

ЗАГРУЗЧИК U-BOOT ДЛЯ 1892ВМ14Я. РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

**Версия v2.7
28.11.2017**

ОГЛАВЛЕНИЕ

1	О документе	3
2	Назначение и основные возможности загрузчика	4
3	Краткое описание исходных кодов загрузчика	5
4	Параметры конфигурации загрузчика	6
5	Особенности работы загрузчика	7
5.1	Переменные окружения загрузчика	8
5.2	Режим загрузки Linux с SD/MMC-карты	10
5.3	Режим загрузки Linux по TFTP	10
5.4	Режим монитора	11
5.5	Передача управления из U-Boot в baremetal-приложение	12
6	Сборка загрузчика	14
7	Образ загрузчика	15
8	Расположение загрузчика в памяти	16

1. О ДОКУМЕНТЕ

Данный документ описывает особенности работы загрузчика U-Boot 2017.07.0.5 для следующих модулей на базе СнК 1892ВМ14Я (далее МСом-02):

- Салют-ЭЛ24Д1 r1.3;
- Салют-ЭЛ24Д1 r1.4;
- Салют-ЭЛ24Д1 r1.5;
- Салют-ЭЛ24Д2 r1.1;
- Салют-ЭЛ24ОМ1 r1.1 с установленным Салют-ЭЛ24ПМ1 r1.1.
- Салют-ЭЛ24ОМ1 r1.2 с установленным Салют-ЭЛ24ПМ1 r1.2.

2. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАГРУЗЧИКА

Основное назначение загрузчика:

- начальная инициализация аппаратуры;
- загрузка Device Tree Blob (DTB) из SPI флеш-памяти или с SD/MMC-карты;
- загрузка образа Linux с SD/MMC-карты;
- загрузка образа Linux по TFTP;
- загрузка baremetal приложений с SD/MMC-карты.

Загрузчик обеспечивает следующие основные возможности:

- передача параметров запуска Linux;
- инициализация контроллеров памяти DDR;
- загрузка и редактирование DTB;
- переменные окружения;
- терминал UART;
- режим монитора по терминалу UART;
- поддержка сторожевого таймера;
- поддержка GPIO;
- поддержка I2C;
- команды доступа к памяти;
- подсистема MMC;
- подсистема SPI флеш-памяти;
- поддержка Ethernet;
- поддержка файловых систем.

Загрузчик реализует обходы для следующих ограничений согласно документу “Микро-схема интегральная 1892ВМ14Я. Перечень выявленных ограничений”:

- #867;
- #971;
- #972;
- #1160;
- #1969;
- #3346.

3. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИСХОДНЫХ КОДОВ ЗАГРУЗЧИКА

Исходные коды основаны на U-Boot 2017.07¹.

Имена файлов и директорий указаны относительно корневой директории исходных кодов загрузчика.

Описание общей структуры исходных кодов доступно в файле README.

Список файлов для поддержки модулей на базе MCom-02:

- Файлы начальной инициализации:
 - arch/arm/cpu/armv7/mcom/*.c
 - arch/arm/cpu/armv7/mcom/*.S
 - arch/arm/include/asm/arch-mcom/*.h
 - board/elvees/common/*.c
 - board/elvees/salute/*.c
 - board/elvees/salute-pm/*.c
- Файлы Device Tree Source (DTS):
 - arch/arm/dts/mcom*.dts
 - arch/arm/dts/mcom*.dtsi
- Файлы конфигурации Kconfig:
 - arch/arm/cpu/armv7/mcom/Kconfig
 - board/elvees/Kconfig
 - board/elvees/salute/Kconfig
 - board/elvees/salute-pm/Kconfig
 - configs/salute_defconfig
 - configs/salutepm_defconfig
- Файлы конфигурации для поддерживаемых модулей:
 - include/configs/mcom.h

¹ <http://git.denx.de/?p=u-boot.git;a=commit;h=v2017.07>

4. ПАРАМЕТРЫ КОНФИГУРАЦИИ ЗАГРУЗЧИКА

Подробное описание параметров конфигурации загрузчика содержится в файле README.

