



基于 ZYNQ 平台的双目图像采集实验 案例设计与实现

于 蕾, 李欣泽, 潘大鹏, 肖易寒

(哈尔滨工程大学 信息与通信工程学院, 哈尔滨 150000)

摘要: 为了改进电子系统设计类实验课的教学方式, 丰富实验授课内容, 该文提出了一种基于 ZYNQ 平台的实验教学方式。阐述了将 ZYNQ 平台作为实验教学平台的优势, 介绍了 ZYNQ 平台实验课教学方法, 对双目图像采集实验的实验原理、硬件实现方案、实验实施过程和结果进行了讲解。通过学习实验原理并完成对系统模块设计、仿真和实现, 学生能够进一步了解和掌握 ARM 和 FPGA 软硬件协同设计的流程, 提高自身电子系统设计的自学和创新能力。

关键词: 电子系统设计; 双目图像采集; ZYNQ; 软硬件协同设计

中图分类号: G642.4

文献标志码: A

DOI: [10.12179/1672-4550.20200381](https://doi.org/10.12179/1672-4550.20200381)

Case Design and Implementation of Binocular Image Acquisition Experiment Based on ZYNQ Platform

YU Lei, LI Xinze, PAN Dapeng, XIAO Yihan

(College of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150000, China)

Abstract: To improve the teaching method of electronic system design experimental courses and enrich the experimental teaching content, a case based on ZYNQ platform is proposed in this paper. This paper illustrates the advantages of using the ZYNQ platform as an experimental teaching platform, introduces the teaching method of the ZYNQ platform experimental course, and explains the experimental principle, hardware implementation scheme, experimental implementation process, and results of the binocular image acquisition experiment. By learning the experimental principle and completing the system module design, simulation and implementation, students can further understand and master the process of ARM and FPGA hardware and software collaborative design, and improve their self-learning and innovation ability of electronic system design.

Key words: electronic system design; binocular image acquisition; ZYNQ; software and hardware collaborative design

随着芯片制造行业设计能力和生产制造工艺的提升, 各种集成软硬件协同设计功能的芯片层出不穷^[1]。ZYNQ SoC 是一种将 ARM 和 FPGA 集成在一块芯片上的片上系统。ZYNQ 片上系统的架构特点使其兼备强大的逻辑计算能力以及软硬件可编程能力, 且位于 ARM 和 FPGA 端的多种接口极大地丰富了 ZYNQ 片上系统的可扩展性^[2]。ZYNQ 通过 AXI 总线技术实现系统 ARM 端和 FPGA 端的数据交互, 提高了数据传输速度, 极大地缓解了通过 I/O 端口传输数据导致的速度瓶颈。

为了扩展 ZYNQ 在图像处理、机器人领域内的应用, 结合课程组教师的科研项目, “电子系统设计”实验课程组推出了一个双目图像采集系统的软硬件协同实验案例^[3]。该案例通过 ZYNQ 中的 PS 端和 PL 端的数据交互练习以帮助学生初步掌握软硬件协同工作的基本流程。

学生通过自行查阅资料以对课题涉及的原理和设计思路进行简要的了解。在实验过程中, 学生要对系统的各个模块逐一进行设计、仿真和实现, 最终进行各模块的整合以及系统联调^[4], 来达到

收稿日期: 2020-08-06; 修回日期: 2021-03-24

基金项目: 2019 年黑龙江省教改项目(SJGY20190135); 教育部产学研合作协同育人项目(201802077040); 2018 年黑龙江省教改项目(SJGY20180095); 2017 年哈尔滨工程大学教育教学改革实验重点项目(JG0217B38)。

作者简介: 于蕾(1977-), 女, 博士, 副教授, 主要从事检测与测量技术等方面的研究。

培养学生进行电子系统设计的工作能力和创新能力。

1 实验原理

1.1 双目图像采集实验原理

双目图像采集主要包括数据采集和数据传输显示。如图 1 所示, 数据采集部分主要依靠双目摄像头模块 AN5642 以及数据格式转换的 IP 核实现功能; 而数据传输功能对 VMDA、DDR3 进行相应的配置来实现。

