Linux for ARM

• **Автор(ы):** Pelmen Zharenny

• Связаться с автором: Telegram

• **Версия LFA:** 1.0 Alpha 1

Linux for ARM (далее — LFA) — подробное руководство по сборке Linuxсистемы из исходного кода для компьютеров на архитектуре ARM 1 .

 $^{^1}$ На данный момент в руководстве описаны сведения о сборке Linux OC для SoC Allwinner, Broadcom и Rockchip.

Предисловие

В декабре 2023 года я приобрёл себе одноплатник Orange Pi 3 LTS. Скачанная с офсайта Orange Pi система Debian оказалась настолько кривой, что я через какоето время удалил её, установив дистрибутив Armbian. У последнего был ряд преимуществ в виде первичной настройки системы (после первой загрузки запускалась консольная утилита, в которой человек создавал пользователя, от имени которого будет работать, настраивал время и локализацию и совершал ещё ряд каких-то действий). Но были и недостатки: у меня просто не сохранялся ряд настроек системы (да и браузер Firefox тоже вёл себя очень странно), да и сама система была собрана не очень корректно. Пробовал ставить Мапјаго Linux, но и с ней были проблемы, а именно видеоартефакты.

Да и в тех дистрибутивах, что я использовал на моей Orange Pi, было огромное число абсолютно не нужного и лишнего ПО, которое только засоряло систему и занимало драгоценное место на SD-карте.

Поэтому я решился на сборку своей системы Linux из исходного кода. До этого я увлекался LFS, поэтому у меня был небольшой опыт сборки таких систем, но не было опыта *кросс-компиляции* системы для другой архитектуры.

LFA, на мой взгляд, является неплохим реt-проектом, которым я занимаюсь исключительно в свободное время. Будет что показать будущим работодателям :).

Почему создан «очередной LFS», неужели нет готовых решений?

Основная причина создания LFA: необходимость зафиксировать для себя любимого те действия, которые я выполнял для сборки своей Linux-системы чтобы потом к ним в будущем вернуться и либо исправить, чтобы

они стали корректными или более предпочтительными, либо чтобы вернуться к ним в будущем. Следовательно, LFA сама по себе предназначена только для меня (автора руководства), однако я надеюсь, что информация отсюда откажется полезна и другим людям.

Создание руководства по сбокре своего дистрибутива Linux для ARM-компьютеров в чём-то ново, поскольку достаточно известные руководства типа LFS или Linux для себя предназначены для x86/x86_64 компьютеров, а для ARM-девайсов особой информации не так уж и много, а руководство CLFS Embedded, на основе которого и создана LFA, давно заброшено и, как следствие, несколько устарело.

Что LFA предоставляет пользователю?

В данном руководстве вы не увидите информации о сборке пригодной к использованию системы, в которой будет браузер, офисный пакет, рабочее окружение и куча игр. Здесь не будет сведений о сборке системы, пригодной к использованию в IoT или умном доме. Предполагается, что вы дойдёте до этого сами.

LFA предназначена в первую очередь для того, чтобы показать вам, как потенциальному разработчику для Linux, отличия ARM-компьютеров от их х86_64 "собратьев". LFA, может быть, даст вам опыт в сборке программного обеспечения, а также, наверное, расскажет вам о строении Linux-систем. Но это не точно. Основная идея LFA заключается в том, что только вы решаете, собирать ли систему для ARM-ПК, а если и собирать, то что и каким образом. LFA предоставляет лишь шаблон, по которому можно это сделать.

Отличия от CLFS

Важным отличием от CLFS является то, что LFA полностью на русском языке. К тому же, LFA ориентирована на аудиторию, проживающую в

странах СНГ, т.е. тех людей, которые хотя бы на базовом уровне владеют русским языком.

В LFA приводятся различные дополнительные сведения, касающиеся как в целом ОС, использующих ядро Linux, так и таковых систем, предназначенных для компьютеров с архитектурой ARM. В данном руководстве приведены рекомендуемые параметры сборки для некоторых конкретных моделей ПК.

Здесь используются относительно новые версии программного обеспечения, в то время как последний релиз CLFS Embedded для ARM был датирован 2019 годом. В новых версиях ПО исправляют ошибки и уязвимости, а также добавляют новый функционал.

В конце некоторых страниц может быть расположен блок «Смотрите также» со ссылками на дополнительные сведения, документацию или внешние ресурсы. Если вы хотите знать больше, можете ознакомиться с информацией по ссылкам из этого блока.

И в завершение, LFA предоставляет инструкции по сборке загрузчика U-Boot (на данный момент для плат на основе SoC Allwinner, Broadcom, Rockchip и для эмуляции в QEMU).

От авторов

Мы, разработчики LFA, ценим, что вы читаете это руководство. Надеемся, что оно принесёт вам как образовательную пользу, так и, возможно, практическую.

Если у вас возникли вопросы или проблемы, либо вы хотите внести свой вклад в развитие данного руководства, то, пожалуйста, оставьте запрос в нашем репозитории по адресу https://github.com/Linux-for-ARM/handbook.

Суважением, команда Linux for ARM.

Преимущества

Главная цель этого руководства — дать вам, как потенциальному разработчику дистрибутивов Linux для ARM-компьютеров, понимание того, как работают операционные системы, использующие ядро Linux, на компьютерах с ARM-процессорами. Сборка своей системы с нуля для ARM-компьютеров поможет узнать, как всё работает вместе и как каждый компонент системы взаимодействует с другим. Возможно, что собранная вашими руками система будет намного надёжнее и удобнее уже существующих «портов» дистрибутивов GNU/Linux на ARM. Кроме того, LFA даст опыт в сборке ПО из исходного кода, что может пригодиться и при администрировании «обычных» ОС GNU/Linux, предназначенных для работы на х86(_64) компьютерах.

Как я обнаружил, сборка системы из исходного кода - это довольно сложная работа, но в то же время интересная и в чём-то весёлая, и вы действительно чему-либо научитесь, поскольку вам нужно настроить каждый отдельный аспект системы. Это заставляет вас читать множество руководств по настройке различных компонентов ОС. Кроме того, это даёт вам контроль над системой: вы точно знаете, какое ПО установлено, как оно настроено и где хранятся его файлы.

Другое ключевое преимущество — независимость от других сборщиков. Только вы решаете, что собирать, а что нет, какие применять патчи и как настраивать систему.

Прежде чем начать

Сборка своей системы — не самая простая задача. От вас потребуются знания в администрировании UNIX-систем для того, чтобы вы имели возможность устранять проблемы в процессе сборки, правильно выполнять ввод требуемых команд и при необходимости изменять ход сборки программного обеспечения в зависимости от ваших потребностей и желаний.

Во-первых, вы должны уметь пользоваться терминалом, в частности, владеть программами из состава coreutils ¹, копировать и перемещать файлы и каталоги, просматривать содержимое директорий и файлов. Также ожидается, что у вас есть знания о процессе установки программного обеспечения в Linux.

Рекомендуем чаще обращаться к разделу «Вспомогательные материалы», в котором находятся ответы на часто задаваемые вопросы. В этот раздел часто добавляются новые сведения.

¹ Программы для работы с файлами (копирование, удаление, перемещение, создание), правами доступа, вычисления контрольных сумм и т.д.

Принятые обозначения

В руководстве используются следующие обозначения:

```
./configure --prefix=/usr --target=$LFA_TGT
```

Этот текст необходимо набрать в терминале в точности так, как указано, если иное не сказано в тексте.

Иногда строка разделяется до двух или более с использованием символа \:

```
ARCH=arm ./configure --prefix=/usr \
    --target=$LFA_TGT \
    --with-sysroot=$LFA_SYS \
    --disable-nls \
    --disable-threads
```

Обратите внимание на то, что после \ должен быть переход на новую строку (Enter). Другие символы приведут к некорректному результату и ошибкам.

```
2024-02-27 18:58:13 [INFO] (mdbook::cmd::serve): Files changed: ["/home/admin/Work/lfa/src/typography.md"]
2024-02-27 18:58:13 [INFO] (mdbook::cmd::serve): Building book...
2024-02-27 18:58:13 [INFO] (mdbook::book): Book building has started
2024-02-27 18:58:13 [INFO] (mdbook::book): Running the html backend
```

Этот текст используется для отображения вывода в терминале.

Используется, чтобы подчеркнуть важную информацию, на которую следует обратить внимание.

Используется для ссылок на страницы руководства.

Используется для ссылок на внешние ресурсы (только в главах 2-7 и в главе 10).

🛕 Важно

Используется для указания на критически важную информацию. На неё следует обратить особое внимание.

Используется для указания на информацию рекомендательного характера. Не рекомендуется пропускать эти указания и внимательно с ними ознакомиться.

Опечатки и неточности

Если вы нашли в руководстве ошибку, опечатку или хотите предложить нам какое-либо изменение, которое, на ваш взгляд, важно для LFA, то, пожалуйста, оставьте запрос в нашем репозитории на GitHub. Мы открыты к диалогу, и вы, как читатель, всегда можете предложить свои замечания, улучшения и изменения.

Целевая архитектура

Предполагается, что LFA будет собираться для архитектуры ARMv8 (AArch64). Работа собранной по LFA системы проверялась на процессоре Allwinner H6 (ARM Cortex-A53²). С другой стороны, в данном руководстве ещё остались инструкции, содержащий в том числе сведения для более старых архитектур семейства ARM в наследие от руководства CLFS Embedded. В ближайшее время мы не планируем удалять их или как-то актуализировать, по крайней мере это не будет сделано до релиза 2.0. Тем не менее, основной архитектурой для нас является ARMv8.

Для сборки LFA для того или иного AArch64-процессора мы будем использовать x86_64 хост. Компиляция ПО будет производиться посредством кросс-компилятора, который мы соберём в начале и будем использовать на протяжении всего руководства.

¹ В адрес подобных устройств куда справедливее использовать термин «SoC» (System on Chip, Система на Кристалле), но для простоты ограничимся понятием «процессор».

² Существуют процессоры Cortex-A, предназначенные для устройств, требующих относительно высокой производительности, Cortex-R для ПО, работающего в режиме реального времени и Cortex-M для микроконтроллеров и встраиваемых устройств. В данном руководстве идёт упор на процессоры Cortex-A.

Информация об используемом ПО

Как говорилось ранее, в LFA содержатся инструкции только по сборке базового программного обеспечения. Собранная система будет включать в себя базовое программное обеспечение для работы с файлами, процессами и сетью. Однако это не значит, что полученная система будет максимально компактной.

BusyBox-1.36.1

Объединяет крошечные версии многих распространённых утилит UNIX в один небольшой двоичный файл (1-2 Мбайт). Он заменяет большинство утилит, которые обычно находятся в GNU Coreutils, GNU Findutils и т.д.

- Домашняя страница: https://www.busybox.net
- Скачать: https://busybox.net/downloads/busybox-1.36.1.tar.bz2
- MD5 cymma: 0fc591bc9f4e365dfd9ade0014f32561

GCC-13.2.0

Набор компиляторов GNU GCC.

- Домашняя страница: https://gcc.gnu.org
- Скачать: https://ftp.gnu.org/gnu/gcc/gcc-13.2.0/gcc-13.2.0.tar.xz
- MD5 cymma: e0e48554cc6e4f261d55ddee9ab69075

GMP-6.3.0

Пакет с математическими библиотеками, которые предоставляют полезные функции для арифметики произвольной точности. Необходим

для сборки GCC.

- Домашняя страница: https://gmplib.org
- Скачать: https://ftp.gnu.org/gnu/gmp/gmp-6.3.0.tar.xz
- MD5 сумма: 956dc04e864001a9c22429f761f2c283

Linux-6.6.6

Ядро операционной системы.

- Домашняя страница: https://www.kernel.org
- Скачать: https://www.kernel.org/pub/linux/kernel/v6.x/linux-6.6.6.tar.xz
- MD5 cymma: dd66281fed9b76c08dc8b72eb76df96f

MPC-1.3.1

Математические функции для комплексных чисел. Необходим для сборки GCC.

- Домашняя страница: http://www.multiprecision.org/
- Скачать: https://ftp.gnu.org/gnu/mpc/mpc-1.3.1.tar.gz
- MD5 cymma: 5c9bc658c9fd0f940e8e3e0f09530c62

MPFR-4.2.1

Функции для арифметики множественной точности. Необходим для сборки GCC.

- Домашняя страница: https://www.mpfr.org
- Скачать: https://ftp.gnu.org/gnu/mpfr/mpfr-4.2.1.tar.xz
- MD5 cymma: 523c50c6318dde6f9dc523bc0244690a

TF-A-2.10.2

Проект Trusted Firmware-A предоставляет эталонную реализацию безопасного программного обеспечения для процессоров класса ARMv7-A и ARMv8-A.

- Домашняя страница: https://www.trustedfirmware.org/projects/tf-a/
- Скачать: https://git.trustedfirmware.org/TF-A/trusted-firmware-a.git/snapshot/trusted-firmware-a-lts-v2.10.2.tar.gz
- MD5 cymma: 9d223fd5e7863ec223565c385f9a68ed

Wireless Tools-29

Набор инструментов для работы с Wireless Extensions (WE — API ядра Linux, позволяющий драйверу передавать в пользовательское пространство конфигурацию и статистику, характерные для беспроводных локальных сетей).

- Домашняя страница: https://hewlettpackard.github.io/wireless-tools/
- Скачать: https://hewlettpackard.github.io/wireless-tools/wireless_tools.29.tar.gz
- MD5 cymma: e06c222e186f7cc013fd272d023710cb

binutils-2.42

Этот пакет содержит компоновщик, ассемблер и другие утилиты для работы с объектными файлами.

- Домашняя страница: https://www.gnu.org/software/binutils
- Скачать: https://sourceware.org/pub/binutils/releases/binutils-
- MD5 cymma: a075178a9646551379bfb64040487715

iana-etc-20240125

Данные для сетевых служб и сервисов. Необходим для обеспечения надлежащих сетевых возможностей.

- Домашняя страница: https://www.iana.org/protocols
- Скачать: https://github.com/Mic92/iana-etc/releases/download/20240125/iana-etc-20240125.tar.gz
- MD5 cymma: aed66d04de615d76c70890233081e584

musl-1.2.5

Минималистичная стандартная библиотека языка С.

- Домашняя страница: https://musl.libc.org
- Скачать: https://musl.libc.org/releases/musl-1.2.5.tar.gz
- MD5 cymma: ac5cfde7718d0547e224247ccfe59f18

u-boot-2023.10

Загрузчик операционной системы, предназначенный для встраиваемых систем на MIPS, ARM, PowerPC и т.д.

- Домашняя страница: https://source.denx.de/u-boot/u-boot
- Скачать: https://source.denx.de/u-boot/u-boot/-/archive/v2023.10/u-boot-v2023.10.tar.bz2
- MD5 cymma: 3491cd4aa6c52a7c77f7f626d4df9442

Подготовка к сборке

В данной главе приведены сведения, касаемые подготовки вашей хостсистемы к сборке LFA. Вам требуется создать пользователя, настроить его окружение и создать базовую структуру каталогов собираемой системы.

Ход сборки LFA

- 1. **Подготовка к сборке** на данном этапе мы создадим отдельного пользователя, от имени которого будем собирать систему, настроим его окружение и подготовим всё, что требуется для сборки LFA.
- 2. **Сборка кросс-компилятора** поскольку сборка производится с компьютера x86_64 для компьютера AArch64, нам требуется собрать кросс-компилятор, позволяющий выполнить это. После сборки с его помощью базовой системы мы его удалим.
- 3. **Сборка базовой системы** здесь мы собирём базовую систему, которая и будет являться той самой LFA.
- 4. **Настройка базовой системы** на данном этапе требуется произвести настройку базовой системы: создать ряд конфигурационных файлов и при необходимости исправить существующие.
- 5. **Сборка ядра** на данном этапе необходимо собрать ядро Linux с учётом всех ваших требований и пожеланий.
- 6. **Сборка загрузчика** заключительный этап, на котором вы соберёте загрузчик U-Boot для конкретной модели компьютера, для которой вы собираете систему LFA.
- 7. **Конец** сборка системы полностью завершилась. Теперь остаётся сделать img-образ, пригодный для записи на внешний носитель, который будет выступать в роли загрузочного в компьютере, для которого вы собирали LFA.

Требования к хосту

Оборудование

- Раздел на жёстком диске или просто свободное место, рекомендуемый объём которого 10 Гб и более.
- Если оперативной памяти хост-компьютера мало (менее 4 Гб), рекомендуется создать раздел или файл подкачки. Кроме того, можно использовать zram.

Программное обеспечение

На вашей хост-системе должно быть установлено ПО из списка ниже с указанными минимальными версиями. Для большинства современных дистрибутивов Linux это не должно быть особой проблемой.

- bash-3.2 (/bin/sh должна быть ссылкой на bash)
- bc-1.07 (для компиляции Linux)
- binutils-2.13
- bison-2.7 (/usr/bin/yacc должен быть ссылкой на bison)
- coreutils-8.1
- diffutils-2.8.1
- findutils-4.2.31
- gawk-4.0.1 (/usr/bin/awk должен быть ссылкой на gawk)
- gcc-5.2 (влючающий компилятор языка C)
- grep-2.5.1a
- gzip-1.3.12
- linux-4.19
- m4-1.4.10
- make-4.0
- patch-2.5.4

- perl-5.8.8
- python-3.4
- rsync-3.2.7 (для установки заголовков ядра на этапе сборки кросскомпилятора)
- sed-4.1.5
- setuptools-66.1 (для компиляции U-Boot)¹
- swig-4.0 (для компиляции U-Boot)
- tar-1.22
- u-boot-tools-2023.01 (для сборки ядра Linux и работы с загрузчиком U-Boot)
- xz-5.0
- wget-1.23 и md5sum (для скачивания исходного кода LFA)

Если вы собираетесь сделать систему для компьютера на базе Allwinner SoC (например, этот SoC используется в ряде моделей Orange Pi, например в Orange Pi 3 LTS), то для сборки одного из компонентов загрузчика U-Boot вам будет нужен кросс-компилятор для архитектуры or1k. В этом руководстве не приводится сведений о его сборке (сборка сначала кросс-компилятора для ARM, потом кросс-компилятора для OpenRISC усложнит и раздует LFA и собъёт с толку тех читателей, кто не пользуется Allwinner), однако вы можете либо использовать готовый кросс-компилятор для этой архитектуры (например, некоторые дистрибутивы, такие как ArchLinux, содержат в репозиториях пакеты с Binutils и GCC для данной архитектуры), либо собрать его самостоятельно В скором времени проектом LFA будут подготовлены как инструкции по сборке такого кросс-компилятора (они не будут входить в состав основного руководства, а будут доступны отдельно) и готовая версия такого кросс-компилятора.

¹ Это модуль языка Python, который может быть установлен с помощью пакетного менеджера pip (входит в состав Python и обычно устанавливается вместе с ним), либо с помощью пакетного менеджера вашего дистрибутива, если в его репозиториях поставляются пакеты для Python (в таком случае имя пакета, содержащего Python-модуль setuptools, может быть python-setuptools или python3-setuptools). Использование пакетного менеджера вашего дистрибутива вместо pip предпочтительнее, поскольку в таком случае setuptools будут установлены именно в систему, откуда интерпретатор Python будет иметь к нему доступ. С недавнего времени пакетный менеджер pip отключил «глобальную»

установку Python-модулей в систему по умолчанию, став предпочитать установку модулей в виртуальное окружение Python.

О времени сборки пакетов

Время сборки пакетов во многом зависит от мощности компьютера. Но также на время влияют и иные факторы, такие как, например, версия компилятора и системы сборки, а также использование многопоточной сборки.

Поскольку от компьютера к компьютеру время сборки может меняться (на одном ПК пакет some-pkg собирается за 3 минуты, а на другом тот же some-pkg — за 3 недели), в руководстве введена специальная единица времени, которая называется «ОВС» (Относительное Время Сборки).

1 ОВС равна времени сборки первого пакета. К примеру, если первый пакет в этом руководстве собирается за 3 минуты, то 1 ОВС = 3 мин. Если время сборки какого-то пакета = 10 ОВС, то, переводя в минуты, это будет 30 минут.

