

# 基于 ZYNQ-7000 的超声波信号采集系统设计

和鹏祥<sup>1</sup>, 王黎明<sup>1,2</sup>, 李璇<sup>1</sup>, 蔺晓煜<sup>1</sup>, 武国强<sup>3</sup>, 王鸿儒<sup>4</sup>, 马文<sup>4</sup>

(1. 中北大学 信息与通信工程学院, 山西 太原 030051; 2. 中北大学 创新创业学院, 山西 太原 030051; 3. 太原重工股份有限公司, 山西 太原 030024; 4. 山西太重数智科技股份有限公司, 山西 太原 030024)

**摘要:**针对无损检测领域对采集设备低功耗、小型化的要求,在分析现有采集设备的劣势后,基于 zynq-7000 设计了一个八通道的超声波信号采集系统。在设计中,系统以 zynq7020 主控系统为核心,FPGA 部分负责 AD 驱动开发;ARM 部分主要负责数据的传输以及对整个系统的控制。系统采用采样频率为 2 MHz 的 ADS7946 芯片进行模数转换,结合 AXI-Stream 协议以及千兆以太网接口,实现了采集系统与 PC 上位机的交互,并且通过对超声波信号现场采集对比实验,证明了该系统实现了对超声波信号的采集、传输、存储以及可视化。

**关键词:**ZYNQ-7000;超声波信号采集;数据传输;数据存储

中图分类号:TP274.2

文章编号:1000-0682(2024)04-0003-04

文献标识码:A

DOI:10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.04.001

## Design of ultrasonic signal acquisition system based on ZYNQ-7000

HE Pengxiang<sup>1</sup>, WANG Liming<sup>1,2</sup>, LI Xuan<sup>1</sup>, LIN Xiaoyu<sup>1</sup>, WU Guoqiang<sup>3</sup>, WANG Hongru<sup>4</sup>, MA Wen<sup>4</sup>

(1. School of Information and Communication Engineering, North University of China, Shanxi Taiyuan 030051, China; 2. School of Innovation and Entrepreneurship, North University of China, Shanxi Taiyuan 030051, China; 3. Taiyuan Heavy Industry Co., LTD., Shanxi Taiyuan 030024, China; 4. Shanxi Taizhong Shuzhi Technology Co., LTD., Shanxi Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** Aiming at the requirement of low power consumption and miniaturization of acquisition equipment in the field of non-destructive testing, an eight-channel ultrasonic signal acquisition system based on zynq-7000 is designed after analyzing the disadvantages of existing acquisition equipment. In the design, zynq7020 main control system is the core of the system, and FPGA is responsible for AD driver development. The ARM part is mainly responsible for data transmission and the control of the whole system. The system uses the ADS7946 chip with a sampling frequency of 2 MHz for analog-to-digital conversion, and combines the AXI-Stream protocol and Gigabit Ethernet interface to realize the interaction between the acquisition system and the PC host computer. Moreover, through the field acquisition and comparison experiment of ultrasonic signals, it is proved that the system realizes the acquisition, transmission, storage and visualization of ultrasonic signals.

**Keywords:** ZYNQ-7000; ultrasonic signal acquisition; data transmission; data storage

收稿日期:2024-03-01

基金项目:2022 年山西省应用基础研究计划项目(202203021212123);省部共建动态测试技术国家重点实验室开放研究基金(2022-SYSJJ-08);山西省重点研发计划“基于环境自适应光学扫描平台的焦炉机车精确定位系统关键技术研究”(202202110401015)

第一作者:和鹏祥(2000—),男,山西大同人,硕士在读,研究方向为嵌入式系统开发。E-mail:nuc\_hpx@163.com

通信作者:王黎明(1974—),男,教授,研究方向为 X 射线图像处理、多维信号获取与处理、无损检测技术。

## 0 引言

随着数字化技术的发展,超声波采集系统也随之不断发展,而微处理器在采集系统中扮演着核心角色<sup>[1]</sup>。从最初的简单记录到现今成熟的常规采集系统,以及正在发展中的采集系统,微处理器的作用至关重要。作为采集系统的主控芯片,微处理器发挥着关键的功能。目前主流的数据采集系统中,主要有以下四种微处理器为主控芯片:

(1)以单片机为核心的数据采集系统存在性能较低的问题。与目前的微处理器相比,单片机的编程简单、成本低廉。然而,因为单片机的接口非常单一,所以它在采集精度不高、单路采集以及对采集速度要求不高的场合更加适用;

