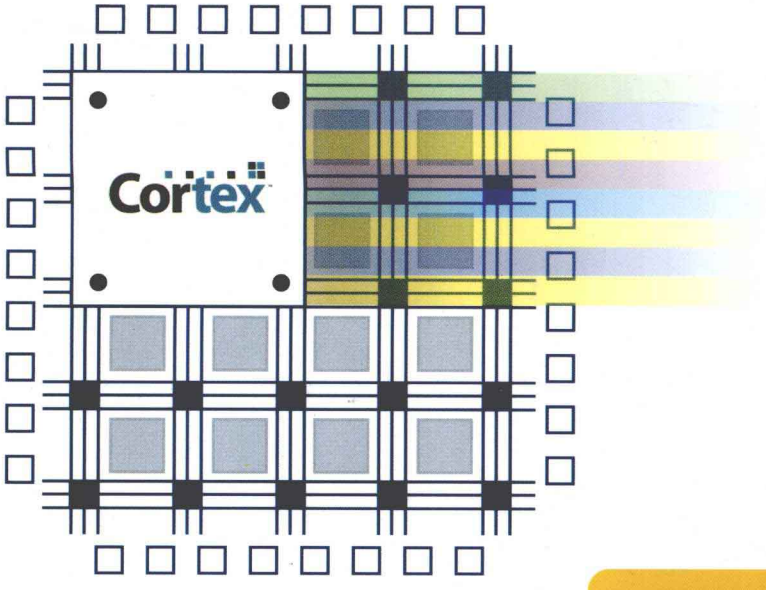
HZ BOOKS
华章科技

软件、硬件、I/O全可编程SoC——Zynq的全球首本实战开发指南。
单芯片上实现软硬件协同设计的开山之作，20个设计实例循序渐进引导实战。
从单模块案例向系统级案例拓展，提供完整工程文件和源代码，极具可操作性。

FPGA与嵌入式



ZYNQ

嵌入式系统软硬件协同设计实战指南

基于Xilinx Zynq

陆佳华 江 舟 马 岷 编著

附光盘

机械工业出版社
China Machine Press

本书最大的特点是实操性强，可以让读者将基于Zynq这个软硬件全可编程SoC的ZedBoard以最快的速度用起来。通过对涉及的技术课题和多个设计案例的全面和深入的实践，使读者掌握双核ARM和FPGA加速的嵌入式系统的软硬件协同设计技术。所以本书不仅适用于广大工程技术人员，也适用于高等院校的师生和科研人员，本书为他们提供了非常有价值的参考内容和方法指导。

—— 清华大学 孟宪元教授

赛灵思（Xilinx）的Zynq芯片是嵌入式系统发展的集大成者，是软硬件以及I/O全可编程SoC，拥有极大的灵活性，但也带来需要使用者掌握更多综合技能的挑战。本书以迅速可上手的案例开始，帮助使用者建立兴趣和自信，然后过渡到Zynq体系结构和外设等的讲解，循序渐进，最后扩展到软硬件协同设计，以智能小车为平台，将现代嵌入式系统的一些诸如OpenCV、嵌入式Web服务器、HLS等前沿技术以实例展示。本书是一本不可多得的好书。

—— Xilinx大学计划大中华区经理 谢凯年博士

赛灵思（Xilinx）的Zynq系列产品结合了双核ARM Cortex A9处理器与可编程逻辑架构，使得开发人员在获益于ARM丰富的生态系统资源的同时，也获益于FPGA的灵活性和可扩展性。本书对于众多希望尽快了解Zynq产品、熟练使用Znyq的国内用户们而言是一本非常有价值的参考书。书中不仅介绍了翔实的基础内容，还提供了很多实用的案例供读者实践。

—— ARM中国区大学计划经理 时昕博士

Zynq不仅是一款全可编程SoC，更是一个革命性的创新平台。在和客户沟通的过程中，我发现Zynq平台能够让客户的技术创新能力发挥得淋漓尽致，不再受限于单纯的硬件或软件。本书详细地介绍了基于Zynq的嵌入式系统设计，结合典型案例，深入浅出，很好地体现了软硬件协同设计理念。本书将帮助对Zynq感兴趣的读者快速上手，体验到全可编程的乐趣！