OBC не даёт совсем точных значений, поскольку они зависят от многих факторов, включая версию компилятора GCC на хост-системе. ОВС нужна для *примерной* оценки времени сборки пакета.

Обратите своё внимание на то, что в данном руководстве некоторые пакеты предлагается конфигурировать перед сборкой вам самим (например, пакеты BusyBox, Linux, U-Boot). В зависимости от выставленных вами параметров сборки изменится и время сборки. ОВС, указанные в руководстве для всех пакетов, высчитывались с учётом *стандартных* настроек сборки пакетов.

Самостоятельное вычисление ОВС

Для того, чтобы самостоятельно вычислить время сборки пакета, введите следующую команду для сборки:

Создание пользователя Ifa

Рекомендуем выполнять сборку от имени отдельного пользователя, у которого будет доступ только к ограниченному набору файлов. Не рекомендуем вам собирать систему от имени текущего пользователя или пользователя root, так как, если вы ошиблись в наборе команд для сборки, есть вероятность порчи или потери пользовательских данных или поломки системы.

Вы можете использовать произвольного пользователя, но для упрощения настройки чистого рабочего окружения создайте нового пользователя с именем lfa как члена группы lfa:

А Внимание

Если вы читаете PDF-версию руководства и хотите *скопировать* из него команды далее в терминал, рекомендуем вам не делать этого. Несмотря на то, что сами команды корректные (и правильно отображаются в PDF-книге), при копировании зачастую в буфер обмена попадают некорректные данные (такой проблемы нет, если вы читаете обычную HTML-версию LFA). Рекомендуем *перепечатывать* команды из PDF-версии LFA.

groupadd lfa useradd -s /bin/bash -g lfa -m -k /dev/null lfa

Значения новых параметров:

groupadd lfa - СОЗДАЁТ НОВУЮ ГРУППУ lfa.

- -s /bin/bash указывает /bin/bash оболочкой по умолчанию для пользователя lfa.
- -g lfa добавляет пользователя lfa в группу lfa.

- -m создаёт домашнюю директорию пользователя lfa (по умолчанию в /home/lfa).
- -k /dev/null предотвращает копирование файлов из /etc/skel каталога, в котором содержатся стандартные конфиги и иные файлы, которые обычно копируются в домашнюю директорию пользователя во время его создания.

Когда вы находитесь в терминале от имени пользователя root и переключаетесь на пользователя lfa, вам не требуется ввода пароля lfa. Однако когда вы переключаетесь на lfa с обычного пользователя, без пароля у вас не получится этого сделать.

Задайте для пользователя lfa новый пароль:

passwd lfa

A

Внимание

Теперь вам необходимо войти от имени lfa. Для этого выполните:

su - lfa

Если вы прервали сборку LFA досрочно и хотите продолжить её спустя какое-то время, то вам нужно будет выполнить вход в этого пользователя снова с помощью этой же команды.

Настройка окружения

После того, как вы создали нового пользователя, от имени которого будете собирать LFA, нужно настроить его окружение. Как минимум, требуется объявить ряд переменных окружения, которые мы будем использовать при сборке программ. В таких переменных содержатся сведения, неизменные от пакета к пакету. Например, путь, куда нужно устанавливать программы, целевая архитектураи т.п. Если после создания пользователя вы вошли в терминале от его имени, то приступайте к выполнению инструкций ниже. В противном случае от вас требуется сначала войти от имени lfa с помощью команды su – lfa.

Первым делом требуется создать файл ~/.bash_profile:

```
cat > ~/.bash_profile << "EOF"
exec env -i HOME=$HOME TERM=$TERM PS1='\u:\w\$ ' /bin/bash
EOF</pre>
```

При входе в систему от имени пользователя lfa начальной оболочкой обычно является оболочка входа в систему, которая читает файл /etc/profile, содержащий основные общесистемные настройки и переменные окружения, а затем ~/.bash_profile. Команда exec env -i ... /bin/bash в последнем заменяет запущенную оболочку новой с абсолютно пустым окружением, за исключением переменных \$номе, \$текм и \$PS1. Это гарантирует нам, что никакие нежелательные и потенциально опасные переменные окружения из хост-системы не «просочатся» в нашу среду сборки.

Новый экземпляр оболочки вместо /etc/profile и ~/.bash_profile будет читать уже файл ~/.bashrc. Создайте его:

```
cat > ~/.bashrc << "EOF"
set +h
umask 022
unset CFLAGS
LFA=$HOME/lfa
LC_ALL=C
PATH=$LFA/tools/bin:/bin:/usr/bin
export LFA LC_ALL PATH
EOF</pre>
```

Применение изменений

Для того, чтобы применить внесённые нами изменения, выполните:

```
source ~/.bash_profile
```

Значения параметров ~/.bashrc:

Команда set +h отключает хеш-функцию BASH. Хеширование в общем случае является полезной вещью, поскольку BASH использует хеш-таблицу для запоминания полного пути к исполняемым файлам, чтобы не искать путь до исполняемого файла в \$PATH снова и снова. Однако новые программы для сборки, которые мы только что установили в \$LFA/tools/bin, требуется использовать сразу же после их установки. После отключения хеширования оболочка BASH сразу найдёт только что установленные программы, не вспоминая о предыдущей версии программы в другом месте.

Исполнение команды umask 022 гарантирует, что вновь созданные файлы и каталоги могут быть записаны только их владельцем, но могут быть прочитаны и исполнены любым пользователем.

Далее во избежание сбоев во время сборки кросс-компилятора нам требуется «удалить» переменную окружения CFLAGS.

Переменная окружения LFA содержит путь до дитректории, в которой будем собирать систему.

LC_ALL управляет локализацией программ, заставляя сообщения, которые они выводят в терминал, следовать конвенциям указанной в этой переменной страны. Во избежание проблем сборки любые значения LC_ALL, отличные от POSIX или с, использовать не рекомендуется.

Переменная окружения ратн содержит пути до директорий, в которых содержатся исполняемые файлы. Благодаря этой переменной в терминале мы можем просто ввести some_program вместо указания полного пути /usr/bin/some_program. В эту переменную мы добавляем путь до двоичных исполняемых файлов собираемого нами кросс-компилятора (\$LFA/tools/bin), а также «стандартные» для хост-системы директории /bin и /usr/bin. Указание пути до кросс-компилятора раньше, чем путей до других инструментов вкупе с отключением хеширования гарантирует, что для сборки системы у нас будут использованы только нужные программы из кросс-компилятора, а не из хост-системы.

Установка переменных сборки

В данной части будет произведена установка ряда важных переменных, которые будут использоваться для сборки программ. Определите, для какой архитектуры семейства ARM вы будете собирать систему и в зависимости от этого выбирайте набор нужных вам переменных. Обращаем ваше внимание на то, что LFA предназначена в первую очередь для процессоров с архитектурой AArch64. Работа LFA на других архитектурах не проверялась. Поддержка других архитектур оставлена здесь "в наследие" от оригинальной CLFS.

То, что это дополнительные переменные окружения, совсем не значит, что они являются необязательными. Мы вынесли объявление этих переменных окружения в отдельную страницу потому, что на предыдущей странице шла речь об общих переменных окружения. Переменные же на текцщей странице предназначены исключительно для сборки ПО. Кроме того, если для общих переменных существует один единственный шаблон, который можно использовать для всех сборок LFA, то значения для переменных на данной странице пользователь выбирает самостоятельно в зависимости от оборудования, для которого он собирает эту систему.

Хост и цель

Напомним вам, что такое хост-компьютер и целевой компьютер. *Хост-компьютер* (host) — это ПК, на котором вы собираете кросс-компилятор и прочие вещи. А *целевой компьютер* (target) — тот ПК, для которого вы это собираете. В данном руководстве хост-компьютером является компьютер на архитектуре x86_64, а целевым — компьютер на архитектуре AArch64.

В настоящее время мы составляем список процессоров (бренд процессора, модель процессора, его архитектура и модели ПК, где он применяется), в котором будут указаны полные сведения о том, какие значения используются для переменных LFA_FPU, LFA_ARCH И LFA_TGT.

В случае, если вы собрали систему, используя определённые значения, то, пожалуйста, оставьте запрос в нашем репозитории GitHub по этому поводу. Укажите бренд процессора, еего модель и его архитектуру, а также модель компьютера, для которого вы собирали систему. Кроме того, совсем не лишним будет, если вы укажете, как собралась ваша система: собралась ли она корректно или были всевозможные ошибки в процессе сборки или в процессе её функционирования.

Пример такого запроса (issue):

```
# Сборка системы для компьютера Orange Pi 3 LTS
- **Бренд процессора:** Allwinner
- **Модель процессора:** Allwnner H6
- **Архитектура:** Cortex-A53 (AArch64)
- **Статус сборки:** система собралась нормально
- **Статус функционирования:** система работает корректно
## Значения переменных сборки
`LFA_TGT`=`aarch64-linux-musleabihf`
`LFA_HOST`=`...`
`LFA ARCH`=`armv8-a`
```

Для архитектуры AArch64

Для сборки кросс-компилятора вам нужно задать несколько переменных, которые будут зависеть от того, для какого оборудования вы хотите собрать LFA. Вам нужно выбрать триплет для целевой архитектуры, архитектуру процессора и т.д. Для выбора нужных значений пользуйтесь приведёнными на данной странице таблицами.

Установите триплеты для хоста и целевой машины:

```
export LFA_HOST=$(echo ${MACHTYPE} | sed "s/-[^-]*/-cross/")
export LFA_TGT="aarch64-linux-musleabihf"
```

Выберите архитектуру, для которой будете собирать систему:

```
export LFA_ARCH="архитектура"
```

ARCH	ARCH	ARCH	ARCH
armv8-a	armv8-m	armv8	armv8-r
armv8.1-a	armv8.1-m	armv8.1-r	

Например, для процессоров Cortex-A53 \$LFA_ARCH="armv8-a".

Запишите эти переменные в ~/.bashrc, чтобы не вводить их значения каждый раз после входа от имени пользователя lfa:

```
cat >> ~/.bashrc << EOF
export LFA_HOST="$LFA_HOST"
export LFA_TGT="$LFA_TGT"
export LFA_ARCH="$LFA_ARCH"
FOF</pre>
```

А Внимание

Далее и на протяжении всего руководства, если вы собираете систему для AArch64, то **не используйте** переменные окружения \$LFA_FLOAT и \$LFA_FPU, а также пропускайте при вводе команд строки, содержащие эти переменные окружения. Например, если вы собираете систему для AArch64, то скрипту configure не следует передавать эти аргументы:

```
--with-float=$LFA_FLOAT \
--with-fpu=$LFA_FPU
```

Для других архитектур

Если ваш процессор — ARM9, хорошие варианты: триплет из arm-linux-musleabi, архитектура — armv5t и поддержка плавающей запятой — soft. ARM9-процессоры обычно не имеют аппаратных возможностей работы с плавающей запятой.

Для сборки кросс-компилятора вам нужно задать несколько переменных, которые будут зависеть от того, для какого оборудования вы хотите собрать LFA. Вам нужно выбрать триплет для целевой архитектуры, архитектуру процессора и т.д. Для выбора нужных значений пользуйтесь приведёнными на данной странице таблицами.

Если ваш целевой процессор имеет аппаратную поддержку плавающей запятой, то установите переменную LFA_FLOAT в значение hard или softfp. Используйте softfp, если в будущем вы будете использовать в собранной системе ещё и программы, скомпилированные с помощью soft. В противном случае используйте hard. Если ваш целевой процессор не поддерживает плавающую запятую, используйте в качестве значения LFA_FLOAT soft:

export LFA_FLOAT="[hard, soft или softfp]"

Если вы выбрали hard или softfp для LFA_FLOAT, то теперь вам нужно установить, какое оборудование для работы с плавающей запятой используется в целевом процессоре (согласно таблице ниже):

export LFA_FPU="одно из значений из таблицы ниже"

FPU	FPU	FPU	FPU
fpa	fpe2	fpe3	maverick
vfp	vfpv3	vfpv3-fp16	vfpv3-d16
vfpv3-d16-fp16	vfpv3xd	vfpv3xd-fp16	neon

FPU	FPU	FPU	FPU
neon-fp16	vfpv4	vfpv4-d16	fpv4-sp-d16
neon-vfpv4			

Установите триплеты для хоста и целевой машины:

```
export LFA_HOST=$(echo ${MACHTYPE} | sed "s/-[^-]*/-cross/")
export LFA_TGT="триплет для целевой машины"
```

Значение \$LFA_FLOAT	Триплет	
soft ИЛИ softfp	arm-linux-musleabi	
hard	arm-linux-musleabihf	

Выберите архитектуру, для которой будете собирать систему:

export LFA_ARCH="архитектура"

ARCH	ARCH	ARCH	ARCH
armv4t	armv5t	armv5te	armv6
armv6j	armv6k	armv6kz	armv6t2
armv6z	armv6-m	armv7	armv7-a
armv7-r	armv7-m	armv9-a	armv9

Запишите эти переменные в ~/.bashrc, чтобы не вводить их значения каждый раз после входа от имени пользователя lfa:

```
cat >> ~/.bashrc << EOF
export LFA_HOST="$LFA_HOST"
export LFA_TGT="$LFA_TGT"
export LFA_ARCH="$LFA_ARCH"
export LFA_FLOAT="$LFA_FLOAT"
export LFA_FPU="$LFA_FPU"
EOF</pre>
```

Создание основных каталогов

Создайте каталог, в котором будет содержаться файлы кросс-компилятора. Для того, чтобы постоянно не указывать путь до него при сборке пакетов, объявите новую переменную окружения \$LFA_cross:

```
export LFA_CROSS=$LFA/tools/$LFA_TGT

mkdir -pv $LFA_CROSS
ln -svf . $LFA_CROSS/usr

echo "export LFA_CROSS=\$LFA/tools/\$LFA_TGT" >> ~/.bashrc
```

Кроме того, вам необходимо создать директорию, где будет храниться исходный код компонентов:

```
mkdir -v src
```

В итоге в домашней папке пользователя lfa будет примерно такая структура файлов:

```
/home/lfa
|-- lfa/
| `-- tools/
| `-- aarch64-linux-musleabihf/
| `-- usr/ -> .
`-- src/
```

И содержимое файла ~/.bashrc после всех записей в него (в зависимости от выбранной вами архитектуры его содержимое может незначительно меняться):

```
set +h
umask 022
unset CFLAGS
LFA=$HOME/lfa
LC_ALL=C
PATH=$LFA/tools/bin:/bin:/usr/bin
export LFA LC_ALL PATH
export LFA_HOST="x86_64-cross-linux-gnu"
export LFA_TGT="aarch64-linux-musleabihf"
export LFA_ARCH="armv8-a"
export LFA_CROSS=$LFA/tools/$LFA_TGT
```

Скачивание пакетов

Перейдите в директорию src/, которую вы создали ранее:

```
cd src/
```

Скачайте файлы wget-list и md5sums, которые будут использованы для скачивания исходного кода компонентов системы:

```
wget https://raw.githubusercontent.com/Linux-for-
ARM/handbook/master/wget-list
wget https://raw.githubusercontent.com/Linux-for-
ARM/handbook/master/md5sums
```

И скачайте системные компоненты:

```
wget --input-file=wget-list --continue
```

Для проверки корректности скачивания пакетов вам нужно воспользоваться файлом md5sums:

```
md5sum -c md5sums
```

Сборка кросс-компилятора

В данной главе вы соберёте кросс-компилятор, необходимый для дальнейшей сборки LFA. Подробные сведения о том, зачем это нужно, вы можете получить в дополнительных материалах.

Внимание

Перед выполнением инструкций по сборке пакета необходимо распаковать его от имени пользователя lfa и перейти распакованную директорию с исходным кодом пакета (обычно директория имеет то же имя, что и архив с исходниками, но без расширения .tar.*) с помощью команды cd имя_директории. В инструкциях по сборке предполагается, что используется командная оболочка BASH или совместимая с ней.

Во время компиляции большинства пакетов на экран будут выводиться различные сообщения, в том числе и предупреждения. Это предупреждения как правило об устаревшем использовании синтаксиса языка программирования С. Это не является проблемой, но вызывает предупреждение.

🛕 Внимание

После установки пакета как в этой, так и в следующих главах, перейдите обратно в директорию src/ (командой cd .. или cd ../.. если сборка производилась в отдельной директории), а затем удалите каталог, в котором вы собирали этот пакет.

linux-headers

Заголовочные файлы ядра Linux, необходимые для сборки кросскомпилятора

• Версия: 6.6.6

• Домашняя страница: https://www.kernel.org

• Время сборки: 0.5 ОВС

A

Внимание

Обратите внимание, что исходный код linux-headers содержится в архиве с ядром Linux-6.6.6

Настройка

Убедитесь, что дерево исходного кода Linux чистое и не содержит лишних файлов:

make mrproper

Установка

make ARCH=arm64 INSTALL_HDR_PATH=\$LFA_CROSS headers_install

А Внимание

Обратите внимание на аргумент ARCH=arm64. Для 32-битных процессоров нужно заменить этот аргумент на ARCH=arm.

Например, если ваш процессор имеет 64-битную архитектуру (ARMv8 или ARMv8.1), то оставьте этот аргумент без изменений. Однако если у вас иная 32-битная архитектура, то замените ARCH=arm64 на ARCH=arm.

Если во время установки заголовков ядра (в частности, при исполнении второй команды headers_install) у вас возникли ошибки, проверьте, установлена ли в системе программа rsync.

Значения новых параметров:

ARCH=arm64 - указывает make устанавливать заголовки для архитектуры arm64.

INSTALL_HDR_PATH=\$LFA_CROSS - указывает *префикс*, в который будут установлены заголовки.

~

• Установленные заголовки: \$LFA_CROSS/include/{asm,asm-generic,drm,linux,misc,mtd,rdma,scsi,sound,video,xen}/*.h

Описание компонентов

- \$LFA_CROSS/include/asm/*.h Заголовки Linux API ASM.
- \$LFA_CROSS/include/asm-generic/*.h общие заголовки Linux API ASM.
- \$LFA_CROSS/include/drm/*.h Заголовки Linux DRM.
- \$LFA_CROSS/include/linux/*.h Заголовки Linux API.
- \$LFA_CROSS/include/misc/*.h различные заголовки Linux API.
- \$LFA_CROSS/include/mtd/*.h Заголовки Linux API MTD.
- \$LFA_CROSS/include/rdma/*.h Заголовки Linux API RDMA.
- \$LFA_CROSS/include/scsi/*.h Заголовки Linux API SCSI.
- \$LFA_CROSS/include/sound/*.h заголовки Linux API для работы со звуком.
- \$LFA_CROSS/include/video/*.h заголовки Linux API для работы с видео.
- \$LFA_CROSS/include/xen/*.h Заголовки Linux API XEN.

Смотрите также:

- Сборка ПО из исходного кода;
- Кросс-компилятор.

binutils

Этот пакет содержит компоновщик, ассемблер и другие утилиты для работы с объектными файлами.

• Версия: 2.42

• Домашняя страница: https://www.gnu.org/software/binutils

• **Время сборки:** 1 ОВС

Настройка

Сборка пакета binutils должна происходить в отдельном каталоге. Создайте его:

```
mkdir -v build
cd build
```

Запустите скрипт configure для генерации предназначенных для сборки файлов Makefile:

```
../configure --prefix=$LFA/tools \
   --target=$LFA_TGT \
   --with-sysroot=$LFA_CROSS \
   --disable-nls \
   --enable-gprofng=no \
   --disable-werror \
   --disable-multilib
```

Значения новых параметров:

--prefix=\$LFA/tools - указывает скрипту configure подготовиться к установке пакета в директорию \$LFA/tools.

