Linux Embarcado

Revisão: 11/03/2024

B2Open Systems

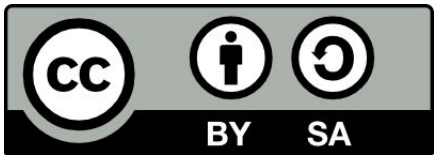
O material está sendo disponibilizado de acordo com CC BY-SA 4.0

- **Atribuição** — Você deve dar o crédito apropriado, prover um link para a licença e indicar se mudanças foram feitas. Você deve fazê-lo em qualquer circunstância razoável, mas de nenhuma maneira que sugira que o licenciante apoia você ou o seu uso.

- **Compartilhalgual** — Se você remixar, transformar, ou criar a partir do material, tem de distribuir as suas contribuições sob a mesma licença que o original.

- **Sem restrições adicionais** — Você não pode aplicar termos jurídicos ou medidas de caráter tecnológico que restrinjam legalmente outros de fazerem algo que a licença permita.

https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.pt_BR



Informações Gerais

Cleiton Bueno

- Proprietário da **B2Open Systems**
- Usuário Linux desde 2006 e trabalhando com Linux Embarcado desde 2013
- Participamos de projetos com Linux Embarcado em IoT, Indústria 4.0, Equipamento Médico, Agro, Telecom, Radar entre outros
- Atualmente trabalhamos muito com Yocto Project e aplicações em C, C++ e Python

Agenda

- **Dia 1** - Introdução e estudo da anatomia de um Sistema Embarcado com Linux e seus componentes Toolchain, Bootloader e Kernel

- **Dia 2** - Linux FHS, RootFS com Busybox, Gerenciador de Serviços e Ferramenta de construção de Sistemas Linux

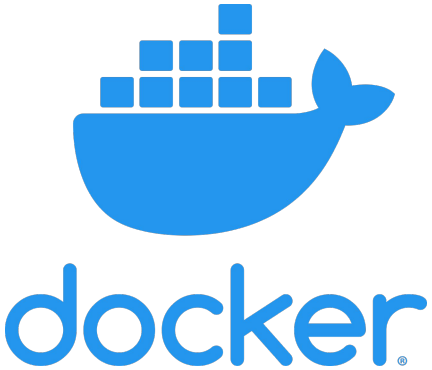
- **Dia 3** - Aplicações Demo, Yocto Project, Ferramentas

Material do Treinamento

vi.pdf	- Ajuda sobre uso do comando vi/vim
shell.pdf	- Principais comandos utilizados em Shell Script
Requisitos.pdf	- Requisitos do Sistema para realizar ao treinamento
SlidesLE.pdf	- Slides do treinamento
LaboratorioLE.pdf	- Todas as práticas e exemplos do Treinamento
Dockerfile	- Arquivo docker para preparar o Container do treinamento

Laboratório

- Container Docker
- Todas práticas e exercícios serão dentro do Container disponibilizado via Dockerfile para preparação do Treinamento
- Uma das principais vantagens possui o mesmo ambiente/versões/configurações em diferentes Distribuições Linux
- Fácil de compartilhar com demais colaboradores

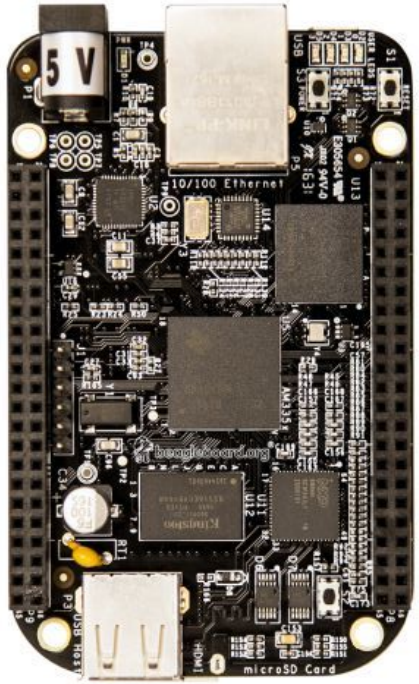


Participe!

- Não hesite em perguntar
- Sua dúvida pode ser uma questão generalizada
- Ajuda o instrutor a formatar melhor a explicação ou das mais ênfase no tópico
- Durante os exercícios da prática qualquer erro ao reproduzir comunique o Instrutor

Hardware Utilizado - BeagleBone Black

- Processador TI Sitara XAM3359AZCZ100, 1GHZ
- 2x PRU 32-bit microcontrollers
- Memória RAM 512MB DDR3L
- 4GB 8-bit eMMC OnBoard
- Controlador Ethernet 10/100
- 46 pinos GPIO
- HDMI
- 4x USB 2.0
- USB Host
- Micro SD



Mais informações: [Beaglebone Black]

Hardware Utilizado - Toradex Colibri iMX6

- NXP/Freescale i.MX6S – Solo Core, 256MB RAM e 4GB eMMC
- NXP/Freescale i.MX6DL – Dual Core, 512MB RAM e 4GB eMMC
- ARM Cortex-A9 (800MHz ~ 1GHz)
- 5x UART's, 4x SPI, 3x I2C, 2x CAN, 4x PWM
- >150 GPIO's
- GPU Vivante GC880
- Video Decode (MJPEG, MPEG-4, H.264, H.263, DivX, VC1, MPEG-2)
- Video Encode (MJPEG, MPEG-4, H.264, H.263)
- Micro SD

Mais informações: [Toradex Colibri iMX6]

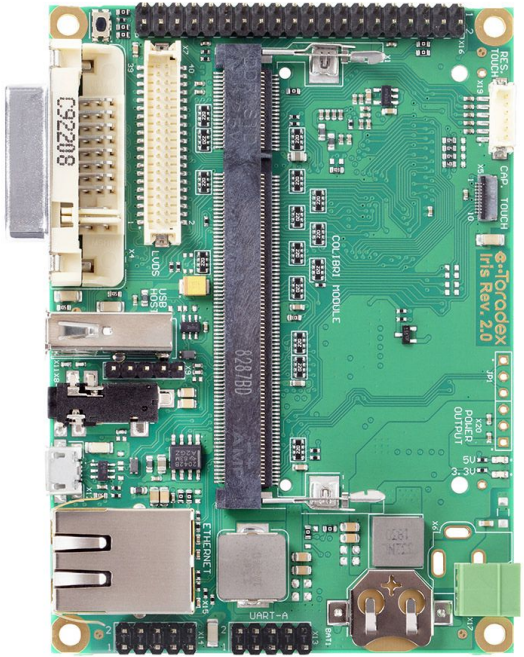
Hardware Utilizado - Toradex Colibri iMX8X

- NXP/Freescale i.MX8QX – QuadCore, 2GB RAM e 8GB eMMC
- NXP/Freescale i.MX8DX – DualCore, 1GB RAM e 4GB eMMC
- ARM Cortex-A35 (1.2GHz)
- 5x UART's, 3x SPI, 8x I2C, 3x CAN, 10x PWM
- >90 GPIO's
- GPU Vivante GC7000 Lite
- Video Decode (4K H.265 decoder*, 1080p H.264 decoder)
- Video Encode (1080p30 H.264 encoder)
- Micro SD
- Wireless Dual-Band 802.11ac / Bluetooth 5

Mais informações: [Toradex Colibri iMX8]

Hardware Utilizado - Toradex BaseBoard IRIS

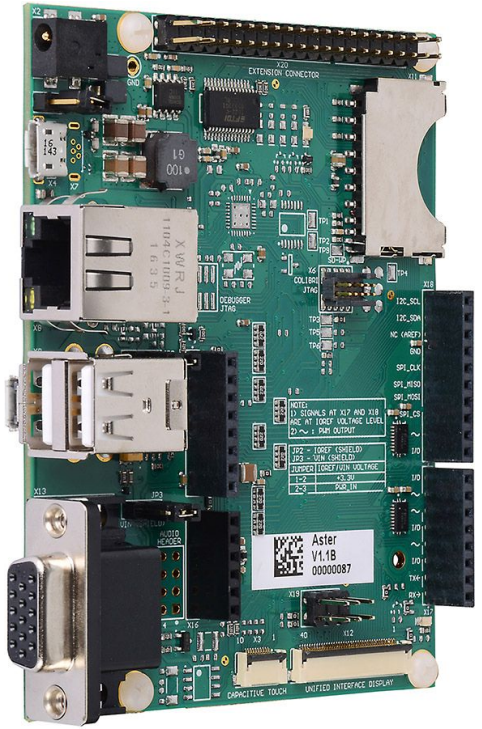
- Alimentação 6-27V DC
- 1x USB Host
- 1x USB OTG
- 3x UART's RS232
- 4x PWM
- 1x Ethernet
- 1x LVDS, 1x HDMI (Conector DVI), 1x VGA (Conector DVI)
- 1x RTC na placa
- 1x uSD
- >25 GPIO's



Mais informações: [Toradex IRIS Carrier Board]

Hardware Utilizado - Toradex BaseBoard ASTER

- Alimentação 5V DC
- 2x USB Host
- 1x USB Client
- 2x UART TTL
- 1x USB UART
- 4x PWM
- 1x Ethernet
- 1x RGB, 1x VGA (Conector DVI)
- 1x RTC na placa
- 1x SD
- >39 GPIO's



Mais informações: [Toradex ASTER Carrier Board]

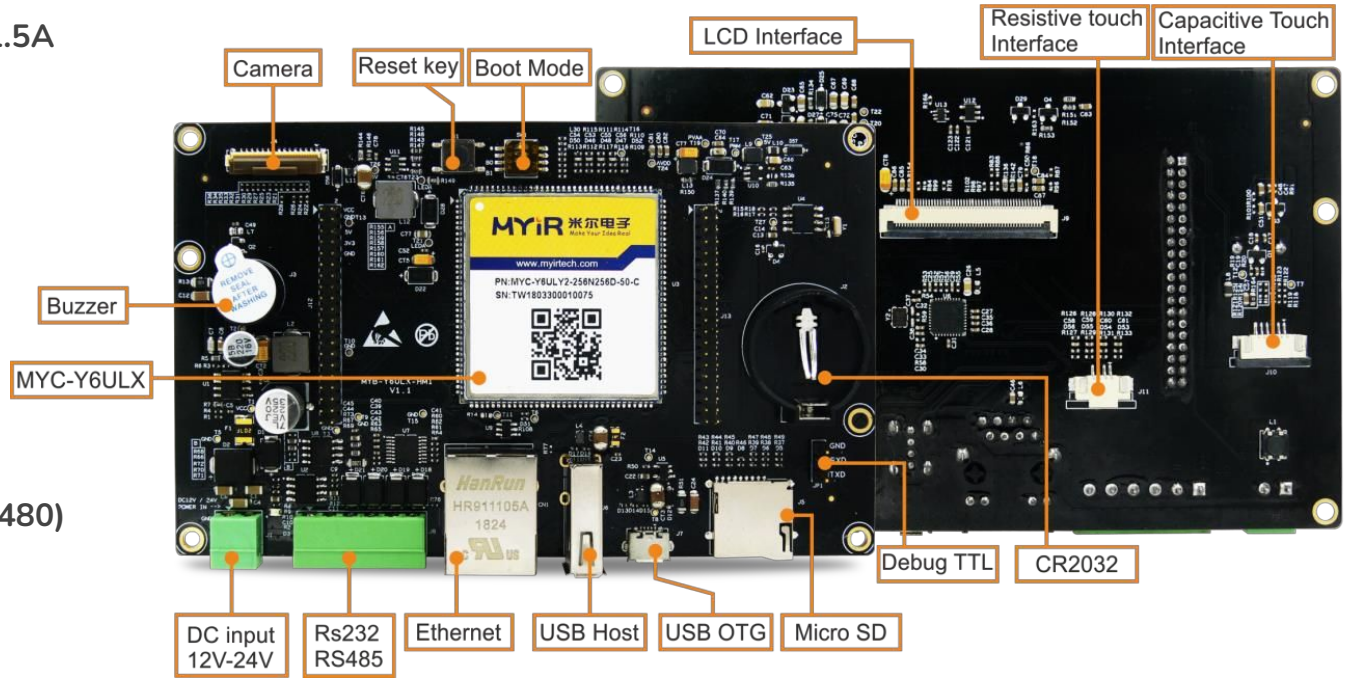
Hardware - MYIR MYC-Y6ULX

- Processador NXP iMX 6UL/6ULL ARM Cortex-A7
- Memória RAM 256MB DDR3 SDRAM
- Memória Armazenamento 256MB Nand Flash
- Conectividade de rede: FAst Ethernet 10/100
- 8x UART's
- 2x CAN
- 1x LCD 24-bit Parallel
- 2x ADC
- 2x SDIO
- USB 2.0 HS/FS / USB OTG

Mais informações: [MYC-Y6ULX CPU Module]

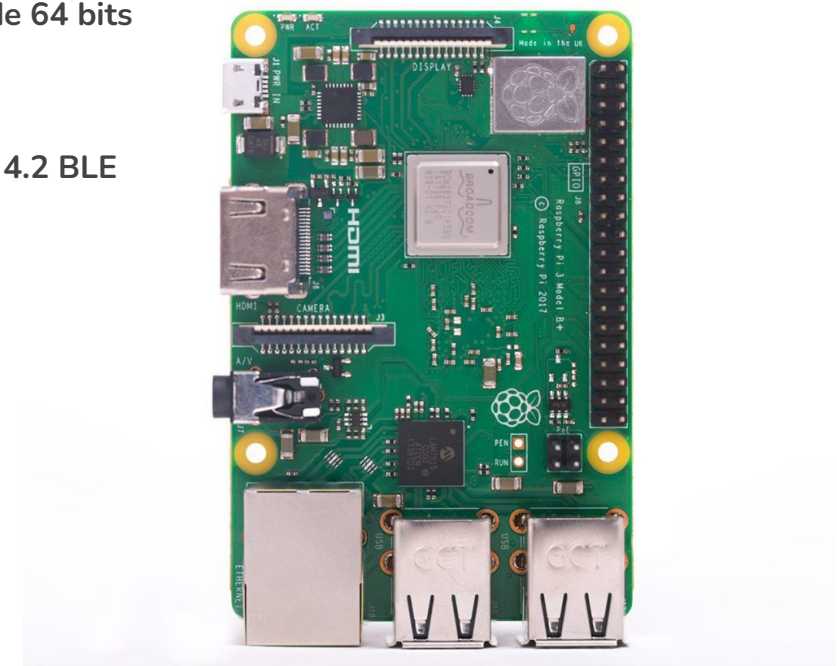
Hardware - MYD-Y6ULX-CHMI

- Alimentação 12V-24V DC/1.5A
- 1x USB Host
- 1x USB OTG
- 1x UART's RS232
- 1x Serial RS475
- 1x Serial Debug
- 1x Ethernet
- Display 7" TFT-LCD (800 x 480)
- TouchScreen Capacitivo
- 1x RTC na placa
- 1x MicroSD
- 1x Buzzer
- >97 GPIO's



Hardware Utilizado - RaspberryPI3

- Processador Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) SoC de 64 bits
- Memória RAM 1GB LPDDR2 SDRAM
- Conectividade Sem Fio 2.4GHz IEEE 802.11 b/g/n/ac e Bluetooth 4.2 BLE
- Conectividade de rede: Gigabit Ethernet via USB 2.0
- Portas: GPIO 40 pinos
- HDMI
- 4x USB 2.0
- CSI (câmera Raspberry Pi)
- DSI (Display)
- Micro SD

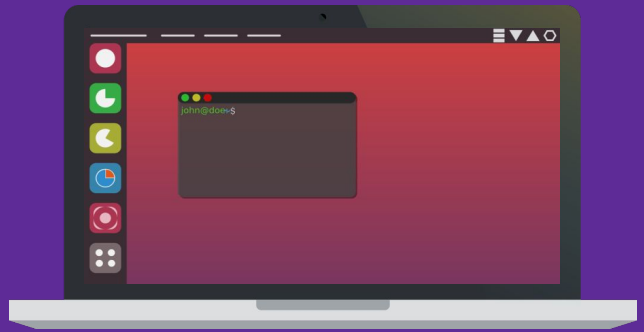


Mais informações: [RaspberryPI Documentation]

Itens adicionais

- Conversor USB-Serial TTL 3v3
- MicroSD >8GB

Ambiente de Desenvolvimento



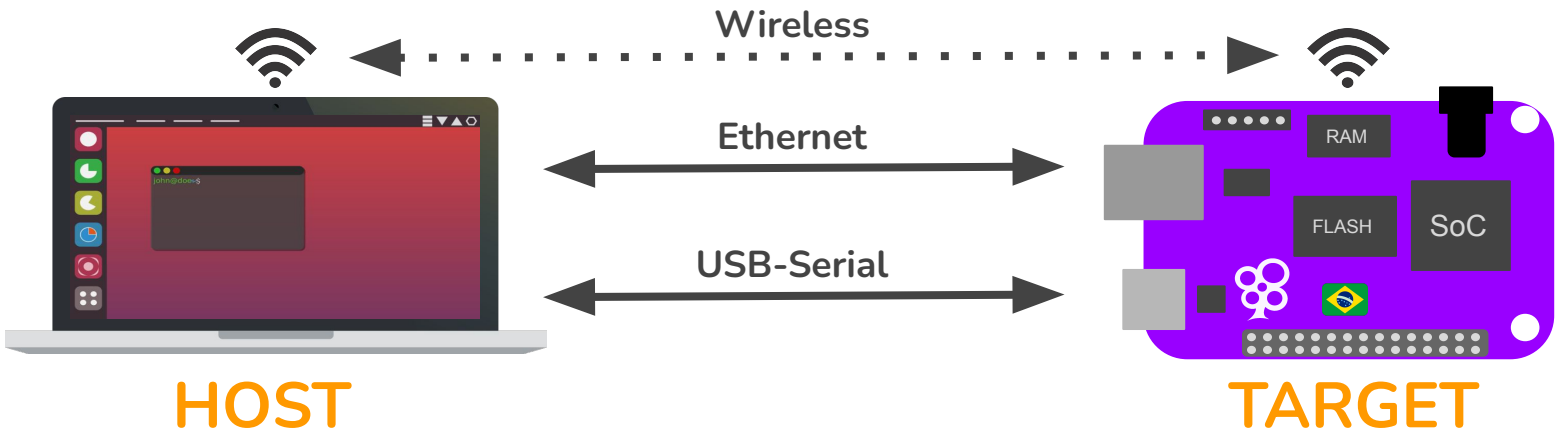
Ambiente de Desenvolvimento

- Use a Distribuição Linux de sua preferência: Debian, Ubuntu, Mint, Fedora, CentOS, Arch, ...
- Container Docker ao invés de Máquina Virtual, fácil de reproduzir, compartilhar e com menos recursos
- Todas ferramentas utilizadas são open-source
- Ambiente 100% Linux

Ambiente de Desenvolvimento

Host - Computador de Desenvolvimento

Target - Placa Alvo, Kit de Desenvolvimento



Ambiente de Desenvolvimento

Durante o treinamento tudo é feito no terminal, algumas orientações de uso a seguir:

- Terminal como usuário comum (restrições de comandos)

```
$
```

- Terminal como super-usuário (sem restrições de comandos/permissões)

```
#
```

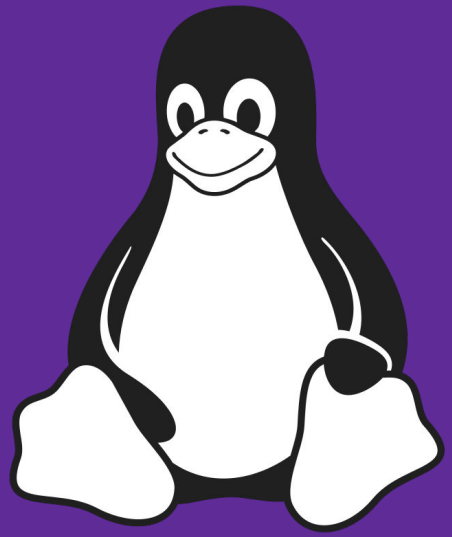
- Executando comandos root como usuário comum com **sudo**

```
$ sudo  ifconfig eth0 down
```

Laboratório

- Prática Terminal e Comandos
- Preparando o ambiente do Treinamento

Introdução ao Linux Embarcado



Do nascimento do Software Livre ao Linux

- **1970:** Engenheiros da Bell Labs, liderados por Ken Thompson e Dennis Ritchie, criam o sistema operacional UNIX.
- **1983:** Richard Stallman, projeto GNU e o conceito de software livre. Começa o desenvolvimento do gcc, gdb, glibc e outras ferramentas importantes.
- **1991:** Linus Torvalds, projeto do kernel Linux, um sistema operacional UNIX-like. Em conjunto com o projeto GNU, nasce o sistema operacional GNU/Linux.
- **2000:** Linux se torna mais popular em Sistemas Embarcados
- **2008:** Linux se torna popular em Dispositivos Móveis

Software Livre?

- Um programa é considerado livre quando sua licença oferece a todos os seus usuários as seguintes quatro liberdades:
  - Liberdade para executar o software para qualquer propósito
  - Liberdade para estudar o software e alterá-lo
  - Liberdade para redistribuir cópias
  - Liberdade para distribuir cópias de versões modificadas

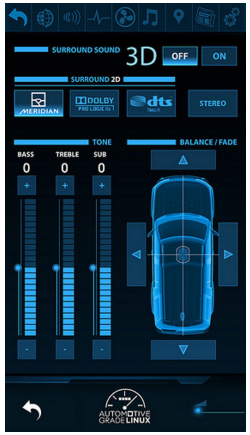
- Essas liberdades são concedidas para uso comercial e não comercial
- Implicam a disponibilidade do código-fonte, o software pode ser modificado e distribuído aos clientes

Onde Linux Embarcado está presente?


ROS


DEMO
ECG Leads Off
SpO2 High
60
30
99
80
120/90
30 10 30
120 / 100


HEXAGON
0.00ha
10.0 km/h
-0.06 m


SURROUND SOUND
3D
OFF
ON
SURROUND 2D
STEREO
TONE
BALANCE / FADE
BASS
TREBLE
SUB
0
0
0
AUTOMOTIVE GRADE LINUX


Time
Speed
Distance
Calorie
Speaker
Hand Pulse
Foldable
AUX
DC Motor


SIEMENS
SIMATIC IOT2000

Linux Embarcado

O que é Linux Embarcado?

Falar de Linux Embarcado é o mesmo de uma Distribuição Linux utilizada em Desktop ou Servidores, é utilizado o mesmo **Kernel Linux**, combinando com diversos softwares open-source e adequações para um Sistema Embarcado, na maioria das vezes com propósito bem definido!

Vantagens de utilizar Linux e OpenSource em Sistemas Embarcados?

- Reuso de Componentes
- Baixo Custo
- Controle Total
- Qualidade
- Comunidade

Linux é o Kernel!

- Sobre o Kernel: https://www.kernel.org/
- Código aberto e livre de royalties
- Portável: suporte para 23 diferentes arquiteturas (versão 5.13)
- Escalável: o mesmo kernel roda desde Servidores até SmartWatchs
- Estável: capaz de rodar por muito tempo sem precisar de um único reboot.

Linux é o Kernel!

Linux Kernel

Distribuição Cronos

Distribuição ARGO

Reuso de Componentes

- Um das principais vantagem do Kernel Linux e softwares open-source em sistemas embarcados é a capacidade de reutilizar componentes
- A comunidade já fornece uma grande gama de componentes e recursos de suporte a hardwares, protocolos de rede, bibliotecas multimídias e etc.
- Assim que um dispositivo de hardware, ou protocolo, ou um recurso é amplamente difundido, grande chance de ter componentes de código aberto que o suportem.
- Desenvolvimento mais rápido utilizando componentes prontos
- Foco no produto/software da empresa (PoC/MVP)

Baixo Custo

- O software livre pode ser duplicado em quantos dispositivos você quiser, gratuitamente.
- Se o seu sistema embarcado usa apenas software livre, você pode reduzir o custo das licenças de software a zero. Até mesmo as ferramentas de desenvolvimento são gratuitas.
- Claro, usar o Linux não é gratuito. Você ainda precisa de tempo e esforço para estudar e aprender.
- Permite um investimento maior em hardware ou treinamento para o time especializando e melhorando as habilidades em Linux.

Controle Total

- Com o código aberto, você tem o código-fonte para todos os componentes do seu sistema.
- Permite modificações, alterações, ajustes, depuração e otimização.
- Sem bloqueio de projeto por dependência de um fornecedor terceirizado ou outras prioridades.
- Permite ter controle total sobre a parte do software do seu sistema, está tudo em suas mãos!

Qualidade

- Muitos componentes de código aberto são amplamente usados em milhões de sistemas.
- Normalmente qualidade superior à que um desenvolvimento interno pode produzir, ou mesmo fornecedores proprietários.
- Claro, nem todos os componentes de código aberto são de boa qualidade, tome cuidado!
- Permite desenvolver seu sistema com componentes de alta qualidade em suas bases.

Comunidade

- Os componentes de software livre são desenvolvidos por comunidades de desenvolvedores e usuários
- Esta comunidade pode fornecer suporte de alta qualidade: você pode contatar diretamente os principais desenvolvedores do componente que está usando.
- Muitas vezes melhor do que o suporte tradicional, mas é preciso entender como a comunidade funciona para usar adequadamente as possibilidades de suporte da comunidade.
- Permite agilizar a resolução de problemas do seu projeto!

Selecionando Hardware para Sistemas Linux

É como selecionar um Microcontrolador

- Processador
- Memória RAM
- Armazenamento
- Periféricos
- Comunicação

Processador e Arquitetura

- O kernel do Linux e a maioria dos outros componentes dependentes de arquitetura suportam uma ampla gama de arquiteturas de 32 e 64 bits - (x86/x86-64, ARM, RISC-V, PowerPC, MIPS, ...)

- x86 e x86-64 - Popular em Desktops e PC's Industriais
- ARM - Popular na maioria das SBC'c e SoC (System on Chips)

Processador e Arquitetura

- Ambas as arquiteturas MMU e sem MMU são suportadas, embora as arquiteturas sem MMU tenham algumas limitações.
- Linux não suporta microcontroladores pequenos (8 ou 16 bits), talvez Zephyr seja uma alternativa.
- Além do toolchain, o bootloader e o kernel, todos os outros componentes são geralmente independentes de arquitetura

Memória RAM

- Um sistema Linux muito básico pode trabalhar com 8MB de RAM, mas um sistema mais realista de um projeto atual pode requerer mais recursos.
- Influências para mais recursos: Aplicações Gráficas, Servidor Gráfico, Aplicações Multimídia, Processamento de Imagens, IA, ML, ...
- Será visto na prática o baixo consumo de RAM!

Armazenamento

- Um sistema Linux básico pode funcionar com 4MB de armazenamento, o Kernel Linux por si só ocupa algumas centenas de KBs
- Normalmente o RootFS(Bibliotecas e Aplicações) irá demandar mais espaço de armazenamento
- Suporte **Armazenamento em Bloco**(SD/MMC/eMMC/uSD) e **Armazenamento Flash RAW**(NAND e NOR)

Comunicação

- O kernel Linux tem suporte para muitos barramentos de comunicação comuns
  - I2C
  - SPI
  - 1-wire
  - SDIO
  - PCI
  - USB
  - CAN

Comunicação

- Amplo suporte de rede
  - Ethernet, Wifi, Bluetooth, CAN, etc.
  - IPv4, IPv6, TCP, UDP, SCTP, DCCP, etc.

Critérios para seleção

- Há diversas opções de Hardware no mercado, como:
  - **SBC** - Single Board Computer, normalmente placas populares, menor custo, tudo em uma única placa, limitado a customização
  - **EV-Boards** - Placa de desenvolvimento, completa de acesso a periféricos, display, custo maior
  - **CoM**(Computer On Module) / **SoM**(System On Module) - Hardware básico normalmente CPU, RAM e Flash, com placas customizáveis e personalizadas até por segmento ou área.

Critérios para seleção

- Certifique-se de que o Hardware que deseja utilizar tenha suporte ao Kernel e Bootloader Open-Source.

- Ter suporte nas versões oficiais dos projetos (kernel, bootloader) é muito melhor: a qualidade é melhor, novas versões estão disponíveis e versões de suporte de longo prazo estão disponíveis.