—— 赛灵思（Xilinx）亚太区Zynq 市场开发经理 罗霖

Zynq有机地结合FPGA与ARM两大主流嵌入式技术，是一款具有划时代意义的产品。该书以应用为导向，全方位地将赛灵思（Xilinx）最先进技术展现在读者面前。应用项目有很强的代表性，技术剖析细致入微，兼顾读者兴趣与技术规范，是国内FPGA领域不可多得的一本好书。

—— Digilent中国区总经理 赵峰博士

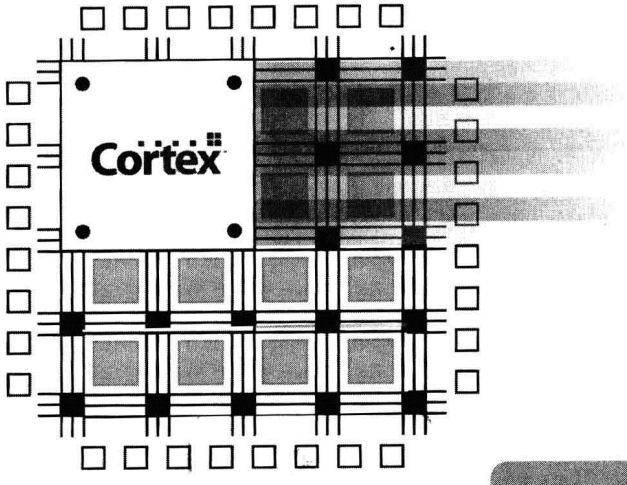
嵌入式系统的软硬件协同设计、SoC芯片系统级设计一直都是众多电子工程师的梦想，赛灵思的Zynq正好可以满足这种需求，从而充分发挥工程师的设计能力。该书从简单的实例入手、循序渐进，通过电机控制、智能健康平台、高端视频处理和智能小车等实用案例，充分发掘当前产业界的需求并紧密结合Zynq的特点，让大家对Zynq从基本技术到系统应用有了全面的认识。对广大的嵌入式和FPGA的爱好者而言，是一本值得推荐的好书。

—— 安富利高级技术市场经理 陈志勇博士

上架指导：电子与电气工程/FPGA
ISBN 978-7-111-41107-9
9 787111 411079 >
定价：69.00元（附光盘）

客服热线：(010) 88378991, 88361066
购书热线：(010) 68326294, 88379649, 68995259
投稿热线：(010) 88379604
读者信箱：hzjsj@hzbook.com
华章网站：www.hzbook.com
网上购书：www.china-pub.com

FPGA与嵌入式



ZYNQ

嵌入式系统的硬件协同设计实战指南

基于Xilinx Zynq

陆佳华 江舟 马岷 编著
孙宏滨 主审

机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目（CIP）数据

嵌入式系统软硬件协同设计实战指南：基于 Xilinx Zynq / 陆佳华等编著. —北京：机械工业出版社，2013.1

ISBN 978-7-111-41107-9

Ⅰ. 嵌… Ⅱ. 陆… Ⅲ. 微型计算机－系统设计 Ⅳ. TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 007928 号

本书由浅入深，由基础知识到实战案例向读者系统阐述了如何利用 Zynq 平台进行嵌入式系统以及软硬件协同设计的开发。本书分为基础篇与进阶篇两部分，基础篇中介绍了 Zynq 器件、ZedBoard，并配有简单入门实验，同时针对软件开发人员增设了 FPGA 硬件加速等内容。在进阶篇中介绍了利用 Zynq 进行软硬件协同设计，同时对处理器与可编程逻辑接口等技术进行了详细剖析。本书提供了 20 个详细的设计案例，涵盖了硬件板卡、FPGA 逻辑、Linux 驱动、Linux 操作系统、上层应用、软硬件协同设计等 Zynq 开发中可能遇到的各个方面的知识，并在最后将前述独立案例整合为 4 个系统案例。本书重点突出实战，以案例为指导，配合介绍相关参考文档，协助读者尽快掌握在 Zynq 上进行各项设计的方法。