Дополнительные параметры конфигурации для модулей на базе MCom-02:

- **DDR_CALIBRATION**
Включение режима калибровки памяти DDR.
Значение по умолчанию: не задано.
- **DDR_CALIBRATION_DDRMC_ID**
Номер контроллера DDR для режима калибровки.
Значение по умолчанию: 0.
- **HW_WATCHDOG**
Включение аппаратного сторожевого таймера.
Значение по умолчанию: не задано.

5. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЗАГРУЗЧИКА

Загрузка U-Boot происходит в два этапа:

- в режиме загрузки из SPI флеш-памяти или с SD/MMC-карты первичный загрузчик BootROM копирует U-Boot Secondary Program Loader (U-Boot SPL) во внутреннюю память RAM и передает ему управление;
- U-Boot SPL копирует основной загрузчик (U-Boot) из SPI флеш-памяти или с SD/MMC-карты в память DDR и передает ему управление.

Устройство для загрузки U-Boot SPL и U-Boot определяется значением регистра BOOT контроллера SMCTR СнК 1892ВМ14Я.

Основные функции U-Boot SPL:

- включение L1 кэша инструкций для CPU0, CPU1 (L1 кэш данных включается для CPU0 в основном загрузчике);
- минимальная начальная настройка аппаратуры (см. функцию `board_init_f()` в файле `arch/arm/cpu/armv7/mcom/board.c`):
 - останов ядра CPU1 (подробнее см. *Передача управления из U-Boot в baremetal-приложение*);
 - выключение DDR retention (ограничение #1160);
 - запись адреса функции холодного сброса BootROM в регистр ALWAYS_MISC0;
 - включение сторожевого таймера, если задано конфигурацией;
 - включение отображения загрузочных областей по умолчанию (ограничение #971);
 - включение конфигурации по умолчанию для коммутатора Accelerator Coherency Port (ограничение #972);
 - настройка APLL, CPLL и SPLL;
 - настройка терминала UART0;
 - включение питания модулей памяти DDR0 и DDR1 (для модулей Салют-ЭЛ24ПМ1);
 - настройка контроллеров памяти DDR0 и DDR1;
 - установка параметров `t_rfc_min` и `t_ras_min` для памяти DDR (ограничение #1969);
 - настройка контроллеров SDMMC0 и SDMMC1 (включение резисторных подтяжек и т.д.);
- загрузка U-Boot (см. функцию `board_init_r()` в файле `common/spl/spl.c`):
 - загрузка драйвера GPIO;
 - загрузка драйвера SPI для контроллера SPI0;

- загрузка драйвера SPI флеш-памяти;
- загрузка драйвера контроллеров SDMMC;
- копирование из SPI флеш-памяти или с SD/MMC-карты в память DDR основного загрузчика;
- передача управления основному загрузчику.

Параметры настройки аппаратуры для драйверов устройств определяются файлом DTS, соответствующим типу модуля (указывается при сборке).

Основной загрузчик обеспечивает следующие режимы работы:

- режим загрузки Linux с SD/MMC-карты;
- режим загрузки Linux по TFTP;
- режим монитора.

5.1 Переменные окружения загрузчика

Загрузчик поддерживает возможность настройки через переменные окружения.

Во время запуска загрузчик выполняет поиск переменных окружения, сохраненных в SPI флеш-памяти:

- при успешном обнаружении устанавливаются переменные окружения, сохраненные в SPI флеш-памяти;
- в случае ошибки устанавливаются переменные окружения, заданные по умолчанию.

Переменные окружения загрузчика, заданные по умолчанию (см. файл `include/configs/mcom.h`):

bootfile

Имя файла, содержащего образ Linux для загрузки.

Значение по умолчанию: `zImage`.

loadaddr

Адрес буфера для копирования образа Linux с SD/MMC-карты.

Значение по умолчанию: `0x40000000`.

bootm_low

Нижняя граница области памяти, используемой для загрузки Linux.

Значение по умолчанию: не задано.

bootm_size

Размер области памяти, используемой для загрузки Linux.

Значение по умолчанию: `0x10000000`.

stdin, stdout, stderr

Имена стандартных устройств ввода/вывода, используемых загрузчиком.

Значение по умолчанию: `serial`.

ddrctl_cmd

Команда управления контроллерами DDR.

Значение по умолчанию: `disable`.

ddrctl_cid

Номер контроллера DDR для команды `ddrctl_cmd`.