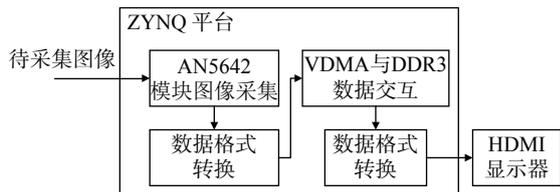


图 1 双目图像采集实验原理图

本实验基于 ZYNQ 自身特点, 采用了软硬件协同的设计方式^[5]。由于开发板的 PS 部分没有集成显示控制系统, 因此需要通过 DMA 实现 PL 部分与 PS 部分之间的信息交互, 将数据传输至位于 PL 部分的 HDMI 接口进行显示。VDMA 是 Xilinx 开发的特殊 DMA, 专门用于视频输入输出^[6]。在数据采集部分, 双目摄像头模块 AN5642 通过位于开发板 PS 部分的拓展口与开发板相连, 经过数据转换后由 ARM 处理器控制 2 个启用了写功能的 VDMA 将两路视频数据写入位于开发板 PS 部分的 DDR3; 在进行图像显示时, 通过启用 2 个读功能的 VDMA 将数据由 DDR3 中读出, 经数据格式转换至 HDMI 视频信号的格式后, 由位于开发板 PL 端的 HDMI 接口输出至显示器。

1.1.1 双目摄像头模块

双目摄像头模块 AN5642 采用的是 CMOS 型数字图像传感器 OV5640。OV5640 可以支持输出 RGB565、JPEG 等图像格式, 以及最大为 500 万像素、分辨率为 2 592×1 944 的图像。

OV5640 输出的数据长度为 10 bit, 但在实验中只需要使用其中 8 bit 的数据。由于在开发板中使用 RGB565(16 bit)格式输出采集到的数据, 因此需要用 2 个时钟周期完成一个像素数据的传输, 然后在 FPGA 接收端再拼接成完整的像素数据。

如图 2 所示, 该模块是自定义 IP 核 alinx_ov5640, 其作用是将摄像头输入的 RGB565 转换成 AX4-Stream 格式。该 IP 核包含一个 cmos_8_16 bit 模块, 用来将摄像头采集到的 8 bit 数据转化为长度

为 16 bit 的 RGB565 格式的数据。其中: cmos_vsync 为场同步信号; cmos_href 为行数据有效信号; cmos_pclk 为像素时钟; m_axis_video_aclk 为 AXI-stream 接口时钟; m_axis_video_aresetn 为 AXI4-Stream 复位信号; m_axis_video 为 AXI4-stream 信号输出(其中 m_axis_video_tuser 用于同步一帧的图像)。

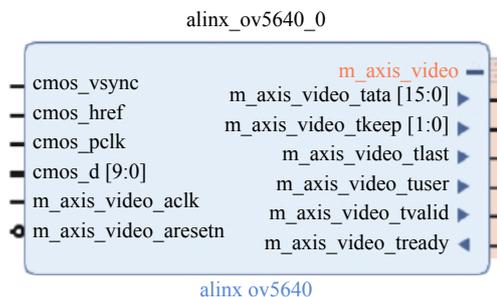


图 2 alinx_ov5640 IP 核

1.1.2 数据传输模块

DMA(direct memory access, 直接内存存取)是指外部设备不通过 CPU 直接与系统内存交换数据的接口技术^[7]。VDMA 是 Xilinx 的视频处理中一个关键的 IP, VDMA 是一个特殊的 DMA, 针对视频处理做了特殊的设计。

VDMA 的原理图如图 3 所示, VDMA 通过 AXI4 Memory Map 接口从 DDR3 中读写视频数据; 通过 AXI4-Lite 接口可以获得 VDMA 当前状态以及配置参数等信息; 而通过 AXI4-Stream 接口将视频数据输入至 VDMA 或从 VDMA 中输出。为了便于学生对 VDMA 的理解和运用, 本实验中共使用 4 个 VDMA 分别用于采集图像的写入和读出。

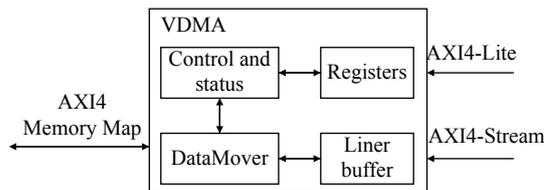


图 3 VDMA 原理图

1.1.3 输出显示模块

如图 4 所示, OSD IP 核的功能是将两路采集到的视频信号进行叠加, 将它们显示在屏幕的不同位置。本次实验中, 将显示背景的尺寸设置为 1 920×1 080, 背景颜色为蓝色。(由于在本系统传输的 24 bit 数据, 其组成为最高 8 bit 的数据为红色、中间 8 bit 的数据表示蓝色、最低 8 bit 的数据为绿色, 即是 RBG 而不是 RGB, 因此在配置界面