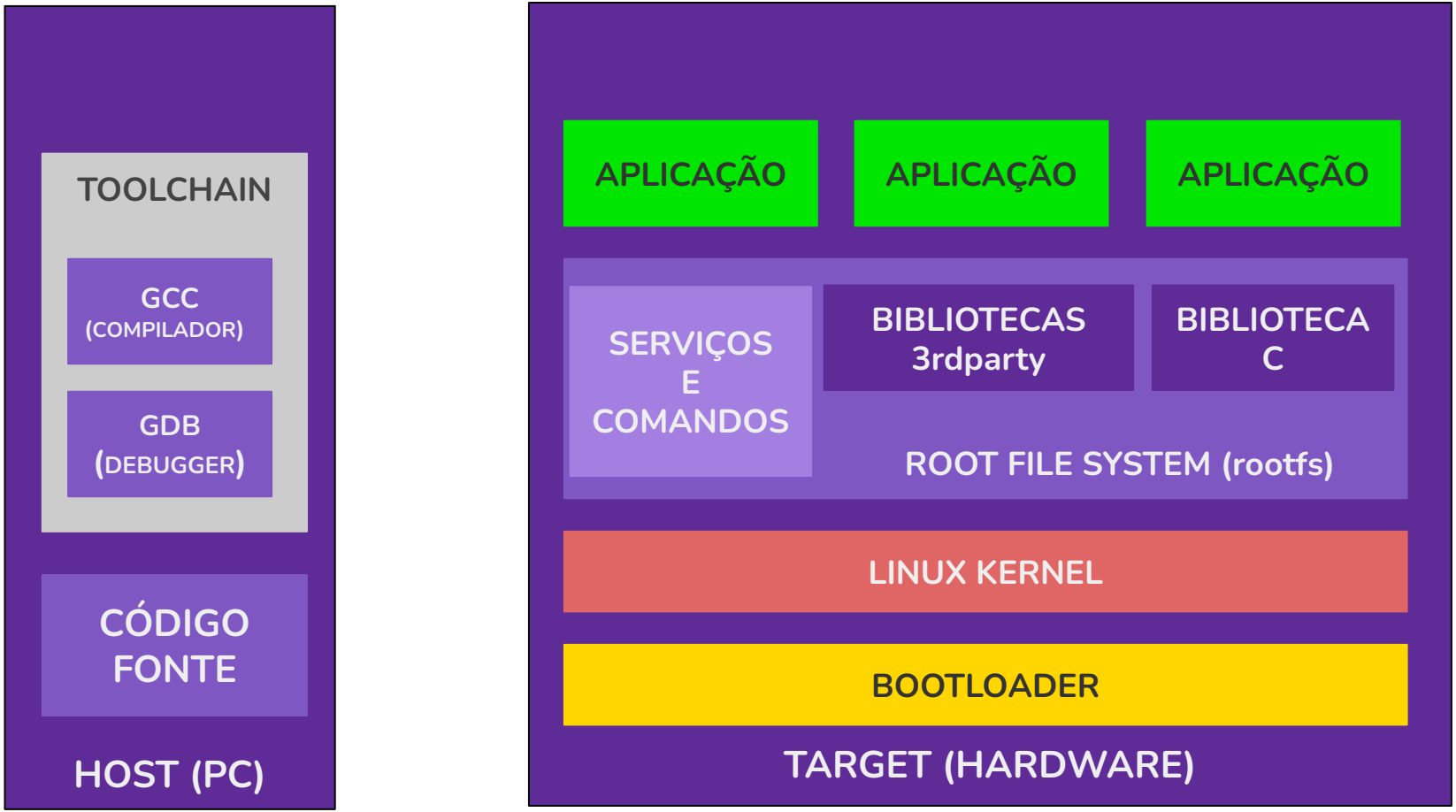
- Entre um hardware com suporte adequado no kernel oficial do Linux e hardware com suporte incompleto/desatualizado, poderá comprometer muito tempo de desenvolvimento e custo do projeto!

Arquitetura de um Sistema Linux Embarcado

Sistema Linux Embarcado, contempla...

- Toolchain
- Bootloader
- Kernel Linux
- Biblioteca C
- Bibliotecas e Aplicações

Arquitetura Sistema Linux Embarcado



Toolchain

Obtendo as ferramentas antes de iniciar os trabalhos de compilação cruzada

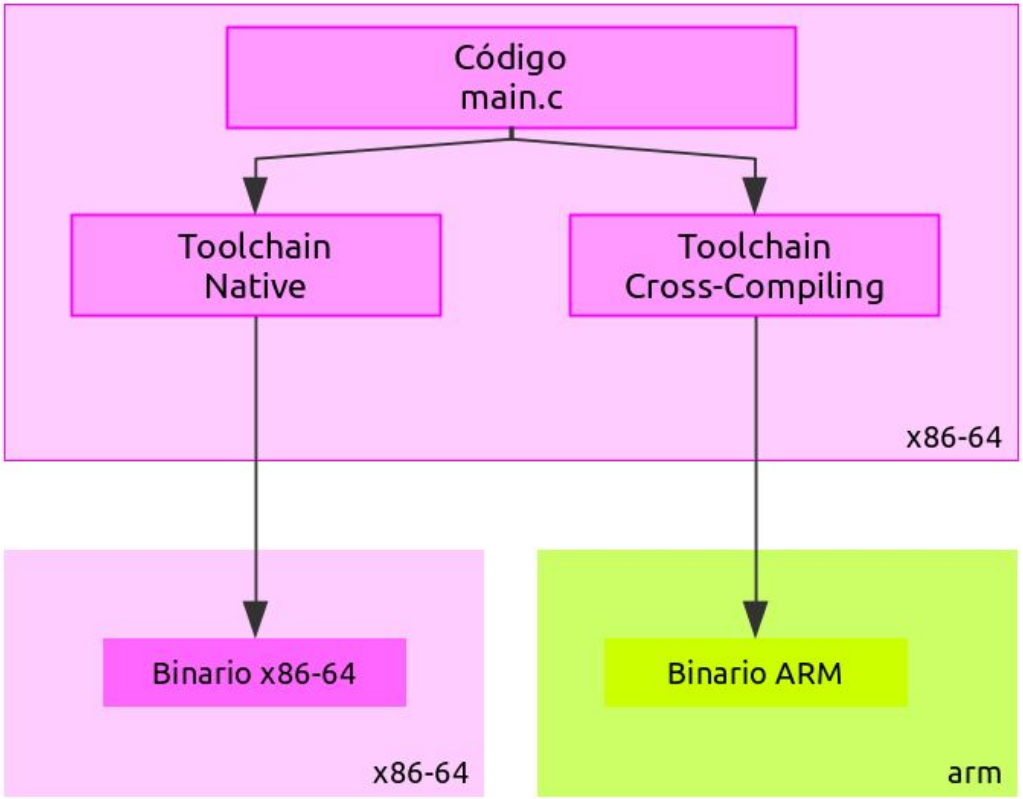
Definição de Toolchain

Conjunto de ferramentas que recebem um código-fonte e geram um programa final (binários) compatível com arquitetura desejada.

Tipos de Toolchain

- **Toolchain Nativo:** Utilizado em seu Desktop e gera código-nativo no próprio Host
- **Toolchain Cross-Compile:** Utilizado em Host mas para gerar código para outra plataforma(Target)

Toolchain Native x Toolchain Cross-Compiling



Máquinas na geração e uso de Toolchain

build	Onde o toolchain é construído
host	Onde o toolchain é executado
target	Onde os binários criados pelo toolchain serão executados

Diferentes Procedimentos de Build com Toolchain

x86-64

arm

build host target

Native Build

Normalmente seu desktop, toolchain instalado e gera binário nativo

build host target

Cross Build

Gera toolchain para seu computador, mas gera binário para outra plataforma

build host target

Cross-Native Build

Gera toolchain para outra plataforma e gera binário para esta plataforma

Diferentes Procedimentos de Build com Toolchain

x86-64

arm

build host target

Native Build

Normalmente seu desktop, toolchain instalado e gera binário nativo

build host target

Cross Build

Gera toolchain para seu computador, mas gera binário para outra plataforma

build host target

Cross-Native Build

Gera toolchain para outra plataforma e gera binário para esta plataforma

Componentes de um toolchain

Binutils
(as, ld, ar, ranlib, strip, objdump, readelf, size, nm)

Kernel Headers
(Dependências da libC para "entender" as chamadas e gerar o binário corretamente)

Biblioteca C
(glibc, uclibc, musl, ...)

Compilador C/C++
(gcc e g++)

Cross-Compiling Toolchain

Depurador
(gdb)

Binutils

- Conjuntos de ferramentas para gerar e manipular binários para uma arquitetura alvo
  - **as** - O montador, gera binário baseado em um arquivo .S
  - **ld** - O linker, ligado o arquivo objeto com as bibliotecas
  - **ar, ranlib** - Para geração de bibliotecas estáticas
  - **objdump, readelf, size, nm, strings** - Para inspecionar binarios
  - **strip** - Remover partes do binário(debugging) para reduzir tamanho

GNU Binutils: https://www.gnu.org/software/binutils/

Cabeçalhos do Kernel

A biblioteca C e os programas compilados precisam interagir com o kernel

- Chamadas de sistema disponíveis e seus números
- Definições de constantes
- Estruturas de dados, etc.

Portanto, compilar a biblioteca C requer cabeçalhos do kernel, e muitos aplicativos também os requerem.

Cabeçalhos do Kernel

- Números das chamadas de sistema em **<asm/unistd.h>**:

```
#define __NR_exit 1
#define __NR_fork 2
#define __NR_read 3
```

- Definições de constantes em **<asm-generic/fcntl.h>**:

```
#define O_RDWR 00000002
```

glibc fcntl-linux

- Estruturas de dados em **<asm/stat.h>**:

```
struct stat {
        unsigned long st_dev;
        unsigned long st_ino;
        [...]
};
```

Cabeçalhos do Kernel

Os cabeçalhos do kernel podem ser extraídos das fontes do kernel usando:

```
$ make headers_install ARCH=arm INSTALL_HDR_PATH=/usr
```

Compilador GCC

- O **GCC** (GNU Compiler Collection) é o compilador do projeto GNU. https://gcc.gnu.org/

- Compatível com diversas linguagens de programação, incluindo C, C++, Objective-C, Fortran, Ada, Go e D.

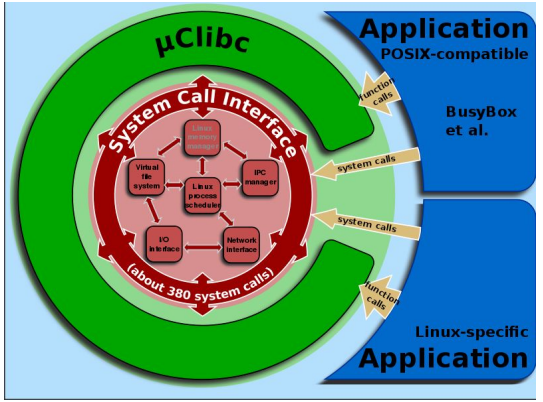
- Pode gerar código para diversas arquiteturas, incluindo ARM, AVR, Blackfin, MIPS, PowerPC, x86, etc.

Bibliotecas C

- O que é a biblioteca C?
  - Interface entre as aplicações e o kernel.
  - Toda implementação de C vem com biblioteca padrão de funções pré-definidas
  - Note que, em programação, uma biblioteca é uma coleção de funções
  - As funções comuns a todas as versões de C são conhecidas como Biblioteca Padrão C (open, close, exit, read, write, malloc, ...)

Bibliotecas C

- O que é a biblioteca C?
  - API para o desenvolvimento de aplicações.
  - O toolchain depende da biblioteca C, já que ele irá linká-la com sua aplicação para gerar os binários para a placa alvo.
  - Bibliotecas C populares disponíveis: glibc, uClibc-ng, musl, dietlibc, klibc, bionic, etc.



Fonte:
Wikipedia(https://bit.ly/2zrGve2)

Principais Bibliotecas C disponíveis

glibc eglibc	LGPL	**Biblioteca C do projeto GNU** Foco em performance e produtividade, principal biblioteca em Desktop e Servidores Linux
uclibc-ng	LGPL	**Mais leve e foco para sistemas embarcados** Fork do uClibc, build menor que glibc, alguns recursos podem não estar disponíveis como funções de tempo-real
musl	MIT	**Biblioteca leve, rápida e simples** Projeto escrito com foco em Sistemas Embarcados, ótima opção para gerar binários linkado estaticamente
klibc	BSD/GPL v2	**Biblioteca extremamente pequena e limitada** Projeto escrito do zero, foco em tamanho e limitado para uso básico como initramfs

Escolhendo o Toolchain

- Toolchain Pronto
- Gerando o próprio Toolchain

Toolchain Pronto

- Fácil instalação - comum instalação via gerenciador de pacotes ou download direto, configurar variável **PATH**
- Principal vantagem instalar e já sair utilizando
- Desvantagem é não permitir customização ou otimizar
- Algumas opções:
  - Linaro
  - Code Sourcery
  - Bootlin GNU toolchain

Gerando o próprio Toolchain

- Gerar o próprio toolchain não é uma tarefa fácil, muitas dependências, ferramentas, patches e configurações
- Mas hoje há ferramentas que facilitam este trabalho
- Algumas são: Crosstool-ng, Buildroot e Yocto Project

Principais Bibliotecas C disponíveis

Crosstool-ng	**Suporta uClibc, glibc e musl** Sistema de configuração baseado em menuconfig
Buildroot	**Suporta uClibc, glibc e musl** Sistema baseado em Makefiles
Yocto Project	**Suporta glibc e musl** Com mais recursos, mais complexo de configuração

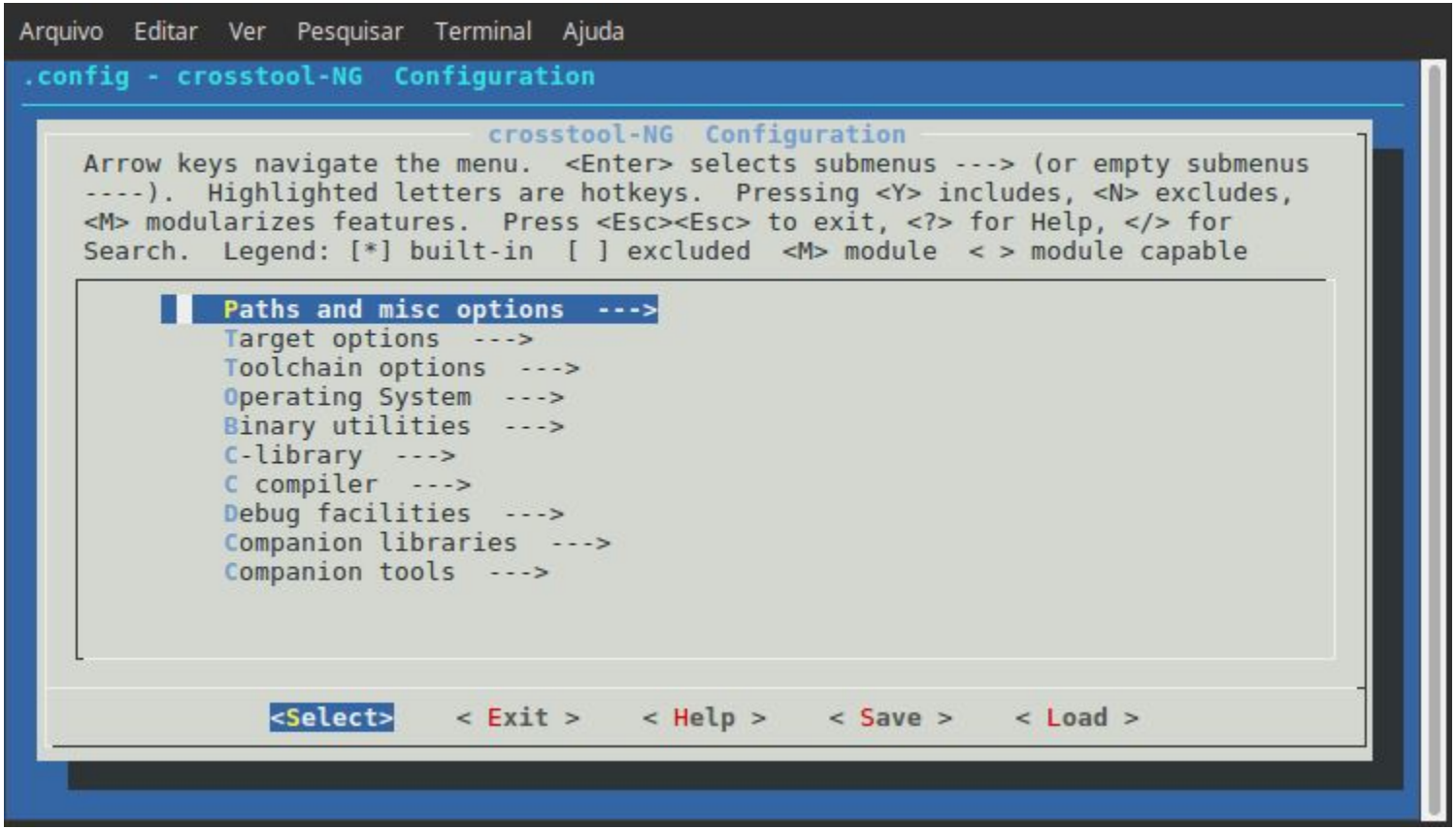
Principais Bibliotecas C disponíveis

Crosstool-ng

Suporta uClibc, glibc e musl
Sistema de configuração baseado em menuconfig

- Principal ferramentas open-source para geração de toolchains
- Possibilidade de gerar toolchains para diferentes arquiteturas: x86, x86-64, MIPS, ARM

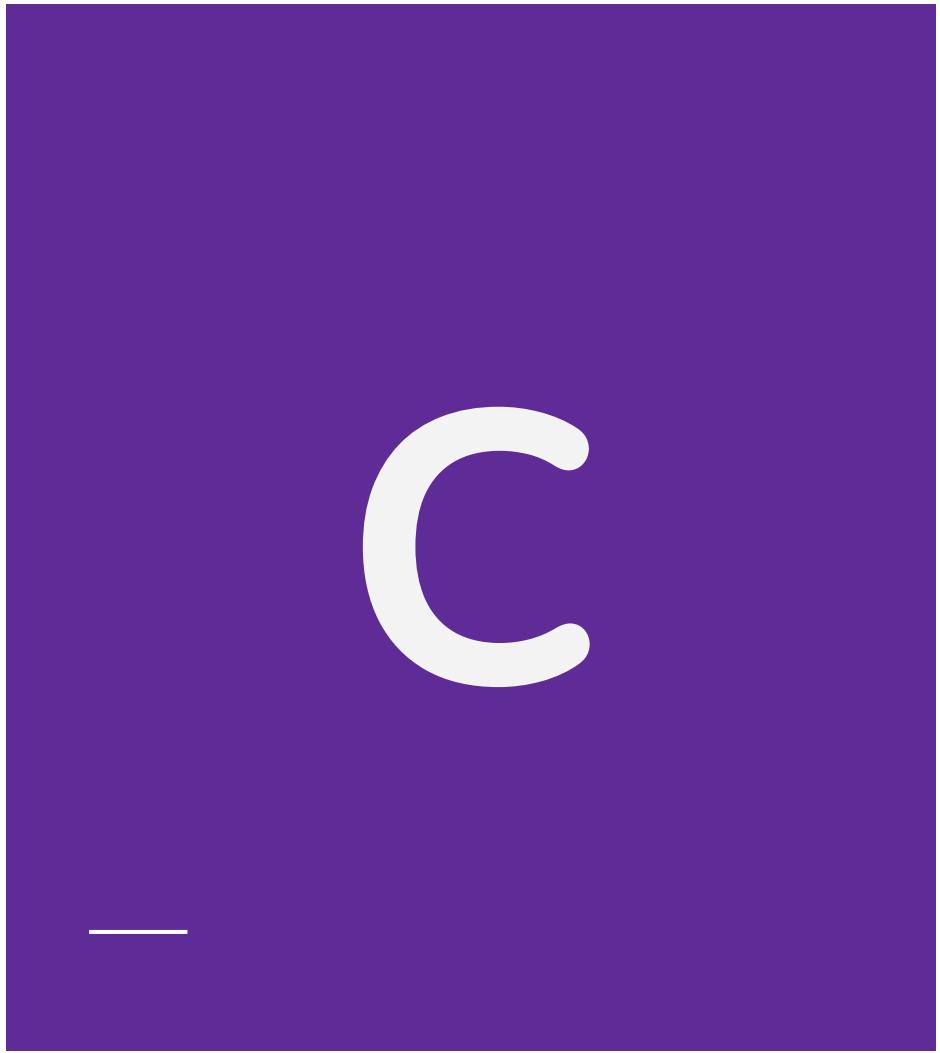
Principais Bibliotecas C disponíveis



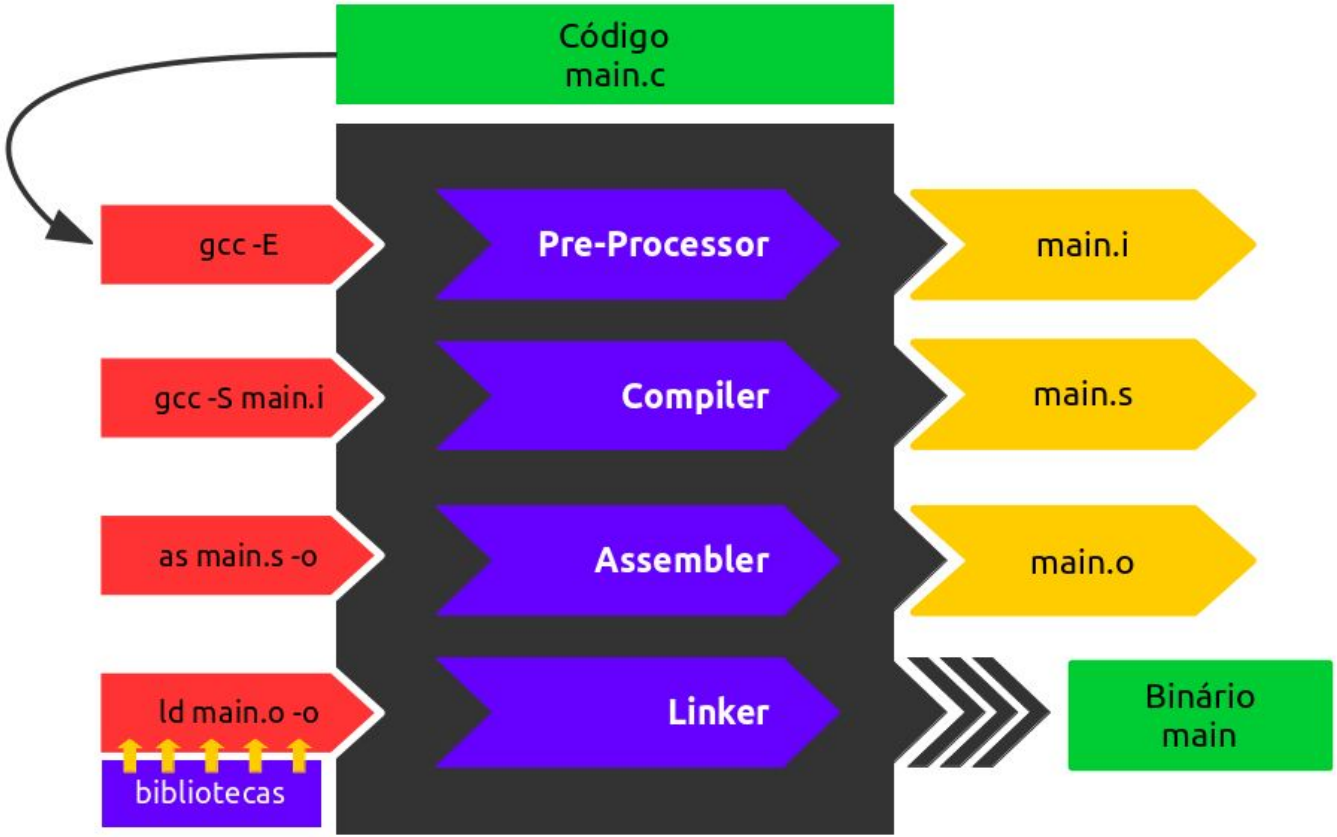
Laboratório

- Gerando o próprio toolchain

Como um programa em C é compilado?



Como um programa C é compilado?



Como um programa C é compilado?

1. **Pre-processor**(Pre-Processamento): Através do pré-processador GNU C (gcc), que inclui os cabeçalhos (#include) e expande as macros (#define).

```
$ gcc -E main.c > main.i
```

Como um programa C é compilado?

2. **Compiler**(Compilador): O compilador (gcc) compila o código-fonte pré-processado em código assembly para um processador específico. A opção -S específica para gerar código assembly, ao invés de código-objeto. Um arquivo main.s é será gerado!

Como um programa C é compilado?

3. **Assembler**(Montador): O assembler (as) converte o código do assembly em código de máquina no arquivo objeto "main.o".

Como um programa C é compilado?

4. **Linker**(Ligador): Por último, o linker(ld) vincula o código do objeto ao código das bibliotecas para gerar um arquivo executável "main" para a arquitetura alvo.

Laboratório

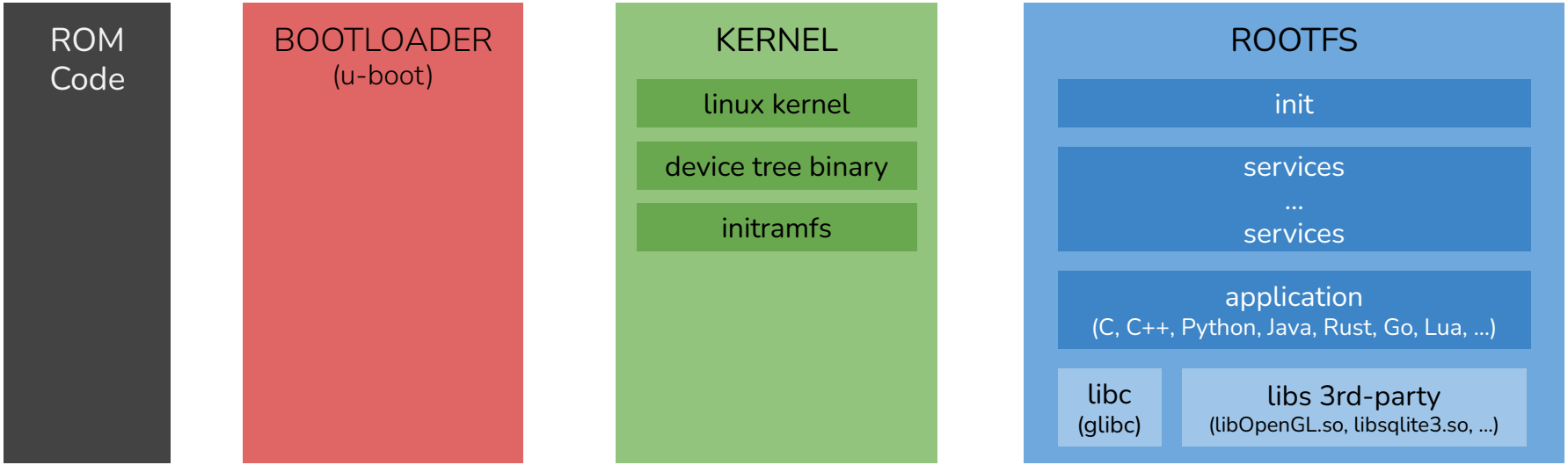
Prática 01

- Compilando um código nativo e um para ARM

Sequência de inicialização

- **Bootloader:** Inicialização básica do hardware e carregamento do Kernel Linux.
- **Linux Kernel:** Inicializa o restante do hardware e configura de acordo com device-tree, na sequência chama o init.
- **RootFS:** Aplicações, Bibliotecas, Serviços(inclusive o init) e ferramentas.

Sequência de Inicialização



Bootloader

Bootloader

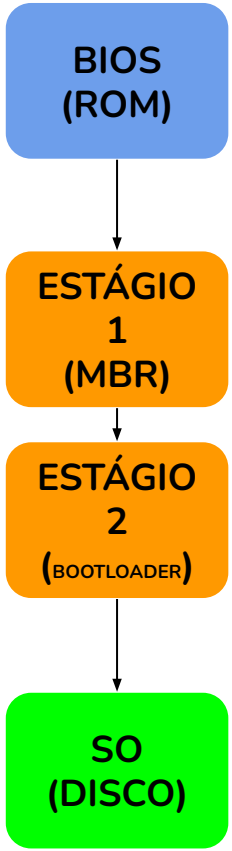
- Uma das principais funções do bootloader é:
  - Inicialização básica do Hardware (CPU, Controladora da Memória RAM, unidades de armazenamento, etc)
  - Carregar outro binário normalmente o Kernel para continuar a inicialização
  - Passar o controle da CPU para o novo binário

Bootloader

- Além dessas funções básicas, a maioria dos bootloaders fornece um shell que permite diversas operações:
  - Variáveis Ambiente, Manipulação de RAM e Flash, Inspeção de Memória, Diagnóstico de Hardware e Testes, passagem de parâmetros para o Kernel

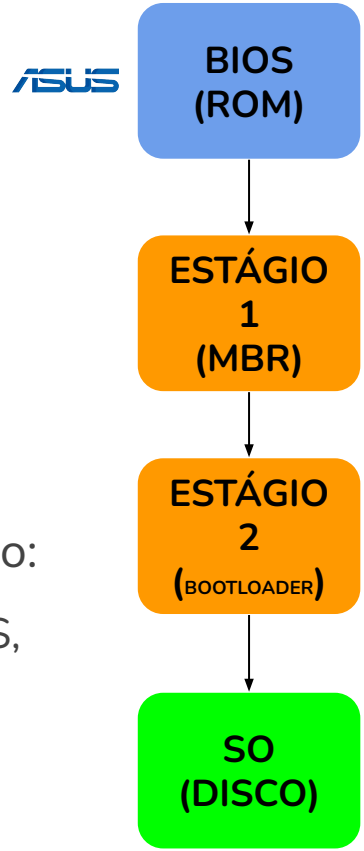
Bootloader x86

- Em plataformas x86 o bootloader reside em uma memória não-volátil, popularmente chamado de BIOS(Basic Input/Output System)
- Há BIOS está em ROM e é fornecida pelo fabricante, seria o **Estágio 1** da inicialização básica.
- Em seguida, entra o **Estágio 2** onde é carregado do Bootloader do Disco para a RAM e uma inicialização mais completa.
- O **Estágio 2** consegue carregar o Kernel e o SO do Disco e realizar a inicialização completa do SO.



