

# 1 FPGA 基础

## 1.1 按键去抖动以及按键阵列检测

学习按键去抖动的方法，进一步应用到 4x4 键盘阵列的检测和读取。动态数码管扫描也是类似的方法。

## 1.2 多路分频器设计

学会分频方法，设计任意频率发生器（任意分频）。

学会使用 ila 抓取上板测试的波形，在上板调试过程中非常有用。

## 1.3 串口收发

实现串口字符的收发。

## 1.4 spi flash

了解 spi 协议和 spi flash 读写操作，设计简单的 flash 控制器，实现 flash 的擦除、编程、读取等。

## 1.5 sd 卡读写

sd 卡或 tf 卡是嵌入式设备重要的存储模块，通过此实验了解 sd 卡的读写。在次基础上可以读取 sd 卡中存储的图片等文件，用于显示和图像处理器操作。

## 1.6 VGA 控制器

学习 VGA 时序，并实现 VGA 显示，包括字符和图片显示。在此基础上设计俄罗斯方块、贪吃蛇等游戏。

## 1.7 HDMI

了解 HDMI 时序，完成 HDMI 显示。

## 1.8 网口开发

了解 UDP 协议，实现简单的网口通信。

## 1.9 简单的图像处理

用 Verilog 实现简单的图像处理程序，如 Sobel 边缘检测，推荐使用硬件乘法器 IP。

# 2 SoC 基础

主要参考米联客《Zynq SoC 修炼秘籍》

## 2.1 嵌入式最小系统

包括 hello world 实验，内存测试等。

## 2.2 MIO/EMIO

PS 端的操作。

## 2.3 自定义 IP

创建简单的用户 IP，学习 PS+PL 开发思想。

## 2.4 程序固化

学习镜像文件的制作，在搭建 Linux 系统时有重要作用。

## 2.5 XADC 实验

借助 Zynq 内嵌的 XADC 采集内部参数。

## 2.6 Zynq PL 中断请求

学习外部中断，通过 PL 传递中断，在 PS 端接受并处理器。

## **2.7 定时器中断**

PS 端自己的中断。

## **2.8 串口中断**

进一步学习中断。

## **2.9 User GPIO**

创建基于 AXI 接口的 IP。

## **2.10 软硬件调试技巧**

在 Block Design 中使用 VIO 和 ILA，学会软硬件联合调试。

## **2.11 AXI Lite 总线**

通过分析代码了解工作时序。

# **3 DMA/VDMA**

## **3.1 DMA Loop 环路测试**

SDK 发送数据到 DMA，DMA 将数据发送到 DDR，SDK 读取内存地址中的数据，对比是否和发送的一致。

## **3.2 PL 发送数据到 PS**

接上一个实验，PS 端接收。

## **3.3 基于 DMA 的摄像头采集系统**

没有摄像头可以换成本地视频流或图片。

### 3.4 基于 VDMA 的摄像头采集系统

VDMA 主要用于视频流的存取，在图像、视频处理系统中具有重要意义。

### 3.5 DMA LWIP 以太网传输

PL 通过 DMA 将数据发送到 PS DDR 的乒乓缓存中，PS 将缓存的数据通过 TCP 协议发送至 PC。

### 3.6 通过 BRAM 进行 PS 与 PL 的数据交互

适用于传输少量，地址不连续，长度不规则的数据。

## 4 Linux 系统开发（嵌入式开发）

参考《Zynq SoC 修炼秘籍》（2017 版不完整）和《Zynq-7000 嵌入式系统设计与实现——基于 Cortex A9 双核处理器和 Vivado 的设计方法》

### 4.1 构建硬件运行环境

在基本硬件环境的基础上添加用户定制外设的 IP。

### 4.2 构建软件运行环境

编译 u-boot, kernel, 设备树和文件系统。制作启动镜像，从 sd 卡或 flash 启动 Linux。

### 4.3 开发字符设备驱动程序

除了 PS 一端的外设之外，用户可以在 PL 中定制大量不同类型的外设。Linux 中没有提供这些外设的驱动，需要自行开发。

### 4.4 运行 Qt 程序

搭建 Qt 交叉编译环境，在开发板上运行 Qt 程序。

## 5 HLS 入门

参考 ug902 和 ug871。

## 5.1 基于 HLS 的流水灯

熟悉 HLS 的开发流程。

## 5.2 简单算法的实现

通过 HLS 实现矩阵乘法，FFT 等计算密集型算法，体会 HLS 优化指令对设计的影响。

## 5.3 图像处理实例

通过 HLS 开发肤色检测或边缘检测等图像处理程序，并搭建完整的软硬件系统。

# 6 MIG 控制器

## 6.1 DDR 读写测试

了解 MIG 控制器的使用。

## 6.2 DDR 缓存图像数据

通过 DDR 缓存图像数据并输出，可以移植到其他工程中。

# 7 PCIe 开发

## 7.1 XAPP1052

Xilinx 官方的 XAPP1052 demo 提供了一种古老的 PCIe 开发方式，可以用来分析学习。

## 7.2 XDMA 基础测试

Vivado 自带 PCIe DMA 即 XDMA，目前主要使用这种方式。在本例程中测

试 AXI4 读写 DDR，AXI-Lite 读写 BRAM。

### **7.3 XDMA 读写 BAR 和 BRAM**

进一步了解 XDMA 的原理。

### **7.4 XDMA 图像传输**

主机读取本地图像，通过 PCIE 传送给 FPGA，FPGA 处理完成后通过 PCIE 传给主机。