- --target=\$LFA_TGT создаёт кросс-архитектурный исполняемый файл, который запускается на x86_64-системе, но создаёт файлы для \$LFA_TGT -архитектуры.
- --with-sysroot=\$LFA_CROSS сообщает configure, что \$LFA_CROSS будет корнем кросс-компилятора.
- --disable-nls отключает сборку пакета с поддержкой интернационализации и локализации. В кросс-компиляторе это не нужно.
- --enable-gprofng=no отключает сборку gprofng, который не нужен в кросс-компиляторе.
- --disable-werror отключает остановку сборку при возникновении предупреждений.
- --disable-multilib отключает сборку multilib.

Сборка

make configure-host
make

Значения новых параметров:

make configure-host - проверяет окружение хоста и убеждается, что все необходимые инструменты доступны для компиляции bintuils.

Установка

make install

- Установленные программы: addr2line, ar, as, c+filt, elfedit, gprof, ld, nm, objcopy, objdump, ranlib, readelf, size, strings, strip.
- Установленные библиотеки: libibery.a, libbbfd.{a,so}, libopcodes.{a,so}

Описание компонентов

• Программы:

- addr2line транслирует адреса программ в имена файлов и номера строк. Если задан адрес и имя исполняемого файла, он использует отладочную информацию в нём, чтобы определить, какой исходный файл или номер строки связаны с этим адресом.
- o ar создаёт, изменяет и распаковывает ar-архивы.
- as GNU-ассемблер, который используется, в частности, в gcc.
- o c++filt используется компоновщиком для "распутывания" символов C++ и Java и предотвращения столкновения перегруженных функций.
- o elfedit получает и изменяет метаданные ELF-файлов.
- o gprof отображение данных профиля графика вызовов.
- ld компоновщик, который объединяет несколько объектных и архивных файлов в один файл, перемещая их данные и связывая символьные ссылки.
- onm перечисляет символы, встречающиеся в данном объектном файле.
- objcopy копирует содержимое одного объектного файла в другой.
- objdump отображает информацию о данном объектном файле.
- o ranlib генерирует индекс содержимого архива и сохраняет его в архиве.

- o readelf отображает информацию об ELF-файле.
- o size перечисляет размеры секций ELF-файла и размер для заданных файлов объектов.
- strings выводит для каждого заданного файла последовательности печатаемых символов, длина которых не меньше указанной (по умолчанию - четыре); для объектных файлов по умолчанию выводятся только строки из секций инициализации и загрузки, а для других типов файлов сканируется весь файл.
- o strip удаляет символы из объектных файлов.

• Библиотеки:

- libiberty содержит функции, используемые различными программами GNU, включая getopt, obstack, strerror, strtoul.
- libbfd библиотека дескрипторов двоичных файлов.
- libopcodes библиотека для работы с опкодами "читабельными текстовыми" версиями инструкций для процессора. Используется, например, в objdump.

gcc (проход 1)

Набор компиляторов GNU GCC.

• **Версия:** 13.2.0

• Домашняя страница: https://gcc.gnu.org

• Время сборки: 8 ОВС

🛕 Внимание

Сейчас нам нужно собрать GCC со статической библиотекой libgcc и без поддержки многопоточности. Этот первый проход сборки делается главным образом для того, чтобы мы могли собрать с помощью этого компилятора стандартную библиотеку С (musl).

Подготовка

GCC требует, чтобы пакеты GMP, MPFR и MPC либо присутствовали на хосте, либо представлены в виде исходных текстов в дереве исходного кода GCC. Распакуйте их:

```
tar -xf ../gmp-6.3.0.tar.xz
tar -xf ../mpc-1.3.1.tar.gz
tar -xf ../mpfr-4.2.1.tar.xz
mv - v gmp-6.3.0 gmp
mv - v mpc-1.3.1 mpc
mv -v mpfr-4.2.1 mpfr
```

Настройка

Сборка пакета дсс должна происходить в отдельном каталоге. Создайте его:

```
mkdir -v build
cd build
```

Запустите скрипт configure:



А Внимание

Далее и на протяжении всего руководства, если вы собираете систему для AArch64, то **не используйте** переменные окружения \$LFA_FL0AT и \$LFA_FPU, а также пропускайте при вводе команд строки, содержащие эти переменные окружения. Например, если вы собираете систему для AArch64, то скрипту configure не следует передавать эти аргументы:

```
--with-float=$LFA_FLOAT \
--with-fpu=$LFA_FPU
```

```
../configure --prefix=$LFA/tools \
 --build=$LFA_HOST \
 --host=$LFA_HOST \
 --target=$LFA_TGT \
 --with-sysroot=$LFA_CROSS \
 --disable-nls \
 --disable-shared \
 --without-headers \
 --with-newlib \
 --enable-default-pie \
 --enable-default-ssp \
 --disable-decimal-float \
 --disable-libgomp \
 --disable-libmudflap \
 --disable-libssp \
 --disable-libvtv \
 --disable-libstdcxx \
 --disable-libatomic \
 --disable-libquadmath \
 --disable-threads \
 --enable-languages=c \
 --disable-multilib \
 --with-arch=$LFA_ARCH \
 --with-float=$LFA_FLOAT \
 --with-fpu=$LFA_FPU
```

Значения новых параметров:

--host=\$LFA_HOST - указывает configure триплет машины, на которой будет выполняться GCC при кросс-компиляции. \$LFA_HOST содержит название архитектуры хоста, на которой будем производить кросс-компиляцию для архитектуры \$LFA_TGT.

--disable-shared - этот переключатель заставляет GCC связывать свои внутренние библиотеки статически.

--without-headers - указывает configure не использовать никаких заголовков из библиотек С. Это необходимо, поскольку мы ещё не собрали библиотеку С и чтобы предотвратить влияние окружения хоста.

--with-newlib - собрать libgcc без использования библиотек С.

- --enable-default-pie, --enable-default-ssp позволяют GCC по умолчанию компилировать программы с некоторыми средствами усиления безопасности.
- --disable-decimal-float отключить поддеркжу десятичной плавающей запятой (IEEE 754-2008). Нам это пока не нужно.
- --disable-libgomp не собирать библиотеки времени выполнения GOMP.
- --disable-libmudflap не собирать библиотеку libmudflap (библиотека, которая может быть использована для проверки правильности использования указателей).
- --disable-libssp не собирать библиотеки времени выполнения для обнаружения разбиения стека.
- --disable-libvtv не собирать libvtv.
- --disable-libstdcxx не собирать стандартную библиотеку С++.
- --disable-libatomic не собирать атомарные операции.
- --disable-libquadmath не собирать libquadmath.
- --disable-threads не искать многопоточные заголовочные файлы, поскольку для этой архитектуры (\$LFA_TGT) их ещё нет. GCC сможет найти их после сборки стандартной библиотеки C.
- --enable-languages=c указывает configure собирать компилятр языка С.
- --disable-multilib поддержка multilib нам не нужна.
- --with-arch=\$LFA_ARCH устанавливает выбранную ранее архитектуру ARM.
- --with-float=\$LFA_FLOAT устанавливает ранее выбранный режим работы с плавающей запятой.

--with-fpu=\$LFA_FPU - устанавливает тип аппаратной плавающей запятой. Если \$LFA_FPU="soft", это значение игнорируется.

Сборка

make all-gcc all-target-libgcc

Установка

make install-gcc install-target-libgcc

/ Содержимое пакета

На данный момент знать содержимое пакета GCC вам не требуется, поскольку сейчас мы собрали лишь небольшую его часть, предназначенную только для компиляции стандартной библиотеки C (musl). Информация о содержимом пакета GCC содержится на втором проходе сборки GCC.

musl

Минималистичная стандартная библиотека языка С.

• Версия: 1.2.5

• Домашняя страница: https://musl.libc.org

• **Время сборки:** 0.2 OBC

Настройка

```
./configure CROSS_COMPILE=$LFA_TGT- \
   --prefix=/ \
   --target=$LFA_TGT
```

Сборка

make

Установка

```
make DESTDIR=$LFA_CROSS install
```

🧪 Содержимое пакета

- Установленные программы: ld-musl
- Установленные библиотеки: libc.so.0, libcrypt.so.0, libdl.so.0, libm.so.0, libpthread.so.0, librt.so.0

Описание компонентов

- Программы:
 - ∘ ld-musl динамический компоновщик/загрузчик musl.
- Библиотеки:
 - o libc библиотека языка С.
 - libcrypt криптографическая библиотека.
 - libdl библиотека для динамического компоновщика/ зарузчика.
 - libm математическая библиотека.
 - o libpthread библиотека потоков POSIX.
 - o librt библиотека часов и таймера.

gcc (проход 2)

Набор компиляторов GNU GCC.

• Версия: 13.2.0

• Домашняя страница: https://gcc.gnu.org

• Время сборки: 8 ОВС

🛕 Внимание

Сейчас мы собираем полноценную версию компилятора GCC для сборки остальной системы, используя уже готовую стандартную библиотеку С.

Подготовка

```
tar -xf ../gmp-6.3.0.tar.xz
tar -xf ../mpc-1.3.1.tar.gz
tar -xf ../mpfr-4.2.1.tar.xz
mv - v gmp-6.3.0 gmp
mv - v mpc-1.3.1 mpc
mv -v mpfr-4.2.1 mpfr
```

Настройка

🛕 Внимание

Если вы собираете систему для AArch64, то не используйте переменные окружения \$LFA_FLOAT и \$LFA_FPU, а также пропускайте при вводе команд строки, содержащие эти переменные окружения. Например, если вы собираете систему для AArch64, то скрипту configure не следует передавать эти аргументы:

```
--with-float=$LFA_FLOAT \
--with-fpu=$LFA_FPU
```

```
mkdir -v build
cd build
../configure --prefix=$LFA/tools \
  --build=$LFA_HOST \
  --host=$LFA_HOST \
  --target=$LFA_TGT \
  --with-sysroot=$LFA_CROSS \
  --disable-nls \
  --enable-languages=c \
  --enable-c99 \
  --enable-long-long \
  --disable-libmudflap \
  --disable-multilib \
  --with-arch=$LFA_ARCH \
  --with-float=$LFA_FLOAT \
  --with-fpu=$LFA_FPU
```

Сборка

make

Установка

make install

🧪 Содержимое пакета

- Установленные программы: gcc , gcov
- Установленные библиотеки: libgcc.a, libgcc_eh.a, libgcc_s.so

Описание компонентов

- Программы:
 - ∘ gcc компилятор языка С.
 - gcov инструмент для тестирования покрытия, используется для анализа программ, чтобы определить, где оптимизация даст наибольший эффект.

Проверка кросс-компилятора

На данном этапе необходимо убедиться, что установленные ранее пакеты работают правильно. Внимательно изучите результаты вывода команд, и проверьте, что они строго соответствуют результатам вывода, приведенным ниже. Если есть несоответствия, значит инструкции на предыдущих этапах были выполнены некорректно.

Проверьте, используется ли правильный загрузчик программ:

```
echo "int main() {}" > main.c

$LFA_TGT-gcc -xc main.c
readelf -l a.out | grep "program interpreter"
```

Вывод должен быть таким:

```
[Requesting program interpreter: /lib/ld-musl-aarch64.so.1]
```

Если вы собирали систему для другой архитектуры семейства ARM, то различие будет в подстроке ld-musl-aarch64.so.1: вместо aarch64 должно быть имя той архитектуры, для которой предназначен кросскомпилятор.

Если вывод не такой, как показано выше, или его вообще нет, значит, что что-то пошло не так. Исследуйте и проследите все шаги сборки всех пакетов до этого этапа, чтобы найти причину проблемы и устранить её. Прежде чем продолжать сборку LFA, необходимо решить эту проблему.

Удалите тестовый файл:

```
rm -v a.out
```

Очистка и сохранение

Удаление лишних файлов

Сборка кросс-компилятора завершена. Теперь нужно очистить директорию с исходным кодом (~/src) от лишних подкаталогов, образовавшихся во время сборки. Выполните команду:

```
for f in *; do
  if [ -d $f ]; then
  rm -rf $f
  fi
done
```

Эта команда удалит все директории в src/, оставив только архивы с исходным кодом ПО.

Значения новых параметров:

for f in \star - символ \star в данном случае означает "все файлы в текущей директории". Мы проходимся по содержимому src/ для удаления лишних файлов.

if [-d \$f] - выполняем проверку того, что файл \$f - это директория. Поскольку мы удаляем распакованные из архивов директории, то нам нужно удалить только их, оставив архивы с исходным кодом не тронутыми.

rm -rf \$f - если \$f - директория, то удалить её.

А Внимание

Не удаляйте саму директорию \$LFA/tools. Кросс-компилятор будет удалён только после окончания сборки базовой системы. В случае, если после сборки базовой системы вы захотите собрать дополнительное ПО, которое не описано в этом руководстве, то сборка будет также производиться посредством этого кросс-компилятора, поэтому не удаляйте его до тех пор, пока не окончите сборку всех необходимых вам программ.

Сохранение

Если вы собираетесь использовать этот кросс-компилятор для последующих сборок системы LFA, то рекомендуем вам сделать его резервную копию:

```
cd $LFA
tar -cJpf $HOME/lfa-cross-compiler-1.0.tar.xz .
```

Этой командой вы создадите apxuв /home/lfa/lfa-cross-compiler1.0.tar.xz C содержимым директории /home/lfa/lfa, которая содержит в подкаталоге tools/ кросс-компилятор. В аpxuв не будет добавлен исходный код компонентов системы, поскольку он находится в другой директории (/home/lfa/src/).

Объявление дополнительных переменных

Теперь вам нужно объявить переменную \$LFA_SYS, которая будет содержать путь до директории, в которой будет находиться собираемая базовая система LFA:

```
export LFA_SYS=$LFA/base0S
echo "export LFA_SYS=\$LFA/base0S" >> ~/.bashrc
```

Объявите переменные, содержащие пути до собранных компилятора, компоновщика и иных инструментов:

```
cat >> ~/.bashrc << EOF
export CC="$LFA_TGT-gcc --sysroot=$LFA_SYS"
export CXX="$LFA_TGT-g++ --sysroot=$LFA_SYS"
export AR="$LFA_TGT-ar"
export AS="$LFA_TGT-as"
export LD="$LFA_TGT-ld --sysroot=$LFA_SYS"
export RANLIB="$LFA_TGT-ranlib"
export READELF="$LFA_TGT-readelf"
export STRIP="$LFA_TGT-strip"
EOF</pre>
```

И примените изменения:

```
source ~/.bashrc
```

Сборка базовой системы

В этой главе мы начинаем всерьёз собирать систему LFA, используя кросскомпилятор из предыдущей главы. Порядок установки пакетов в этой главе должен строго соблюдаться, чтобы ни одна программа случайно не приобрела путь, ссылающийся на кросс-компилятор. По этой же причине не собирайте пакеты параллельно. Сборка сразу нескольких пакетов за раз хоть и уменьшит общее время сборки LFA, но это приведёт к неправильной компиляции и, как следствие, неработоспособности базовой ОС.

Если вы хотите ускорить сборку системы, то лучше использовать многопоточную сборку пакетов. Для этого добавьте к команде make ключ –jN, где N - число потоков вашего процессора. Например:

make -j4

Кроме того, чтобы каждый раз не указывать –jn, вы можете объявить переменную окружения макегLags, содержащую эту опцию:

export MAKEFLAGS="-jN"

Создание файлов и каталогов

Директория базовой ОС

Создайте директорию, в которой будут находиться файлы собранной базовой ОС:

```
mkdir -pv $LFA_SYS
```

Стандартные системные каталоги базовой ОС

Теперь пришло время создать некоторую структуру в целевой файловой системе базовой ОС. Создайте стандартное дерево каталогов, выполнив следующие команды:

```
mkdir -pv $LFA_SYS/{bin,boot,dev,etc,home}
mkdir -pv $LFA_SYS/lib/{firmware,modules}
mkdir -pv $LFA_SYS/{mnt,opt,proc,sbin,srv,sys}
mkdir -pv $LFA_SYS/var/{cache,lib,local,lock,log,opt,run,spool}
mkdir -pv $LFA_SYS/usr/{,local/}{bin,include,lib,sbin,share,src}
install -dv -m 0750 $LFA_SYS/root
install -dv -m 1777 $LFA_SYS/{var/,}tmp
```

б Проверьте себя

После исполнения данных команд в директории \$LFA_SYS должна быть такая структура:

```
/home/lfa/lfa/baseOS
|-- bin
-- boot
-- dev
-- etc
|-- home
|-- lib
 |-- firmware
   `-- modules
|-- mnt
|-- opt
|-- proc
-- root
|-- sbin
-- srv
|-- sys
|-- tmp
|-- usr
    |-- bin
    |-- include
    |-- lib
    |-- local
        |-- bin
        |-- include
        |-- lib
        |-- sbin
        |-- share
        `-- src
    |-- sbin
    |-- share
    `-- src
-- var
    |-- cache
    |-- lib
    |-- local
    |-- lock
    |-- log
    |-- opt
    |-- run
    |-- spool
    `-- tmp
```

Создание ряда системных файлов

Обычно системы Linux хранят список смонтированных файловых систем в /etc/mtab. С учётом того, как устроена наша система, в качестве /etc/mtab в ней будет выступать ссылка на /proc/mounts:

```
ln -svf ../proc/mounts $LFA_SYS/etc/mtab
```

Для того, чтобы пользователь root мог войти в систему и чтобы имя root было распознано, создайте в файлах /etc/passwd и /etc/group соответствующие записи:

```
cat > $LFA_SYS/etc/passwd << "EOF"
root::0:0:root:/root:/bin/ash
EOF

cat > $LFA_SYS/etc/group << "EOF"
root:x:0:
EOF</pre>
```

Программы login, agetty и init используют файл lastlog для записи информации о том, кто и когда вошёл в систему. Однако они не будут ничего туда записывать, если этого файла нет. Создайте файл lastlog и дайте ему соответствующие разрешения:

```
touch $LFA_SYS/var/log/lastlog
chmod -v 664 $LFA_SYS/var/log/lastlog
```

libgcc

При компиляции динамических библиотек с помощью GCC требуется, чтобы libgcc могла быть загружена во время выполнения программы. Поэтому нам нужно скопировать библиотеку libgcc, которая ранее была собрана для кросс-компилятора.

• Версия: 13.2.0

• Домашняя страница: https://gcc.gnu.org

• **Время сборки:** 0.01 OBC

Установка

Скопируйте библиотеку в директорию собираемой ОС:

```
cp $LFA_CROSS/lib64/libgcc_s.so.1 $LFA_SYS/lib
```

Удалите из установленной библиотеки лишние для вас отладочные символы:

```
$STRIP $LFA_SYS/lib/libgcc_s.so.1
```

V

• Установленные библиотеки: libgcc_s.so.1

Описание компонентов

• libgcc_s.so.1 - при компиляции динамически линкуемых программ с помощью GCC требуется, чтобы во время выполнения такой программы была загружена библиотека libgcc_s.so.1 из состава GCC.

musl

Минималистичная стандартная библиотека языка С.

• Версия: 1.2.5

• Домашняя страница: https://musl.libc.org

• **Время сборки:** 0.2 OBC

Настройка

```
./configure CROSS_COMPILE=$LFA_TGT- \
   --prefix=/ \
   --disable-static \
   --target=$LFA_TGT
```

Сборка

make

Установка

```
make DESTDIR=$LFA_SYS install-libs
```

🧪 Содержимое пакета

- Установленные программы: ld-musl
- Установленные библиотеки: libc.so.0, libcrypt.so.0, libdl.so.0, libm.so.0, libpthread.so.0, librt.so.0

Описание компонентов

- Программы:
 - ∘ ld-musl динамический компоновщик/загрузчик musl.
- Библиотеки:
 - o libc библиотека языка С.
 - libcrypt криптографическая библиотека.
 - libdl библиотека для динамического компоновщика/ зарузчика.
 - libm математическая библиотека.
 - o libpthread библиотека потоков POSIX.
 - librt библиотека часов и таймера.

busybox

Объединяет крошечные версии многих распространённых утилит UNIX в один небольшой двоичный файл (1-2 Мбайт). Он заменяет большинство утилит, которые обычно находятся в GNU Coreutils, GNU Findutils и т.д.