Значение по умолчанию: `1`.

bootenv

Имя файла переменных окружения, импортируемых загрузчиком.

Значение по умолчанию: `u-boot.env`.

bootenvcmd

Дополнительная команда, выполняемая перед загрузкой Linux.

Значение по умолчанию: не задано.

console

Имя и параметры устройства Linux, используемого в качестве консоли.

Значение по умолчанию: `ttyS0,115200`.

cmdline

Дополнительные параметры загрузки Linux.

Значение по умолчанию: не задано.

mmcdev

Номер контроллера SD/MMC, используемого для загрузки Linux и импортирования переменных окружения.

Значение по умолчанию: `0`.

mmcbootpart

Номер раздела SD/MMC-карты, используемого для загрузки Linux и импортирования переменных окружения.

Значение по умолчанию: `1`.

mmcrootpart

Номер раздела SD/MMC-карты, содержащего корневую файловую систему.

Значение по умолчанию: `2`.

mmcargs

Дополнительные параметры загрузки Linux для режима загрузки с SD/MMC-карты.

Значение по умолчанию: `setenv bootargs console=${console} root=/dev/mmcblk${mmcdev}p${mmcrootpart} rootfstype=${mmcrootfstype} rw rootwait ${cmdline}`.

mmcrootfstype

Тип корневой файловой системы Linux для режима загрузки с SD/MMC-карты.

Значение по умолчанию: `ext4`.

В режиме монитора доступны функции управления переменными окружения.

Описание некоторых переменных окружения содержится в файле README.

5.2 Режим загрузки Linux с SD/MMC-карты

Последовательность действий, выполняемых в режиме загрузки Linux с SD/MMC-карты, задана командой загрузки `bootcmd`, определенной в конфигурации загрузчика (см. файл `include/configs/mcom.h`):

- выключение контроллера DDR, заданного переменной `ddrctl_cid`, если значение переменной `ddrctl_cmd` установлено в `disable` (по умолчанию выключается контроллер DDR1);
- импортирование переменных окружения из файла, заданного переменной `bootenv`;
- выполнение дополнительных команд, заданных переменной `bootenvcmd`;
- чтение образа Linux из файла, заданного переменной `bootfile`, в память по адресу, заданному переменной `loadaddr`;
- запуск образа Linux по адресу, заданному переменной `loadaddr`.

Загрузчик передает Linux соответствующий типу модуля DTB, который входит в состав образа U-Boot.

Загрузочный раздел должен соответствовать следующим требованиям:

- быть основным (первичным);
- иметь файловую систему FAT;
- содержать в корневой директории файл образа Linux.

Номер контроллера SDMMC для загрузки и параметры запуска Linux задаются переменными окружения загрузчика.

5.3 Режим загрузки Linux по TFTP

Включение режима загрузки Linux по TFTP выполняется установкой переменных окружения загрузчика.

Например, для загрузки Linux по TFTP с использованием файловой системы, расположенной на SD/MMC-карте, необходимо выполнить следующие действия в мониторе загрузчика:

- Установить IP-адрес модуля:

```
setenv ipaddr <ip_address>
```

- Установить IP-адрес TFTP-сервера:

```
setenv serverip <server_ip_address>
```

- Задать параметры запуска Linux:

```
setenv bootargs 'console=ttyS0,115200 root=/dev/mmcblk0p2 rootfstype=ext4 rw  
↪rootwait'
```

- Задать команду загрузки Linux:

```
setenv bootcmd 'tftpboot; bootz ${loadaddr} - ${fdtcontroladdr}'
```

5.4 Режим монитора

После запуска загрузчик в течение 2 секунд ожидает от пользователя ввода любого символа через терминал UART0 для перехода в режим монитора.