Bootloader x86

- Principal Bootloader utilizado em x86/x86-64 - GRUB:
  - GRUB(Grand Unified Bootloader) - Site GRUB
  - Opção de Dual-Boot
  - Suporta Boot-Seguro e UEFI
  - Suporta diversos Sistemas de Arquivos como: Linux(EXT2/EXT3/EXT4), DOS(FAT12/FAT16/FAT32/exFAT), NTFS, ReiserFS, RomFS, etc



Bootloader ARM

- A CPU possui um código de inicialização integrado na ROM.
  - ROM Code em iMX6
  - Cada CPU possui seus detalhes e particularidades do fabricante
- Este ROM Code é capaz de carregar um Bootloader de primeiro estágio em um dos dispositivos de armazenamento em uma SRAM interna (DRAM ainda não inicializada)
- O dispositivo de armazenamento pode ser normalmente: MMC, NAND, Flash SPI, etc.

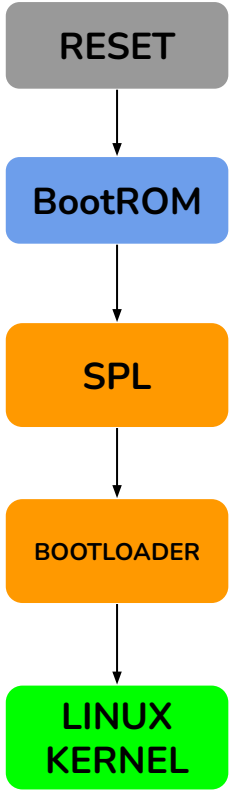
Bootloader ARM

- O bootloader de **primeiro estágio** é:
  - Tamanho limitado devido a restrições de hardware (tamanho SRAM)
  - Fornecido por U-Boot (chamado de Secondary Program Loader - SPL) ou pelo Fabricante do CPU
- Este Bootloader de **primeiro estágio** deve inicializar DRAM e outros dispositivos de hardware e carregar um Bootloader de **segundo estágio** em DRAM

Bootloader ARM

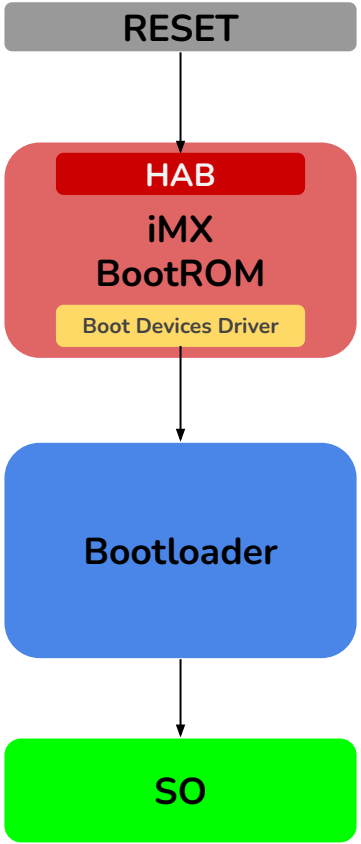
- O Bootloader de **segundo estágio** é mais poderoso, com mais recursos e até prompt para iteração.

- É com o Bootloader de **segundo estágio** que o Kernel Linux é carregado e iniciado o boot do SO, neste momento o Bootloader não atua mais.



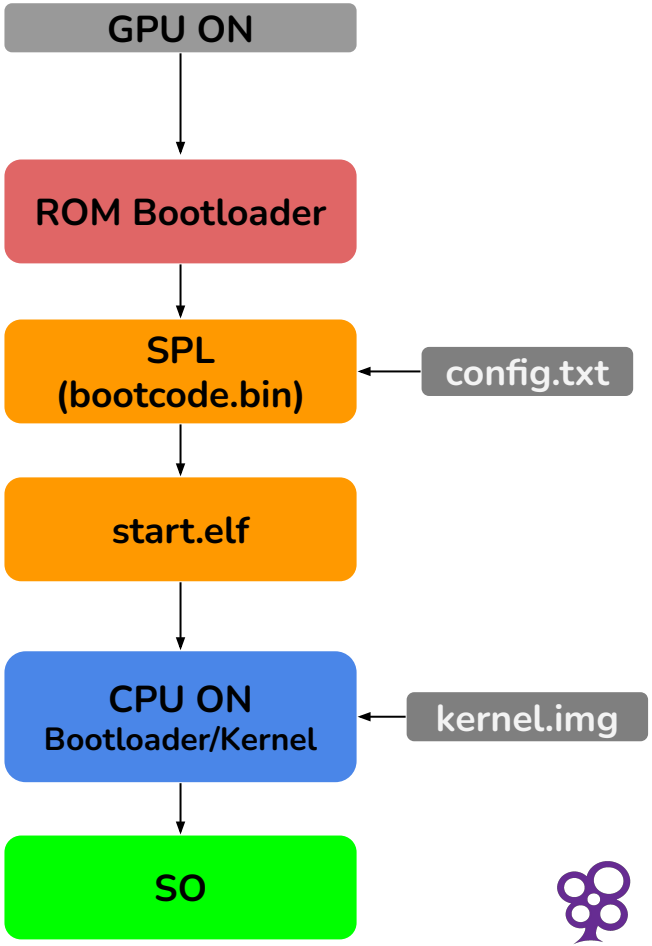
Bootloader ARM - Família iMX

Primeiro Estágio	**Inicialização básica**
Segundo Estágio	**Inicialização completa** - Opções de Boot - SPL



Bootloader ARM - RaspberryPI3

Primeiro Estágio	**Inicialização básica**
Segundo Estágio	**Inicialização básica** bootcode.bin(init. basic SoC) start.elf(firmwares)
Terceiro Estágio	**Inicializa o Kernel** ou Bootloader OpenSource

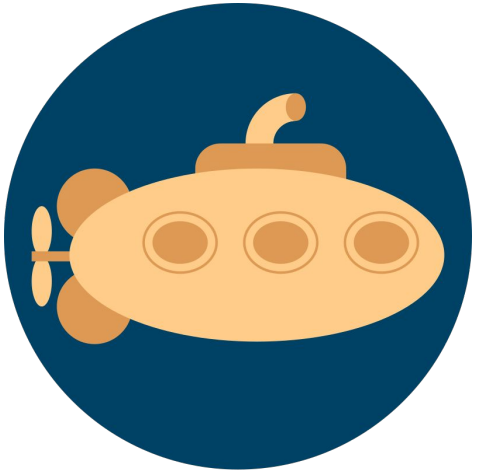


Bootloader ARM

- Entre diversas opções open-source de Bootloader para Embarcados, podemos destacar:
  - **U-Boot** - Universal Bootloader desenvolvido e mantido pela Denx, é o mais popular e utilizar em Embarcados sendo ARM, MIPS, PowerPC e até x86
  - **BareBox** - Desenvolvido pela Pengutronix, pouca adoção no mercado mas promete uma ótima alternativa ao U-Boot.

Bootloader - U-Boot

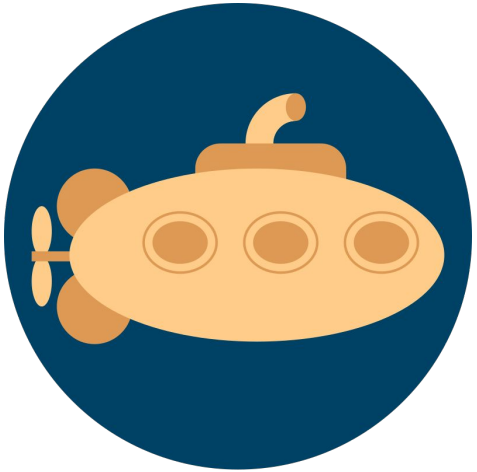
- Licença GPLv2(mesma do Kernel Linux)
- Mantido pela comunidade e empresas
- Projeto bem estruturado/organizado
- O repositório do projeto é disponibilizado em Git
- Cada 2~3 meses uma nova versão release é disponibilizada no formato YYYY.MM



U-Boot

Bootloader - U-Boot

- Prompt Interativo
- Exibe informações do hardware ao carregar
- Acesso via Serial Console
- Boot via: Rede(TFTP), MMC, USB, Flash SPI, NAND, etc
- Manipula variáveis ambiente e script interno
- Entender Sistemas de Arquivos EXT2/EXT3/EXT4, VFAT, UBIFS, etc
- Carrega o binário Kernel e passa parâmetros de inicialização



U-Boot

Bootloader - U-Boot

- Estrutura do projeto

```
b2open@treinamento-b2open:~/treinamento/Lab/Bootloader/u-boot-2021.04$ ls
api          disk         include      net          u-boot          u-boot.srec
arch         doc          Kbuild       post         u-boot.bin      u-boot.sym
board        drivers      Kconfig      README       u-boot.cfg
cmd          dts          lib          scripts      u-boot.cfg.configs
common       env          Licenses     System.map   u-boot.lds
config.mk    examples     MAINTAINERS  test         u-boot.map
configs      fs           Makefile     tools        u-boot-nodtb.bin
```

Bootloader - U-Boot

- Diretório **/configs** contém um ou várias arquivos de configuração para cada placa suportada
  - Ele define o tipo de CPU, os periféricos e sua configuração, e os recursos de U-Boot que devem ser suportados. Exemplos:

```
configs/omap3_beagle_defconfig
configs/rpi_3_32b_defconfig
```

Bootloader - U-Boot

- Antes de compilar o Bootloader U-Boot deve utilizar uma configuração visto no slide anterior, como exemplo realizando a configuração para uma **RaspberryPI3**:

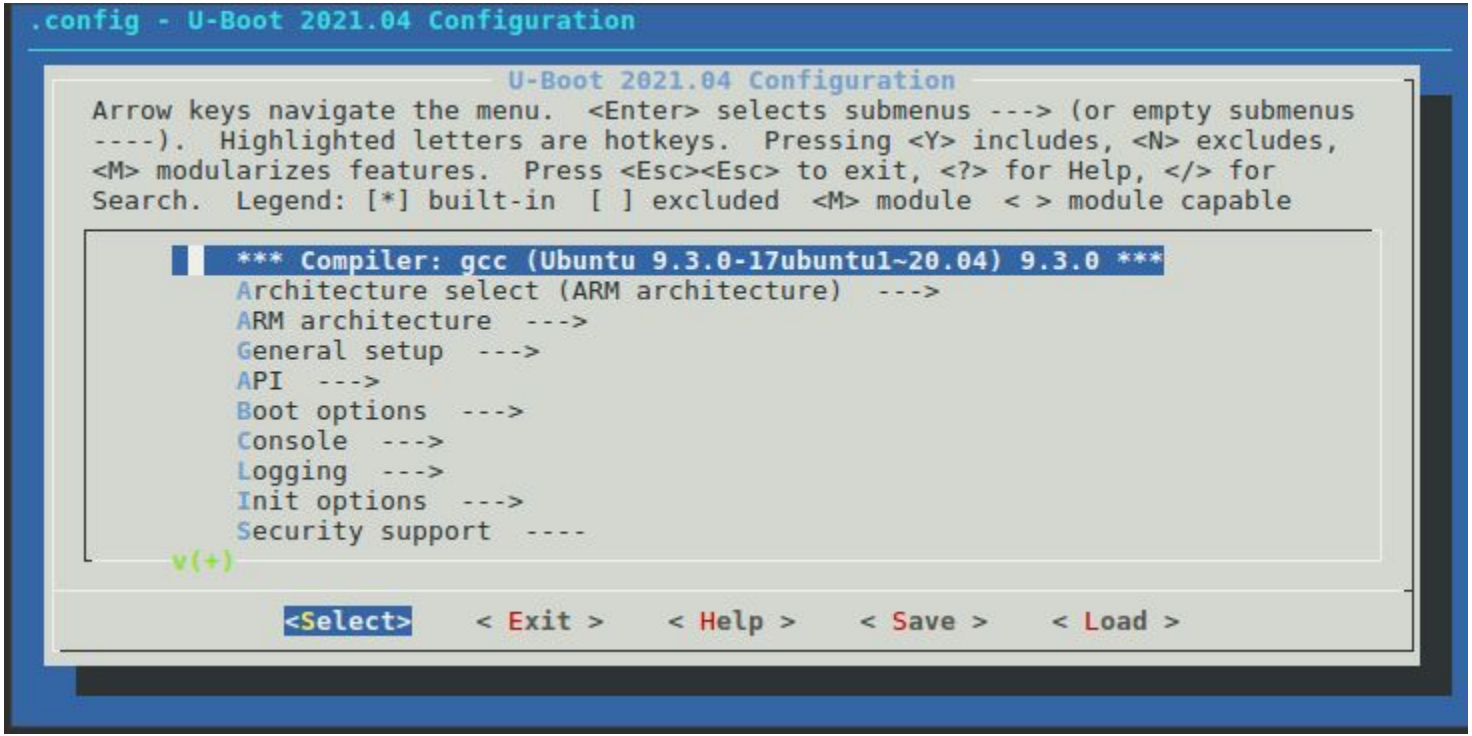
```
b2open@treinamento-b2open:~/treinamento/Lab/Bootloader/u-boot-2021.04$ make rpi_3_32b_defconfig
```

Bootloader - U-Boot <CONFIGURANDO>

- Um arquivo .config é gerado no mesmo diretório com as configurações padrões, você deverá alterar as configurações via menuconfig

```
b2open@treinamento-b2open:~/treinamento/Lab/Bootloader/u-boot-2021.04$ make menuconfig
```

Bootloader - U-Boot <CONFIGURANDO>



Bootloader - U-Boot <COMPILANDO>

- Para compilar o U-Boot basta utilizar o comando **make** e fornecer o prefixo do toolchain configurado, como nosso compilado é **arm-unknown-linux-uclibcgnueabi-gcc** devemos utilizar **arm-unknown-linux-uclibcgnueabi-**:

```
b2open@treinamento-b2open:~/treinamento/Lab/Bootloader/u-boot-2021.04$ make
CROSS_COMPILE=arm-unknown-linux-uclibcgnueabi-
...
  LDS     u-boot.lds
  LD      u-boot
  OBJCOPY u-boot.srec
  OBJCOPY u-boot-nodtb.bin
  COPY    u-boot.bin
  SYM     u-boot.sym
```

Bootloader - U-Boot <COMPILANDO>

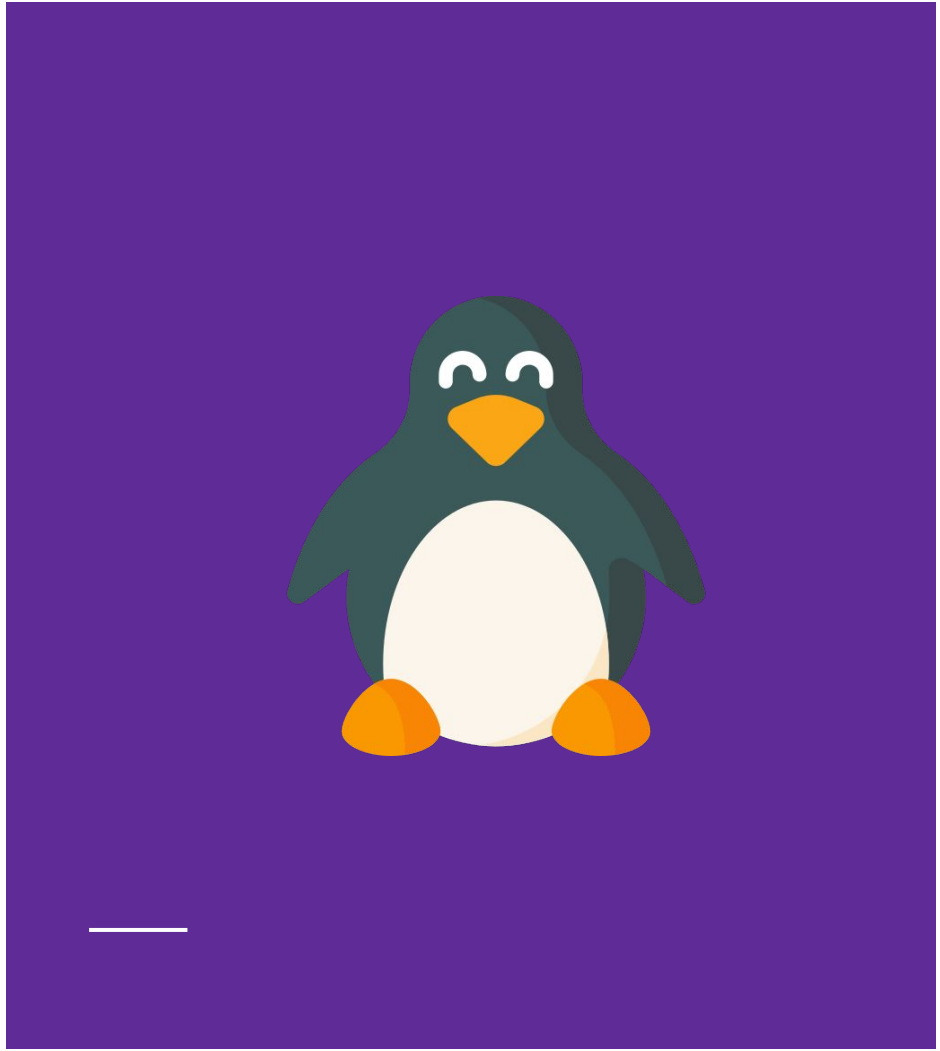
- No final da compilação será gerada uma imagem do Bootloader U-Boot para ser gravada ou transferida para a placa de desenvolvimento, o arquivo gerado pode variar entre **u-boot, u-boot.bin, u-boot.img**.

```
b2open@treinamento-b2open:~/treinamento/Lab/Bootloader/u-boot-2021.04$ file u-boot
u-boot: ELF 32-bit LSB shared object, ARM, EABI5 version 1 (SYSV), dynamically linked, with debug_info, not stripped

b2open@treinamento-b2open:~/treinamento/Lab/Bootloader/u-boot-2021.04$ ls -l u-boot
-rwxr-xr-x 1 b2open b2open 4417208 Jul 23 16:05 u-boot
```

Laboratório

- Configurando e compilando o U-Boot para ARM

Kernel Linux



Um pouco de história

- O kernel Linux é um dos componentes do Sistema Operacional, que também requer bibliotecas e aplicativos para fornecer acesso aos recursos.
- O kernel Linux foi criado como hobby em 1991 por um estudante finlandês, Linus Torvalds.
- Linus Torvalds conseguiu criar uma grande e dinâmica comunidade de desenvolvedores e usuários em torno do Linux.
- Hoje em dia, mais de mil pessoas contribuem para cada lançamento do kernel, empresas grandes e pequenas.

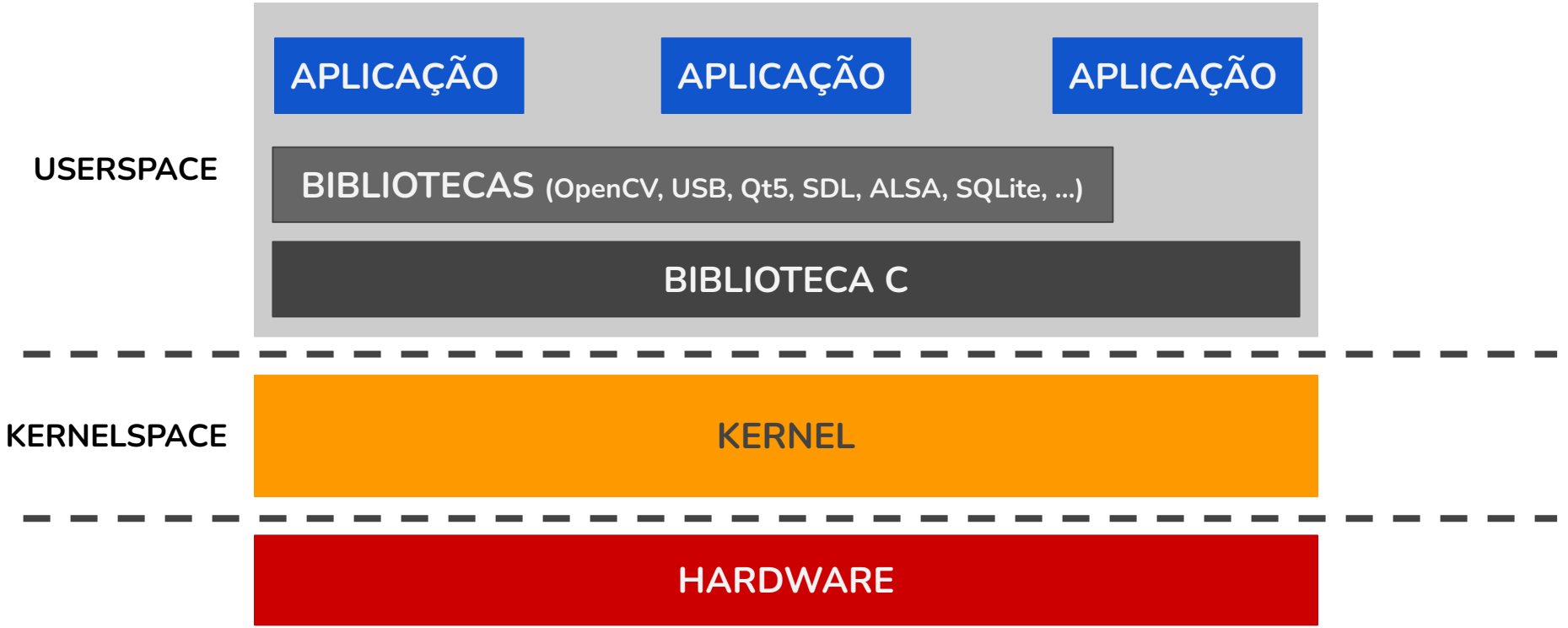
Principais Recursos do Kernel Linux

- Portabilidade e suporte de hardware.
- Suportado pela maioria das arquiteturas (veja **arch/** no código-fonte).
- Escalabilidade. Pode ser executado em MainFrames como em Dispositivos Embarcados.
- Segurança. Seu código é revisado por muitos especialistas.
- Estabilidade e confiabilidade (pode funcionar por dias/meses sem reiniciar)

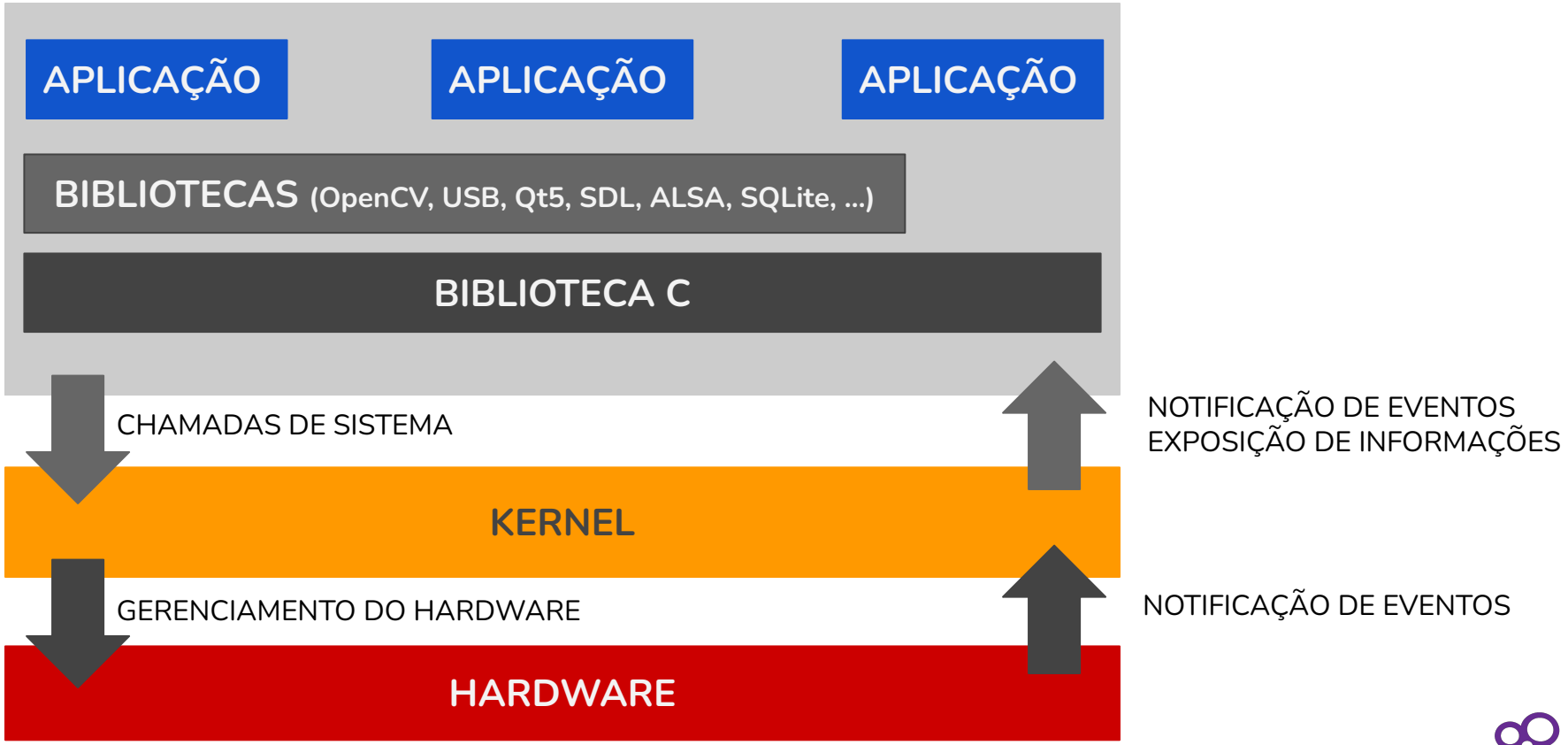
Principais Recursos do Kernel Linux

- Modularidade. Pode incluir apenas o que um sistema precisa, mesmo em tempo de execução (até mesmo o próprio kernel pode ser atualizado sem reiniciar - **kexec**)
- Todo código-fonte existente em sua maioria público, principal linguagem utilizada C, então pode aprender com o código existente, corrigir e implementar melhorias e novas funcionalidades

