

基于 Zynq 的机载液晶显示器显控系统的设计

郑 澄^{1,2*}, 顾 克^{1,2}, 张 伟^{1,2}, 王光腾^{1,2}, 仲鹏鹏^{1,2}

(1. 中国电子科技集团公司第五十五研究所, 南京 210016; 2. 国家平板显示工程技术研究中心, 南京 210016)

摘 要: 设计了一套基于 Zynq 平台的机载液晶显示器显控系统, 集成了背光调节、按键处理、温度采集、低温加热、串口通讯、仪表界面绘制、显示驱动等功能, 采用软硬件协同设计的方法, 对各项功能进行软硬件的设计划分, 充分利用了 Zynq 平台中可编程逻辑部分强大的并行数据处理能力和处理器部分灵活高效的嵌入式编程模式。经试验验证, 该系统运行良好, 各项功能满足设计要求, 具有一定的工程应用价值。

关键词: Zynq; 显控系统; 软硬件协同设计; 仪表界面显示; Qt

中图分类号: TN873 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2022)02-0143-05

Design of Display and Control System of Airborne LCD Monitor Based on Zynq

ZHENG Cheng^{1,2}, GU Ke^{1,2}, ZHANG Wei^{1,2}, WANG Guangteng^{1,2}, ZHONG Pengpeng^{1,2}
(1. The 55th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Nanjing 210016, CHN;
2. National Flat Panel Display Engineering Technology Research Center, Nanjing 210016, CHN)

Abstract: A display and control system of airborne LCD monitor based on Zynq platform was designed. This system synthesized various functions, such as backlight, key handling, temperature acquisition, low temperature heating, serial communication, instrumental interface display, display driver, etc. It adopted the hardware and software co-design to partition these functions, and took full advantages of the ability of parallel data processing of FPGA in Zynq platform and the flexible and efficient embedded programming model of ARM. Finally, the experiment results demonstrated that the designed system could operate well and all the functions could satisfy the predesigned requirements, which implied the potential engineering value.

Key words: Zynq; display and control system; hardware and software co-design; instrumental interface display; Qt

引 言

随着航电技术的快速发展,机载液晶显示器的

功能和性能要求在不断f提高,对于 ARM、FPGA、DSP 等传统的嵌入式处理器,新一代的机载显示器显控系统需要用多个处理器芯片来搭建。Xilinx 公

收稿日期:2022-01-05

作者简介:郑 澄(1990—),女,工程师,主要研究领域为平板显示技术;(E-mail:yeseshanling@163.com)

顾 克(1996—),男,工程师,主要研究领域为平板显示技术;

张 伟(1985—),男,高级工程师,从事平板显示技术研究。

* 通讯作者

司推出了 Zynq-7000 系列芯片,其架构体系集成了一个双核 ARM Cortex A9 处理器和一个 FPGA 部件,其中处理器部分(PS, Processing System)可运行 Linux、Android 等操作系统,可编程逻辑部分(PL, Programmable Logic)拥有丰富的逻辑资源,且两者之间通过高级可扩展接口 (AXI, Advanced eXtensible Interface) 实现了高效的数据交互^[1]。基于 Zynq 平台搭建机载显示器显控系统,可实现在单一芯片上集成显示处理和多项控制功能,减少分立芯片之间接口连接的资源,也实现了物理尺寸和整体成本的降低。

1 系统架构

文章中设计的显控系统具有背光调节、按键处理、温度采集、低温加热、串口通讯、仪表界面绘制、

显示驱动等功能。在 Zynq 平台上,使用软硬件协同设计的方法^[2],首先对系统各项功能进行软硬件设计划分。为了充分利用 Zynq 平台 PL 强大的并行数据处理能力和 PS 灵活高效的嵌入式编程模式,系统的总体架构设计如图 1 所示。在 PS 上搭建操作系统用 Qt 应用程序实现仪表界面绘制,并将显示画面内容写入 DDR3 内存,再由 PL 上的显示驱动模块读取并处理成 LVDS 信号发送给液晶屏进行显示。同时在 PS 上完成对串口通讯数据的处理,并将处理数据传递到相应的功能模块,而系统的其他功能如背光调节、按键处理、温度采集、低温加热,可以在 PL 中设计封装成各个功能模块,在系统运行时利用丰富的逻辑资源实现并行处理,不占用 PS 的处理资源,从而提高系统运行效率。下文首先简单介绍各个功能模块的设计,然后针对其中的仪表界面绘制功能,重点介绍仪表界面显示软件的设计与实现。