本书可作为 Zynq 初学者、软硬件协同设计开发人员的参考用书，亦可作为大专院校嵌入式系统设计、片上系统设计、可编程逻辑器件等相关专业的教师和学生的参考用书。

机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：孙海亮

北京市荣盛彩色印刷有限公司印刷

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

186mm×240mm · 23 印张

标准书号：ISBN 978-7-111-41107-9

ISBN 978-7-89433-771-9（光盘）

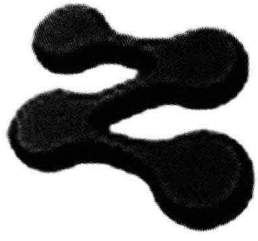
定 价：69.00 元（附光盘）

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

客服热线：（010）88378991，88361066 投稿热线：（010）88379604

购书热线：（010）68326294，88379649，68995259 读者信箱：hzjsj@hzbook.com

目　录



第一部分

基 础 篇

初试 ZedBoard

Zynq 平台介绍

ZedBoard 开发环境

开发工具链

Zynq 体系结构

系统级信号

Zynq 启动与配置

面向软件工程师的逻辑设计

ZedBoard 入门

第 1 章
初试 ZedBoard

欢迎大家来到 Zynq 的世界。对于这个业界首款 ARM Cortex A9 双核与 FPGA 紧密融合的全可编程片上系统（All Programmable SoC），大家一定期待已久了吧。那么这款具有颠覆性构架的芯片到底能给我们带来怎样的惊喜呢？本章将通过两个简单的例子，让大家对 Zynq 的能力有一个大致的认识。还等什么，拿起你的 ZedBoard 跟我来吧。

1.1 GPIO LED 动手玩

通常实验的第一个例子是从如何点亮 LED 开始，ZedBoard 也是这样，但是如果你细心观察，将会发现特殊之处哦。在这个实验中，你需要准备 SD 卡读卡器，USB-microUSB 线。

1.1.1 拷贝 SD 卡

将 ZedBoard 中的 SD 卡拔出，插入 PC 后格式化。在随书附赠的光盘的第 1 章中找到 BOOT.BIN 文件，将其拷贝到 SD 卡中。卸载 SD 卡，将其插入到 ZedBoard 上 SD 卡插槽中。注意：千万不要重命名 BOOT.BIN 文件，后面的章节会解释具体原因。

1.1.2 跳线与外设连接

拿起你的 ZedBoard，在板卡的右上方你将找到五个跳线帽。它们用于设置 ZedBoard 的启动模式，在这里我们将五个跳线按图 1-1 所示进行设置。图中设置方式表示其将从 SD 卡启动。

使用 USB-microUSB 线将 ZedBoard 与 PC 相连。注意，ZedBoard 的连接口为板卡左上方的 UART 接口。打开串口监视软件（TeraTerm），设置参数如下：波特率 115200，数据位 8，停止位 1，无奇偶校验位，无硬件控制流。

