

---

# **phyCORE-i.MX 8M Plus BSP Manual**

## **PD24.1.0 NXP**

**PHYTEC Messtechnik GmbH**

**2025 年 10 月 02 日**



<b>1</b>	<b>支持的硬件</b>	<b>3</b>
1.1	phyBOARD-Pollux 器件 . . . . .	3
<b>2</b>	<b>开始使用</b>	<b>5</b>
2.1	下载镜像 . . . . .	5
2.2	将镜像写入 SD 卡 . . . . .	6
2.3	首次启动 . . . . .	8
<b>3</b>	<b>编译 BSP</b>	<b>9</b>
3.1	基本设置 . . . . .	9
3.2	下载 BSP . . . . .	9
<b>4</b>	<b>安装操作系统</b>	<b>13</b>
4.1	启动模式开关 (S3) . . . . .	13
4.2	Flash eMMC . . . . .	14
4.3	烧写 SPI NOR Flash . . . . .	20
4.4	RAUC . . . . .	22
4.5	EFI 启动 . . . . .	22
<b>5</b>	<b>开发</b>	<b>25</b>
5.1	独立编译准备 . . . . .	25
5.2	单独编译 U-Boot . . . . .	27
5.3	单独编译内核 . . . . .	29
5.4	Working with UUU . . . . .	30
5.5	主机网络准备 . . . . .	32
5.6	从网络启动内核 . . . . .	34
5.7	获取 BSP 开发中版本 . . . . .	35
5.8	获取最新的 Upstream 支持 . . . . .	36
5.9	Format SD card . . . . .	36
5.10	切换旧启动模式 . . . . .	42
<b>6</b>	<b>设备树 (DT)</b>	<b>45</b>
6.1	介绍 . . . . .	45
6.2	PHYTEC i.MX 8M Plus BSP 设备树概念 . . . . .	45
<b>7</b>	<b>访问外设</b>	<b>49</b>
7.1	i.MX 8M Plus 引脚复用 . . . . .	49

7.2	RS232/RS485 . . . . .	50
7.3	Ethernet . . . . .	53
7.4	WLAN/Bluetooth . . . . .	55
7.5	SD card . . . . .	57
7.6	eMMC Devices . . . . .	58
7.7	SPI 主设备 . . . . .	64
7.8	GPIOs . . . . .	66
7.9	LED 灯 . . . . .	68
7.10	I <sup>2</sup> C 总线 . . . . .	68
7.11	EEPROM . . . . .	68
7.12	RTC . . . . .	70
7.13	USB 主控制器 . . . . .	72
7.14	CAN FD . . . . .	72
7.15	PCIe . . . . .	73
7.16	音频 . . . . .	75
7.17	视频 . . . . .	77
7.18	显示 . . . . .	77
7.19	电源管理 . . . . .	80
7.20	热管理 . . . . .	82
7.21	看门狗 . . . . .	83
7.22	snvs 电源按键 . . . . .	83
7.23	NPU . . . . .	84
7.24	ISP . . . . .	84
7.25	片上一次性可编程控制器 (OCOTP_CTRL) - eFuse . . . . .	84
<b>8</b>	<b>i.MX 8M Plus M7 Core</b>	<b>85</b>
8.1	获取固件示例 . . . . .	85
8.2	运行 M7 Core 示例 . . . . .	86

PD24.1.0 NXP i.MX 8M Plus BSP 手册	
文档标题	PD24.1.0 NXP i.MX 8M Plus BSP 手册
文档类型	BSP 手册
型号	PD24.1.0 NXP
Yocto 手册	Scarthgap
发布日期	2024/11/08
母文档	PD24.1.0 NXP i.MX 8M Plus BSP 手册

下表显示了与本手册兼容的 BSP：

适用 BSP	BSP 发布类型	BSP 发布日期	BSP 状态
BSP-Yocto-NXP-i.MX8MP-PD24.1.0	大版本	2024/11/06	已发布

本手册指导您完成 BSP 包的安装、编译和烧写，并描述如何使用 **phyCORE-i.MX8M Plus Kit** 的硬件接口。本手册还包括如何从源码编译内核、u-boot 镜像。本手册包含需要在 PC(Linux 操作系统) 上执行的指令。

#### 备注

本文档包含指令示例，描述如何在串口终端上与核心板进行交互。指令示例以 “host:~\$”、“target:~\$” 或 “u-boot=>” 开头，开头的这些关键字描述了指令执行的软件环境。如果需要复制这些指令，请仅复制这些关键字之后的内容。

PHYTEC provides a variety of hardware and software documentation for all of its products. This includes any or all of the following:

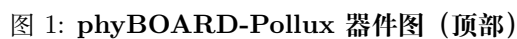
- **QS Guide:** A short guide on how to set up and boot a phyCORE based board.
- **Hardware Manual:** A detailed description of the System-on-Module and accompanying carrierboard.
- **Yocto 指南:** phyCORE 使用的 Yocto 版本的综合指南。本指南包含: Yocto 概述; PHYTEC BSP 介绍、编译和定制化修改; 如何使用 Poky 和 Bitbake 等编译框架。
- **BSP 手册:** phyCORE 的 BSP 版本专用手册。可在此处找到如何编译 BSP、启动、更新软件、设备树和外设等信息。
- **开发环境指南:** 本指南介绍了如何使用 PHYTEC 虚拟机来搭建多样的开发环境。VM 中包含了 Eclipse 和 Qt Creator 的详细上手指导，还说明了如何将所编译出的 demo 程序放到 phyCORE 核心板上运行。本指南同时也介绍了如何在本地 Linux ubuntu 上搭建完整的开发环境。
- **引脚复用表:** phyCORE 核心板附带一个引脚复用表 (Excel 格式)。此表将显示从处理器到底板的信号连接以及默认的设备树复用选项。这为开发人员进行引脚复用和设计提供了必要的信息。

除了这些标准手册和指南之外，PHYTEC 还将提供产品变更通知、应用说明和技术说明。这些文档将根据具体案例进行针对性提供。大部分文档都可以在我们产品的 <https://www.phytec.de/produkte/system-on-modules/phycore-imx-8m-plus/#downloads> 中找到。



如果您在“Supported Machines”一栏选择了特定的 **Machine Name**，您可以查看该 machine 下可用的 **Article Numbers** 以及硬件信息的简短描述。如果您只有硬件的 **Article Numbers**，您可以将 **Machine Name** 下拉菜单留空，仅选择您的 **Article Numbers**。现在，它应该会显示您特定硬件所需的 **Machine Name**

## 1.1 phyBOARD-Pollux 器件



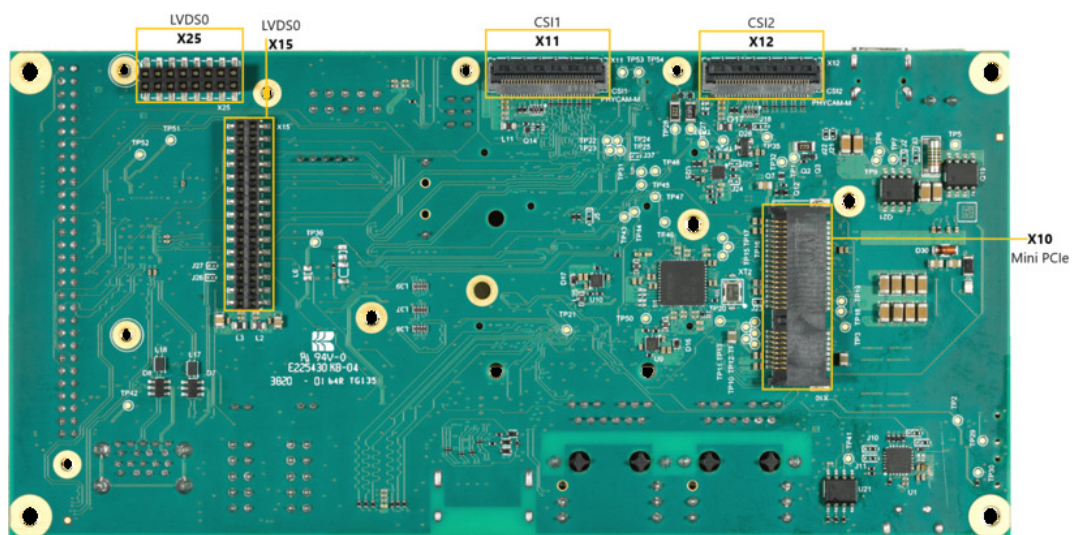


图 2: phyBOARD-Pollux 器件图 (底部)



---

## 开始使用

---

The **phyCORE-i.MX8M Plus Kit** is shipped with a pre-flashed SD card. It contains the phytec-qt6demo-image and can be used directly as a boot source. The eMMC is programmed with only a U-Boot by default. You can get all sources from the [PHYTEC download server](#). This chapter explains how to flash a BSP image to SD card and how to start the board.

There are several ways to flash an image to SD card or even eMMC. Most notably using simple, sequential writing with the Linux command line tool `dd`. An alternative way is to use PHYTEC's system initialization program called `partup`, which makes it especially easy to format more complex systems. You can get [prebuilt Linux binaries of partup](#) from its release page. Also read `partup's README` for installation instructions.

### 2.1 下载镜像

phytec-qt6demo-image 镜像包含完整系统所需的所有必要文件，您需确保镜像中各个分区以及裸数据都会被正确写入启动盘。可以从 [PHYTEC 下载服务器](#) 下载 `partup` 镜像文件或者是可以使用 `dd` 进行烧写的 WIC 镜像。

从下载服务器获取 `partup` 镜像文件或 WIC 镜像：

```
host:~$ wget https://download.phytec.de/Software/Linux/BSP-Yocto-i.MX8MP/BSP-Yocto-NXP-i.MX8MP-PD24.1.0/
↳ images/ampliphy-vendor-xwayland/phyboard-pollux-imx8mp-3/phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.
↳ rootfs.partup
host:~$ wget https://download.phytec.de/Software/Linux/BSP-Yocto-i.MX8MP/BSP-Yocto-NXP-i.MX8MP-PD24.1.0/
↳ images/ampliphy-vendor-xwayland/phyboard-pollux-imx8mp-3/phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.
↳ rootfs.wic.xz
```

#### 备注

For eMMC, more complex partitioning schemes or even just large images, we recommend using the `partup` package, as it is faster in writing than `dd` and allows for a more flexible configuration of the target flash device.

## 2.2 将镜像写入 SD 卡

### 警告

要创建 SD 卡启动盘，必须要拥有 Linux PC 上的 root 权限。在选择烧写设备时请务必小心！所选设备上的所有文件将在命令执行后立即被擦除，而且擦除前不会有任何进一步的确认！

选择错误的设备可能会导致 **数据丢失**，例如，可能会擦除您当前所在 PC 上的系统！

### 2.2.1 寻找正确的设备

要创建 SD 卡启动盘，首先要找到 PC 上您 SD 卡对应的正确设备名称。在开始将镜像复制到 SD 卡之前，请卸载任何已挂载的分区。

1. 为了获取正确的设备名称，请移除您的 SD 卡并执行：

```
host:~$ lsblk
```

2. 现在插入你的 SD 卡，然后再次执行命令：

```
host:~$ lsblk
```

3. 比较两个输出，以获取第二个输出中的新设备名称。这些是 SD 卡的设备名称（如果 SD 卡已格式化，则包括设备名称和对应的分区）。
4. 为了验证找到的设备名称的最终正确性，请执行命令 `sudo dmesg`。在其输出的最后几行中，您应该也能找到设备名称，例如 `/dev/sde` 或 `/dev/mmcblk0`（具体取决于您的系统）。

或者，您可以使用图形化的程序，例如 [GNOME Disks](#) 或 [KDE Partition Manager](#) 来找到正确的设备。

现在您已经得到了正确的设备名称，例如 `/dev/sde`，如果 SD 卡曾格式化过，需要确认已取消其分区的挂载，您可以在输出中看到带有附加了数字的设备名称（例如 `/dev/sde1`），它们是 SD 卡的分区。一些 Linux 发行版系统在设备插入时会自动挂载分区。在写入之前，必须卸载这些分区，以避免数据损坏。

卸载所有这些分区，例如：

```
host:~$ sudo umount /dev/sde1
host:~$ sudo umount /dev/sde2
```

Now, the SD card is ready to be flashed with an image, using either `partup`, `dd` or `bmptool`.

### 2.2.2 Using `bmptool`

One way to prepare an SD card is using `bmptool`. Yocto automatically creates a block map file (`<IMAGENAME>-<MACHINE>.wic.bmap`) for the WIC image that describes the image content and includes checksums for data integrity. `bmptool` is packaged by various Linux distributions. For Debian-based systems install it by issuing:

```
host:~$ sudo apt install bmap-tools
```

通过以下命令将 WIC 镜像烧写到 SD 卡：

```
host:~$ bmptool copy phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3?(.rootfs).wic?(.xz) /dev/<your_device>
```

将 `<your_device>` 替换为您之前找到的 SD 卡设备名称，并确保将文件 `<IMAGENAME>-<MACHINE>.wic.bmap` 与 WIC 镜像文件放在一起，以便 `bmptool` 知道哪些块需要写入，哪些块需要跳过。

**警告**

*bmaptool* 仅擦写 SD 卡上镜像数据所在的区域。这意味着在写入新的镜像后，之前写入的旧 U-Boot 环境变量可能仍然可用。

### 2.2.3 使用 partup

使用 partup 烧写 SD 卡只需一个命令：

```
host:~$ sudo partup install phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3?(.rootfs).partup /dev/<your_
↳device>
```

确保将 <your\_device> 替换为您之前找到的设备名称。

关于 partup 的进一步使用说明，请参阅其 [官方文档](#)。

**警告**

使用 *resize2fs* 版本 1.46.6 及更早版本的 PC 系统（例如 Ubuntu 22.04）无法烧写在 Mickledore 以及更新的 yocto 版本上创建的 partup 软件包。这个是因为 *resize2fs* 新增了默认选项而导致的兼容性问题。有关详细信息，请参阅 [release notes](#)。

**备注**

*partup* 具有清除 eMMC user 区域中特定区域的功能，我们提供的 partup 程序中用该功能擦除 U-Boot 环境变量。这是 *bmaptool* 工具所无法完成的一点，如前一部分所提到的。

partup 相较于其他烧写工具的一个主要优势是，它可以配置 MMC 的特定部分，比如他可以直接写入 eMMCboot 分区，无需调用其他命令。

### 2.2.4 使用 dd

在卸载所有 SD 卡的挂载分区后，您可以烧写 SD 卡。

一些 PHYTEC BSP 会生成未压缩的镜像（文件名扩展名为 \*.wic），而另一些则生成压缩的镜像（文件名扩展名为 \*.wic.xz）。

要写入未压缩的镜像 (\*.wic)，请使用以下命令：

```
host:~$ sudo dd if=phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3?(.rootfs).wic of=/dev/<your_device> bs=1M
↳conv=fsync status=progress
```

或者要写入压缩后的镜像 (\*.wic.xz)，请使用以下命令：

```
host:~$ xzcat phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3?(.rootfs).wic.xz | sudo dd of=/dev/<your_device>
↳ bs=1M conv=fsync status=progress
```

再次确保将 <your\_device> 替换为之前找到的设备名称。

参数 *conv=fsync* 强制在 *dd* 返回之前对设备进行 sync 操作。这确保所有数据块都已写入 SD 卡，而没有任何数据缓存在内存中。参数 *status=progress* 将打印出进度信息。

## 2.3 首次启动

- 要从 SD 卡启动，*bootmode switch (S3)* 需要设置为以下位置：



- 插入 SD 卡
- Connect the target and the host with **micro USB** on (X1) debug USB
- 给开发板通电

本节将指导您使用 Yocto 和 phyLinux 脚本进行 i.MX 8M Plus BSP 的编译。更多有关 phytec meta-layer 和 Yocto 的信息，请访问：Yocto Reference Manual (scarthgap)。

## 3.1 基本设置

如果您从未在您的主机上使用 Yocto 编译过 Phytec BSP，您应查看 Yocto Reference Manual (scarthgap) 中的 BSP Workspace 安装一节。

## 3.2 下载 BSP

获取 BSP 有两种方式。您可以从我们的下载页面下载完整的 BSP 镜像：[BSP-Yocto-IMX8MP](#)；您也可以使用 Yocto 下载 BSP 工程并编译。如果您想要对 BSP 进行修改，建议使用第二种方式。

The phyLinux script is a basic management tool for PHYTEC Yocto BSP releases written in Python. It is mainly a helper to get started with the BSP sources structure.

- 创建一个新的项目文件夹，获取 phyLinux 脚本，并赋予脚本具备可执行权限：

```
host:~$ mkdir ~/yocto
host:~$ cd yocto/
host:~/yocto$ wget https://download.phytec.de/Software/Linux/Yocto/Tools/phyLinux
host:~/yocto$ chmod +x phyLinux
```

### 警告

我们需要一个空的项目文件夹，phyLinux 首先会清理当前所在的工作目录。从一个不为空的目录下调用 phyLinux 将会产生告警。

- 运行 phyLinux：

```
host:~/yocto$ ./phyLinux init
```

#### 备注

在首次初始化时，phyLinux 脚本会要求您在 /usr/local/bin 目录中安装 Repo 工具。

- 在执行 init 命令时，您需要选择您的处理器平台（SoC）、PHYTEC 的 BSP 版本号以及您正在使用的硬件。

#### 备注

如果您无法根据菜单中提供的信息识别您的开发板，请查看产品的发票。并查看 [our BSP](#)。

- 也可以通过命令行参数直接传递这些信息：

```
host:~/yocto$ DISTRO=ampliphy-vendor-xwayland MACHINE=phyboard-pollux-imx8mp-3 ./phyLinux init -p
↳ imx8mp -r BSP-Yocto-NXP-i.MX8MP-PD24.1.0
```

After the execution of the init command, phyLinux will print a few important notes. For example, it will print your git identity, SOC and BSP release which was selected as well as information for the next steps in the build process.

### 3.2.1 开始构建

- 设置 Shell 环境变量：

```
host:~/yocto$ source sources/poky/oe-init-build-env
```

#### 备注

在每次打开新的用于编译的 shell 时，都需要先执行这一步骤。

- 当前的工作目录会变更为 build/。
- 打开主配置文件，同意并接受 GPU 和 VPU 二进制文件的许可证协议。通过取消注释相应的行来完成此操作，如下所示。

```
host:~/yocto/build$ vim conf/local.conf
# Uncomment to accept NXP EULA
# EULA can be found under ../sources/meta-freescale/EULA
ACCEPT_FSL_EULA = "1"
```

- 编译您的镜像：

```
host:~/yocto/build$ bitbake phytec-qt6demo-image
```

#### 备注

对于第一次编译，我们建议从我们的较小的非图形化镜像 phytec-headless-image 开始，以查看一切是否正常工作。

```
host:~/yocto/build$ bitbake phytec-headless-image
```

第一次构建过程在现代的 Intel Core i7 处理器上大约需要 40 分钟。后续的构建将使用本次编译产生的缓存，大约需要 3 分钟。

### 3.2.2 BSP 镜像

所有由 Bitbake 生成的镜像都放在 `~/yocto/build/deploy*/images/<machine>`。例如以下列表是 phyboard-pollux-imx8mp-3 machine 生成的所有文件：

- **u-boot.bin**: 编译后的 U-boot bootloader 二进制文件。不是最终镜像中的 bootloader！
- **oftree**: 默认内核设备树
- **u-boot-spl.bin**: 二级程序加载器 (SPL)
- **bl31-imx8mp.bin**: ARM 可信固件二进制文件
- **lpddr4\_pmu\_train\_2d\_dmem\_202006.bin**, **lpddr4\_pmu\_train\_2d\_imem\_202006.bin**: DDR PHY 固件镜像
- **imx-boot**: 由 imx-mkimage 编译的 bootloader 镜像，包括 SPL、U-Boot、ARM 可信固件和 DDR 固件。这是最终的可引导 bootloader 镜像。
- **fitImage**: Linux 内核 FIT 镜像
- **fitImage-its\*.its**
- **Image**: Linux 内核镜像
- **Image.config**: 内核 config 文件
- **imx8mp-phyboard-pollux-rdk\*.dtb**: 内核设备树文件
- **imx8mp-phy\*.dtbo**: 内核设备树 overlay 文件
- **phytec-qt6demo-image\*.tar.gz**: 根文件系统
- **phytec-qt6demo-image\*.rootfs.wic.xz**: 压缩的 SD 卡镜像





#### 4.1 启动模式开关 (S3)

##### 小技巧

硬件修订版底板：1552.2

The phyBOARD-Pollux features a boot switch with four individually switchable ports to select the phyCORE-i.MX 8M Plus default bootsource.

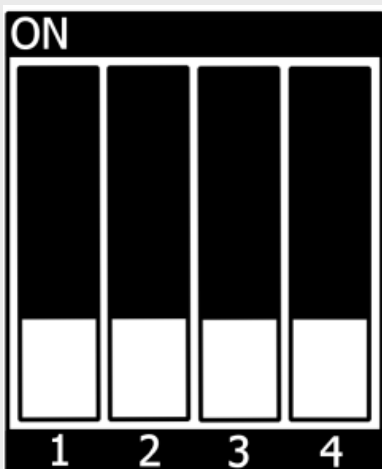


图 1: eMMC

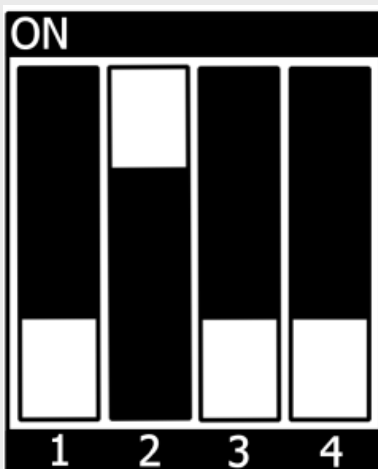


图 2: 内部 fuse

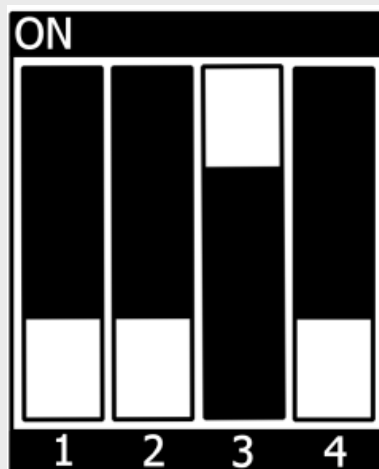


图 3: SPI NOR

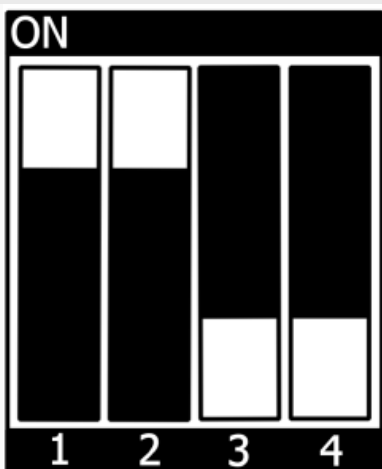


图 4: USB

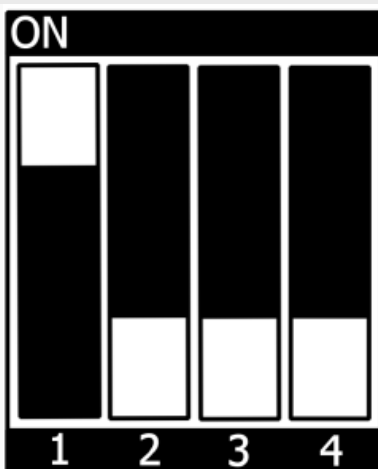


图 5: SD 卡

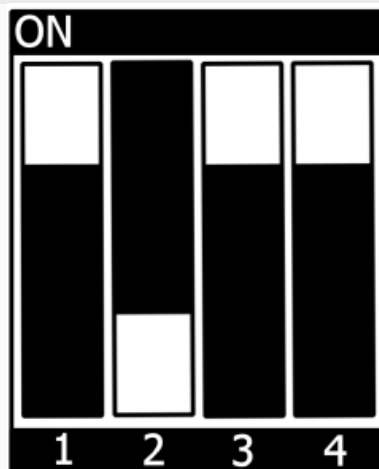


图 6: 测试模式

## 4.2 Flash e.MMC

为了保持文档的一致性和简洁性，假设已经配置好了 TFTP 服务器；所有生成的镜像（如上所列）都被复制到默认的/srv/tftp 目录。如果您没有进行设置，您需要修改路径到包含镜像的目录。有关如何设置 TFTP 服务器和目录的说明，请参见 *Setup Network Host*。

To boot from e.MMC, make sure that the BSP image is flashed correctly to the e.MMC and the *bootmode switch (S3)* is set to e.MMC.

### 警告

When e.MMC and SD card are flashed with the same (identical) image, the UUIDs of the boot partitions are also identical. If the SD card is connected when booting, this leads to non-deterministic behavior as Linux mounts the boot partition based on UUID.

```
target:~$ blkid
```

可以运行上述命令来检查系统启动在这种条件下是否会受到影响。如果 mmcblk2p1 和 mmcblk1p1 具有相同

的 UUID，则会影响系统正确启动。

### 4.2.1 Flash eMMC from Network

i.MX 8M Plus boards have an Ethernet connector and can be updated over a network. Be sure to set up the development host correctly. The IP needs to be set to 192.168.3.10, the netmask to 255.255.255.0, and a TFTP server needs to be available. From a high-level point of view, an eMMC device is like an SD card. Therefore, it is possible to flash the **WIC image** (<name>.wic) from the Yocto build system directly to the eMMC. The image contains the bootloader, kernel, device tree, device tree overlays, and root file system.