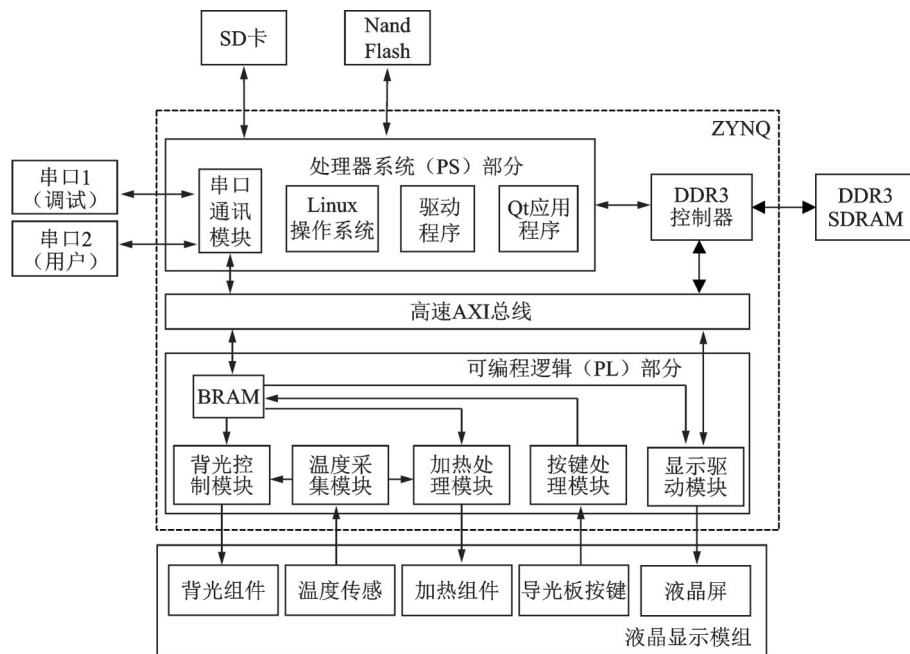


图 1 系统总体架构图

Fig.1 Block diagram of the system structure

2 功能模块设计

考虑到不同型号项目中的机载液晶显示器所具备的背光调节、按键处理、温度采集和低温加热等功能基本相似,且对应处理模块的工作原理和实现方法也相对一致,可以在 PL 中设计实现这些功能,并封装成相对固定、易于调用的自定义 IP 核。而串口通讯功能在不同产品上通常需求差异较大且经常变动,在 PS 中用软件实现

比较灵活高效。实现仪表界面的显示分为仪表界面绘制和显示驱动两个部分,由 PL 和 PS 协同设计完成,显示驱动可以利用 Zynq 中自带的一系列 IP 核,因此在 PL 上设计实现,而仪表界面内容复杂多变,且后期可能更改频繁,需要很高的灵活性,因此在 PS 中用软件代码实现,尤其是利用嵌入式操作系统加 Qt 的架构,可以大大缩短开发周期。下面对各功能模块的设计进行具体介绍。

2.1 背光控制模块

背光控制模块可实现白天模式和夜视兼容模式两种背光模式下0~255级亮度的精确调节。该模块通过脉冲密度调制(PDM, Pulse Density Modulation)技术控制LED电流的通断比例,实现对背光亮度的调节^[3]。同时,还根据背光温度及时对各色灯管的亮度进行补偿,保证显示器亮度和色度的稳定性。