• Версия: 1.36.1

• Домашняя страница: https://www.busybox.net

• **Время сборки:** 0.3 OBC

Настройка

Процесс настройки пакета busybox схож с процессом настройки ядра Linux. Параметры сборки записываются в файл .config. Можно сконфигурировать сборку в псевдографическом режиме (make menuconfig), а можно использовать стандартный конфиг (make defconfig). Вы можете сохранить файл .config для того, чтобы в будущем (в случае пересборки этой версии ВизуВох или в случае сборки новой версии этого пакета) не конфигурировать пакет вновь.

Убедитесь, что дерево исходного кода BusyBox чистое и не содержит лишних файлов:

make mrproper

Далее требуется настроить пакет BusyBox, выбрав те опции, которые вам нужны, и убрать то, что вам не требуется. В зависимости от числа выбранных опций зависит в том числе и размер вашей системы,

однако BusyBox - вещь довольно минималистичная, и на размер системы влияет больше ядро Linux, его модули и файлы Device Tree.

make ARCH=arm64 menuconfig

Процесс настройки

В разделах Archival Utilities, Coreutils, Console Utilities, Debian Utilities, klibc-utils, Editors и т.д. выберите сборку программ и утилит в зависимости от того, в каких сценариях должна использоваться ваша система LFA, а также в зависимости от её конечного размера. Конечно, на её размер куда больше будут влиять ядро и файлы, необходимые для загрузки системы, но инструкции по уменьшению размера, к примеру, ядра Linux, ищите сами на просторах интернета.

Система инициализации

Поскольку чуть позже мы установим в LFA загрузочные скрипты, нам требуется система инициализации, которая эти скрипты будет исполнять. Для этого компилируйте BusyBox с поддержкой init, halt, poweroff, reboot. Кроме того, вам нужны программы getty и login.

mdev

В данном руководстве рекомендуется использовать mdev для динамического управления устройствами в директории /dev. Включите следующие опции:

Отключение опций

После конфигурирования вам нужно отлючить ряд возможностей, с которыми мы не смогли бы корректно собрать этот пакет.

Bo-первых, отключите сборку ifplugd и inetd, поскольку их сборка вместе с musl имеет проблемы:

```
sed -i 's/\(CONFIG_\)\(.*\)\(INETD\)\(.*\)=y/# \1\2\3\4 is not set/g' .config sed -i 's/\(CONFIG_IFPLUGD\)=y/# \1 is not set/' .config
```

Отключите использование utmp/wtmp, поскольку musl их не поддерживает:

```
sed -i 's/\(CONFIG_FEATURE_WTMP\)=y/# \1 is not set/' .config sed -i 's/\(CONFIG_FEATURE_UTMP\)=y/# \1 is not set/' .config
```

Отключите использование ipsvd для TCP и UDP, поскольку у него есть проблемы сборки вместе с musl (аналогично inetd):

```
sed -i 's/\(CONFIG_UDPSVD\)=y/# \1 is not set/' .config sed -i 's/\(CONFIG_TCPSVD\)=y/# \1 is not set/' .config
```

Обычно в системах подобных LFA не требуются пакетные менеджеры типа того же dpkg. К тому же, в BusyBox предоставляется достаточно «обрезанная» версия dpkg с некоторыми ограничениями. Да и подобных LFS руководствах (в том числе и в LFA) не рекомендуется использовать подобные пакетные менеджеры во избежание проблем и поломок системы. Если вам не нужен dpkg, отключите его сборку, чем освободите около 73 Кб памяти:

```
sed -i 's/\(CONFIG_DPKG\)=y/# \1 is not set/' .config
sed -i 's/\(CONFIG_DPKG_DEB\)=y/# \1 is not set/' .config
```

Тоже самое сделайте и с версией пакетного менеджера rpm:

```
sed -i 's/\(CONFIG_RPM\)=y/# \1 is not set/' .config
sed -i 's/\(CONFIG_RPM2CPIO\)=y/# \1 is not set/' .config
```

Сборка

```
make ARCH=arm64 CROSS_COMPILE=$LFA_TGT-
```

Установка

Установите пакет:

```
make ARCH=arm64 CROSS_COMPILE=$LFA_TGT- \
   CONFIG_PREFIX=$LFA_SYS install
```

Заметьте, что BusyBox содержит множество программ, но все они объединены в один файл. Однако для удобства (чтобы, например, вводить не busybox mv file1 file2, а просто mv file1 file2 как в обычных системах) в каталогах \$LFA_SYS/bin и \$LFA_SYS/sbin

создаются ссылки на busybox с именами программ, которые содержит этот пакет.

Если вы собираетесь собирать ядро с помощью модулей, вам нужно убедиться, что depmod.pl доступен для выполнения на вашем хосте:

```
cp -v examples/depmod.pl $LFA/tools/bin
chmod -v 755 $LFA/tools/bin/depmod.pl
```

🧪 Содержимое пакета

• Установленные программы: [, [[, arch, ascii, ash, awk, base32, base64, basename, bc, bunzip2, busybox и другие¹

Описание компонентов

- Программы:
 - busybox реализация стандартных UNIX утилит.
 - BCe ОСТАЛЬНЫе ССЫЛКИ На busybox.

 $^{^{1}}$ Набор установленного ПО зависит от того, какие настройки вы указывали при конфигурировании пакета.

iana-etc

Данные для сетевых служб и сервисов. Необходим для обеспечения надлежащих сетевых возможностей.

• **Версия:** 20240125

• Домашняя страница: https://www.iana.org/protocols

• **Время сборки:** 0.01 OBC

Установка

Скопируйте файлы services и protocols в \$LFA_SYS/etc:

cp -v services protocols \$LFA_SYS/etc

🧪 Содержимое пакета

• Установленные файлы: /etc/protocols и /etc/services

Описание компонентов

- /etc/protocols описывает различные интернет-протоколы DARPA, которые доступны из подсистемы TCP/IP.
- /etc/services обеспечивает сопоставление между дружественными текстовыми именами интернет-сервисов и соответствующими им номерами портов и типами протоколов.

wireless-tools

Набор инструментов для работы с Wireless Extensions (WE — API ядра Linux, позволяющий драйверу передавать в пользовательское пространство конфигурацию и статистику, характерные для беспроводных локальных сетей).

• **Версия:** 29

• Домашняя страница: https://hewlettpackard.github.io/wireless-tools/

Время сборки: 0.1 ОВСНеобходимые патчи:

 https://www.linuxfromscratch.org/patches/blfs/svn/wireless_t ools-29-fix_iwlist_scanning-1.patch

Настройка ядра

Чтобы использовать Wireless Tools, ядро должно иметь соответствующие драйверы и прочие компоненты. Когда вы будете собирать ядро, не забудьте включить следующие опции:

Настройка

Исправьте Makefile, чтобы можно было собрать пакет, используя наш кросс-компилятор:

```
sed -i s/gcc/\$\{LFA\_TGT\}\-gcc/g Makefile
sed -i s/\ ar/\ \$\{LFA\_TGT\}\-ar/g Makefile
sed -i s/ranlib/\$\{LFA\_TGT\}\-ranlib/g Makefile
```

Сборка

Существуют опции, которые можно передать в make и make install, чтобы уменьшить размер и функциональность этого пакета. В файле INSTALL вы можете узнать дополнительную информацию об этом.

make PREFIX=\$LFA_SYS

Установка

make install PREFIX=\$LFA_SYS

🖍 Содержимое пакета

- Установленные программы: ifrename, iwconfig, iwevent, iwgetid, iwlist, iwpriv И iwspy
- Установленные библиотеки: libiw.so

Описание компонентов

• Программы:

- ifrename переименовывает сетевые интерфейсы на основе различных статистичесих критериев.
- iwconfig настраивает беспроводную сеть.
- o iwevent отображает события беспроводной сети, генерируемые драйверами и изменениями настроек.
- iwgetid собщает ESSID, NWID или адрес точки доступа беспроводной сети.
- o iwlist получает подробную информацию о беспроводной сети.
- iwpriv настраивает дополнительные (частные) параметры интерфейса беспроводной сети.
- iwspy получает статистику беспроводной связи с определённого узла.

• Библитеки:

• libiw.so - функции, необходимые для работы программ из этого пакета и АРІ для других программ.

Настройка базовой системы

В данной части пойдёт речь о настройке базовой системы. Мы только собрали ряд нужных программ, но на этом всё. Однако для корректной работы только что собранной системы (как минимум для обеспечения её загрузки) нужно создать ряд конфигурационных файлов. Среди этих файлов будут /etc/fstab, содержащий информацию о монтировании файловых систем при загрузке, /etc/mdev.conf с информацией для mdev, предназначенного для динамического управления устройствами в диретории /dev, /etc/profile с настройками командной оболочки ash и ряд других конфигов, необходимых для работы системы.

Конечно, в более продвинутых и функциональных системах конфигурационных файлов куда больше, но в данном руководстве перечислен минимально возможный список кнфигов, подходящий для корректной работы LFA.

Создание /etc/fstab

Настройка mdev

mdev (является частью проекта BusyBox) - это замена udev с другой базой правил.

Coздайте файл /etc/mdev.conf:

```
cat > $LFA_SYS/etc/mdev.conf << "EOF"</pre>
# /etc/mdev/conf
# Devices:
# Syntax: %s %d:%d %s
# devices user:group mode
# null does already exist; therefore ownership has to be changed with
command
null
        root:root 0666 @chmod 666 $MDEV
zero
        root:root 0666
grsec
       root:root 0660
full
       root:root 0666
random root:root 0666
urandom root:root 0444
hwrandom root:root 0660
# console does already exist; therefore ownership has to be changed
with command
#console
                root:tty 0600
                                @chmod 600 $MDEV && mkdir -p vc && ln -
sf ../$MDEV vc/0
console root:tty 0600 @mkdir -pm 755 fd && cd fd && for x in 0 1 2 3 ;
do ln -sf /proc/self/fd/$x $x; done
fd0
        root:floppy 0660
kmem
        root:root 0640
mem
        root:root 0640
port
        root:root 0640
        root:tty 0666
ptmx
# ram.*
ram([0-9]*)
                root:disk 0660 >rd/%1
loop([0-9]+)
               root:disk 0660 >loop/%1
sd[a-z].*
                root:disk 0660 */lib/mdev/usbdisk_link
hd[a-z][0-9]*
                root:disk 0660 */lib/mdev/ide_links
                root:disk 0660
md[0-9]
tty
                root:tty 0666
tty[0-9]
                root:root 0600
tty[0-9][0-9]
                root:tty 0660
ttyS[0-9]*
                root:tty 0660
pty.*
                root:tty 0660
vcs[0-9]*
                root:tty 0660
vcsa[0-9]*
                root:tty 0660
ttyLTM[0-9]
                root:dialout 0660 @ln -sf $MDEV modem
```

```
ttySHSF[0-9]
                root:dialout 0660 @ln -sf $MDEV modem
slamr
                root:dialout 0660 @ln -sf $MDEV slamr0
slusb
                root:dialout 0660 @ln -sf $MDEV slusb0
fuse
                root:root 0666
# dri device
card[0-9]
                root:video 0660 =dri/
# alsa sound devices and audio stuff
                root:audio 0660 =snd/
pcm.*
control.*
                root:audio 0660 =snd/
midi.*
                root:audio 0660 =snd/
                root:audio 0660 =snd/
seq
timer
                root:audio 0660 =snd/
                root:audio 0660 >sound/
adsp
                root:audio 0660 >sound/
audio
                root:audio 0660 >sound/
dsp
mixer
                root:audio 0660 >sound/
                root:audio 0660 >sound/
sequencer.*
# misc stuff
                root:root 0660 >misc/
agpgart
psaux
                root:root 0660 >misc/
rtc
                root:root 0664 >misc/
# input stuff
event[0-9]+
                root:root 0640 =input/
mice
                root:root 0640 =input/
mouse[0-9]
                root:root 0640 =input/
ts[0-9]
                root:root 0600 =input/
# v4l stuff
vbi[0-9]
                root:video 0660 >v4l/
video[0-9]
                root:video 0660 >v4l/
# dvb stuff
dvb.*
                root:video 0660 */lib/mdev/dvbdev
# load drivers for usb devices
usbdev[0-9].[0-9]
                        root:root 0660 */lib/mdev/usbdev
usbdev[0-9].[0-9]_.*
                       root:root 0660
# net devices
tun[0-9]*
                root:root 0600 =net/
tap[0-9]*
                root:root 0600 =net/
# zaptel devices
```

Создание /etc/profile

Файл /etc/profile содержит в себе общесистемные настройки командной оболочки. Создайте этот файл:

```
cat > $LFA_SYS/etc/profile << "EOF"</pre>
# /etc/profile
# Set the initial path
export PATH=/bin:/usr/bin
if [ `id -u` -eq 0 ] ; then
        PATH=/bin:/sbin:/usr/bin:/usr/sbin
        unset HISTFILE
fi
# Setup some environment variables.
export USER=`id -un`
export LOGNAME=$USER
export HOSTNAME=`/bin/hostname`
export HISTSIZE=1000
export HISTFILESIZE=1000
export PAGER='/bin/more '
export EDITOR='/bin/ed'
# End /etc/profile
EOF
```

Установка имени хоста

Во время загрузки система устанавливает имя хоста, на котором она работает (hostname). Имя хоста содержится в файле /etc/hostname. Создайте его:

```
echo "[lfa]" > $LFA_SYS/etc/hostname
```

Замените [lfa] на имя, присвоенное компьютеру. Не вводите здесь полное доменное имя (FQDN). Эта информация будет помещена в файл /etc/hosts в следующем разделе.

Настройка сети

Создайте базовый /etc/hosts файл:

```
cat > $LFA_SYS/etc/hosts << "EOF"
# Begin /etc/hosts

127.0.0.1 localhost
EOF</pre>
```

Сборка ядра

Ядро Linux - основной компонент операционной системы, выступающий промежуточным звеном между оборудованием и программным обеспечением ОС.

Общие рекомендации по сборке ядра

Первым делом нужно создать файл .config, содержащий параметры ядра. Для его создания можно воспользоваться следующими опциями:

- make defconfig создаёт стандартный конфиг с учётом архитектуры компьютера, для которого производится сборка.
- make oldconfig задаёт пользователю ряд вопросов о конфигурации ядра в текстовом режиме. Не позволяет изменить уже заданные параметры (изменение возможно после путём редактирования файла .config вручную).
- make menuconfig настройка ядра в псевдографическом меню. Доступно разделение всяческих функций, опций и драйверов по категориям, справка по этим вещам и прочее.

После того, как вы настроили ядро, создав .config одним из способов, указанных ниже, рекомендуем вам сохранить созданный .config гденибудь, чтобы использовать его в дальнейшем при возможных новых сборках ядра Linux.

Рекомендуем вам все ключевые компоненты ядра встраивать в ядро, а не компилировать в виде подключаемых модулей. Да и вообще рекомендуем вам оставить в конфигурации ядра (отмечено как <*> или <M> 1) только то, что вам действительно необходимо. Это поможет вам сэкономить место на диске (размер одних только установленных в систему модулей легко может превысить объём всей системы без них) и упростить процесс загрузки системы (поскольку не придётся заботиться о том, какие модули загружать, а какие - нет).

В случае возникновения ошибки сборки, если рядом с этой ошибкой нет подробного текста о причине её возникновения, прочитайте весь вывод make - иногда сообщение о причине ошибки может быть очень далеко от последнего выведенного make сообщения. Это особенно актуально, если вы собираете ядро в несколько потоков.

¹ <*> означает, что эта функция будет встроена в двоичный файл ядра, а <м> - что эта функция будет скомпилирована как модуль.

linux

Ядро операционной системы.

• Версия: 6.6.6

• Домашняя страница: https://www.kernel.org

• **Время сборки:** 23 OBC

Процесс сборки ядра состоит из нескольких процессов: конфигурирование, компиляция и установка. Прочитайте файл **README** в дереве исходного кода Linux, чтобы узнать об альтернативных методах, отличных от того, как конфигурируется ядро в этом руководстве.

Подготовка

Убедитесь в том, что дерево исходного кода ядра не содержит лишних файлов:

make mrproper

Разработчики ядра рекомендуют выполнять эту команду каждый раз, когда вы собираете Linux.

Настройка

Поскольку вы создаёте встраиваемую систему, убедитесь, что все *ключевые* компоненты **встроены** в ядро, а не являются модулями (в меню, которое откроется по команде далеее опция отмечена как <*>, а не как <м>). Ключевыми обычно являются опции для поддержки

консоли, видео, дисков и файловых систем, а также сети. Без них система не будет функционировать должным образом. Рекомендуется конфигурировать ядро без модулей, чтобы сэкономить место на диске и упростить процесс загрузки системы.

Откройте псевдографическое меню, в котором вам нужно выбрать все опции, которые нужны вам для корректной работы ядра на компьютере, для которого вы собираете систему:

```
make ARCH=arm64 CROSS_COMPILE=$LFA_TGT- menuconfig
```

Выбор платформы

Обязательно зайдите в раздел Platform selection ---> и отметьте там поддержку необходимых для вас SoC. Например, если я собираю систему для компьютера Orange Pi 3 LTS c Allwinner SoC, то в этом списке мне нужно отметить только

```
Platform selection --->
[*] Allwinner sunxi 64-bit SoC Family
```

FUSE

FUSE filesystem in «файловая userspace система пользовательском пространстве») — свободный модуль для ядер Unixподобных операционных систем, позволяющий разработчикам создавать файловых систем, доступные ДЛЯ монтирования пользователями без привилегий (прежде всего — виртуальных файловых систем); это достигается за счёт запуска кода файловой системы в пользовательском пространстве, время как модуль FUSE В TO предоставляет связующее звено для актуальных интерфейсов ядра. С использованием средств FUSE разработаны, в частности, SSHFS, NTFS-3G, GlusterFS, ZFS.

```
File systems --->
  <*/M> FUSE (Filesystem in Userspace) support [CONFIG_FUSE_FS]
```

Сборка

Скомпилируйте ядро, используя только что созданный .config:

```
make ARCH=arm64 CROSS_COMPILE=$LFA_TGT-
```

Теперь вам необходимо скомпилировать файлы devicetree:

```
make ARCH=arm64 CROSS_COMPILE=$LFA_TGT- dtbs
```

Установка

Следующие действия нужно выполнить, если вы собирали ядро с модулями:

При использовании модулей ядра может потребоваться файл /etc/modprobe.conf. Информация, касающаяся модулей и конфигурации ядра, находится в документации в директории Documentation/. Также будет не лишним прочитать документацию (man) modprobe.conf(5).

```
make ARCH=arm64 CROSS_COMPILE=$LFA_TGT- \
   INSTALL_MOD_PATH=$LFA_SYS modules_install
```

Установка ядра и ряда дополнительных файлов

Конфигурационный файл .config содержит все настройки конфигурации только что собранного ядра. Было бы неплохим сохранить этот файл для дальнейшего пользования:

```
cp -v .config $LFA_SYS/boot/config-6.6.6

Скопируйте файл System.map в /boot:
```

```
cp -v System.map $LFA_SYS/boot/System.map-6.6.6
```

Полученное ядро будет находиться в директории arch/arm64/boot. Возможно, что там будет находиться несколько вариантов одного и того же ядра, просто с разным сжатием или добавлением помощников загрузчика. Следуйте инструкциям вашего загрузчика по копированию ядра в конечную систему. Например:

```
cp -iv arch/arm64/boot/Image $LFA_SYS/boot/vmlinuz-6.6.6
```

Для того, чтобы не указывать в опциях ядра полное имя vmlinuz-6.6.6 создайте символическую ссылку:

```
ln -svf vmlinuz-6.6.6 $LFA_SYS/boot/vmlinuz
```

Установка файлов Devicetree

```
Создайте в $LFA_SYS/boot директорию dtb-6.6.6:
```

```
mkdir -pv $LFA_SYS/boot/dtb-6.6.6
```

И установите файлы Devicetree:

```
make ARCH=arm64 CROSS_COMPILE=$LFA_TGT- \
   INSTALL_DTBS_PATH=$LFA_SYS/boot/dtb-6.6.6 dtbs_install
```

Для того, чтобы не указывать в boot.cmd, который мы скоро напишем, версию ядра, сделайте символическую ссылку:

ln -svf dtb-6.6.6 \$LFA_SYS/boot/dtb

Создание ссылок на ряд периодически изменяющихся файлов сделает проще их обновление до новой версии: нужно просто установить новую версию файла ядра и директории с devicetree в \$LFA_SYS/boot/ и обновить символические ссылки. Этим мы можем оставить предыдущие версии ядра и devicetree, которые могут понадобиться, если окажется, что их новые версии работают некорректно или не работают вовсе.