#### Flash eMMC via Network in Linux on Host

It is also possible to install the OS at eMMC from your Linux host. As before, you need a complete image on your host.

##### 小技巧

需要保证设备和存储镜像的主机之间的网络正常！ *Setup Network Host*

查看主机上可用的镜像文件：

```
host:~$ ls /srv/tftp
phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic.xz
phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic.bmap
```

Send the image with the `bmaptool` command combined with `ssh` through the network to the eMMC of your device:

```
host:~$ scp /srv/tftp/phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic.* root@192.168.3.11:/tmp &&
↪ ssh root@192.168.3.11 "bmaptool copy /tmp/phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic.xz /
↪ dev/mmcblk2"
```

#### Flash eMMC via Network in Linux on Target

You can update the eMMC from your target.

##### 小技巧

需要保证设备和存储镜像的主机之间的网络正常！ *Setup Network Host*

Take a compressed or decompressed image with the accompanying block map file `*.bmap` on the host and send it with `ssh` through the network to the eMMC of the target with a one-line command:

```
target:~$ scp <USER>@192.168.3.10:/srv/tftp/phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic.* /tmp &&
↪ && bmaptool copy /tmp/phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic.xz /dev/mmcblk2
```

#### Flash eMMC from Network in U-Boot on Target

These steps will show how to update the eMMC via a network.

**小技巧**

This step only works if the size of the image file is less than 1GB due to limited usage of RAM size in the Bootloader after enabling OP-TEE.

**小技巧**

需要保证设备和存储镜像的主机之间的网络正常! *Setup Network Host*

解压缩您的镜像

```
host:~$ unxz /srv/tftp/phytec-headless-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic.xz
```

通过网络将您的镜像加载到内存中:

- 使用 DHCP

```
u-boot=> dhcp phytec-headless-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic
BOOTP broadcast 1
DHCP client bound to address 192.168.3.1 (1 ms)
Using ethernet@30be0000 device
TFTP from server 192.168.3.10; our IP address is 192.168.3.1
Filename 'phytec-headless-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic'.
Load address: 0x40480000
Loading: #####
#####
#####
...
...
...
#####
#####
11.2 MiB/s
done
Bytes transferred = 911842304 (36599c00 hex)
```

- 使用静态 IP 地址 (必须先设置 serverip 和 ipaddr)。

```
u-boot=> tftp ${loadaddr} phytec-headless-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic
Using ethernet@30be0000 device
TFTP from server 192.168.3.10; our IP address is 192.168.3.11
Filename 'phytec-headless-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic'.
Load address: 0x40480000
Loading: #####
#####
#####
...
...
...
#####
#####
11.2 MiB/s
done
Bytes transferred = 911842304 (36599c00 hex)
```

Write the image to the eMMC:

```

u-boot=> mmc dev 2
switch to partitions #0, OK
mmc2(part 0) is current device
u-boot=> setexpr nbk ${filesize} / 0x200
u-boot=> mmc write ${loadaddr} 0x0 ${nbk}

MMC write: dev # 2, block # 0, count 1780942 ... 1780942 blocks written: OK

```

## 4.2.2 Flash e.MMC U-Boot image via Network from running U-Boot

Update the standalone U-Boot image imx-boot is also possible from U-Boot. This can be used if the bootloader on e.MMC is located in the e.MMC user area.

### 小技巧

需要保证设备和存储镜像的主机之间的网络正常! *Setup Network Host*

Load image over tftp into RAM and then write it to e.MMC:

```

u-boot=> tftp ${loadaddr} imx-boot
u-boot=> setexpr nbk ${filesize} / 0x200
u-boot=> mmc dev 2
u-boot=> mmc write ${loadaddr} 0x40 ${nbk}

```

### 提示

十六进制值表示偏移量，单位为 512 字节块的倍数。请参阅[偏移表](#) 以获取相应 SoC 的正确值。

## 4.2.3 Flash e.MMC from USB stick

### Flash e.MMC from USB in Linux

These steps will show how to flash the e.MMC on Linux with a USB stick. You only need a complete image saved on the USB stick and a bootable WIC image. (e.g. phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.[yocto-imageext]). Set the *bootmode switch (S3)* to SD card.

- 插入并挂载 U 盘:

```

[ 60.458908] usb-storage 1-1.1:1.0: USB Mass Storage device detected
[ 60.467286] scsi host0: usb-storage 1-1.1:1.0
[ 61.504607] scsi 0:0:0:0: Direct-Access                        8.07 PQ: 0 ANSI: 2
[ 61.515283] sd 0:0:0:0: [sda] 3782656 512-byte logical blocks: (1.94 GB/1.80 GiB)
[ 61.523285] sd 0:0:0:0: [sda] Write Protect is off
[ 61.528509] sd 0:0:0:0: [sda] No Caching mode page found
[ 61.533889] sd 0:0:0:0: [sda] Assuming drive cache: write through
[ 61.665969] sda: sda1
[ 61.672284] sd 0:0:0:0: [sda] Attached SCSI removable disk
target:~$ mount /dev/sda1 /mnt

```

- 现在查看您在 USB 优盘上保存的镜像文件:

```

target:~$ ls /mnt
phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic.xz
phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic.bmap

```

- Write the image to the phyCORE-i.MX 8M Plus e.MMC (MMC device 2 without partition):

```
target:~$ bmaptool copy /mnt/phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic.xz /dev/mmcblk2
```

- After a complete write, your board can boot from e.MMC.

#### 小技巧

在此之前，您需要将 *bootmode switch (S3)* 配置为 eMMC。

### Flash e.MMC from USB stick in U-Boot on Target

#### 小技巧

此步骤仅在镜像文件小于 1GB 的情况下会被执行成功，因为在启用 OPTEE 后，Bootloader 中可用的 RAM 大小有限，不足以加载超过 1GB 的镜像

These steps will show how to update the e.MMC via a USB device. Configure the *bootmode switch (S3)* to SD card and insert an SD card. Power on the board and stop in U-Boot prompt. Insert a USB device with the copied uncompressed WIC image to the USB slot.

将镜像从 USB 设备加载到 RAM 中：

```
u-boot=> usb start
starting USB...
USB0:   USB EHCI 1.00
scanning bus 0 for devices... 2 USB Device(s) found
       scanning usb for storage devices... 1 Storage Device(s) found
u-boot=> fatload usb 0:1 0x58000000 phytec-headless-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic
497444864 bytes read in 31577 ms (15 MiB/s)
```

Write the image to the e.MMC:

```
u-boot=> mmc dev 2
switch to partitions #0, OK
mmc2(part 0) is current device
u-boot=> setexpr nblk ${filesize} / 0x200
u-boot=> mmc write 0x58000000 0x0 ${nblk}

MMC write: dev # 2, block # 0, count 1024000 ... 1024000 blocks written: OK
u-boot=> boot
```

### 4.2.4 Flash e.MMC from SD card

Even if there is no network available, you can update the e.MMC. For that, you only need a ready-to-use image file (\*.wic) located on the SD card. Because the image file is quite large, you need to allocate more SD card space. To create a new partition or enlarge your SD card, see *Resizing ext4 Root Filesystem*.

或者，使用 partup 包烧写 SD 卡，如 *Getting Started* 中所述。这样就可使用 SD 卡的全部容量。

## Flash e.MMC from SD card in Linux on Target

You can also flash the e.MMC on Linux. You only need a partup package or WIC image saved on the SD card.

- 检查在 SD 卡上保存的 partup 包或 WIC 镜像文件:

```
target:~$ ls
phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.partup
phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic.xz
phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic.bmap
```

- Write the image to the phyCORE-i.MX 8M Plus e.MMC (MMC device 2 **without** partition) using [partup](#):

```
target:~$ partup install phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.partup /dev/mmcblk2
```

Flashing the partup package has the advantage of using the full capacity of the e.MMC device, adjusting partitions accordingly.

### 备注

另外, 也可以使用 `bmaptool` 工具:

```
target:~$ bmaptool copy phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic.xz /dev/mmcblk2
```

请注意, 在使用 `bmaptool` 烧写时, 根文件系统分区并不会使用 eMMC 的最大容量。

- After a complete write, your board can boot from e.MMC.

### 警告

Before this will work, you need to configure the *bootmode switch (S3)* to e.MMC.

## Flash e.MMC from SD card in U-Boot on Target

### 小技巧

This step only works if the size of the image file is less than 1GB due to limited usage of RAM size in the Bootloader after enabling OPTEE. If the image file is too large use the *Updating e.MMC from SD card in Linux on Target* subsection.

- 将一个可用的镜像烧写到 SD 卡, 并创建一个 EXT4 格式的第三分区。将 WIC 镜像 (例如 `phytec-qt6demo-image.rootfs.wic`) 复制到该分区。
- Configure the *bootmode switch (S3)* to SD card and insert the SD card.
- 打开电源并进入 U-Boot。
- 加载镜像:

```
u-boot=> ext4load mmc 1:3 ${loadaddr} phytec-headless-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic
reading
911842304 bytes read in 39253 ms (22.2 MiB/s)
```

- Switch the mmc dev to eMMC:

```
u-boot=> mmc list
FSL_SDHC: 1 (SD)
FSL_SDHC: 2 (eMMC)
u-boot=> mmc dev 2
switch to partitions #0, OK
mmc2(part 0) is current device
```

- Flash your WIC image (for example phytec-qt6demo-image.rootfs.wic) from the SD card to eMMC. This will partition the card and copy imx-boot, Image, dtb, dtbo, and root file system to eMMC.

```
u-boot=> setexpr nblk ${filesize} / 0x200
u-boot=> mmc write ${loadaddr} 0x0 ${nblk}

MMC write: dev # 2, block # 0, count 1780942 ... 1780942 blocks written: OK
```

- Power off the board and change the *bootmode switch (S3)* to eMMC.

## 4.3 烧写 SPI NOR Flash

The phyCORE-i.MX 8M Plus are optionally equipped with SPI NOR Flash. To boot from SPI Flash, set *bootmode switch (S3)* to **SPI NOR**. The SPI Flash is usually quite small. The **phyCORE-i.MX8M Plus Kit** only has 32MB SPI NOR flash populated. Only the bootloader and the environment can be stored. The kernel, device tree, and file system are taken from eMMC by default.

SPI NOR Flash 分区表在 U-Boot 环境变量中定义。可以通过以下命令打印：

```
u-boot=> printenv mtdparts
mtdparts=30bb0000.spi:3840k(u-boot),128k(env),128k(env:redund),-(none)
```

### 4.3.1 通过网络烧写 SPI NOR Flash

The SPI NOR can contain the bootloader and environment to boot from. The arm64 kernel can not decompress itself, the image size extends the SPI NOR flash populated on the phyCORE-i.MX 8M Plus.

#### 小技巧

需要保证设备和存储镜像的主机之间的网络正常！ *Setup Network Host*

#### 在开发板 linux 环境中通过网络烧写 SPI NOR Flash

- 将镜像从主机复制到开发板：

```
host:~$ scp imx-boot-phyboard-pollux-imx8mp-3-fspi.bin-flash_evk_flexspi root@192.168.3.11:/root
```

- 查找要擦除的 U-boot 分区的块数：

```
target:~$ mtdinfo /dev/mtd0
mtd0
Name:                u-boot
Type:                nor
Eraseblock size:     65536 bytes, 64.0 KiB
Amount of eraseblocks: 60 (3932160 bytes, 3.7 MiB)
```

(续下页)



(接上页)

```
Minimum input/output unit size: 1 byte
Sub-page size:                  1 byte
Character device major/minor:   90:0
Bad blocks are allowed:         false
Device is writable:             true
```

- 擦除 U-Boot 分区并烧写:

```
target:~$ flash_erase /dev/mtd0 0x0 60
target:~$ flashcp imx-boot-phyboard-pollux-imx8mp-3-fspi.bin-flash_evk_flexspi /dev/mtd0
```

### 在开发板的 U-Boot 环境中通过网络烧写 SPI NOR

Similar to updating the eMMC over a network, be sure to set up the development host correctly. The IP needs to be set to 192.168.3.10, the netmask to 255.255.255.0, and a TFTP server needs to be available. Before reading and writing is possible, the SPI NOR flash needs to be probed:

```
u-boot=> sf probe
SF: Detected mt25qu512a with page size 256 Bytes, erase size 64 KiB, total 64 MiB
```

- SPI NOR Flash 需要使用特殊格式的 U-Boot 镜像。确保您使用了正确的镜像文件。通过 tftp 加载镜像，然后将 bootloader 写入 Flash:

```
u-boot=> tftp ${loadaddr} imx-boot-phyboard-pollux-imx8mp-3-fspi.bin-flash_evk_flexspi
u-boot=> sf update ${loadaddr} 0 ${filesize}
device 0 offset 0x0, size 0x1c0b20
1641248 bytes written, 196608 bytes skipped in 4.768s, speed 394459 B/s
```

- 同时需要擦除环境分区。这样，环境变量可以在从 SPI NOR Flash 启动后写入:

```
u-boot=> sf erase 0x400000 0x100000
```

### 4.3.2 Flash SPI NOR Flash from SD card

The bootloader on SPI NOR flash can be also flashed with SD card.

#### Flash SPI NOR from SD card in kernel on Target

- Copy the SPI NOR flash U-boot image imx-boot-phyboard-pollux-imx8mp-3-fspi.bin-flash\_evk\_flexspi to the first partition on the SD card.
- Mount the SD card:

```
target:~$ mount /dev/mmcblk1p1 /mnt
```

- 查找要擦除的 U-Boot 分区的块数:

```
target:~$ mtdinfo /dev/mtd0
mtd0
Name:                u-boot
Type:                nor
Eraseblock size:     65536 bytes, 64.0 KiB
Amount of eraseblocks: 60 (3932160 bytes, 3.7 MiB)
Minimum input/output unit size: 1 byte
Sub-page size:       1 byte
```

(续下页)

(接上页)

```
Character device major/minor: 90:0
Bad blocks are allowed: false
Device is writable: true
```

- 擦除 u-boot 分区并烧写：

```
target:~$ flash_erase /dev/mtd0 0x0 60
target:~$ flashcp /mnt/imx-boot-phyboard-pollux-imx8mp-3-fspi.bin-flash_evk_flexspi /dev/mtd0
```

## Flash SPI NOR from SD card in U-Boot on Target

- Copy the SPI NOR flash U-boot image imx-boot-phyboard-pollux-imx8mp-3-fspi.bin-flash\_evk\_flexspi to the first partition on the SD card.
- 在进行读写操作之前，需要对 SPI-NOR Flash 进行枚举：

```
u-boot=> sf probe
SF: Detected n25q256ax1 with page size 256 Bytes, erase size 64 KiB, total 32 MiB
```

- A specially formatted U-boot image for the SPI NOR flash is used. Ensure you use the correct image file. Load the image from the SD card, erase and write the bootloader to the flash:

```
u-boot=> mmc dev 1
u-boot=> fatload mmc 1:1 ${loadaddr} imx-boot-phyboard-pollux-imx8mp-3-fspi.bin-flash_evk_flexspi
u-boot=> sf update ${loadaddr} 0 ${filesize}
```

- 同时需要擦除环境分区。这样，环境变量可以在从 SPI NOR Flash 启动后写入：

```
u-boot=> sf erase 0x400000 0x100000
```

## 4.4 RAUC

BSP 支持 RAUC (Robust Auto-Update Controller)。它管理设备固件更新的过程。这包括更新 Linux 内核、设备树和根文件系统。PHYTEC 已撰写了一份在线手册，介绍如何在我们的 BSP 中集成 RAUC: [L-1006e.A6 RAUC Update & Device Management Manual](#)。

## 4.5 EFI 启动

U-boot 也支持通过 efi 启动核心板。U-boot 会默认先搜寻一个启动脚本，然后使用该脚本启动 Ampliphy 发行版。如果未搜索出该启动脚本，将会启动 efi 例程。所以，通过 efi 启动前，需要确认您并没有安装我们的发行版。

### 4.5.1 关闭 efi 启动

要关闭 efi 启动，需要将 doefiboot 变量设置为 0。并且确认您没有在 bootmeths 环境变量中定义 efi 或者 efi\_mgr

```
u-boot=> setenv doefiboot 0
u-boot=> env save; env save;
```

## 4.5.2 切换 efi 启动模式

如果您想要通过 efi 启动，可以设置 `bootmeths` 环境变量到 `efi`。同时将 `doefiboot` 环境变量值配置为 1。

```
u-boot=> setenv bootmeths efi
u-boot=> env save; env save;
```

## 4.5.3 安装操作系统

使用 efi 可以安装、启动不同的 linux 发行版，如 openSUSE, Fedora 以及 Debian。首先你需要从它们的官方网站下载 iso 镜像，如：

<https://cdimage.debian.org/debian-cd/current/arm64/iso-dvd/>

然后复制.iso 文件到比如 U 盘。请确认输入了正确的设备名：

```
sudo dd if=file.iso of=/dev/sdx bs=1M conv=fsync status=progress
```

将 U 盘插入板并启动。GRUB 会用菜单提示接下来做什么。这里选择安装。然后按照向导操作。这个过程很直接，不同的发行版可能有些区别。你可以将发行版安装在 emmc (mmc 2) 或 sd 卡 (mmc 1)。确保在安装时不要覆盖 u-boot。最好是和 uboot 选择不同的存储器件，否则需要手工分区。自动分区会从硬盘的头部开始分区，为了避免覆盖 u-boot，使用从硬盘头部 4MiB 的偏移量后的区域。

在安装 Debian 时会被问，你是否想要强制安装 GRUB 到 EFI 可移动存储路径。选择不。当被问倒你是否要更新 NVRAM 变量，也选择不。否则 grub-dummy 安装步骤会失败，并且会退回倒”强制 GRUB 安装”提示界面。

在安装完成后，重新启动设备并移除安装介质（U 盘）。设备会启动刚刚安装的发行版系统。

如果启动失败，请检查启动选项是否设置了该发行版。最简单的方法是使用 `eficonfig` 命令。

```
u-boot=> eficonfig
```

这将打开一个菜单。然后你可以选择 **Edit Boot Option**。它会显示当前的启动选项。如果这是空的或者找不到你的发行版，选择 **Add Boot Option** 以添加一个新的选项。例如对于 debian，你只需要设置描述和文件。你可以随意输入描述字段中的内容。当你选择文件字段时，可以选择安装发行版的磁盘和第一个分区。例如 eMMC ”mmc 2:1”，或 SD 卡”mmc 1:1”。你需要选择的文件位于 `EFI/debian/grubaa64.efi`。之后保存，退出并重置板子。板子应该会启动进入 debian。



从这个版本开始，U-Boot 中的启动行为发生了变化。之前，内核和设备树是作为单独的二进制文件提供的。现在，二者将被包含在一个单一的 FIT 镜像二进制文件中。此外，PHYTEC ampliphy 发行版的启动逻辑被移到了一个启动脚本中，该脚本是以 FIT 镜像二进制文件的一部分存在。要恢复到旧的启动方式，您可以执行

```
run legacyboot
```

#### 备注

这种启动方式已被弃用，并将在下一个版本中移除。默认情况下，通过此命令启动将返回错误，因为启动分区中缺少内核和设备树。

## 5.1 独立编译准备

In this section, we describe how to build the U-Boot and the Linux kernel without using the [Yocto Project](#). This procedure makes the most sense for development. The U-Boot source code, the Linux kernel, and all other git repositories are available on [GitHub](#) 'Git server at <https://github.com/phytec>.

### 5.1.1 Git 仓库

- 使用的 U-Boot 仓库：

```
git://git.phytec.de/u-boot-imx
```

- 我们的 U-Boot 基于 u-boot-imx 并添加了一些硬件相关的补丁。
- 使用的 Linux 内核仓库：

```
https://github.com/phytec/linux-phytec-imx
```

- 我们的 i.MX 8M Plus 内核是基于 linux-phytec-imx 内核。

要找出核心板应使用的 u-boot 和 kernel 版本对应的 git 仓库 tag 标签, 请查看您的 BSP 源文件夹:

```
meta-phytec/recipes-kernel/linux/linux-phytec-imx_*.bb
meta-phytec/recipes-bsp/u-boot/u-boot-imx_*.bb
```

### 5.1.2 获取 SDK

您可以在此处下载 SDK [这里](#), 或者使用 Yocto 去编译生成 SDK:

- 移动到 Yocto 的 build 目录:

```
host:~$ source sources/poky/oe-init-build-env
host:~$ bitbake -c populate_sdk phytec-qt6demo-image # or another image
```

在成功编译后, SDK 安装包保存在 build/deploy\*/sdk。

### 5.1.3 安装 SDK

- 设置正确的权限并安装 SDK:

```
host:~$ chmod +x phytec-ampliphy-vendor-xwayland-glibc-x86_64-phytec-qt6demo-image-cortexa53-crypto-
↳ toolchain-5.0.x.sh
host:~$ ./phytec-ampliphy-vendor-xwayland-glibc-x86_64-phytec-qt6demo-image-cortexa53-crypto-
↳ toolchain-5.0.x.sh

=====
Enter target directory for SDK (default: /opt/ampliphy-vendor-xwayland/5.0.x):
You are about to install the SDK to "/opt/ampliphy-vendor-xwayland/5.0.x". Proceed [Y/n]? Y
Extracting SDK...done
Setting it up...done
SDK has been successfully set up and is ready to be used.
```

### 5.1.4 使用 SDK

通过在工具链目录中 source *environment-setup* 文件来初始化您的 shell 交叉编译环境:

```
host:~$ source /opt/ampliphy-vendor-xwayland/5.0.x/environment-setup-cortexa53-crypto-phytec-linux
```

### 5.1.5 安装所需工具

独立编译 Linux kernel 和 U-Boot 需要主机安装一些额外的工具。对于 Ubuntu, 您可以使用以下命令安装它们:

```
host:~$ sudo apt install bison flex libssl-dev
```

#### 警告

在较旧的主机发行版 (例如, Ubuntu 20.04 LTS) 上使用 Scarthgap NXP 基础的 BSP 时, 构建用于主机的 U-Boot 或 Linux 内核工具可能会出现问题。如果遇到 "undefined reference" 错误, 一种解决方法是在 PATH 环境变量中添加主机的 binutils。

```
host$ export PATH=/usr/bin:$PATH
```

在加载 SDK *environment-setup* 后, 运行此命令。

请注意, 在较新版本的发行版 (如 Ubuntu 22.04) 中未观察到 SDK 相关问题, 这些发行版似乎无需任何修改即可正常工作。

## 5.2 单独编译 U-Boot

### 5.2.1 获取源代码

- 获取 U-Boot 源代码：

```
host:~$ git clone git://git.phytec.de/u-boot-imx
```

- 要获取正确的 *U-Boot tag*，您需要查看我们的 release notes，可以在这里找到：[release notes](#)
- 此版本中使用的 *tag* 称为 v2024.04\_2.0.0-phy7
- 查看所需的 *U-Boot tag*：

```
host:~$ cd ~/u-boot-imx/
host:~/u-boot-imx$ git fetch --all --tags
host:~/u-boot-imx$ git checkout tags/v2024.04_2.0.0-phy7
```

- 设置编译环境：

```
host:~/u-boot-imx$ source /opt/ampliphy-vendor-xwayland/5.0.x/environment-setup-cortexa53-crypto-phytec-linux
```

### 5.2.2 获取所需的二进制文件

要编译 bootloader，您需要将这些文件复制到您的 u-boot-imx 编译目录，并将其重命名以适应 *mkimage* 脚本：

- ARM Trusted firmware 二进制文件** (*mkimage* 工具兼容格式 **bl31.bin**)：bl31-imx8mp.bin
- OPTEE 镜像** (可选的)：tee.bin
- DDR firmware files** (*mkimage* 工具兼容格式 **lpddr4\_[i,d]mem\_\*d\_\*.bin**)：lpddr4\_dmem\_1d\_\*.bin, lpddr4\_dmem\_2d\_\*.bin, lpddr4\_imem\_1d\_\*.bin, lpddr4\_imem\_2d\_\*.bin

如果您已经使用 Yocto 编译了我们的 BSP，您可以在 yocto 工程目录中获取 bl31-imx8mp.bin、tee.bin 和 lpddr4\_\*.bin：[BSP Images](#)

或者你可以在这里下载文件：<https://download.phytec.de/Software/Linux/BSP-Yocto-i.MX8MP/BSP-Yocto-NXP-i.MX8MP-PD24.1.0/images/ampliphy-vendor-xwayland/phyboard-pollux-imx8mp-3/imx-boot-tools/>

#### 警告

确保您重命名所需的文件，以和 *mkimage tool* 兼容。

### 5.2.3 编译 bootloader

- 编译 flash.bin (imx-boot)：

```
host:~/u-boot-imx$ make phycore-imx8mp_defconfig
host:~/u-boot-imx$ make flash.bin
```

## 5.2.4 将 bootloader 烧写到块设备上

flash.bin 文件可以在 u-boot-imx/ 目录下找到，现在可以进行烧写。需要指定芯片特定的偏移量：

SoC	User 分区偏移量	Boot 分区偏移量	e.MMC Device
i.MX 8M Plus	32 kiB	0 kiB	/dev/mmcblk2

例如，烧写 SD 卡：

```
host:~/u-boot-imx$ sudo dd if=flash.bin of=/dev/sd[x] bs=1024 seek=32 conv=fsync
```

### 提示

如果您有我们的 BSP Yocto 工程代码，具体的偏移值也会在 Yocto 变量”BOOTLOADER\_SEEK”和”BOOTLOADER\_SEEK\_EMMC”中声明。

## 5.2.5 使用固定内存大小编译 U-Boot

如果您的系统因为 EEPROM 中的硬件信息损坏或丢失而无法启动，您可以创建一个具有固定 RAM 大小的 flash.bin。但您仍应联系我们支持部门以烧写正确的 EEPROM 数据。

按照步骤获取 U-boot 源代码，并切换到 **Build U-Boot** 章节说明的分支。

编辑文件 configs/phycore-imx8mp\_defconfig:

```
CONFIG_TARGET_PHYCORE_IMX8MP=y
CONFIG_PHYCORE_IMX8MP_RAM_SIZE_FIX=y
# CONFIG_PHYCORE_IMX8MP_RAM_SIZE_1GB=y
# CONFIG_PHYCORE_IMX8MP_RAM_SIZE_2GB=y
# CONFIG_PHYCORE_IMX8MP_RAM_SIZE_4GB=y
```

选择正确的 RAM 大小，确保与核心板上的贴装的器件一致，取消注释该 RAM 大小的行。保存更改后，按照 *Build U-Boot* 章节的剩余步骤进行操作。

## 5.2.6 编译支持固定 RAM 大小与频率的 U-Boot

Starting with PD23.1.0 NXP or PD24.1.2 mainline release, the phyCORE-i.MX 8M Plus SoMs with revision 1549.3 and newer also support 2GHz RAM timings. These will be enabled for supported boards automatically, but they can also be enabled or disabled manually.

