфейсы или читают датчики и передают показания в интерфейсы. Принимают прошивку и прописывают её во Flash память. В основном задачи вида прочитать SPI датчик и переслать значение в провода. Получить из проводов команду и включить лампочку. Получить из проводов массив и прописать его в энергонезависимую память и т.п.

Разработчик MCU обычно за 3-5 месяцев полностью выполняет проект и переключаются на другой. В микроконтроллерном программировании всё очень топорно устроено.

## 19.33 Много работы с перекладыванием бумажек

Для программирования микроконтроллеров надо очень хорошо ориентироваться в множестве официальных документов.

Вникать в спецификацию компилятора ( 1к страниц), стандарт языка С ( 700-1к страниц), спецификацию процессорного ядра ( 300 страниц), спека RTOS(а) ( 250 страниц), обязательно ознакомиться с перечнем ошибок проектирования кристалла ( 20 страниц), вникать в спеки каждой микросхемы ( 50...5k страниц) на печатной плате. Искать куда идут провода( 1-100 страниц). Читать логи сборки (300 страниц) Стандарт функциональной безопасности ISO-26262 (450 страниц). Вникать в спецификации BlueTooth LE (1 профиль-500 страниц). Вникать в спецификации других беспроводных интерфейсов (320 стр)\*60. Вникать в спеки бинарных и текстовых протоколов: TCP \IP, J1939, CANOpen, DLMS, ModeBUS, MQTT, LoRaWAN, UBX, NMEA, xModem, Pelco-D, ASN.1, RTCM 3.x. Читать RFC. Всё на английском. Некоторые спецификации надо покупать. Плюс каждая российская организация, колхозит еще свой собственный никому больше не нужный бинарный протокол и выпускает про него спеку (60 страниц). В общем читать, читать, читать.

Вам придется как юристу очень много пылиться в чтении официальных документов. Вы однозначно будете читать больше чем программировать. В профессии программист-микроконтроллеров 20перекладывание бумажек.

## 19.34 Программист-микроконтроллеров = курьер

В российских военных компаниях полностью бумажный документооборот. Там нет Jira или янДЕКС Трекера. Поэтому Вас как программиста микроконтроллеров будут частенько использовать как пневмопочту по городу и области -+70км в другие НИИ и ФГУП(ы). Иногда будут давать водителя на убитом Renault, а иногда нет. Бывает идёшь на работу и думаешь, что сегодня будешь программировать в прошивке абстрактную структуру данных из учебника Ахо, а в реальности полдня сидишь в Renault Logan в зимней пробке внутри вейпингового облака и вдыхаешь "дым отечества" курева водителя.

## 19.35 Невозможность монетизации

В разработке прошивок в принципе не может быть никакой монетизации, как в Web сайтах. Никто не будет вам платить 10..

Цена прошивки без физического устройства 0 рублей 0 копеек. Продажи прошивок жестко ограничены продажами электронных устройств, которые крутят эти прошивки. А количество электронных устройств жестко ограничено производственными возможностями конкретной организации. При этом в России нет массового

## 19.36. НИЗКИЙ ПРЕСТИЖ ПРОФЕССИИ ПРОГРАММИСТ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В Р

производства никакой электроники. Просто былая промышленность СССР утрачена, продана, угроблена.

Программист-микроконтроллеров нужен там, где есть развитая продуктовая разработка. А продуктовая разработка - это не типичная деятельность для России. Нынешняя Россия - это общество перепродажи заграничных товаров и оказание услуг по манекюру и ресницам.

В нынешних российских электронных организациях как правило мелкая серия электроники 100..500 штучек чего-либо за весь жизненный цикл продукта. Причем сами электронные платы обычно паяют в подвалах вручную 2...3 грустные тётушки бальзаковского возраста. Выглядит всё это очень удручающе... В `yield(де)` как правило 60

При этом стоимость конечного российского изделия на MCU (какой-нибудь очередной пресловутый СКУД) редко превышает 10k...30k RUB.

Вот ещё, например, компания ГК Телесистемы, которая сделала на микроконтроллере крутой нишевый диктофон и теперь страдает от того, что рынок очень маленький и продажи слишком низкие, и невозможно инвестировать в развитие и рост организации.

Ну сами представьте, сколько может стоить работа по написанию I2C драйвера для микросхемы AT24C02M5 стоимость которой 11 рублей (0,12 USD)? И какое отношение у предпринимателей к такой работе?...