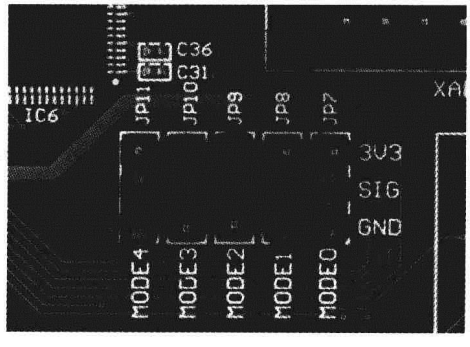


图 1-1 SD 卡启动跳线设置

1.1.3 演示操作

打开串口终端，打开 ZedBoard 电源开关。Zynq 将

会根据启动模式设置自动从 SD 卡启动，你将看到图 1-2 所示打印信息。

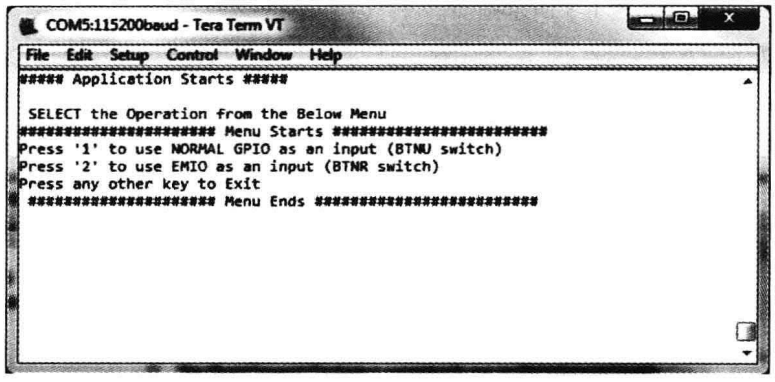


图 1-2　SD 卡启动后串口打印信息

利用超级终端输入“1”，进入正常 GPIO 输入模式。此时，在 ZedBoard 上按下 BTNU 按键，LD9 将会熄灭若干秒后亮起。

点亮 LED 的实验到这里就结束了。如果仔细观察串口打印信息，你可能会感到疑惑：什么是普通的 GPIO，难道还有不普通的 GPIO 吗？EMIO 又是什么东西呢？保持疑惑，在后面的章节中，我们将会为你一一解答。

1.2　Linaro Ubuntu 动手玩

是不是觉得我们为你准备的第一个实验太简单了，不能展现 ZedBoard 的魅力？好嘞，下面这个实验将带你体验 ARM Cortex A9 双核的能力。在这个演示中，你需要一台装有 Linux 系统的 PC、HDMI 线（或者 HDMI 转 DVI 线）、具有 HDMI 或 DVI 输入接口的显示器、USB Hub、网线、USB 鼠标、USB 键盘、USB 摄像头（可选）。什么？你不会 Linux？那可糟糕啦！众所周知 ARM + Linux 的嵌入式应用早已经铺天盖地地进入市场，就连异常火爆的 Android 也是基于 Linux 内核的。来吧，打开你的电脑，装一个 Linux 跟我们一起玩吧！关于 Linux 系统版本的选择，本书推荐使用 Ubuntu 12.04，这是一个 LTS 版本，对于日常开发使用而言足矣。如果不想装双系统怎么办？那就装一个虚拟机，比如 VirtualBox，再安装你的 Linux，一样可以和我们一起玩。

1.2.1　SD 卡分区

在 ZedBoard 中自带的 SD 卡容量是 4GB 的，当然更大容量的 SD 卡也同样可以。将 SD 卡格式化后，分为两个分区：一个 FAT 格式分区（500MB），另一个为 EXT4 分区（至少 3GB）。在 ubuntu 12.04 环境下，可以使用 Disk Unity 工具实现。

首先将一张新 SD 卡挂载到 Linux 系统中，打开 Disk Unity 软件，单击 USB Mass Storage Device选项，你应该看到如图 1-3 所示画面。