编辑文件 configs/phycore-imx8mp\_defconfig。将使用 2GHz 时序大小固定的 RAM 配置：

```
CONFIG_TARGET_PHYCORE_IMX8MP=y
CONFIG_PHYCORE_IMX8MP_RAM_SIZE_FIX=y
# CONFIG_PHYCORE_IMX8MP_RAM_SIZE_1GB=y
# CONFIG_PHYCORE_IMX8MP_RAM_SIZE_2GB=y
# CONFIG_PHYCORE_IMX8MP_RAM_SIZE_4GB=y
CONFIG_PHYCORE_IMX8MP_RAM_FREQ_FIX=y
CONFIG_PHYCORE_IMX8MP_USE_2GHZ_RAM_TIMINGS=y
```

在保存更改后，按照 *Build U-Boot* 中剩下的步骤操作。



### 5.2.7 编译固定的 RAM 频率的 U-Boot

从 PD24.1.2 Mainline 版本或者 PD24.1.0 NXP 版本开始，U-Boot 可以编译成只固定 RAM 频率，RAM 大小还是保持从 EEPROM 读取。

编辑文件 `configs/phycore-imx8mp_defconfig`。将使用 EEPROM 中配置的容量与固定的频率 RAM 配置：

```
CONFIG_TARGET_PHYCORE_IMX8MP=y
CONFIG_PHYCORE_IMX8MP_RAM_FREQ_FIX=y
# CONFIG_PHYCORE_IMX8MP_USE_2GHZ_RAM_TIMINGS=y
# CONFIG_PHYCORE_IMX8MP_USE_1_5GHZ_RAM_TIMINGS=y
```

在保存更改后，按照 *Build U-Boot* 中剩下的步骤操作。

## 5.3 单独编译内核

内核与设备树一起打包在 FIT 镜像中。U-Boot 已被配置为能够加载 FIT 镜像并引导其中包含的内核。因此，内核镜像必须打包在 FIT 镜像中。

### 5.3.1 配置源代码

- 使用的 `linux-phytec-imx` 分支可以在 [release notes](#) 中找到
- 此版本所需的标签称为 `v6.6.23-2.0.0-phy10`
- Check out 所需的 `linux-phytec-imx` 标签：

```
host:~$ git clone https://github.com/phytec/linux-phytec-imx
host:~$ cd ~/linux-phytec-imx/
host:~/linux-phytec-imx$ git fetch --all --tags
host:~/linux-phytec-imx$ git checkout tags/v6.6.23-2.0.0-phy10
```

- 为了提交更改，强烈建议切换到一个新分支：

```
host:~/linux-phytec-imx$ git switch --create <new-branch>
```

- 设置编译环境：

```
host:~/linux-phytec-imx$ source /opt/ampliphy-vendor-xwayland/5.0.x/environment-setup-cortexa53-
↳ crypto-phytec-linux
```

### 5.3.2 编译内核

- 编译 Linux 内核：

```
host:~/linux-phytec-imx$ make imx8_phytec_defconfig
host:~/linux-phytec-imx$ make -j$(nproc)
```

- 安装内核模块，比如安装到 NFS 目录：

```
host:~/linux-phytec-imx$ make INSTALL_MOD_PATH=/home/<user>/<rootfspath> modules_install
```

- 镜像可以在 `~/linux-phytec-imx/arch/arm64/boot/Image.gz` 找到
- dtb 文件可以在 `~/linux-phytec-imx/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dtb` 找到
- 要（重新）编译设备树和 `-overlay` 文件，只需运行

```
host:~/linux-phytec-imx$ make dtbs
```

or, to build a specific dtb (e.g. imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dtb):

```
host:~/linux-phytec-imx$ make freescale/imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dtb
```

#### 备注

如果您遇到以下编译问题:

```
scripts/dtc/yamltree.c:9:10: fatal error: yaml.h: No such file or directory
```

确保您在主机系统上安装了 "libyaml-dev" 包:

```
host:~$ sudo apt install libyaml-dev
```

### 5.3.3 将内核打包成 FIT 镜像

要简单地替换内核, 您需要一个 `image tree source (.its)` 文件。如果您已经使用 Yocto 编译了我们的 BSP, 可以从此处提到的目录获取 its 文件: [BSP Images](#) 或者您可以在这里下载该文件: <https://download.phytec.de/Software/Linux/BSP-Yocto-i.MX8MP/BSP-Yocto-NXP-i.MX8MP-PD24.1.0/images/ampliphy-vendor-xwayland/phyboard-pollux-imx8mp-3/>

将 its 文件复制到当前工作目录, 创建一个指向内核镜像的链接, 并使用 `mkimage` 创建最终的 fitImage。

```
host:~/linux-phytec-imx$ cp /path/to/yocto/deploydir/fitimage-its*.its .
&& ln -s arch/arm64/boot/Image.gz linux.bin
&& uboot-mkimage -f fitImage-its*.its fitImage
```

### 5.3.4 Copy FIT image and kernel modules to SD card

FIT 镜像以及内核 module 可以用以下方式复制到已挂载的 SD 卡上。

```
host:~/linux-phytec-imx$ cp fitImage /path/to/sdcard/boot/
host:~/linux-phytec-imx$ make INSTALL_MOD_PATH=/path/to/sdcard/root/ modules_install
```

## 5.4 Working with UUU

The Universal Update Utility (UUU) by NXP is software to execute on the host for loading and running the bootloader on the board through SDP (Serial Download Protocol). For detailed information visit <https://github.com/nxp-imx/mfgtools> or download the [Official UUU-tool documentation](#).

### 5.4.1 Host preparations for UUU Usage

- 请按照 <https://github.com/nxp-imx/mfgtools#linux> 上的说明进行操作。
- 如果您要从源代码编译 UUU, 请将其添加到 PATH 中:

This BASH command adds uuu only temporarily to PATH. To add it permanently, add this line to `~/.bashrc`.

```
export PATH=~:/mfgtools/uuu/:"$PATH"
```

- 设置 udev 规则 (在 `uuu -udev` 中有详细说明):

```
host:~$ sudo sh -c "uuu -udev >> /etc/udev/rules.d/70-uuu.rules"
host:~$ sudo udevadm control --reload
```

### 5.4.2 获取镜像

Download imx-boot from our server or get it from your Yocto build directory at build/deploy-ampliphy-vendor-xwayland/images/phyboard-pollux-imx8mp-3/. For flashing a wic image to eMMC, you will also need phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic.

### 5.4.3 开发板准备

将 *bootmode switch (S3)* 设置为 **USB 串行下载**。同时，将 USB 端口 *X5 (upper connector)* 连接到主机。

### 5.4.4 通过 UUU 工具启动 bootloader

执行并给开发板上电：

```
host:~$ sudo uuu -b spl imx-boot
```

您可以像往常一样通过 *(X1)* 在终端上查看启动日志。

#### 备注

The default boot command when booting with UUU is set to fastboot. If you want to change this, please adjust the environment variable `bootcmd_mfg` in U-Boot prompt with `setenv bootcmd_mfg`. Please note, when booting with UUU the default environment is loaded. `saveenv` has no effect. If you want to change the boot command permanently for uuu-boot, you need to change this in U-Boot code.

### 5.4.5 Flashing U-boot Image to eMMC via UUU

#### 警告

UUU flashes U-boot into eMMC BOOT (hardware) boot partitions, and it sets the `BOOT_PARTITION_ENABLE` in the eMMC! This is a problem since we want the bootloader to reside in the eMMC USER partition. Flashing next U-Boot version .wic image and not disabling `BOOT_PARTITION_ENABLE` bit will result in device always using U-boot saved in BOOT partitions. To fix this in U-Boot:

```
u-boot=> mmc partconf 2 0 0 0
u-boot=> mmc partconf 2
EXT_CSD[179], PARTITION_CONFIG:
BOOT_ACK: 0x0
BOOT_PARTITION_ENABLE: 0x0
PARTITION_ACCESS: 0x0
```

or check Disable booting from eMMC boot partitions from Linux.

This way the bootloader is still flashed to eMMC BOOT partitions but it is not used!

When using **partup** tool and **.partup** package for eMMC flashing this is done by default, which makes partup again superior flash option.

执行并给开发板上电：

```
host:~$ sudo uuu -b emmc imx-boot
```

## 5.4.6 Flashing wic Image to eMMC via UUU

执行并给开发板上电：

```
host:~$ sudo uuu -b emmc_all imx-boot phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.wic
```

## 5.4.7 Flashing SPI NOR Flash via UUU

执行并给开发板上电：

```
host:~$ sudo uuu -b qspi imx-boot-phyboard-pollux-imx8mp-3-fspi.bin-flash_evk_flexspi
```

这将更新 SPI NOR Flash 上的 U-Boot，但不会更新环境。您可能需要擦除旧环境，以便加载新 U-Boot 的默认环境：

```
u-boot=> env erase
u-boot=> reset
```

# 5.5 主机网络准备

为了在 bootloader 中执行涉及网络的各种任务，需要配置一些主机服务。在开发主机上，必须安装和配置 TFTP、NFS 和 DHCP 服务。启动以太网所需的工具如下：

```
host:~$ sudo apt install tftpd-hpa nfs-kernel-server kea
```

## 5.5.1 TFTP 服务设置

- 首先，创建一个目录来存储 TFTP 文件：

```
host:~$ sudo mkdir /srv/tftp
```

- 然后将您的 BSP 镜像文件复制到此目录，并确保 other 用户也对 tftp 目录中的所有文件具有读取权限，否则将无法从开发板访问这些文件。

```
host:~$ sudo chmod -R o+r /srv/tftp
```

- 您还需要为相应的接口配置一个静态 IP 地址。PHYTEC 开发板的默认 IP 地址是 192.168.3.11。可以将主机地址设置为 192.168.3.10，子网掩码为 255.255.255.0

```
host:~$ ip addr show <network-interface>
```

将 <network-interface> 替换为连接到开发板的网络接口。您可以通过不指定网络接口来显示所有可选网络接口。

- 返回的结果应包含以下内容：

```
inet 192.168.3.10/24 brd 192.168.3.255
```

- 创建或编辑 /etc/default/tftpd-hpa 文件：

```
# /etc/default/tftpd-hpa

TFTP_USERNAME="tftp"
TFTP_DIRECTORY="/srv/tftp"
TFTP_ADDRESS=":69"
TFTP_OPTIONS="-s -c"
```

- 将 TFTP\_DIRECTORY 设置为您的 TFTP 服务器根目录
- 将 TFTP\_ADDRESS 设置为 TFTP 服务监听的主机地址（设置为 0.0.0.0:69 以监听 69 端口上所有 IP）。
- 设置 TFTP\_OPTIONS，以下命令显示可配置的选项：

```
host:~$ man tftpd
```

- 重新启动服务以应用配置更改：

```
host:~$ sudo service tftpd-hpa restart
```

现在将开发板的以太网端口连接到您的主机。我们还需要在开发板和运行 TFTP 服务的主机之间建立网络连接。TFTP 服务器的 IP 地址应设置为 192.168.3.10，子网掩码为 255.255.255.0。

## NFS 服务器设置

- 创建一个 NFS 目录：

```
host:~$ sudo mkdir /srv/nfs
```

- NFS 服务对文件共享的路径没有限制，因此在大多数 linux 发行版中，我们只需修改文件 /etc/exports，并将我们的根文件系统共享到网络。在这个示例文件中，整个目录被共享在主机地址为 192.168.3.10 的 IP 地址上。注意这个地址需要根据本地情况进行调整：

```
/srv/nfs 192.168.3.0/255.255.255.0(rw,no_root_squash,sync,no_subtree_check)
```

- 现在 NFS 服务器需要再次读取 /etc/exports 文件：

```
host:~$ sudo exportfs -ra
```

## DHCP 服务器设置

- 创建或编辑 /etc/kea/kea-dhcp4.conf 文件；以内部子网为例，将 <network-interface> 替换为物理网络接口的名称：

```
{
  "Dhcp4": {
    "interfaces-config": {
      "interfaces": [ "<network-interface>/192.168.3.10" ]
    },
    "lease-database": {
      "type": "memfile",
      "persist": true,
      "name": "/tmp/dhcp4.leases"
    },
    "valid-lifetime": 28800,
    "subnet4": [{
      "id": 1,
```

(续下页)

(接上页)

```

    "next-server": "192.168.3.10",
    "subnet": "192.168.3.0/24",
    "pools": [
      { "pool": "192.168.3.1 - 192.168.3.255" }
    ]
  }
}
}

```

**警告**

在创建子网时请小心，因为这可能会扰乱公司网络政策。为了安全起见，请使用不同的子网，并通过 `interfaces` 配置选项指定该网络。

- 现在 DHCP 服务需要重新读取 `/etc/kea/kea-dhcp4.conf` 文件：

```
host:~$ sudo systemctl restart kea-dhcp4-server
```

当您启动/重启主机时，如果 `kea-dhcp4` 配置中指定的网络接口未处于活动状态，`kea-dhcp4-server` 将无法启动。因此请确保在连接接口后启动或者重启该 `systemd` 服务。

**备注**

DHCP server setup is only needed when using dynamic IP addresses. For our vendor BSPs, static IP addresses are used by default.

```
u-boot=> env print ip_dyn
ip_dyn=no
```

To use dynamic IP addresses for netboot, `ip_dyn` needs to be set to `yes`.

**警告**

Using netboot with standardboot and static IPs does not work yet in this release. Standardboot will always use dhcp.

## 5.6 从网络启动内核

从网络启动意味着通过 TFTP 加载内核和设备树，并通过 NFS 加载根文件系统。但 bootloader 需要从另外的启动设备加载。

### 5.6.1 在主机上放置网络启动的镜像

- 将内核 `fitimage` 复制到您的 `tftp` 目录中：

```
host:~$ cp fitImage /srv/tftp
```

- 将启动脚本复制到您的 `tftp` 目录中：

```
host:~$ cp boot.scr.uimg /srv/tftp
```

- 确保 other 用户对 tftp 目录中的所有文件具有读取权限，否则将无法从开发板访问它们：

```
host:~$ sudo chmod -R o+r /srv/tftp
```

- 将根文件系统解压到您的 NFS 目录中：

```
host:~$ sudo tar -xvzf phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.rootfs.tar.gz -C /srv/nfs
```

#### 备注

请确保使用 `sudo` 执行命令，以保留根文件系统中文件的所属权限。

## 5.6.2 设置网络启动的 bootenv.txt 文件

在您的 tftp 目录中创建一个 bootenv.txt 文件，并将以下变量写入其中。

```
nfsroot=/srv/nfs
overlays=<overlayconfignames>
```

<overlayconfignames> 替换为您想要使用的设备树 overlay 配置名称。用 # 号分隔配置名称。例如：

```
overlays=conf-example-overlay1.dtbo#conf-example-overlay2.dtbo
```

#### 小技巧

所有支持的设备树 overlay 文件都在 [device tree](#) 章节中。或者可以通过以下命令打印：

```
host:~$ dumpimage -l fitImage
```

## 5.6.3 开发板上的网络设置

如果要自定义开发板上的以太网配置，请按照此处的说明进行操作：[Network Environment Customization](#)

## 5.6.4 从开发板启动

将开发板启动到 U-boot，按任意键暂停。

- 要从网络启动，请运行：

```
u-boot=> setenv boot_targets ethernet
u-boot=> bootflow scan -lb
```

## 5.7 获取 BSP 开发中版本

### 5.7.1 当前 release 的开发中版本

这些 release manifest 文件是为了让您访问 Yocto BSP 的开发版本。它们不会在 phyLinux 选择菜单中显示，需要手动选择。可以使用以下命令行来完成此操作：

```
host:~$ ./phyLinux init -p imx8mp -r BSP-Yocto-NXP-i.MX8MP-PD24.1.y
```

这将初始化一个 BSP，用于跟踪当前版本（BSP-Yocto-NXP-i.MX8MP-PD24.1.0）的最新开发版本。从现在开始，在此文件夹中执行 *repo sync* 将从我们的 Git 仓库中拉取所有最新的更改：

```
host:~$ repo sync
```

### 5.7.2 即将发布版本的开发中版本

即将发布版本的开发中版本可以通过这种方式访问。请执行以下命令，并查找一个比最新版本（BSP-Yocto-NXP-i.MX8MP-PD24.1.0）的 PDX.X.Y 数字更高的版本，并且以 .y 结尾：

```
host:~$ ./phyLinux init -p imx8mp
```

## 5.8 获取最新的 Upstream 支持

我们有一个使用 Yocto 主分支（不是 NXP 发布的）的 manifest，他使用 upstream 的 Linux 和 U-Boot。这可以用来测试最新的 upstream kernel/U-Boot。

#### 备注

master 分支的 manifest 反映了最新的开发状态。有时会出现一些 bug。我们会定期修复 master 分支。

```
host:~$ ./phyLinux init -p imx8mp -r BSP-Yocto-Ampliphy-i.MX8MP-master
```

## 5.9 Format SD card

使用单一的 SD 卡启动盘对存储介质进行烧写是开发过程中的常见任务。本章节针对此场景提供基础说明。大多数镜像的大小超过了默认的 root 分区剩余容量。要使用 SD 卡进行烧写，根文件系统需要扩展或创建一个单独的分区。有几种不同的方法可以格式化 SD 卡。最简单的方法是使用 Gparted。

### 5.9.1 Gparted

- 获取 GParted:

```
host:~$ sudo apt install gparted
```

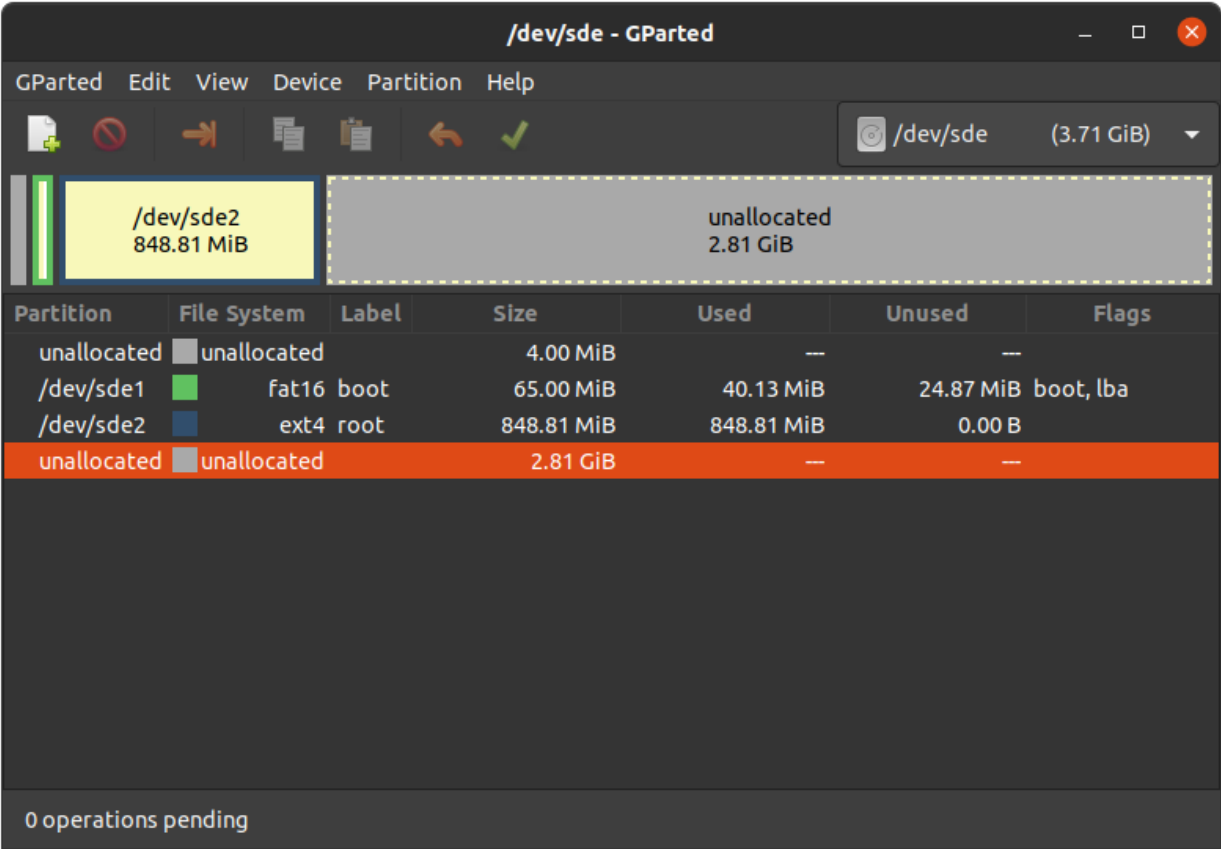
- Insert the SD card into your host and get the device name:

```
host:~$ dmesg | tail
...
[30436.175412] sd 4:0:0:0: [sdb] 62453760 512-byte logical blocks: (32.0 GB/29.8 GiB)
[30436.179846] sdb: sdb1 sdb2
...
```