А Внимание

B \$LFA_SYS/boot/dtb-6.6.6 будут установлены скомпилированные файлы devicetree только для тех плат, поддержку которых вы указали при конфигурировании ядра. В этой директории будут созданы поддиректории с именами используемых в этих платах SoC, например:

- \$LFA_SYS/boot/dtb-6.6.6/allwinner/
- \$LFA_SYS/boot/dtb-6.6.6/broadcom/
- \$LFA_SYS/boot/dtb-6.6.6/rockchip/

В этих поддиректориях будут содержаться файлы *.dtb для поддерживаемых плат. Если вам что-либо отсюда не нужно, то ради экономии места и уменьшения размера собранного дистрибутива вы можете удалить лишние файлы. Однако будьте готовы, что на каких-то компьютерах ваша система может не заработать.

🧪 Содержимое пакета

• Установленные файлы: .config-6.6.6, vmlinuz-6.6.6, vmlinuz, System.map-6.6.6, dtb-6.6.6/*, dtb/

Описание компонентов

- .config-6.6.6 содержит параметры сборки ядра.
- vmlinuz-6.6.6, vmlinuz скомпилированное ядро Linux.
- System.map-6.6.6 СПИСОК адресов и СИМВОЛОВ; в нём указаны точки входа и адреса всех функций и структур данных в ядре. Иногда полезен при отладке.
- dtb-6.6.6/, dtb/ директория с файлами devicetree.

Сборка загрузчика

Загрузчик операционной системы, предназначенный для встраиваемых систем на MIPS, ARM, PowerPC и т.д.

• Версия: 2023.10

• Домашняя страница: https://source.denx.de/u-boot/u-boot

• **Время сборки:** 10 OBC

Примерный порядок сборки

Для некоторых плат перед сборкой U-Boot необходимо собрать предварительные файлы. Например, для некоторых плат необходимо собрать ARM Trusted Firmware. Для получения более подробных сведений смотрите окументацию к поддерживаемых в LFA платах далее.

После чего требуется собрать U-Boot и записать полученный образ на карту памяти.

Настройка

Директория configs/ содержит шаблоны конфигурационных файлов для поддерживаемых [проектом U-Boot, а не LFA] плат в соответствии со следующей схемой наименования:

<имя платы>_defconfig

Эти файлы лишены настроек по умолчанию. Поэтому вы не можете использовать их напрямую. Вместо этого их имя служит в качестве цели make для генерации фактического конфигурационного файла .config.

Например, шаблон конфигурации для платы Odroid C2 называется odroid-c2_defconfig. Соответствующий файл .config генерируется командой:

make odroid-c2_defconfig

Для плат на базе SoC Allwinner:

На вики **linux-sunxi** также можно найти имя defconfig файла на соответствующей странице платы.

Вы можете сконфигурировать пакет командой:

make menuconfig

Сборка

Для сборки вам по прежгнему нужен наш кросс-компилятор. Кроме того, в системе должны быть установлены пакеты swig и python-setuptools.

CROSS_COMPILE=\$LFA_TGT- make

Компилятор Devicetree

Платам, использующим config_of_control (т.е. почти всем), нужен компилятор Devicetree (dtc). Платам с config_pyLibfot требуется pylibfot (библиотека Python для доступа к данным Devicetree). Подходящие версии этих библиотек включены в дерево U-Boot в директории scripts/dtc и собираются автоматически по мере необходимости.

Если вы хотите использовать их системные версии, используйте переменную ртс, в которой будет указан путь до dtc:

CROSS_COMPILE=\$LFA_TGT- DTC=/usr/bin/dtc make

В этом случае dtc и pylibfdt не будут собраны. Система сборки проверит, что версия dtc достаточно новая. Она также убедится, что pylibfdt присутствует, если это необходимо.

Обратите внимание, что инструменты **Host Tools** всегда собираются с включенной версией libfdt, поэтому в настоящее время невозможно собрать U-Boot с системной libfdt.

LTO

U-Boot поддерживает link-time optimisation, которая может уменьшить размер скомпилированных двоичных файлов, особенно при использовании SPL.

В настоящее время эта функция может быть включена на платах ARM путём добавления config_tro=y в файл defconfig.

Однако в таком случае загрузчик будет собираться несколько медленнее, чем без LTO.

Установка

Процесс установки U-Boot специфичен для каждого компьютера. На данный момент в руководстве поддерживаются компьютеры на базе SoC Allwinner, Broadcom и Rockchip, а также установка U-Boot для эмуляции в QEMU.

Allwinner

A

Внимание

В данной части предоставлены *общие* инструкции, которые приведут к сборке работающего загрузчика U-Boot, пригодного для дальнейшего использования. Конечно, «кастомная» сборка U-Boot и ряда дополнительных компонентов с другими параметрами допускается, но на данный момент я не предоставляю иных инструкций кроме этих. Возможно, что в будущем я добавлю ряд советов по изменению параметров сборки, но сейчас у меня на это нет ни времени, ни сил, ни желания.

Сборка образа U-Boot

Распакуйте архив с исходниками загрузчика и перейдите в распакованную директорию, если не сделали этого ранее.



Внимание

Предполагается, что у вас уже установлена переменная окружения BL31.

Настройка

Подробные сведения о процессе настройки см. на предыдущей странице. В частности, оттуда вам понадобятся сведения о том, какое

ЗНАЧЕНИЕ ПОДСТАВЛЯТЬ В КОМАНДУ make <имя платы>_defconfig BMECTO <имя платы>.

make <имя платы>_defconfig

Сборка

```
make CROSS_COMPILE=$LFA_TGT-
```

Файл, содержащий всё необходимое, называется u-boot-sunxi-with-spl.bin и находится в корневой папке дерева исходного кода U-Boot. За исключением необработанных NAND-устройств его можно использовать для любого источника загрузки. Devicetree платы также включено.

Сохранение образа U-Boot

Теперь рекомендуем вам сохранить образ U-Boot в другое место, чтобы в последующих главах можно было иметь к нему доступ для выполнения дальнейших действий:

```
cp -v u-boot-sunxi-with-spl.bin $LFA/bootloader.bin
```

Этой командой вы скопируете образ в директорию \$LFA под новым именем bootloader.bin.

Установка U-Boot

Under construction!

Инструкции ниже я перепечатал из **документации** загрузчика и не уверен, что они применимы в нашем случае. Если вы знаете, как правильно устанавливать загрузчик ОС на определённый носитель информации, с которого будет происходить загрузки собранной системы LFA (MicroSD или eMMC), то, пожалуйста, свяжитесь со мной одним из следующих способов:

- Создайте issue в репозитории руководства, где опишете шаги по сборке и установке загрузчика;
- Напишите мне в личку в Telegram
- Напишите в Telegram-чат руководства

Меня интересует следующее: в img-образах существующих дистрибутивов (Debian, Ubuntu, Manjaro ARM, Armbian) уже существуют какие-то файлы загрузчика (если я правильно понимаю). Но я не понимаю того, как скомпилированный образ U-Boot (u-boot-sunxi-with-spl.bin) "засунуть" в img-образ системы, чтобы после его записи на SD-карту или еММС с помощью dd я мог бы загрузить свою систему.

На всякий случай: меня в первую очередь интересует сборка U-Boot для Orange Pi (например, для Orange Pi 3 LTS), поскольку сейчас я располагаю именно этим компьютером.

Установка на MicroSD-карту

Все SoC Allwinner пытаются найти загрузочный образ в 16 секторе (8 КБ) карты, подключенной к первому ММС-контроллеру. Чтобы перенести скомпилированный ранее образ на SD-карту с любого устройства (как с того, на котором выполнялась сборка, так и с самой платы), оснащённого устройством чтения MicroSD-карт, введите от имени пользователя root:

dd if=boot-sunxi-with-spl.bin of=/dev/sdX bs=1k seek=8

где x — буква (a, b, c) устройства, например, /dev/sdc. Обратите внимание на то, что в некоторых случаях вместо sdx имя устройства может быть mmcblkx.

Новые SoC (начиная с 2014 г. и включая все ARM64 SoC) также ищут подпись в секторе 256 (128 КБ). Преимущество установки туда загрузчика в том, что он не пересекается с таблицей разделов GPT. Просто замените seek=8 на seek=128.

Смотрите также:

• Страница U-Boot на linux-sunxi WiKi (https://linux-sunxi.org/)

Allwinner: Сборка ТF-А

Проект Trusted Firmware-A предоставляет эталонную реализацию безопасного программного обеспечения для процессоров класса ARMv7-A и ARMv8-A.

• Версия: 2.10.2

• Домашняя страница:

https://www.trustedfirmware.org/projects/tf-a/

• **Время сборки:** 1 OBC

Настройка

Вам нужно объявить переменную окружения реат, которая будет содержать имя целевой платформы для сборки:

export PLAT="целевая платформа"

Целевые платформы для сборки:

Сборка TF-A специфична для каждого SoC, в частности, специфично значение переменной PLAT, которая передаётся системе сборки make. Вы можете воспользоваться значениями из таблицы ниже:

SoC	Платформа
Allwinner A64	sun50i_a64
Allwinner H5	sun50i_a64
Allwinner H6	sun50i_h6
Allwinner H616	sun50i_h616
Allwinner H313	sun50i_h616

SoC	Платформа
Allwinner T507	sun50i_h616
Allwinner R329	sun50i_r329

Для поиска всех целевых платформ введите:

```
find plat/allwinner -name platform.mk
```

B файле docs/plat/allwinner.rst содержится дополнительная информация и приведены некоторые опции сборки.

Например, если в моей плате используется SoC Allwinner H6, то значение переменной PLAT будет равно sun50i_h6:

```
export PLAT="sun50i_h6"
```

Сборка

```
make CROSS_COMPILE=$LFA_TGT- DEBUG=1
```

Настройка окружения

Теперь вам нужно объявить переменную окружения BL31, содержащую путь до скомпилированной микропрограммы:

```
export BL31=$PWD/build/$PLAT/debug/bl31.bin
```

Необходимости в переменной рьат больше нет, поэтому можете её удалить:

🧪 Содержимое пакета

• Установленные файлы: \$PWD/build/\$PLAT/debug/bl31.bin

Описание компонентов

• \$PWD/build/\$PLAT/debug/bl31.bin - требуемый для сборки U-Boot компонент TF-A.

Allwinner: Установка кросскомпилятора or2k

Allwinner: Сборка SCP (crust)

Allwinner: Сборка U-Boot

Загрузчик операционной системы, предназначенный для встраиваемых систем на MIPS, ARM, PowerPC и т.д.

• Версия: 2023.10

• Домашняя страница: https://source.denx.de/u-boot/u-boot

• **Время сборки:** 10 OBC

A

Внимание

Предполагается, что у вас уже установлены нужные переменные окружения, в частности в $_{L31}$ и, опционально, scp.

Настройка

Директория configs/ содержит шаблоны конфигурационных файлов для поддерживаемых [проектом U-Boot, а не LFA] плат в соответствии со следующей схемой наименования:

<имя платы>_defconfig

Вы можете использовать имя одного из этих файлов в качестве цели make для генерации конфигурационного файла .config. Например, шаблон конфигурации для платы Odroid C2 называется odroid-c2_defconfig. Соответственно, файл .config генерируется командой:

make odroid-c2_defconfig

Broadcom

Rockchip

Эмуляция в QEMU (ARM)

АСРІ В QЕМ U

QEMU (начиная с версии v8.0.0) может предоставлять таблицы ACPI для ARM. Для их поддержки нужны следующие настройки U-Boot:

```
CONFIG_CMD_QFW=y
CONFIG_ACPI=y
CONFIG_GENERATE_ACPI_TABLE=y
```

Вместо того, чтобы обновлять файл .config вручную, вы можете добавить опцию acpi.config в команду make. Например:

```
make orangepi-3_defconfig acpi.config
```

Эмуляция блочных устройств

QEMU может эмулировать обычные блочные устройства. Добавьте следующие параметры в команду qemu-system-aarch64 (или qemu-system-arm):

MMC:

```
-device sdhci-pci,sd-spec-version=3 \
-drive if=none,file=disk.img,format=raw,id=MMC1 \
-device sd-card,drive=MMC1

• NVMe:

-drive if=none,file=disk.img,format=raw,id=NVME1 \
-device nvme,drive=NVME1,serial=nvme-1
```

SATA:

```
-device ahci,id=ahci0 \
-drive if=none,file=disk.img,format=raw,id=SATA1 \
-device ide-hd,bus=ahci0.0,drive=SATA1

• USB:
-device qemu-xhci \
-drive if=none,file=disk.img,format=raw,id=USB1 \
-device usb-storage,drive=USB1
```

Ещё немного про виртуализацию

QEMU для ARM поддерживает специальную виртуальную машину virt, предоставляющую следующие базовые функции:

- Свободно настраиваемое количество ядер процессора;
- U-Boot, который загружается и выполняется по адресу 0x0;
- Сгенерированный блоб дерева устройств, помещённый в начало оперативной памяти;
- Свободно конфигурируемый объём ОЗУ, описываемый в *.dtb;
- Последовательный порт PL011, обнаруживаемый в *.dtb;
- Таймер (для архитектуры ARMv7/ARMv8);
- PSCI для перезагрузки системы;
- Общий хост-контроллер PCI на базе ECAM, обнаруживаемый в *.dtb;

Кроме того, к PCI шине можно подключить ряд дополнительных периферийных устройств.

См. раздел **Devicetree in QEMU** в документации U-Boot для получения информации о том, как увидеть дерево устройств, фактически сгенерированное QEMU.

Настройка U-Boot

Установите имя аргумента qemu_*_defconfig в зависимости от архитектуры, для которой вы собираете:

```
if [ $LFA_TGT -eq "aarch64-linux-musleabihf" ]
then
  QEMU_ARCH="arm64"
else
  QEMU_ARCH="arm"
fi

Cконфигурируйте пакет U-Boot:

make CROSS_COMPILE=$LFA_TGT- \
  qemu_${QEMU_ARCH}_defconfig
```

Сборка

make

Запуск U-Boot

Минимальная команда для запуска эмулятора QEMU с загрузчиком U-Boot выглядит так:

для AArch64:

```
qemu-system-aarch64 -machine virt \
  -nographic \
  -cpu cortex-a57 \
  -bios u-boot.bin
```

• для других архитектур семейства ARM:

```
qemu-system-arm -machine virt \
  -nographic \
  -bios u-boot.bin
```

Объяснение новых значений:

```
-nographic — обеспечивает вывод данных в терминал;
```

-cpu cortex-a57 — по какой-то странной причине программе qemu-system-aarch64 необходимо явно указать использование 64-битного процессора, иначе эмулятор запустится в 32-битном режиме.

Смотрите также:

• QEMU ARM — Das U-Boot (https://docs.u-boot.org/en/latest/).

Создание прочих загрузочных файлов

Теперь нужно закончить создание ряда файлов, которые используются, в первую очередь, при загрузке дистрибутива.

Загрузочные скрипты

А Внимание

Это заготовка страницы. Здесь приведены общие инструкции, тестирование которых не производилось. Окончательная версия страницы войдёт во вторую версию руководства LFA.

inittab

Для начала создайте файл /etc/inittab, отвечающий за такие вещи как зарузка системы, её выключение и обработки поведения при нажатии комбинации Ctrl + Alt + Del.

```
cat >> $LFA_SYS/etc/inittab << "EOF"
::sysinit:/etc/rc.d/rc.S
::respawn:-/bin/sh -l
::ctrlaltdel:/sbin/reboot
::shutdown:/etc/rc.d/rc.0
EOF</pre>
```

Скрипты

Создайте директорию со скриптами:

```
mkdir -pv $LFA_SYS/etc/rc.d
```

Скрипт \$LFA_SYS/etc/rc.d/rc.0 размонтирует диски при выключении системы:

```
cat > $LFA_SYS/etc/rc.d/rc.0 << "EOF"</pre>
 #!/bin/ash
 sync
 /sbin/umount -a -r > /dev/null 2>&1
 EOF
Скрипт $LFA_SYS/etc/rc.d/rc.S выполняется при загрузке:
 cat > $LFA_SYS/etc/rc.d/rc.S << "EOF"</pre>
 #!/bin/ash
 export PATH=/bin:/sbin
 mount -v proc /proc -t proc
 mkdir -pv /dev/pts
 mount -vt devpts -o noexec, nosuid, gid=5, mode=0620 devpts /dev/pts
 # Временные файлы лучше держать в ОЗУ, чтобы снизить число операций
 # чтения/записи на SD/eMMC накопителе
 mount -vt tmpfs none -o nodev, nosuid, noatime /tmp
 mount -vt tmpfs none -o nodev, nosuid, noatime /var/log
 mount -vt tmpfs none -o nodev, nosuid, noatime /var/run
 mount -vt tmpfs none -o nodev,nosuid,noatime /run
 mount -v sysfs /sys -t sysfs
 # Запускаем системный логгер и логгер ядра
 syslogd
 sleep 1
 klogd -c 3
 echo "Press <Enter>..."
 EOF
```

Смотрите также:

- Заметки об ОС Linux. Часть 3. Система инициализации;
- SysV init must die (https://busybox.net/).

Создание ulnitrd

🛕 Внимание

Это заготовка страницы. Здесь приведены общие инструкции, тестирование которых не производилось. Окончательная версия страницы войдёт во вторую версию руководства LFA.

Загрузчик U-Boot требует наличие образа uImage. Сначала создайте директорию, в которой будет ряд файлов из собранной системы (\$LFA_SYS):

```
cd $LFA
 mkdir LFA-uImage
 cd LFA-uImage
 cp -rv $LFA_SYS/{bin,dev,etc,lib,proc,root,sbin,srv,sys,tmp,var} .
 find . | cpio -H newc -ov --owner root:root > ../initramfs.cpio
 cd ..
 gzip initramfs.cpio
Создайте образ uImage с помощью программы mkimage:
 mkimage -A arm64 -T ramdisk -n uInitrd -d initramfs.cpio.gz uImage
```

Смотрите также:

Image vs zImage vs uImage (https://stackoverflow.com/).

Создание boot.scr

А Внимание

Это заготовка страницы. Здесь приведены общие инструкции, тестирование которых не производилось. Окончательная версия страницы войдёт во вторую версию руководства LFA.

boot.scr — это загрузочный скрипт системы, предназначенный для U-Boot.

```
cat > $LFA_SYS/boot/boot.cmd << "EOF"
setenv load_addr "0x45000000"
setenv rootdev "/dev/mmcblk0p1"
setenv rootfstype "ext4"

if test "${devtype}" = "mmc"; then part uuid mmc 0:1 partuuid; fi
setenv bootargs "root=${rootdev} rootwait rootfstype=${rootfstype}
ubootpart=${partuuid}"

load ${devtype} ${devnum} ${ramdisk_addr_r} ${prefix}uImage
load ${devtype} ${devnum} ${load_addr} ${prefix}/dtb-
6.6.6/allwinner/sun50i-h6-orangepi-3.dtb
load ${devtype} ${devnum} ${kernel_addr_r} ${prefix}vmlinuz-6.6.6
bootz ${kernel_addr} ${initrd_addr}:${filesize} ${script_addr}
EOF</pre>
```

Скомпилируйте этот файл:

```
mkimage -C none -A arm -T script -d $LFA_SYS/boot/boot.cmd
$LFA_SYS/boot/boot.scr
```

Сборка образа

A

Внимание

Это заготовка страницы. Здесь приведены общие инструкции, тестирование которых не производилось. Окончательная версия страницы войдёт во вторую версию руководства LFA.