设置 Green 为 255 表示为蓝色。)将采集到的图像的起始位置(图像左上角的坐标值为起始位置)分别设置为(0,0)和(640,360)。

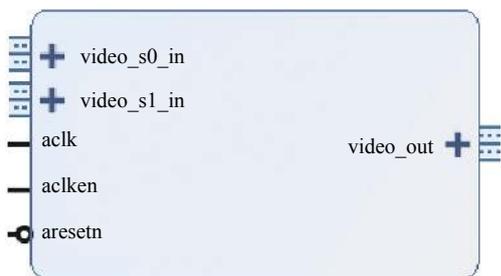


图 4 osd IP 核

1.1.4 硬件结构

根据双目采集原理图,我们给出了双目图像采集实验的硬件平台结构图,如图 5 所示。

通过自定义 IP 核 OV5640 模块将摄像头输入的 RGB565 转换成 AX4-Stream 格式。该 IP 核包含一个 cmos_8_16 bit 模块,用来把 8 位摄像头输入的数据转化为 16 位 RGB565 格式,用于指示一行的像素数据;而另一个模块 cmos_in_axi4s 是一个把摄像头的 RGB565 数据转化为 AXI4-Stream 的模块。由于 HDMI 显示是 RGB888 格式,因此需要添加 subset_converter IP 核,将摄像头输入的 16 bit 的数据转换成 24 bit 的数据。经过转换将两个通道采集到的数据通过 2 个 VDMA 写入内存,再由系统控制通过另外两个 VMDA(Interconnect IP 核用于 VMDA 与系统之间的信息交互)将数据从内存中读出进行叠加,然后通过 HDMI 接口输出。

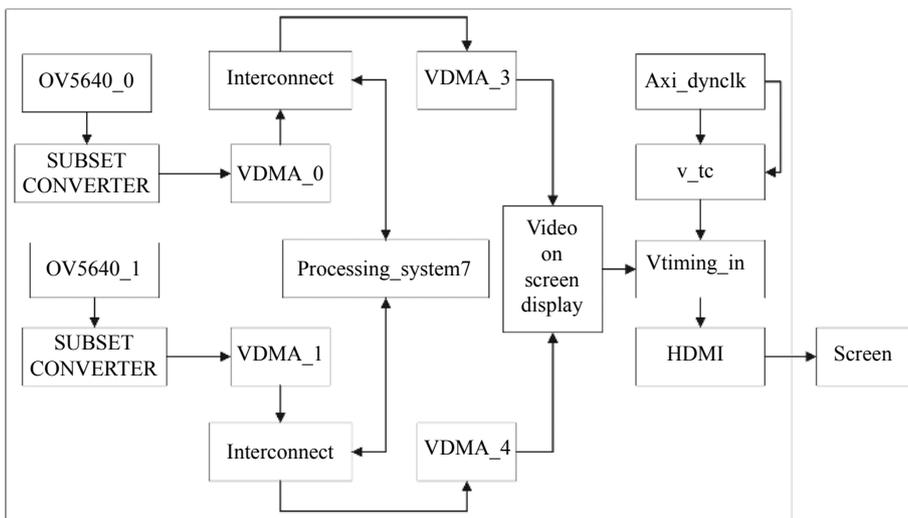


图 5 图像采集硬件实现结构图

2 实验实施过程和结果

2.1 PL 端技术实现

PL 端技术实现主要包括参数配置以及搭建硬件电路两个部分。

2.1.1 参数配置

本实验的目的侧重于让学生理解 ZYNQ 软硬件协同设计的思想^[8],因此在实验中为学生提供 IP 核的部分参数设置作为参考。

1) 添加 Processing_system7 并对 ZYNQ 进行有关参数配置。分别使能 2 个 I²C 接口、1 个 UART 接口、1 个 Ethernet 接口、1 个 SD 接口以及 1 个 GPIO MIO 接口。

2) 对 ZYNQ 的 DDR3 进行参数配置。实验室提供的开发板型号为 AX7020,因此使用的 DDR3

型号为“MT41J256M16 RE-125”。

3) 需要对系统时钟进行配置,其中 100 MHz 和 150 MHz 用于 VDMA 的 axi_lite_aclk 时钟和读、写功能时钟。

2.1.2 搭建电路

添加实验中需要用到的 IP 核,完成信号连接和部分的时钟连接,其余采用自动连接功能进行连线,如图 6 和图 7 所示。连线完成后对设计文件进行检查,再生成比特流文件,导出硬件,启动 SDK。

2.2 PS 端技术实现

在 SDK 中,完成图像采集和显示功能的控制和驱动^[9],包括对双目摄像头和 VDMA 的初始化及读写控制,进行 HDMI 和 Sensor 的复位以及 Sensor 的初始化。其次,完成用于显示的 VDMA 设置以及 VDMA 读取 OV5640 的设置。

