

# 基于 STM32 和 FPGA 的 PPI 信息采集与复现系统设计

杨青 王志强 王春平 付强 王少华

(军械工程学院 石家庄 050003)

**摘要:** 在实际作战过程中,平面位置显示器(PPI)是雷达装备显示空情信息的重要手段。为解决某高炮指挥员对空情信息无法实时获取的问题,结合某高炮火控系统 PPI 信息的特点,提出并设计了一种 PPI 信息采集与复现系统。该系统基于 FPGA 设计了一种软性状态机模块来控制 MAX196 的数据采集,以 STM32F407 为系统枢纽控制 PPI 信息采集与传输,利用 OpenGL 形象复现 PPI 显示信息。实验结果表明,该系统可以对多通道、多类型信号进行实时采集,采集误差小,实时性强,性能稳定,实现了 PPI 信息的远程重显,为空情信息的远距离采集、传输与显示提供了一套可行性方案。

**关键词:** STM32; FPGA; PPI 信息; AD 控制; OpenGL

**中图分类号:** TP2    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.1050

## Design of PPI information acquisition and representation system based on STM32 and FPGA

Yang Qing Wang Zhiqiang Wang Chunping Fu Qiang Wang Shaohua

(Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** In the process of actual combat, the PPI display is an important means of radar equipment display air situation. In order to solve a certain anti-aircraft gun commander to the problem of unable to real-time access to air situation information, combined with the characteristics of some fire control system PPI information, this paper presented and designed a PPI information acquisition and representation system. This system is based on the FPGA to design a kind of soft state machine module to control the data acquisition of MAX196, hub for STM32F107 to control PPI information acquisition and transmission, using OpenGL image retrieval PPI display information. The experimental results show that the system can real-time acquisition of multi-channel, multi-type signals, the sampling error is small, strong real-time performance, stable performance and realize remote PPI information show, for air of long-distance information acquisition, transmission and display provides a set of feasible solutions.

**Keywords:** STM32; FPGA; PPI information; AD control; OpenGL

## 0 引言

在实际作战训练中,某高炮连指挥员指挥作战存在信息化保障程度低、受阵地配置制约明显的问题,这与我军以指挥员为主导的指挥作战体系不相符合。平面位置显示器(plan position indicator, PPI)是火控系统的显示终端,它可供火控系统操作手及时掌握空情信息,然而,这些空情信息并不能被指挥员实时获取,导致指挥员常常处于很被动的地位,在一定程度上,制约了高炮连整体战斗力的发挥。

针对上述问题,本文提出一种由数据采集、采集控制与

信息复现 3 部分组成的系统设计方案,该方案不但可以实现对 PPI 信息多通道多类型的实时、精确采集,还具有快速的信号处理及数据传输能力,并可以远程复现 PPI 显示画面,解决了火控系统外部无法获取 PPI 空情信息的问题。

## 1 系统总体设计

综合考虑系统性能指标、开发成本、开发方便性、故障可维护性等因素,在本文提出的系统设计方案中,使用了嵌入式系统和通用计算机两种平台,整合两者在实际应用中的优势,来完成采集、复现各组成部分的功能。总体设计框图如图 1 所示。