(2)以 DSP 为核心处理器的数据采集系统的优势在于信号处理,它在处理数字信号时,能够高效地执行复杂的数学运算,从而实现各种信号处理功能。但 DSP 在对外围器件的控制上有不足之处,因此,在需要多路高速采集的任务中, DSP 便出现了短板<sup>[2]</sup>;

(3)以 ARM 为核心控制器的数据采集系统具有低能耗、高数据处理能力等优点。然而,它的系统通常都有很强的专用型,在多路采集方面, ARM 与 DSP 存在着相同的问题:对外围电路的器件控制不是很灵活,不能满足既高速采集又并行接收的要求<sup>[3]</sup>;

(4)以 FPGA 为主控单元的数据采集系统可现场编程,其运算速度快,对外围电路的控制方便,后期容易扩展,可进行高速采集开发<sup>[4]</sup>。但是,在对数据传输、存储接口开发时, FPGA 存在一定的不足。

因此,该文联合 FPGA 与 ARM 的优势,采用 ZYNQ 作为主控系统,可以同时发挥 FPGA 以及 ARM 的优势,在 ZYNQ 的 PL 端完成高速 AD 驱动控制,在 PS 端完成系统存储转发功能的设计,从而提高系统的灵活性和稳定性<sup>[4]</sup>。

## 1 系统整体设计

该文设计了一个八通道的超声波信号采集系统,用于实时采集、传输和存储超声波信号数据,并可通过上位机实时显示波形。该系统采用了 ADS7946 作为 AD 采集芯片,采样率为 2 Msps,输出模式为 14 位串行输出。数据的传输接口采用千兆以太网接口,可将采集到的数据实时传输至 PC 机进行存储以及上位机显示<sup>[6]</sup>。

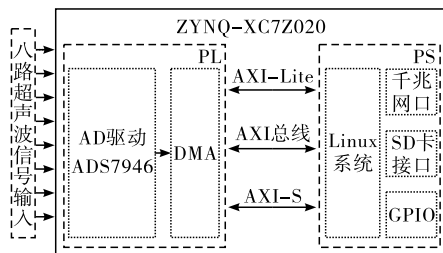


图 1 系统整体框图

系统整体框图如图 1 所示。系统采用 ZYNQ - XC7Z020 做为主控芯片,在 ZYNQ 的 FPGA (PL) 部分完成 AD 芯片时序驱动的开发,并将 AD 数据进行 8 通道数据封装,由 DMA 核将封装数据传入内存;在 ARM (PS) 部分通过搭载操作系统,读取内存中的数据,并将数据通过千兆网口发送至 PC 机<sup>[7]</sup>。

## 2 数据采集模块设计

### 2.1 采集模块电路设计

该系统中的 A/D 转换芯片选用了 ADS7946 逐次逼近型 ADC,该芯片电路原理图如图 2 所示,CS 片选信号低电平有效;AD4 为被测信号的输入引脚;SD04 与 PL 端的引脚相连接,在 PL 部分通过读取该引脚数值实现对 AD 采集数据的获取;REF 为参考电压输入引脚,AVDD 为 ADC 的模拟电源电压输入引脚,与 5 V 相接,而且 AVDD 必须与 DVDD 引脚分别提供电源,所以在合理的范围内,DVDD 引脚与 3.3 V 相接;CH SEL 引脚为选择模拟输入通道引脚,本设计使用通道 0,所以该引脚与 GND 相连接。

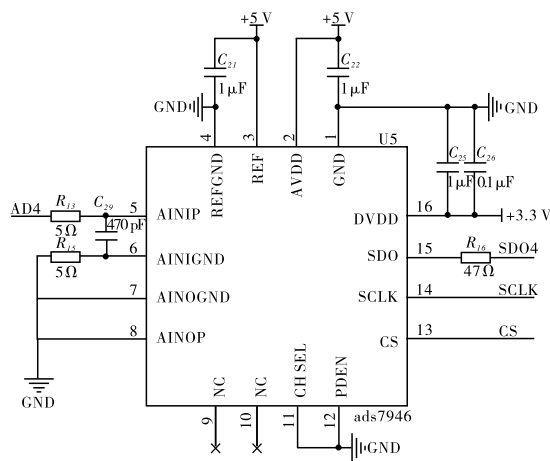


图 2 AD 芯片电路原理图

### 2.2 采集模块程序设计

ADC 数据采集逻辑控制主要由 ZYNQ 的 PL 端完成,在该设计中需要先进行自定义 IP 核的开发,该 IP 核主要完成的功能为 AD 采集的驱动,而且该驱动的代码会全部封装在该 IP 核中,大大简化了开发难度以及开发周期。