2.2 按键处理模块

按键处理模块主要处理显示模块周边键的按键情况,如果按键数量较多、功能逻辑复杂或者存在较多组合键定义,且后期可能经常发生需求变更,建议在PL中完成对按键的硬件接口采集,再将结果传递给PS进行按键的逻辑功能处理,这样可以使模块的设计迭代更加高效灵活。

2.3 温度采集模块

显控系统具备屏温和背光温度的采集功能。Zynq的PL内部集成了一个高速ADC模块,即XADC,温度采集模块利用XADC采集多路温度传感器的模拟电压信号,转换为相应的屏温和背光温度信息,实现温度采集功能。

2.4 低温加热模块

低温加热模块通过控制PWM信号驱动加热电路,对液晶屏进行加热,根据温度采集模块提供的屏温信息实时调节PWM占空比,控制加热功率使其与屏温保持一定的函数关系,使加热效果迅速安全平稳。

2.5 串口通讯模块

本显控系统有两路通讯串口,一路是用于接收

用户指令的用户串口,一路是用于调试参数的调试串口,串口通讯模块通过PS中的UART控制器,实现对串口数据的收发。其中用户串口,由Qt应用程序解析用户发送的通讯数据包。而调试串口可根据指令内容修改PL上各模块的可配置参数,如背光控制模块的亮度参数、低温加热模块的加热参数、显示驱动模块的测试画面参数,这一功能涉及到PS与PL间的数据交互,考虑到此处的交互具有数据量较少、地址不连续、长度不规则的特点,可以通过片内BRAM实现。BRAM是PL上的存储器阵列,PS可通过AXI BRAM控制器对BRAM进行读写操作。

2.6 仪表界面绘制模块

仪表界面绘制模块由运行于嵌入式Linux系统的Qt应用软件实现,绘制的图像内容通过DDR3控制器映射到外部DDR3中进行缓存,供PS端的显示驱动模块读取和处理。

2.7 显示驱动模块

显示驱动模块由Xilinx提供的IP核AXI_VDMA (AXI Video Direct Memory Access)、VTC (Video Timing Controller)、VIDOUT (Video Out)以及LVDS输出模块组成,其原理框图如图2所示。AXI_VDMA实现对DDR3中显示图像数据的高速读取^[4],VTC产生显示器所需的视频时序信号,VIDOUT将前两者的信号结合起来,生成视频数据流。LVDS输出模块检测显示器当前运行模式,如为出厂模式,则将VIDOUT核输出的视频数据流转换为LVDS信号发送给液晶屏;如为调试模式,可根据串口调试指令输出相应的测试画面。

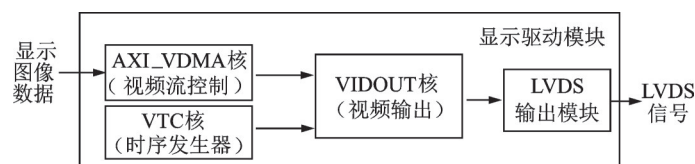


图2 显示驱动模块原理框图

Fig.2 Principle block diagram of display driver module

3 仪表界面显示软件

3.1 软件平台构建

Qt作为一个跨平台图形用户界面开发框架,具有易扩展、可移植性好和支持多平台交互开发的

特点^[5],其自定义组件编程机制,提供了丰富的类库,功能强大,简单易用,目前广泛用于虚拟仪表的开发^[6]。文章的Qt软件运行于Zynq平台的嵌入式Linux系统上,在开发Qt应用程序之前,为了构建软件运行平台需要进行以下内容的开发和配置^[7]:

(1)完成PS处理器端的硬件配置,生成硬件配置文件FPGA.bit,导入SDK后生成fsbl.elf,配置和编译u-boot文件,用于引导Linux内核启动,再将FPGA.bit、fsbl.elf和u-boot.elf打包,生成系统启动文件BOOT.bin;

(2)完成Linux内核的开发,编译生成内核镜像文件uImage,建立和配置设备树文件devicetree.dtb和文件系统uramdisk.image.gz;