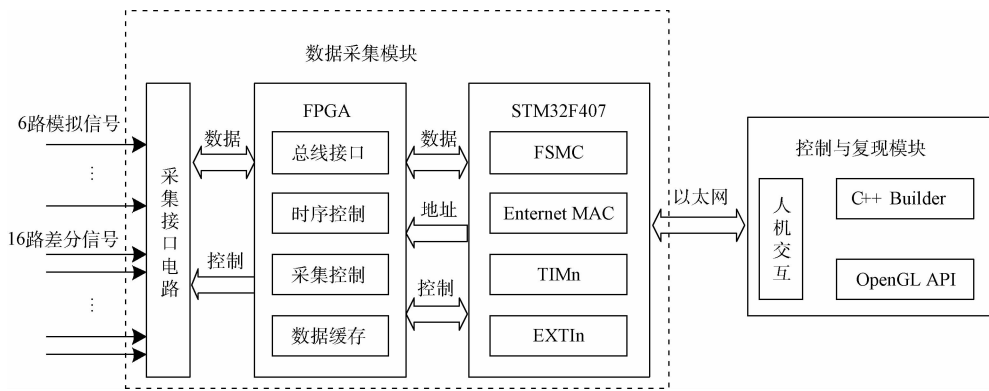


图1 系统总体设计框图

结合火控系统中PPI信息的信号特点,所采集的信号既有模拟信号,也有数字差分信号,并且有多通道、数据量大的特点。为了能够达到信息实时采集处理、组网传输等技术指标,数据采集模块可以进行6路(10 V模拟信号,16路数字差分信号)的采集、处理和实时传输。系统采用STM32+FPGA的组合方式<sup>[1-2]</sup>,FPGA为Alter公司的EP1K30QC208器件,由STM32F407给FPGA发送控制命令,由FPGA内部的总线接口、时序控制、实时采集控制与数据缓存模块进行外部信号的采集,并产生反馈信号给STM32F407通知其对数据进行读取、处理和传输。其中,STM32F407是意法半导体公司生产的基于ARM Cortex-M4架构的微控制器,内核架构先进,性能优越,主频可达168 MHz,执行效率高,具有较高的运算能力及数据处理能力,拥有丰富的外设接口和扩展功能<sup>[3]</sup>。在图1中,STM32F407与复现模块之间的以太网通信,就是独立介质接(medium independent interface, MII)外接DP83848物理层芯片,通过相关配置后扩展实现的<sup>[4]</sup>。

控制与复现模块基于通用计算机平台,通过以太网通信,以人机交互界面的方式控制系统进行采集并将采集得到的数据进行解码,通过OpenGL图形显示接口复现火控系统PPI显示画面。

## 2 PPI数据采集模块设计

### 2.1 STM32与FPGA的接口设计

考虑到FPGA在多路并行数据处理方面有明显的优势,设计采用STM32F407的可变静态存储控制器(flexible static memory controller, FSMC)并行总线接口实现与FPGA的连接,并将FPGA当成STM32F407的外部SRAM来配置,通过扩展出的数据/地址/控制三总线来实现操作,这样既能保证较快的操作速度,又具有很高的灵活性<sup>[5-6]</sup>。接口电路硬件连接如图2所示。

FSMC总线地址映射分为4个Bank,各占256MB空间。其中Bank1可用来扩展SRAM, Bank1又分为4个

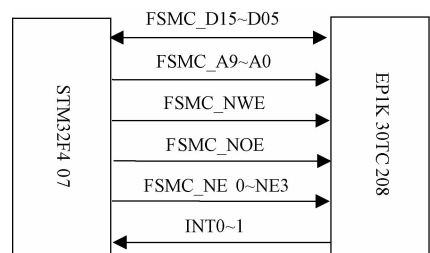


图2 STM32F407与FPGA接口连接电路

region,设定region对应的片选信号(NE1~NE4)高低电平就可以选用不同的设备,且各设备对应的地址范围也不同<sup>[7]</sup>。FPGA连接在FSMC总线的Bank1, region3中, HADDR总共有28根地址线(HADDR[27~0]),其中HADDR[26~27]用来对Bank1的4个区进行寻址。当FPGA使用region3时,对应的HADDR[27:26]等于10。当Bank1在外接16位宽度存储器时候,只有HADDR[25:1]是有效的,对应关系变为:HADDR[25:1]→FSMC[24:0],由此可知,接口地址FSMC\_A[9~0]对应的HADDR的地址为0x68000000~0x680007FE,并且地址FSMC = HADDR > 2,也就是当进行数据读写操作时,内部的HADDR地址为0x0004时,外部映射的FSMC总线地址则为0x0002。

### 2.2 数据采集的实现

#### 1) PPI符号信息的采集

PPI符号信息包含符号启动脉冲、符号时钟、符号代码I-VI共8路信号,其中符号启动脉冲与符号时钟作为采集控制的触发信号,决定整个采集控制模块的工作时序。采集流程如图3所示。

当产生外部触发信号后,8路并行数据通过集成电路74541进行缓存,并产生STM32外部中断信号触发STM32外部中断,进而控制FSMC总线进行读操作得到PPI符号信息。

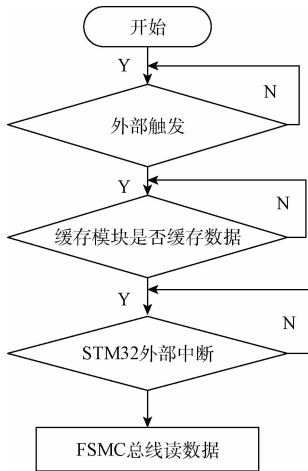


图 3 PPI 符号信息采集流程

### 2) PPI 符号位置信息的采集

PPI 符号位置信息包含符号水平偏转与符号垂直偏转两路模拟信号,采用 MAX196 进行 A/D 转换。为了保证转换的实时性,设计了一种 A/D 控制模块完成 MAX196 的采集时序控制,该控制模块采用软性状态机控制,是一种外部触发内部禁止的采集模式,如图 4 所示,实现了在一次符号时钟周期内完成对 PPI 符号两路偏转信号的连续采集,提高了采集的准确性和连续性。