- Unmount all SD card partitions.
- 启动 GParted:

```
host:~$ sudo gparted
```



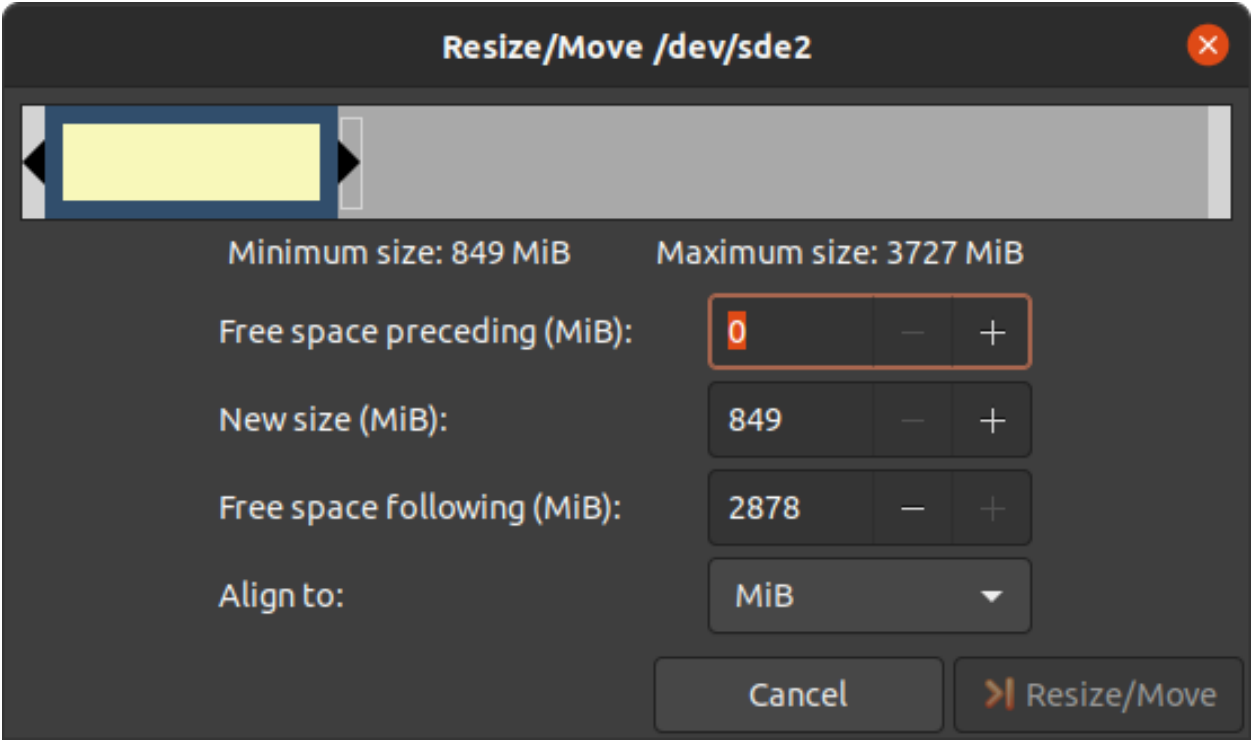
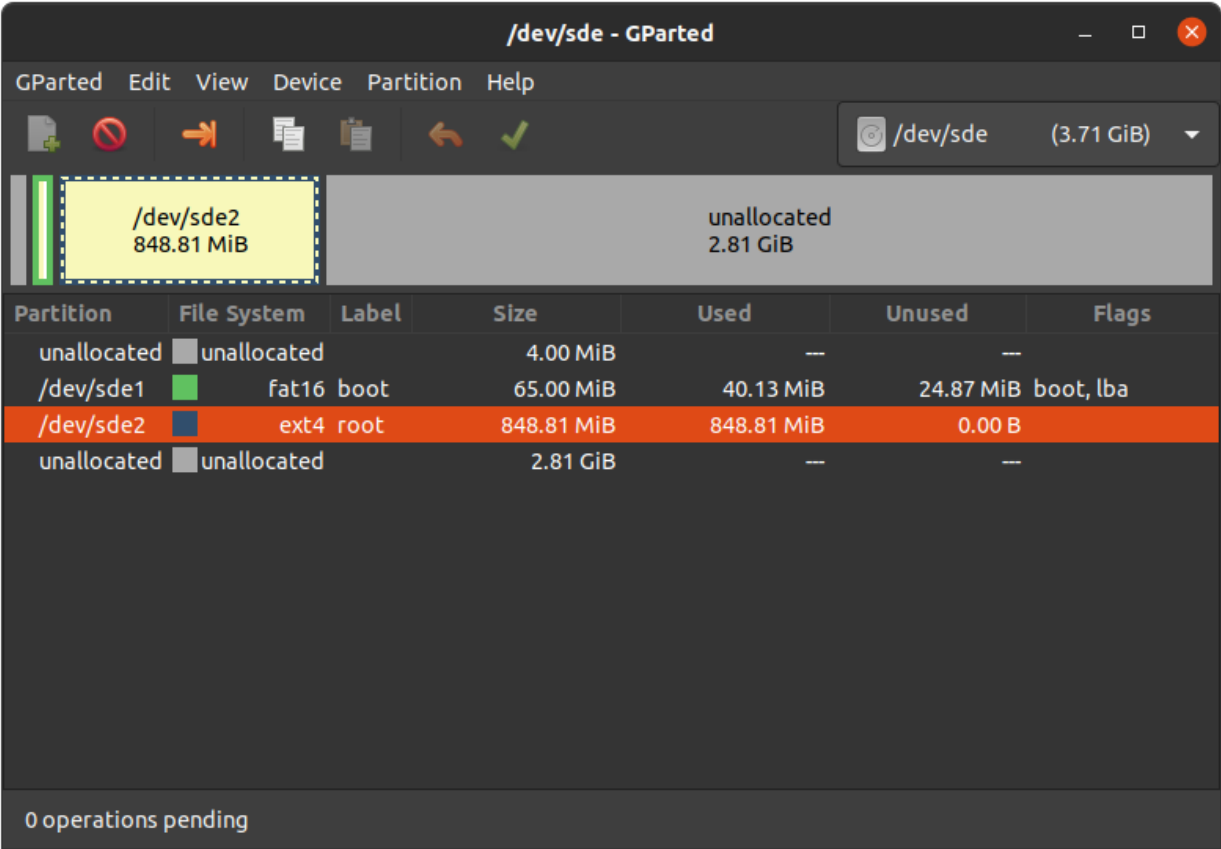


扩展根文件系统

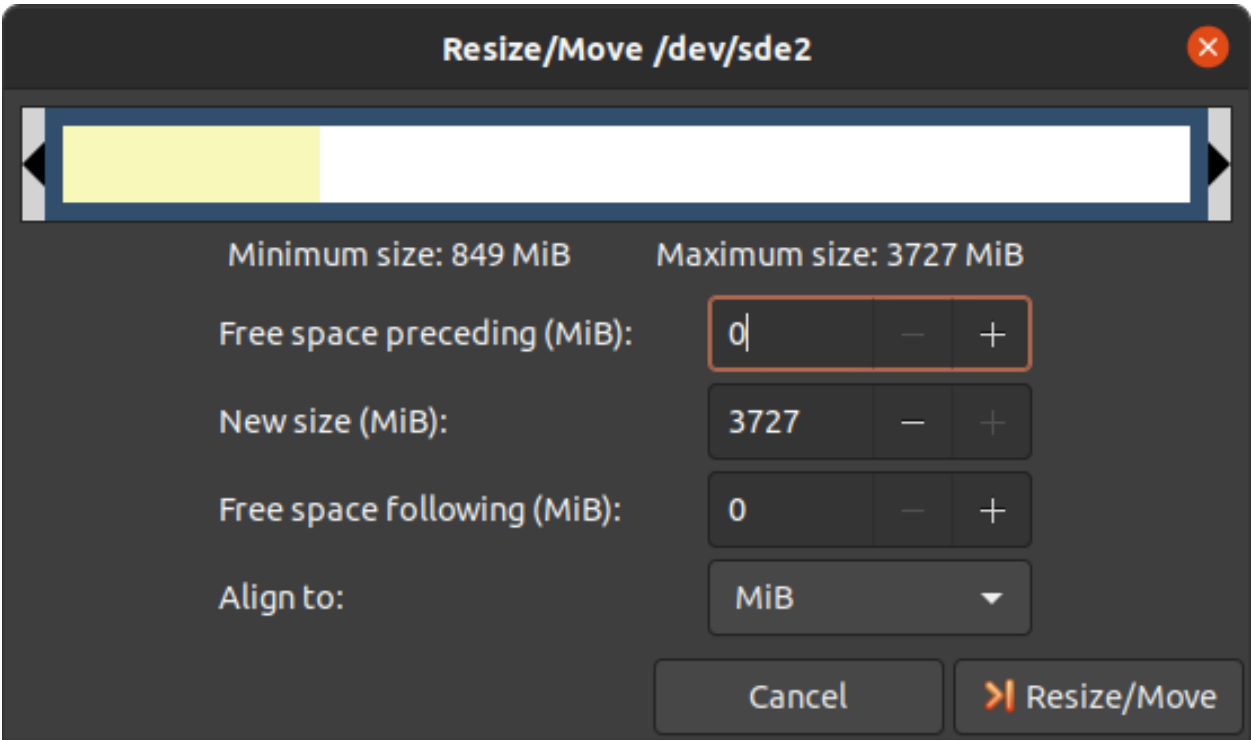
警告

使用 `resize2fs` 版本 1.46.6 及更早版本的 PC 系统（例如 Ubuntu 22.04）无法烧写在 Mickledore 以及更新的 `yocto` 版本上创建的 `partup` 软件包。这个是因为 `resize2fs` 新增了默认选项而导致的兼容性问题。有关详细信息，请参阅 [发布说明](#)。

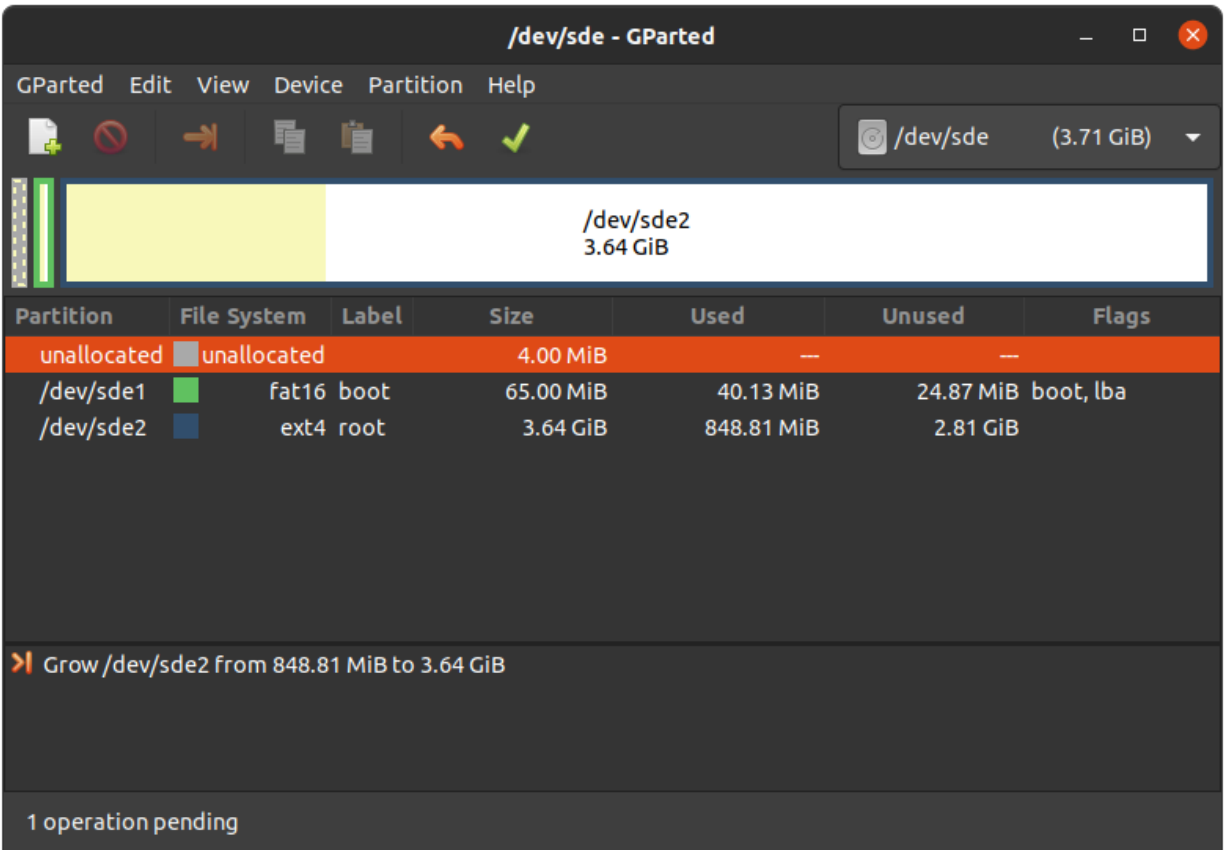
- Choose your SD card device at the drop-down menu on the top right
- 选择 `ext4` 根分区并点击调整大小：



- 您可以根据需要拖动滑块或手动输入大小。



- 通过点击 “Change Size” 按钮确认您的输入。



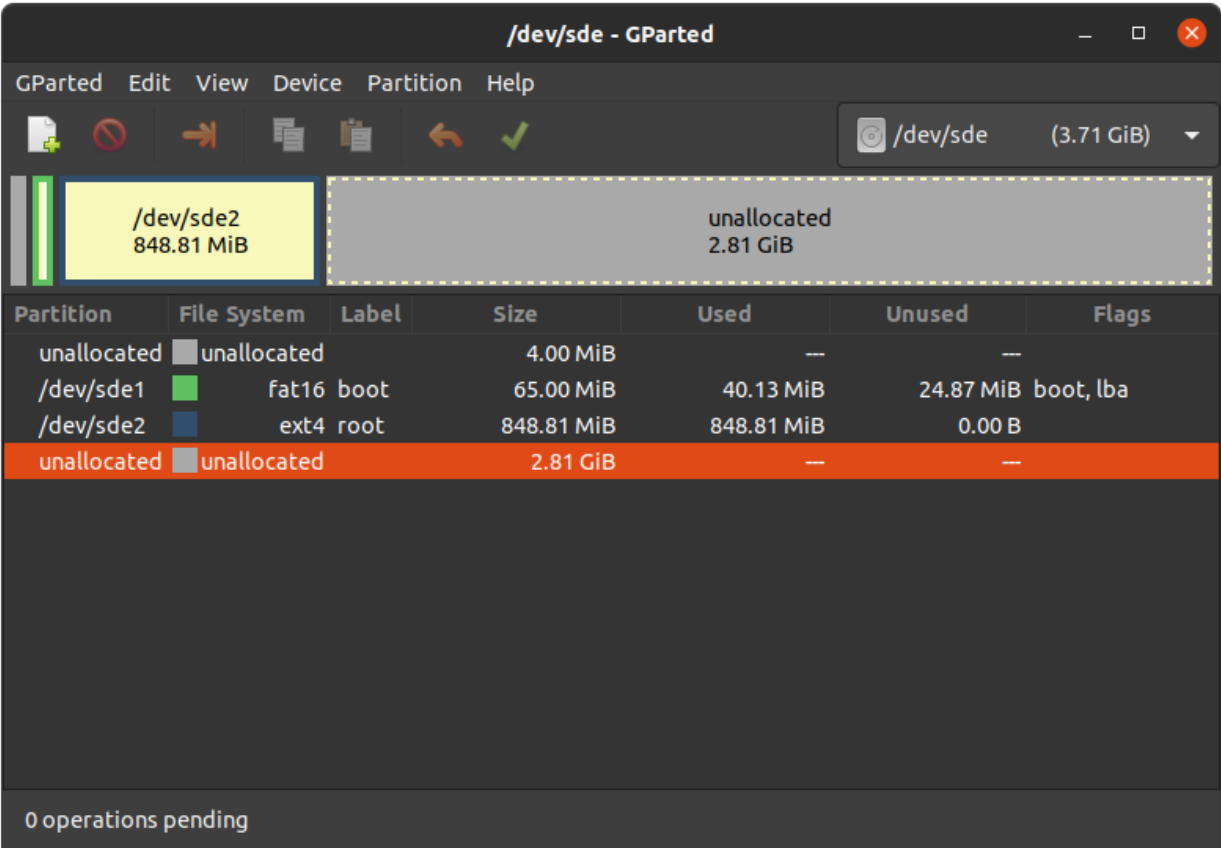
- 要应用您的更改，请按绿色勾号。

- 现在您可以挂载根分区并将 phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.wic 镜像复制到其中。然后再卸载它：

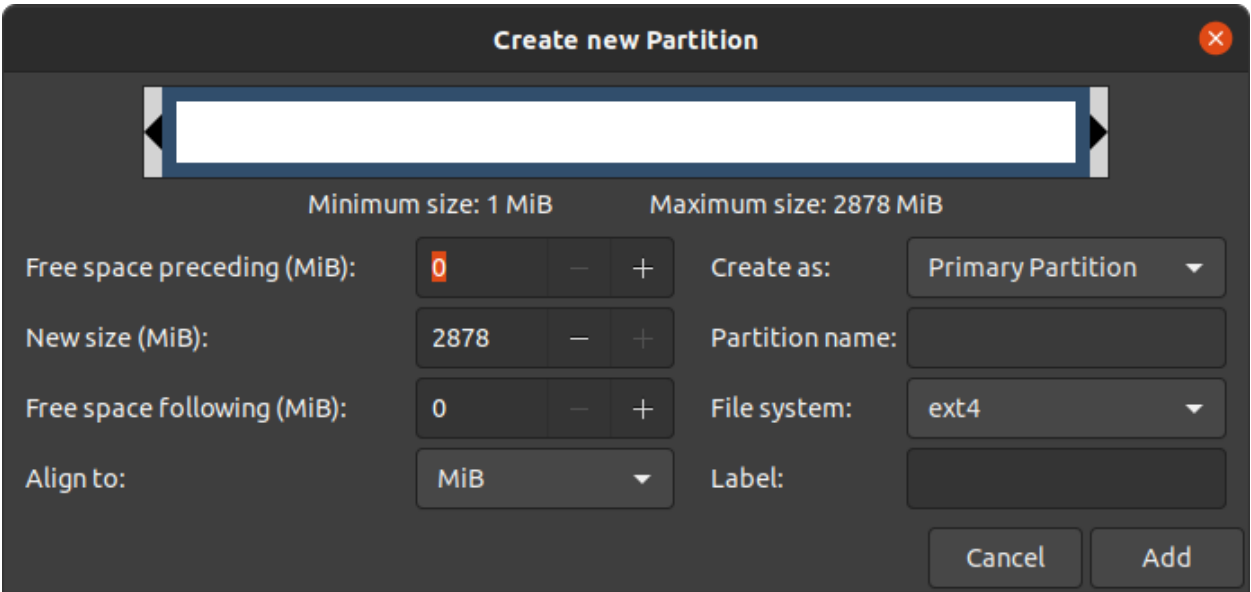
```
host:~$ sudo cp phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.wic /mnt/ ; sync
host:~$ umount /mnt
```

创建第三个分区

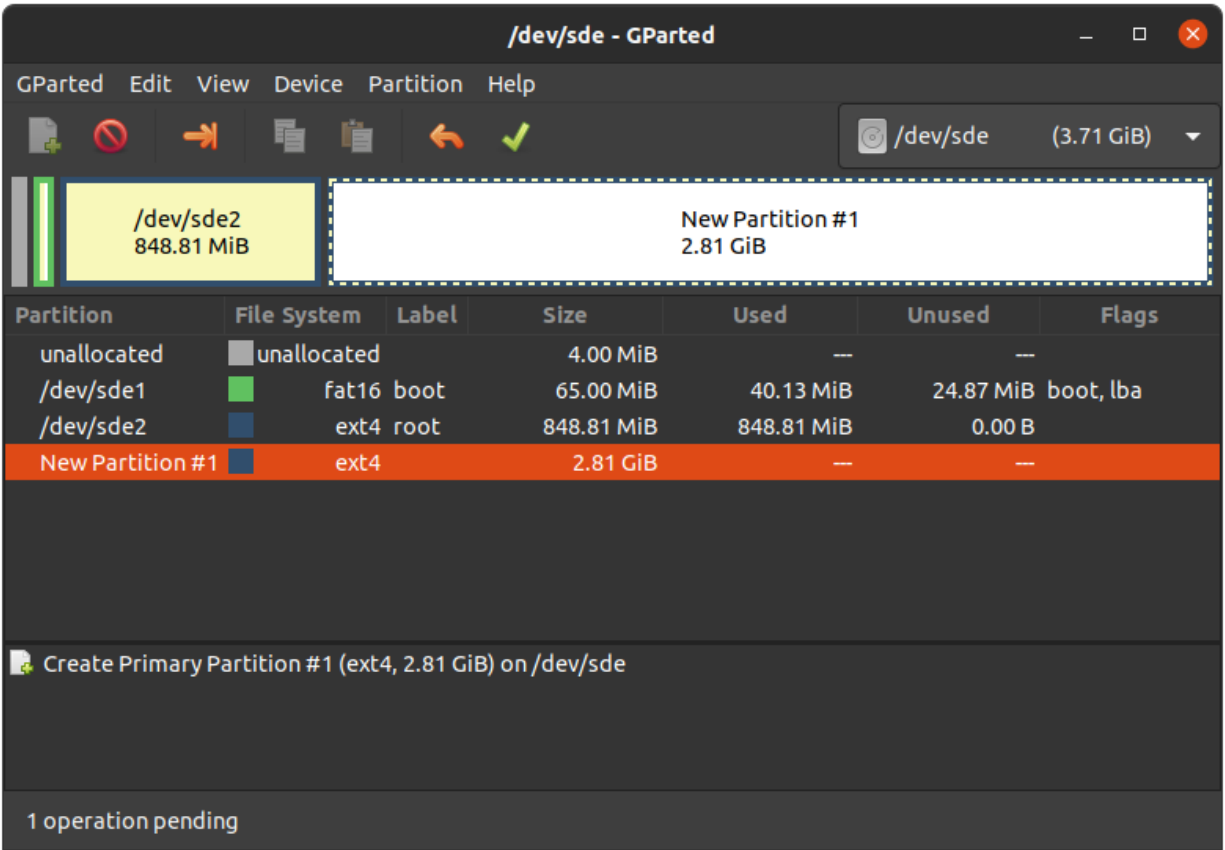
- Choose your SD card device at the drop-down menu on the top right



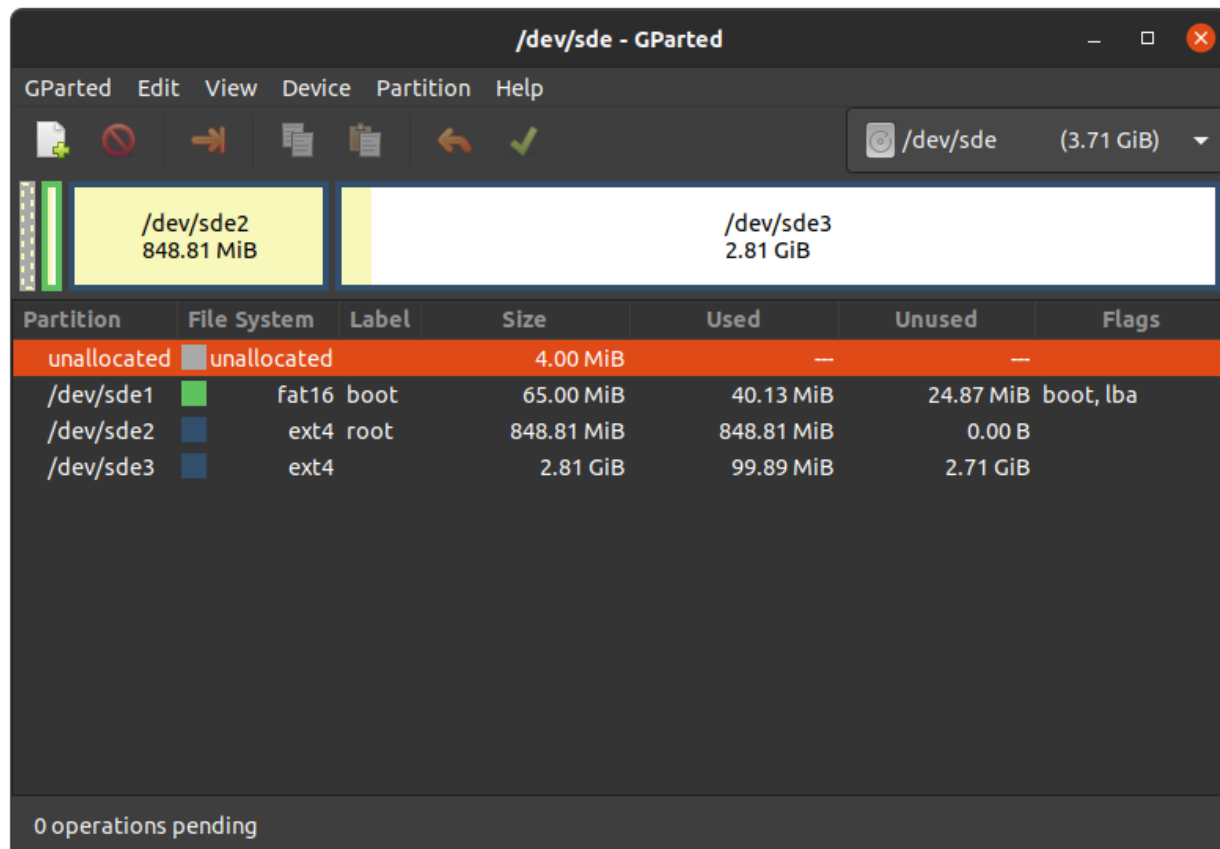
- 选择更大的未分配区域，然后点击”New”：



- 点击”Add”



- 按绿色勾确认更改。



- 现在您可以挂载新的分区并将 phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.wic 镜像复制到其中。然后卸载它：

```
host:~$ sudo mount /dev/sde3 /mnt
host:~$ sudo cp phytec-qt6demo-image-phyboard-pollux-imx8mp-3.wic /mnt/ ; sync
host:~$ umount /mnt
```

## 5.10 切换旧启动模式

### 警告

由于我们已经切换到 fitimage 启动模式，旧启动模式已被弃用。在本版本中我们保留了切换回旧启动模式的选项，但该选项将在未来移除。

### 5.10.1 Yocto 中的更改

默认情况下，fitImage 和启动脚本将被部署到 wic.xz 镜像中。要切换回旧启动模式，您需要用内核镜像和设备树替换 fitImage 和启动脚本。它们在 Yocto 构建的 deploy 文件夹中，因此您可以手动将其复制到设备的引导分区上。或者，您可以在 Yocto 中进行以下更改，以再次在镜像中部署内核和设备树。