Всё готово для сборки img -образа, который в будущем будет пригоден для записи на SD-карту или eMMC-накопитель.

Создание базовых файлов

Сначала создадим заголовок размером 2 Мб:

```
dd if=/dev/zero bs=1M count=2 of=bootloader.img
```

И копируем сохранённый образ U-Boot по смещению 128:

```
dd if=$LFA/bootloader.bin \
  conv=notrunc seek=128 \
  of=bootloader.img
```

A

🛕 Внимание

Вне зависимости от SoC (Allwinner, Broadcom или Rockchip), для которого вы собирали U-Boot, он был сохранён в файл \$LFA/bootloader.bin. Так что имя файла в аргументе dd if=... правильное.

Теперь нужно создать образ, в котором будут содержаться файлы собранной системы:

```
dd if=/dev/zero bs=1M count=512 of=rootfs.img
```

Здесь я установил размер образа в 512 Мб, но вы можете установить и свой.

Создайте файловую систему на этом разделе:

```
mkfs.ext4 -L BOOT \
  -O ^metadata_csum -F \
  -b 4096 \
  -E stride=2,stripe-width=1024 \
  -L rootfs rootfs.img
```

Копирование файлов

Смонтируйте полученный образ и скопируйте в неё файлы нашей системы (саму систему, ядро, Devicetree и сценарий загрузки):

```
mkdir -pv /tmp/lfa_rootfs
sudo mount -v rootfs.img /tmp/lfa_rootfs
sudo cp -rfv $LFA_SYS/* /tmp/lfa_rootfs
sync
```

A

Внимание

Все действия здесь выполняются от имени пользователя lfa. Поскольку здесь используется программа sudo, вам нужно добавить пользователя lfa в группу wheel.

После копирования файлов размонтируйте образ:

Создание окончательного образа

Объедините два образа в один:

```
dd if=rootfs.img conv=notrunc oflag=append bs=1M seek=2
of=bootloader.img
```

Создание таблицы разделов

Созданный нами образ нерабочий, поскольку ещё не содержит таблицу разделов. Создайте её с помощью fdisk:

```
fdisk bootloader.img
o
n
p
1
4096
+512M
```

Значения новых команд:

После начала редактирования мы вводим команду о, чтобы создать пустую таблицу разделов MBR. Затем командой п создаём новый раздел. Выбираем тип, номер и первый сектор. Дело в том, что размер сектора равен 512 байт, т.е. 1 Кб равен двум секторам. Размер заголовка 2 Мб, т.е. 2048 Кб или 4096 секоторов. Размер раздела можно указать в Мб. Сохранение и выход командой w.

Переименуйте файл bootloader.img, дав ему более логичное и подходящее имя:

```
mv -v bootloader.img lfa-1.0.img
```

Сжатие образа

При необходимости вы можете сжать образ с помощью xz или любого другого архиватора, который вам больше нравится. Я часто видел img - образы, сжатые с помощью xz, поэтому использую его:

```
xz lfa-1.0.img
```

Запись образа на SD-карту

Теперь вы можете записать полученный образ на SD-карту. Для этого можете использовать dd:

```
sudo dd if=lfa-1.0.img of=/dev/sdX
```

где x - буква (a , b , c , etc.) устройства, на которое будет производиться запись образа, например, /dev/sdc. Обратите внимание на то, что в некоторых случаях вместо sdX имя устройства может быть и sdX имя устройства может

Также для записи можете использовать программу Balena Etcher.

Смотрите также:

How to prepare a SD card? (https://docs.armbian.com/).

Что далее?

После того, как вы собрали систему, вы можете обратиться к руководству BLFS, в котором предоставлена информация о сборке дополнительного ПО. Несмотря на то, что оно не совсем совместимо с LFA (вам придётся оптимизировать команды для сборки оттуда для использования кросскомпилятора LFA), данные оттуда вам всё-таки смогут пригодиться.

Не забывайте посещать наш канал в Telegram, чтобы быть в курсе последних изменений в LFA, а также Telegram-чат если у вас возникли вопросы или ошибки, либо если вам требуется обратная связь с разработчиком LFA.

Можете посетить проект The Linux Documentation Project, содержащий большое число man-страниц, всевозможных HOWTO и прочую документацию.

Рекомендуем также посетить следующие сайты:

- Опыт создания сборок Linux под одноплатники с поддержкой обновлений;
- Немного о ARM Security Extensions (aka ARM TrustZone);
- [Сборка системы для Orange Pi 5] Orange Pi 5 (как настоящий...);
- Сборка прошивки из исходников для Orange PI i96(Orange PI 2g-iot);
- Документация загрузчика U-Boot;
- LFS Hints

▼ Ну и конечно же вы можете отблагодарить автора за проделанную работу...

... отправив ему донат на карту:

2202 2062 5233 5406 (Сбербанк)

Вспомогательные материалы

Это необязательная часть, служащая дополнительным источником знаний. В некоторых случаях здесь могут быть приведены решения часто возникающих проблем и важные заметки по процессу сборки LFA.

В задачи этого раздела входит аккумулирование сведений как о процессе сборки своих систем, использующих ядро Linux, так и об ARM-компьютеров, для которых это руководство и предназначено.

От версии к версии этот раздел дополняется и актуализируется.

Процессоры ARM

ARM - семейство описаний и готовых топологий 32- и 64-битных микропроцессоров. К значимым семействам процессоров относятся ARM7, ARM9, ARM11 и Cortex. ARM-процессоры имеют низкое электропотребление, поэтому часто используются во встаиваемых системах и мобильных устройствах.

ARM7 (60-72 МГц)

Процессоры на этой архитектуре предназначены для мобильных телефонов и встраиваемых систем. Сейчас активно вытесняется семейством Cortex.

ARM9, ARM11 (до 1 ГГц)

Предназначено для мобильных устройств, КПК и встраиваемых систем высокой производительности.

Cortex-A

Пришли на смену ARM9 и ARM11.

Cortex-M

Пришли на смену ARM7. Предназначены для встраиваемых систем низкой производительности.

Архитектура

Для ARM-процессоров, начиная с ARMv7, были определены 3 профиля:

- **A** (Application) для устройств, требующих высокой производительности;
- **R** (Real Time) для приложений, работающих в реальном времени;
- **M** (Microcontroller) для микроконтроллеров и встраиваемых устройств;

Система на кристалле (SoC)

Нас больше интересует не сама архитектура ARM, а системы на кристалле (СнК, SoC), использующие процессоры на этой архитектуре. Такие системы размещены на одной интегральной схеме и выполняют роль сразу нескольких устройств. Из-за небольших размеров таких систем они приобрели популярность в мобильной технике, фотоаппаратах, планшетных компьютерах, электронных книгах, умных часах и т.д., а также в одноплатных компьютерах, например, в Orange Pi, Raspberry Pi, Repka Pi и др.

Как правило, СнК содержат один или несколько микропроцессоров, блок памяти (ПЗУ, ОЗУ и т.д.), регуляторы напряжения и стабилизаторы питания и пр.

СнК потребляют меньше энергии, стоят дешевле и работают надёжнее, чем наборы микросхем с той же функциональностью. Меньшее количество корпусов упрощает монтаж. Однако проектирование и отладка одной большой СнК сложнее и дороже, чем проектирование и отладка серии маленьких микросхем.

Заметки об OC Linux

В данном цикле обзорных статей будут рассмотрен ряд вопросов об операционных системах, использующих ядро Linux. Например, будут описаны основные компоненты, из которых состоят эти ОС, их принцип работы и предназначение. В данных статьях по большей мепе интересует что происходит, а не как, т.е. здесь не будет большого числа технических подробностей и мельчайших деталей, а просто краткое обзорное описание основных моментов, касаемых работы описываемых здесь ОС.

Заметки об ОС Linux. Часть 1. Обзор

Операционные системы

Определение, что же такое ОС, весьма объёмно и всеобъемлюще. Но вкратце можно сказать о том, что операционная система — это программное обеспечение, управляющее аппаратным обеспечением компьютера и предоставляющее какие-либо абстракции для остального прикладного ПО, которое запускается на компьютере. Примером таких абстракций можно назвать файл на жёстком диске: компьютер сам по себе не знает, что такое файл, ровно как и на жёстком диске или ином носителе информации у нас содержится последовательность данных, которую мы не можем назвать «файлом» в привычном для нас смысле этого слова. Уже операционная система предоставляет пользователю (и программисту, и программам, запускающимся на этой ОС) такую абстракцию, которая «преобразует» эти данные на жёстком диске в привычные нам файлы и папки.

В широком смысле под операционной системой подразумевается совокупность ядра и работающих поверх него программ и утилит.

Встраиваемые (embedded) системы

LFA основана на руководстве CLFS Embedded, в котором приведены сведения по сборке встраиваемой системы для архитектуры ARM. Поэтому неудивительно, что прямо сейчас описываются именно встраиваемые операционные системы. Встраиваемая ОС (Embedded OS) — такая ОС, которая работает, будучи встроенной непосредственно в девайс, которым она управляет. Т.е. это часть специализированного устройства или платформы, такой как, например устройство бытовой электроники или часть из системы умного дома.

Встроенный компьютер отличается от персонального тем, что встроенная система как правило спроектирована для одной или нескольких конкретных целей, в то время как ПК предназначены для выполнения широкого круга задач. Встроенный компьютер может иметь минимально возможную для выполнения конкретной задачи производительностью, что обеспечивает лёгкую и эффективную компьютерную платформу.

Семейство Unix

Среди современных операционных систем наиболее распространены два семейства: семейство операционных систем Windows и семейство операционных систем Unix. ОС семейства UNIX нашли применение на суперкомпьютерах, серверах, встраиваемых системах, мобильных устройствах, а с недавнего времени проникают и в сегмент компьютеров для обычных пользователей или офисного плангтона.

Unix — это семейство переносимых, многозадачных и многопользовательских систем. Главная особенность таких систем заключается в том, что это изначально многопользовательские и многозадачные ОС, а также такие ОС созданы таким образом, чтобы их было легко переносить с одной процессорной архитектуры на другую. Модульная структура ОС этого семейства наряду с поддержкой широкого спектра микропроцессоров и других типов оборудования сделала такие ОС достаточно популярными и во встраиваемых решениях.

К семейству Unix относятся многие ОС, например FreeBSD, OpenBSD, NetBSD, macOS X (версии 10.+), minix и другие. Кроме того, к этому семейству, пусть и косвенно (поскольку они не основаны на исходном коде оригинальной UNIX или какого-то из её ответвлений), относятся и ОС, использующие ядро Linux.

OC, использующие ядро Linux

Linux — это монолитное ядро операционной системы, распространяемое как свободное ПО на условиях лицензии GNU GPL (кроме несвободных

компонентов, включая драйверы, использующие прошивки, распространяемые под другими лицензиями). Linux можно назвать «сердцем» любой ОС, описываемой в данном руководстве, в том числе это «сердце» и собранного по этому руководству дистрибутива LFA.

Полноценная ОС не может существовать только из одного ядра, тк ей нужны программы, предназначенные для обеспечения работы и взаимодействия с этой ОС: стандартная библиотека языка С (glibc, musl, bionic, etc.), загрузчик ОС (GRUB, systemd-boot, syslinux, U-Boot), система инициализации (SysVInit, OpenRC, Runit, upstart, systemd) и набор стандартных утилит для работы с компонентами этой ОС (работа с файлами, правами доступа, процессами, пользователями, группами пользователей и т.п., обычно такие утилиты называются «coreutils»: GNU coreutils, uutils coreutils, etc.).

Свободное ПО

Операционная система, использующая ядро Linux, а также все её системные компоненты и большинство её пользовательских приложений — свободные программы. Свободное ПО отличается от несвободного тем, что его можно:

- запускать на любом количестве компьютеров без всевозможных лицензионных ограничений;
- распространять бесплатно или за деньги без каких-либо ограничений;

Кроме того, пользователи могут получать исходный код свободного ПО, изучать и модифицировать его, а также распространять модифицированные копии такого ПО.

Разработка ОС с ядром Linux

В отличие от распространённых несвободных ОС вроде Windows или macOS, Linux не имеет географического центра разработки, ровно как нет конкретной фирмы или компании, владеющей Linux, нет и единого

координационного центра разработки. Эта ОС — результат работы тысячи программистов по всему миру¹.

Компоненты ОС с ядром Linux

Ядро Linux

Как упоминалось ранее, ядро Linux — это «сердце» операционной системы, которое, к тому же, соответствует стандарту POSIX и распространяется под лицензией GNU GPLv2. Несмотря на *свободную* лицензию, в составе ядра есть и несвободные компоненты: как правило, это драйверы, использующие несвободные прошивки и иные составляющие.

Linux поддерживает многозадачность, виртуальную память, динамические библиотеки и прочее, что свойственно современным операционным системам. Это монолитное ядро с поддержкой динамически загружаемых модулей. В монолитных ядрах все их компоненты (например, драйверы) как бы встроены в одно большое ядро. Это является противоположностью, например, микроядрам, где очень многие компоненты являются отдельными частями, которые не входят непосредственно в состав ядра (например, это справедливо по отношению к ядру операционной системы Minix).

Из плюсов монолитных ядер можно отметить более прямой доступ к аппаратным средствам, а из минусов: больший размер ядра и большее потребление оперативной памяти. Другой минус заключается в том, что когда мы подключаем к компьютеру какое-то новое устройство, драйвер которого существует для монолитного ядра, но в данный момент он не «встроен» в это ядро (т.е. ядро не было скомпилировано с поддержкой этого драйвера), то нам придётся пересобирать ядро, включив там поддержку этого драйвера, что иногда бывает не очень удобным вариантом.

В итоге ядро Linux обзавелось механизмом *модулей*, которые устанавливаются в отдельный каталог (например, в /lib/modules). Модули мы можем подключать, когда они нам нужны, а когда необходимость их использования сойдёт на нет, их можно выгрузить.

Загрузчик

Задача загрузчика — инициализировать и запустить ядро. На компьютерах с архитектурой ARM он может выполнять несколько больше функций, но в основном всё сводится именно к инициализации и запуску ядра ОС.

Система инициализации

Ядро запускает систему инициализации (init). В задачи init входит подготовка ОС к дальнейшей работе: инициализация консолей, монтирование виртуальных файловых систем и запуск компонентов системы. Процесс /sbin/init работает как демон и имеет pid = 1.

Из основных реализаций системы инициализации в Linux можно отметить systemd, SysVInit, runit и OpenRC. В проекте LFA используется система инициализации из состава BusyBox.

init загружается первым процессом (пользовательского режима) после инициализации ядра и отвечает за дальнейшую загрузку системы. Для этого он может либо запускать загрузочные скрипты (написанные, как правило, на BASH или каком-то другом скриптовом языке), либо читает специальные конфигурационные файлы с параметрами загрузки (такое поведение есть, например, у systemd).

Во многих системах Linux (особенно коммерческих) получил наибольшее распространение systemd. Это довольно удобная и функциональная система инициализации, однако некоторые пользователи критикуют её за раздутость, наличие многих ненужных пользователям функций (некоторые компоненты из systemd заменяют chroot, cron и средства для ведения логов системы), а также несколько более высокое потребление ресурсов компьютера по сравнению с другими системами инициализации. Лично

для меня существенным недостатком [скорее не самого systemd, а ряда программ, «прибитых» к нему] является то, что ряд ПО «прибит» к нему и работа такого ПО на системах с другими инитами может быть несколько затруднительной. Примерами такого ПО можно привести рабочие окружения GNOME и KDE. Тем не менее, systemd — довольно продвинутая система инициализации, которая не даром набрала популярность во многих дистрибутивах Linux.

Стандартная библиотека языка С

Поскольку системные компоненты ОС Linux написаны преимущественно на языке программирования С, в системе присутствует стандартная библиотека этого языка, с которой динамически линкуются программы системы. Эта стандартная библиотека (libc) содержит системные вызовы и основные функции, которые используются в программе, например функции для работы с файлами, выделения памяти, форматирования вывода в консоль и т.д.

Существует множество различных стандартных библиотек С, самая распространённая из которых — GNU C Library (glibc). Она используется почти во всех известных дистрибутивах GNU/Linux. Однако её часто критикуют за «раздутость» и низкую скорость работы по сравнению с другими библиотеками.

В LFA используется стандартная библиотека С musl. Она была написана с нуля, без переиспользования существующего кода. При её написании уделялось внимание эффективной статической линковке программ. Эта стандартная библиотека получила распространение в минималистичных дистрибутивах Linux, например в Alpine Linux, ОреnWRT и других. Применение musl может быть оправдано в минималистичных и встраиваемых системах, поэтому использование её в LFA в целом является хорошей идеей.

Стандартные утилиты UNIX (coreutils)

coreutils — это набор базовых утилит операционной системы, которые включают в себя программы для управления файлами (создание, удаление, копирование и перемещение файлов и каталогов, создание ссылок и блочных файлов), правами доступа к файлам (изменение прав доступа к файлу и каталогу, смена владельца и группы файла, etc.), проверки контрольных сумм файлов, работы с текстовой информацией и т.д.

Во многих дистрибутивах Linux в качестве реализации стандартных утилит выступает пакет GNU Coreutils, однако кроме него есть и другие. Например, существует реализация coreutils на языке программирования Rust (uutils coreutils). Во встраиваемых системах применяются более простые (а значит и более минималистичные и нетребовательные к ресурсам ПК) реализации, такие как BusyBox и ToyBox, которые объединяют все вышеописанные утилиты в один бинарный файл, имеющий размер от нескольких сотен Кбайт до 2-3 МБайт.

Командная оболочка (shell)

Для того, чтобы пользователь мог взаимодействовать с операционной системой и программами, которые в неё установлены, требуется какаялибо оболочка. Это может быть либо командный интерпретатор типа sh, ash, zsh, csh или bash, либо графическое пользовательское окружение типа GNOME или KDE.

В командной оболочке пользователь может либо давать команды ОС, либо запускать файлы, в которых содержатся списки этих команд (такие файлы называются скриптами).

Командные оболочки позволяют не только запускать какие-либо программы и передавать этим программам нужные аргументы и значения, но также объявлять свои переменные, в которых будут содержаться определённые значения, использовать циклы, конструкции ветвления, а также использовать другие возможности, которые обычно присущи языкам программирования.

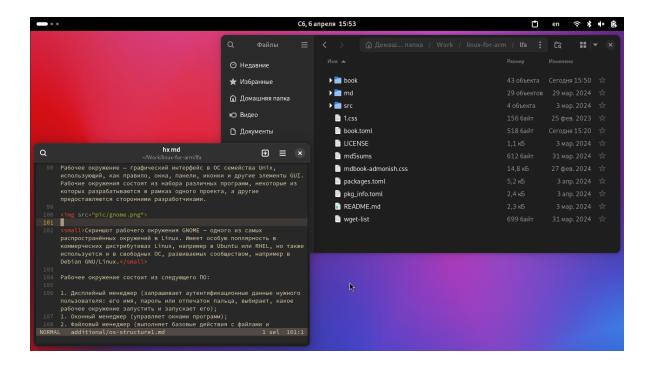
В операционных системах семейства Unix пользователь может использовать ветвления, циклы, функции, переменные, работать с арифметическими выражениями, сравнивать числа и строки, а также работать с текстовой информацией.

Эти возможности командных оболочек повсеместно используются во всех системах Unix, в том числе и дистрибутивах Linux. Начиная с процесса загрузки ОС, заканчивая какими-либо пользовательскими задачами. Преимущества Unix-оболочек используются и в этом руководстве при сборке системы.

Во многих дистрибутивах Linux в качестве командной оболочки используется BASH, однако во всяких минималистичных и/или встраиваемых системах можно встретить что-то вроде ash из состава BusyBox — микроверсию оболочки sh, обеспечивающую базовую функциональность shell'a. В других ОС семейства Unix можно встретить csh или tcsh (например, во FreeBSD), либо zsh (в macOS).