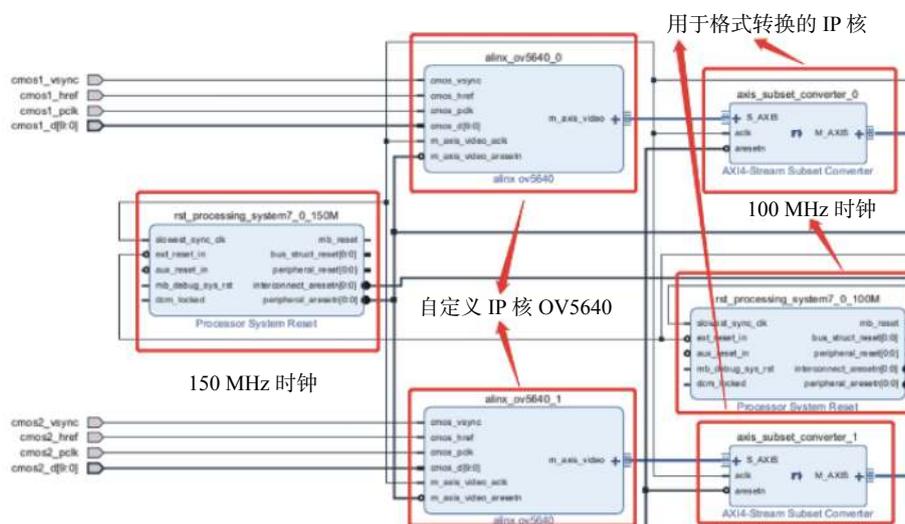


图 6 图像采集输入部分连接图

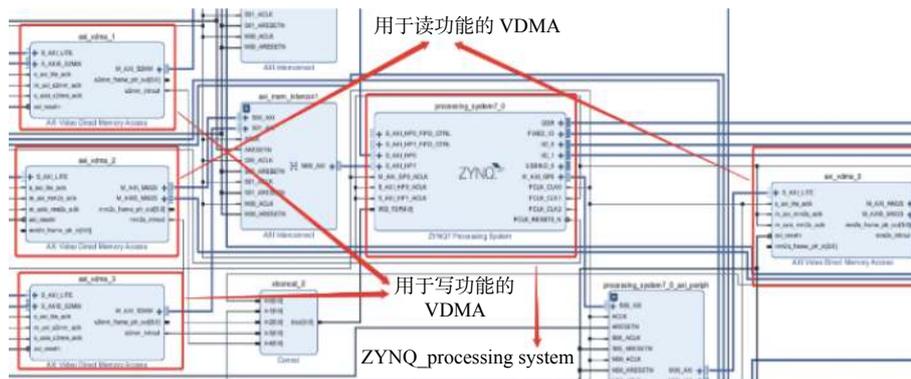
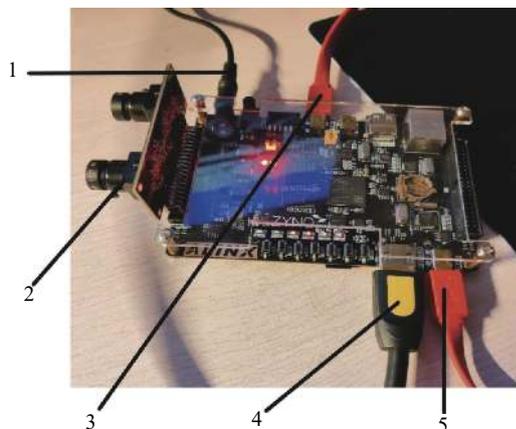


图 7 图像采集传输部分连接图

2.3 实验结果

在完成程序编写后, 如图 8 所示连接好硬件电路板。

启动开发板并使用 SDK 烧写程序^[10], 得到的单摄像头和双摄像头采集^[11]的结果如图 9、图 10 所示。



1-开发板的电源, 2-双目摄像头模块 AN5642, 3-UART 接口, 4-HDMI 接口, 5-JTAG 接口。

图 8 开发板实际连接图



图 9 单摄像头采集结果图



图 10 双摄像头采集结果图

3 结束语

基于 ZYNQ 的平台进行实验教学在以往的电子信息工程专业的实验中是很少见的。基于该平台进行实验教学环节,综合锻炼了学生的软件编程能力和硬件设计、调试能力,较以往的实验课程设计的综合性和难度均有所提高。本双目图像采集实验^[12]案例基于 ZYNQ 平台^[13],能够帮助学生了解和掌握 ARM 和 FPGA 软硬件协同设计的流程,同时也提供了后续扩展的可能性,提高了学生的自学能力和创新能力^[14]。