首先创建变量 `KERNEL_DEVICETREE_DEPLOY`。例如，可以在构建目录 `conf/local.conf` 中的 `local.conf` 文件中进行此操作。该变量是 meta-phytec 在 `conf/machine/phyboard-pollux-imx8mp-3.conf` 中设置的 `KERNEL_DEVICETREE` 变量的副本，但需要删除开头的 `freescala`，仅保留设备树文件名。最终应类似于以下内容：

```

KERNEL_DEVICETREE_DEPLOY = " \
    imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dtb \
    imx8mp-phyboard-pollux-isp-csil.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-isp-csi2.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-isi-csil.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-isi-csi2.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-peb-av-10.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-peb-wlbt-05.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm016-csil.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm016-csil-fpdlink-port0.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm016-csil-fpdlink-port1.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm016-csi2.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm016-csi2-fpdlink-port0.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm016-csi2-fpdlink-port1.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm017-csil.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm017-csil-fpdlink-port0.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm017-csil-fpdlink-port1.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm017-csi2.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm017-csi2-fpdlink-port0.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm017-csi2-fpdlink-port1.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm020-csil.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm020-csil-fpdlink-port0.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm020-csil-fpdlink-port1.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm020-csi2.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm020-csi2-fpdlink-port0.dtbo \
    imx8mp-phyboard-pollux-vm020-csi2-fpdlink-port1.dtbo \
    imx8mp-phycore-no-eth.dtbo \
    imx8mp-phycore-no-rtc.dtbo \
    imx8mp-phycore-no-spiflash.dtbo \
    imx8mp-phycore-rpmsg.dtbo \
"

```

然后加入这一行：

```
IMAGE_BOOT_FILES:mx8m-nxp-bsp:append = " Image of tree ${KERNEL_DEVICETREE_DEPLOY}"
```

#### 备注

需要 clean 来让改动生效

```
bitbake -c cleanall phytec-qt6demo-image
```

开始构建：

```
host:~$ bitbake phytec-qt6demo-image
```

### 5.10.2 U-Boot 环境变量修改

通过设置以下变量重新使能旧启动模式：

```

uboot=> setenv dolegacyboot 1
uboot=> env save; env save;
uboot=> boot

```





## 6.1 介绍

以下文本简要描述了设备树，关于设备树的相关文档可以在 Linux kernel 文档中找到 (<https://docs.kernel.org/devicetree/usage-model.html>)。

“Open Firmware Device Tree” 或简称设备树 (DT) 是一种用于描述硬件的数据结构和语言。更具体地说，它是一个可由操作系统读取的硬件描述，以便操作系统不需要对 machine 的细节进行硬编码

内核文档是学习设备树的一个非常好的资源。关于设备树数据格式的概述可以在 [devicetree.org](https://devicetree.org) 的设备树使用页面找到。

## 6.2 PHYTEC i.MX 8M Plus BSP 设备树概念

以下部分说明了 PHYTEC 配置基于 i.MX 8M Plus 的核心板设备树的一些规则。

### 6.2.1 设备树结构

- *Module.dtsi* - 文件包括所有安装在核心板上的设备，例如 PMIC 和 RAM。
- *Board.dts* - 包含核心板 dtsi 文件。从 SoC i.MX 8M Plus 引出并在底板使用的设备也包含在此 dts 中。
- *Overlay.dts* - 根据核心板或底板上可选硬件（例如 SPI 闪存或 PEB-AV-10）的情况来启用/禁用一些功能。

在 Linux 内核的根目录下，我们的 i.MX 8 平台的设备树文件可以在 `arch/arm64/boot/dts/freescale/` 找到。

### 6.2.2 设备树 Overlay

设备树 Overlay 是可以在启动时合并到设备树中的设备树片段。下面是扩展板的硬件描述。对比源码中的 `include`，overlay 通过覆盖的方式来生效。overlay 也可以根据实际开发板的硬件配置来设置设备树节点状态。设备树 Overlay 与我们 Linux 内核仓库中的其他设备树文件一起放在子文件夹 `arch/arm64/boot/dts/freescale/` 中。

`phyboard-pollux-imx8mp-3.conf` 可用的 overlay 文件有：

```

imx8mp-isi-csil.dtbo
imx8mp-isi-csi2.dtbo
imx8mp-isp-csil.dtbo
imx8mp-isp-csi2.dtbo
imx8mp-phyboard-pollux-peb-av-10.dtbo
imx8mp-phyboard-pollux-peb-wlbt-05.dtbo
imx8mp-phycore-no-eth.dtbo
imx8mp-phycore-no-rtc.dtbo
imx8mp-phycore-no-spiflash.dtbo
imx8mp-phycore-rpmsg.dtbo
imx8mp-vm016-csil.dtbo
imx8mp-vm016-csil-fpdlink.dtbo
imx8mp-vm016-csi2.dtbo
imx8mp-vm016-csi2-fpdlink.dtbo
imx8mp-vm017-csil.dtbo
imx8mp-vm017-csil-fpdlink.dtbo
imx8mp-vm017-csi2.dtbo
imx8mp-vm017-csi2-fpdlink.dtbo

```

可以在 linux 中使用以下命令来列出 FIT 镜像中所有的 overlay 配置

```
host:~$ dumpimage -l /boot/fitImage
```

或者在 u-boot:

```

u-boot=> load mmc ${mmcdev}:1 ${loadaddr} fitImage
u-boot=> iminfo

```

可以在 Linux 或 U-Boot 环境下配置 overlay。overlay 是在引导命令调用后、内核加载之前生效。接下来的部分将更详细地解释配置方法。

### 设置 \${overlays} 变量

`${overlays}` U-Boot 环境变量包含一个以井号 # 分隔的 overlay 文件列表，这些 overlay 文件将在启动过程中应用。overlays 变量中的 overlay 列表会包含在 FIT 镜像中。在 `$KERNEL_DEVICE_TREE` 这个 Yocto machine 变量中设置的 overlay 文件将自动添加到 FIT 镜像中。

`${overlays}` 变量可以直接在 U-Boot 环境中设置，也可以作为外部 `bootenv.txt` 环境文件的一部分。当希望使用在 U-Boot 环境中手工配置的 overlay 变量，可以配置 `env set no_bootenv 1`，因为 overlay 变量可能在运行启动脚本时被覆盖。默认情况下，`${overlays}` 变量来自位于启动分区的 `bootenv.txt` 文件。您可以在已启动的开发板上从 Linux 读取和写入该文件：

```

target:~$ cat /boot/bootenv.txt
overlays=conf-imx8mp-phyboard-pollux-rdk-peb-eval-01.dtbo#conf-imx8mp-phyboard-pollux-peb-av-10.dtbo

```

更改将在下次重启后生效。如果没有可用的 `bootenv.txt` 文件，可以直接在 U-Boot 环境中设置 overlay 变量。

```

u-boot=> setenv overlays conf-imx8mp-phyboard-pollux-peb-av-10.dtbo
u-boot=> printenv overlays
overlays=conf-imx8mp-phyboard-pollux-peb-av-10.dtbo
u-boot=> boot

```

如果用户定义了 `${overlays}` 变量，同时存在 `bootenv.txt` 文件，则需要设置 `${no_bootenv}` 变量：

```
u-boot=> setenv no_bootenv 1
u-boot=> setenv overlays conf-imx8mp-phyboard-pollux-peb-av-10.dtbo
u-boot=> boot
```

有关环境的更多信息，请参见 U-boot External Environment subsection of the *device tree overlay section*。

我们使用 `${overlays}` 变量来描述在运行时无法自动检测的扩展板和摄像头。如果想禁用 `${overlays}` 变量中列出的 overlay，可以在 U-Boot 的环境中将 overlay 变量 unset，并且将 `${no_overlays}` 变量设置为 1。

```
u-boot=> env delete overlays
u-boot=> env set no_bootenv 1
```

如果希望通过 bootenv.txt 文件设置除 overlay 之外的 U-Boot 变量并且禁用 overlay，可以从 bootenv.txt 文件中删除 overlay 定义行，而不是设置 no\_bootenv。

### 不同的 SoM 配置

核心板会自动加载额外的 overlay，以禁用核心板未贴装的组件。通过读取出厂 EEPROM 数据（EEPROM SoM Detection）来实现自动加载对应的 overlay。

核心板型号会决定是否应用设备树 overlay。要在 U-Boot 环境中查询是否会应用某个 overlay，请运行：

```
u-boot=> env print fit_extensions
```

如果没有可用的 EEPROM 数据，则不加载任何设备树 overlay。

要禁止启动时自动加载不同核心板的 overlay，可以在 bootloader 环境中将 `${no_extensions}` 变量设置为 1：

```
u-boot=> setenv no_extensions 1
u-boot=> boot
```

### 6.2.3 U-boot 外部环境

在 Linux 内核启动时，外部环境 bootenv.txt 文本文件将从 MMC 设备的 boot 分区或通过 TFTP 加载。该文件的主要目的是存储 `${overlays}` 变量。这可以针对不同的 machine 在 Yocto 中预定义不同的 overlay 配置。文件的内容在 meta-phytec 中的 Yocto recipe 中的 bootenv 中定义：<https://git.phytec.de/meta-phytec/tree/recipes-bsp/bootenv?h=scarthgap>

该文件中也可以设置其他变量。这些变量将覆盖环境中现有的设置。但只有对 boot 命令后进行计算的变量生效，例如 `${nfsroot}` 或 `${mmcargs}`。在文件中更改其他变量将不会有作用。以网络启动的用法作为示例。

如果无法加载外部环境，启动过程将继续进行，并使用自带的环境变量值。

### 6.2.4 在 Linux 环境下更改开发板上的 U-boot 环境变量

Libubootenv 是我们镜像中包含的一个工具，用于在开发板 linux 上修改 U-Boot 环境。

使用以下命令打印 U-Boot 环境：

```
target:~$ fw_printenv
```

使用以下命令修改 U-Boot 环境：

```
target:~$ fw_setenv <variable> <value>
```

**小心**

Libubootenv 会读取配置文件中配置的环境变量。要修改的环境变量会被插入到该文件中，默认情况下使用 eMMC 中存储环境变量。

如果 eMMC 没有被烧写过或者 eMMC 环境被擦除，libubootenv 将无法工作。您应该修改 `/etc/fw_env.config` 文件，以匹配您想要使用的环境源。

To find out which boards and modules are supported by the release of PHYTEC's phyCORE-i.MX 8M Plus BSP described herein, visit [our BSP](#) web page and click the corresponding BSP release in the download section. Here you can find all hardware supported in the columns "Hardware Article Number" and the correct machine name in the corresponding cell under "Machine Name".

为了最大化软件的可复用性，Linux 内核提供了一个巧妙的软件架构，软件会根据不同硬件组件来分层。BSP（板级支持包）尽可能地对套件的功能进行模块化。当定制开发板或自定义核心板时，大部分软件配置可以简单的复制粘贴。与具体的开发板相关的内核代码可以在内核代码仓库中的设备树（DT）中找到，路径为 `arch/arm64/boot/dts/freescale/*.dts`。

实际上，软件复用是 Linux 内核最重要的特性之一，尤其是在 ARM 架构中，它必须应对大量复杂且不同的系统级芯片（SoC）。整个开发板的硬件在设备树（DT）中描述，独立于内核镜像。硬件描述在一个单独的二进制文件中，称为设备树二进制文件（Device Tree Blob, DTB）（参见 [device tree](#)）。

请阅读 PHYTEC i.MX 8M Plus BSP 设备树概念部分，以了解我们的 i.MX 8 BSP 设备树模型。

以下部分概述了 i.MX 8 平台上支持的硬件组件及其对应操作系统驱动程序。客户可以根据自身的需求进行更改。

## 7.1 i.MX 8M Plus 引脚复用

该 i.MX 8M Plus Soc 包含许多外设接口。为了在保持最大功能性的同时减少封装尺寸和降低整体系统成本，许多 i.MX 8M Plus 引脚可以多路复用为多达八种信号功能。尽管存在许多可能的引脚多路复用组合，但由于时序限制，只有一定数量的组合被称为有效的 IO 集合。这些有效的 IO 集合经过精心挑选，以为用户提供尽可能多的应用场景。

请参考我们的硬件手册或 NXP i.MX 8M Plus 参考手册，以获取有关特定引脚和复用能力的更多信息。

IO 集合的配置，也称为复用（muxing），是在设备树中完成的。驱动程序 `pinctrl-single` 读取设备树的节点 `fsl,pins`，并进行引脚复用配置。

以下是 `imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dts` 中 UART1 设备的引脚复用示例：

```
pinctrl_uart1: uart1grp {
    fsl,pins = <
        MX8MP_IOMUXC_UART1_RXD_UART1_DCE_RX    0x140
        MX8MP_IOMUXC_UART1_TXD_UART1_DCE_TX    0x140
    >;
};
```

字符串的第一部分 `MX8MP_IOMUXC_UART1_RXD_UART1_DCE_RX` 指定了引脚（在这个例子中是 `UART1_RXD`）。字符串的第二部分（`UART1_DCE_RX`）是该引脚所选的复用项。引脚设置值（右侧的十六进制值）定义了引脚的不同模式，例如，内部拉电阻是否被激活。在当前情况下，内部拉电阻被禁用。

UART1 引脚复用的设备树：<https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dts#L373>

## 7.2 RS232/RS485

The phyCORE-i.MX 8M Plus supports up to 4 UART units. On the phyBOARD-Pollux, TTL level signals of UART1 (the standard console) and UART4 are routed to Silicon Labs CP2105 UART to USB converter expansion. This USB is brought out at Micro-USB connector X1. UART3 is at X6 (Expansion Connector) at TTL level. UART2 is connected to a multi-protocol transceiver for RS-232 and RS-485, available at pin header connector *X2* at the RS-232 level, or at the RS-485 level. The configuration of the multi-protocol transceiver is done by jumpers *JP3* and *JP4* on the baseboard. For more information about the correct setup please refer to the phyCORE-i.MX 8M Plus/phyBOARD-Pollux Hardware Manual section UARTs.

对于 RS-232 和 RS-485，使用相同的设备树节点。RS485 模式可以通过 `ioctl TIOCSRS485` 来启用。双向通讯支持也可以通过 `ioctl` 进行配置。请查看我们的小示例应用程序 `rs485test`，该程序也包含在 BSP 中。需要设置跳线 *JP3* 和 *JP4*。

### 7.2.1 RS232

- 以人类可读的格式显示终端的当前设置：

```
target:~$ stty -a
```

- UART 接口的配置可以通过 `stty` 命令完成。例如：

```
target:~$ stty -F /dev/ttymxcl 115200 crtscts raw -echo
```

- 通过简单的 `echo` 和 `cat`，可以测试基本的通信。示例：

```
target:~$ echo 123 > /dev/ttymxcl
```

```
host:~$ cat /dev/ttyUSB2
```

主机应打印出“123”。

### 7.2.2 RS485

#### 提示

在使用较长电缆时，请记得在总线两端各使用 120 欧姆的终端电阻。

为了方便测试，请查看 `linux-serial-test`。这个工具会通过调用 RS485 的 `IOCTL`，发送恒定的数据流。

```
target:~$ linux-serial-test -p /dev/ttymxcl -b 115200 --rs485 0
```

有关 linux-serial-test 工具及其参数的更多信息，请访问此链接：[linux-serial-test](#)

linux-serial-test 会自动设置 ioctl，也可以通过 rs485conf 手动设置。

你可以用以下命令显示当前配置：

```
target:~$ rs485conf /dev/ttymxcl
```

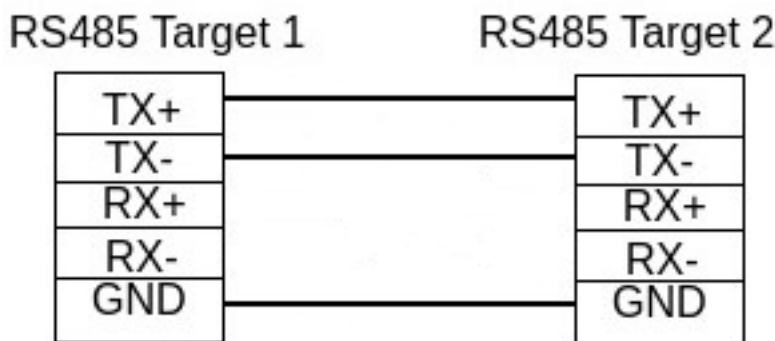
您可以通过以下方式列出帮助选项：

```
target:~$ rs485conf /dev/ttymxcl -h
```

Linux kernel 文档描述了如何在 C 代码中调用 IOCTL：<https://www.kernel.org/doc/Documentation/serial/serial-rs485.txt>

### RS485 半双工

对于半双工模式，应按下图方式连接：



硬件手册中有描述各个引脚的功能。

对于半双工模式，您可以手动设置 ioctls，如下所示：

```
target:~$ rs485conf /dev/ttymxcl -e 1 -r 0
target:~$ rs485conf /dev/ttymxcl
= Current configuration:
RS485 enabled:           true
RTS on send:             high
RTS after send:          low
RTS delay before send:   0
RTS delay after send:    0
Receive during sending data: false
Bus termination enabled: false
```

然后您可以测试发送和接收是否正常工作，方法如下：

```
target1:~$ cat /dev/ttymxcl
target2:~$ echo test > /dev/ttymxcl
```

您应该会在 target1 上看到“test”打印出来。您也可以切换角色，在 target2 上发送并在 target1 上接收。

或者，您还可以使用 linux-serial-test 工具进行测试：

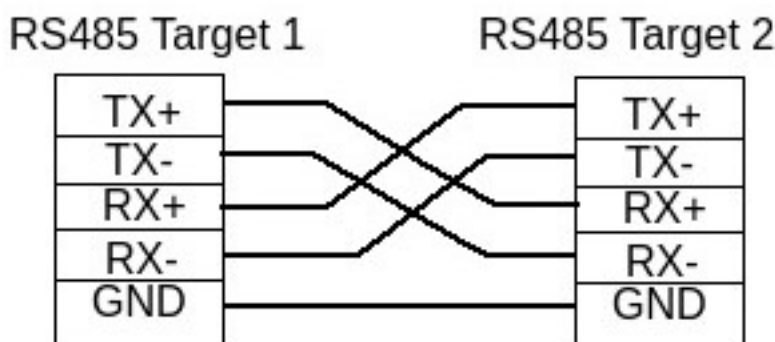
```
target1:~$ linux-serial-test -s -e -f -p /dev/ttymxcl -b 115200 --rs485 0 -t -i 8
...
/dev/ttymxcl: count for this session: rx=57330, tx=0, rx err=0
target2:~$ linux-serial-test -s -e -f -p /dev/ttymxcl -b 115200 --rs485 0 -r -o 5
...
/dev/ttymxcl: count for this session: rx=0, tx=57330, rx err=0
```

在此示例中，target1 将是接收器，target2 将是发射器。您还可以切换角色。请记住，先启动接收方，然后再启动发射方。接收方将接收 8 秒，发射方将在 5 秒内发送。接收方需要比发射器发送的时间稍长一些。程序结束时打印最终的“count for this session”。在那里，您可以检查所有发送的帧是否都被接收到。

所有测试都是 target 到 target，但也可以使用 USB 到 RS485 转换器进行主机到目标的测试。您可能需要调整接口。

### RS485 全双工

对于全双工模式，您应按下图连接：



硬件手册中有描述各个引脚的功能。

对于全双工模式，您可以手动设置 ioctls，如下所示：

```
target:~$ rs485conf /dev/ttymxcl -e 1 -r 1
target:~$ rs485conf /dev/ttymxcl
= Current configuration:
RS485 enabled:           true
RTS on send:             high
RTS after send:          low
RTS delay before send:   0
RTS delay after send:    0
Receive during sending data: true
Bus termination enabled: false
```

您还可以进行 echo 测试以查看发送和接收是否正常工作：

```
target1:~$ cat /dev/ttymxcl
target2:~$ echo test > /dev/ttymxcl
```

您应该会在 target1 上看到“test”打印出来。您也可以切换角色，在 target2 上发送并在 target1 上接收。要检查全双工操作是否正常工作，您需要使用 linux-serial-test 工具：



```
target1:~$ linux-serial-test -s -e -f -p /dev/ttymxcl -b 115200 --rs485 0 -o 10 -i 15 -W 2
...
/dev/ttymxcl: count for this session: rx=114660, tx=118755, rx err=0
target2:~$ linux-serial-test -s -e -f -p /dev/ttymxcl -b 115200 --rs485 0 -o 10 -i 15 -W 2
...
/dev/ttymxcl: count for this session: rx=118755, tx=114660, rx err=0
```

在此示例中，两个目标设备将同时发送和接收。它们将在 15 秒内接收并在 10 秒内发送。接收方需要接收更长时间，以便所有发送的消息都能接收到。请记住几乎同时启动两个目标设备。启动时间的微小差异可以通过 -W 2 选项来弥补。最后程序将打印“本会话的最终计数”。在那里您可以检查所有传输的帧是否都被接收。

所有的测试示例都是目标设备到目标设备的，但也可以通过 USB 到 RS485 转换器在主机与目标之间完成。可能需要调整接口以便命令在主机上正常工作。

RS232 和 RS485 的设备树：<https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dts#L412>

## 7.3 Ethernet

phyBOARD-Pollux-i.MX 8M Plus 提供两个以太网接口。我们的核心板和底板各提供一个千兆以太网接口。

### 警告

硬件中的以太网接口命名约定 (ethernet0 和 ethernet1) 与 Linux 中的网络接口 (eth0 和 eth1) 不一致。因此，请注意这些差异：

```
ethernet1 = eth0
ethernet0 = eth1
```

所有接口都提供一个标准的 Linux 网络端口，可以使用 BSD 套接字接口进行编程。整个网络配置由 systemd-networkd 守护进程管理。相关的配置文件可以在开发板的 /lib/systemd/network/ 目录中找到，以及在 BSP 中的 meta-ampliphy/recipes-core/systemd/systemd-conf 目录中。

IP addresses can be configured within \*.network files. The interfaces are configured to static IP as default. The default IP address and netmask for eth0 is:

```
eth0: 192.168.3.11/24
```

To configure eth0 to dynamic IP over DHCP, go to /lib/systemd/network/\*.eth0.network and delete the line:

```
Address=192.168.3.11/24
```

The DT Ethernet setup might be split into two files depending on your hardware configuration: the module DT and the board-specific DT. The device tree set up for the ethernet where the PHY is populated on the SoM can be found here: <https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phycore-som.dtsi#L50>.

The device tree set up for EQOS Ethernet IP core where the PHY is populated on the phyBOARD-Pollux can be found here: <https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dts#L179>.

### 7.3.1 网络配置

#### U-boot 网络环境

- 要在 bootloader 中查找以太网设置：

```
u-boot=> printenv ipaddr serverip netmask
```

- 在将主机设置为 IP 192.168.3.10 和子网掩码 255.255.255.0 的情况下，开发板应该返回：

```
u-boot=> printenv ipaddr serverip netmask
ipaddr=192.168.3.11
serverip=192.168.3.10
netmask=255.225.255.0
```

- 如果您需要进行任何更改：

```
u-boot=> setenv <parameter> <value>
```

<parameter> 应该是 ipaddr、netmask、gatewayip 或 serverip 中的一个。<value> 将是所选参数的设定值。

- 您所做的更改目前是临时的。要保存这些更改：

```
u-boot=> saveenv
```

在这里，您也可以将 IP 地址更改为 DHCP，而不是使用静态 IP 地址。

- 配置：

```
u-boot=> setenv ip dhcp
```

- 设置 TFTP 和 NFS 的路径。修改可以如下所示：

```
u-boot=> setenv nfsroot /home/user/nfssrc
```

请注意，这些修改只会影响 bootloader 的设置。

#### 小技巧

像 nfsroot 和 netargs 这样的变量可以被 U-boot 外部环境重新赋值。对于网络启动，外部环境将通过 tftp 加载。例如，要在 bootenv.txt 文件中设置 nfsroot 变量，请在 tftpboot 目录修改：

```
nfsroot=/home/user/nfssrc
```

无需在开发板上存储这些信息。请注意，U-boot 外部环境对于像 ipaddr 或 serveraddr 这样的变量不起作用，因为它们在加载外部环境之前已经被设置完成。

#### 内核网络环境

- 在开发板中查找 eth0 的以太网设置：

```
target:~$ ip -statistics address show eth0
2: eth0: <NO-CARRIER,BROADCAST,MULTICAST,UP> mtu 1500 qdisc mq state UP group default qlen 1000
    link/ether 50:2d:f4:19:d6:33 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
    RX:  bytes  packets  errors  dropped  missed  mcast
         0         0         0         0         0         0
```

(续下页)

(接上页)

```
TX:  bytes packets errors dropped carrier collsns
      0         0         0         0         0         0
```

- 临时调整 eth0 的配置:

```
target:~$ ip address add 192.168.3.11/24 dev eth0
```

## 7.4 WLAN/Bluetooth

在 phyBOARD-Pollux 上, WLAN 和蓝牙由 PEB-WLBT-05 扩展板提供。PEB-WLBT-05 的 phyBOARD-Pollux 快速入门指南向您展示了如何安装 PEB-WLBT-05。

### 小技巧

对于 BSP 版本 PD22.1 及更新版本, 需要先激活 PEB-WLBT-05 Overlay, 否则 PEB-WLBT-05 将无法被识别。

```
target:~$ vi /boot/bootenv.txt
```

之后, bootenv.txt 文件应该如下所示 (它还可以包含其他设备树 overlay!):

```
overlays=conf-imx8mp-phyboard-pollux-peb-wlbt-05.dtbo
```

更改将在重启后应用:

```
target:~$ reboot
```

有关设备树 overlay 的更多信息, 请阅读 *device tree* 章节。

为了支持 WLAN 和蓝牙, 我们使用来自 LSR 的 Sterling-LWB 模块。该模块支持 2.4 GHz, 并且可以在多种模式下运行, 如客户端模式、使用 WEP、WPA、WPA2 加密的接入点 (AP) 模式等。有关该模块的更多信息, 请访问 [https://connectivity-staging.s3.us-east-2.amazonaws.com/2019-09/CS-DS-SterlingLWB%20v7\\_2.pdf](https://connectivity-staging.s3.us-east-2.amazonaws.com/2019-09/CS-DS-SterlingLWB%20v7_2.pdf)

### 7.4.1 连接到 WLAN 网络

首先设置您所在国家的正确监管域:

```
target:~$ iw reg set DE
target:~$ iw reg get
```

你将会看到:

```
country DE: DFS-ETSI
(2400 - 2483 @ 40), (N/A, 20), (N/A)
(5150 - 5250 @ 80), (N/A, 20), (N/A), NO-OUTDOOR
(5250 - 5350 @ 80), (N/A, 20), (0 ms), NO-OUTDOOR, DFS
(5470 - 5725 @ 160), (N/A, 26), (0 ms), DFS
(57000 - 66000 @ 2160), (N/A, 40), (N/A)
```

设置无线接口:

```
target:~$ ip link
target:~$ ip link set up dev wlan0
```

现在您可以扫描可用的网络:

```
target:~$ iw wlan0 scan | grep SSID
```

您可以使用一个跨平台的客户端，名为 `wpa_supplicant`，支持 WEP、WPA 和 WPA2，以建立加密连接。为此，请将网络凭据添加到文件 `/etc/wpa_supplicant.conf` 中：

```
country=DE
network={
    ssid="<SSID>"
    proto=WPA2
    psk="<KEY>"
}
```

现在可以建立连接：

```
target:~$ wpa_supplicant -D nl80211 -c /etc/wpa_supplicant.conf -i wlan0 -B
```

这会得到如下输出：

```
Successfully initialized wpa_supplicant
```

ip 地址自动通过 DHCP 配置。有关其他可能的 IP 配置，请参阅 Yocto Reference Manual (scarthgap) 中的“更改网络配置”部分。

## 7.4.2 蓝牙

Bluetooth is supported on phyBOARD-Pollux with the PEB-WLBT-05 expansion card. How this can be activated is described in the WLAN/Bluetooth section.