Некоторые команды, поддерживаемые монитором загрузчика:

- `base` — установка смещения для команд обращения к памяти;
- `bdinfo` — печать информации о модуле;
- `bootd` — выполнение команды загрузки по умолчанию;
- `bootelf` — загрузка образа ELF из памяти;
- `bootm` — загрузка образа приложения из памяти;
- `bootz` — загрузка образа zImage из памяти;
- `cmp` — сравнение содержимого памяти;
- `coninfo` — печать информации о консольных устройствах;
- `cp` — копирование содержимого памяти;
- `crc32` — вычисление контрольной суммы;
- `dm` — печать информации о драйверах устройств;
- `echo` — печать аргументов;
- `editenv` — редактирование переменных окружения;
- `env` — управление переменными окружения;
- `fdt` — управление Flattened Device Tree (FDT);
- `go` — запуск приложения по указанному адресу;
- `help` — печать справки и полного списка команд монитора;
- `iminfo` — печать информации об образе приложения;
- `load` — загрузка файла из файловой системы;
- `loadb` — загрузка файла через терминал по протоколу Kermit;
- `loads` — загрузка файла в формате S-Record через терминал;
- `loadx` — загрузка файла через терминал по протоколу XMODEM;
- `loady` — загрузка файла через терминал по протоколу YMODEM;
- `loop` — бесконечный цикл по диапазону адресов;
- `md` — отображение содержимого памяти;
- `meminfo` — отображение информации о памяти;
- `mm` — изменение содержимого памяти с автоматическим увеличением адреса;
- `mms` — функции для работы с подсистемой MMC;
- `mmsinfo` — отображение информации о MMC;

- `mw` — заполнение памяти;
- `nm` — изменение содержимого памяти по постоянному адресу;
- `printenv` — печать переменных окружения;
- `run` — выполнение команд из указанной переменной окружения;
- `save` — сохранение файла в файловой системе;
- `saveenv` — сохранение переменных окружения;
- `setenv` — установка переменных окружения;
- `sf` — функции для работы с подсистемой SPI флеш-памяти;
- `version` — печать версий монитора, компилятора и компоновщика.

Дополнительные команды монитора для модулей на базе MCom-02:

- `ddrctl disable <0|1>`

Выключение контроллеров памяти DDR. Команда отключает тактовую частоту для указанного контроллера.

Полный список команд доступен по команде монитора `help`.

5.5 Передача управления из U-Boot в baremetal-приложение

Варианты передачи управления в baremetal-приложение:

- с возвратом в U-Boot,
- без возврата в U-Boot.

Для передачи управления без возврата в U-Boot необходимо:

1. разработать исходный код приложения. Требования к исходному коду:
 - секции кода, стека и данных не должны использовать используемые загрузчиком U-Boot адреса (подробнее см. *Расположение загрузчика в памяти*);
 - для включения CPU1 необходимо последовательно записать:
 - адрес функции для CPU1 по физическому адресу `0x2000fff4`;
 - значение `0xdeadbeef` по физическому адресу `0x2000fff8`.
2. скомпилировать ELF-файл приложения;
3. загрузить ELF-файл приложения с ПЭВМ в память ОЗУ модуля, например:
 - через интерфейс Ethernet:
 - загрузить ELF-файл на сервер TFTP на ПЭВМ;
 - загрузить ELF-файл приложения в память ОЗУ модуля командой `tftpboot`.
 - через интерфейс SD/eMMC:
 - скопировать ELF-файл приложения в раздел Boot на SD-карте;

- загрузить ELF-файл приложения в память ОЗУ модуля. Например для модуля Салют-ЭЛ24ОМ1 с установленным модулем Салют-ЭЛ24ПМ1 и установленной SD-картой необходимо выполнить команду `fatload mmc 1 <addr> <file.elf>`, где `<addr>` — адрес ОЗУ для загрузки ELF-файла, `<file.elf>` — имя ELF-файла на SD-карте.
 - через интерфейс SPI:
 - загрузить ELF-файл приложения в флеш-память SPI:
 - * загрузить ELF-файл приложения в память ОЗУ модуля через интерфейсы UART, SD/eMMC, Ethernet;
 - * выполнить запись командой `sf write`.
 - загрузить ELF-файл приложения в память ОЗУ модуля командой `sf read`.
 - через интерфейс UART:
 - выполнить команду `loady` на модуле;
 - передать ELF-файл приложения с помощью программы `minicom` с использованием протокола `YMODEM`² на ПЭВМ.
4. передать управление из U-Boot в приложение командой `bootelf <addr>`, где `<addr>` — адрес загруженного в памяти ELF-файла.

² <https://en.wikipedia.org/wiki/YMODEM>

6. СБОРКА ЗАГРУЗЧИКА

Результатом сборки исходных кодов загрузчика является образ `u-boot.mcom`, предназначенный для прошивки SPI флеш-памяти модуля или записи на SD/MMC-карту. Образ доступен в корневой директории загрузчика после завершения сборки.