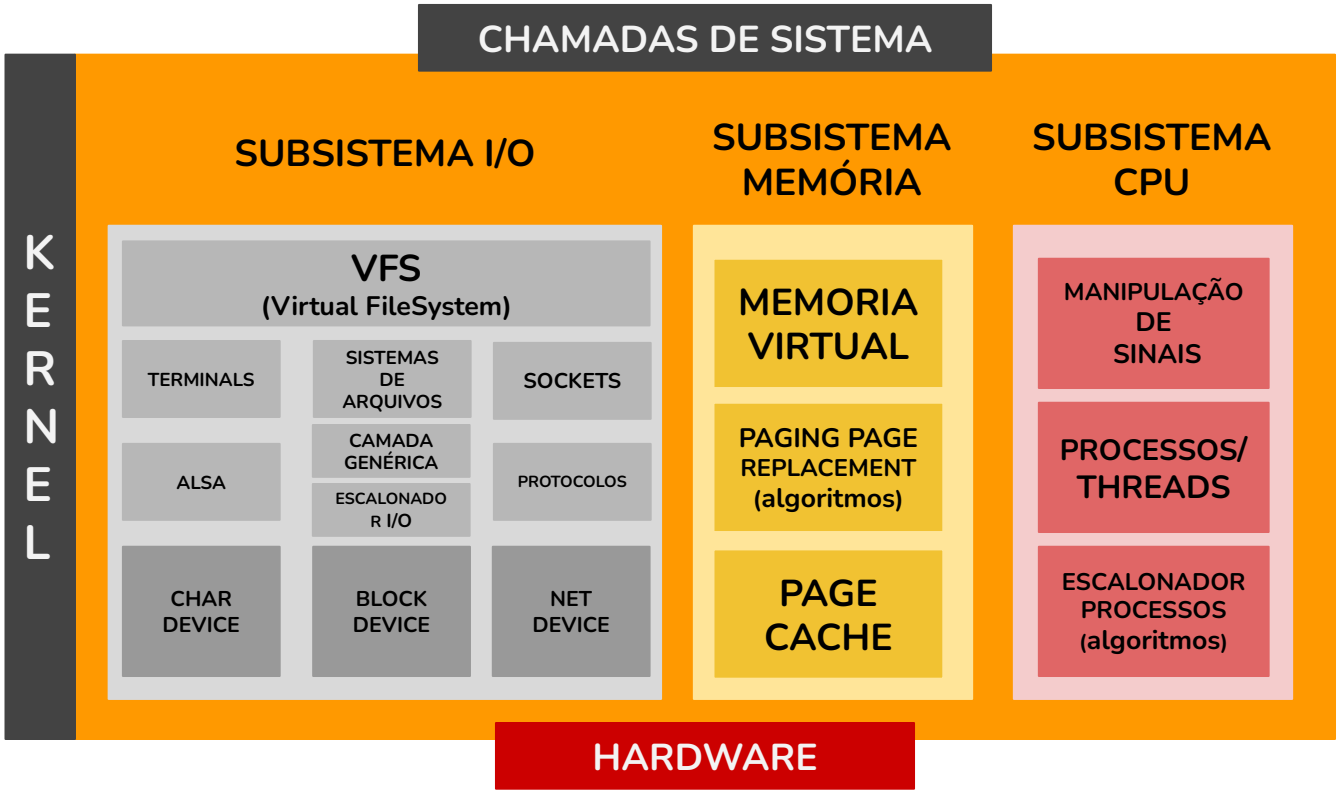
Por dentro do Kernel Linux



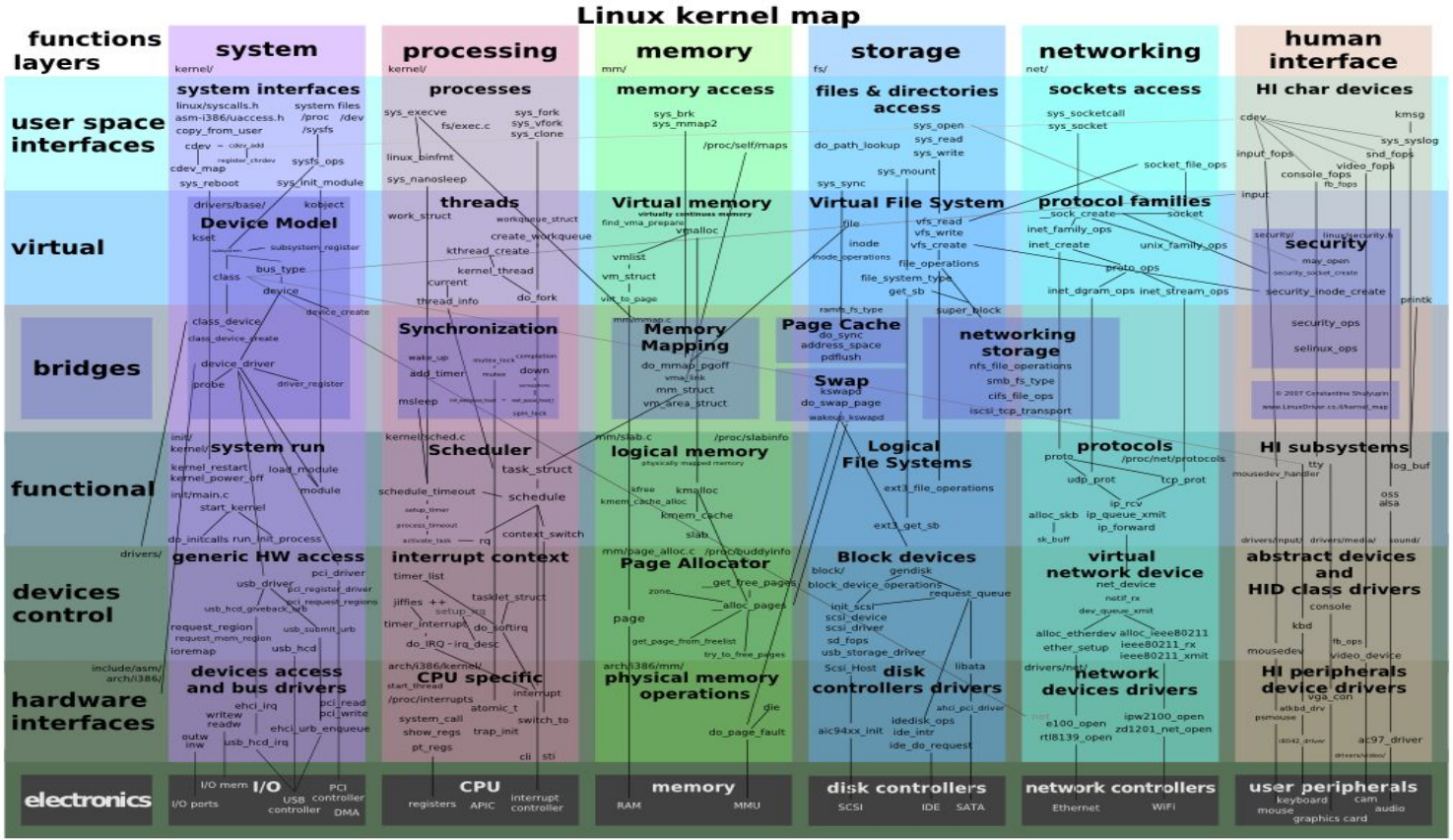
Por dentro do Kernel Linux



Por dentro do Kernel Linux



Por dentro do Kernel Linux



Referência: https://makelinux.github.io/kernel/map/

Por dentro do Kernel Linux

- Gerenciar todos os recursos de hardware: CPU, memória, I/O.
- Fornece um conjunto de APIs portáteis, de arquitetura e independentes de hardware para permitir que aplicativos e bibliotecas em userspace usem os recursos de hardware.
- O Kernel é responsável por multiplexar os acessos concorrente e compartilhados dos recursos de diferentes aplicações

Por dentro do Kernel Linux - VFS

- O Linux torna as informações do sistema e do kernel disponíveis no userspace por meio de pseudo sistemas de arquivos(VFS)

- No Linux praticamente podemos dizer que tudo é representado por um arquivo, mas com VFS podemos dizer pseudo-arquivos, com isso podemos manipular como um arquivo utilizando as chamadas **open**, **read**, **write**, **close**, **seek**, etc.

Por dentro do Kernel Linux - VFS

- Os dois principais VFS são:
  - **procfs** - Geralmente montado em **/proc**: Informações relacionadas ao Sistema Operacional (processos, parâmetros, gerenciamento de memória ...)
  - **sysfs** - Geralmente montado em **/sys**: Representação do sistema como uma árvore de dispositivos conectados por barramentos. Informações coletadas pelas estruturas do kernel que gerenciam esses dispositivos

Por dentro do Kernel Linux - LICENÇA

- Todo o código-fonte do kernel Linux é software livre e liberado sob a licença GPLv2.

Isso significa que:

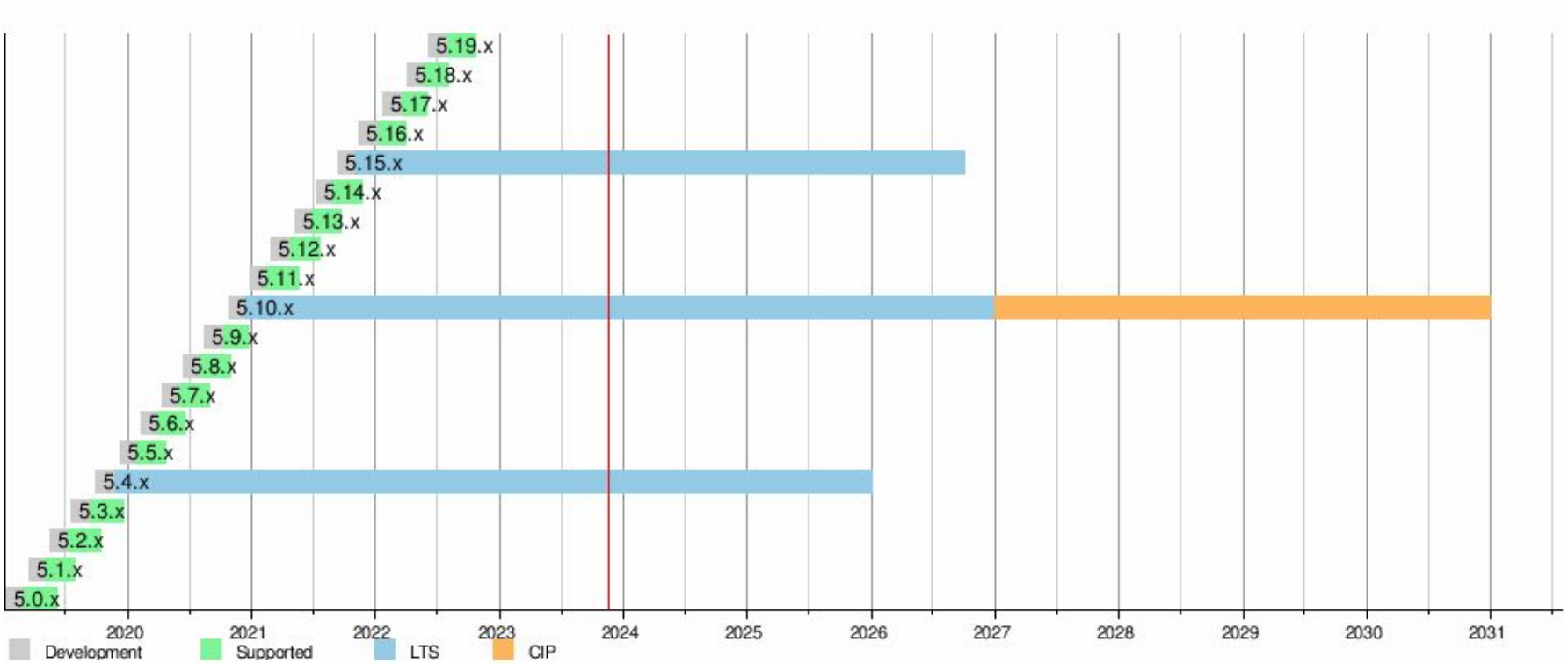
- Quando você receber ou comprar um equipamento com Linux embarcado, você tem o direito de requisitar os fontes, alterá-los e redistribuí-los!
- Quando você produzir um equipamento com Linux embarcado, você precisa liberar os fontes do kernel sob as mesmas condições, sem restrições.

Por dentro do Kernel Linux - VERSIONAMENTO

- Até 2003, havia um novo branch de versão estável do Linux a cada 2 ou 3 anos (2.0, 2.2, 2.4). Novos ramos de desenvolvimento levaram 2-3 anos para se tornarem estáveis (era muito lento!).
- Desde 2003, há uma nova versão estável do Linux a cada 10 semanas:

Versões 2.6 (dezembro de 2003)	**a**	**2.6.39 (maio de 2011)**
Versões 3.0 (julho de 2011)	**a**	**3.19 (fevereiro de 2015)**
Versões 4.0 (abril de 2015)	**a**	**4.20 (dezembro de 2018)**
Versão 5.0 (março de 2019)		**Versão 6.0 (outubro de 2022)**

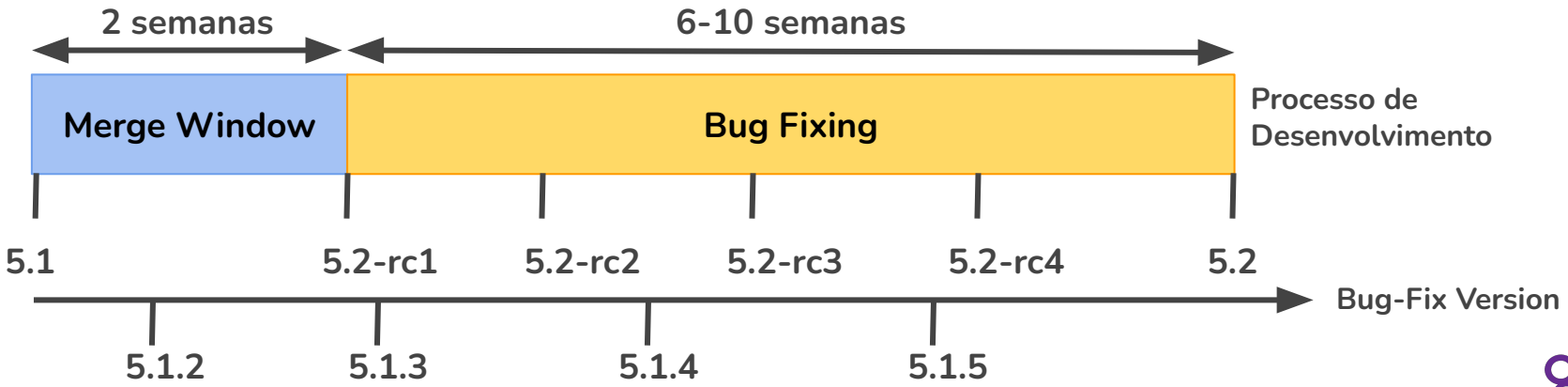
Por dentro do Kernel Linux - VERSIONAMENTO



Referência: https://en.wikipedia.org/wiki/Linux_kernel_version_history#Releases_5.x.y

Por dentro do Kernel Linux - VERSIONAMENTO

- Recursos são adicionados ao kernel de forma progressiva. Desde 2003.
- Processo de desenvolvimento a cada 3 meses aproximadamente, até lançar o release final X.Y.



Por dentro do Kernel Linux - VERSIONAMENTO

- Para acompanhar as mudanças no kernel:
  - https://kernelnewbies.org/LinuxChanges
  - https://lwn.net/Kernel

Onde baixar o Kernel?

- As versões oficiais (mainline) do kernel Linux, conforme lançado por Linus Torvalds, estão disponíveis em: https://kernel.org
- As fontes do kernel estão disponíveis em https://kernel.org/pub/linux/kernel como tarballs completos (fontes completas do kernel) e patches (diferenças entre duas versões do kernel).
- Há opção de utilizar o repositório Git:
  - **git://git.kernel.org/pub/scm/linux/kernel/git/torvalds/linux.gi**
- Opção para visualizar o repositório via Web:
  - **https://git.kernel.org/cgit/linux/kernel/git/torvalds/linux.git/tree/**

Onde baixar o Kernel?

- Exemplo baixando tarball e com git:

```
$ wget https://cdn.kernel.org/pub/linux/kernel/v5.x/linux-5.10.57.tar.xz
```

```
$ git clone git://git.kernel.org/pub/scm/linux/kernel/git/torvalds/linux.git
```

Onde baixar o Kernel?

- Comunidades e Fabricantes de hardware podem manter suas próprias versões do kernel:
  - Fabricantes de hardware fornecem suas próprias versões do kernel baseado em sua plataforma de referência (BSP)
  - Comunidade pode manter versões para arquiteturas especificar(ARM, MIPS, RISC-V) subsistemas(USB, network), Sistemas de Tempo-Real, etc

Onde baixar o Kernel?

- Kernel Toradex:

  https://git.toradex.com/cgit/linux-toradex.git/

- Kernel RaspberryPI:

  https://github.com/raspberrypi/linux

- Kernel Texas Instruments:

  https://git.ti.com/cgit/ti-linux-kernel/ti-linux-kernel/

Onde baixar o Kernel?

- O Kernel Linux da RaspberryPI - branch **rpi-5.4.y**
  - **66.405** arquivos
  - **27.938.153** linhas
  - **896.875.240** bytes
  - Tamanho total - **1.3G**
    - **arch/** - 162MB
    - **Documentation/** - 48MB
    - **drivers/** - 621MB
    - **fs/** - 41MB
    - **net/** - 32MB
    - **sound/** - 39MB

Onde baixar o Kernel?

- O Kernel Linux é grande!
- Um dos principais motivos é o gigantesco suporte a diversos drivers e arquiteturas
- No entanto, como o Kernel é modular e configurável o binário final é extremamente pequeno podendo ser de 1 ~ 2MB, casos com drivers de GPU, Codecs totalizando 5 ~ 8MB

Como configurar o Kernel?

- Modo Gráfico

```
$ make xconfig
```

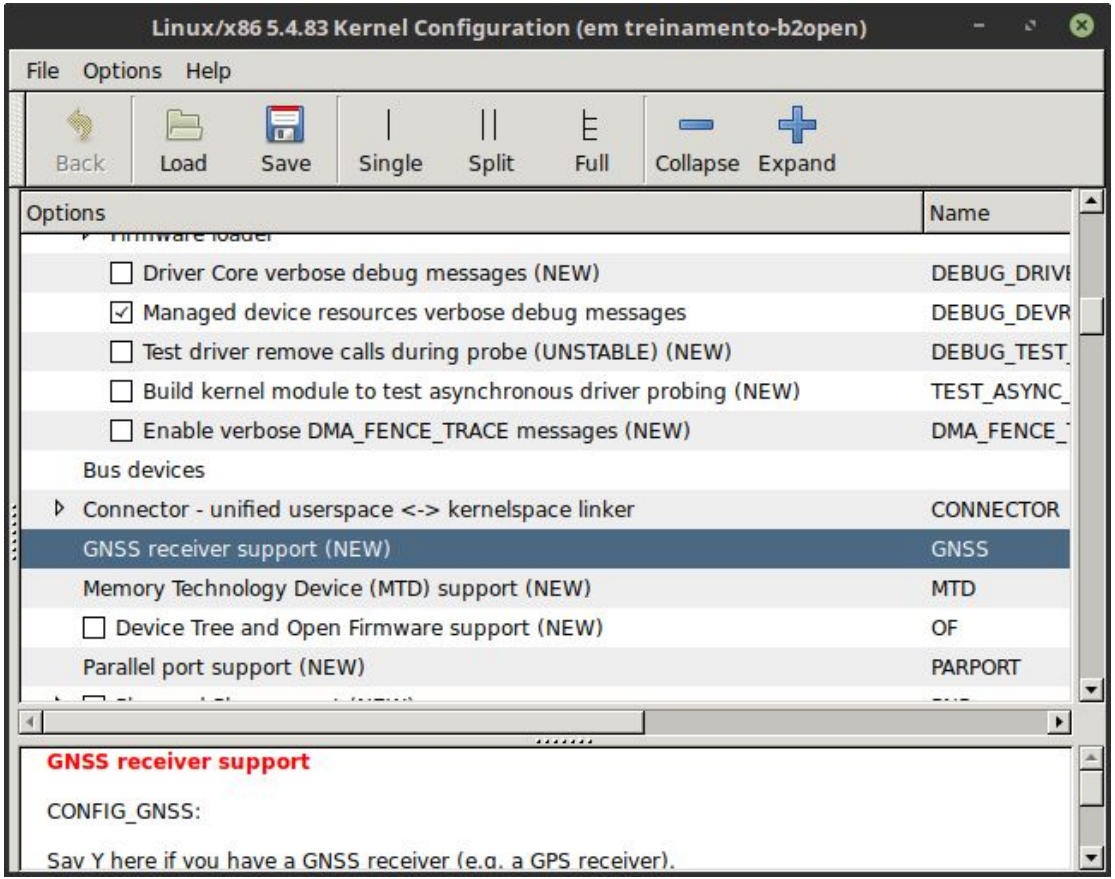
```
$ make gconfig
```

- Modo Texto

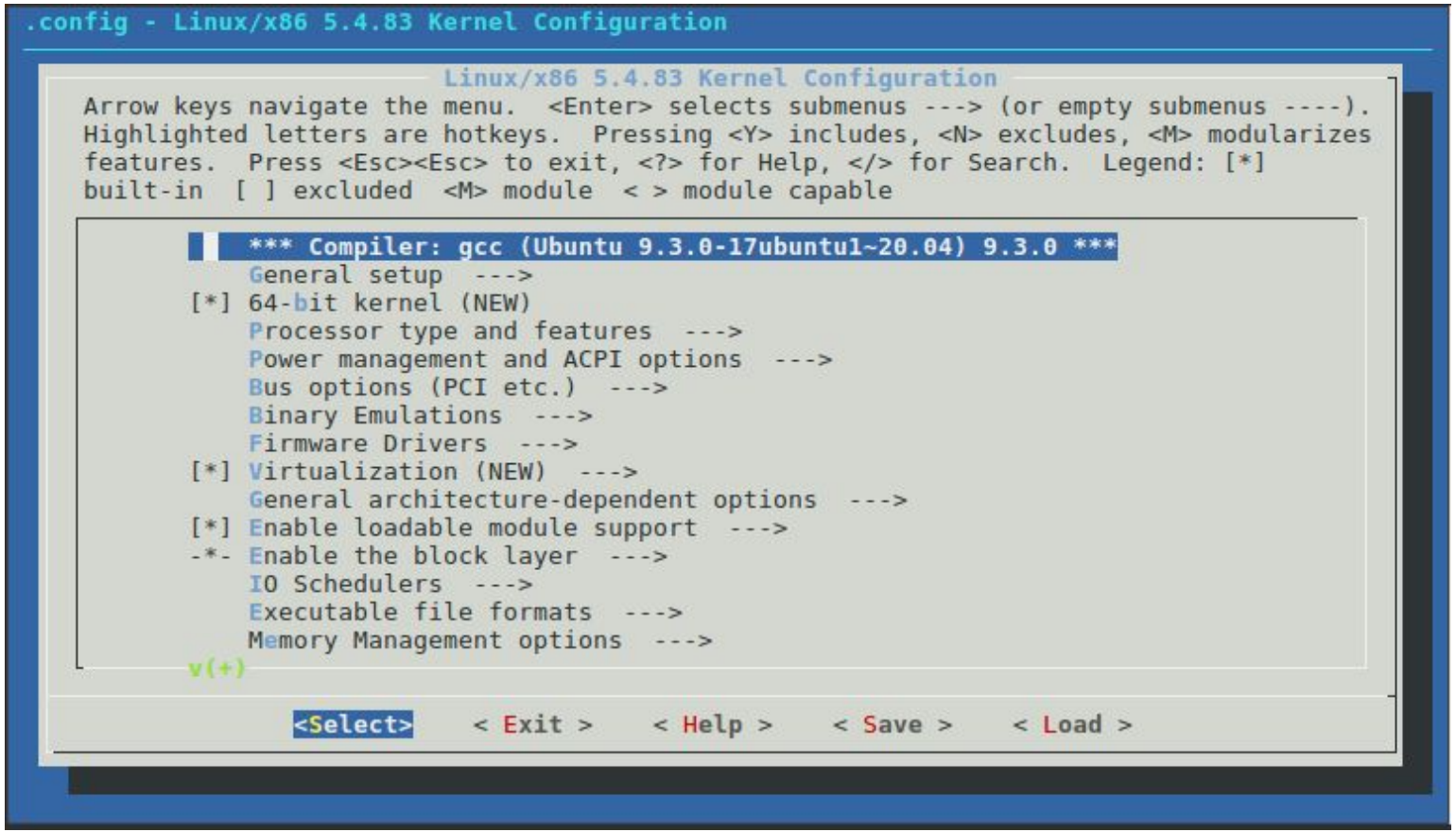
```
$ make menuconfig
```

```
$ make nconfig
```

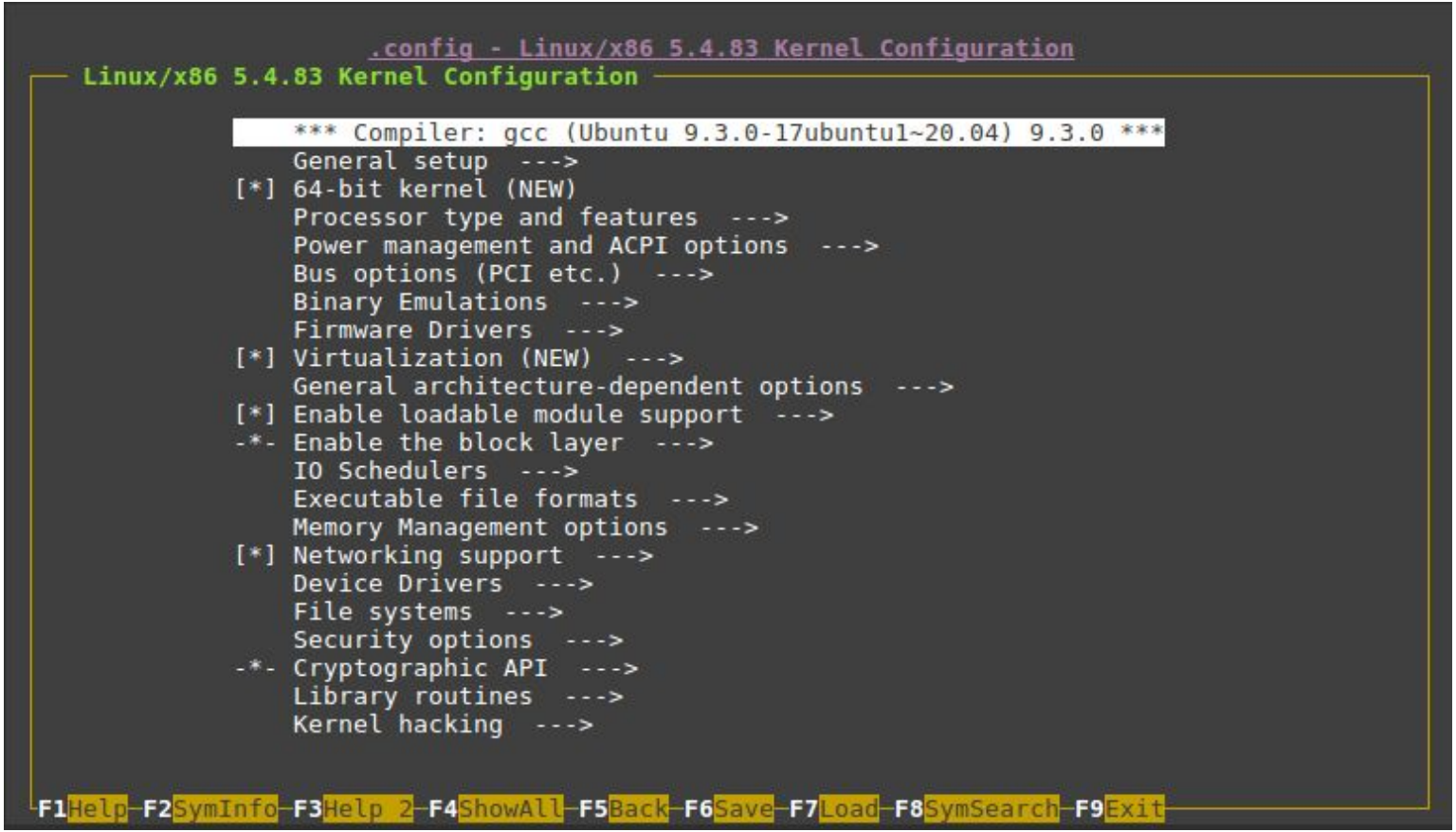
Como configurar o Kernel?



Como configurar o Kernel?



Como configurar o Kernel?



Como compilar o Kernel?