Bluetooth is connected to UART3 interface. The Bluetooth device needs to be set up manually:

```
target:~$ hciconfig hci0 up

target:~$ hciconfig -a

hci0:  Type: Primary  Bus: UART
      BD Address: 00:25:CA:2F:39:96  ACL MTU: 1021:8  SCO MTU: 64:1
      UP RUNNING PSCAN
      RX bytes:1392 acl:0 sco:0 events:76 errors:0
      TX bytes:1198 acl:0 sco:0 commands:76 errors:0
      ...
```

现在您可以扫描环境中的可见蓝牙设备。在默认配置下，蓝牙是不可见的。

```
target:~$ hcitool scan
Scanning ...
      XX:XX:XX:XX:XX:XX      <SSID>
```

## 7.4.3 可见性

要激活可见性：

```
target:~$ hciconfig hci0 piscan
```

要禁用可见性：

```
target:~$ hciconfig hci0 noscan
```

#### 7.4.4 连接

```
target:~$ bluetoothctl
[bluetooth]# discoverable on
Changing discoverable on succeeded
[bluetooth]# pairable on
Changing pairable on succeeded
[bluetooth]# agent on
Agent registered
[bluetooth]# default-agent
Default agent request successful
[bluetooth]# scan on
[NEW] Device XX:XX:XX:XX:XX:XX <name>
[bluetooth]# connect XX:XX:XX:XX:XX:XX
```

##### 备注

如果连接失败并出现错误信息：“Failed to connect: org.bluez.Error.Failed”，请尝试使用以下命令重新启动 PulseAudio：

```
target:~$ pulseaudio --start
```

## 7.5 SD card

The i.MX 8M Plus supports a slot for Secure Digital cards to be used as general-purpose block devices. These devices can be used in the same way as any other block device.

##### 警告

这些设备是热插拔的。然而，您必须确保在设备仍然挂载时不要拔掉它。这可能会导致数据丢失！

After inserting an SD card, the kernel will generate new device nodes in /dev. The full device can be reached via its /dev/mmcblk1 device node. SD card partitions will show up as:

```
/dev/mmcblk1p<Y>
```

<Y> 作为分区编号，从 1 开始计数，直到该设备的最大分区数量。分区可以使用任何类型的文件系统进行格式化，并且可以以标准方式进行处理，例如，可以使用 mount 和 umount 命令进行分区挂载和卸载。

##### 小技巧

这些分区设备节点要求 SD 卡包含有效的分区表（类似于“硬盘”）。如果没有分区表，则整个设备作为一个文件系统使用（类似于“软盘”）。在这种情况下，必须使用 /dev/mmcblk1 进行格式化和挂载。卡始终以可写方式挂载。

MMC (SD 卡插槽) 接口的设备树：<https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dts#L422>

eMMC 接口的 DT 配置: <https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phycore-som.dtsi#L214>

## 7.6 eMMC Devices

PHYTEC modules like phyCORE-i.MX 8M Plus are populated with an eMMC memory chip as the main storage. eMMC devices contain raw Multi-Level Cells (MLC) or Triple-Level Cells (TLC) combined with a memory controller that handles ECC and wear leveling. They are connected via an SD/MMC interface to the i.MX 8M Plus and are represented as block devices in the Linux kernel like SD cards, flash drives, or hard disks.

The electric and protocol specifications are provided by JEDEC (<https://www.jedec.org/standards-documents/technology-focus-areas/flash-memory-ssds-ufs-emmc/e-mmc>). The eMMC manufacturer's datasheet is relatively short and meant to be read together with the supported version of the JEDEC eMMC standard.

PHYTEC currently utilizes the eMMC chips with JEDEC Version 5.0 and 5.1

### 7.6.1 扩展 CSD 寄存器

eMMC devices have an extensive amount of extra information and settings that are available via the Extended CSD registers. For a detailed list of the registers, see manufacturer datasheets and the JEDEC standard.

在 Linux 用户空间中, 您可以查询寄存器:

```
target:~$ mmc extcsd read /dev/mmcblk2
```

你将会看到:

```
=====
Extended CSD rev 1.7 (MMC 5.0)
=====

Card Supported Command sets [S_CMD_SET: 0x01]
[...]
```

### 7.6.2 使能后台操作 (BKOPS)

In contrast to raw NAND Flash, an eMMC device contains a Flash Transfer Layer (FTL) that handles the wear leveling, block management, and ECC of the raw MLC or TLC. This requires some maintenance tasks (for example erasing unused blocks) that are performed regularly. These tasks are called **Background Operations (BKOPS)**.

默认情况下 (取决于芯片), 后台操作可能会定期执行, 也可能不会, 他影响读写的最大延迟时间。

The JEDEC Standard has specified a method since version v4.41 that the host can issue BKOPS manually. See the JEDEC Standard chapter Background Operations and the description of registers BKOPS\_EN (Reg: 163) and BKOPS\_START (Reg: 164) in the eMMC datasheet for more details.

寄存器 BKOPS\_EN (寄存器: 163) 的位 MANUAL\_EN (位 0) 的含义:

- 值 0: 主机不支持手动触发 BKOPS。设备写入性能会受到影响。
- 值 1: 主机支持手动触发 BKOPS。当主机不进行设备读写时, 它会不时触发 BKOPS。

The mechanism to issue background operations has been implemented in the Linux kernel since v3.7. You only have to enable BKOPS\_EN on the eMMC device (see below for details).

JEDEC 标准 v5.1 引入了一种新的自动 BKOPS 功能。它使主机能够定期触发后台操作，因为设备在空闲时会自动启动 BKOPS（请参见寄存器 BKOPS\_EN（寄存器：163）中位 AUTO\_EN 的描述）。

- 要检查 BKOPS\_EN 是否已设置，请执行：

```
target:~$ mmc extcsd read /dev/mmcblk2 | grep BKOPS_EN
```

输出将会是，例如：

```
Enable background operations handshake [BKOPS_EN]: 0x01
#OR
Enable background operations handshake [BKOPS_EN]: 0x00
```

值 0x00 表示 BKOPS\_EN 被禁用，设备的写入性能受到影响。值 0x01 表示 BKOPS\_EN 被启用，主机将不时发起后台操作。

- 通过以下命令使能 BKOPS\_EN：

```
target:~$ target:~$ mmc --help

[...]
mmc bkops_en <auto|manual> <device>
    Enable the eMMC BKOPS feature on <device>.
    The auto (AUTO_EN) setting is only supported on eMMC 5.0 or newer.
    Setting auto won't have any effect if manual is set.
    NOTE! Setting manual (MANUAL_EN) is one-time programmable (unreversible) change.
```

- 要设置 BKOPS\_EN 位，请执行：

```
target:~$ mmc bkops_en manual /dev/mmcblk2
```

- 为了确保新设置生效并且内核能够自动触发 BKOPS，请先关闭系统：

```
target:~$ poweroff
```

#### 小技巧

BKOPS\_EN 位是一次性可编程的，无法恢复。

## 7.6.3 可靠写入

有两种不同的可靠写入选项：

1. Reliable Write option for a whole e.MMC device/partition.
2. 单次写的可靠写入方式。

#### 小技巧

Do not confuse e.MMC partitions with partitions of a DOS, MBR, or GPT partition table (see the previous section).

The first Reliable Write option is mostly already enabled on the e.MMCs mounted on the phyCORE-i.MX 8M Plus SoMs. To check this on the running target:

```
target:~$ mmc extcsd read /dev/mmcblk2 | grep -A 5 WR_REL_SET
Write reliability setting register [WR_REL_SET]: 0x1f
user area: the device protects existing data if a power failure occurs during a write operation
partition 1: the device protects existing data if a power failure occurs during a write operation
partition 2: the device protects existing data if a power failure occurs during a write operation
partition 3: the device protects existing data if a power failure occurs during a write operation
partition 4: the device protects existing data if a power failure occurs during a write operation
--
Device supports writing EXT_CSD_WR_REL_SET
Device supports the enhanced def. of reliable write
```

如果默认没有启用，可以使用 mmc 工具启用它：

```
target:~$ mmc --help

[...]
mmc write_reliability set <-y|-n|-c> <partition> <device>
    Enable write reliability per partition for the <device>.
    Dry-run only unless -y or -c is passed.
    Use -c if more partitioning settings are still to come.
    NOTE! This is a one-time programmable (unreversible) change.
```

第二个可靠写入方式是命令 CMD23 中的配置位 Reliable Write Request parameter (可靠写入请求参数) (位 31)。自内核版本 v3.0 起，文件系统（例如 ext4 的日志）和用户空间应用程序（如 fdisk 的分区表）会通过内核使用该可靠写功能。在 Linux 内核源代码中，它通过标志 REQ\_META 进行处理。

**结论：**使用挂载选项 data=journal 的 ext4 文件系统在断电情况下是安全的。文件系统检查可以在断电后恢复文件系统，但在断电前刚写入的数据可能会丢失。在各种情况下，都可以恢复文件系统的正常状态。为了确保应用程序文件的正常保存，应用程序中应使用系统函数 fdatasync 或 fsync。

## 7.6.4 调整 ext4 根文件系统的大小

When flashing the SD card image to eMMC the ext4 root partition is not extended to the end of the eMMC. parted can be used to expand the root partition. The example works for any block device such as eMMC, SD card, or hard disk.

- 获取当前设备大小：

```
target:~$ parted /dev/mmcblk2 print
```

- 输出如下：

```
Model: MMC Q2J55L (sd/mmc)
Disk /dev/mmcblk2: 7617MB
Sect[ 1799.850385] mmcblk2: p1 p2
or size (logical/physical): 512B/512B
Partition Table: msdos
Disk Flags:

Number  Start   End     Size    Type     File system  Flags
  1      4194kB  72.4MB  68.2MB  primary  fat16        boot, lba
  2      72.4MB  537MB   465MB   primary  ext4
```



- 使用 parted 将文件系统分区调整为设备的最大大小:

```
target:~$ parted /dev/mmcblk2 resizepart 2 100%
Information: You may need to update /etc/fstab.

target:~$ parted /dev/mmcblk2 print
Model: MMC Q2J55L (sd/mmc)
Disk /dev/mmcblk2: 7617MB
Sector size (logical/physical): 512[ 1974.191657]  mmcblk2: p1 p2
B/512B
Partition Table: msdos
Disk Flags:

Number  Start   End     Size    Type     File system  Flags
  1      4194kB  72.4MB  68.2MB  primary  fat16        boot, lba
  2      72.4MB  7617MB  7545MB  primary  ext4
```

- 将文件系统调整为新的分区大小:

```
target:~$ resize2fs /dev/mmcblk2p2
resize2fs 1.46.1 (9-Feb-2021)
Filesystem at /dev/mmcblk2p2 is mounted on /; on-line resizing required
[ 131.609512] EXT4-fs (mmcblk2p2): resizing filesystem
from 454136 to 7367680 blocks
old_desc_blocks = 4, new_desc_blocks = 57
[ 131.970278] EXT4-fs (mmcblk2p2): resized filesystem to 7367680
The filesystem on /dev/mmcblk2p2 is now 7367680 (1k) blocks long
```

Increasing the filesystem size can be done while it is mounted. But you can also boot the board from an SD card and then resize the file system on the eMMC partition while it is not mounted.

### 7.6.5 启用伪 SLC 模式

eMMC devices use MLC or TLC ([https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-level\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-level_cell)) to store the data. Compared with SLC used in NAND Flash, MLC or TLC have lower reliability and a higher error rate at lower costs.

如果您更喜欢可靠性而不是存储容量，可以启用伪 SLC 模式或 SLC 模式。这个方法采用了增强属性，该属性在 JEDEC 标准中有所描述，可以对设备的一个连续区域设置。JEDEC 标准并未规定增强属性的实现细节和保证，这由芯片制造商自行决定。对于美光 (Micron) 芯片，增强属性提高了可靠性，但也将容量减半。

#### 警告

在设备上启用增强属性时，所有数据将被丢失。

以下步骤展示了如何启用增强属性。

- First obtain the current size of the eMMC device with:

```
target:~$ parted -m /dev/mmcblk2 unit B print
```

你将收到:

```
BYT;
/dev/mmcblk2:63652757504B:sd/mmc:512:512:unknown:MMC S0J58X;;
```

如您所见，该设备的容量为 63652757504 字节 = 60704 MiB。

- 要获取启用伪 SLC 模式后的设备的大小，请使用：

```
target:~$ mmc extcsd read /dev/mmcblk2 | grep ENH_SIZE_MULT -A 1
```

例如：

```
Max Enhanced Area Size [MAX_ENH_SIZE_MULT]: 0x000764
i.e. 3719168 KiB
--
Enhanced User Data Area Size [ENH_SIZE_MULT]: 0x000000
i.e. 0 KiB
```

这里的最大大小是 3719168 KiB = 3632 MiB。

- 现在，您可以通过输入以下命令为整个设备设置增强属性，例如 3719168 KiB：

```
target:~$ mmc enh_area set -y 0 3719168 /dev/mmcblk2
```

你将获得：

```
Done setting ENH_USR area on /dev/mmcblk2
setting OTP PARTITION_SETTING_COMPLETED!
Setting OTP PARTITION_SETTING_COMPLETED on /dev/mmcblk2 SUCCESS
Device power cycle needed for settings to take effect.
Confirm that PARTITION_SETTING_COMPLETED bit is set using 'extcsd read' after power cycle
```

- 为了确保新设置已生效，请关闭系统：

```
target:~$ poweroff
```

并进行上下电。建议您现在确认设置是否正确。

- 首先，检查 ENH\_SIZE\_MULT 的值，它必须是 3719168 KiB：

```
target:~$ mmc extcsd read /dev/mmcblk2 | grep ENH_SIZE_MULT -A 1
```

您应该看到：

```
Max Enhanced Area Size [MAX_ENH_SIZE_MULT]: 0x000764
i.e. 3719168 KiB
--
Enhanced User Data Area Size [ENH_SIZE_MULT]: 0x000764
i.e. 3719168 KiB
```

- 最后，检查设备的大小：

```
target:~$ parted -m /dev/mmcblk2 unit B print
BYT;
/dev/mmcblk2:31742492672B:sd/mmc:512:512:unknown:MMC S0J58X;
```

## 7.6.6 擦除设备

It is possible to erase the eMMC device directly rather than overwriting it with zeros. The eMMC block management algorithm will erase the underlying MLC or TLC or mark these blocks as discard. The data on the device is lost and will be read back as zeros.

- After booting from SD card execute:

```
target:~$ blkdiscard -f --secure /dev/mmcblk2
```

选项 `--secure` 确保命令在 eMMC 设备擦除所有块之前会等待。`-f` (强制) 选项强制擦写, 当 eMMC 设备包含有效数据分区时需要使用 `-f` 选项。

#### 小技巧

```
target:~$ dd if=/dev/zero of=/dev/mmcblk2 conv=fsync
```

该命令也会擦除设备上的所有信息, 但这个命令不利于设备的磨损均衡, 并且需要花费更长的时间!

### 7.6.7 e.MMC Boot Partitions

An e.MMC device contains four different hardware partitions: user, boot1, boot2, and rpmb.

The user partition is called the User Data Area in the JEDEC standard and is the main storage partition. The partitions boot1 and boot2 can be used to host the bootloader and are more reliable. Which partition the i.MX 8M Plus uses to load the bootloader is controlled by the boot configuration of the e.MMC device. The partition rpmb is a small partition and can only be accessed via a trusted mechanism.

此外, User 分区可以分为四个自定义的一般用途分区。对此功能的解释不在本文件涵盖的范围。有关更多信息, 请参阅 JEDEC 标准第 7.2 章分区管理。

#### 小技巧

Do not confuse e.MMC partitions with partitions of a DOS, MBR, or GPT partition table.

The current PHYTEC BSP does not use the extra partitioning feature of e.MMC devices. The U-Boot is flashed at the beginning of the user partition. The U-Boot environment is placed at a fixed location after the U-Boot. An MBR partition table is used to create two partitions, a FAT32 boot, and ext4 rootfs partition. They are located right after the U-Boot and the U-Boot environment. The FAT32 boot partition contains the kernel and device tree.

With e.MMC flash storage it is possible to use the dedicated boot partitions for redundantly storing the bootloader. The Bootloader environment still resides in the user area before the first partition. The user area also still contains the bootloader which the image first shipped during its initialization process. Below is an example, to flash the bootloader to one of the two boot partitions and switch the boot device via userspace commands.

#### 通过用户空间命令

在主机上运行:

```
host:~$ scp <bootloader> root@192.168.3.11:/tmp/
```

The partitions boot1 and boot2 are read-only by default. To write to them from user space, you have to disable `force_ro` in the sysfs.

To manually write the bootloader to the e.MMC boot partitions, first disable the write protection:

```
target:~$ echo 0 > /sys/block/mmcblk2boot0/force_ro
target:~$ echo 0 > /sys/block/mmcblk2boot1/force_ro
```

Write the bootloader to the e.MMC boot partitions:

```
target:~$ dd if=/tmp/<bootloader> of=/dev/mmcblk2boot0
target:~$ dd if=/tmp/<bootloader> of=/dev/mmcblk2boot1
```

下表是 i.MX 8M Plus SoC 的偏移量：

SoC	User 分区偏移量	Boot 分区偏移量	e.MMC Device
i.MX 8M Plus	32 kiB	0 kiB	/dev/mmcblk2

After that set the boot partition from user space using the mmc tool:  
(对于'boot0')：

```
target:~$ mmc bootpart enable 1 0 /dev/mmcblk2
```

(对于'boot1')：

```
target:~$ mmc bootpart enable 2 0 /dev/mmcblk2
```

To disable booting from the e.MMC boot partitions simply enter the following command:

```
target:~$ mmc bootpart enable 0 0 /dev/mmcblk2
```

To explicitly enable booting from the e.MMC user area, run:

```
target:~$ mmc bootpart enable 7 0 /dev/mmcblk2
```

Automatic failover

The ROM loader implements an automatic failover mechanism for e.MMC boot partitions. If booting from the primary partition fails, the system automatically attempts to boot from the secondary partition. This failover is indicated by a change in the boot message from **Boot Stage: Primary boot** to **Boot Stage: Secondary boot**. This functionality is limited to boot0 and boot1 partitions and does not apply to the user area.

7.7 SPI 主设备

i.MX 8M Plus 控制器包含一个 FlexSPI 和一个 ECSPI IP 核。FlexSPI 主控制器支持两个 SPI 通道，最多可连接 4 个设备。每个通道支持单通道/双通道/四通道/八通道模式的数据传输（1/2/4/8 条数据线）。ECSPI 控制器支持 3 个 SPI 接口，每个接口都有一个专用的 CS（chip select）引脚。由于 CS 也可通过 GPIO 实现，因此每个通道上可以连接多个设备。

7.7.1 SPI NOR 烧写

phyCORE-i.MX 8M Plus is equipped with a QSPI NOR Flash which connects to the i.MX 8M Plus's FlexSPI interface. The QSPI NOR Flash is suitable for booting. Please see different sections for flashing and bootmode setup. Due to limited space on the SPI NOR Flash, only the bootloader is stored inside. By default, the kernel, device tree, and rootfs are taken from eMMC.

bootloader 程序通过 EEPROM 数据检测是否安装了 SPI Flash。如果没有安装 SPI Flash，则在启动期间应用设备树 overlay，通过扩展命令禁用 SPI Flash 设备树节点。如果没有可用的 EEPROM 数据，SPI NOR Flash 节点将始终启用。有关更多信息，请参阅设备树 overlay 部分。

bootloader 程序还可以通过内核的 mtdparts 启动参数修改设备树，将 SPI MTD 分区表传递给 Linux。BSP 中的默认分区布局设置为：

```
mtdparts=30bb0000.spi:3840k(u-boot),128k(env),128k(env_redund),-(none)
```

这是一个预定义的 bootloader 环境变量，可以在运行时更改。从 Linux 用户空间，可以通过 `/dev/mtd<N>` 设备访问 NOR Flash 分区，其中 `<N>` 是与要访问的 NOR Flash 分区相关联的 MTD 设备编号。要找到分区的正确 MTD 设备编号，请在目标上运行：

```
root@phyboard-pollux-imx8mp-3:~$ mtdinfo --all
Count of MTD devices:      4
Present MTD devices:      mtd0, mtd1, mtd2, mtd3
Sysfs interface supported: yes

mtd0
Name:                      u-boot
Type:                      nor
Eraseblock size:          65536 bytes, 64.0 KiB
Amount of eraseblocks:    60 (3932160 bytes, 3.7 MiB)
Minimum input/output unit size: 1 byte
Sub-page size:            1 byte
Character device major/minor: 90:0
Bad blocks are allowed:   false
Device is writable:       true

mtd1
Name:                      env
Type:                      nor
Eraseblock size:          65536 bytes, 64.0 KiB
Amount of eraseblocks:    2 (131072 bytes, 128.0 KiB)
Minimum input/output unit size: 1 byte
Sub-page size:            1 byte
Character device major/minor: 90:2
Bad blocks are allowed:   false
Device is writable:       true

mtd2
Name:                      env_redund
Type:                      nor
Eraseblock size:          65536 bytes, 64.0 KiB
Amount of eraseblocks:    2 (131072 bytes, 128.0 KiB)
Minimum input/output unit size: 1 byte
Sub-page size:            1 byte
Character device major/minor: 90:4
Bad blocks are allowed:   false
Device is writable:       true

mtd3
Name:                      none
Type:                      nor
Eraseblock size:          65536 bytes, 64.0 KiB
Amount of eraseblocks:    448 (29360128 bytes, 28.0 MiB)
Minimum input/output unit size: 1 byte
Sub-page size:            1 byte
Character device major/minor: 90:6
Bad blocks are allowed:   false
Device is writable:       true
```

它列出了所有 MTD 设备及其对应的分区名称。闪存节点在模块 DTS 中的 SPI 主节点内定义。SPI 节点包含连接到此 SPI 总线的所有设备，在这种情况下只有 SPI NOR Flash。

设备树中 SPI 主节点的定义可以在这里找到：

<https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phycore-som.dtsi#L76>

## 7.8 GPIOs

phyBOARD-Pollux 具有一组专门用于 GPIO 的引脚。这些引脚直接连接到 i.MX 8M Plus 引脚，并被复用为 GPIO。它们可以直接在 Linux 用户空间中使用。处理器将其 GPIO 组织为 5 个 GPIO 组 (GPIO1 – GPIO5)，每个组包含 32 个 GPIO。gpiochip0、gpiochip32、gpiochip64、gpiochip96 和 gpiochip128 是这些内部 i.MX 8M Plus GPIO 组 GPIO1 –GPIO5 的 sysfs 表示。

GPIO 被标识为 GPIO<X>\_<Y> (例如：GPIO5\_07)。<X> 表示 GPIO Bank，从 1 计数到 5，而 <Y> 表示该 Bank 内的 GPIO。<Y> 从 0 计数到 31 (每个 bank 有 32 个 GPIO)。

相比之下，Linux 内核使用一个单一的整数来枚举系统中所有可用的 GPIO。计算正确数字的公式是：

```
Linux GPIO number: <N> = (<X> - 1) * 32 + <Y>
```