Поэтому программисты микроконтроллеров - самые низкооплачиваемые программисты в России 42k..70k RUR \мес, работающие в массе своей за идею. Просьба отнестись к этому с пониманием...

Оно Вам надо?

## 19.36 Низкий престиж профессии программист микроконтроллеров в российском обществе

Приведу только два примера.

Когда я поздно вечером после 23:00 прихожу домой с работы программистом-микроконтроллеров я обнаруживаю дома как мой брат (отличный автомеханик) играет в видеоигры на DeskTop PC. Что-то типа GTA-5, Crisis или Half-Life 2 и поговаривает:

"Вот этих программистов я уважаю! Отличную консольную утилиту написали парни! Какая физика! Какое динамическое освещение! Сразу видно, знатно поработали ребята!"

Он пристреливает очередного Combiner(а). Потом он поворачивает голову в мою сторону и говорит:

"А то, что ты там программируешь в своей северной промзоне 10й год по 3й форме допуска, я до сих пор не знаю... Вот! Посмотри сам. GameDev

программисты игр и являются True-Программистами, а ты, embedder, вообще не пойми кто!"

Большинство моих знакомых (соседи, попутчики в электричке, дальние родственники) даже не подозревают, что в России вообще занимаются какой-то электроникой. При словосочетании "российская электроника" у них просто перекашивает лицо...

А в регионах нашей необъятной прекрасной Родины жители и вовсе испытывают средневековый суеверный страх перед электроникой... Буквально в 440 км от Москвы я лично слышал от местных фразы типа:

"Накой нам Ваша электроника? От неё люди болеют!"

Вот так, господа....

## 19.37 Программист-микроконтроллеров это устаревшая профессия

Прошли те времена когда у программистов МК было много по-настоящему интересной и разнообразной работы.

Прошли времена отдельно стоящих магнитофонов, CD player(ов), iPod(ов), лазерных считывателей штрих кодов, игровых приставок Dendi и Тамагочей. Прошли времена пейджеров и кнопочный мобилок от Siemens \ Nokia \Motorola, прошли времена отдельных диктофонов, отдельных mp3 плейеров. Прошли времена отдельных устройств навигаторов (Garmin(ок)).

Все эти устройства работали под управлением микроконтроллера внутри. Сейчас всё эти микроконтроллерные устройства - даже не музейные экспонаты, а товары блошиных рынков в гетто районах вашего города.

Нынче же вся телефония и всё мультимедиа (телефоны, маршрутизаторы, HMI), кассовые терминалы в магазинах, принтеры в офисах и даже игровые ретро-приставки Sega (SG800)- это всё Embedded Linux. Нынче всю электронику выгоднее проще и дешевле делать на модулях с Embedded Linux (типа skw92) с OS Android или Arch Linux внутри. Сейчас всё в смартфоне! Люди не хотят носить с собой ничего электронного, кроме смартфона. Понимаете?

Нынче делать какое-то приложение на микроконтроллере просто глупо. Вы 8020Разумнее просто взять смартфон и написать приложение для смартфона.

Реалии таковы, что умение программировать user-space приложения под Android на Kotlin или iOS на порядок ценнее, чем умение программировать System Software для микроконтроллера на Си!

Ну сами подумайте, ну где Вы собираетесь программировать эти пресловутые микроконтроллеры, кроме как не в кружке робототехники "за идею" в качестве благотворительности? Можно пойти ещё в сервисный центр ремонтировать бытовую технику: холодильники, стиральные машинки, микроволновки где-н в подвале ТРЦ.

Вы конечно можете разработать и сделать крутой офисный степлер со счётчиком оставшихся скобочек, с OLED дисплеем, логгером событий скрепления бумажек на SD карточку, но кому будет нужен такой навороченный степлер?

## 19.38. ЧЕГО ВООБЩЕ ХОРОШЕГО В ПРОФЕССИИ ПРОГРАММИСТ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

В России нет целой кучи секторов экономики, где пригодились бы навыки программиста микроконтроллеров: нет станкостроения, нет производства электронных компонентов, нет электроники для hi-thech сельского хозяйства, нет разработки мобильных телефонов, нет разработки планетоходов и т. д.

По факту, MCU теперь в России нужны только в automotive и military. Automotive - классный вариант, без шуток (даже АвтоВАЗ), однако сильно подвержен кризисам и сокращениям штатов, а в military не зарплаты, а "зачисление корма". Уж поверь мне я 3 года работал в military.