参考文献

- [1] 聂阳. 基于Zynq的嵌入式系统教学研究[J]. 电子测试, 2016, 339(Z1): 89.
- [2] 倪宏超, 栾峰, 丁山, 等. 基于ZYNQ-7000开发板的摄像头采集与处理系统实验设计与实现[J]. 计算机教育, 2018(4): 23-26.
- [3] 覃洪英. FPGA实验教学方法改进探讨[J]. 实验室科学, 2012, 15(4): 79-82.
- [4] 杨晓安, 罗杰, 苏豪, 等. 基于Zynq-7000高速图像采集与实时处理系统[J]. 电子科技, 2014, 27(7): 151.
- [5] 田慧, 管雪元, 姜博文. 基于Zynq的数据采集系统的研究与设计[J]. 电子测量技术, 2019, 42(2): 141-147.
- [6] 王淑玲. 基于ZYNQ实现实时人脸检测技术的研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2014.
- [7] 徐文娟, 张晓云. 多通道同步语音数据采集系统设计分析[J]. 无线电工程, 2012, 42(6): 19-21.
- [8] 王墨林, 戚昊琛, 鲁迎春, 等. FPGA课程创新型实验教学体系的实践[J]. 实验科学与技术, 2018, 16(4): 134-139.
- [9] 杨东. 基于ZYNQ的双目图像采集与处理系统的研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015.
- [10] 卢有亮, 姜书艳. 数字设计FPGA应用课程的挑战式实验教学设计[J]. 实验科学与技术, 2018, 16(6): 82-85.
- [11] 陈雪. 基于Zynq平台的双目视觉测距方法实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2018.
- [12] 周禹辰, 卜凡亮. 基于Zynq-7000的双目相机系统硬件平台设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2019, 19(1): 37-41.
- [13] 钱俊, 符意德, 逯沛龙. 双目视觉的图像采集模块设计[J]. 计算机与数字工程, 2015, 43(4): 725-728.
- [14] 陈学英, 王军, 习友宝. 基于FPGA的无线呼叫系统跨学科综合设计案例[J]. 实验科学与技术, 2019, 17(1): 41-45.
- [8] WALKER M R, KALLINGAL G J S, MUSSER J E, et al. Treatment efficacy of virtual reality distraction in the reduction of pain and anxiety during cystoscopy[J]. *Military Medicine*, 2014, 179(8): 891-896.
- [9] 周学东, 张凌琳, 叶玲, 等. 虚拟仿真技术在口腔医学教育领域的应用[J]. 实验技术与管理, 2014, 31(5): 4-6.
- [10] 张光曙. 虚拟现实技术及其在机械设计与制造中的应用初探[J]. 科技创新与应用, 2020(18): 151-152.
- [11] 熊巍, 何蔚珊. 基于Unity 3D的化学虚拟实验系统设计与实现[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(2): 28-31.
- [12] 吴金栋, 任光辉, 黄东键, 等. 基于虚拟仿真技术开展实践教学改革的研究与实践[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(5): 240-244.
- [13] 刘华颖. 浅谈虚拟仿真实验教学中心的构建[J]. 实验科学与技术, 2018, 16(3): 150-152.
- [14] 王楠, 徐永臣, 陶常飞. 多波束海底地形三维虚拟仿真研究[J]. 海岸工程, 2019, 38(3): 203-209.
- [15] 王睿, 李琦, 姜正龙, 等. 海洋地质专业虚拟仿真实验教学平台建设[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(12): 250-252.
- [16] 宁曦, 陈省平, 谢晓倩, 等. 虚拟仿真实验在海洋科学实验教学中的应用[J]. 教育现代化, 2018, 5(14): 160-163.
- [17] 陈梅. 第一人称射击类游戏“自我体验”的视觉表达[D]. 重庆: 西南大学, 2016.
- [18] 陈振杰, 李满春, 程亮, 等. 地球系统科学虚拟仿真实验研发[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(3): 133-138.
- [19] 强伟帆, 郭艳军, 周哲, 等. 虚拟仿真技术在地质学中的应用[J]. 高校地质学报, 2020, 26(4): 464-471.
- [20] 林霖, 刘明, 韩宗珠, 等. 海洋地球科学虚拟仿真实验教学系统建设及应用[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(1): 245-248.
- [21] 闫莎莎, 秦忠诚, 刘进晓, 等. 基于Unity3D的综采工艺虚拟仿真实验教学探索[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(8): 137-140.

编辑 张俊

编辑 钟晓