状态机的初始状态是 STATE0,当外部触发信号满足要求,使  $en=1$ ,转入 STATE1,输出片选脉冲  $cs$  和写脉冲  $wr$ ,使能 A/D 转换,并且写入 8 位控制字,启动 A/D 转换,进入 STATE 3,等待 A/D 完成数据转换。转换结束时,A/D 产生中断脉冲  $int$ ,接着进入 STATE4、STATE5,进而输出片选脉冲  $cs$  与读脉冲  $rd$ ,转换的结果也存入  $data$  数据缓

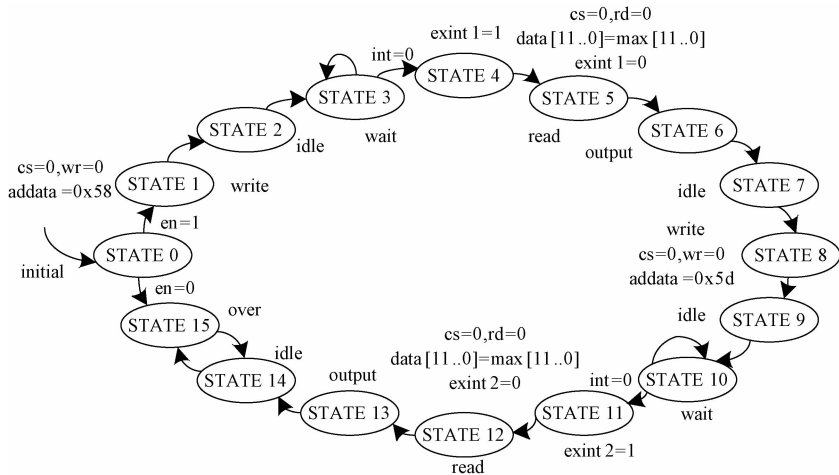


图 4 软性状态机控制流程

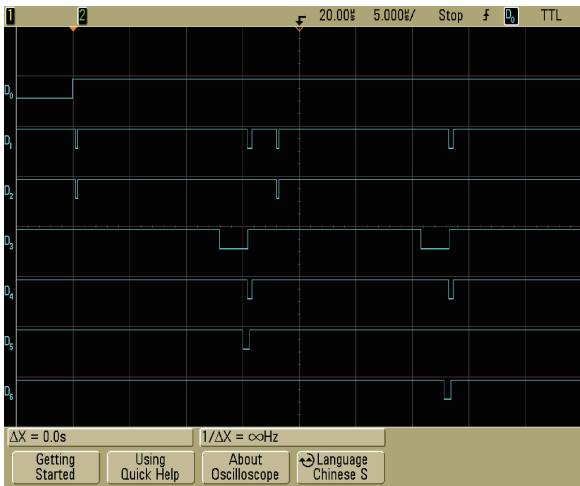


图 5 AD 控制模块的时序仿真

0。STATE0-STATE7 为第 1 个采集周期,并自动进入下一个采集周期。STATE8~STATE14 完成同样的采集控制过程,并在 STATE15 结束采集。直到下一个状态机的使能信号  $en$  到来后再次启动采集控制,该过程使用 Verilog HDL 语言来描述<sup>[8]</sup>,时序仿真如图 5 所示,图 5 中, $D_0 \sim D_6$  分别表示  $en, cs, wr, int, rd, exint1$  和  $exint2$ 。

根据实际采集需求,AD 的转换量程选择为  $\pm 10$  V,采用双极性内部转换模式,需要进行 2 通道 AD 转换。由 MAX196 用户文档可知,通道 0 采集的 8 位控制字为  $0x5d$ ,通道 1 采集的 8 位控制字为  $0x5c$ 。

## 3 采集控制与复现模块设计

### 3.1 以太网通信接口

#### 1) 接口硬件设计

STM32 内部集成灵活可调的以太网模块,满足嵌入式系统实现低成本以太网通信的应用需求,可以在半双工和全双工的模式下提供 10 M/100 Mbps 的以太网介入。

寄存器中,并产生 STM32 的外部中断触发信号,使  $exint1=$

该模块支持 IEEE 802.3 以太网 MAC 协议,硬件上带有 PTP(IEEE1588)功能。支持两种标准接口:MII 和简化的独立于介质的接口(RMII)<sup>[5]</sup>,但并没有提供物理层(PHY)接口,所以,需要通过扩展物理层芯片来提供以太网的接入通道,本系统选用 DP83848C 作为以太网物理层接口芯片,该芯片是一个 10 M/100 Mbps 单端低功耗物理层器件,性能可靠、成本低廉,提供包括 MII/RMII/SMI 三种接口,可以很方便与 STM32 连接<sup>[9]</sup>。