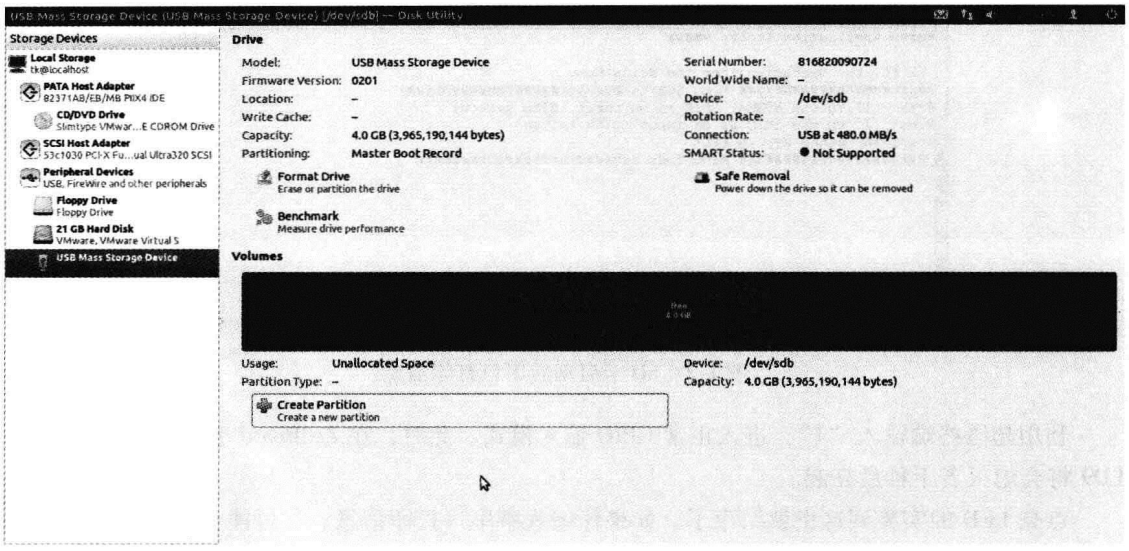


图 1-3　SD 卡挂载至 Linux 系统

单击 Creat Partition 选项，首先建立一个大小为 500MB 的 FAT 格式分区，具体设置如图 1-4 所示。

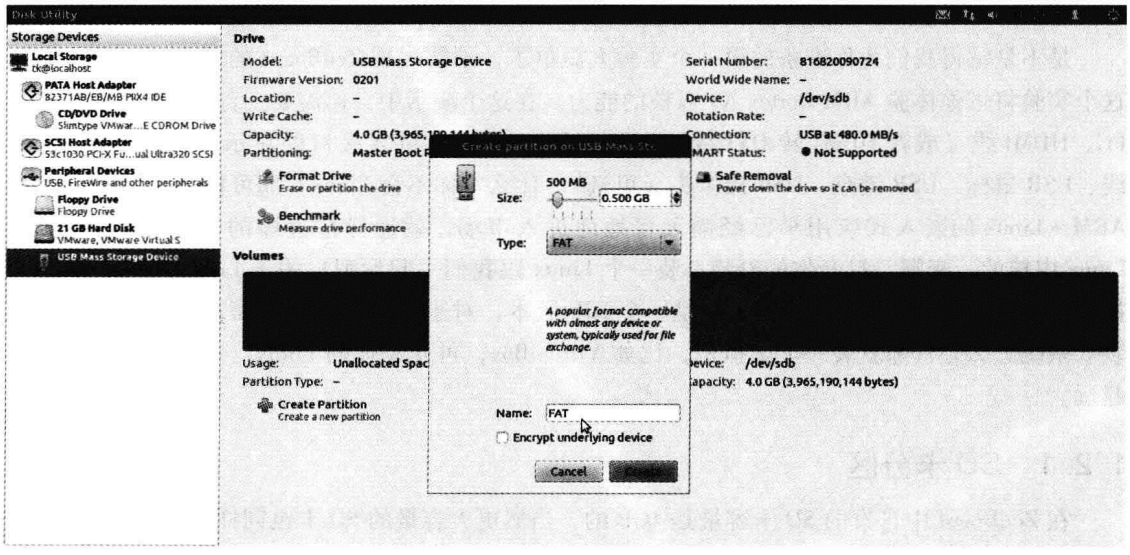


图 1-4　设置 FAT 分区

利用同样的方法，将剩余空间建立为 EXT4 格式的分区，具体设置如图 1-5 所示。

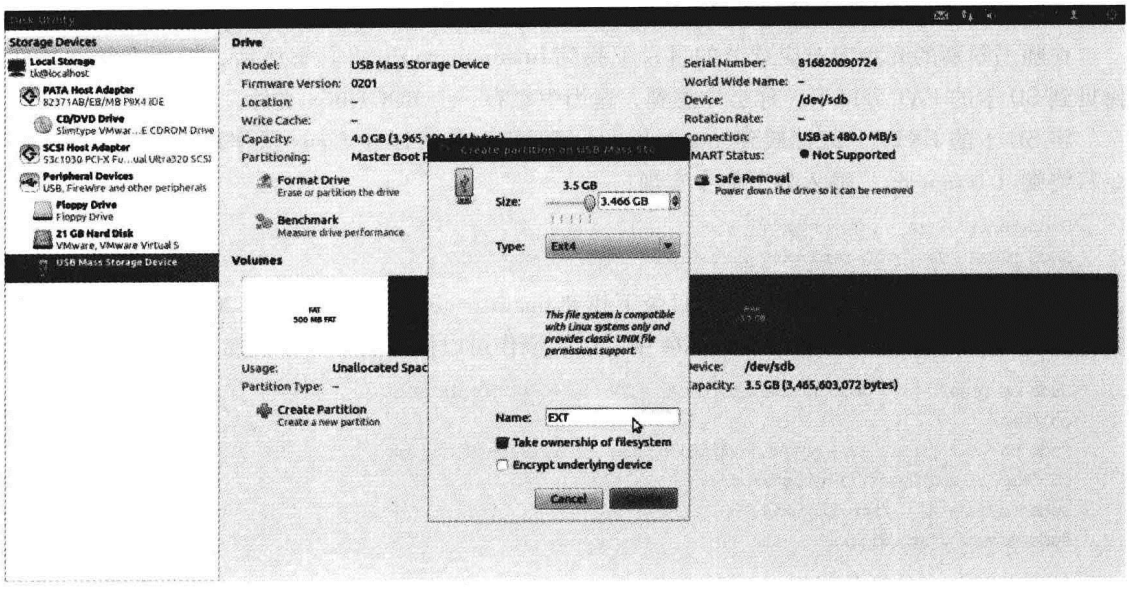


图 1-5　设置 EXT4 分区

分区完成后，你将看到两个分区，如图 1-6 所示。