- Deve-se especificar a variável ARCH e CROSS_COMPILE
  - ARCH - Baseado na arquitetura alvo, veja **/arch**
  - CROSS_COMPILE - Especifica o prefixo do toolchain para (gcc, ld, strip, as, ...)

```
$ export ARCH=arm
$ export CROSS_COMPILE=arm-unknown-linux-uclibcgnueabi-
```

```
$ make ARCH=arm CROSS_COMPILE=arm-unknown-linux-uclibcgnueabi- ...
```

Configurações do Kernel

- As configurações do Kernel são armazenadas no arquivo .config
- Gerado e manipulado via **make menuconfig**, **make gconfig** ...
- Pode ser editado manualmente
- A configuração é baseado em CHAVE=VALOR
  - CONFIG_EXFAT_FS=y (Habilitado Built-in)
  - CONFIG_BT_MRVL=m (Habilitado como Módulo)
  - CONFIG_SQUASHFS=n (Desabilitado)

Kernel e Módulos

- O Kernel é gerado em um binário final com diversos recursos básicos e necessários para o boot completo
- Alguns recursos (drivers de dispositivo, sistemas de arquivos, etc.) podem, no entanto, ser compilados como módulos.
  - Esses são plug-ins que podem ser carregados/liberados dinamicamente para adicionar/remover recursos do kernel

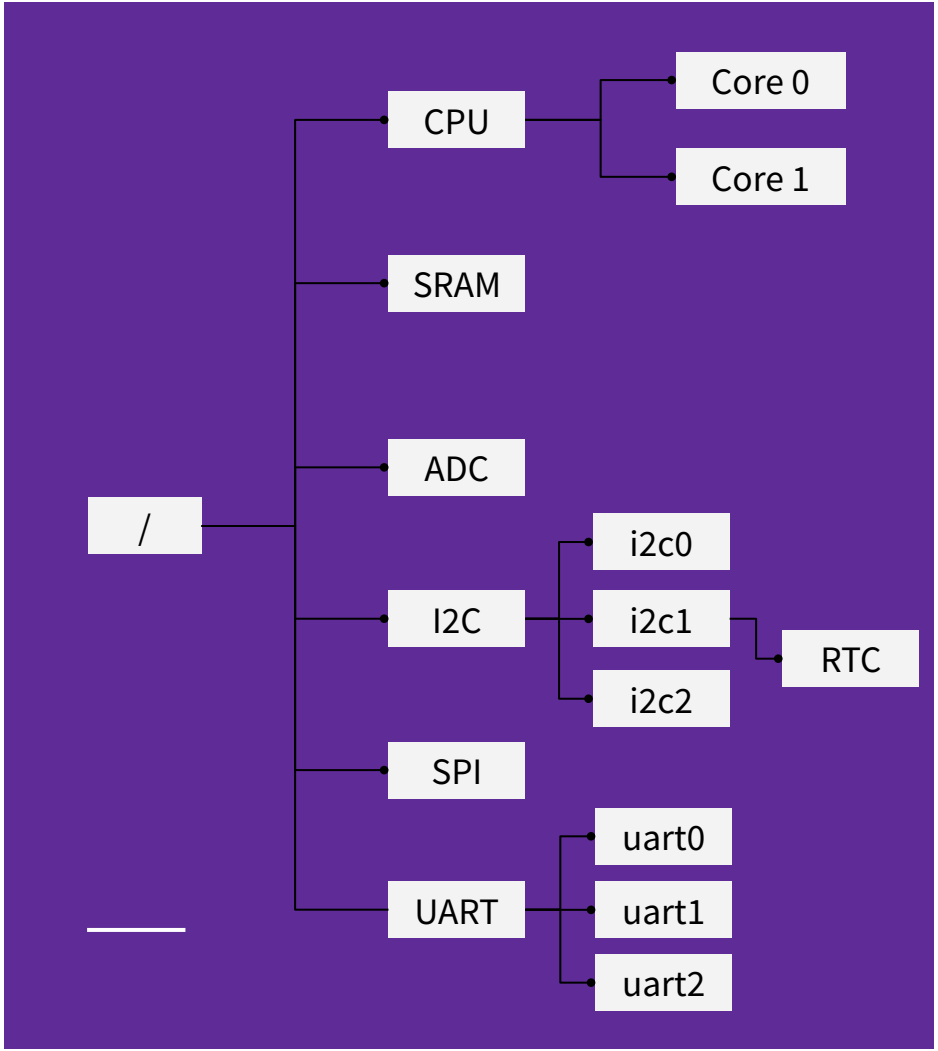
Resultado da compilação do Kernel

- O **vmlinux**, uma imagem descomprimida do kernel, em formato ELF, não possível realizar boot mas utilizado para depuração
- **arch/<arch>/boot/*Image**, a imagem final do kernel comprimida e que pode dar boot, alguns formatos:
  - bzImage para x86
  - zImage para ARM
- **arch/<arch>/boot/Image**, imagem kernel sem compressão que também pode inicializar
- **arch/<arch>/boot/dts/*.dtb**, resultado da compilação do device-tree

Resultado da compilação do Kernel

- Todos os módulos do Kernel(opções configuradas com =m), gerados com .ko(Kernel Object)
- Instalar os módulos requer o comando **make modules_install**
- **/lib/modules/<version>/**, diretório padrão de instalação dos módulos (.ko)

Device-Tree


/
CPU
Core 0
Core 1
SRAM
ADC
I2C
i2c0
i2c1
i2c2
RTC
SPI
UART
uart0
uart1
uart2

Device-tree x ACPI

Em **computadores/servidores** a inicialização conta com o auxílio da **BIOS/UEFI** e os periféricos são conectados ao processador principal por meio de um barramento(BUS), alguns barramentos suportam enumeração(discovery).

Desta forma o processador requisita ao barramento e o dispositivos retornam informações como tipo, fabricante, modelo e configurações.

O Sistema Operacional irá decidir qual driver irá utilizar para o dispositivos após receber estas informações.

Device-tree x ACPI

Em **sistemas embarcados**(ARM) não temos(no geral) BIOS/UEFI para auxiliar na inicialização, e contém barramentos que não há enumeração.

Com diversas plataformas ARM o Kernel Linux começou a ficar grande, complexo e muita duplicidade de código de diferentes fabricantes e a cada nova especificação mais código dentro do kernel. 

Alterar um simples endereço de um dispositivo na I2C teria que alterar o *platform device* dentro do kernel para cada plataforma ARM :/

Device-tree x ACPI

Em 2011, Linus Torvalds e alguns desenvolvedores do Kernel expressaram descontentamento com esse processo, estabelecendo um ultimato: eles se recusariam a aceitar novas implementações até que a ARM reorganizasse e estruturasse de maneira mais eficiente as implementações redundantes de plataformas, núcleos e drivers.

Esta demanda resultou na adoção contínua do **Device-Tree**, uma prática que persiste até hoje.

Referência: https://lwn.net/Articles/443510/

Device-tree x ACPI

- **Servidores/Computadores (x86) [ACPI]**

  Utiliza ACPI Table e possui enumeração/descoberta com barramentos como PCI, PCIe e USB

- **Sistemas Embarcados (ARM) [DEVICE TREE]**

  Utiliza Device Tree para inicialização e configuração dos dispositivos com barramentos como SPI e I2C

Device-tree - Resumindo

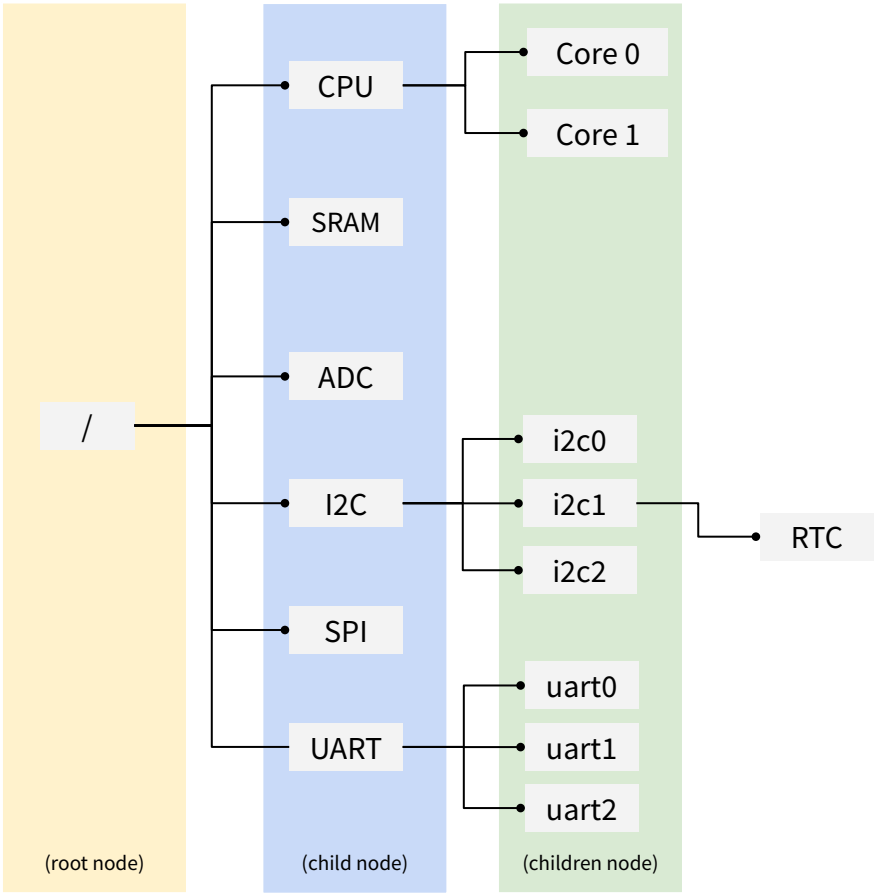
“ O **Device Tree** (DT) no contexto de sistemas embarcados e arquiteturas **ARM** é descrever a configuração de hardware de um sistema. Ele fornece uma representação hierárquica(Root Node, Child Node, Children Node) da configuração de hardware por meio de uma estrutura de árvore.”

O Kernel se encarrega de inicializar e/ou carregar o driver corretamente se necessário.

Device-tree <extensões>

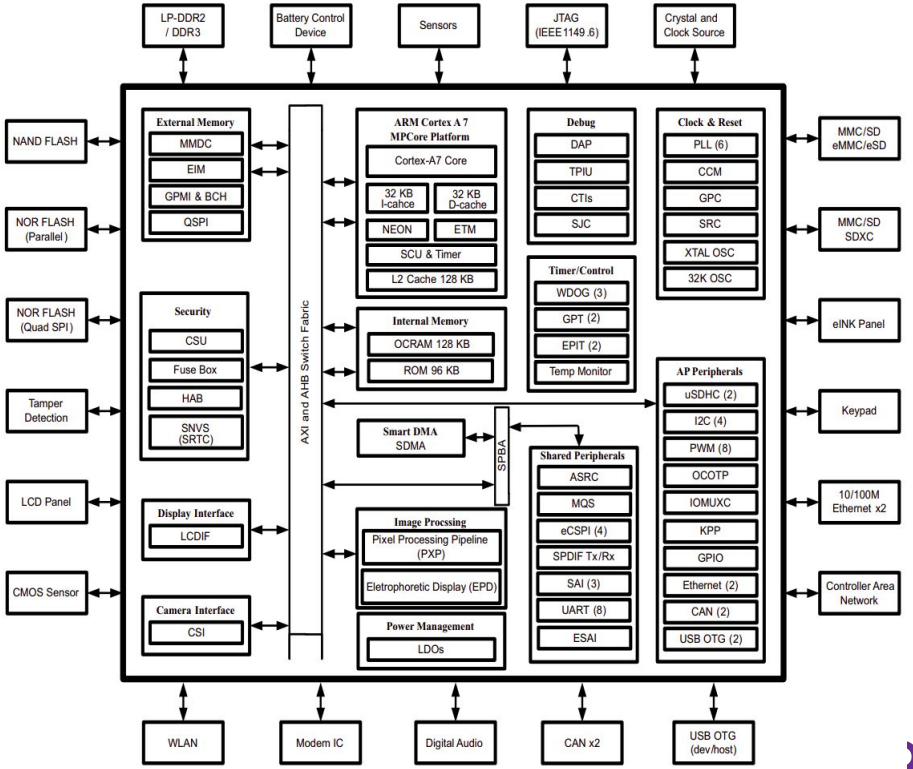
DTS	Device-Tree Source	Arquivo da descrição do hardware, o código-fonte
DTSI	Device-Tree Source Include	Arquivo de origem que contém definições comuns que podem ser incluídas em vários .dts
DTB	Device-Tree Blob	Arquivo resultado da codificação binária dos dados do .dts. O .dtb é o arquivo que o kernel Linux utiliza para obter as informações do hardware durante a inicialização
DTBO	Device-Tree Blob Overlay	Permite a personalização dinâmica do Device Tree, sem recompilar o original.
DTC	Device-Tree Compiler	Ferramenta que converte o arquivo .dts (source) em um formato binário chamado .dtb (binary).

Device-tree


/
CPU
SRAM
ADC
I2C
SPI
UART
Core 0
Core 1
i2c0
i2c1
i2c2
RTC
uart0
uart1
uart2
(root node)
(child node)
(children node)

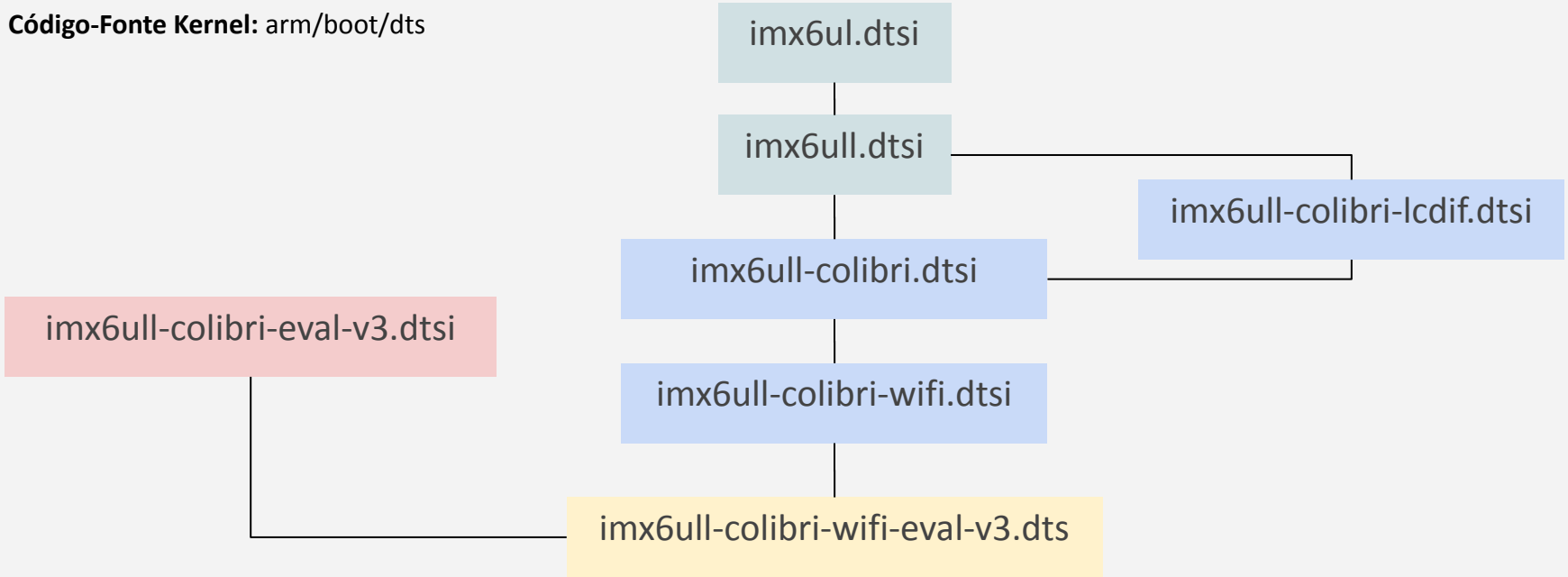
Device-tree

Para descrever um device-tree precisa de informações técnicas do Processador, SoC, Memória, Unidade de Armazenamento e CI's conectados nos periféricos.



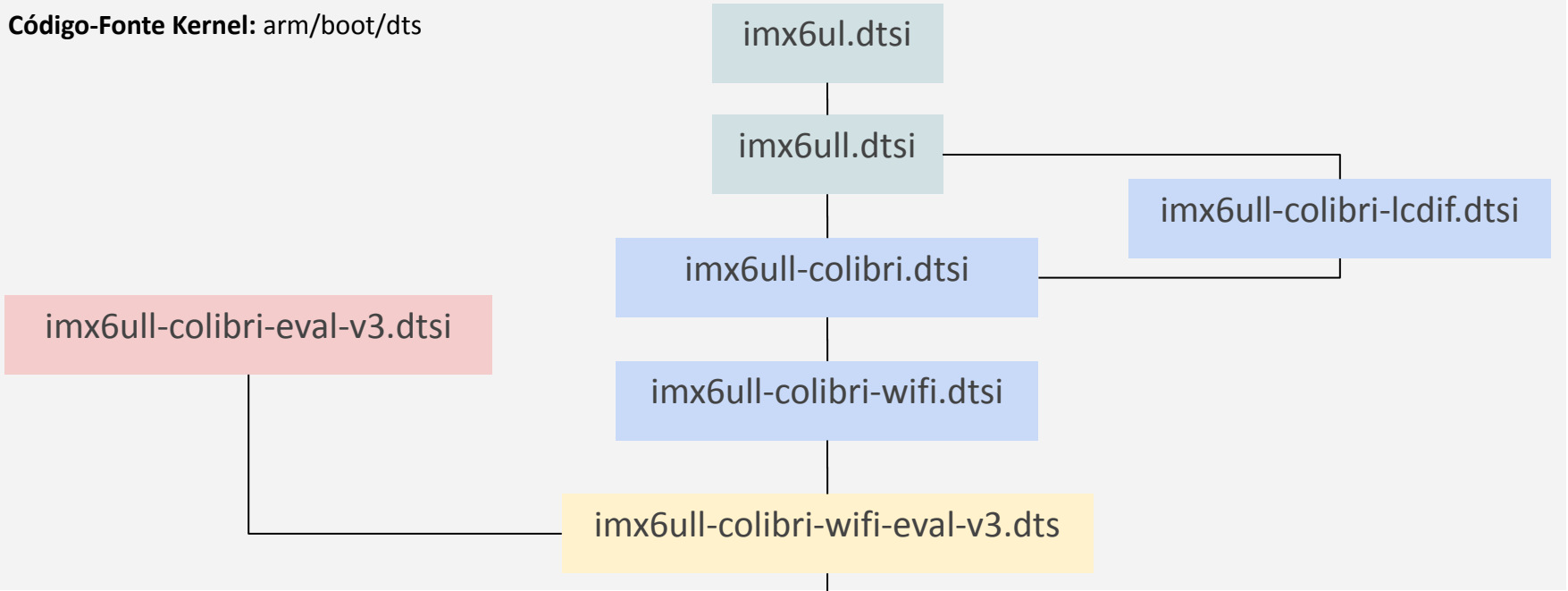
Device-tree <código-fonte e compilação>

Código-Fonte Kernel: arm/boot/dts



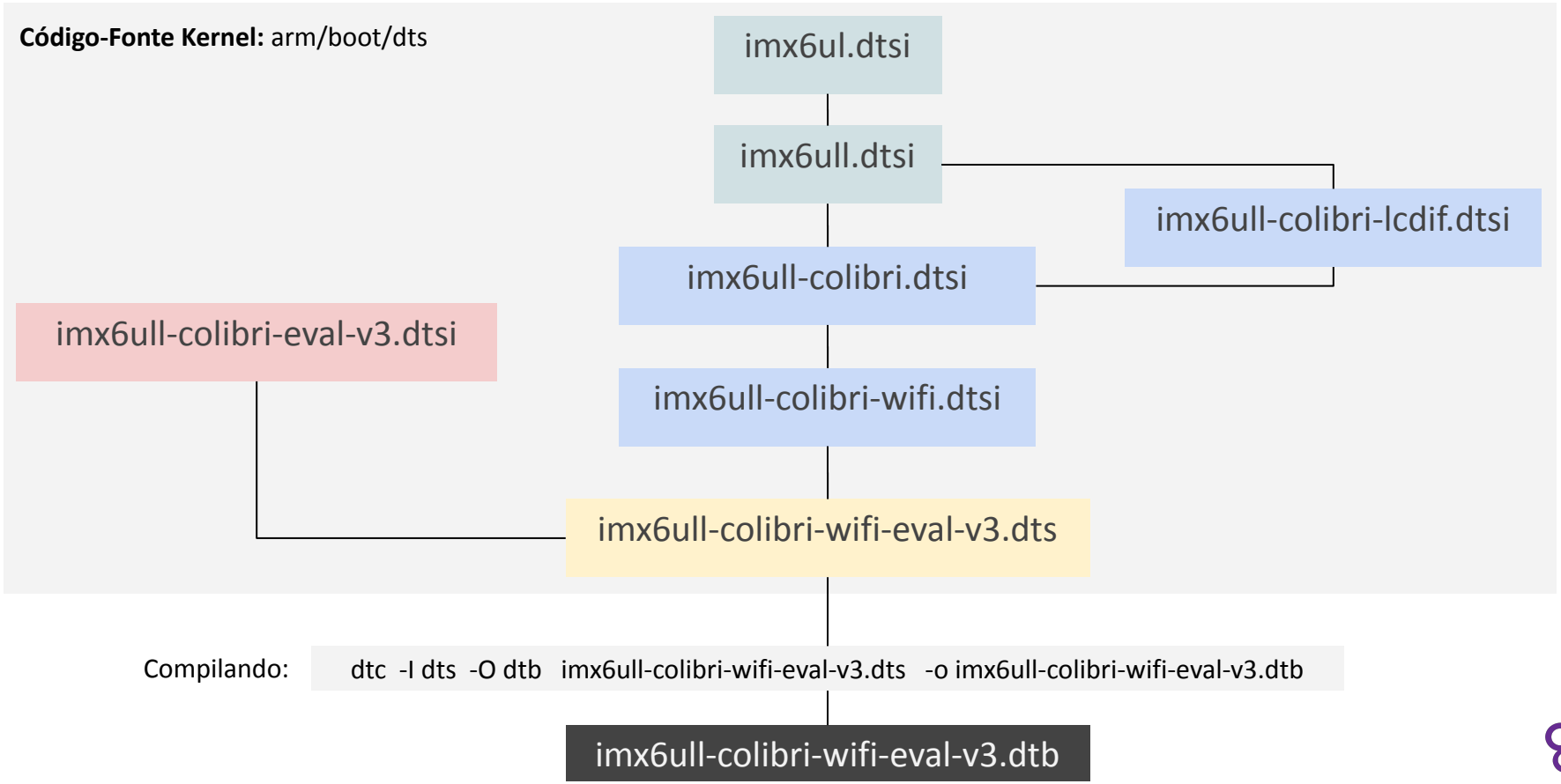
Device-tree <código-fonte e compilação>

Código-Fonte Kernel: arm/boot/dts



Compilando: dtc -I dts -O dtb imx6ull-colibri-wifi-eval-v3.dts -o imx6ull-colibri-wifi-eval-v3.dtb

Device-tree <código-fonte e compilação>



Device-tree <exemplo de modificação>

arch/arm/boot/dts/imx6ul.dts +30

```
aliases {
        …
        i2c0 = &i2c1;
        i2c1 = &i2c2;
        i2c2 = &i2c3;
        i2c3 = &i2c4;
        mmc0 = &usdhc1;
        serial0 = &uart1;
        serial1 = &uart2;
        spi0 = &ecspi1;
        …
};
```

arch/arm/boot/dts/imx6ul.dtsi +1008

```
i2c2: i2c@21a4000 {
        #address-cells = <1>;
        #size-cells = <0>;
        compatible = "fsl,imx6ul-i2c", "fsl,imx21-i2c";
        reg = <0x021a4000 0x4000>;
        interrupts = <GIC_SPI 37 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>;
        clocks = <&clks IMX6UL_CLK_I2C2>;
        status = "disabled";
};
```

arch/arm/boot/dts/imx6ull-colibri-eval-v3.dtsi +112

```
&i2c1 {
        status = "okay";

        /* M41T0M6 real time clock on carrier board */
        m41t0m6: rtc@68 {
                compatible = "st,m41t0";
                reg = <0x68>;
        };

};
```

Device-tree <exemplo de modificação>

arch/arm/boot/dts/imx6ul.dts +30

```
aliases {
        …
        i2c0 = &i2c1;
        i2c1 = &i2c2;
        i2c2 = &i2c3;
        i2c3 = &i2c4;
        mmc0 = &usdhc1;
        serial0 = &uart1;
        serial1 = &uart2;
        spi0 = &ecspi1;
        …
};
```

arch/arm/boot/dts/imx6ul.dtsi +1008

```
i2c2: i2c@21a4000 {
        #address-cells = <1>;
        #size-cells = <0>;
        compatible = "fsl,imx6ul-i2c", "fsl,imx21-i2c";
        reg = <0x021a4000 0x4000>;
        interrupts = <GIC_SPI 37 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>;
        clocks = <&clks IMX6UL_CLK_I2C2>;
        status = "disabled";
};
```

arch/arm/boot/dts/imx6ull-colibri-eval-v3.dtsi +112

```
&i2c1 {
        status = "okay";

        /* M41T0M6 real time clock on carrier board */
        m41t0m6: rtc@68 {
                compatible = "st,m41t0";
                reg = <0x68>;
        };
};
```

Adicionar suporte ao RTC PCF8523

Device-tree <exemplo de modificação>

arch/arm/boot/dts/imx6ul.dts +30

```
aliases {
        …
        i2c0 = &i2c1;
        i2c1 = &i2c2;
        i2c2 = &i2c3;
        i2c3 = &i2c4;
        mmc0 = &usdhc1;
        serial0 = &uart1;
        serial1 = &uart2;
        spi0 = &ecspi1;
        …
};
```

arch/arm/boot/dts/imx6ul.dtsi +1008

```
i2c2: i2c@21a4000 {
        #address-cells = <1>;
        #size-cells = <0>;
        compatible = "fsl,imx6ul-i2c", "fsl,imx21-i2c";
        reg = <0x021a4000 0x4000>;
        interrupts = <GIC_SPI 37 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>;
        clocks = <&clks IMX6UL_CLK_I2C2>;
        status = "disabled";
};
```

arch/arm/boot/dts/imx6ull-colibri-eval-v3.dtsi +112

```
&i2c1 {
        status = "okay";

        /* M41T0M6 real time clock on carrier board */
        m41t0m6: rtc@68 {
                compatible = "st,m41t0";
                reg = <0x68>;
        };
};
```

Adicionar suporte ao RTC PCF8523

Documentation/devicetree/bindings/rtc

Device-tree <exemplo de modificação>

arch/arm/boot/dts/imx6ul.dts +30

```
aliases {
        …
        i2c0 = &i2c1;
        i2c1 = &i2c2;
        i2c2 = &i2c3;
        i2c3 = &i2c4;
        mmc0 = &usdhc1;
        serial0 = &uart1;
        serial1 = &uart2;
        spi0 = &ecspi1;
        …
};
```

arch/arm/boot/dts/imx6ul.dtsi +1008

```
i2c2: i2c@21a4000 {
        #address-cells = <1>;
        #size-cells = <0>;
        compatible = "fsl,imx6ul-i2c", "fsl,imx21-i2c";
        reg = <0x021a4000 0x4000>;
        interrupts = <GIC_SPI 37 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>;
        clocks = <&clks IMX6UL_CLK_I2C2>;
        status = "disabled";
};
```

arch/arm/boot/dts/imx6ull-colibri-eval-v3.dtsi +112

```
&i2c1 {
        status = "okay";

        /* M41T0M6 real time clock on carrier board */
        m41t0m6: rtc@68 {
                compatible = "st,m41t0";
                reg = <0x68>;
        };

};
```

```
pcf8523: rtc@68 {
        compatible = "nxp,pcf8523";
        reg = <0x68>;
};
```

Device-tree <exemplo de modificação>

arch/arm/boot/dts/imx6ul.dts +30

```
aliases {
        …
        i2c0 = &i2c1;
        i2c1 = &i2c2;
        i2c2 = &i2c3;
        i2c3 = &i2c4;
        mmc0 = &usdhc1;
        serial0 = &uart1;
        serial1 = &uart2;
        spi0 = &ecspi1;
        …
};
```

arch/arm/boot/dts/imx6ul.dtsi +1008

```
i2c2: i2c@21a4000 {
        #address-cells = <1>;
        #size-cells = <0>;
        compatible = "fsl,imx6ul-i2c", "fsl,imx21-i2c";
        reg = <0x021a4000 0x4000>;
        interrupts = <GIC_SPI 37 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>;
        clocks = <&clks IMX6UL_CLK_I2C2>;
        status = "disabled";
};
```

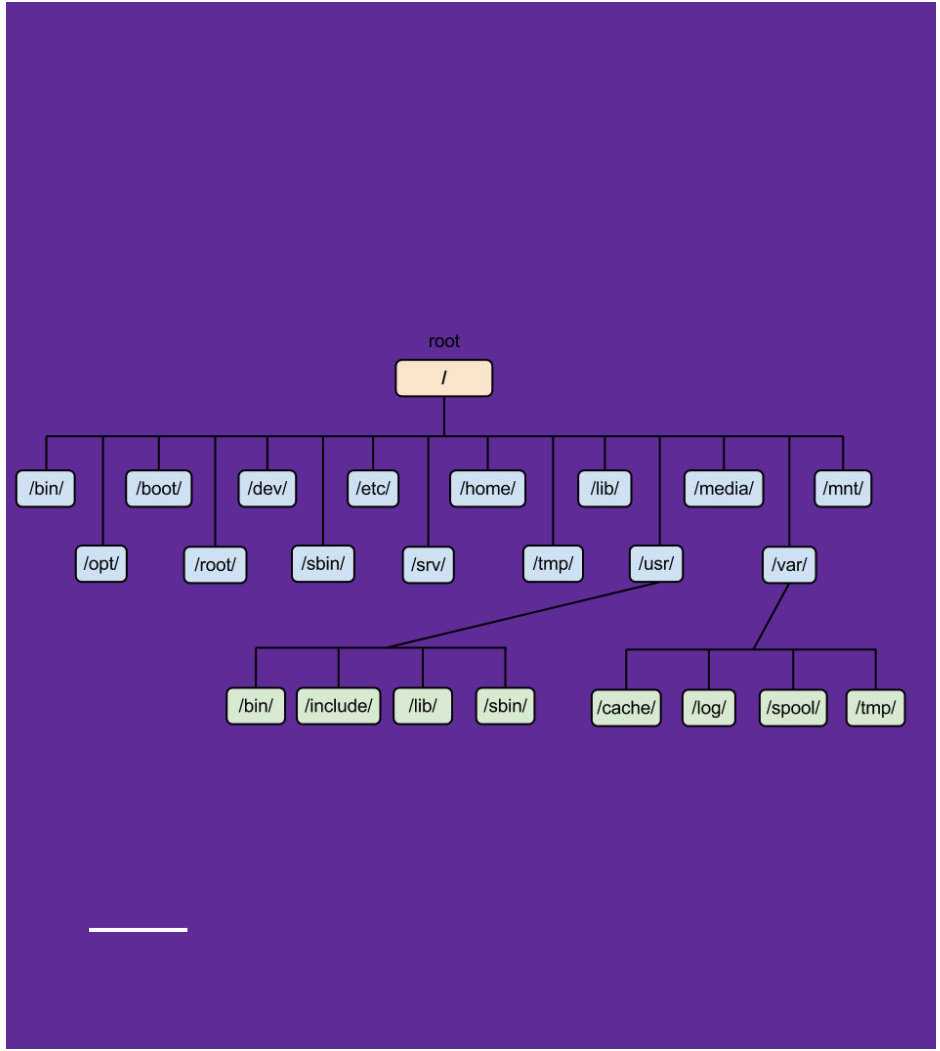
arch/arm/boot/dts/imx6ull-colibri-eval-v3.dtsi +112

```
&i2c1 {
        status = "okay";

        /* M41T0M6 real time clock on carrier board */
        m41t0m6: rtc@68 {
                compatible = "st,m41t0";
                reg = <0x68>;
        };

        pcf8523: rtc@68 {
                compatible = "nxp,pcf8523";
                reg = <0x68>;
        };

};
```

Laboratório

- Baixando, Configurando e compilando o Kernel para ARM

RootFS


root
/
/bin/
/boot/
/dev/
/etc/
/home/
/lib/
/media/
/mnt/
/opt/
/root/
/sbin/
/srv/
/tmp/
/usr/
/var/
/bin/
/include/
/lib/
/sbin/
/cache/
/log/
/spool/
/tmp/

Root FileSystem

- Os sistemas de arquivos são usados para organizar dados em diretórios e arquivos em dispositivos de armazenamento ou na rede. Os diretórios e arquivos são organizados como uma hierarquia
- Em sistemas UNIX, aplicativos e usuários veem uma única hierarquia global de arquivos e diretórios.
- Sistemas de arquivos são montados em um local específico nesta hierarquia de diretórios.