Рабочее окружение (Desktop Environment)

Рабочее окружение — графический интерфейс в ОС семейства Unix, использующий, как правило, окна, панели, иконки и другие элементы GUI. Рабочие окружения состоят из набора различных программ, некоторые из которых разрабатываются в рамках одного проекта, а другие предоставляются сторонними разработчиками.



Скриншот рабочего окружения GNOME — одного из самых распространённых окружений в Linux. Имеет особую поплярность в коммерческих дистрибутивах Linux, например в Ubuntu или RHEL, но также используется и в свободных ОС, развиваемых сообществом, например в Debian GNU/Linux.

Рабочее окружение состоит из следующего ПО:

- 1. Дисплейный менеджер (запрашивает аутентификационные данные нужного пользователя: его имя, пароль или отпечаток пальца, выбирает, какое рабочее окружение запустить и запускает его);
- 2. Оконный менеджер (управляет окнами программ);
- 3. Файловый менеджер (выполняет базовые действия с файлами и каталогами: просмотр содержимого директорий, переименование, перемещение, копирование, удаление файлов и директорий, создание ссылок и т.д.);
- 4. Панель, на которой расположены апплеты для взаимодействия с окружением (главное меню со списком приложений, часы, область уведомлений, панель управления, на которой можно изменять т.н. «быстрые параметры»: включение/выключение Wi-Fi, Bluetooth, регулировка звука и яркости экрана, кнопки для выключения/ перезагрузки компьютера или выхода из текущей сессии пользователя, etc.);

В Unix традиционно за обеспечение работы графических пользовательских окружений отвечает X Window System. Это сервер, обеспечивающий базовые функции графической среды: отрисовку и работу окон (их перемещение на экране, изменение размера, etc.), взаимодействие с устройствами ввода (мышь и клавиатура) и т.д. За всё остальное отвечают, как правило, оконные менеджеры, работающие поверх X и определяющие интерфейс и взаимодействие с пользователем.

Оконные менеджеры могут использоваться как в составе рабочего окружения, так и отдельно от него.

В последнее время наблюдается тенденция на отказ от X Window System в пользу протокола Wayland. Он обладает некоторыми достоинствами по сравнению с X.org (по крайней мере это не монолитный и запутанный монстр типа X.org, в котором давным-давно не разбираются даже разработчики, а вполне себе элегантная и простая вещь, вести разработку которой в разы легче и куда проще добавлять новые функции). Кроме того, Wayland не имеет присущих X недостатков и уязвимостей.

Вместо оконных менеджеров для Wayland применяются композитные менеджеры. Среди таких композитных менеджеров для Wayland можно отметить:

- 1. Weston эталонная реализация композитного менеджера Wayland;
- 2. Sway аналог тайлинговых оконных менеджеров типа i3-wm для Wayland;
- 3. Mutter из состава рабочего окружения GNOME;
- 4. KWin из состава рабочего окружения KDE;

Рассмотрим строение рабочего окружения на примере GNOME Shell:

- 1. Дисплейный менеджер GDM;
- 2. Оконный/композитный менеджер Mutter;
- 3. Файловый менеджер Nautilus;
- 4. Оболочка GNOME Shell (включает в себя верхнюю панель с переключателем рабочих столов, часы и панель уведомлений, панель быстрых настроек, главное меню, dock со списком запущенных и закреплённых приложений, ряд диалогов и т.д.);

Все компоненты рабочих окружений, как правило, тесно интегрированы друг с другом и составляют целую «экосистему» связанного друг с другом ПО.

Во встраиваемых системах как правило нет графического пользовательского окружения, поскольку такие окружения достаточно тяжёлые для слабого встраиваемого оборудования.

¹ ровно поэтому нет и не может быть никаких «отечественных дистрибутивов Linux» или уж того хуже «отечественных операционных систем» (100% которых — просто дистрибутивы Linux, не более). Вклад российских разработчиков в развитие Linux ровно такой же, как и вклад любого другого разработчика из любого другого государства. Поэтому некорректно называть какой-то дистрибутив российским, французским, китайским и т.д.

Заметки об ОС Linux. Часть 2. Процесс загрузки

Большая часть сведений здесь взята из статьи Загрузка ОС на ARM на Хабре.

A

Внимание

Здесь будут даны сведения о загрузке Linux на ARM. Особенности загрузки других ОС затронуты не будут, поскольку это не тема данного руководства.

Загрузчик ОС

Загрузчик обеспечивает запуск ОС и ряд сервисных функций, например проверку целостности образа ОС перед запуском, обновление ПО, самотестирование и т.д. Очень часто в качестве загрузчика можно встретить U-Boot или иные решения с открытым исходным кодом. Для x86_64 «собратьев» обычно применяются GRUB и systemd-boot.

Таким образом, если очень сильно упростить, то процесс загрузки ОС выглядит следующим образом:



Здесь знаком // отмечен момент подачи питания или сброса процессора. Такой простой способ запуска был у некоторых процессоров ARMv7. В более новых версиях процессоров процесс куда сложнее, чем на приведённой схеме.

Схема «Загрузчик» -> «ОС» очень удобна из практических соображений, ведь загрузчик берёт на себя всю низкоуровневую работу:

- Инициализирует память перед запуском ОС и загружает ядро ОС в память
- Инициализирует часть периферии
- Иногда реализует хранение двух образов ОС: текущего и резервного или образа для восстановления

Например, для запуска Linux на ARM загрузчик должен инициализировать память, хотя бы один терминал, загрузить образ ядра и Devicetree в память и передать управление ядру. Всё это описано в документации Linux. Код инициализации ядра Linux не будет делать сам то, что должен делать загрузчик.

Рассмотрим работу загрузчика на примере U-Boot:

- 1. После включения или сброса процессор загружает образ U-Boot в ОЗУ и передаёт управление на первую команду этого образа.
- 2. U-Boot инициализирует DDRAM.
- 3. U-Boot инициализирует драйверы загрузочного носителя (3H), например eMMC, NAND Flash и т.д.
- 4. U-Boot читает с 3H область переменных конфигураций. В конфигурации задан скрипт загрузки, который U-Boot далее исполняет.
- 5. U-Boot выводит предложение прервать процесс загрузки и сконфигурировать устройство. Если за 2-3 секунды пользователь этого не сделает, запустится загрузочный скрипт.
- 6. Иногда скрипт начинается с поиска подходящего образа ОС для загрузки на всех доступных носителях. В других случаях ЗН задаётся в скрипте жёстко.
- 7. Скрипт загружает с 3H в DDRAM образ ядра (zImage) и файл Devicetree с параметрами ядра.

- 8. Дополнительно скрипт может загрузить в память образ initrd.
- 9. zImage состоит из распаковщика и сжатого образа ядра. Распаковщик развёртывает ядро в памяти.
- 10. Начинается загрузка ОС.

Предзагрузчик

Однко в реальности почти никогда не бывает, чтобы команды загрузчика выполнялись первыми после включения или сброса процессора, тем более на современных ARM-процессорах.

Любое ядро ARM-процессора при сбросе начинает исполнение с адреса 0, где записан вектор reset. Старые процессоры буквально начинали загружаться с внешней памяти, отображённой по нулевому адресу, и тогда первая команда процессора была первой командой загрузчика. Однако для такой загрузки подходит только параллельная NOR Flash или ROM. Эти типы памяти работают очень просто: при подаче адреса они выдают данные. Характерный пример параллельной NOR Flash — микросхема BIOS в x86/x86_64 компьютерах.

В современных системах используются другие виды памяти, потому что они дешевле, а их объём больше. Это, например, NAND, eMMC, SPI/QSPI Flash. Эти типы памяти уже не работают по типу «подал адрес — читаешь данные», а значит, что для прямого исполнения команд из них не подходят. Даже для простого чтения нужно написать специальный драйвер, поэтому мы имеем проблему «курицы и яйца»: драйвер нужно откуда-то заранее загрузить.

По этой причине в современные ARM-процессоры интегрировано ПЗУ с предзагрузчиком. ПЗУ отображено в процессоре на адрес 0, и именно с этого адреса начинается исполнение команд процессором.

Задачи предзагрузчика:

- 1. Определение конфигурации подключенных устройств;
- 2. Определение загрузочного носителя (ЗН);

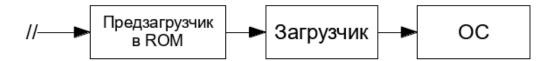
- 3. Инициализация устройств и 3Н;
- 4. Чтение загрузчика с ЗН;
- 5. Передача управления загрузчику.

Конфигурация предзагрузчика обычно устанавливается одним из двух способов:

- Схемотехнически подключением определённых выводов процессора к земле или шине питания;
- Записывается в однократно программируемую память процессора на этапе производства.

В целом почти всегда есть возможность задать единственный вариант загрузки или основной и несколько альтернативных.

Подобный предзагрузчик устанавливается как в процессорах типа Cortex-A, так и в микроконтроллерах, даже таких маленьких, как Cortex-M0. Вместе с предзагрузчиком процедура запуска ОС выглядит так:



Код предзагрузчика пишется производителем конкретного SoC, а не компанией ARM, является частью SoC как продукта компании-производителя и защищён авторским правом.

Использования предзагрузчика в большинстве сценариев избежать нельзя.



У ARMv8-A есть специальная микропрограмма под названием ARM Trusted Firmware (TF-A). Это системное ПО, отвечающее, например, за управление питанием (PSCI). Этот код можно считать, в какой-то степени, BIOS для ARMv8. У более ранних процессоров (например, ARMv7) такого ПО нет.

TrustZone

В процессоры ARM Cortex-A и Cortex-R встраивается технология **TrustZone**. Эта технология позволяет на аппаратном уровне выделить два режима исполнения: Secure (Безопасный) и Non-Secure (Гостевой).

Эти процессоры в основном нацелены на рынок смартфонов и планшетных ПК, где TrustZone используется для создания в режиме Secure доверенной «песочницы» для исполнения кода, связанного с криптографией, DRM, хранением пользовательских данных.

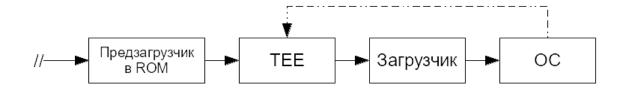
В режиме Secure при этом запускается специальная ОС, называемая в общем случае TEE (Trusted Execution Environment, Доверенная Среда Исполнения), а «нормальная» ОС, такая как Linux, iOS и т.д., запускается в режиме Non-Secure. При этом права доступа к некоторым устройствам ограничены для «нормальной» ОС, поэтому её ещё называют гостевой ОС.

Из-за наложенных ограничений гостевая ОС вынуждена время от времени вызывать функции ТЕЕ для исполнения некоторых операций. ТЕЕ продолжает существовать параллельно с гостевой ОС, и гостевая ОС не может с этим ничего поделать.

Например, гостевая ОС использует функции ТЕЕ для:

- Включения и выключения ядер процессора (в ARMv8-A это происходит через PSCI часть TF-A);
- Хранения ключей, банковских карт и т.п.
- Хранения ключей полнодискового шифрования;
- Операций с криптографией;
- Отображения DRM-контента.

Процесс загрузки ОС на ARM (Cortex-A) примерно выглядит так:



На схеме пунктиром обозначен путь обращения из ядра ОС в TEE.

Заметки об ОС Linux. Часть 3. Система инициализации

Как было сказано ранее, /sbin/init - это программа, которая стартует первой в системе (в пользовательском режиме). Обычно имеет PID=1. Главная задача системы инициализации (далее - СИ) - довести систему до состояния, пригодного для использования. Для этого СИ может монтировать какие-либо разделы и файловые системы (так например на определённом этапе загрузки СИ выполняет монтирование ряда ФС), а также запускать установленные в системе демоны и иные программы. Основные параметры загрузки содержатся в файле /etc/inittab.

В некоторых СИ используются *уровни выполнения* — определённые стадии загрузки системы, на которых пользователю доступны какие-либо её возможности.

Помимо загрузки ОС, СИ заботится и о её выключении, завершая все сервисы и размонтируя файловые системы, после чего вызывая системный вызов для отключения ПК.

Реализации init'ов

Простейшие СИ

По умолчанию ядро после своей инициализации запускает программу /sbin/init и паникует, если не нашло её. Однако данное поведение можно и изменить, передав параметр init=/путь/до/си. Например, в качестве инита вы можете использовать вашу командную оболочку:

init=/bin/ash

Тогда первым процессом будет запущена оболочка ash из состава ВизуВох. Однако помните, что в задачи системы инициализации входит подготовка ОС к дальнейшему функционированию: монтирование различных файловых систем (в т.ч. всяких /dev/, /proc/, /sys/), запуск демонов и иных программ. Если вместо обычной системы инициализации или программы, её заменяющей, вы запустите командную оболочку, то ничего из этого выполнено не будет — у вас просто запустится shell. Вы получите как бы рабочую систему с правами root, но не более того. Не будут работать логирование, графика, сеть и куча других вещей, которые запускает СИ.

Идя по пути усложнения вещей, мы можем написать shell-скрипт, который выполняет какие-то самые базовые вещи по настройке и запуску ОС. Например:

```
#!/bin/ash
export PATH=/bin:/sbin
# Монтируем всякие разные файловые системы
mount proc /proc -t proc
mkdir -p /dev/pts
mount -t devpts -o noexec, nosuid, gid=5, mode=0620 devpts /dev/pts
mount -t tmpfs none -o nodev, nosuid, noatime /tmp
mount -t tmpfs none -o nodev, nosuid, noatime /var/log
mount -t tmpfs none -o nodev,nosuid,noatime /var/run
mount -t tmpfs none -o nodev, nosuid, noatime /run
mount sysfs /sys -t sysfs
# Запускаем системный логгер
syslog
klogd -c 3
# Инициализация одного ТТҮ
getty tty1 # Управление передаётся процессу `/sbin/getty`
# Когда мы завершим процесс `getty`, можно считать,
# что мы выключаем систему. Поэтому нам нужны
# действия по завершению её работы:
# Завершаем запущенные в скрипте сервисы
killall klogd
killall syslog
# Убиваем всё остальное
kill -TERM -1
kill -KILL -1
```

SysVInit

umount -a

exit

Размонтируем все ФС

Ранее SysVInit был де-факто стандартом в дистрибутивах Linux, но в 2010-х были относительно успешные попытки заменить его на другие СИ.

Достоинства:

- Устоявшаяся и хорошо понятная классическая система;
- Простой процесс настройки;
- Нетребовательность к ресурсам компьютера;
- Следование философии UNIX;

Недостатки:

- Неудобная работа с сервисами;
- Каждый сервис это обычный shell-скрипт;
- Отсутствие параллельного запуска загрузочных скриптов, из-за чего хотя бы один «зависший» скрипт застопорит загрузку/выключение системы;

Для SysVInit требуются загрузочные скрипты. С примером таких скриптов вы можете ознакомиться в **руководстве LFS**.

OpenRC

OpenRC — система инициализациис поддержкой зависимостей. Запускает необходимые системные сервисы в определённом порядке при загрузке, управляет ими во время работы системы и останавливает их при завершении работы. Имеет возможность параллельного запуска процессов для сокращения времени загрузки.

runit

TODO

systemd

TODO

Сравнение систем инициализации

Таблица взята из Gentoo WiKi.

SysVInit	OpenRC	runit
Linux/BSD	Linux/BSD	Linux/BSD/D
С	POSIX Shell + C	С
-	init (SysVInit или BSD)	-
Один скрипт (который может запускать несколько других)	Shell-скрипты	Shell-скрипт
Нет	Есть	Нет
Нет	Есть (опционально)	Есть (???)
	Linux/BSD С Один скрипт (который может запускать несколько других) Нет	Linux/BSD C POSIX Shell + C init (SysVInit или BSD) Один скрипт (который может запускать несколько других) Нет Есть Нет Eсть

Заметки об ОС Linux. Часть 4. Стандартные утилиты UNIX

Управление пакетами

Использование пакетных менеджеров является привычным способом управления пакетами во многих системах, использующих ядро Linux, однако LFA не предполагает использование таких решений, предпочитая использованию готовых инструментов сборку нужного ПО из исходного кода.

Мы не рекомендуем вам использовать уже существующие пакетные менеджеры в собранной системе LFA по ряду причин:

- Рассмотрение вопросов управления пакетами отвлекает внимание от целей LFA изучения строения Linux-систем и их процесса проектирования и сборки для ARM-компьютеров.
- Типичные пакетные менеджеры предназначены для конкретных дистрибутивов GNU/Linux. Использование таких ПМ в LFA может привести к поломке системы.
- Существует множество решений для управления программным обеспечением, каждое из которых имеет свои достоинства и недостатки. Найти идеальное для конкретной задачи решение задача не авторов LFA, а пользователя.

Обновления

Пакетный менеджер облегчает обновление ПО до новых версий. Как правило, для обновления пакета до новой версии можно использовать инструкции из LFA. Однако есть некоторые моменты, о которых необходимо помнить при обновлении пакетов, особенно в рабочей системе:

• Если вы *уже* собрали систему по LFA и с момента сборки прошло некоторое время, то нет нужды устанавливать обновления для пакетов GCC, GMP, MPC, MPFR, Binutils. Их всё равно в системе нет, они используются только для сборки LFA.

- Если вам необходимо обновить стандартную библиотеку С (musl), лучше всего будет полностью пересобрать LFA. Несмотря на то, что вы можете просто пересобрать все пакеты в порядке их зависимостей, мы вам не рекомендуем этого делать.
- Если пакет, содержащий разделяемую библиотеку (shared library), обновляется и, если имя библиотеки меняется, то все пакеты, динамически связанные с этой библиотекой, должны быть пересобраны для связи с этой библиотекой (обратите внимание, что нет никакой корреляции между версией пакета и именем библиотеки). Например, есть пакет foo-1.0.0, который устанавливает библиотеку libfoo.so.1. Допустим, вы обновляете пакет до более новой версии foo-1.1.7, который устанавливает библиотеку libfoo.so.2. В этом случае все пакеты, динамически связанные с libfoo.so.1, должны быть перекомпилированы для связи с новой libfoo.so.2. Заметьте, что вы не должны удалять предыдущие библиотеки, пока не будут перекомпилированы зависимые пакеты.
- Если вы обновляете работающую систему, обратите внимание на пакеты, в которых для установки файлов в систему используется команда ср, а не install. Последняя команда обычно безопаснее, если исполняемый файл или библиотека уже загружена в память.

Методы управления пакетами

Ниже перечислены некоторые распространённые методы управления ПО. Прежде чем принять решение о выборе пакетного менеджера, рассмотрите указанные ниже методы и определите, лучше ли они тупых и раздутых ПМ.

Держать всё в своей голове

Эта техника применяется в данном руководстве. Мы считаем, что вы, как пользователь, вполне в состоянии запомнить пару десятком установленных в систему пакетов, к тому же, здесь приведены основные сведения о ПО, используемом в LFA: начиная от описания и версии пакета,

заканчивая их содержимым (например, в нашем руководстве приведены краткие описания устанавливаемых пакетами программ и библиотек). Данный метод хорош в крайне минималистичных и небольших системах, в которых либо не предполагается управление пакетами как таковое, либо, если и предполагается, то установка или удаление ПО планируется крайне редко.

Установка в отдельные каталоги

Эта техника допускает наличия в системе нескольких версий одного и того же пакета. К тому же, она значительно упрощает удаления пакетов, ведь для осуществления этого требуется всего лишь удалить директорию, в которую установлен пакет.

Каждый пакет устанавливается в отдельный каталог. Например, пакет foo-1.0.0 будет установлен в /usr/pkg/foo-1.0.0. Из минусов такого подхода можно отметить разрастание переменных окружения РАТН, LD_LIBRARY_PATH и др.

Использование самодостаточных пакетов

Вы можете использовать и самодостаточные пакеты. Мы не проверяли их работоспособность в LFA, поэтому не можем гарантировать то, что это возможный вариант.

Использование пакетных менеджеров

Несмотря на то, что LFA не использует пакетные менеджеры, поскольку основным её предназначением является именно ручная компиляция программ, вы можете установить какой-либо пакетный менеджер в вашу собранную систему. Обратите внимание, что использование пакетников из распространённых дистрибутивов может сломать вашу LFA, поскольку эти пакетные менеджеры могут не знать о том, какое ПО у вас уже

установлено в системе и пытаться переустановить его. Поэтому используйте пакетные менеджеры осторожно.