### 19.38 Чего вообще хорошего в профессии программист микроконтроллеров?

Однако не всё так плохо. Если сильно-сильно постараться и пофантазировать под вэйпингом, то можно найти причину и даже внутренний огонёк (свечку), чтобы продолжать заниматься программированием микроконтроллеров.

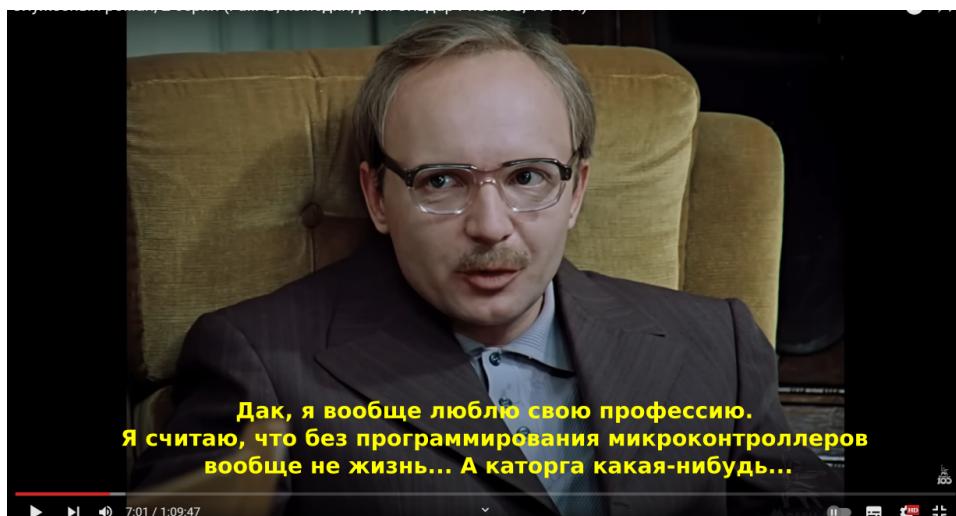


Рис. 19.30: Дак Я вообще люблю свою профессию...

#### 1. Всё упирается в физику.

Первое достоинство этой работы в том, что тут всё конкретно и завязано на физические величины. Всё можно измерить. Есть полный контроль за устройством. Никакой OS, которая вдруг начнет обновлять антивирус на МК нет. На MCU нет виртуальной машины, нет гипервизора. Нет никакого недоверенного кода.

Всё можно оцифровать, любую физическую величину перевести в цифру. Всё упирается на физику и законы физики. Софт произрастает от схемотехники. Схемотехника произрастает из электротехники.

Как говорил наш университетский профессор

"Электроника - это наука о контактах! Либо контакт есть, либо его нет..."

Электротехника произрастает из физики. Никто не будет спорить с законами физики. Закон Ома не отменишь, как радугу! Достаточно по диагонали просмот-

реть электрическую принципиальную схему устройства (ЭЗ) и уже в общем-то становится понятно, что это такое и какое для неё должно быть firmware.

## 2. созерцание материальных ценностей.

Товар сразу видно, его можно потрогать, показать, покрутить. В этой профессии создают настоящие материальные ценности. Именно программисты микроконтроллеров создали Tomahawk(и) и Javelin(ны), которые поменяли так много событий в стольких многих местах. Hi-Tech оружие с микропроцессорным управлением, оно способно поворачивать историю вспять.

Именно программисты микроконтроллеров создали ABS, ESP. Именно программисты МК написали прошивку для кардиостимулятора. Именно программисты микроконтроллеров написали прошивки для марсоходов Sojourner, Curiosity, Opportunity, Spirit, Perseverance.

Благодаря разработке firmware программисты микроконтроллеров расширяют границы возможного! Создают продукты, которые любят во всем мире (например USB-Flash(ки)).

## 3. Простота и тупорность.

Язык Си по сравнению с другими языками программирования самый простой язык программирования. Простой как ножик! Одни только функции и переменные. Ну что может быть проще? Красота! В программировании на Си не будет никаких программных делегатов как в С, шаблонов, наследования, виртуальных деструкторов, контейнеров, перегрузки функций, нет сборщиков мусора, исключений и виртуальных машин, нет байт-кода. В программировании микроконтроллеров Вы никогда не услышите таких страшных слов как "FrameWork".