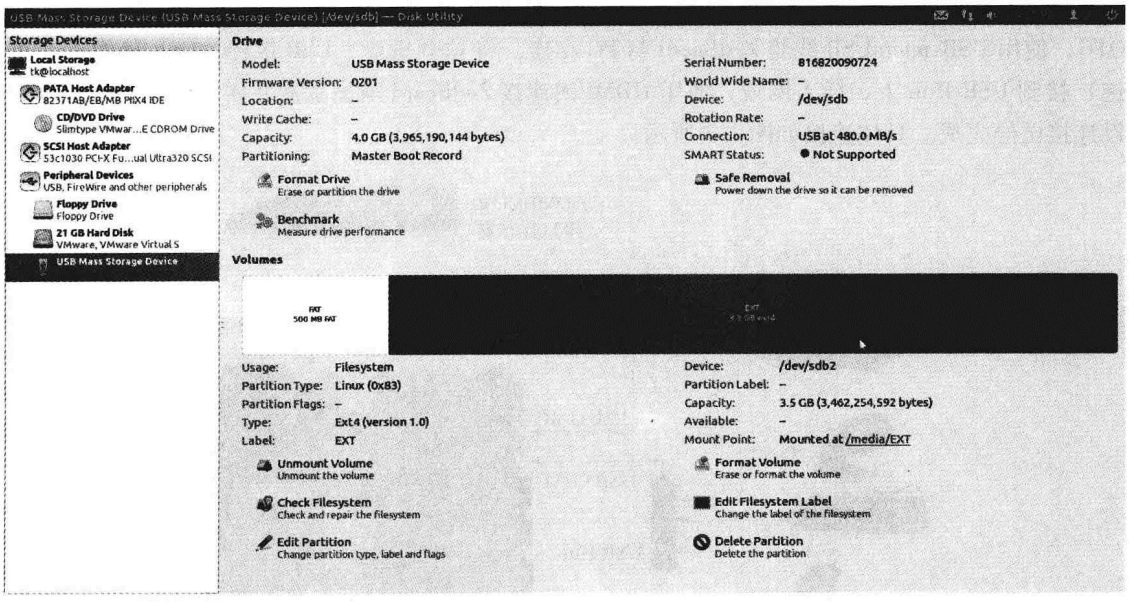


图 1-6　分区结果

1.2.2　文件拷贝（FAT/EXT）

在随书附赠的光盘中对应章节的目录下找到 linaro_demo.zip 将其解压后，把所有的文件都拷贝到 SD 卡的 FAT 分区下。你会注意到，这当中也有一个 BOOT.BIN 文件。

将 SD 卡的 EXT4 分区挂载到/tmp/sd_ext4 目录下。你可以在 Linux 操作系统下打开一个命令行终端（Terminal），输入如下命令实现：

```
Sudo mkdir  -p  /tmp/sd_ext4
Sudo mount /dev/ < SD card ext4 partition > /tmp/sd_ext4
```