在该 AD 驱动 IP 核的设计中,8 个通道在同一时钟、片选信号控制下,通过驱动 FPGA,完成对 8 路信号数据采集并转换操作,并得到原始数据,再通过 AXI - Stream 协议接口配合 DMA 传输至 ZYNQ

的 PS 端进行数据处理。根据 ADS7946 时序,片选信号 CS 由高电平变为低电平时,ADC 内部开始模数转化,此时 PL 端不能读取数据,而且在时钟低电平时才能对 CS 信号进行设置,CS 信号拉低后,再经过 16 个时钟周期后再将其拉高,此时可以进行采集数据读取,读取时间至少为 80 ns,而且该高电平最少保持 25 ns。同时,时钟信号需要为 40 MHz 才能够驱动该芯片采集,根据以上内容设计了该 AD 驱动的 IP 核,完成了 ZYNQ 的 PL 端的开发。

该 IP 核封装了支持 AXI-Stream 协议的接口,该接口与 AXI4-Stream Data FIFO IP 核的 S\_AXIS 接口相连接将数据传入 FIFO 中缓存,AXI4-Stream Data FIFO IP 核的 M\_AXIS 接口再与 DMA 核的 S\_AXIS\_S2MM 接口连接,进而通过 DMA 核的 M\_AXI\_S2MM 接口借助 AXI SmartConnect IP 核将数据传入 ZYNQ 的 S\_AXI\_HP0 接口,最终传入内存供 PS 端进行读取转发。

### 3 数据传输模块

该设计中 ADS7946 为 14 位,为便于存储,每个采样点增加了 2 位补充位,即 16 位。系统采用 8 通道采集方式,通过计算得出数据流的理论吞吐速率为 256 Mbps<sup>[8]</sup>,所以在该系统中选择了千兆以太网接口进行数据传输<sup>[9]</sup>。

该系统中选择了 YT8521S 芯片做为以太网收发器,YT8521S 芯片符合 10Base-T、100Base-TX 和 1000Base-T IEEE 802.3 标准,提供了必要的物理层功能,且采用最先进的 DSP 技术和模拟前端 (AFE),实现了交叉检测和自动校正、极性校正、自适应均衡、串音消除、回声消除、定时恢复和纠错等功能,以提供 10 Mbps、100 Mbps 或 1000 Mbps 的强大传输和接收能力。

在设计中,YT8521S 芯片的配置引脚 MDC/MDIO 通过 MIO52-53 引脚与 PS 端相连接;TX\_CLK、TX\_CTL、RX\_CLK、RX\_DV、TXD0~TXD3 以及 RXD0~RXD3 引脚通过 MIO16-27 引脚与 PS 端相连接;TRXP0、TRXN0 至 TRXP3、TRXN3 引脚与 RJ45 接口相连接。

该设计中 PS 端程序采用 Linux 系统开发,这样的开发方式大大提高了开发效率,同时也降低了开发难度。在进行千兆以太网传输驱动程序开发时,通过设计相应的 Linux C 应用程序即可实现数据传输功能。其程序流程图如图 3 所示。

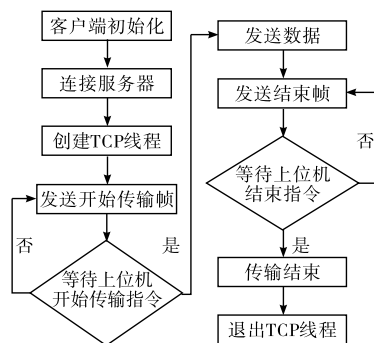


图3 以太网传输流程图

同时,该设计基于 QT 平台开发了相应的上位机,实现了对数据的解析、存储以及可视化<sup>[10]</sup>。上位机界面如图 4 所示,点击“启动服务器按钮”可以使能所选择的触发通道,并等待客户端的连接,当客户端连接成功后,便开始接收数据。同时,该上位机还可以通过选择显示通道而进行不同通道数据的实时显示。

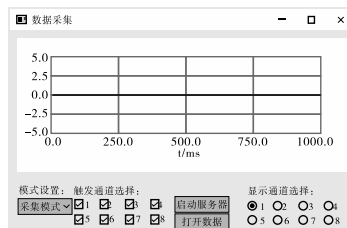


图4 上位机界面图

### 4 系统实物测试

系统基于 ZYNQ-7000 核心板的接口设计了相应的 8 通道采集板卡,引出了相应的输入输出引脚。实物图如图 5 所示。

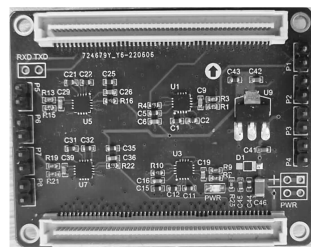


图5 采集板卡图

系统测试时选择八路超声探头信号作为系统输入,对超声回波信号进行八通道同步采集。同时,为保证采集结果的准确性,还使用专用采集仪对该探头信号进行采集。图 6 为专用采集仪上位机显示的标准波形。