Root FileSystem

- Quando um sistema de arquivos é montado(comando **mount**) em um diretório (chamado ponto de montagem), o conteúdo desse diretório reflete o conteúdo do dispositivo de armazenamento
- Quando o sistema de arquivos é desmontado(comando **umount**), o ponto de montagem fica vazio novamente.
- Isso permite que os aplicativos acessem arquivos e diretórios facilmente, independentemente de seu local de armazenamento exato.

Comando mount e umount

- **mount** permite montar sistemas de arquivos

```
$ sudo mount -t ext4 /dev/sdb1 /mnt/backup
```

- **mount -t <type>** monta o dispositivo com o tipo especificado
- **/dev/sdb1** é o dispositivo de armazenamento (HD, SSD, PenDrive, MicroSD, ...)
- **/mnt/backup** é o diretório onde os arquivos do dispositivo de armazenamento serão montados
- Diversas combinações de parâmetros são permitidas com mount para diversas funcionalidades, saiba mais sobre o mount

Comando mount e umount

- **umount** desmonta sistemas de arquivos

```
$ sudo umount /dev/sdb1
```

- Irá desmontar o ponto de montagem do dispositivo /dev/sdb1 tornando o diretório vazio
- Isso é necessário antes de reinicializar ou antes de desconectar um pendrive, porque o kernel armazena em cache as gravações na memória para aumentar o desempenho.

Sistema de Arquivo Root

- Um sistema de arquivos específico é montado na raiz da hierarquia, identificado por `/`
- Este sistema de arquivos é chamado de sistema de arquivos raiz
- Como os programas de mount e umount estão dentro do Sistema de Arquivos Raiz eles não fazem esta montagem, ficando a função ao Kernel resolver!

Sistema de Arquivo Root

- Como o sistema de arquivos raiz é o primeiro sistema de arquivos montado, ele não pode ser montado com o comando normal mount
- Ele é montado diretamente pelo kernel, de acordo com a opção **root=** kernel
- Quando nenhum sistema de arquivos raiz está disponível, o kernel lança um Kernel Panic:

```
Please append a correct "root=" boot option
Kernel panic - not syncing: VFS: Unable to mount root fs on unknown block(0,0)
```

Sistema de Arquivo Root

- Ele pode ser montado de diferentes locais
  - Da partição de um disco rígido
  - Da partição de uma pendrive
  - Da partição de um cartão SD
  - Da partição de uma flash NAND
  - Da rede , usando o protocolo NFS(Network File System)

- O desenvolvedor deverá escolher o dispositivo correto do sistema e configurar no parâmetro `root=` do Kernel

Sistema de Arquivo Root - Montando RootFS

- Disco Rígido ou Pendrive

```
root=/dev/sdXY
```

X Número Identificação do Dispositivo
Y Número de Partição

- MicroSD ou eMMC

```
root=/dev/mmcblkXY
```

X Número Identificação do Dispositivo
Y Número de Partição

- Flash NAND (exemplo com UBIFS)

```
ubi.mtd=3 root=ubi0:rootfs
```

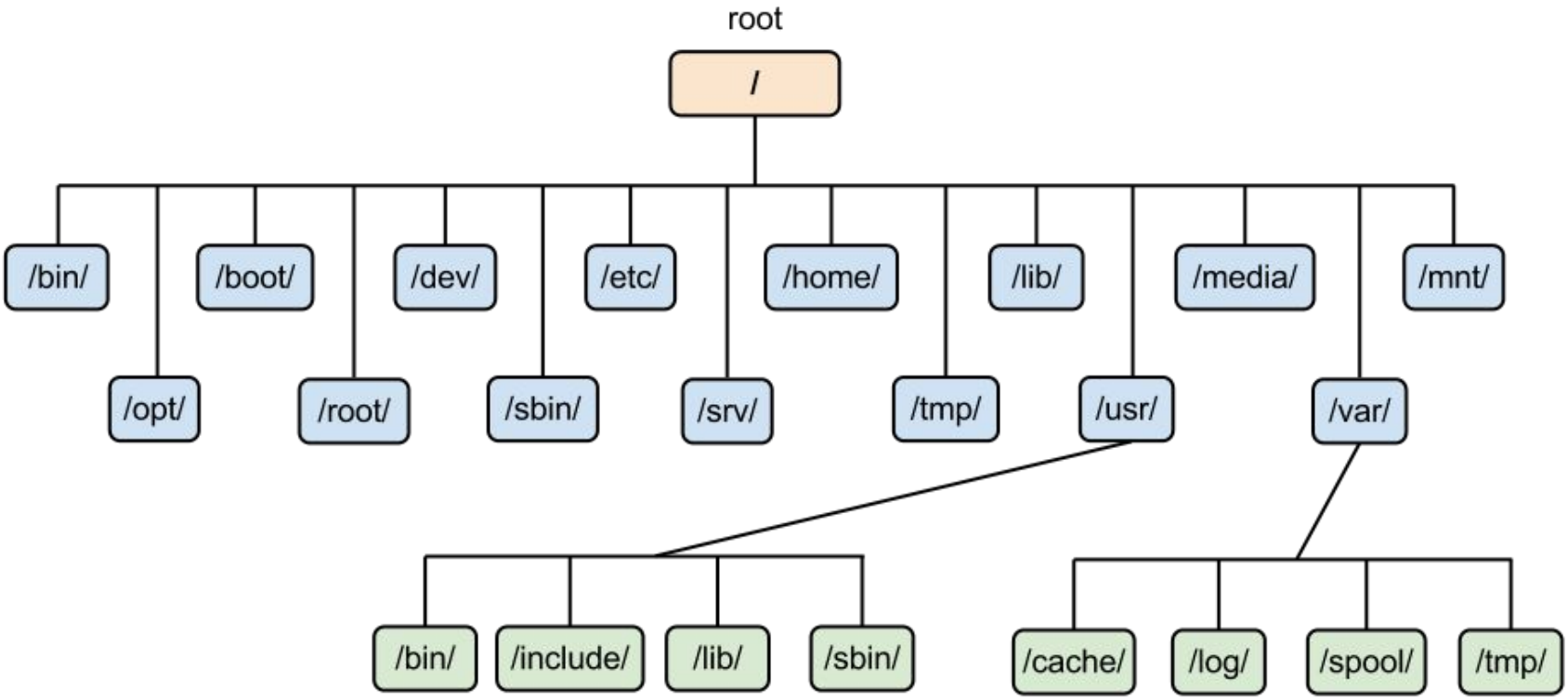
Sistema de Arquivo Root - InitramFS

- Também é possível inicializar o sistema com um sistema de arquivos na memória: **initramfs**
  - A partir de um arquivo CPIO compactado integrado à imagem do kernel
  - No momento da inicialização, este arquivo é extraído para o cache do Linux
  - É útil para dois casos:
    - **FastBoot** para um sistema muito pequeno
    - **OTA**(OverTheAir) - Uma etapa intermediária antes de mudar para um sistema de arquivos raiz real

Sistema de Arquivo Root - Organização

- A organização de um RootFS do Linux em termos de diretórios é bem definida pelo **FHS**(Filesystem Hierarchy Standard)
  - https: //wiki.linuxfoundation.org/lsb/fhs
- A maioria dos sistemas Linux está em conformidade com esta especificação
- Os aplicativos esperam esta organização
- Isso torna mais fácil para desenvolvedores e usuários, pois a organização do sistema de arquivos é semelhante em todos os sistemas

Sistema de Arquivo Root - Organização



Sistema de Arquivo Root - Organização

/bin	Programas Básicos do Sistema
/sbin	Programas de Administração do Sistema
/boot	Arquivos de Bootloader, Kernel e Device-Tree
/etc	Arquivos de Configuração do Sistema
/home	Diretórios dos usuários comuns do Sistema
/root	Diretório do usuário root
/lib	Bibliotecas Essenciais do Sistema e os Módulos do Kernel

Sistema de Arquivo Root - Organização

/mnt	Diretório de Montagem dos Dispositivos
/proc	Diretório Virtual Informações Processos e Sistema - procfs
/sys	Diretório Virtual Controlado pelo Kernel e Módulos - sysfs
/tmp	Arquivos Temporários
/usr/bin /usr/lib /usr/sbin	Aplicações Básicas dos Usuários Bibliotecas dos Usuários Aplicações de Administração dos Usuários *Unix System Resources*
/var	Arquivos Variáveis (Temporários, Logs, Banco de Dados, ...)

Sistema de Arquivo Root - Organização

/dev — **Onde todos os Dispositivos do Sistema são criados**

- Uma função interessante do kernel é permitir que os programas aplicativos acessem dispositivos de hardware como arquivos

- Internamente, o kernel identifica cada dispositivo por:
  - Type (Dispositivo de Caracteres ou Dispositivo de Bloco)
  - Major Number (normalmente a categoria do dispositivo)
  - Minor Number (normalmente o identificador do dispositivo)

Sistema de Arquivo Root - Organização

/dev — **Onde todos os Dispositivos do Sistema são criados**

- Exemplo de Dispositivos em um Sistema Linux

```
$ ls -l /dev/ttyS0 /dev/tty1 /dev/sda /dev/sda1 /dev/sda2 /dev/sdc1 /dev/zero
brw-rw----  1 root disk        8,  0   2011-05-27 08:56 /dev/sda
brw-rw----  1 root disk        8,  1   2011-05-27 08:56 /dev/sda1
brw-rw----  1 root disk        8,  2   2011-05-27 08:56 /dev/sda2
brw-rw----  1 root disk        8,  32 2011-05-27 08:56 /dev/sdc
crw-------   1 root root        4,  1   2011-05-27 08:57 /dev/tty1
crw-rw----   1 root dialout    4,  64 2011-05-27 08:56 /dev/ttyS0
crw-rw-rw-  1 root root        1,  5   2011-05-27 08:56 /dev/zero
```

Sistema de Arquivo Root - Organização

/dev	**Onde todos os Dispositivos do Sistema são criados**

- Exemplo de código C que usa a API de arquivo usual para gravar dados em uma porta serial

```
int fd;
fd = open("/dev/ttyS0", O_RDWR);
write(fd,"Hello",5);
close(fd);
```

Sistema de Arquivo Root - Criando Arquivos de Dispositivos

- Nas versões de Kernel < 2.6 e sistemas mais simples, os arquivos de dispositivo podem ser criados manualmente com o comando **mknod** (é necessário privilégios de root):

```
$ mknod /dev/<device>   [c|b]   MAJOR   MINOR
```

- Para sistemas mais complexos, existem mecanismos para adicionar e remover arquivos de dispositivo dinamicamente:
  - udev
  - mdev
  - devtmpfs

Sistema de Arquivo Root - Criando Arquivos de Dispositivos

devtmpfs

O Sistema de Arquivos Virtual devtmpfs é montado em **/dev** e contém todos os dispositivos registrados nas estruturas do kernel. A opção de configuração do kernel **CONFIG_DEVTMPFS_MOUNT** faz com que o kernel o monte automaticamente no momento da inicialização.

mdev

Uma versão minimalista do udev, disponibilizada pelo **Busybox**, mais adequado para uso em sistemas embarcados.
Pode ser executado em userspace e analisar **/sys** por novos dispositivos, necessario configurar **echo /sbin/mdev > /proc/sys/kernel/hotplug**

udev

O **udevd** é iniciado, ele “escuta” uevents do Kernel, que são enviados sempre que dispositivos são inseridos ou removidos. O **udevd** lê e analisa todas as regras encontradas em **/etc/udev/rules.d/** e *cria/modifica/remove* o dispositivo de acordo com as regras, API para integrar direto em aplicações.
Utilitário **udevadm** para monitorar eventos e regras

Sistema de Arquivo Virtual - ProcFS

- O sistema de arquivos virtual **procfs** existe desde o início do Linux
- Ele permite:
  - O kernel expor estatísticas sobre os processos em execução no sistema
  - O usuário pode ajustar em tempo de execução diversos parâmetros do sistema, gerenciamento de processos, gerenciamento de memória: Cada programa em execução possui uma entrada em **/proc/<PID>**
- Programas como **ps** e **top** não funciona sem o sistema de arquivos **procfs**
- Comando para montar /**proc**: **mount -t proc nodev /proc**
- Mais detalhes do procfs em Documentação ProcFS ou **man proc**

Sistema de Arquivo Virtual - ProcFS

- Alguns exemplos e informações úteis do **procfs**:

/proc/cmdline	Informações dos parâmetros passado para o Kernel no Boot
/proc/devices	Informações de todos os dispositivos reconhecidos pelo Kernel durante o boot
/proc/interrupts	Relaciona o número de interrupções por CPU por dispositivo de I/O, ele exibe o número de IRQ
/proc/filesystems	Todos os sistemas de arquivos atualmente suportados pelo kernel
/proc/<PID>/*	Diversas informações sobre o processo em execução, baseado no ID do Processo <PID>
/proc/uptime	Tempo em que o sistema está ligado

Sistema de Arquivo Virtual - SysFS

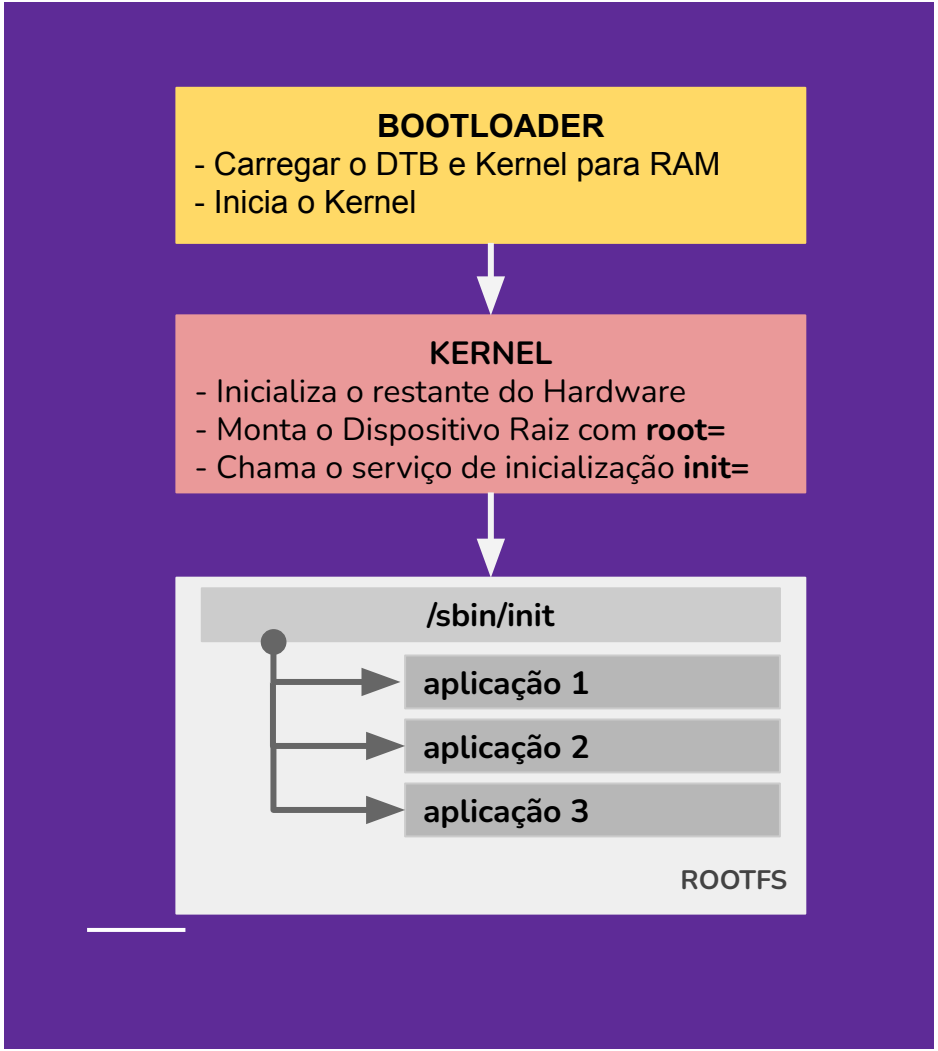
- Permite representar no userspace as informações que o kernel tem dos barramentos, dispositivos e drivers do sistema.
- É útil para vários aplicativos de userspace que precisam listar e consultar o hardware disponível, por exemplo **udev** ou **mdev**.
- Todos os aplicativos que usam **sysfs** esperam que ele seja montado no diretório **/sys**.
- Comando para montar **/sys**: **mount -t sysfs nodev /sys**

Sistema de Arquivo Virtual - SysFS

- Alguns exemplos e informações úteis do **sysfs**:

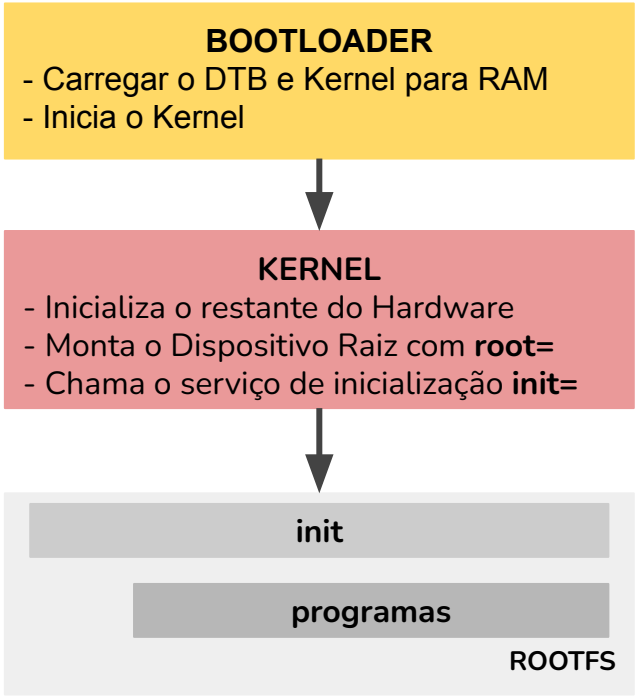
/sys/block	Contém subdiretórios para cada sistema de arquivos de bloco (discos rígidos, etc) com diversas informações.
/sys/bus	Contém subdiretórios para cada tipo de barramento suportado pelo Kernel e se expande em diretórios de devices e drivers.
/sys/class	Contém representações de cada classe de dispositivo que está registrado no Kernel: **pwm, gpio, net, i2c, etc.**
/sys/kernel	Contém vários arquivos e subdiretórios que fornecem informações sobre o kernel em execução.
/sys/module	Contém subdiretórios com todos os módulos carregador do Kernel em memória, permite configurações e obter detalhes.
/sys/fs	Contém subdiretórios para alguns sistemas de arquivos do SO, permite obter diversas informações.

Inicialização Básica no Linux



Inicialização Linux - init

- Assim que o Kernel monta o dispositivo especificado em **root=**, é executado o processo de inicialização **init**.
- O init é pesquisado na seguinte ordem:
  - /sbin/init
  - /bin/init
  - /etc/init
  - /bin/sh
- Pode ser especificado manualmente para o kernel com: **init=/bin/startup.sh**

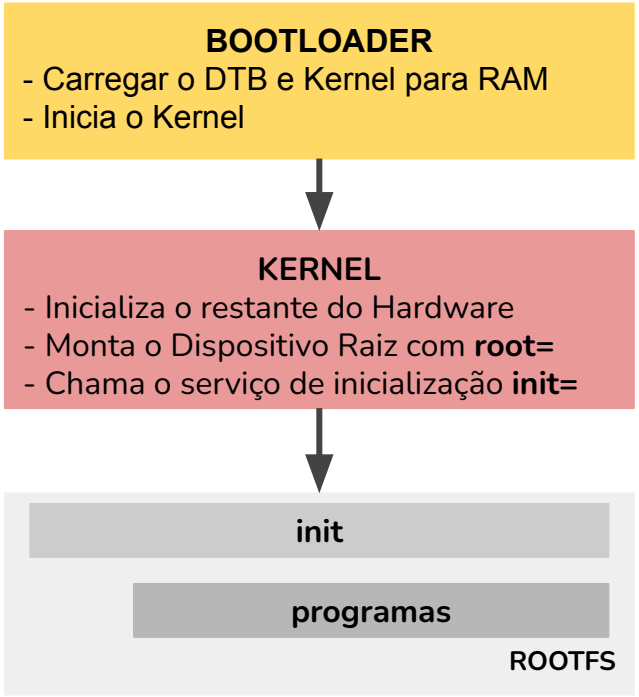


Inicialização Linux - init

- Caso nenhuma das alternativas de init seja encontrada a seguinte mensagem de pânico é lançada:

> **Kernel panic** - not syncing: No init found. Try passing init= opt on to kernel

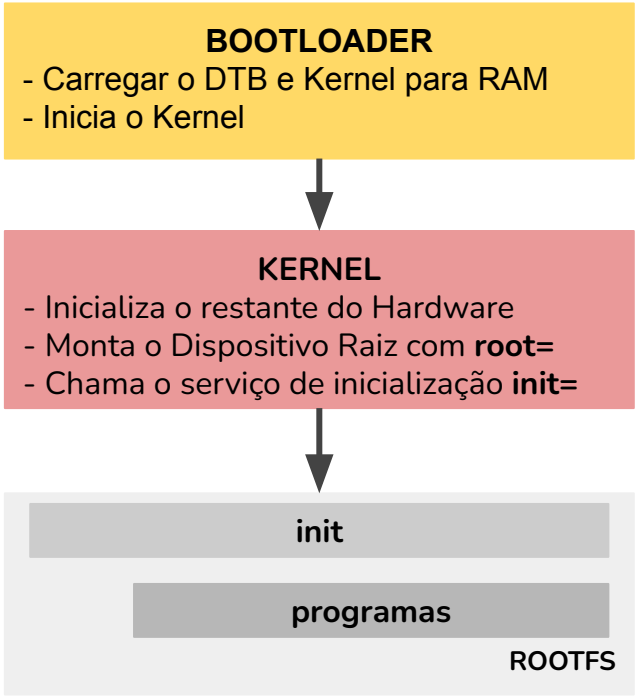
- Se executado com sucesso, é dado início a inicialização de diversos serviços em sequência ou paralelo (Rede, Aplicações, Servidor Gráfico, ...), responsabilidade está dos **Mecanismos de Inicialização**



Inicialização Linux - Mecanismos de Inicialização

- **systemd** - Desenvolvido por Engenheiros da RedHat em meados de 2009, logo adotado pelo Ubuntu e demais Distribuições, vale destacar inicialização paralela e diversas ferramentas

- **sysvinit** - O mais simples e prático, puramente baseado em Script Shell, carrega as configurações em **/etc/inittab** e inicializa os script em **/etc/init.d**



Inicialização Linux - sysvinit

- /etc/inittab

```
root@b2 # cat /etc/inittab
# When the system starts
::sysinit:/etc/init.d/rcS

# When pressing Ctrl+Alt+Del
::ctrlaltdel:/sbin/reboot

::respawn:-/bin/sh

# When the system is shut down
::shutdown:/bin/umount -a -r

# When the system restarts
::restart:/sbin/init
```

Inicialização Linux - sysvinit

- /etc/init.d/rcS

```
root@b2 # cat /etc/init.d/rcS
#! /bin/sh

/bin/mount -a

/bin/mkdir -p /dev/pts
/bin/mount -t devpts devpts /dev/pts
/bin/mount -t sysfs  sysfs  /sys

/bin/echo /sbin/mdev > /proc/sys/kernel/hotplug
/sbin/mdev -s

/bin/mount -o remount, rw /
```

Inicialização Linux - sysvinit

- /etc/init.d/rcS

```
root@b2 # cat /etc/init.d/rcS
...
for i in /etc/rc$runlevel.d/S*
do
        case "$i" in
                *.sh)
                        . $scriptname
                        ;;
                *)
                        ”$@"
                        ;;
        esac

done
...
```

Inicialização Linux - SystemD

- /etc/systemd/system/aplicacaoGPS.service

```
root@b2 # cat /etc/systemd/system/aplicacaoGPS.service
[Unit]
Description=Aplicacao Demo GPS
After=multi-user.target

[Service]
Type=simple
Environment=DEBUG=0
ExecStart=/usr/bin/aplicacaoGPS

[Install]
WantedBy=multi-user.target
```

Inicialização Linux - SystemD

- Iniciando o serviço **aplicacaoGPS.service**

```
root@b2 # systemctl start aplicacaoGPS
```

- Parando o serviço **aplicacaoGPS.service**

```
root@b2 # systemctl stop aplicacaoGPS
```

- Status do serviço **aplicacaoGPS.service**

```
root@b2 # systemctl status aplicacaoGPS
```

Inicialização Linux - SystemD

- Desabilitando o serviço **aplicacaoGPS.service**

```
root@b2 # systemctl disable aplicacaoGPS
```

- Habilitando o serviço **aplicacaoGPS.service**

```
root@b2 # systemctl enable aplicacaoGPS
```

- Verifica toda configuração do serviço **aplicacaoGPS.service**

```
root@b2 # systemctl show aplicacaoGPS
```

Inicialização Linux - SystemD

Obtendo a configuração e localização do serviço:

```
root@b2 # systemctl cat aplicacaoGPS
```

BusyBox

O básico para rootfs em um único binário!

Por que BusyBox?

- Um sistema Linux precisa de poucos programas para funcionar:
  - O programa init
  - Um Interpretador Shell
  - Alguns utilitários básicos para manipulação de arquivos e configuração do sistema(ps, top, cat, echo, grep, ...)
- Em sistemas GNU/Linux normais, esses programas são fornecidos por projetos diferentes: coreutils, bash, grep, etc.
  - Muitos componentes diferentes para integrar
  - Componentes não projetados com restrições de sistemas embarcados em mente

Por que BusyBox?

- **BusyBox** é uma solução alternativa, extremamente comum em sistemas embarcados, e facilita todos projetos em um único binário!
- Completamente configurável os projetos que devem compor
- Licença: GNU GPLv2(mesma do Kernel Linux)
- Conhecido como ***Swiss Army Knife of Embedded Linux***
- Busybox: https://www.busybox.net
- Alternativa: Toybox(Android >6) - Licença BSD

Por que BusyBox?

- Todos os utilitários são compilados em um único executável, **/bin/busybox**
  - Links simbólicos para **/bin/busybox** são criados para cada aplicativo integrado ao BusyBox

- Uma excelente ferramenta para Sistemas Embarcados:

  /bin/busybox (compilado com linkagem estática) - 1.2M

Por que BusyBox?