为了保证一定的灵活性,选用 MII 接口方式用于 MAC 子层和 PHY 之间的互联,允许 10 和 100 Mbit/s 数据传输,MII 接口连接如图 6 所示。

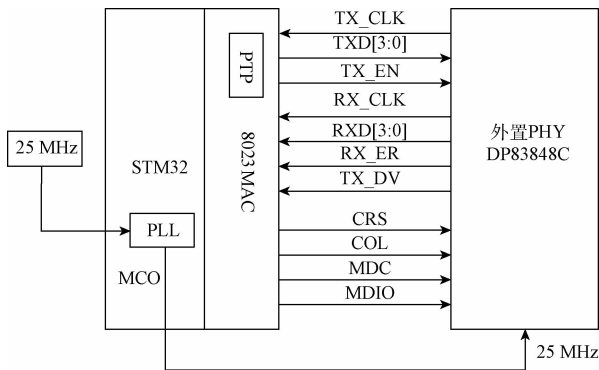


图 6 MII 接口信号连接

该接口可为传输发送数据和传输接收数据提供连续的时钟信号,对于 10 Mbit/s 的数据传输,时钟频率为 2.5 MHz,对于 100 Mbit/s 的数据传输,时钟频率为 25 MHz。

### 2)接口软件设计

STM32F407 通过以太网接口与采集控制与复现模块进行数据通信,基于 LwIP 协议栈,利用改进的 UDP 协议实现通信数据实时稳定传输。通用计算机则利用 Borland 公司的 C++ Bulider 平台中的 TNMUDP 控件实现与数据采集模块的数据交互<sup>[1]</sup>。软件执行流程如图 7 所示。

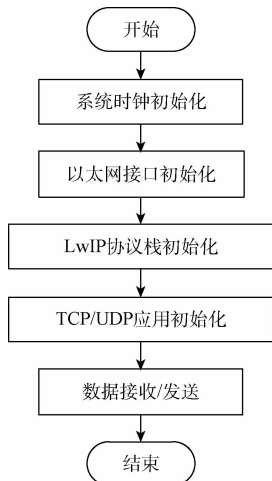


图 7 以太网通信实现流程

在没有操作环境的情况下,LwIP 移植只是移植内核核心,应用程序编写都基于 raw/callback API。通过调用 LwIP 的 API 函数用于信息传输的以太网通信,在一定程度上缩短了开发周期,降低了开发难度。

### 3.2 基于 OpenGL 的 PPI 信息显示

#### 1)PPI 扫描线及背景的显示

OpenGL 的程序设计首先要设置一个背景,包括屏幕的颜色、大小、长宽、在窗口中的位置等,在 VC++ 中,背景的设置都需要特定的函数来实现,即使一个简单的设置结构也显得相对复杂,而在 C++ Bulider 中,使用一个可视化的编程组件:TOpenGLB6,用于 OpenGL 编程时进行背景设置。绘制图形流程如图 8 所示。

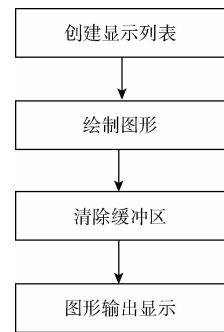


图 8 OpenGL 图形绘制流程

将 PPI 扫描线及背景图形的绘制内容采用列表存储的方式,提高了程序的运行性能的。

由于装备的 PPI 显示器采用的是模拟显示器,所以扫描线在屏幕上旋转则会产生余晖,在 OpenGL 中这种视觉效果主要通过颜色的融合和深度控制来实现,融合因子模型为

$$iPivot = iPivot1 \times e^{-0.0006i} \quad (1)$$

该模型为指数衰减函数,其中  $i$  表示像素点, $iPivot$  表示像素点  $i$  的融合因子, $iPivot1$  表示像素点  $i-1$  的融合因子。

#### 2)PPI 字符的显示

PPI 的显示信息还包括数字、字母及符号共 64 个字符,用 6 位二进制表示。使用 OpenGL 绘制字符可采用位图绘制字符的方法,但是需要创建大量位图数据,并且字符的大小、形状不能随意改变。所以,本设计采用一种文本输出的方法显示 64 个字符,不仅节省存储空间,而且可以设置字符的大小、形态、位置等属性,提高了系统的通用性。软件执行流程如图 9 所示。