Для сборки загрузчика на ПЭВМ должно быть установлено следующее программное обеспечение:

- `arm-linux-gnueabi toolchain` для кросс-компиляции;
- `Device Tree Compiler (DTC)`³ (версии не ниже 1.4.1).

Переменные окружения, влияющие на сборку загрузчика:

- `ARCH` — целевая архитектура;
- `CROSS_COMPILE` — префикс кросс-компилятора;
- `DEVICE_TREE` — имя файла DTS (без расширения) для целевого модуля;
- `PATH` — пути для поиска используемых приложений.

Пример сборки загрузчика с конфигурацией `salute_defconfig` для модуля Салют-ЭЛ24Д1 r1.3:

```
export ARCH=arm
export CROSS_COMPILE=arm-linux-gnueabi-
export DEVICE_TREE=mcom02-salute-el24d1-r1.3
make salute_defconfig
make
```

³ <https://git.kernel.org/cgit/utils/dtc/dtc.git/?h=v1.4.1>

7. ОБРАЗ ЗАГРУЗЧИКА

Образ загрузчика `u-boot.mcom` состоит из образа U-Boot, прикрепленного к образу U-Boot SPL. Образ U-Boot включает DTB для настройки устройств и передачи в Linux.

Образы U-Boot SPL и U-Boot имеют формат `uImage` и создаются приложением `tools/mkimage`, входящим в состав загрузчика.

Для обхода ограничения `#867` в заголовке образа U-Boot SPL значению поля `Target Operating System` присваивается значение U-Boot.

Для обхода ограничения `#3346` размер образа U-Boot SPL выравнивается до ближайшего четного значения.

Схема разбиения образа `u-boot.mcom` представлена в таблице 7.1.

Таблица 7.1. Схема разбиения образа загрузчика

Область	Смещение (КБ)	Максимальный размер (КБ)
Образ U-Boot SPL	0	56
Переменные окружения ⁴	64	64
Образ U-Boot	128	

⁴ Размер и смещение области переменных окружения выровнены на границу сектора SPI флеш-памяти, установленной на модулях на базе MCom-02. При сохранении переменных окружения загрузчик стирает соответствующую область SPI флеш-памяти.

8. РАСПОЛОЖЕНИЕ ЗАГРУЗЧИКА В ПАМЯТИ

После запуска загрузчик располагается в верхней области памяти, подключенной к контроллеру DDR0. Свободные области DDR0/DDR1 могут использоваться для загрузки Linux и автономных приложений.

Расположение загрузчика в памяти для поддерживаемых модулей на базе MCom-02 показано в таблице 8.1.

Таблица 8.1. Расположение загрузчика в памяти

Область	Начальный адрес	Конечный адрес
Код ожидания CPU1 ⁵	0x20000000	0x2000F400
Свободная память	0x40000000	0x7EFFFFFFF
U-Boot ⁶	0x7F000000	0x7FFFFFFF
Свободная память	0xA0000000	0xDFFFFFFF

Подробную информацию об использовании памяти загрузчиком можно получить с помощью команды монитора `bdinfo`.

⁵ SPL U-Boot содержит код для перевода CPU1 в цикл ожидания. Адреса кода для CPU1 изменяются в зависимости от конфигурации загрузчика.

⁶ Начальный адрес области памяти, используемой загрузчиком, указан для справки и изменяется в зависимости от конфигурации загрузчика.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

В

bootcmd, 10
bootenv, 10
bootenvcmd, 10
bootfile, 10

D

ddrctl_cid, 10
ddrctl_cmd, 9, 10

L

loadaddr, 10

□

переменная окружения

- bootcmd, 10
- bootenv, 9, 10
- bootenvcmd, 9, 10
- bootfile, 8, 10
- bootm_low, 8
- bootm_size, 8
- cmdline, 9
- console, 9
- ddrctl_cid, 9, 10
- ddrctl_cmd, 8–10
- loadaddr, 8, 10
- mmcargs, 9
- mmcbootpart, 9
- mmcdev, 9
- mmcrootfstype, 9
- mmcrootpart, 9
- stdin, stdout, stderr, 8