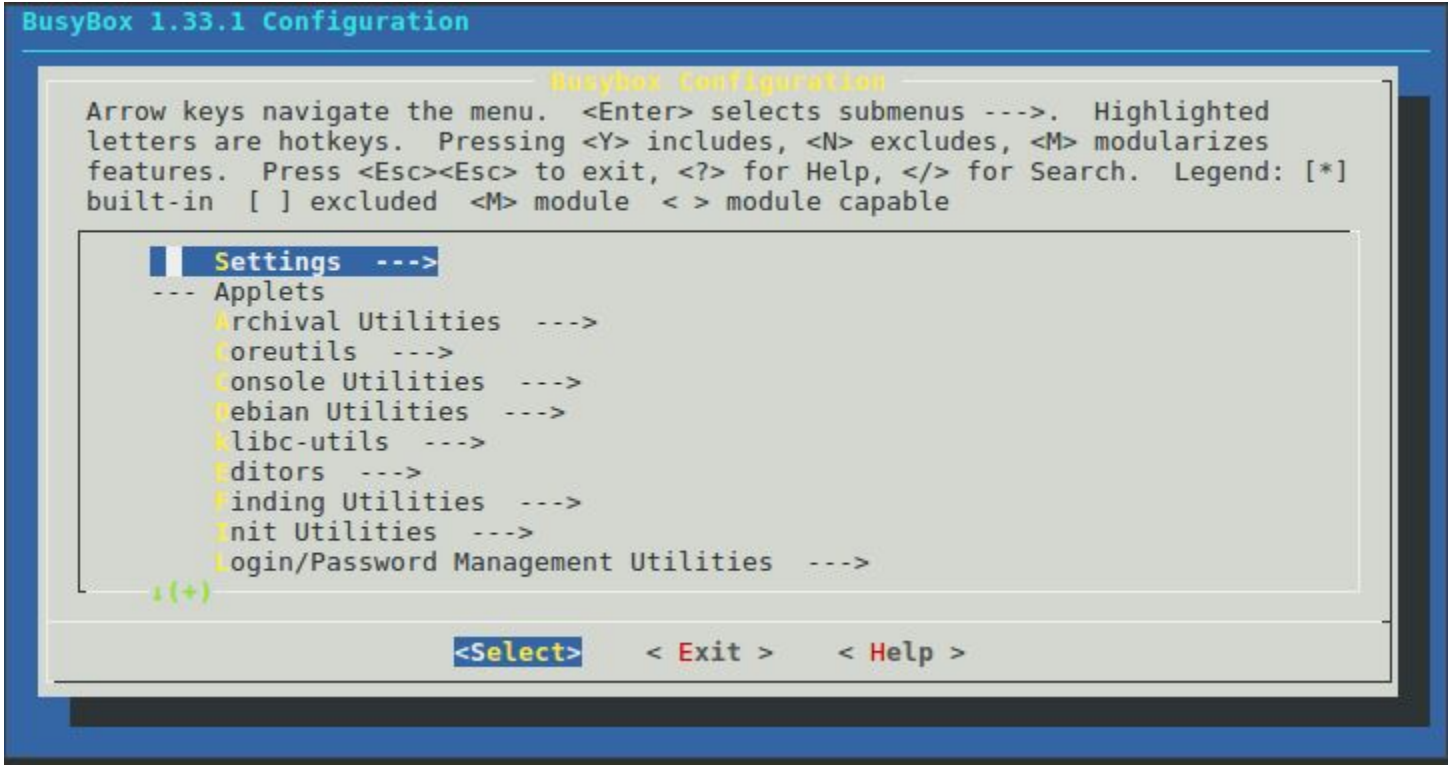
```
_install/
├── bin
│   ├── ash -> busybox
│   ├── busybox
│   ├── cat -> busybox
│   ├── date -> busybox
│   └── ps -> busybox
├── sbin
│   ├── init -> ../bin/busybox
│   ├── poweroff -> ../bin/busybox
│   └── reboot -> ../bin/busybox
└── usr
    ├── bin
    │   ├── top -> ../../bin/busybox
    │   ├── uptime -> ../../bin/busybox
    │   └── wget -> ../../bin/busybox
    └── sbin
        └── udhcpd -> ../../bin/busybox
```

Por que BusyBox?

```
root@tdxBoard # busybox
BusyBox v1.36.1 (2024-01-13 15:57:21 -03) multi-call binary.

Currently defined functions:
        [, [[, adduser, arp, ash, awk, base64, basename, bc, blkid, blockdev, cat, chattr, chgrp, chmod,
chown, chroot, chvt, clear, cp, crond, crontab, cut, date, dd, deluser, depmod, devmem, df, dmesg,
du, echo, env, envdir, false, fdisk, find, free, fsck, fsck.minix, getty, grep, groups, gzip, halt, head,
hexdump, hostname, httpd, hwclock, id, ifconfig, ifdown, ifup, inetd, init, insmod, kill, killall, klogd,
last, linux64, linuxrc, ln, logger, login, ls, lsattr, lsmod, lsof, lsusb, makedevs, man, md5sum, mdev,
mesg, mkdir, mke2fs, mkfifo, mkfs.ext2, mkfs.minix, mkfs.vfat, mknod, modinfo, modprobe, more,
mount, mv, nc, netstat, nice, nohup, nologin, nproc, ntpd, od, openvt, passwd, patch, pidof, ping,
pkill, pmap, poweroff, printf, ps, pscan, pstree, pwd, reboot, renice, reset, rm, route, run-init,
runlevel, sed, seq, setserial, sh, sha256sum, sleep, sort, start-stop-daemon, stat, strings, stty, su,
sulogin, swapoff, swapon, switch_root, sync, sysctl, syslogd, tail, tar, taskset, tcpsvd, telnet,
telnetd, tftp, tftpd, time, top, touch, traceroute, tree, true, tty, ttysize, udhcpc, udhcpd, uevent,
umount, uname, unzip, uptime, users, vi, w, wc, wget, who, whoami, xz, yes, zcat
```

Por que BusyBox?

- Configurando: **make menuconfig**



Por que BusyBox?

- Compilando:

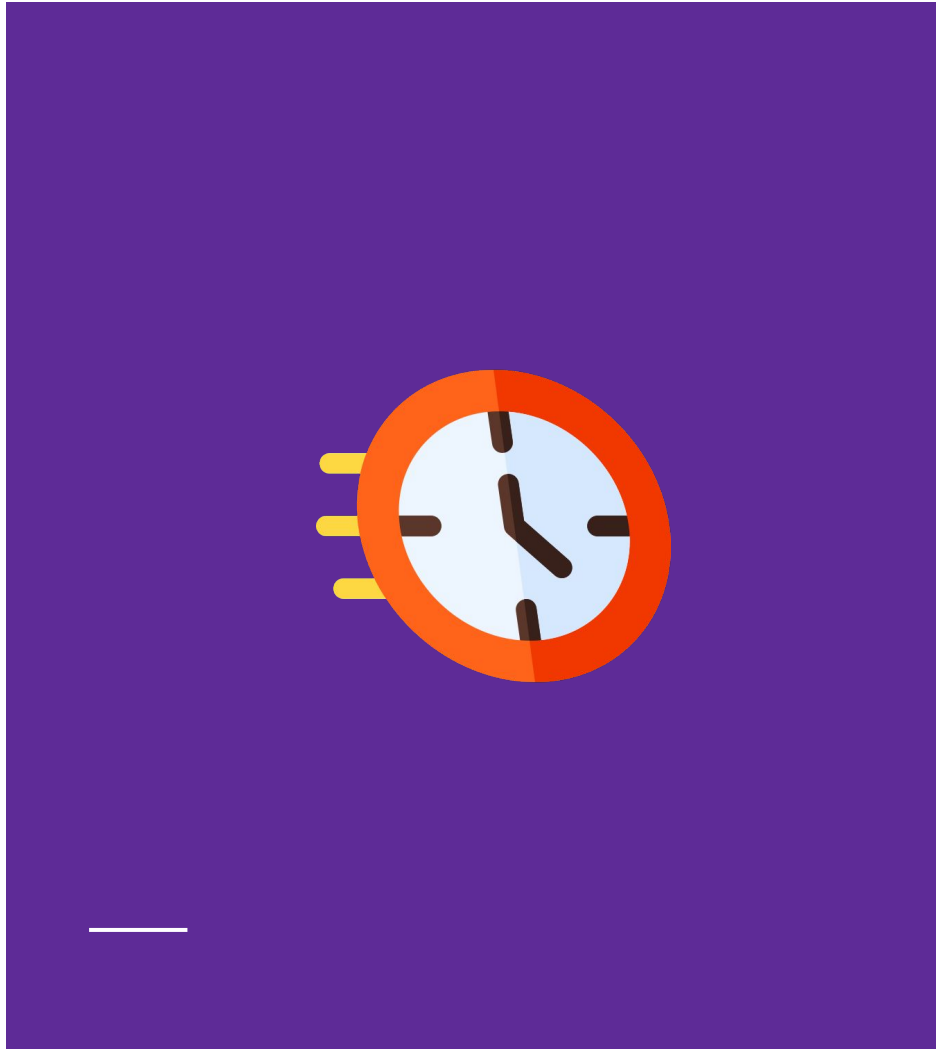
```
root@b2 # make ARCH=arm CROSS_COMPILE=arm-unknown-linux-uclibcgnueabi-
```

- Instalando:

```
root@b2 # make ARCH=arm CROSS_COMPILE=arm-unknown-linux-uclibcgnueabi-
install
```

  - Um diretório chamado _install será criado e utilizado para instalar o binário e os links-simbólicos.

BusyBox Init



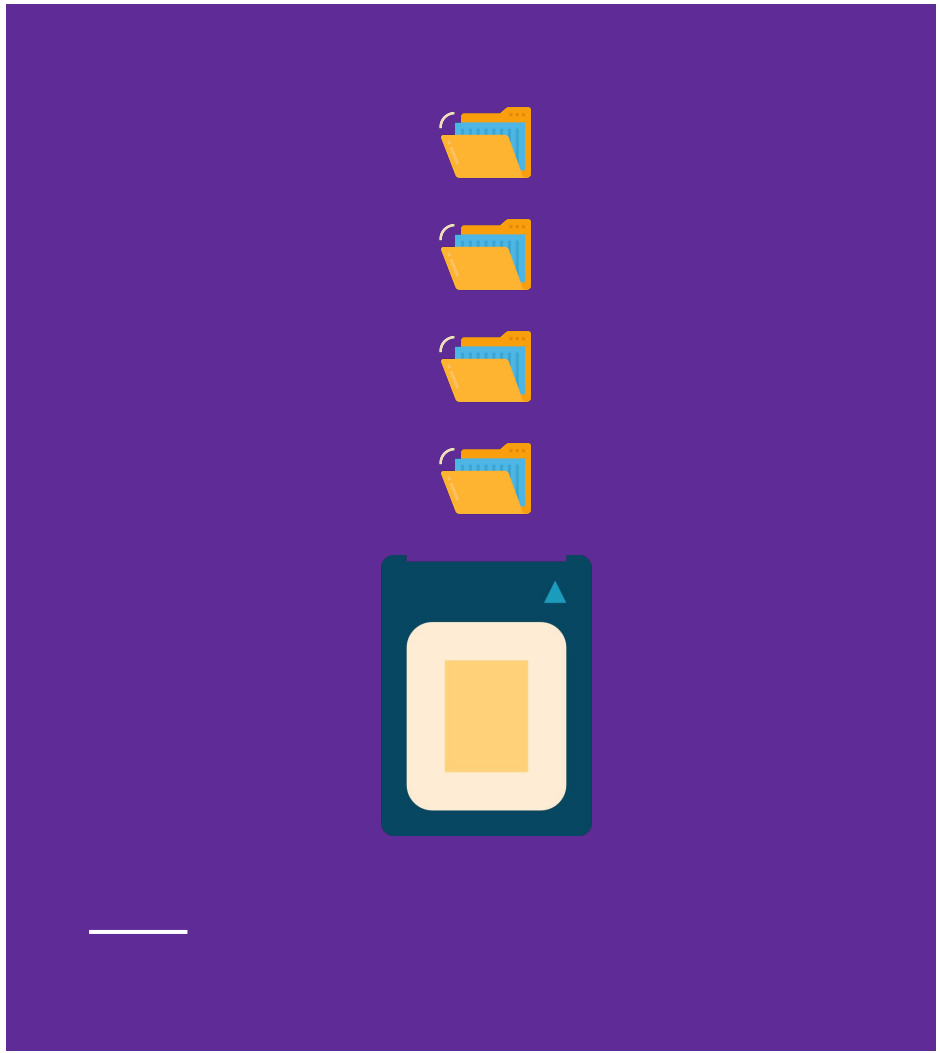
BusyBox - init

- BusyBox fornece uma implementação de um programa init
- Mais simples do que a implementação init encontrada em sistemas como (SysVinit ou systemd)
- Um único arquivo de configuração: **/etc/inittab**
  - Cada linha tem o formato **<id> :: <action>: <process>**
  - BusyBox init não suporta runlevels, se você precisa de runlevels, use sysvinit
- Permite executar serviços na inicialização e garantir que determinados serviços estejam sempre em execução no sistema
- Exemplo de inittab - Bootlin inittab

Laboratório

- Baixando, Configurando e compilando o BusyBox e criando o próprio RootFS

Unidade de Armazenamento e Sistemas de Arquivos



Unidades de Armazenamento

- Os dispositivos de armazenamento são classificados em dois tipos principais: **Dispositivos de Bloco** e **Dispositivos Flash**
  - Eles são tratados por diferentes subsistemas e diferentes sistemas de arquivos
- **Dispositivos de Bloco** - Podem ser lidos e gravados em uma base por bloco, em ordem aleatória, sem apagar.
  - Discos rígidos
  - Pendrive, SSD, cartões SD, eMMC: Baseiam-se no armazenamento Flash, mas possuem um controlador integrado que emula um dispositivo de bloco..
- **Dispositivos Flash RAW** - São gerenciados por um controlador no SoC. Eles podem ser lidos, mas a escrita requer limpar(apagar).
  - Flash NOR, flash NAN

Listagem de Dispositivos e Partições

- A lista de todos os dispositivos de bloco disponíveis no sistema pode ser encontrada em **/proc/partitions**

```
root@b2 # cat /proc/partitions
major   minor   #blocks   name
  8       0   976762584   sda
  8       1    48827392   sda1
  8       2   244141056   sda2
  8       3   195312640   sda3
  8       4   488479744   sda4
179       0     7761920   mmcblk0
179       1       85196   mmcblk0p1
179       2     3670016   mmcblk0p2
```

- **/sys/block/** também armazena informações sobre cada dispositivo de bloco, por exemplo, se é um armazenamento removível ou não.

Particionamento

- Dispositivos de bloco podem ser particionados para armazenar diferentes partes de um sistema, exemplo:
  - /dev/mmcblk0 - O dispositivo
  - **/dev/mmcblk0p1** - Primeira Partição do Dispositivo - **Bootloader e Kernel**
  - **/dev/mmcblk0p2** - Segunda Partição do Dispositivo - **RootFS**
  - **/dev/mmcblk0p3** - Terceira Partição do Dispositivo - **Banco de Dados/Configurações**

- Algumas ferramentas para criar e modificar as partições em um dispositivo de bloco: fdisk, cfdisk, sfdisk, parted, gparted, etc.

Transferindo Dados

- Para transferir dados para um Dispositivo de Bloco requer um procedimento antes chamado de montar o dispositivo, comando **mount**
- Com o comando mount o Dispositivo(**/dev/mmcblk0p2**) passa ser acessando como, por exemplo (**/mnt/rootfs**)

```
root@b2 # mkdir /mnt/rootfs
root@b2 # mount -t ext4    /dev/mmcblk0p2    /mnt/rootfs
```

- Após o ponto de montagem pode ser utilizada ferramentas como cp e mv para transferir arquivos para o Dispositivo
- Após seu uso, utilizar **umount** para desmontar o Dispositivo

Transferindo Dados

- Ao executar somente o comando mount, irá exibir todos pontos de montagem do sistema

```
root@b2 # mount
...
sysfs on /sys type sysfs (rw,nosuid,nodev,noexec,relatime)
proc on /proc type proc (rw,nosuid,nodev,noexec,relatime)
udev on /dev type devtmpfs (rw,nosuid,relatime,size=4016184k,mode=755)
tmpfs on /run type tmpfs (rw,nosuid,noexec,relatime,size=807844k,mode=755)
tmpfs on /run type tmpfs (rw,nosuid,relatime,size=262144k,mode=755)
/dev/sda1 on / type ext4 (rw,relatime,errors=remount-ro,data=ordered)
/dev/mmcblk0p2 on /mnt/rootfs type ext4 (rw,relatime, data=ordered)
/dev/mmcblk0p1 on /mnt/boot   type vfat (rw,relatime,errors=remount-ro)
...
```

Transferindo Dados

- Muitas vezes é necessário transferir dados de ou para um dispositivo de bloco de forma RAW
  - Especialmente para gravar uma imagem do sistema de arquivos(com partições) em um dispositivo de bloco
- Os dispositivos de bloco em **/dev/** permitem tal acesso bruto
- Uma das principais e mais conhecida ferramenta é o **dd** (***d**isk **d**uplicate*):

```
root@b2 # dd if=/dev/mmcblk0p1 of=test.raw bs=1M count=32
```

  - Copia os primeiros 32 blocos de 1 MB de /dev/mmcblk0p1 para o arquivo de test.raw

```
root@b2 # dd if=test.raw of=/dev/sda2 bs=1M seek=4
```

  - Copia o conteúdo completo do test.raw para /dev/sda2, por blocos de 1 MB, mas começando com deslocamento de 4MB em /dev/sda2

Transferindo Dados

- Exemplo com um arquivo de imagem:

```
$ fdisk -l raspios-buster-armhf-lite.img
Disk raspios-buster-armhf-lite.img: 1,8 GiB, 1874853888 bytes,Sector size
...

Dispositivo                    Inicializar  Start    Fim Setores  Size  ID  Tipo
raspios-buster-armhf-lite.img1 8192         532479   524288       256M  c   W95 FAT32 (LBA)
raspios-buster-armhf-lite.img2 532480       3661823  3129344      1,5G  83  Linux


$ sudo dd if=raspios-buster-armhf-lite.img of=/dev/mmcblk0 bs=1M
```

- bmap-tools é uma alternativa ao dd mais eficiente e com mais recursos

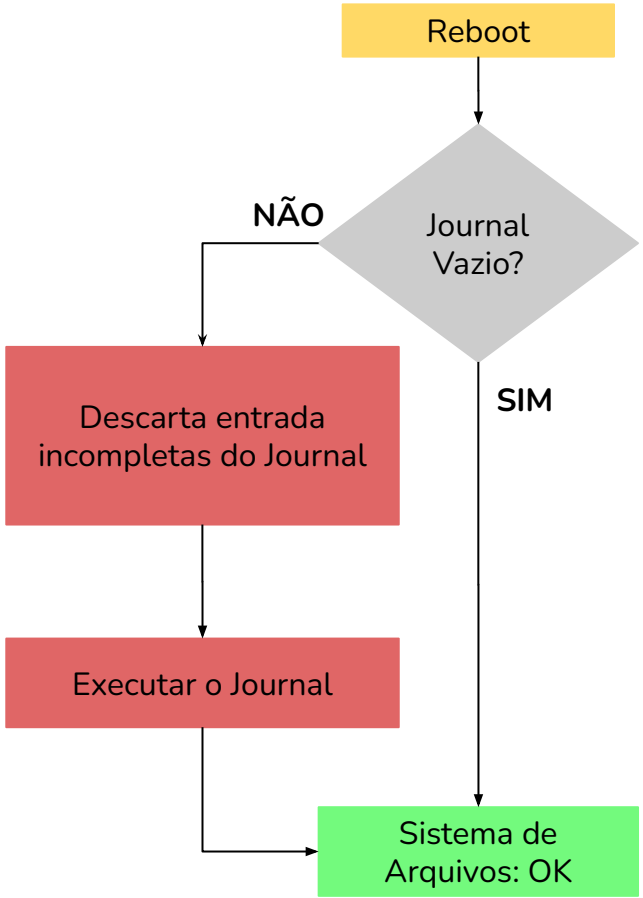
Sistemas de Arquivos

- O sistema de arquivos padrão usado em Sistemas Linux é:
  - ext2 (utilizado por mais de 10 anos, ainda em uso em Sistemas Embarcados)
  - ext3 (trouxe o journaling em comparação com o ext2, agora obsoleto com o ext4)
  - ext4(melhorias de desempenho e suporte para partições muito grandes)

- Suporta todos os recursos que o Linux precisa em um sistema de arquivos raiz: permissões, propriedade, arquivos de dispositivo, links simbólicos, etc.

Sistemas de Arquivos - Journaling

- Alguns Sistemas de Arquivos com suporte a journal:
  - ext3/ext4
  - btrfs
  - XFS
  - ReiserFS
  - ZFS



Sistemas de Arquivos com Compressão

- Há casos que um Sistema de Arquivos com compressão seja requisitado, por questão de espaço por exemplo:

  - SquashFS
  - EROFS
  - tmpFS

Sistemas de Arquivos com Compressão - SquashFS

- Sistema de Arquivos compactado somente leitura(read-only) para dispositivos de bloco. Bom para partes de um sistema de arquivos que podem ser somente leitura (kernel, binários ...)
- Ótima taxa de compressão, o que geralmente traz um melhor desempenho de leitura
- Suporta vários algoritmos de compressão (LZO, XZ, etc.)
- Benchmarks:
  - https://elinux.org/Squash_Fs_Comparisons
- Mais informações em SquashFS 4.0 FileSystem

Sistemas de Arquivos com Compressão - EROFS

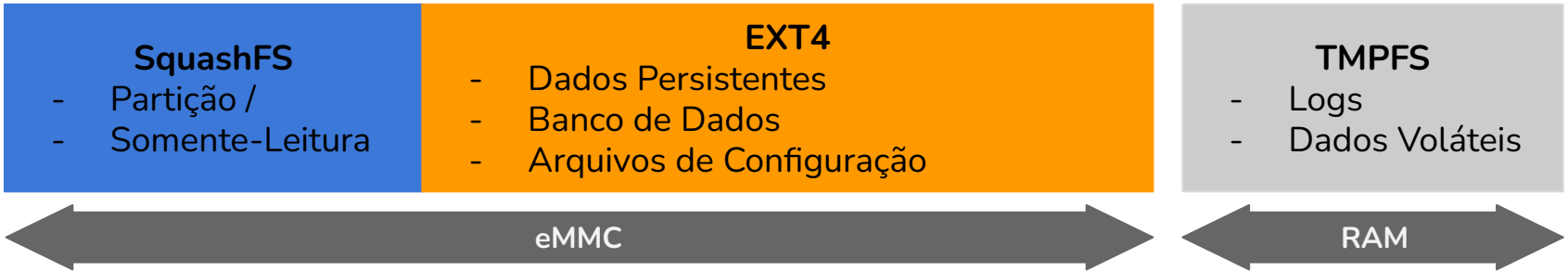
- Uma futura alternativa ao SquashFS
- Desenvolvido pela Huawei - **EROFS** (Enhanced Read-Only File System)
- Huawei introduziu em todos os seus produtos com Android[1]
- Introduzido no Kernel Linux 5.4
- Algoritmo de Compressão LZ4
- Tamanho Máximo de Arquivo Comprimido 4GB
- Mais informações em Enhanced Read-Only File System - EROFS

Sistemas de Arquivos com Compressão - TMPFS

- Não é um sistema de arquivos em bloco, é claro!
- Perfeito para armazenar dados temporários na RAM: arquivos de log do sistema, dados de conexão, arquivos temporários ...
- Mais eficiente em termos de espaço do que discos, os arquivos estão diretamente no cache de arquivos, aumenta e diminui dinamicamente
- Exemplos:
  - mount -t tmpfs run /var/run
  - mount -t tmpfs shm /dev/shm
- Mais informações em TmpFS

Sistemas de Arquivos - Exemplo em Projeto

- É aconselhável e boa prática e mistura de Sistemas de Arquivos



Memória Flash

- Flash NAND
  - SLC
  - MLC
- MTD
- UBI/UBIFS

Memória Flash NAND

- Permite acesso aleatório aos dados
- As células Flash NAND são categorizadas dependendo do número de bits que podem armazenar:
  - **SLC(Single Level Cell)** - Pode armazenar um bit por célula, mais rápido, tempo de vida maior, o mais caro de todos, cerca de 100 mil ciclos.
  - **MLC(Multi Layer Cell)** - Pode armazenar dois bits por célula, mais estável que TLC, menos durável e estável como que SLC, de 3 mil a 15 mil ciclos.
  - **TLC(Triple Layer Cell)** - Pode armazenar três bits por célula, custo de produção mais barato, processo de escrita mais lento, cerca de 500 a 1000 ciclos de gravação.

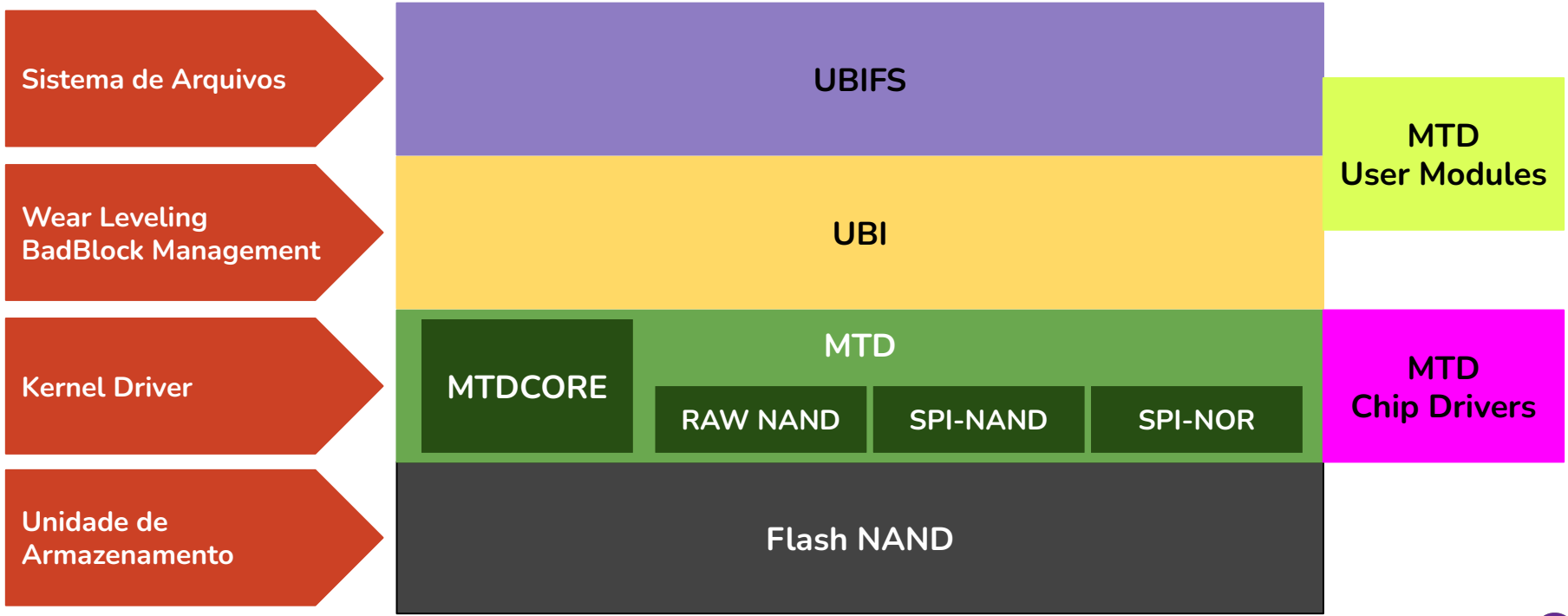
Memória Flash NAND

- Vida útil curta em comparação com outras formas de armazenamento
- A vida útil depende da tecnología Flash NAND (SLC, MLC): entre 1.000.000 e 1.000 ciclos de apagamento por bloco
- **Wear Leveling**(Mecanismos de nivelamento de desgaste) são necessários para apagar blocos uniformemente
- **Bad Block Management**(Detecção/Gerenciamento de blocos defeituosos)
- 1 Ciclo para leitura e 2 Ciclos para escrita(apagar e escrever)

Memória Flash NAND - Subsistema MTD

- MTD significa Dispositivos de Tecnologia de Memória
- Subsistema genérico no Linux lidando com todos os tipos de dispositivos de armazenamento que não se sejam de Subsistema de Bloco
- Tipos de dispositivos suportados: RAM, ROM, Flash NOR, Flash NAND
- Características da mídia de armazenamento abstrata e fornece uma API simples para acessar dispositivos MTD

Memória Flash NAND - Subsistema MTD



Memória Flash NAND - MTD User Modules

- O driver **mtdchar** cria um dispositivo de caractere para cada device/partição MTD do sistema
  - /dev/mtdX
  - /dev/mtdXro
  - Permite comando ioctl() para apagar e manipular a Flash
- O driver **mtdblock** implementa o módulo "block device" da flash.
  - Normalmente /dev/mtdblockXY
  - Permite acesso de leitura/gravação igual em disco, no entanto, não faz BadBlock Management e Wear Leveling
  - Para isso utiliza um Sistema de Arquivos que faça isso: JFFS2, YAFFS2 e UBIFS

Memória Flash NAND - JFFS2

- Suporta compressão em tempo real
- O Sistema de Arquivos Flash NAND mais antigo e ainda em uso
- Suporte Wear Leveling, ECC, o tempo de inicialização depende do tamanho do sistema de arquivos: não escalona para partições grandes porque precisa verificar todo o armazenamento no momento da inicialização. É necessário ativar **CONFIG_JFFS2_SUMMARY** para resolver este problema.
- Mais informações em JFFS2

Memória Flash NAND - YAFFS2

- Suporta principalmente flash NAND
- Sem compressão
- Suporte a Wear Leveling e resistente a falha de energia
- Tempo de inicialização rápido
- Não faz parte do kernel oficial do Linux
- Mais informações em YAFFS2

Memória Flash NAND - UBIFS

- UBI - Unsorted Block Images
- Destina-se a substituir JFFS2, com diversas melhorias
- Camadas de Wear Leveling e Sistemas de Arquivos separadas, Wear Leveling opera em todo armazenamento e não por partição
- Foco em escalabilidade, desempenho e confiabilidade
- Desvantagem: Introduz uma sobrecarga de espaço perceptível, especialmente quando usado em pequenos dispositivos ou partições, o JFFS2 ainda faz sentido em pequenas partições MTD.
- Os volumes podem ser redimensionados como dinâmico ou estático(ro)
- Mais informações em UBI

Memória Flash NAND - Dicas de uso

- Ao se trabalhar com memórias Flash também se deve levar em consideração a vida útil limitada dos dispositivos flash, tomando precauções adicionais:

  - Não use seu armazenamento flash como swap(swapfile)
  - Monte seus sistemas de arquivos como somente leitura(read-only) sempre que possível, ou utiliza um Sistema de Arquivos como SquashFS
  - Mantenha os arquivos voláteis na RAM (tmpfs)
  - Não use a opção **sync** no ponto de montagem (confirma as gravações imediatamente). Use a chamada de sistema **fsync()** para sincronização por arquivo

Laboratório

- Criando microSD da Instalação com TEZI
- Primeiro boot!