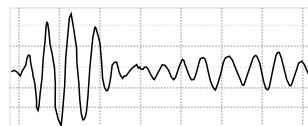


图6 标准波形图

数据采集完成后,通过分析软件对数据进行简单的滤波处理,并将所得信号波形与超声波数据专用采集设备采集得到的数据波形进行对比,可知该

文设计的超声波采集系统实现了对超声波原始信号的完整采集。分析结果如图 7 所示。

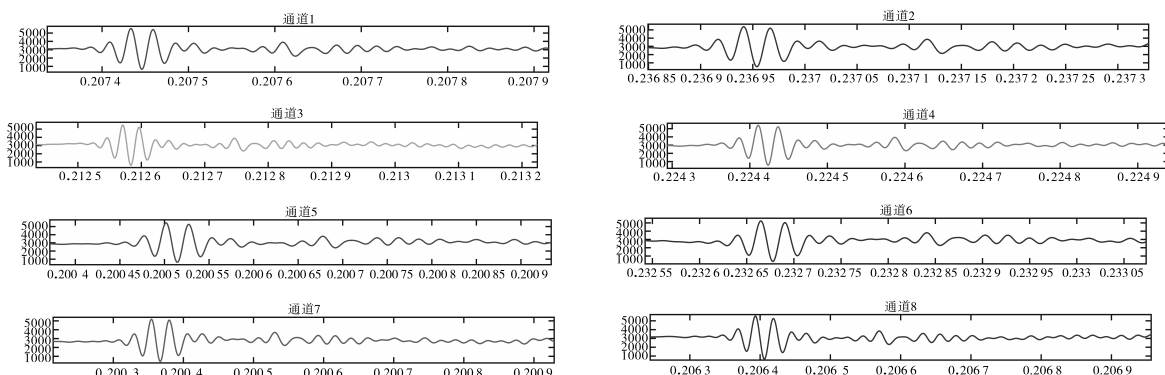


图 7 分析结果

## 5 结论

该文提出了一种基于 ZYNQ-7000 的超声波信号采集系统,该采集系统的 ARM 应用在 Linux 系统开发,结合数据采集模块、数据传输模块以及上位机,实现了对超声波信号数据的实时采集、传输、存储以及可视化,并且 PL 部分与 PS 部分的数据交互采用 AXI-Stream 协议标准,提高了系统的开发效率。经过实验证明,该超声波采集系统完成了预期功能,实现了对超声波信号的完整采集。

### 参考文献:

- [1] 郝齐旺,杨生. 试论压力容器超声检测技术[J]. 居舍, 2018(23):60.
- [2] 朱紫萌. 弹载舱内环境数据采集系统设计[D]. 西安: 西安工业大学,2022.
- [3] 于洋,刘晶,王迪,等. 多格式信号采集处理模块的研究实现[J]. 电子设计工程,2020,28(21):93-97+102.
- [4] 周广兴,苏淑靖,梁文科,等. 基于 FPGA 与 STM32 的

多通道温度采集系统设计[J]. 工业仪表与自动化装置,2022(05):10-15+132.

- [5] 李强,王黎明,蔡长霖,等. ZYNQ 主控芯片的高速数据采集系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2021, 21(08):84-86+91.
- [6] 刘欢,武亚飞,张文治. 基于 LabVIEW 的滑油泵试验台测控系统设计与实现[J]. 工业仪表与自动化装置, 2022(01):12-15+35.
- [7] 林云,张祥,黄跃,等. 基于 Zynq-7000 的毫米波雷达数据采集系统设计[J]. 电子测量技术,2021,44(19): 134-138.
- [8] 杨诗安,王子成. 基于 Zynq-7000 的数据采集与显示系统的设计[J]. 仪表技术与传感器,2020(08): 61-64.
- [9] 王江涛. 3GSPS 高速采集卡的设计与实现[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019.
- [10] 刘宏伟. 基于 Qt 的多通道振动信号采集上位机软件设计[J]. 现代信息科技,2023,7(03):24-28+32.

**欢迎投稿！ 欢迎订阅！ 欢迎刊登广告！**

国内邮发代号:52-49

国际发行代号:BM529

定价:18.00 元/期 108.00 元/年

地址:西安市高新区沣惠南路 8 号

邮编:710075

电话:029-81871277

网址:<http://yb-zdh.shaangu-group.com>

电子邮箱:gyybbjb@126.com