从用户空间访问 GPIO 将使用 libgpiod。它提供了一个库和工具，用于与 Linux GPIO 字符设备进行交互。以下是一些工具的用法示例：

- 检测芯片上的 gpiochips:

```
target:~$ gpiodetect
gpiochip0 [30200000.gpio] (32 lines)
gpiochip1 [30210000.gpio] (32 lines)
gpiochip2 [30220000.gpio] (32 lines)
gpiochip3 [30230000.gpio] (32 lines)
gpiochip4 [30240000.gpio] (32 lines)
```

- 显示关于 gpiochips 的详细信息，包括它们的名称、consumer、方向、活动状态和附加 flag:

```
target:~$ gpioinfo -c gpiochip0
```

- 读取 GPIO 的值 (例如从 gpiochip0 的 GPIO 20):

```
target:~$ gpioget -c gpiochip0 20
```

- 将 gpiochip0 上的 GPIO 20 的值设置为 0 并退出工具:

```
target:~$ gpioset -z -c gpiochip0 20=0
```

- gpioset 的帮助文本显示了可能的选项:

```
target:~$ gpioset --help
Usage: gpioset [OPTIONS] <line=value>...

Set values of GPIO lines.

Lines are specified by name, or optionally by offset if the chip option
is provided.
Values may be '1' or '0', or equivalently 'active'/'inactive' or 'on'/'off'.

The line output state is maintained until the process exits, but after that
is not guaranteed.
```

(续下页)

(接上页)

```
Options:
  --banner           display a banner on successful startup
  -b, --bias <bias>  specify the line bias
                     Possible values: 'pull-down', 'pull-up', 'disabled'.
                     (default is to leave bias unchanged)
  --by-name          treat lines as names even if they would parse as an offset
  -c, --chip <chip>  restrict scope to a particular chip
  -C, --consumer <name> consumer name applied to requested lines (default is 'gpioset')
  -d, --drive <drive> specify the line drive mode
                     Possible values: 'push-pull', 'open-drain', 'open-source'.
                     (default is 'push-pull')
  -h, --help         display this help and exit
  -l, --active-low    treat the line as active low
  -p, --hold-period <period>
                     the minimum time period to hold lines at the requested values
  -s, --strict        abort if requested line names are not unique
  -t, --toggle <period>[,period]...
                     toggle the line(s) after the specified period(s)
                     If the last period is non-zero then the sequence repeats.
  --unquoted         don't quote line names
  -v, --version       output version information and exit
  -z, --daemonize     set values then detach from the controlling terminal

Chips:
  A GPIO chip may be identified by number, name, or path.
  e.g. '0', 'gpiochip0', and '/dev/gpiochip0' all refer to the same chip.

Periods:
  Periods are taken as milliseconds unless units are specified. e.g. 10us.
  Supported units are 's', 'ms', and 'us'.

*Note*
  The state of a GPIO line controlled over the character device reverts to default
  when the last process referencing the file descriptor representing the device file exits.
  This means that it's wrong to run gpioset, have it exit and expect the line to continue
  being driven high or low. It may happen if given pin is floating but it must be interpreted
  as undefined behavior.
```

**警告**

某些 GPIO 用于特殊功能。在使用某个 GPIO 之前，请参考您板子的原理图或硬件手册，以确保该 IO 未被其他功能占用。

### 7.8.1 通过 sysfs 访问 GPIO

**警告**

通过 sysfs 访问 GPIO 已经过时了，我们建议使用 libgpiod。

默认情况下不再支持通过 sysfs 访问 GPIO。只有手动在内核配置中启用 CONFIG\_GPIO\_SYSFS 后才能支持。要在 menuconfig 中使 CONFIG\_GPIO\_SYSFS 可见，必须首先启用选项 CONFIG\_EXPERT。

You can also add this option for example to the defconfig you use in arch/arm64/configs/ in the linux kernel

sources. For our NXP based releases, this could be for example `imx8_phytec_defconfig`:

```
..
CONFIG_EXPERT=y
CONFIG_GPIO_SYSFS=y
..
```

您也可以创建一个新的 `config` 片段。有关详细信息，请参阅我们的 Yocto Reference Manual。

## 7.9 LED 灯

如果有任何 LED 灯连接到 GPIO 管脚，您可以通过特定的 LED 驱动程序接口访问它们，而不是使用通用的 GPIO 接口（请参见 GPIO 部分）。您将通过 `/sys/class/leds/` 而不是 `/sys/class/gpio/` 来访问它们。LED 的最大亮度可以从 `max_brightness` 文件中读取。`brightness` 文件将设置 LED 的亮度（取值范围从 0 到 `max_brightness`）。大多数 LED 硬件上不支持调整亮度，所以在所有非零亮度下都会点亮。

下面是一个简单的例子。

要获取所有可用的 LED，请输入：

```
target:~$ ls /sys/class/leds
led-1@ led-2@ led-3@ mmc1::@ mmc2::@
```

The phyBOARD-Pollux provides the following LED indicators: `red:user1`, `green:user2` and `blue:user3`.

- 打开 LED 灯：

```
target:~$ echo 255 > /sys/class/leds/red\:user1/brightness
```

- 关闭 LED：

```
target:~$ echo 0 > /sys/class/leds/red\:user1/brightness
```

GPIO 的设备树配置：<https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dts#L255>

## 7.10 I<sup>2</sup>C 总线

该 i.MX 8M Plus 包含多个多主支持快速模式的 I<sup>2</sup>C 模块。PHYTEC 板提供了许多不同的 I<sup>2</sup>C 设备，这些设备连接到 i.MX 8M Plus 的 I<sup>2</sup>C 模块。本节描述了我们 phyBOARD-Pollux 中集成的一些 I<sup>2</sup>C 设备的基本设备使用及其设备树 (DT) 表示。

i2c 的设备树节点包含一些设置，例如时钟频率，用于设置总线频率，以及引脚控制设置，包括 `scl-gpios` 和 `sda-gpios`，这些是用于总线恢复的备用引脚配置。

I<sup>2</sup>C1 总线 DT 配置 (例如 `imx8mp-phycore-som.dtsi`): <https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phycore-som.dtsi#L113>

I<sup>2</sup>C2 总线 DT 配置 (例如 `imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dts`): <https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dts#L239>

## 7.11 EEPROM

在 phyCORE-i.MX 8M Plus 上贴了一个 i2c 接口的 EEPROM 存储。它有两个地址。主 EEPROM 空间 (总线: I2C-0 地址: 0x51) 可以通过 Linux 中的 `sysfs` 接口访问。主 EEPROM 的前 256 字节和 ID 页 (总线:



I2C-0 地址: 0x59) 用于板检测, 不可修改。因此, ID 页不能通过 sysfs 接口访问。覆盖保留空间将导致启动问题。

#### 备注

如果您删除了保留的 EEPROM 空间数据, 请联系我们的支持团队!

### 7.11.1 phyCORE-i.MX 8M Plus 上的 I2C EEPROM

#### 警告

EEPROM ID 页面 (总线: I2C-0 地址: 0x59) 和正常 EEPROM 区域的前 256 个字节 (总线: I2C-0 地址: 0x51) 不可被擦除或修改。这将影响 bootloader 的行为。板子可能无法正确启动。

phyCORE-i.MX 8M Plus SoM 上的 I2C EEPROM 连接到 I2C-0 总线的 I2C 地址 0x51。可以直接对该设备进行读写操作:

```
target:~$ hexdump -c /sys/class/i2c-dev/i2c-0/device/0-0051/eeprom
```

要读取并以十六进制打印 EEPROM 的前 1024 字节, 请执行:

```
target:~$ dd if=/sys/class/i2c-dev/i2c-0/device/0-0051/eeprom bs=1 count=1024 | od -x
```

要用零填充 4KiB 的 EEPROM (总线: I2C-0 地址: 0x51), 并保留 EEPROM 数据, 请使用:

```
target:~$ dd if=/dev/zero of=/sys/class/i2c-dev/i2c-0/device/0-0051/eeprom seek=1 bs=256 count=15
```

### 7.11.2 EEPROM SoM 检测

在 phyCORE-i.MX 8M Plus 上配置的 I2C EEPROM 具有一个可通过 I2C 地址 0x59 在 i2c0 上寻址的独立 ID 页面, 以及一个可通过 I2C 地址 0x51 在 i2c0 上寻址的正常区域。PHYTEC 使用这个 32 字节的数据区域来存储关于 SoM 的信息, 包括 PCB 版本和配置。

在启动的早期阶段读取 EEPROM 数据。它用于选择正确的 DDR RAM 配置。这使得可以使用相同的 bootloader 镜像来支持不同的 RAM 大小, 并自动选择正确的 DTS overlay。

如果 EEPROM ID 页面数据和正常区域的前 256 个字节被删除, bootloader 程序将回退到 phyCORE-i.MX 8M Plus Kit RAM 设置, 即 2GiB RAM。

#### 警告

EEPROM ID 页面 (总线: I2C-0 地址: 0x59) 和正常 EEPROM 区域的前 256 个字节 (总线: I2C-0 地址: 0x51) 不可被擦除或修改。这将影响 bootloader 的行为。板子可能无法正确启动。

使用 API 修订版 2 数据格式烧写的核心板将在早期启动阶段打印出有关模块的信息。

DT representation, e.g. in phyCORE-i.MX 8M Plus file imx8mp-phycore-som.dtsi can be found in our PHYTEC git: <https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phycore-som.dtsi#L201>

## 7.12 RTC

RTC 可以通过 `/dev/rtc*` 访问。由于 PHYTEC 板通常有多个 RTC，因此可能会有多个 RTC 设备文件。

- 要找到 RTC 设备的名称，可以通过以下方式读取其 `sysfs` 条目：

```
target:~$ cat /sys/class/rtc/rtc*/name
```

- 例如，你将得到：

```
rtc-rv3028 0-0052
snvs_rtc 30370000.snvs:snvs-rtc-lp
```

### 小技巧

这将列出所有实时时钟（RTC），包括非 I<sup>2</sup>C 接口的 RTC。如果存在设备树/`aliases` 条目，Linux 会根据这些条目分配 RTC 设备 ID。

日期和时间可以通过 `hwclock` 工具和 `date` 命令进行操作。要显示目标上设置的当前日期和时间：

```
target:~$ date
Thu Jan  1 00:01:26 UTC 1970
```

使用日期命令更改日期和时间。日期命令以以下语法设置时间：“YYYY-MM-DD hh:mm:ss (+|-)hh:mm”：

```
target:~$ date -s "2022-03-02 11:15:00 +0100"
Wed Mar  2 10:15:00 UTC 2022
```

### 备注

您的时区（在此示例中为 +0100）可能会有所不同。

使用 `date` 命令并不会改变实时时钟（RTC）的时间和日期，因此如果我们重启开发板，这些更改将会被丢弃。要写入 RTC，我们需要使用 `hwclock` 命令。使用 `hwclock` 工具将当前的日期和时间（通过 `date` 命令设置）写入 RTC，然后重启开发板以检查更改是否已应用到 RTC 上：

```
target:~$ hwclock -w
target:~$ reboot
.
.
.
target:~$ date
Wed Mar  2 10:34:06 UTC 2022
```

要从实时时钟（RTC）设置系统时间和日期，请使用：

```
target:~$ date
Thu Jan  1 01:00:02 UTC 1970
target:~$ hwclock -s
target:~$ date
Wed Mar  2 10:45:01 UTC 2022
```

### 7.12.1 RTC 唤醒 alarm

可以从实时时钟（RTC）发出中断以唤醒系统。该格式使用 Unix 纪元时间，即自 1970 年 1 月 1 日 UTC 午夜以来的秒数。要在从挂起到 RAM 状态后的 4 分钟唤醒系统，请输入：

```
target:~$ echo "+240" > /sys/class/rtc/rtc0/wakealarm
target:~$ echo mem > /sys/power/state
```

#### 备注

内部唤醒 alarm 时间将被向上舍入到下一个分钟，因为 alarm 功能不支持秒。

### 7.12.2 RTC 参数

实时时钟（RTC）具有一些功能，可以通过 hwclock 工具进行读取和设置。

- 我们可以通过以下方式检查 RTC 支持的功能：

```
target:~$ hwclock --param-get features
The RTC parameter 0x0 is set to 0x71.
```

这个值的含义在内核中进行了编码，每个位的定义为：

```
#define RTC_FEATURE_ALARM          0
#define RTC_FEATURE_ALARM_RES_MINUTE 1
#define RTC_FEATURE_NEED_WEEK_DAY  2
#define RTC_FEATURE_ALARM_RES_2S   3
#define RTC_FEATURE_UPDATE_INTERRUPT 4
#define RTC_FEATURE_CORRECTION      5
#define RTC_FEATURE_BACKUP_SWITCH_MODE 6
#define RTC_FEATURE_ALARM_WAKEUP_ONLY 7
#define RTC_FEATURE_CNT             8
```

- 我们可以通过以下方式检查 RTC BSM（Backup Switchover Mode 备份切换模式）：

```
target:~$ hwclock --param-get bsm
The RTC parameter 0x2 is set to 0x1.
```

- 我们可以通过以下方式设置 RTC BSM：

```
target:~$ hwclock --param-set bsm=0x2
The RTC parameter 0x2 will be set to 0x2.
```

BSM 位的定义为：

```
#define RTC_BSM_DISABLED  0
#define RTC_BSM_DIRECT    1
#define RTC_BSM_LEVEL     2
#define RTC_BSM_STANDBY   3
```

#### 小技巧

您应该将 BSM 模式设置为 DSM 或 LSM，以便在初始电源不可用时，RTC 可以切换到备用电源。请查看 **RV-3028** RTC 的 Datasheet，以了解 LSM（电平切换模式）和 DSM（直接切换模式）这两个定义的工作模式。

I<sup>2</sup>C RTCs 的设备树: <https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phycore-som.dtsi#L208>

## 7.13 USB 主控制器

i.MX 8M Plus SoC 的 USB 控制器为众多消费类便携设备提供了一种低成本连接解决方案, 实现 USB 设备之间的数据传输, 传输速度可达 4 Gbit/s (超高速'SS')。USB 子系统具有两个独立的 USB 控制器。这两个控制器都能够作为 USB Device 或 USB Host 使用。每个核心都连接到一个 USB 3.0 物理层 (PHY)。

BSP 支持大容量存储设备 (优盘) 和键盘。其他与 USB 相关的设备驱动程序必须根据需要在内核配置中启用。由于 udev, 所有连接的存储设备都会获得唯一的 ID, 并可以在 /dev/disk/by-id 中找到。这些 ID 可以在 /etc/fstab 中用于以不同的方式挂载不同的 USB 存储设备。

USB Host 的设备树: <https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dts#L380>

## 7.14 CAN FD

phyBOARD-Pollux 支持两个 flexCAN 接口, 支持 CAN FD。这些接口支持 Linux 标准 CAN 框架, 该框架建立在 Linux 网络层之上。使用这个框架, CAN 接口表现得像普通的 Linux 网络设备, 同时具备一些 CAN 特有的附加功能。更多信息可以在 Linux 内核文档中找到: <https://www.kernel.org/doc/html/latest/networking/can.html>

- 使用:

```
target:~$ ip link
```

查看接口的状态。两个 CAN 接口显示为 can0 和 can1。

- 要获取有关 can0 的信息, 例如比特率和错误计数器, 请输入:

```
target:~$ ip -d -s link show can0
```

can0 的信息将如下所示:

```
2: can0: <NOARP,UP,LOWER_UP,ECHO> mtu 16 qdisc pfifo_fast state UNKNOWN mode DEFAULT group default_
↵qlen 10
    link/can promiscuity 0 minmtu 0 maxmtu 0
    can state ERROR-ACTIVE (berr-counter tx 0 rx 0) restart-ms 0
        bitrate 500000 sample-point 0.875
        tq 50 prop-seg 17 phase-seg1 17 phase-seg2 5 sjw 1
        mcp25xxfd: tseg1 2..256 tseg2 1..128 sjw 1..128 brp 1..256 brp-inc 1
        mcp25xxfd: dtseg1 1..32 dtseg2 1..16 dsjw 1..16 dbrp 1..256 dbrp-inc 1
        clock 20000000
        re-started bus-errors arbit-lost error-warn error-pass bus-off
            0          0          0          0          0          0          numtxqueues 1 numrxqueues_
↵1 gso_max_size 65536 gso_max_segs 65535
    RX: bytes  packets  errors  dropped overrun mcast
         0         0         0         0         0         0
    TX: bytes  packets  errors  dropped carrier collsns
         0         0         0         0         0         0
```

输出包含一组标准参数, 这些参数也适用于以太网接口, 因此并非所有参数对于 CAN 都是相关的 (例如 MAC 地址)。以下输出参数包含有用的信息:

can0	接口名称
NOARP	CAN 无法使用 ARP 协议
MTU	最大传输单元
RX packets	接收的数据包数量
TX packets	发送的数据包数量
RX bytes	接收字节数
TX bytes	发送字节数
errors...	总线错误统计信息

CAN 配置是在 systemd 配置文件 `/lib/systemd/network/can0.network` 中完成的。为了持久化更改（例如，默认比特率），请在 BSP 中更改根文件系统下的 `./meta-ampliphy/recipes-core/systemd/systemd-conf/can0.network` 中的配置，并重新编译根文件系统。

```
[Match]
Name=can0

[Can]
BitRate=500000
```

比特率也可以手动更改，例如，设置为灵活比特率（flexible bitrate）：

```
target:~$ ip link set can0 down
target:~$ ip link set can0 txqueuelen 10 up type can bitrate 500000 sample-point 0.75 dbitrte 4000000
↪dsample-point 0.8 fd on
```

您可以使用 `cansend` 发送消息，或使用 `candump` 接收消息：

```
target:~$ cansend can0 123#45.67
target:~$ candump can0
```

要生成用于测试目的随机 CAN 流量，请使用 `cangen`：

```
target:~$ cangen
```

`cansend --help` 和 `candump --help` 提供了关于选项和用法的帮助信息。

### 警告

mcp2518fd SPI 到 CAN FD 只支持从 125kB/s 开始的波特率。可以选择更慢的速率，但可能无法正常工作。

imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dts 的设备树 CAN 配置：<https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dts#L203>

## 7.15 PCIe

The phyCORE-i.MX 8M Plus has one Mini-PCIe slot. In general, PCIe autodetects new devices on the bus. After connecting the device and booting up the system, you can use the command `lspci` to see all PCIe devices recognized.

- 输入：

```
target:~$ lspci -v
```

- 你将收到：

```
00:00.0 PCI bridge: Synopsys, Inc. Device abcd (rev 01) (prog-if 00 [Normal decode])
    Flags: bus master, fast devsel, latency 0, IRQ 218
    Memory at 18000000 (64-bit, non-prefetchable) [size=1M]
    Bus: primary=00, secondary=01, subordinate=ff, sec-latency=0
    I/O behind bridge: None
    Memory behind bridge: 18100000-181fffff [size=1M]
    Prefetchable memory behind bridge: None
    [virtual] Expansion ROM at 18200000 [disabled] [size=64K]
    Capabilities: [40] Power Management version 3
    Capabilities: [50] MSI: Enable+ Count=1/1 Maskable+ 64bit+
    Capabilities: [70] Express Root Port (Slot-), MSI 00
    Capabilities: [100] Advanced Error Reporting
    Capabilities: [148] L1 PM Substates
    Kernel driver in use: dwc3-haps

01:00.0 Network controller: Intel Corporation WiFi Link 5100
    Subsystem: Intel Corporation WiFi Link 5100 AGN
    Flags: fast devsel
    Memory at 18100000 (64-bit, non-prefetchable) [disabled] [size=8K]
    Capabilities: [c8] Power Management version 3
    Capabilities: [d0] MSI: Enable- Count=1/1 Maskable- 64bit+
    Capabilities: [e0] Express Endpoint, MSI 00
    Capabilities: [100] Advanced Error Reporting
    Capabilities: [140] Device Serial Number 00-24-d6-ff-ff-84-0d-1e
    Kernel modules: iwlwifi
```

在这个例子中，PCIe 设备是 英特尔 *WiFi Link 5100* 。

对于 PCIe 设备，您必须在内核配置中启用正确的驱动程序。例如，这款 WLAN 卡是由英特尔制造的。必须启用的驱动程序选项名为 `CONFIG_IWLWIFI`，可以在内核配置中的 *Intel Wireless WiFi Next Gen AGN - Wireless-N/Advanced-N/Ultimate* 下找到。

- 为了激活驱动程序，请按照我们的 Yocto 手册中的说明进行操作：Yocto Reference Manual
  - linux-imx 的表示为： **virtual/kernel**

对于某些设备，如 WLAN 卡，需要额外的二进制固件文件。这些固件文件必须放置在 `/lib/firmware/` 目录中，才能使用该设备。

- 输入：

```
host:~$ scp -r <firmware> root@192.168.3.11:/lib/firmware
```

- 例如，如果您尝试启动网络接口：

```
target:~$ ip link set up wlp1s0
```

- 您将在串口控制台上获得以下输出：

```
[ 58.682104] iwlwifi 0000:01:00.0: L1 Disabled - LTR Disabled
[ 58.690822] iwlwifi 0000:01:00.0: L1 Disabled - LTR Disabled
[ 58.696577] iwlwifi 0000:01:00.0: Radio type=0x1-0x2-0x0
[ 58.831022] iwlwifi 0000:01:00.0: L1 Disabled - LTR Disabled
[ 58.839679] iwlwifi 0000:01:00.0: L1 Disabled - LTR Disabled
```

(续下页)

(接上页)

```
[ 58.845435] iwlwifi 0000:01:00.0: Radio type=0x1-0x2-0x0
[ 58.902797] IPv6: ADDRCONF(NETDEV_UP): wlp1s0: link is not ready
```

### 小技巧

某些 PCIe 设备，例如以太网卡，即使没有从 `/lib/firmware/` 加载固件文件，也可能正常工作，而你收到了如上输出第一行所示的错误消息。这是因为一些制造商在板卡本身提供了固件作为后备。在这种情况下，设备的行为和输出在很大程度上依赖于制造商的固件。

imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dts 的设备树 PCIE 配置: <https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dts#L345>

## 7.16 音频

支持的播放设备包括 HDMI 和 PEB-AV-10 连接器上的 TI TLV320AIC3007 音频编解码器 (CODEC) IC。在 AV 连接器上，有一个符合 OMTP 标准的 3.5mm 耳机插孔和一个 8 针排针。8 针排针包含单声道扬声器、耳机和 line-in 信号。

### 备注

使用 PEB-AV-10 连接器进行显示输出时，不支持通过 HDMI 作为音频输出。音频输出设备必须与视频输出设备匹配。

要检查您的声卡驱动程序是否正确加载以及设备名称，请输入以下命令以查看播放设备：

```
target:~$ aplay -L
```

或输入录音设备：

```
target:~$ arecord -L
```

### 7.16.1 Alsamixer

要检查声卡的功能，请输入：

```
target:~$ alsamixer
```

您应该会看到很多选项，因为音频 IC 具有许多可以测试的功能。通过 SSH 打开 alsamixer 的图形界面比通过调试串口打开更易于使用。所有混音点都有单声道或立体声增益控制。“MM”表示该功能被静音（左右输出均为静音），可以通过按 `m` 切换。您还可以通过按 `<` 左和 `>` 切换右声道输出。使用 `tab` 键，您可以在播放和录音控制之间切换。

### 7.16.2 恢复默认音量

一些默认设置存储在 `/var/lib/alsa/asound.state` 中。您可以使用以下命令保存当前的 alsa 设置：

```
target:~$ alsactl --file </path/to/filename> store
```

您可以通过以下方式恢复已保存的 alsa 设置：

```
target:~$ alsactl --file </path/to/filename> restore
```

### 7.16.3 ALSA 配置

我们的 BSP 附带一个 ALSA 配置文件 `/etc/asound.conf`。

ALSA 配置文件可以根据需要进行编辑或删除，它并不是 ALSA 正常工作所必需的。

```
target:~$ vi /etc/asound.conf
```

要将 PEB-AV-10 设置为输出，请将 `playback.pcm` 从“dummy” 设置为“pebav10”：

```
[...]

pcm.asymed {
    type asym
    playback.pcm "pebav10"
    capture.pcm "dsnoop"
}

[...]
```

如果听不到声音，请将播放设备更改为软件音量控制播放设备，将 `playback.pcm` 设置为相应的软音量播放设备，例如 “`softvol_pebav10`”。使用 `alsamixer` 控制来调整音量级别。

```
[...]

pcm.asymed {
    type asym
    playback.pcm "softvol_pebav10"
    capture.pcm "dsnoop"
}

[...]
```

### 7.16.4 PulseAudio 配置

对于使用 *Pulseaudio* 的应用程序，请检查可用的音频输出设备：

```
target:~$ pactl list short sinks
```

要选择输出设备，请输入：

```
target:~$ pactl set-default-sink <sink_number>
```

### 7.16.5 播放

运行 `speaker-test` 以检查播放功能：

```
target:~$ speaker-test -c 2 -t wav
```

要播放简单的音频流，您可以使用 `aplay`。例如，要播放 ALSA 测试音频：

```
target:~$ aplay /usr/share/sounds/alsa/*
```

要播放其他格式，例如 mp3，您可以使用 `Gstreamer`：



```
target:~$ gst-launch-1.0 playbin uri=file:/path/to/file.mp3
```