在随书附赠的光盘中对应章节的目录下找到 linaro-o-ubuntu-desktop-tar-20111219-0.tar.gz 将其拷贝到 tmp 目录下，并解压到 sd_ext4 中。以上操作可以使用如下命令实现。

```
Sudo cp linaro - o - ubuntu - desktop - tar - 20111219 - 0.tar.gz /tmp/
cd /tmp
Sudo tar zxf linaro - o - ubuntu - deskopt - tar - 20111219 - 0.tar.gz
cd /tmp/binary/boot/filesystem.dir/
sudo rsync - a ./ /tmp/sd_ext4
sudo umount /tmp/sd_ext4
```

卸载 SD 卡，并将其拔出。

1.2.3　外设连接

将 SD 卡插入 ZedBoard，连接其他外设。将 USB Hub 通过 USB 转接头连上 ZedBoard 的 USB OTG，使用 USB-microUSB 线将 ZedBoard 与 PC 相连，将 USB 键盘、USB 鼠标、USB 摄像头（可选）接到 USB Hub 上，插入网线，使用 HDMI 线连接 ZedBoard 与显示器并插上电源。至此，外设连接已经完成。具体连接如图 1-7 所示。

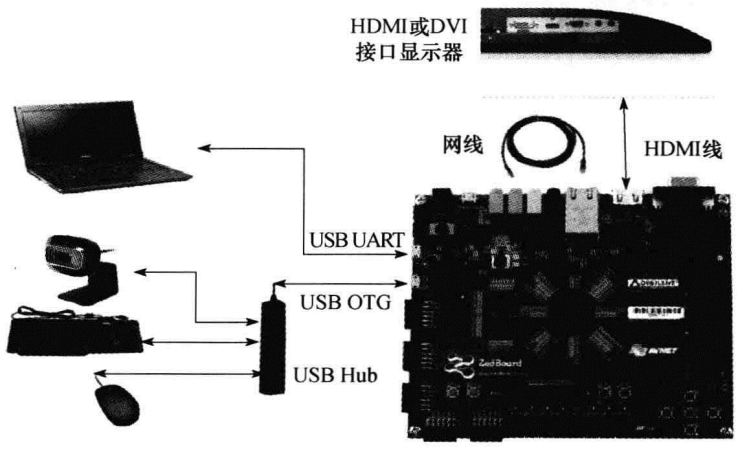


图 1-7　ZedBoard 外设连接

1.2.4　可演示的效果

打开超级终端（在 Linux 平台下可以使用 minicom），打开 ZedBoard 电源，是不是很奇怪，怎么什么反应都没有？稍等片刻，大约 10 秒后，ZedBoard 将亮起一盏蓝灯。这表示 Zynq 芯片已经完成了自我启动与配置。其后超级终端中将打印出 Bootloader、Kernel 的启动信息，同时显示器上将出现 Linux 标志性的 logo：企鹅。

大约 30 秒过后显示器中将出现大家熟悉的 ubuntu 登录界面，登录密码为：linaro。然后大家就能看到 ubuntu 桌面啦！其实，运行在 ZedBoard 上的这个 ubuntu 版本是 11.04 的，也采用了 unity 界面，是不是和你的 PC 上的情况一模一样？通过用鼠标键盘，我们可以像使用 PC 一样使用它，在我们的一次展会上，我们拍到了如图 1-8 所示的一幕，一个小朋友都可以拿起鼠标键盘进行操作了。

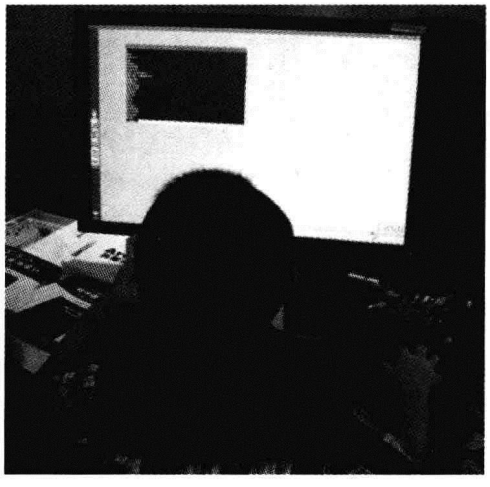


图 1-8　ZedBoard 上 Linux 运行结果

在上一个实例中，我们使用了串口与实体按键实现了控制板上的一个 LED 的亮灭的目的。那么在 ubuntu 环境下，我们能否实现类似的功能呢？当然可以！

在超级终端中输入如下命令：

```
sudo mkdir /mnt/SD
sudo mount /dev/mmcblk0p1 /mnt/SD
cd /mnt/SD
sudo /mnt/SD/led_test.sh
```