Более того в программировании микроконтроллеров строго осуждается, порицается и возбраняется так называемое "FrameWork(строительство)"! Вплоть до увольнения с работы! Главный принцип в разработке это KISS и YAGNI. Никаких бантиков, пасхалок и стразиков в прошивках быть не должно в принципе! В программировании микроконтроллеров только один паттерн: конечный автомат и только одна абстрактная структура данных - это массив.

## 4. Консерватизм.

Ещё в профессии программист МК, как в деревне ничего не меняется десятилетиями буквально сквозь века (XX-XXI). Си - самый древний язык из тех, что всё еще используются. Си(шнику) более 50 лет. Постоянный консерватизм в наборе технологий. Что в 2011 в военном НИИ мы программируем Cortex-M3 в IAR на С с классами, так и с 2021(го) в яНДЕКС.драйв всё так же программируют Cortex-M3 в IAR на С с классами. Поэтому эта работа подойдет для тех кто не очень-то хочет непрерывно доучиваться чему-либо. Обычно в этой профессии кристаллизируются вчерашние ВУЗ(овцы), которые еще не поняли, что вовремя перейти в Java разработку - это лучшее, что может с ними случится в жизни, и много пенсионеров, которые уже просто не могут освоить что-то еще другое. Ибо с возрастом утрачивается способность мыслить последовательно.

## 5. У вас будет интересное хобби.

Если ты программист-микроконтроллеров, то у тебя будет большой выбор в том какое тебе завести хобби. У тебя будет достаточно знаний и экспертизы чтобы сделать свой радио управляемый самолётик, умный дом, CNC станок на балконе и прочее в этом же роде. У тебя не будет вопроса как провести выходные, отпуск или гос. праздники. Родственники и знакомые будут тебя называть Кулибиным, Черепановым, Ползуновым или Косым Левшой. Твоя спальня будет больше похоже на цех. Хобби будет, пожалуй, единственной радостью в твоей жизни...

## 6. Никто не говорит тебе под руку.

Работа инженером в России хороша тем, что начальство, как правило, тебе не мешает. Как я уже упоминал, Начальство это в прошлом схемотехники, конструкторы, чертёжники, кто угодно но только не программисты и оно понимает, что ничего в Си-программировании не понимает и просто предпочитает не мешать программистам-микроконтроллеров работать. Или зачастую начальство программистов микроконтроллеров просто считает, что погружаться в подробности технической реализации схемотехники или программы прошивки продукта компании - это ну просто ниже их достоинства... Да, господа, именно так.

Поэтому в 5ти случаях из 7ми никто не будет говорить тебе что-то под руку и стоять над душой. Никто не будет шипеть над ухом. Никто не будет критиковать твой микроконтроллерный системный код. Никто его даже смотреть не станет. Вот так и живем...

Давно прошли времена Игоря Курчатова, Сергея Королёва и Олега Антонова. Сейчас начальство безучастное. В детали продукта предпочитает не вникать. Присутствует только номинально и не воодушевляет коллектив инженеров на великие дела.

## 19.39 Итог

В целом профессия программиста микроконтроллеров такая как я тут написал. Мало программирования и много проводов. Если у вас есть выбор и вы хотите программировать на разных языках и быть в теме классической программной теории, если вам 20..25 и вы решаете как орешки олимпиадные задачи с LeetCode и хотите использовать в работе современные и классические алгоритмы и структуры данных, если вы хотите быть в авангарде в фарваторе IT индустрии, то программирование МК вам точно не подойдет. Да... Тут просто не нужно ничего кроме FIFO и конечных автоматов. Займитесь лучше Back-End(ом), Front-End(ом), Web(ом), нейросетями, GPU, мобильными приложениями, Data Science, Zero Coding, базами данных, GameDev(ом). Слава и деньги именно там!

А embedded-мир сильно отстает от "большого IT"(прежде всего Web(a)). Как правило в embedded нет систем контроля версий сорцов, нет сборки из скриптов, нет менеджера пакетов, нет командной работы, нет планёрок, нет автосборок, нет авто тестов, нет инспекции программ, нет KanBan(a), нет DevOps(a). Зарплаты программистов микроконтроллеров 2-4 раза ниже чем в WEB(e).

"Программист микроконтроллеров в окружении Web программистов обычно выглядит как дровосек в академии наук."

Вам не кажется странным почему культовый сериал "Кремниевая Долина" сняли отнюдь не про программистов микроконтроллеров, которые пишут прошивку для нового SSD, а про Web программистов, которые пишут компрессию данных? Почему главные герои не ходят там в комбинезонах по чистым комнатам гигафаба? Где в сериале, собственно, кремний-то? Да потому что embedded - это не круто вот и всё...