(3)将(1)、(2)中生成的BOOT.bin、uImage、devicetree.dtb、uramdisk.image.gz存储到Nand Flash和SD卡中并配置好启动方式,实现Zynq平台上嵌入式Linux系统的启动,并在系统中移植Qt;

(4)开发IP核的驱动程序,如AXI_VDMA核,通过驱动程序使Linux内核能够利用AXI_VDMA核的三缓存机制实现对缓存区视频数据流的读写。

3.2 显示软件设计

设计Qt应用程序实现对仪表界面的显示和驱动,主要步骤如下:

(1)对仪表界面进行解析,确定所有显示元素的含义、图形组成、显示位置及动态变化轨迹,并根据其显示内容和区域的独立性,将仪表界面划分成各个模块;

(2)为各个模块分别设计一个自定义组件(Widget),并根据模块的显示需求设计开发组件的成员参数及功能接口;

(3)根据用户通讯协议,解析串口指令数据包内容,设计数据接口,供组件在进行各自的数据处理和图形绘制时调用,从而实现对显示界面的驱动。

文章的显示软件主要设计了主显示界面和状态自检界面,如图3所示,两个界面通过“切换”按键信号实现循环切换。主显示界面综合显示飞行

数据信息,以图形组件的方式呈现空速、飞行姿态、航向、飞行高度等仪表信息。状态自检界面显示系统状态自检结果,以文字方式显示电源、惯性测量单元、气压测量单元、计算机等模块的自检结果。

根据上述设计步骤,首先对显示界面进行分析,主显示界面可划分为5个模块:左侧为空速指示模块,右侧为高度指示模块,上方为部分飞行参数指示模块,下方为航向指示模块,中间为飞行姿态指示模块。状态自检界面由一段居中显示的文字组成,可定义为一个模块,即状态自检模块。

在Qt中为上述6个模块分别设计一个继承自QObject的自定义组件,定义成员参数和函数接口,完成各自的数据处理和组件绘制等功能。

本显示软件通过串口接收上位机周期发送的通讯数据包,从数据包中解析出各种飞行参数信息,并将所有的飞行参数信息保存在本地的一个结构体中,以便实时更新和调用,该结构体设计如下。

```
typedef struct
{
    float airspeed ;//空速
    float altitude ;//气压高度
    float roll_angle;//横滚角
    float pitch_angle;//俯仰角
    float heading_angle;//航向角
    int systemcheck;//故障检测bit位
    ...
}FLIGHT_PARA;
```

由于该结构体成员参数数量较多,这里不一一列举。上述结构体中所有参数可作为各显示组件的接口元素,供其在进行各自的数据处理和图形绘制时调用。对部分成员参数做影响效果分析,如表1所示。

在调用各组件的绘制函数进行界面绘制时,对于同一区域,后执行的绘图操作会覆盖前面的绘制效果,考虑到组件间的相互覆盖关系,绘制时需遵循一定的绘制顺序,如主显示界面,其绘制顺序如图4所示,依次为飞行姿态指示组件、航向指示组件、空速指示组件、高度指示组件、部分飞行参数指示组件。