Сборка ПО из исходного кода

Концепция некоторых систем Linux, а иногда и некоторых других ОС семейства Unix неразрывно связана с компиляцией программного обеспечения из исходного кода. Да и многие руководства, связанные с Linux, например LFS, CLFS или LFA также построены вокруг компиляции ПО. Конечно, многие системы Linux снабжены удалёнными хранилищами уже скомпилированных пакетов, но бывают и случаи, когда в репозиториях нет нужного пакета и его приходится собирать из исходников самостоятельно.

Конечно, LFA может дать вам опыт в сборке ПО из исходного кода, однако у пользователей (особенно начинающих) периодически возникали вопросы по поводу компиляции программ; эта страница содержит ответы на основные из вопросов.

Системы сборки

Современное программное обеспечение достаточно крупное и сложное. Если какую-то простую программу мы сможем скомпилировать всего лишь одной командой, например:

```
# C
gcc main.c -o main
# C++
g++ main.cpp -o main
# Rust
rustc main.rs
```

то более сложные вещи компилируются в несколько команд. Число таких команд может превышать десятки, а то и сотни. Для того, чтобы не набирать их все вручную, можно пойти двумя путями:

- 1. Написать BASH-скрипт, последовательно выполняющий команды для сборки.
- 2. Использовать специальную программу, принимающую на вход определённый файл со сборочными инструкциями, и выполняющая его.

Для чего-то простого вполне сойдёт и ВАSH-скрипт: это просто и быстро, да и интерпретатор ВАSH (или совместимого с ним языка) присутствует практически во всех ОС семейства Unix. Но что делать, если скрипт выполнил, условно говоря, из 100 команд всего 10, а на 11 произошла ошибка и скрипт прервал свою работу? Мы можем как-то исправить ситуацию и начать сборку заново. Но тогда, когда мы вновь будем исполнять те команды, которые ранее были успешно выполнены, мы просто потеряем время. А если мы хотим производить сборку пакета в несколько потоков, чтобы сократить общее время сборки? ВАSH-скрипты, насколько я знаю, этого не позволяют. А если нам нужно как-то кастомизировать сборку пакета, скомпилировав только то, что нам необходимо в конкретной ситуации, а всё, что ненужно, пропустить?

Использование простых скриптов для сборки можно оправдать разве что для каких-то простых проектов, для чего-то посложнее и были придуманы системы сборки. Существует множество разных систем сборки, наиболее популярные из которых GNU Make и meson+ninja. В LFA вы встречались только с make, а, например, если заглянете в руководство BLFS, то можете увидеть у некоторых пакетов и другие системы сборки, например CMake или meson+ninja. Последняя особенно полюбилась разработчикам рабочего окружения GNOME и многие из проектов этого окружения уже используют meson+ninja для своей сборки.

Как определить, какая система сборки используется у пакета?

Если вы собираете какой-либо пакет из состава LFA, LFS или BLFS, то об этом можете не беспокоиться: просто используйте инструкции, которые приведены в этих руководствах. В случае, если по поводу сборки пакета не сказано и в документации (например, обычно общие инструкции по

сборке приводятся в файле INSTALL, который находится в директории с исходниками программы. Там даны лишь общие сведения по поводу использования основных команд и всё, конкретных сборочных инструкций там как правило нет), то вам придётся определить систему сборки самостоятельно. Например, посмотрите содержимое директории с исходным кодом программы:

Система сборки	Типичные для неё файлы	
GNU Make	Makefile, Makefile.in, configure, aclocal.m4, config.guess, config.in, config.sub	
CMake	CMake.list	
meson + ninja	meson.build	

Общий порядок сборки

Nº	Название пункта	Выполнение
1	Скачивание архива с исходным кодом	Выполняется всегда
2	Скачивание необходимых сторонних патчей	Выполняется при необходимости
3	Распаковка архива с исходниками; переход в директорию с исходниками	Выполняется всегда
4	Применение патчей	Выполняется при необходимости
5	Конфигурирование системы сборки; настройка пакета перед сборкой	Выполняется при необходимости и/или при наличии возможности настройки
6	Сборка пакета	Выполняется при наличии возможности сборки (например,

Nº	Название пункта	Выполнение
		если вы собираете программу, написанную на скриптовом ЯП, то сборка тут необходима не всегда, под сборкой подразумевается не только компиляция исходников, но и иные действия с ними)
7	Установка пакета в систему	Выполняется всегда

Примеры сборок пакетов

Рассмотрим процесс сборки пакетов из исходного кода на примере BusyBox и iana-etc.

BusyBox

Шаг 1. Скачивание исходного кода:

wget https://busybox.net/downloads/busybox-1.36.1.tar.bz2

Шаг 2. Скачивание необходимых сторонних патчей:

Скачивание патчей здесь не требуется.

Шаг 3. Распаковка архива с исходниками; переход в директорию с исходниками:

```
tar -xf busybox-1.36.1.tar.bz2
cd busybox-1.36.1
```

Шаг 4. Применение патчей:

Применение патчей здесь не требуется.

Шаг 5. Конфигурирование системы сборки; настройка пакета перед сборкой:

make mrproper
make defconfig

На этапе настройки системы сборки и конфигурирования пакета перед сборкой создаётся ряд файлов либо с параметрами сборки (примером этого может служить файл .config, содержащий параметры сборки ядра Linux или пакета BusyBox), либо файл со сборочными инструкциями (например, генерация файлов Makefile после исполнения скрипта configure с переданными ему ключами с параметрами сборки).

Шаг 6. Сборка пакета:

make -j4

Если программа написана на компилируемом языке программирования, то на этапе сборки вызывается компилятор нужного языка программирования, чтобы сгенерировать исполняемые двоичные файлы из исходников. Если программа написана на интерпретируемом ЯП, то, как правило, если пакет поддерживает «сборку», то на данном этапе исходный код просто подготавливается для его дальнейшей установки в систему.

Шаг 7. Установка пакета в систему:

sudo make install

На этом этапе собранные файлы копируются либо в системные директории, либо в другое место, указанное либо на этапе конфигурирования, либо непосредственно сейчас.

iana-etc

Шаг 1. Скачивание исходного кода:

wget https://github.com/Mic92/iana-etc/releases/download/20240125/ianaetc-20240125.tar.gz **Шаг 2.** Скачивание необходимых сторонних патчей:

Скачивание патчей здесь не требуется.

Шаг 3. Распаковка архива с исходниками; переход в директорию с исходниками:

```
tar -xf iana-etc-20240125.tar.gz
cd iana-etc-20240125
```

Шаг 4. Применение патчей:

Применение патчей здесь не требуется.

Шаг 5. Конфигурирование системы сборки; настройка пакета перед сборкой:

Конфигурирование и настройка здесь не требуется.

Шаг 6. Сборка пакета:

Сборка пакета здесь не требуется.

iana-etc — просто набор текстовых файлов. Тут нечего компилировать или подготавливать к установке.

Шаг 7. Установка пакета в систему:

```
cp -v services protocols $LFA_SYS/etc/
```

Просто вручную копируем нужные нам файлы в системную директорию LFA.

Решение проблем

• У пакета, который я собираю, используется система сборки GNU Make, однако нет файла Makefile, без которого я не могу собрать пакет. Что делать?

• Сгенерируйте пакет с помощью скрипта configure. Например:

./configure --prefix=/usr

- У меня нет файла configure, хотя используется GNU Make!
 - Используйте программу autoreconf из пакета autoconf для генерации configure.

Кросс-компилятор

Кросс-компилятор — такой компилятор, который генерирует двоичные файлы для платформы, отличной от той, на которой этот компилятор запускается. Он может быть полезен, например, когда нужно скомпилировать программу для той платформы, экземпляров которой в данный момент в наличии нет, либо когда сборка непосредственно на этой (целевой) платформе невозможна или нецелесообразна, например, когда нужно собрать программу для маломощного встраиваемого ARM-компьютера, сборка программы непосредственно на котором будет происходить либо очень долго, либо не происходить вообще ввиду ограниченной производительности такого компьютера.

- **Хост** (host) компьютер, **на** котором производится сборка;
- **Цель** (target) компьютер, **для** которого производится сборка.

Строение кросс-компилятора

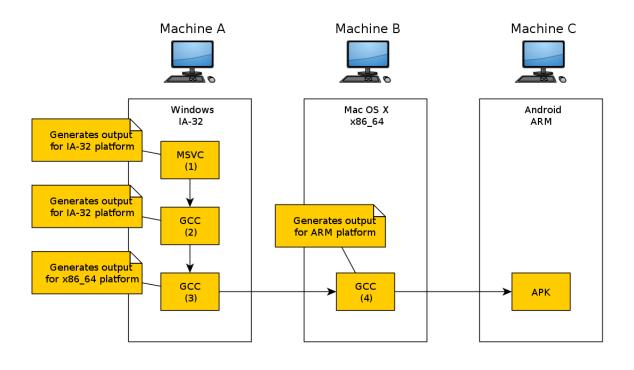
Помимо самого кросс-компилятора требуются скомпилированные для целевой платформы пакет binutils (особенно важно наличие GNU Assembler), содержащий программы для работы с объектными файлами, стандартная библиотека языка С (в LFA используется библиотека Musl) и заголовки ядра Linux.

Канадский крест

Канадский крест — это метод сборки кросс-компилятора для целевых архитектур. Например:

• Фирменный родной компилятор для компьютера (№1) используется для сборки «родного» компилятора для компьютера (№2).

- Родной компилятор для компьютера (№ 2) используется для сборки кросс-компилятора с компьютера А на компьютер В (№3).
- Кросс-компилятор с компьютера A для компьютера B используется для сборки кросс-компилятора для компьютера C (№4).



Смотрите также:

• Cross compiler (https://en.wikipedia.org/).

FPU в ARM-процессорах

FPU

FPU — это часть процессора для выполнения различных математических операций над вещественными числами. Он поддерживает работу с ними на уровне примитивов — загрузка, выгрузка вещественного числа (в/из специализированных регистров) или математическая операция над ними выполняется одной командой, за счёт чего достигается значительное ускорение таких операций. Типичными операциями является сложение, вычитание, умножение, деление и вычисление квадратного корня. Некоторые FPU также могут выполнять различные трансцендентные функции, такие как экспоненциальные или тригонометрические вычисления, но их точность может быть низкой, поэтому некоторые системы предпочитают вычислять эти функции программно.

VFP

Технология VFP (Vector Floating Point) — это сопроцессорное расширение блока **FPU** (**Floating-Point Unit**) для архитектуры ARM (в ARMv8 иначе — сопроцессоры там не определены). Он обеспечивает недорогие вычисления с плавающей запятой одинарной и двойной точности. Архитектура VFP предполагала поддержку выполнения коротких инструкций «векторного режима», но они последовательно обрабатывали каждый элемент вектора И, таким образом, обеспечивали производительности истинного векторного параллелизма с одной инструкцией и множеством данных (SIMD). Поэтому векторный режим был удалён вскоре после появления, а на смену ему пришёл гораздо более мощный Advanced SIMD, также известный как **Neon**.

Некоторые устройства, такие как ARM Cortex-A8, имеют урезанный модуль VFPLite вместо полноценного VFP, и требуют примерно в 10 раз больше

тактов на операцию с плавающей запятой. Архитектуры до ARMv8 реализовывали плавающую запяту/SIMD с помощью интерфейса сопроцессора. Другие модули с плавающей запятой и/или SIMD, встречающиеся в ARM процессорах, использующих математический сопроцессор, включают FPA, FPE, iwMMXt, некоторые из которых были реализованы программно, но моги быть реализованы и аппаратно. Они обеспечивают ту же функциональность, что и VFP, но не совместимы с ним по коду. FPA10 также обеспечивает расширенную точность, но реализует корректное округление только в одинарной точности.

VFPv1

Устарел.

VFPv2

Опциональное расширение набора инструкций в архитектурах ARMv5TE, ARMv5TEJ и ARMv6. VFPv2 имеет 16 64-битных регистров FPU.

VFPv3 или VFPv3-D32

Реализовано в большинстве процессоров Cortex-A8 и A9 ARMv7. Обратно совместим с VFPv2, за исключением того, что не может отлавливать исключения с плавающей точкой. VFPv3 имеет 32 64-битных регистра FPU в качестве стандарта, добавляет инструкции VCVT для преобразования между скалярами, float и double, добавляет немедленный режим в VMOV, чтобы константы могли быть загружены в регистр FPU.

VFPv3-D16

Как и выше, но только с 16 64-битными регистрами FPU. Реализован в процессорах Cortex-R4 и R5, а также в Cortex-A9.

VFPv4 или VFPv4-D32

Реализован в процессорах Cortex-A12, Cortex-A15. В Cortex-A7 опционально устанавливается VFPv4-D32 в случае использования FPU с Neon.

VFPv4-D16

Реализован в Cortex-A5 и Cortex-A7 если они используют FPU без Neon.

VFPv5-D16-M

Реализовано в Cortex-M7 при наличии опции ядра с плавающей точкой одинарной и двойной точности.

В Debian Linux и производных, таких как Ubuntu и Linux Mint, armhf (ARM hard float) относится к архитектуре ARMv7, включая дополнительное аппаратное расширение VFP3-D16 с плавающей точкой (и Thumb-2). Программные пакеты и инструменты кросс-компиляторов используют суффиксы armhf и arm/armel для различия.

Device Tree

ARM-компьютеры, в отличие от «классических» x86_64, используют специальный компонент под названием SoC (System on Chip), включающий в себя процессор и много других устройств, которые находятся на одной, как правило небольшой, микросхеме. К таким компьютерам можно отнести, к примеру, Raspberry Pi, Orange Pi, Banana Pi, Repka Pi, Pinebook и т.д.

SoC нуждается разве что во внешнем ОЗУ и некоторой периферии или разъёмов для подключения этой периферии, при этом SoC реализует в себе множество возможных, а иногда и взаимоисключающих конфигураций устройств. Таким образом, в системе должен быть механизм, позволяющийй передать ядру Linux информацию о том, какая из конфигураций соответствует тому, что распаяно на материнской плате. Данным механизмом является Devicetree.

Важно понимать, что Devicetree — это не что-то очень крупное и сложное, а всего лишь формат описания конфигурации оборудования компьютера. Ядро читает эту конфигурацию для обнаружения нужного оборудования в компьютере и, таким образом, обеспечивает поддержку только тех устройств, которые описаны в файле Devicetree (при условии наличия драйверов для этих устройств).

Файлы

*.dts

Файл с расширением *.dts — представление дерева устройств в человекочитабельном текстовом формате, синтаксис которого похож на

JSON. Компилируется программой dtc в бинарный файл *.dtb.

Пример содержимого *.dts:

```
/dts-v1/;
/ {
  interrupt-parent = <0x01>;
  #address-cells = <0x01>;
  \#size-cells = <0x01>;
  model = "OrangePi 3 LTS";
  compatible = "xunlong,orangepi-3-lts\0allwinner,sun50i-h6";
  aliases {
    mmc0 = "/soc/mmc@4020000";
    mmc1 = "/soc/mmc@4021000";
    mmc2 = "/soc/mmc@4022000";
    ethernet0 = "/soc/ethernet@5020000";
    serial0 = "/soc/serial@5000000";
  };
  cpus {
    #address-cells = <0x01>;
    #size-cells = <0x01>;
    cpu@0 {
      compatible = "arm,cortex-a53";
      device_type = "cpu";
      reg = <0x00>;
      enable-method = "psci";
      clocks = <0x06 \ 0x15>;
      clock-latency-ns = <0x3b9b0>;
      #cooling-cells = <0x02>;
      operating-points-v2 = <0x07>;
      cpu-supply = <0x08>;
      phandle = <0x0a>;
    };
 };
}
```

*.dtb

*.dtb — уже двоичное (бинарное) представление информации из файла *.dts, которое читается ядром Linux.

*.dtbo (overlay)

В дистрибутивах Raspbian и Armbian есть механизм, позволяющий во время загрузки применять к *.dtb-файлам патчи. Такой патч, содержащий какую-либо аппаратную возможность платы, называется overlay. Формат такого файла идентичен формату *.dtb. Обычно расположены в директории /boot/dtb/<uma SoC>/overlay.

Пример содержимого /boot/dtb/<имя SoC>/overlay/:

```
$ ls /boot/dtb/allwinner/overlay
sun50i-a64-fixup.dtbo sun50i-a64-pine64-7inch-lcd.dtbo sun50i-h6-i2c1.dtbo
sun50i-a64-pps-gpio.dtbo sun50i-h6-i2c2.dtbo
sun50i-a64-uart1.dtbo
```

Откуда брать эти файлы

В новых версиях ядра существует целая библиотека с ванильными $\star.dt\{b,s\}$ файлами для многих известных компьютеров на архитектуре ARM. Для компиляции этих файлов (нужна программа dtc), которые находятся в дереве исходного кода Linux, введите:

```
make CROSS_COMPILE=$LFA_TGT- ARCH=arm64 dtbs
```

В зависимости от параметров, указанных при конфигурировании ядра (в частности, в зависимости от того, поддержку каких SoC вы включили/ отключили), будут скомпилированы нужные файлы *.dtb. После их

компиляции вам нужно будет создать в директории /boot поддиректорию, в которую будут скопированы эти файлы.

Если в составе ядра нет *.dts-файла для вашего компьютера, то попробуйте взять его из дстрибутива (Armbian, Raspbian, etc.), где этот файл есть. Однако я не могу гарантировать в этом случае полную работоспособность системы с «чужим» файлом описания устройств.

Смотрите также:

- Linux and the Devicetree (https://docs.kernel.org/);
- **Device Tree** (https://www.altlinux.org/);
- https://www.devicetree.org/.

Приложения

Данная глава содержит дополнительные сведения, такие как, например, приложения, а также иную информацию, которая напрямую не относится к руководству, но, тем не менее, может понадобиться при сборке системы.

Список ПК, для которых собиралась LFA

Orange Pi 3 LTS

• Бренд процессора: Allwinner

• Модель процессора: Н6

• **Архитектура:** Cortex-A53 (AArch64)

• **Версия LFA:** 1.0

• Статус сборки: Собирается корректно

• Дата сборки: 01.01.1970

Переменные сборки

- **\$LFA_HOST**=x86_64
- **\$LFA_TGT**="aarch64-linux-musleabihf"
- \$LFA_ARCH="armv8-a"

Литература

- Интернет-ресурсы
 - https://clfs.org/view/clfs-embedded/arm/index.html
 - https://docs.u-boot.org/en/latest/build/gcc.html#building
 - https://en.wikipedia.org/wiki/Floating-point_unit
 - https://en.wikipedia.org/wiki/ARM_Cortex-A53
 - https://en.wikipedia.org/wiki/ARM_architecture_family
 - https://habr.com/ru/articles/763996/
 - https://linux-sunxi.org/U-Boot#Compile_U-Boot
 - https://linux-sunxi.org/Manual_build_howto
 - https://habr.com/ru/companies/aladdinrd/articles/338806/
 - https://wiki.gentoo.org/wiki/Comparison_of_init_systems
 - https://www.altlinux.org/Device_Tree

Roadmap

- Обновление основных пакетов (Linux, BusyBox, GCC, Binutils, etc.) до новых версий;
- Перевод на русский язык;
- Пиструкции по сборке загрузчика U-Boot;
- Пиструкции по созданию img -образа системы;

Что нового в этом релизе

LFA 1.0

Это первая версия руководства LFA, в которой изначально доступно:

- Сборка кросс-компилятора x86_64 -> ARM
- Сборка загрузчика U-Boot для Allwinner SoC
- Инструкции по созданию img -образа системы
- Более новые версии пакетов по сравнению с оригинальной CLFS
- Поставка готового кросс-компилятора or1k-elf-linux для сборки компонентов U-Boot
- Полный перевод на русский язык

Список изменений

Изменения

Initial Release

Обновления пакетов

01.01.1970

• Выпущен релиз 1.0