ZedBoard 上的 8 个 LED 将会依次亮起，然后依次熄灭。

看到了 LED 上方的 OLED 了吗？我们一样可以点亮它！实现的命令如下：

```
sudo ./oled_test.sh
```

你将看到 ZedBoard 的制造商 Digilent 公司的 logo 显示在了 OLED 上，如图 1-9 所示。

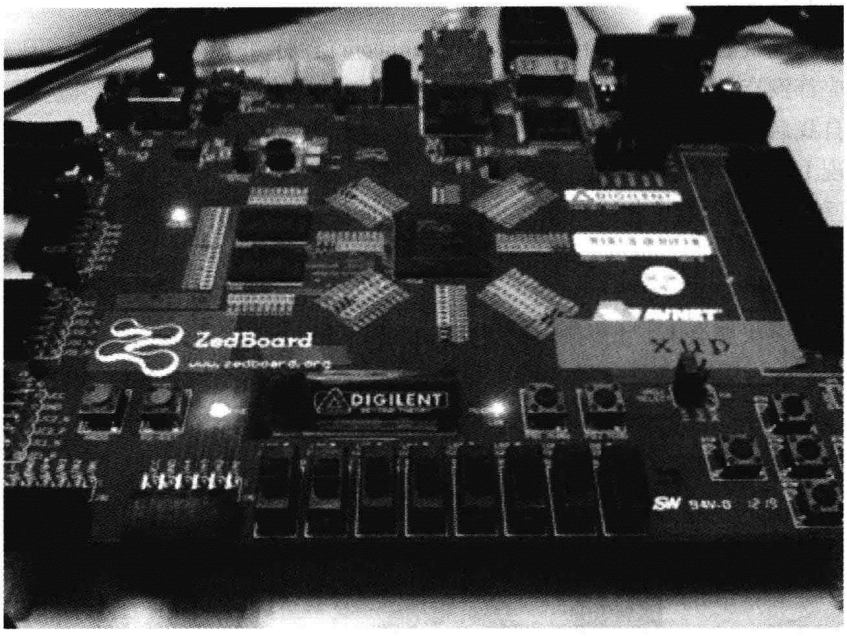


图 1-9 控制 OLED 显示

如果你有兴趣，可以用 vi 命令看看，这两个脚本做了哪些事情，使得控制外设变得如此简单。

还有更炫的展示！

如果你已经准备了 USB 摄像头并且已经在 Linux 上自带了驱动（检查方法为，在/dev 目录下查看是否有 video0 设备）。

去 ubuntu 在线软件库中下载 VLC 软件，可以使用如下命令实现（当然你得保证你的网络已经正常工作啦）软件的安装：

```
sudo apt-get install vlc
```

待软件安装完成以后，输入 vlc /dev/video0，VLC 中将会出现摄像头视频的实时显示。

在本章节中，我们给大家简单地介绍了两个运行在 ZedBoard 上的实例，展现了 Zynq 芯片强大的性能。如果您跟着我们一步一步完成，相信已经亲眼目睹了 ZedBoard 的魅力所在。当然，此刻的你肯定充满了疑惑：LED 的控制到底是 ARM 来控制的还是 FPGA 的逻辑实现？为什么 Zynq 能做高清的显示？里面的显卡在哪里？怎么设计？为什么 linaro ubuntu 启动的时候要经过那么长时间的 FPGA 配置才能启动 uboot？如果我自己做了 FPGA 的外设，要怎么接入 Linux 端？如果你带着这些问题，非常好，后面章节将为你一一做出解答。跟我们一起开始真正的 Zynq 学习之旅吧！