### 7.16.6 录音

arecord 是一个命令行工具，用于录制音频流，默认输入源为线路输入。要选择不同的音频源，可以使用 alsamixer。例如，打开 右侧 *PGA* 混音器 *Mic3R* 和 左侧 *PGA* 混音器 *Mic3R*，以便通过 3.5mm 插孔录制来自 TLV320 编解码器的麦克风输入音频。

```
target:~$ amixer -c "sndpebav10" sset 'Left PGA Mixer Mic3R' on
target:~$ amixer -c "sndpebav10" sset 'Right PGA Mixer Mic3R' on
```

```
target:~$ arecord -t wav -c 2 -r 44100 -f S16_LE test.wav
```

#### 提示

由于播放和录音共享硬件接口，因此无法在同时进行播放和录音操作时使用不同的采样率和格式。

imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dts 的设备树音频配置：<https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phyboard-pollux-peb-av-10.dtso#L58>

## 7.17 视频

### 7.17.1 视频与 Gstreamer

默认情况下，BSP 安装了一个示例视频，路径为 `/usr/share/qtphy/videos/`。可以使用以下命令之一开始视频播放：

```
target:~$ gst-launch-1.0 playbin uri=file:///usr/share/qtphy/videos/caminandes_3_llamigos_720p_vp9.webm
```

- 或者：

```
target:~$ gst-launch-1.0 -v filesrc location=/usr/share/qtphy/videos/caminandes_3_llamigos_720p_vp9.webm !
└─decodebin name=decoder decoder. ! videoconvert ! waylandsink
```

- 或者：

```
target:~$ gst-play-1.0 /usr/share/qtphy/videos/caminandes_3_llamigos_720p_vp9.webm --videosink waylandsink
```

## 7.18 显示

该 phyBOARD-Pollux 支持多达 3 种不同的显示输出。可以同时使用两种。下表显示了不同接口所需的扩展板和设备树 overlay。

接口	扩展板	设备树 overlay
HDMI	phyBOARD-Pollux	不需要 overlay（默认启用）
LVDS0	PEB-AV-10	imx8mp-phyboard-pollux-peb-av-10.dtbo（默认加载）
LVDS1	phyBOARD-Pollux	如果使用 PEB-AV-10 overlay，则禁用

**备注**

- 在更改 Weston 输出时，请确保音频输出也相匹配。
- LVDS0 (使用 PEB-AV-10 扩展) 和 LVDS1 (板载) 不能同时使用。

HDMI 在设备树中始终启用。其他接口可以通过设备树 overlay 进行启用。

默认启用的接口是 HDMI 和 LVDS0 (PEB-AV-010)。我们的 PEB-AV-10 支持 10 英寸 edt,etml1010g0dka 显示屏。

**备注**

当前的显示驱动程序将连接到 LVDS 的 LCD 的像素时钟限制为 74.25MHz (或其分频)。如果这满足不了您的需求，请联系支持团队以获得进一步的帮助。

### 7.18.1 Weston 配置

为了让 Weston 正确的显示，需要进行正确的配置。这将在/etc/xdg/weston/weston.ini 中完成。

#### 单一显示器

在我们的 BSP 中，默认的 Weston 输出设置为 HDMI。

```
[output]
name=HDMI-A-1
mode=preferred

[output]
name=LVDS-1
mode=off
```

当使用 LVDS0 (PEB-AV-10) 作为输出时，将 HDMI-A-1 的输出模式设置为 off，将 LVDS-1 的输出模式设置为 current。

```
[output]
name=HDMI-A-1
mode=off

[output]
name=LVDS-1
mode=current
```

如果您想使用 LVDS1 (板载)，则需要去掉 overlay。请从 bootenv.txt 中移除 imx8mp-phyboard-pollux-peb-av-xxx.dtbo。

#### 双显示器

**备注**

对于双显示和三显示输出，您无法同时使用 LVDS1 (板载) 和 HDMI。

在 HDMI 和 LVDS0 (PEB-AV-10) 的双屏模式下进行双显示时，两个模式必须设置为：

```
[output]
name=HDMI-A-1
mode=preferred

[output]
name=LVDS-1
mode=current
```

### 7.18.2 Qt Demo

使用 `phytec-qt6demo-image` 时，Weston 会在启动时启动。我们的 Qt6 DEMO 应用程序名为 “qtphy”，可以通过以下方式停止：

```
target:~$ systemctl stop qtphy
```

- 要重新开始 Demo，请运行：

```
target:~$ systemctl start qtphy
```

- 要禁用 Demo 的自动启动，请运行：

```
target:~$ systemctl disable qtphy
```

- 要启用 Demo 的自动启动，请运行：

```
target:~$ systemctl enable qtphy
```

- Weston 可以通过以下方式停止：

```
target:~$ systemctl stop weston
```

#### 备注

在关闭 Weston 之前，必须先关闭 Qt Demo。

### 7.18.3 背光控制

如果 LCD 连接到 PHYTEC 开发板，可以通过 Linux 内核的 sysfs 接口控制其背光。系统中所有可用的背光设备可以在文件夹 `/sys/class/backlight` 中找到。读取相应的文件并向其写入数据可以控制背光。

#### 备注

一些具有多显示的开发板在 `/sys/class/backlight` 有多个背光控制。比如：backlight0 和 backlight1

- 例如，要获取最大亮度级别（`max_brightness`），请执行：

```
target:~$ cat /sys/class/backlight/backlight/max_brightness
```

有效的亮度值范围是 0 到 `<max_brightness>`。

- 要获取当前亮度级别，请输入：

```
target:~$ cat /sys/class/backlight/backlight/brightness
```

- 写入文件 brightness 以更改亮度：

```
target:~$ echo 0 > /sys/class/backlight/backlight/brightness
```

例如，关闭背光。

有关所有文件的文档，请参见 <https://www.kernel.org/doc/Documentation/ABI/stable/sysfs-class-backlight>。

LVDS-1 和 HDMI 的设备树：<https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dts#L294> <https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dts#L218>

PEB-AV-10 扩展板的 LVDS-0 的设备树：<https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phyboard-pollux-peb-av-10.dts#L133>

## 7.19 电源管理

### 7.19.1 CPU 核心频率调节

i.MX 8M Plus SoC 中的 CPU 能够调整时钟频率和电压。这用于在不需要 CPU 的全部性能时节省电力。调整频率和电压被称为“动态电压和频率调整” (DVFS)。i.MX 8M Plus BSP 支持 DVFS 功能。Linux 内核提供了一个 DVFS 框架，允许每个 CPU 核心设置最小或最大频率和一个管理其运行的 governor。根据使用的 i.MX 8 型号，支持几种不同的频率。

#### 小技巧

尽管 DVFS 框架为每个 CPU 核心提供了频率设置，但一个 CPU 核心的频率更改会影响其他 CPU 核心。因此，所有 CPU 核心始终共享相同的 DVFS 设置。每个核心的单独 DVFS 设置是不可能的。

- 要获取完整列表，请输入：

```
target:~$ cat /sys/devices/system/cpu/cpu0/cpufreq/scaling_available_frequencies
```

例如 i.MX 8MPlus CPU，最高可达约 1.6 GHz，则结果将是：

```
1200000 1600000
```

- 要查询当前的频率输入：

```
target:~$ cat /sys/devices/system/cpu/cpu0/cpufreq/scaling_cur_freq
```

governor 会根据它们的目标自动选择这些频率中的一个。

- 列出所有可用的 governor，使用以下命令：

```
target:~$ cat /sys/devices/system/cpu/cpu0/cpufreq/scaling_available_governors
```

结果是：

```
conservative ondemand userspace powersave performance schedutil
```

- **conservative** governor 与 **ondemand** governor 非常相似。只是它的行为有所不同，它会更保守地增减 CPU 速度，而不是在 CPU 有任何负载的瞬间就跳到最大速度。

- **ondemand**（默认）根据当前系统负载在可能的 CPU 核心频率之间切换。当系统负载超过特定值时，它会立即提高 CPU 核心频率。
- **powersave** 始终选择最低的 CPU 核心频率。
- **performance** 始终选择最高的 CPU 核心频率。
- **userspace** 允许以 root 身份运行的用户或用户空间程序设置特定频率（例如，设置为 1600000）。输入：
- 要查询当前的 governor，请输入：

```
target:~$ cat /sys/devices/system/cpu/cpu0/cpufreq/scaling_governor
```

您通常会得到：

```
ondemand
```

- 切换到另一个 governor（例如，userspace）可以通过以下方式完成：

```
target:~$ echo userspace > /sys/devices/system/cpu/cpu0/cpufreq/scaling_governor
```

- 现在你可以设置频率：

```
target:~$ echo 1600000 > /sys/devices/system/cpu/cpu0/cpufreq/scaling_setspeed
```

有关 governor 的更详细信息，请参阅 Linux 内核代码库中的 Linux 内核文档，路径为 `Documentation/admin-guide/pm/cpufreq.rst`。

## 7.19.2 CPU 核心管理

该 i.MX 8M Plus SoC 芯片上可以有多个处理器核心。例如，该 i.MX 8M Plus 具有 4 个 ARM 核心，可以在运行时单独开启和关闭。

- 要查看系统中所有可用的核心，请执行：

```
target:~$ ls /sys/devices/system/cpu -l
```

- 这将显示，例如：

```
cpu0    cpu1    cpu2    cpu3    cpufreq
[...]
```

这里系统有四个处理器核心。默认情况下，系统中所有可用的核心都被启用，以获得最佳性能。

- 要关闭某个核，请执行：

```
target:~$ echo 0 > /sys/devices/system/cpu/cpu3/online
```

作为确认，您将看到：

```
[ 110.505012] psci: CPU3 killed
```

现在核心已关闭电源，并且该核心上不再安排任何进程。

- 您可以使用 `top` 命令查看核心和进程的图形概览：

```
target:~$ htop
```

- 要重新启用核心，请执行：

```
target:~$ echo 1 > /sys/devices/system/cpu/cpu3/online
```

7.19.3 挂起到 RAM

phyCORE-i.MX 8M Plus 支持基本的挂起和恢复。可以使用不同的唤醒源。挂起/恢复可以通过以下方式实现：

```
target:~$ echo mem > /sys/power/state
#resume with pressing on/off button
```

要通过串行控制台唤醒，请运行

```
target:~$ echo enabled > /sys/class/tty/ttymx0/power/wakeup
target:~$ echo mem > /sys/power/state
```

7.20 热管理

7.20.1 U-Boot

之前 U-Boot 中的温度控制不够理想。现在，U-Boot 增加了温度关机功能，以防止在启动过程中板子过热。关机发生的温度与内核中的温度一致。

当前温度的各个温度范围在启动日志中显示：

```
CPU: Industrial temperature grade (-40C to 105C) at 33C
```

7.20.2 内核

Linux 内核集成了热管理功能，能够监测芯片 (SoC) 温度，降低 CPU 频率，控制风扇，通知其他驱动程序减少功耗，并在最坏的情况下关闭系统 (<https://www.kernel.org/doc/Documentation/thermal/sysfs-api.txt>)。本节描述了如何在 i.MX 8M Plus SoC 平台上使用热管理内核 API。i.MX 8 具有用于 SoC 的内部温度传感器。

- 当前温度可以以毫摄氏度为单位读取：

```
target:~$ cat /sys/class/thermal/thermal_zone0/temp
```

- 例如，你将得到：

```
49000
```

imx\_thermal 内核驱动注册了两个触发点。这些触发点根据 CPU 型号的不同而有所不同。主要区分工业版和商业版。

	商业	工业
被动（警告）	85°C	95°C
严重（关机）	90°C	100°C

(请查看内核 sysfs 文件夹 /sys/class/thermal/thermal\_zone0/)

内核热管理使用这些触发点来触发事件并实施冷却措施。内核中可用的热政策（也称为 thermal governor）包括：Step Wise、Fair Share、Bang Bang 和 Userspace。BSP 中使用的默认策略是 Step Wise。如果 sysfs

文件 `temp` 中的 SoC 温度值高于 `trip_point_0`，则 CPU 频率将设置为最低 CPU 频率。当 SoC 温度降到 `trip_point_0` 以下时，限制将被解除。

#### 备注

由于我们安装了不同温度等级的 CPU，因此热触发点的实际值可能会有所不同。

### 7.20.3 GPIO 风扇

一个 GPIO 控制的风扇可以连接到 phyBOARD-Pollux-i.MX 8M Plus。该 SoC 包含一个温度传感器，该传感器被用于热频率调节。风扇无法通过内核进行控制。我们使用 `lm sensors` 和 `hwmon` 来实现这一点。`lm sensors` 定期读取温度，并在可配置的阈值下启用或禁用风扇。对于 phyBOARD-Pollux-i.MX 8M Plus，这个阈值是 60°C。

设置可以在配置文件中配置：

```
/etc/fancontrol
```

风扇控制在启动时由 `systemd` 服务启动。可以通过以下方式禁用它：

```
target:~$ systemctl disable fancontrol
```

GPIO 风扇的设备树：<https://github.com/phytec/linux-phytec-imx/tree/v6.6.23-2.0.0-phy10/arch/arm64/boot/dts/freescale/imx8mp-phyboard-pollux-rdk.dts#L35>

## 7.21 看门狗

PHYTEC i.MX 8M Plus 模块包含一个硬件看门狗，当系统挂起时能够重置开发板。看门狗在 U-Boot 中默认启动，超时时间为 60 秒。因此，即使在早期内核启动过程中，看门狗也已经开始运行。Linux 内核驱动程序控制看门狗，并确保它有被踢到。本节将解释如何使用 `systemd` 在 Linux 中配置看门狗，以避免系统挂起和重启期间的情况。

### 7.21.1 Systemd 中的看门狗支持

`Systemd` 从版本 183 开始支持硬件看门狗。

- 要启用看门狗支持，需要通过启用选项来配置 `/etc/systemd/` 中的文件 `system.conf` 文件：

```
RuntimeWatchdogSec=60s
ShutdownWatchdogSec=10min
```

`RuntimeWatchdogSec` 定义了看门狗的超时时间，而 `ShutdownWatchdogSec` 定义了系统重启时的超时时间。有关 `systemd` 下硬件看门狗的更多详细信息，请访问 <http://0pointer.de/blog/projects/watchdog.html>。更改将在重启后生效，或者运行：

```
target:~$ systemctl daemon-reload
```

## 7.22 snvs 电源按键

连接到开关按钮的 `X_ONOFF` 引脚可以长按以触发关机，而无需软件干预，或用于唤醒系统以退出挂起状态。使用 `snvs_pwrkey` 驱动程序时，当按下按钮时，`KEY_POWER` 事件也会报告给用户空间。默认情况下，`systemd` 被配置为忽略此类事件。关机而无需软件干预的功能以及从挂起状态唤醒的功能未被配置。可以在 `/etc/systemd/logind.conf` 中配置按下开/关按钮时通过 `systemd` 触发关机，配置方法如下：

```
HandlePowerKey=poweroff
```

## 7.23 NPU

The i.MX 8M Plus SoC contains a Neural Processing Unit up to 2.3 TOPS as an accelerator for artificial intelligence operations. Refer to our latest phyCORE-i.MX 8M Plus AI Kit Guide on the phyCORE-i.MX 8M Plus download section to get information about the NPU: L-1015e.A1 [phyCORE-i.MX 8M Plus AI Kit Guide](#)

## 7.24 ISP

i.MX 8M Plus SoC 包含一个图像信号处理器 (ISP)。有关更多信息，请参阅 [|sbc| i.MX 8M Plus](#) 文档中的使用 ISP 部分。

## 7.25 片上一次性可编程控制器 (OCOTP\_CTRL) - eFuse

该 i.MX 8M Plus 提供一次性可编程 fuse，用于存储信息，例如 MAC 地址、启动配置和其他永久设置（在 i.MX 8M Plus reference manual 中称为“片上 OTP 控制器 (OCOTP\_CTRL)”）。以下列表摘自 i.MX 8M Plus reference manual，包括 OCOTP\_CTRL 中的一些有用寄存器（基地址为 0x30350000）：

名称	Bank	字	内存偏移量为 0x30350000	描述
OCOTP_MAC_AI_9	0	0x640		包含 ENET0 MAC 地址的低 32 位
OCOTP_MAC_AI_9	1	0x650		包含 ENET0 MAC 地址的高 16 位和 ENET1 MAC 地址的低 16 位
OCOTP_MAC_AI_9	2	0x660		包含 ENET1 MAC 地址的高 32 位

关于 OCOTP\_CTRL 中的 fuse 与启动配置之间的完整列表和详细映射，请参阅 i.MX 8M Plus Security Reference Manual 中的“Fuse Map”部分。

### 7.25.1 在 uBoot 中读取 fuse 的值

您可以使用内存映射的 shadow 寄存器读取 fuse 寄存器。要计算内存地址，请使用以下公式计算：

OCOTP\_MAC\_ADDR:

```
u-boot=> fuse read 9 0
```

### 7.25.2 在 Linux 中读取 fuse 值

要访问 Linux 中的 fuse 内容，NXP 提供了 NVMEM\_IMX\_OCOTP 模块。所有内存映射的 shadow 寄存器的 fuse 内容可以通过 sysfs 访问：

```
target:~$ hexdump /sys/devices/platform/soc@0/30000000.bus/30350000.efuse/imx-ocotp0/nvmem
```



---

## i.MX 8M Plus M7 Core

---

除了 Cortex-A53 核心外，SoC 中还集成了一个 Cortex-M7 Core 作为 MCU。我们的 Yocto-Linux-BSP 在 A53 核心上运行，而 M7 Core 可以作为辅助 CPU，用于使用裸机或 RTOS 固件执行额外任务。两种核心都可以访问相同的外设，因此外设的使用需要在 M7 Core 的固件或 Linux 操作系统的设备树中进行限制。本节将描述如何编译固件示例以及如何在 phyBOARD-Pollux 上运行它们。

phyBOARD-Pollux 目前由 NXP MCUXpresso SDK 和 Zephyr 项目支持。本节仅描述 NXP MCUXpresso SDK，因为目前 MCUXpresso SDK 支持的功能更多。

如果您想在 Zephyr 项目中使用 M7 Core，请参考 Zephyr 项目文档：

- [https://docs.zephyrproject.org/latest/boards/phytec/mimx8mp\\_phyboard\\_pollux/doc/index.html](https://docs.zephyrproject.org/latest/boards/phytec/mimx8mp_phyboard_pollux/doc/index.html)

## 8.1 获取固件示例

固件可以使用 NXP MCUXpresso SDK 和兼容的编译工具链通过命令行工具进行编译。

### 8.1.1 获取源代码

MCUX SDK 以及 i.MX 8M Plus 的示例可以从 PHYTEC 的 GitHub 页面获取：

- <https://github.com/phytec/mcux-sdk/>
- <https://github.com/phytec/mcux-sdk-phytec-examples/>

1. 通过 west 初始化 MCUX SDK：

```
host:~$ west init -m https://github.com/phytec/mcux-sdk/ --mr <VERSION> mcuxsdk
```

这将创建一个 mcuxsdk 目录，并在其中包含 mcux-sdk 仓库。mcux-sdk-phytec-examples 仓库将自动克隆到 mcuxsdk 目录中。给定的参数 <VERSION> 是 mcux-sdk 仓库的分支名称，代表 MCUX SDK 版本。要获取最新的测试版本，您可以使用 2.13.0。

### 备注

west 是一个仓库管理工具，也是 Zephyr 项目的一部分。要安装 west，您可以使用 pip。在这个示例中，west 被安装在一个 Python 虚拟环境中：

```
host:~$ sudo apt install python3-venv python3-pip
host:~$ python3 -m venv west-env
host:~$ source west-env/bin/activate
(west-env) host:~$ pip3 install west
```

## 2. 更新依赖项：

```
host:~$ cd mcuxsdk
host:~/mcuxsdk$ west update
```

目录 examples-phytec 包含了所有移植并测试过的示例，适用于 phyBOARD-Pollux 和版本为 2.13.0 的 MCUX。

要编译固件，需要一个编译器工具链和 make/cmake。GNU ARM 嵌入式工具链可能在您的主机 linux 发行版的仓库中可用，例如 Ubuntu。

```
host:~$ sudo apt install gcc-arm-none-eabi binutils-arm-none-eabi make cmake
```

编译器工具链也可以直接从 <https://developer.arm.com/> 获取。在解压缩文件后，必须将 ARMGCC\_DIR 添加到环境变量中，例如，对于位于主目录中的 ARM toolchain 10-2020-q4-major 版本：

```
host:~$ export ARMGCC_DIR=~/gcc-arm-none-eabi-10-2020-q4-major
```

## 8.1.2 编译固件

要编译 PHYTEC 示例，需要先设置环境

```
host:~/mcuxsdk$ source scripts/setenv
```

编译固件的脚本位于 `<sdk-directory>/phytec-mcux-boards/phyboard-pollux/<example_category>/<example>/armgcc`。每个可运行的内存位置都有相应的编译脚本，例如：

```
host:~$ ./build_release.sh
```

要编译运行在 M7 Core 的 TCM 上的固件。输出将放置在 armgcc 目录下的 release/ 中。.bin 文件可以在 U-Boot 中运行，而.elf 文件可以在 Linux 中运行。

要编译在 DRAM 上运行的固件，请运行脚本 build\_ddr\_release。例如。

```
host:~$ ./build_ddr_release.sh
```

输出将放置在 armgcc 目录下的 ddr\_release/中。.bin 文件可以在 U-Boot 中运行，而.elf 文件可以在 Linux 中运行。

## 8.2 运行 M7 Core 示例

有两种方法可以运行 M7 Core 的固件，在 Linux 中使用 Remoteproc 以及在 U-Boot。

要接收调试信息，请在您的主机 PC 上启动您喜欢的终端软件（例如 Minicom、Tio 或 Tera Term），并将其配置为 115200 波特率、8 个数据位、无奇偶校验和 1 个停止位（8n1），且不使用握手。

一旦 Micro USB 电缆连接到 phyBOARD-Pollux 上的 USB 调试端口，就会注册两个 ttyUSB 设备。一个打印来自 A53 核心的调试 UART 的消息，另一个打印来自 M7 Core 的调试 UART 的消息。

### 8.2.1 从 U-Boot 运行示例

要使用 bootloader U-Boot 加载固件，可以使用 bootaux 命令：

1. 准备一张烧写了 BSP 镜像的 SD 卡
2. 将生成的.bin 文件复制到 SD 卡的第一个分区
3. 通过按任意键停止自动启动
4. 根据固件类型输入命令：

对于在 M7 Core 的 TCM 中运行的固件：

```
u-boot=> fatload mmc 1:1 0x48000000 firmware.bin;cp.b 0x48000000 0x7e0000 20000;
u-boot=> bootaux 0x7e0000
## Starting auxiliary core stack = 0x20020000, pc = 0x000004CD...
```

用于在 DRAM 中运行的固件：

```
u-boot=> fatload mmc 1:1 0x80000000 firmware.bin
u-boot=> dcache flush
u-boot=> bootaux 0x80000000
## Starting auxiliary core stack = 0x80400000, pc = 0x80000539...
```

程序的输出应显示在 M7 Core 的调试 UART 上。

### 8.2.2 通过 Remoteproc 在 Linux 上运行示例

Remoteproc 是一个模块，允许您在运行时从 Linux 控制 M7 Core。可以加载为 TCM 编译的固件，并可以启动或停止执行。要使用 Remoteproc，需要设置设备树 Overlay：

在开发板的 /boot 目录中编辑 bootenv.txt 文件，添加 conf-imx8mp-phycore-rpmsg.dtbo：

```
overlays=conf-imx8mp-phycore-rpmsg.dtbo
```

重启目标并在 U-Boot 中执行：

```
u-boot=> run prepare_mcore
```

M7 Core 的固件.elf 文件可以在 /lib/firmware 下找到。要加载固件，请输入：

```
target:~$ echo /lib/firmware/<firmware>.elf > /sys/class/remoteproc/remoteproc0/firmware
target:~$ echo start > /sys/class/remoteproc/remoteproc0/state
```

要加载不同的固件，M7 Core 需要停止：

```
target:~$ echo stop > /sys/class/remoteproc/remoteproc0/state
```

#### 备注

在开发板上找到的 /lib/firmware 中的例子来自 NXP 的 Yocto 层 meta-imx。要使用您通过 MCUX SDK 自己编译的样本，请在编译后将它们复制到开发板的 /lib/firmware 中。

### 8.2.3 使用 J-Link 进行调试

Segger 软件可以从 <https://www.segger.com/downloads/jlink/> 获取。从 Segger 软件的 V7.20a 版本开始，访问 i.MX 8M Plus 的 M7 Core 需要将额外的配置文件复制到 J-Link 软件目录中：NXP J-Link 文件用于 i.MX 8M Plus

与 J-Link 一起，GDB 服务器可用于运行和调试软件。在 phyBOARD-Pollux 上，JTAG 引脚可以通过 X6 扩展连接器访问。最简单的方法是使用 PEB-EVAL-01 开发板，该开发板的顶部有一个 JTAG 接口。

```
host:~$ sudo apt install gdb gdb-multiarch
```

要启动 J-Link 软件，请输入：

```
host:~$ JLinkGDBServer -if JTAG -device MIMX8ML8_M7
...
Connected to target
Waiting for GDB connection...
```

使用 GDB 调试运行固件，请输入：

```
host:~$ gdb-multiarch firmware.elf
...
(gdb) target remote localhost:2331
(gdb) monitor reset
Resetting target
(gdb) load
...
(gdb) monitor go
```