Тот же C++ и то более живо развивается и конвертация навыков выше. В C++ появились стандарты 11, 14, 17, 20, а plain C это 89, 99, 2011 и, кажется, всё.

Если сравнивать программирование микроконтроллеров с web программированием, то это как водитель вертолета и водитель пассажирского авиалайнера. У WEB программистов существенно более мощная вычислительная техника (сервера, DeskTop(ы)), их продукт обслуживает миллионы людей. Их как пилотов Boeing 737 окружает слава и внимание.

У программистов - MCU наоборот слабенькие процессоры. Программа для микроконтроллера служит, как правило, только одному единственному человеку (например прошивка для кардиостимулятора). Зато программисты MCU ближе к контролю real-time процессов. Подобно тому как вертолетчики могут приземляться и взлетать вертикально.

Или вот другая аналогия. Если сравнивать разные программирования с музыкальными инструментами, то Back-end, Front-End разработка - будет рояль. Огромные залы слушателей, оркестр. Всё выглядит дорого и богато. От мызыки аж захватывает дух. GameDev - это саксофон или гитарка на которой поют для небольших групп, кто пришли послушать песенки. А программирование-микроконтроллеров - это, друг, губная гармошка, на которой играют самому себе под нос какую-то грустную мелодию.

Вы хотите участвовать в этом цирке с конями?

По моим наблюдениям за 10 лет в среднем трое из пяти, кто начинал с программирования МК спустя 3 года переметнулись в другие виды программирования (Python, Go) или совсем в другое (строительство, танцули, сомелье, дъякон РПЦ). А программирование МК(ашек) это реально для тех, кто готов закатать рукава, замарать руки и регулярно выходить из зоны комфорта.

Если же Вы всё же по каким-то фантастическим причинам вдруг всё же хотите программировать MCU(шки), то старайтесь тогда угодить в компанию, где делают модульное тестирование сорцов, собирают из скриптов (Make файлов), делают отладку через CLI, есть командная работа (3+ вкладчика), практикуется переиспользование кодовой базы, где фигурирует такое слова как , CI \CD, есть планерки, инспекция программ, автосборки. И крайне важно, чтобы в компании полностью отсутствовала секретность на схемотехнику, datasheet(ы) и техническое задание. Там хотя бы будет выше вероятность сделать хоть что-то по-настоящему ценное.

В общем, делайте правильный выбор!

## 19.40 Гиперссылки

1. Разработчики встраиваемых систем не умеют программировать
2. Градация Навыков в Embedded Программировании
3. Вы точно хотите пойти программистом в gamedev?
4. Кто такой embedded-программист (разработчик) и как им стать
5. Изготовление Макета для Прототипа



# Глава 20

## Литература

1. Эффективное использование GNU Make, Владимир Игнатов, 2000
2. Автоматное программирование, Поликарпова Н. И., Шалыто А. А., 2008
3. Программирование введение в профессию, 4 Тома, А.В. Столяров, 2016
4. "Как стать специалистом по встраиваемым системам" пособие для тех, кто хочет заниматься интересным и хорошо оплачиваемым делом, Левин Э.
5. Искусство схемотехники. Часть первая. Аналоговая Издание 3-е, часть первая , Хилл У., Хоровиц П.
6. Архитектура встраиваемых систем, Даниэле Лакамера, ДМК-Пресс, 2023,332 стр,ISBN: 978-5-93700-206-8
7. The Power of Ten—Rules for Developing Safety Critical Code, Gerard J. Holzmann, 6 pages
8. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников, Стивен Смит,2018
9. Ядро Cortex-M3 компании ARM Полное руководство, Joseph Yiu, 2015
10. Extreme C, Kamran Amini, 2019
11. Язык С в XXI веке, Бен Клеменс , 2015
12. Абстракция данных и решение задач на C++, Фрэнк М Каррано, Джанет Дж. Причард, 2003
13. Структуры данных и алгоритмы , Ахо, Хопкрофт, Ульман, 2021
14. Алгоритмы Руководство по разработке , Стивен С. Скиена , 2011
15. Алгоритмические трюки для программистов, Генри Уоррен-мл., 2014
16. Современные операционные системы, Эндрю Таненбаум,Херберт Бос, 2016
17. Test Driven Development for Embedded C (James W. Grenning), 2011, ISBN-10: 1-934356-62-X