Desenvolvendo Aplicações em Linux Embarcado

Componentes Open-Source

- Linguagens Interpretadas
- WebServers
- Banco de Dados
- Bibliotecas Gráficas
- Bibliotecas Multimédia
- Utilitários para o Sistema

Escolhendo componentes Open-Source

- Procure por projetos ativo e com diversos colaboradores
- Se atente sobre a LICENÇA do projeto - **Atenção com *GPLv3**
- Analise os releases do projeto e periodicidade de atualizações
- Estude sobre a qualidade do projeto, plataformas suportadas, sistemas de construção, se possui Testes Unitários, etc

Linguagens Interpretadas

- Suporte das principais linguagens interpretadas:
  - Shell Script
  - Python
  - Perl
  - Ruby
  - PHP
  - Lua
- Além de Linguagens Compiladas e Modernas como:
  - C/C++
  - Java
  - Go
  - Rust

WebServers

- Alguns dos principais WebServers:
  - Busybox http
  - Apache2
  - Lighttpd
  - Hiawatha
  - Nginx (lowjs versão otimizada para Sistemas Embarcados)
  - Monkey
  - Cherokee
  - Nodejs
  - Python3 http.server
  - Python Flask

Banco de Dados

- Alguns dos principais Banco de Dados:
  - SQLite - O mais popular e indicado em Sistemas Embarcados
  - PostgreSQL
  - hsqldb
  - mariadb

Bibliotecas Gráficas

- Para a maioria das aplicações gráficas funcionarem é necessário um “Servidor Gráfico”, digamos que seriam Bibliotecas Gráficas mais baixo nível:

  - Xorg(Kdrive)

  - Wayland

Bibliotecas Gráficas

- Para a maioria das aplicações gráficas funcionarem é necessário um “Servidor Gráfico”, digamos que seriam Bibliotecas Gráficas mais baixo nível:

  - Xorg(Kdrive)
    - Versão simplificada do servidor X, para sistemas embarcados
    - Funciona em cima do Linux framebuffer, graças à variante Xfbdev
    - Permite usar qualquer aplicativo ou biblioteca X11 existente
    - Licença X11

Bibliotecas Gráficas - Wayland

- Para a maioria das aplicações gráficas funcionarem é necessário um "Servidor Gráfico", digamos que seriam Bibliotecas Gráficas mais baixo nível:

  - Wayland
    - Uma substituição mais simples para o X
    - Wayland é um protocolo para um compositor falar com seus clientes.
    - Weston: uma implementação de referência mínima e rápida de um compositor Wayland, e é adequado para muitos casos de Sistemas Embarcados

Bibliotecas Gráficas - Framework Qt

- Um dos mais famosos frameworks gráficos para Sistemas Embarcados
- Multiplataforma: Windows, Linux, Android, MacOS, entre outros
- Implementado em C++
- Binding Oficial de Python e de outras linguagens mantido pela comunidade
- **Qt Widgets**(Desktop Style) e **Qt QML** (QtQuick - Aceleração Grafica)
- QtCreator IDE Oficial
- Qt Platform Abstract
  - **XCB**
  - **Wayland**/Qt Wayland
  - **EGLFS** - Sem Servidor Gráfico e com suporte a aceleração gráfica
  - **LinuxFB** - Sem Servidor Gráfico e sem necessidade de GPU

Bibliotecas Gráficas - Framework Qt

- Licença Dual: Comercial e OpenSource

Bibliotecas Gráficas - TotalCross

- Startup brasileira
- Linguagem Java
- VM própria
- Plataforma: Xorg e Wayland
- Plugin para VsCode
- Licença LGPLv2.1
- https://totalcross.com/

Bibliotecas Gráficas - LVGL

- LVGL - Light and Versatile Graphics Library
- Baixo consumo de Memória, surgiu inicialmente para MCU
- Suporte TouchScreen e Mouse
- Plataforma: Xorg e FrameBuffer
- Mais de 30 controles para ser utilizados
- Linguagem C
- Licença MIT
- https://lvgl.io/

Bibliotecas Gráficas - FLTK

- FLTK - Fast Light Toolkit
- Multiplataforma Plataforma: Linux(Xorg), Windows e MacOS
- Linguagem C++
- Licença LGPLv2.1
- https://www.fltk.org/

Bibliotecas Gráficas - Flutter

- Google Flutter
- É o SDK do Google para criar experiências de usuário bonitas e rápidas para dispositivos móveis, web e desktop
- Suporte para Embarcados
  - https://github.com/sony/flutter-embedded-linux
- Linguagem **Dart**
- Licença BSD-3
- https://flutter.dev/

Flutter

Bibliotecas Gráficas - Kivy

- Framework Kivy
- Suporte X11 e Wayland, além de SDL2 e OpenGL
- Multiplataforma Windows, Linux, Android, MacOS
- Linguagem **Python**
- Licença MIT
- https://kivy.org/
- https://github.com/kivy/kivy

Bibliotecas Multimídia

- **Gstreamer** - Um framework para multimídia
  - Suporte encode/decode de diversos codecs
  - Diversas empresas adicional suporte de seus produtos com Gstreamer, ex: Câmeras

- **ALSA** - Principal biblioteca de manipulação de áudio do Linux, utiliza o subsistema ALSA do Kernel

- **Pulseaudio** - Um servidor de áudio com diversos plugins

- **libavcodec** - Projeto de FFMpeg para encode/decode de áudio e vídeo

Utilitários para o Sistema

❖ Rede

- ➢ openSSH - Acesso Remoto Seguro via Shell)
- ➢ dropbear - SSH mais leve
- ➢ dnsmasq - DNS e DHCP
- ➢ networkmanager - Gestão de Interfaces e Conexões
- ➢ iptables - Linux Firmware e Netfilter
- ➢ iw - Ferramenta para gerenciamento de Wireless
- ➢ vsftpd e proftpd - Servidores FTP
- ➢ openvpn - Solução para VPN segura
- ➢ net-tools - Ferramentas como arp, ifconfig, route, hostname, netstat, etc

Utilitários para o Sistema

❖ Sistema

- ➢ gpsd - Serviço para processar dados de GPS e entregar em JSON
- ➢ dbus - IPC utilizado pelo Linux e diversas aplicações como systemd
- ➢ libusb - Biblioteca completa para acessar diversas informações de dispositivos USB via userspace
- ➢ libsoc - Biblioteca que abstrai o acesso e uso de GPIO, I2C, SPI e PWM em C e Python*
- ➢ i2c-tools - Manipulação de I2C via userspace
- ➢ can-utils - Ferramentas para configuração e enviar/receber dados da rede CAN(depende de SocketCAN)
- ➢ libgpiod - Novo suporte para manipular GPIO mais eficiente, kernel >= 5.4
- ➢ bluez5 - Pilha completa para manipulação de dispositivos Bluetooth e Protocolos
- ➢ **Busybox** - O canivete suiço de ferramentas para Sistemas Embarcados

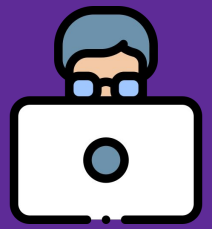
Navegadores

- **WebKit** - Web Browser Engine, Licença LGPL e BSD
- **Qt WebEngine** - Web Browser baseado em Chromium, Licença LGPLv3/GPlv3
- **COG** - Web Browser de baixo consumo e poucos recursos, baseado em WebKit, ideal para Sistemas Embarcados, Licença MIT
- **Surf** - Web Browser baseado em WebKit2 e GTK, Licença MIT

Laboratório

Prática 02

- Configurando um DHCP Server com Busybox udhcpd



Building System

BuildSystem

- O processo de baixar, configurar, compilar e instalar manualmente pode ser incitar a erros
- Ao compilar um software com dependências, as mesmas devem ser configuradas, compiladas antes
- Algumas ferramentas surgiram para facilitar e automatizar estas tarefas
- No entanto, há uma curva de aprendizado para cada ferramenta de build

BuildSystem

- ## Make
  - Irá ler e processar o clássico Makefile: **make**

- ## Autotools
  - Um sistema mais completo, o famoso: **./configure; make; make install**

- ## CMake
  - Pode-se dizer o sucessor de autotools, uma versão melhorada, utilizada amplamente por diversos projetos open-source: **mkdir build; cd build; cmake ../ ; make**

Laboratório

Prática 03

- Compilando Dropbear e instalando no Target

Laboratório

Prática 06 - Device-Tree

- Analisando a estrutura via Linux
- Analisando Periféricos
- Modificando Periféricos
- Compilando Novo Device-Tree

Ferramentas para BuildSystem:

Buildroot
Yocto Project

Building System

- Construir um Sistema Linux Embarcado do Zero (Linux-From-Scratch) não é uma tarefa fácil
- Deverá preparar as ferramentas necessárias para compilação-cruzada(toolchain)
- Baixar os componentes básicos para o Sistema: Bootloader, Kernel e BusyBox
- Montar o RootFS manualmente
- Criar uma imagem (.img) com todas estes componentes

Building System

- Cada novo software, nova compilação e copiar para o RootFS
- Realizar configuração e compilação de diversos Buildsystems: Autotools, Makefile, CMake, Scons, QMake, etc
- Compilar as dependências de cada programa
- Uma mudança de configuração no Toolchain ou LibC, trabalho de refazer tudo novamente!

Building System

- Ferramentas foram criadas para resolver estes problemas
- Image uma ferramenta que baixe e instale o toolchain, Bootloader, Kernel, configura e compila para a placa alvo, cria o RootFS e gera a imagem para ser gravada na placa alvo
- Estas ferramentas existem e são open-source!
- Ferramenta que irá economizar dias de trabalho

Ferramentas de BuildSystem Linux

- Buildroot
  - Desenvolvido pela comunidade
  - Suporta Toolchain Externo e Interno
  - Praticamente configuração utilizando arquivos .mk
  - Mais simples de usar
- Yocto Project
  - Desenvolvido pela comunidade e colaboração de grandes empresas
  - Configuração baseada em receitas (.bb)
  - Construção baseada na ferramenta bitbake
  - Curva de aprendizagem maior
  - Ideal para projetos grandes
  - Principal ferramenta de buildsystem Linux adotada pela Indústria

Ferramentas de BuildSystem Linux - Yocto Project

- A ferramenta adotada neste treinamento é o Yocto Project
- Poucas dependências, mas é recomendado utilizar Host Linux
- Com poucas linhas de configuração pode-se gerar uma imagem bootavel
- Suporta geração de diferentes SDK’s
- Suporte a gerenciamento de pacotes

BuildSystem Yocto Project

Sobre o Yocto Project

O Yocto Project surgiu em meados de 2010 na iniciativa de diversos fabricantes de hardware, com intuito de reduzir a duplicidade de trabalho entre hardwares.

É uma solução open-source com diversas ferramentas, templates e rotinas para ajudar o desenvolvedor a criar sua própria Distribuição Linux Customizada, sendo suporte na geração da imagem, na geração de SDK e Toolchain e ferramentas de investigação ao Sistema gerado.

O Yocto Project é o resultado de um outro projeto conhecido como OpenEmbedded Project, tanto que, o Yocto Project seus principais componentes é base do OpenEmbedded-Core.

Hoje o projeto é gerenciado pela The Linux Foundation.

Sobre o Yocto Project

Um buildsystem como Yocto Project possui todos recursos necessários para gerar um ambiente **HOST** para o desenvolvedor e preparar o **TARGET** de acordo com suas necessidades e escopo do projeto.

O Yocto Project não é uma Distribuição Linux, mas possui todos recursos necessários para criar uma para você!

Projetos dentro do Yocto Project

Lista de projetos e ferramentas que contemplam e fornecem os devidos poderes ao Buildsystem Yocto Project.

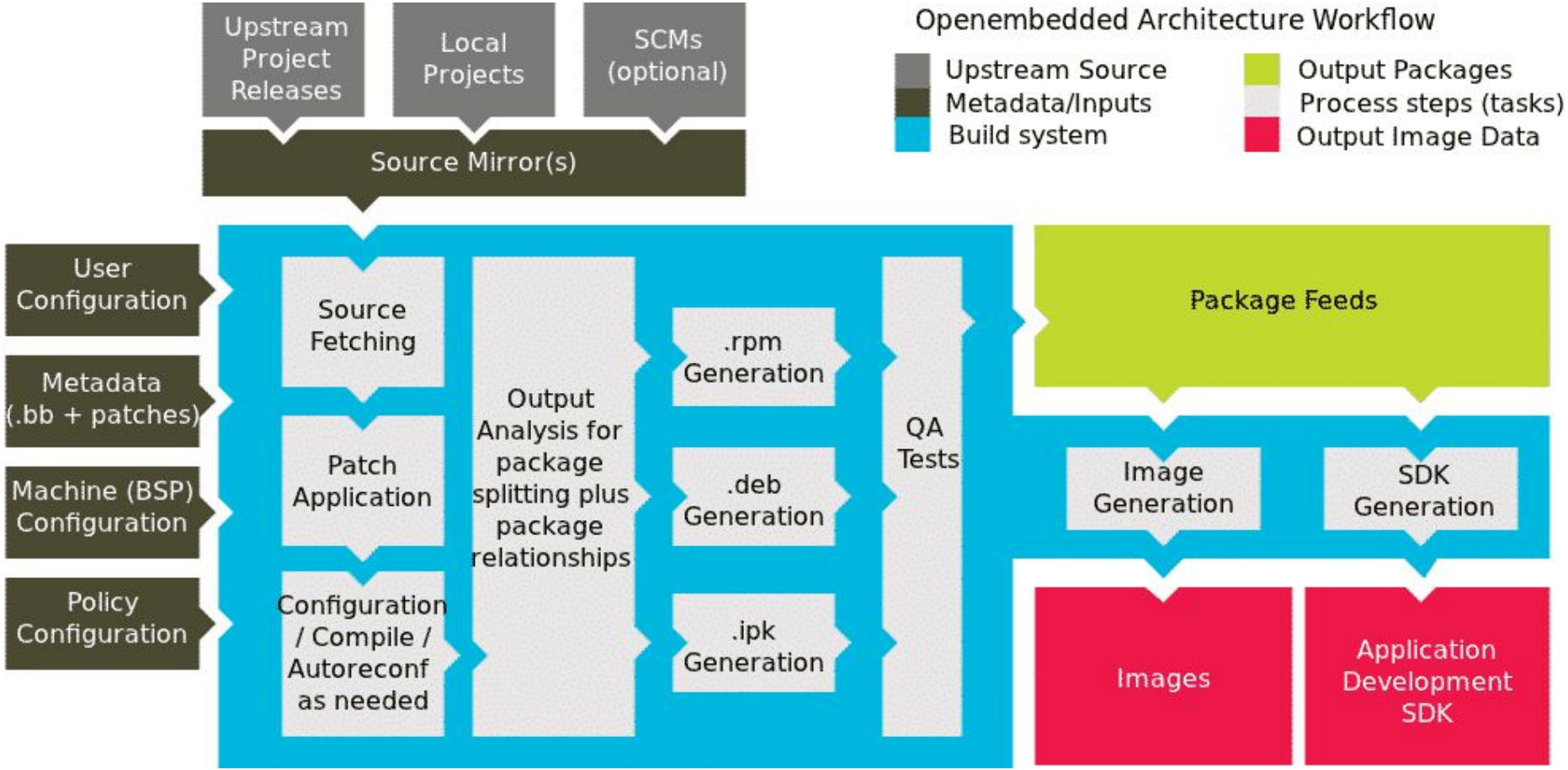
Yocto Project/OpenEmbedded

- **Metadados** - O Bitbake processa metadados, estes são divididos em:

  - **Configuração** (.conf) - Configurações globais que deve fornecer informações para as Classes e Receitas, como informações do Hardware e Recursos.

  - **Classes** (.bbclass) - Classes são herdadas por todo sistema e aplicam uma específica tarefa para todas receitas que o herdarem, evitando duplicidade de codigo/tarefas.

  - **Receitas** (.bb e .bbappend) - Receita irá descrever uma aplicação com rotinas de como e de onde baixar a aplicação, descompactar, configurar, compilar, “testar”, empacotar e instalar na imagem, pode ser feito com mistura de rotinas em ShellScript e Python.


Openembedded Architecture Workflow
Upstream Source
Metadata/Inputs
Build system
Output Packages
Process steps (tasks)
Output Image Data
Upstream Project Releases
Local Projects
SCMs (optional)
Source Mirror(s)
User Configuration
Metadata (.bb + patches)
Machine (BSP) Configuration
Policy Configuration
Source Fetching
Patch Application
Configuration / Compile / Autoreconf as needed
Output Analysis for package splitting plus package relationships
.rpm Generation
.deb Generation
.ipk Generation
QA Tests
Package Feeds
Image Generation
SDK Generation
Images
Application Development SDK

Yocto Project

Obtendo o código-fonte e os primeiros passos

Yocto Project - Releases

CODINOME	YP Version	Release Date	Estado Atual	Bitbake Version
Scarthgap	5.0	04/2024	LTS	2.8
Nanbield	4.3	11/2023	até 05/2024	2.6
Kirkstone	4.0	05/2022	LTS	2.0
Dunfell	3.1	04/2020	LTS	1.46

Referência: https://wiki.yoctoproject.org/wiki/Releases

Obtendo o Projeto

```
$ mkdir ~/yp
$ cd ~/yp
~/yp $ git clone -b kirkstone git://git.yoctoproject.org/poky.git
Cloning into 'poky'...
remote: Enumerating objects: 625992, done.
remote: Counting objects: 100% (10556/10556), done.
remote: Compressing objects: 100% (4495/4495), done.
remote: Total 625992 (delta 8047), reused 7536 (delta 5985), pack-reused 615436
Receiving objects: 100% (625992/625992), 200.36 MiB | 356.00 KiB/s, done.
Resolving deltas: 100% (455382/455382), done.
~/yp $
```

Obtendo o Projeto

```
~/yp $ cd poky
~/yp/poky $ git branch
  * kirkstone
~/yp/poky $
~/yp/poky $ ls
bitbake                 Makefile            oe-init-build-env       SECURITY.md
contrib                 MEMORIAM            README.hardware.md
documentation           meta                README.md
LICENSE                 meta-poky           README.OE-Core.md
LICENSE.GPL-2.0-only    meta-selftest       README.poky.md
LICENSE.MIT             meta-skeleton       README.qemu.md
MAINTAINERS.md          meta-yocto-bsp      scripts
~/yp/poky $
```

Criando um Projeto com Yocto Project

Para iniciar um projeto no Yocto Project e preparar o ambiente, deve-se utilizar o scripts **oe-init-build-env.**

Exemplo:

source **oe-init-build-env** <nome-diretorio-build>

A primeira vez que executar, irá carregar diversas informações e dicas das primeiras images a utilizar, nas demais vezes irá aparecer uma tela resumida.

Primeiro Projeto

```
~/yp/poky $ source oe-init-build-env build

### Shell environment set up for builds. ###

You can now run 'bitbake <target>'

Common targets are:
        core-image-minimal
        core-image-sato
        meta-toolchain
        meta-ide-support

You can also run generated qemu images with a command like 'runqemu qemux86'

Other commonly useful commands are:
 - 'devtool' and 'recipetool' handle common recipe tasks
 - 'bitbake-layers' handles common layer tasks
 - 'oe-pkgdata-util' handles common target package tasks
```

Primeiro Projeto

Após preparar o ambiente pela primeira vez, a seguinte estrutura será criada:

```
~/yp/poky/build $ tree
.
└── conf
    ├── bblayers.conf
    ├── local.conf
    └── templateconf.cfg
```

- **local.conf** - Arquivo onde pode-se configurar o hardware alvo, configurar Distribuição, Hardware, Tipo de Empacotamento e até programas a serem instalados - em um projeto real deverá possuir poucas alterações, pois uma camada deverá ser criada para toda customização.

- **bblayers.conf** - Arquivo onde serão adicionadas as camadas para extender suporte e recursos, por padrão, já inclui **meta**, **meta-poky** e **meta-yocto-bsp** - Um breve exemplo, para adicionar suporte ao **Framework Qt5**, deverá ser adicionada a camada **meta-qt5**.

- **templateconf.cfg** - Arquivo que aponta para meta-poky/conf para exibir conf-notes ao criar ou herdar ambiente

Bitbake

Todo trabalho de gerar imagem, toolchain, e processar receitas é realizado pelo **bitbake**.

```
~/yp/poky/build $ bitbake core-image-minimal
```

```
~/yp/poky/build $ bitbake picocom
```

Laboratório

Prática 10

- Obtendo o Yocto Project, clonando as camadas, criando um projeto e gerando uma imagem
- Comando para gerar o Toolchain

Laboratório

Prática 04

- Compilar aplicações direto no TARGET - USB

Laboratório

Prática 05

- Manipulando GPIO
- Manipulando PWM
- I2C
- EEPROM

Laboratório

Prática 07

- Servidor Web

Licenças

Licenças OpenSource

- Todo software que está sob uma licença de software livre concede quatro liberdades a todos os usuários
  - Liberdade de uso
  - Liberdade para estudar
  - Liberdade para copiar
  - Liberdade para modificar e distribuir cópias modificadas
- Consulte https://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html
- O software de código aberto, de acordo com a definição da Iniciativa de código aberto, é tecnicamente semelhante ao Software Livre em termos de liberdades
  - https://www.opensource.org/docs/osd para obter a definição de Open SourceSoftware

Licenças OpenSource

- As licenças de software livre se enquadram em duas categorias principais
  - As licenças copyleft
  - As licenças não copyleft
- O conceito de copyleft é pedir reciprocidade nas liberdades concedidas ao usuário. O resultado é que quando você recebe um software sob uma licença de software copyleft free e distribuir versões modificadas dele, você deve fazê-lo sob a mesma licença
  - Mesmas liberdades para os novos usuários
  - É um incentivo para contribuir de volta com suas mudanças, em vez de mantê-las em segredo
- As licenças não copyleft não têm tais requisitos e as versões modificadas podem ser proprietárias, mas ainda requerem atribuição

Licenças OpenSource

- Algumas licenças CopyLeft
  - GPLv2/GPLv3 - General Public License, programas vinculados a uma biblioteca lançada sob a GPL também devem ser lançados sob a GPL, cuidado com GPLv3 em Sistemas Embarcados
  - LGPLv2/LGPLv3 - Lesser General Public License - Requisito linkagem dinamica
- Algumas licenças Non-CopyLeft
  - Apache License
  - BSD License
  - MIT License
  - X11 License

IDE de Desenvolvimento e Depuração

IDE de Desenvolvimento

- VisualCode
  - Telemetry: O Visual Studio Code coleta dados de uso e os envia para a Microsoft. A Declaração de Privacidade da Microsoft refere-se a todos os produtos da Microsoft e não revela detalhes sobre essa coleta de dados.
  - Mas pode ser desabilitado nas configurações do usuário
- VsCodium
  - Uma compilação de código aberto 100% do Visual Studio Code, com a telemetria desativada
- Eclipse
- Atom

Depuração com GDB

- GDB - GNU Project Debugger, veja mais https://www.gnu.org/software/gdb/
- O GDB está disponível para a maioria das arquiteturas embarcadas
- Linguagens suportadas: C, C ++, Pascal, Objective-C, Fortran, Ada ...
- Interface do console (útil para depuração remota)
- Também pode ser usado por meio de IDEs gráficos

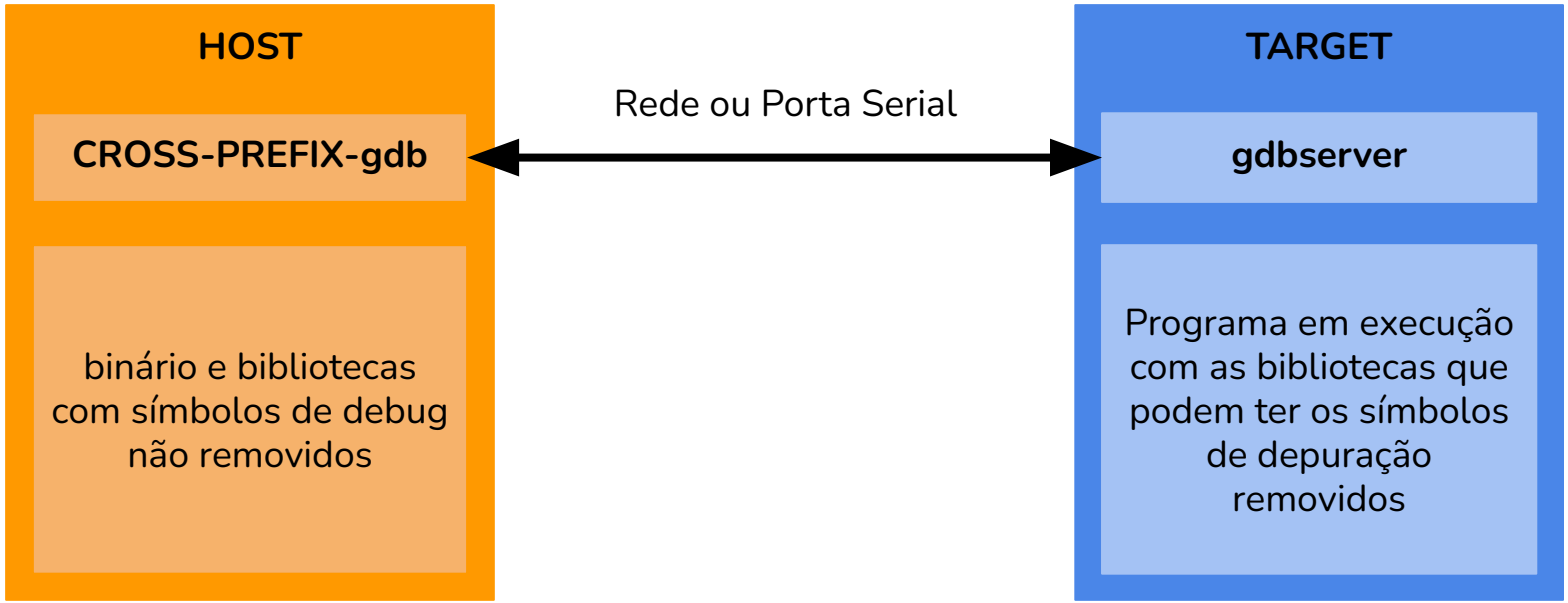
Depuração com GDB

- Pode ser usado para controlar a execução de um programa, definir pontos de interrupção ou alterar variáveis internas. Você também pode usá-lo para ver o que um programa estava fazendo quando travou (carregando sua imagem de memória, despejada em um arquivo central)

- GDBGui - Versão Gráfica desenvolvida em Python, repositório gdbgui

- Nova alternativa: lldb (https://lldb.llvm.org/) do projeto LLVM

Depuração com GDB - Debug Remoto



Depuração com GDB

- Opções de uso com GDB no TARGET
  - Serial

```
# gdbserver /dev/ttyS0 <programa> <parametros>
```

  - Rede

```
# gdbserver 0.0.0.0:<porta> <programa> <parametros>
```

  - Lançando em um processo em execução

```
# gdbserver --attach 0.0.0.0:<porta> <pid_programa>
```

Depuração com GDB

- Opções de uso com GDB no HOST
  - Serial

```
$ arm-unknown-linux-uclibcgnueabi-gdb
gdb> target remote /dev/ttyS0
```

  - Rede

```
$ arm-unknown-linux-uclibcgnueabi-gdb
(gdb) target remote <ip-addr>:<port>
```

Depuração com GDB

- Executando gdbserver no TARGET

```
# gdbserver 0.0.0.0:<porta> <programa> <parametros>
Process <programa> created; pid = 251
Listening on port <porta>
Remote debugging from host 192.168.254.153, port 56156
```

- Executando gdbserver no HOST

```
# arm-unknown-linux-uclibcgnueabi-gdb
(gdb) target remote 192.168.254.159:6677
Remote debugging using 192.168.254.159:6677
(gdb)
```

Outras ferramentas

- **valgrind** - Ferramenta para detectar BUGS de implementação com alocação de memória e **Helgrind** para erros e bugs com Threads

- **strace** - System Call Tracer, permite ver o que qualquer um de seus processos está fazendo: acessando arquivos, alocando memória, etc

- **ltrace** - Library Trace, uma ferramenta para rastrear chamadas de biblioteca usadas por um programa e todos os sinais que ele recebe

Laboratório

Prática 08

- Depurando Aplicações com GDB

Cleiton Bueno - cleiton.bueno@b2open.com