实现过程中需借助第三方的程扩展序来实现文本的输出,在 Windows 系统中可使用 wgl 函数来创建具有一定属性的文本字体,并基于 DC 字体字图建立一套显示列表,通过调用显示列表来一一绘制文本字符<sup>[10]</sup>。

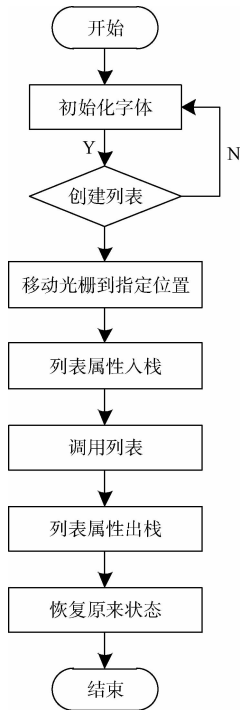


图 9 文本输出执行流程

#### 4 实验与结果分析

通过三通电缆线将火控系统的 PPI 信息产生的信号输入至本系统中,由控制与复现模块下达开始与停止采集的指令,数据采集模块在指令的控制下对信号进行软性采集,并以 40 ms 为周期将采集数据传输至复现模块,复现模块通过数据解码、OpenGL 渲染,将 PPI 信息显示在系统终端中,显示界面如图 10 所示,其中字符显示的内容通过信号解码获得,字符显示的位置则通过 A/D 转换得到。

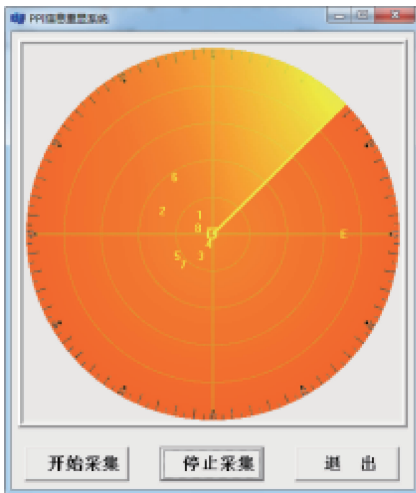


图 10 PPI 信息采集与重显系统界面

实验结果表明,PPI 信息采集与重显示系统显示的 PPI 信息的内容及位置与装备 PPI 显示器显示的信息是一致的,满足实时、精确的要求,为某火控系统 PPI 信息的远程重现提供了可行性的方案。

#### 5 结 论

本系统结合 STM32 与 FPGA 的性能特点,利用 STM32 中的 FSMC 总线、Ethernet MAC、外部中断、定时器等外设功能,以 STM32 微控制器为系统枢纽,设计了基于 FPGA 的软性采集控制、接口控制、时序控制等逻辑模块,实现了火控系统 PPI 信息多路、多样信号的远程实时采集,具有误差小、实时性强、性能稳定等特点,同时,系统硬件设计优化,体积小、成本低,研发周期短,其组合框架可适用于其他信号采集中,具有一定的应用前景与推广价值。

#### 参考文献

- [1] 曹彬乾,程远增,杨青. 基于 STM32+FPGA 的数据采集系统的设计[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(4):1231-1235.
- [2] 宋雅琪,韩晓军,荣锋,等. 基于 ARM 和 FPGA 的多通道振动信号采集仪的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2016(5):25-28.
- [3] 林智骅,平雪良,金登峰,等. 基于 STM32 的全方位移动平台设计和控制[J]. 电子测量技术, 2016, 39(1):19-21
- [4] 王文虎,杨峰. 基于以太网技术的车桥追溯管理系统终端设计[J]. 微型机与应用, 2013,32(21):72-77.
- [5] 于春雪. 基于 STM32F107 的高速以太网接口设计与应用[J]. 电声技术,2011,35(9):63-67.
- [6] 潘辉. STM32-FSMC 机制的 NOR Flash 存储器扩展技术[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2009(10): 31-33.
- [7] 张旭,亓学广,李世光,等. 基于 STM32 电力数据采集系统的设计[J]. 电子测量技术, 2010, 33(11): 90-93.
- [8] 姚君. 基于状态机方法的 CAN 总线通信的 FPGA 实现[J]. 国外电子测量技术,2015,34(3):64-68.
- [9] 胡李镇,宋跃,陈上明,等. Internet 视频监控系统网络接口设计[J]. 计算机测量与控制,2011,19(9): 2167-2168.
- [10] 解鑫. 基于 OpenGL 校园漫游系统的设计与开发[J]. 科技创新导报,2012(29):36-37.

#### 作者简介

杨青,工学硕士,讲师,主要研究方向为嵌入式开发、图像处理与识别、火力控制技术。

E-mail:yqzd626@163.com