模拟用户端发送串口通讯数据包,显示软件接收和解析数据包后绘制的主显示界面效果如图5所示。

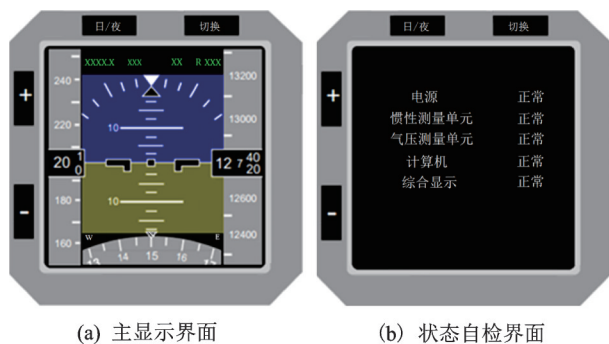


图3 仪表显示界面

Fig.3 Display interfaces of instruments

表1 各参数对组件绘制的影响域分析

Tab.1 Analysis of influence domain of each parameter on component drawing

参数名称	描述	影响组件	影响元素
air speed	空速	空速指示组件	刻度带偏移量、空速数值
altitude	气压高度	高度指示组件	刻度带偏移量、高度数值
roll_angle	横滚角	飞行姿态指示组件	天地球和刻度带旋转角度、横滚角指针位置及颜色
pitch_angle	俯仰角	飞行姿态指示组件	天地球和刻度带上下偏移量、俯仰线颜色
heading_angle	航向角	航向指示组件	半罗盘扇形刻度旋转角度
system check	故障检测 bit 位	状态自检组件	故障文字内容

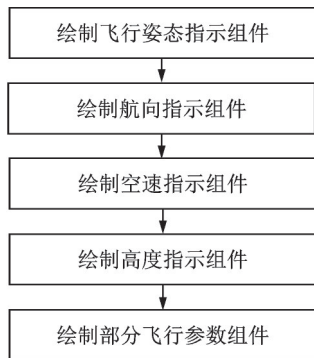


图4 主显示界面绘制流程图

Fig.4 The flow chart of drawing main display interface

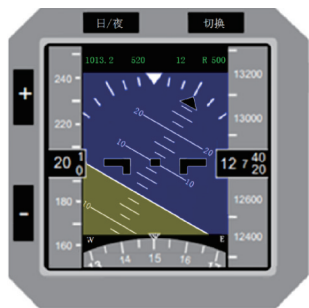


图5 主显示界面运行效果图

Fig.5 Operation effect diagram of main display interface

4 系统运行与测试

在机载液晶显示器的硬件平台上运行文中设计的显控系统,其中Zynq芯片采用XC7Z020,显示器图像分辨率为640×640。系统上电后,通过串口接收上位机发送的通讯数据包,实现液晶屏显示画面的动态更新,实时反映飞行仪表信息,且画面动态显示效果流畅。同时,显示器可通过周边键实现仪表画面的切换和背光亮度的调节。低温下显示器自动开启加热功能,保持低温下显示效果良好。

5 结束语

设计了一套基于Zynq平台的机载液晶显示器显控系统,实现了在单个器件上高效集成显示器所需的背光调节、按键处理、温度采集、低温加热、串口通讯、仪表界面绘制、显示驱动等功能。经试验验证,该系统运行良好,各项功能满足设计要求。另外,该系统还具有很好的可维护性和可扩展性,根据不同显示器的需求,现有功能模块可以灵活更改和复用,且该系统可以很方便地加入新的功能模块,如图像处理模块、视频叠加模块、触摸屏处理模块、光眼自动调亮模块等等,这也为今后的机载显示器设计提供了一种策略参考。

参考文献

- [1] IncXilinx. Zynq-7000 All Programmable SoC Software Developers Guide[EB/OL]. https://www.xilinx.com/content/dam/xilinx/support/documentation/user_guides/ug821-zynq-7000-swdev.pdf,2015-9-30.
- [2] 宁效龙,何子力,张昕昱,等.基于Zynq与Qt的视频采集与图像边缘检测系统[J].信息技术与网络安全,2019,38(2):71-78.
- [3] 陈建军,李磊,赵红伟,等.基于PDM的LED背光调亮技术研究[J].光电子技术,2020,40(1):57-62.
- [4] IncXilinx. AXI Video Direct Memory Access v6.3 LogiCORE IP Product Guide[EB/OL]. https://www.xilinx.com/content/dam/xilinx/support/documentation/ip_documentation/axi_vdma/v6_3/pg020_axi_vdma.pdf,2017-10-4.
- [5] Blanchette Jasmin, Summerfield Mark. C++ GUI Qt4 编程[M].北京:电子工业出版社,2013:3-4.
- [6] 张远征.基于嵌入式Linux与QT的矿用柴油车虚拟仪表软件设计[J].煤矿机械,2016,37(12):163-165.
- [7] 单寅,殷照,张伟,等.基于Zynq的视频信号发生设备[J].光电子技术,2019,39(2):114-118.