

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2107033

STM32H743 系列水声数据采集存储系统设计与实现*

孙巍^{1,2} 孙芹东^{1,2} 马士全² 吕勇² 邹佳运^{1,2}

(1. 中国人民解放军海军潜艇学院 青岛 266199; 2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 青岛 266237)

摘要: 为了实现小型水下工作平台对水声换能器长时间采集存储,设计了一种以 STM32H743 系列为核心控制器的小型化、低功耗、大容量采集存储系统。程序设计主要采用 STM32CubeMX 完成整体框架搭建和外设控制器配置,并在 HAL 库基础上完成应用控制逻辑设计。特别在存储类型外设控制上添加了必要的异常处理和信息反馈,不仅提高系统可靠性,还为应用平台提供了多种应急处理方案。经测试,系统工作性能稳定,整体功耗可控制在 1.5 W 以内。经数据上传和分析,以太网上传速度可达到 3 MB/s,上传功能稳定,数据存储正常。目前该系统已小批量生产,并应用于小型水下工作平台。

关键词: 采集存储系统;STM32H743;程序设计;数据缓存;乒乓操作;异常处理;以太网;SD 卡

中图分类号: TP274.2;TN791 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4030

Design and implementation of STM32H743 series underwater acoustic data acquisition and storage system

Sun Wci^{1,2} Sun Qindong^{1,2} Ma Shiquan² Lyu Yong² Zou Jiayun^{1,2}

(1. PLA Naval Submarine Academy, Qingdao 266199, China;

2. Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology(Qingdao), Qingdao 266237, China)

Abstract: In order to realize the long-time acquisition and storage of underwater acoustic transducer on small underwater working platform, a miniaturized, low-power, large-capacity acquisition and storage system based on STM32H743 series as the core controller is designed. The program design mainly uses STM32CubeMX to complete the overall framework construction and peripheral controller configuration, and completes the application control logic design based on the HAL library. In particular, the necessary exception handling and information feedback are added to the storage type peripheral control, which not only improves the reliability of the system, but also provides a variety of emergency handling solutions for the application platform. After the test, the system performance is stable, and the overall power consumption can be controlled within 1.5 W. After data upload and analysis, the ethernet upload speed can reach 3 MB/s, the upload function is stable, and the data storage is normal. At present, the system has been produced in small batches and applied to the small underwater working platform.

Keywords: acquisition and storage system; STM32H743; program design; data cache; ping-pong operation; exception handling; ethernet; sdcard

0 引言

水声数据采集是各类水下工作平台的重要功能之一,水下工作平台通常长时间工作于无人环境中,这就要求水声数据采集系统本身必须具有极高的稳定性和可靠性。除此以外,不同的应用场景还对系统的外形尺寸、同步性、采样精度以及功耗等方面有着更高要求^[1-2],这就需要在设计时考虑到系统的通用性和拓展性^[3]。当前应用于水声采集

系统中常用的处理器架构主要有 ARM^[4-5]、FPGA^[6-8]、DSP^[9-10]以及三者之间的相互组合^[11-15],通常情况下 FPGA 内部工作电流较大,DSP 内部工作主频较高,两者的后期功耗优化难度较高,不利于系统向低功耗方向优化和改进。相比于前两者,ARM 工作主频相对较低,其自身架构也便于优化和管理内部的电压和时钟,从而较为容易实现低功耗设计,纵观国内的水下滑翔机^[16]、浮标^[17-18]等水下工作平台大多均采用 ARM 处理器,在续航力有限条件下成功

收稿日期:2021-06-23

* 基金项目:青岛海洋科学与技术试点国家实验室“问海”计划项目(2017WHZZB0601)、国家重点研发计划项目(2019YFC0311700)资助

实现长时间的水下观测和数据采集。

意法半导体作为世界范围内最大的 ARM 芯片制造公司,其 STM32 系列微控制器已广泛应用于工业控制、消费电子、物联网、通信设备、医疗服务、安防监控等应用领域。其中 STM32H743 系列是近几年新推出的一款高性能 MCU,其主频可达到 480 MHz,支持低功耗模式,相比于其他系列,其 L1 缓存分为 I 缓存和 D 缓存,更有利于提高外部存储器的执行性能。目前国内基于该系列处理器所设计研发的采集存储系统相对较少,本文结合实际工程需求,完成了基于 STM32H743 系列的采集存储系统设计,实现了对水声换能器的高效采集存储和以太网高速数据上传,本系统在设计上具有一定的通用性,对于其他应用领域的数据采集系统设计具有一定的参考意义。

1 系统总体设计

本文系统选用意法半导体公司所生产的 STM32H743II-K6 芯片作为核心控制器,系统结构如图 1 所示,核心控制器的外围接口主要有平台主控串口、上位机网口、A/D 采集模块 SPI 接口、EEPROM 芯片 I²C 接口、电压电流检测器 I²C 接口、PSRAM 接口、SDCard 接口以及 RTC 外部晶振接口。应用平台可通过主控串口控制系统的工作状态和接收系统的反馈信息;上位机网口主要用于完成 SDCard 数据上传至 PC 机、应用程序在线更新以及上位机的控制操作;SPI 接口采用主机只读模式接收 A/D 采集模块数据;EEPROM 芯片主要存储系统工作过程中的重要信息,用于系统掉电或异常后的状态恢复;电压电流检测器主要用于采集系统供电总线上的电压电流,有利于对系统的整体功耗进行量化分析;PSRAM 主要用于完成系统实时采集时的数据缓存以及网口数据上传时的乒乓操作;SD 卡接口利用 SDIO 端口扩展器实现扩容,容量最大可扩展到 4 TB;外部晶振可保证内部 RTC 在系统掉电后继续工作,同时也可作为系统重要信息的数据备份单元。

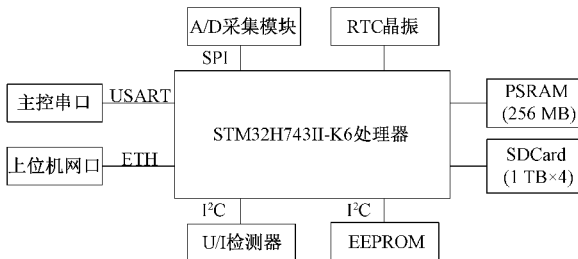


图 1 系统结构

2 系统控制设计

在实际应用时,该系统预先装置于平台内部,由平台发送指令控制系统进行相应工作,平台回收后,再利用 PC 机完成数据提取,系统工作流程如图 2 所示。

系统上电后,首先完成内部寄存器、外设控制器、系统

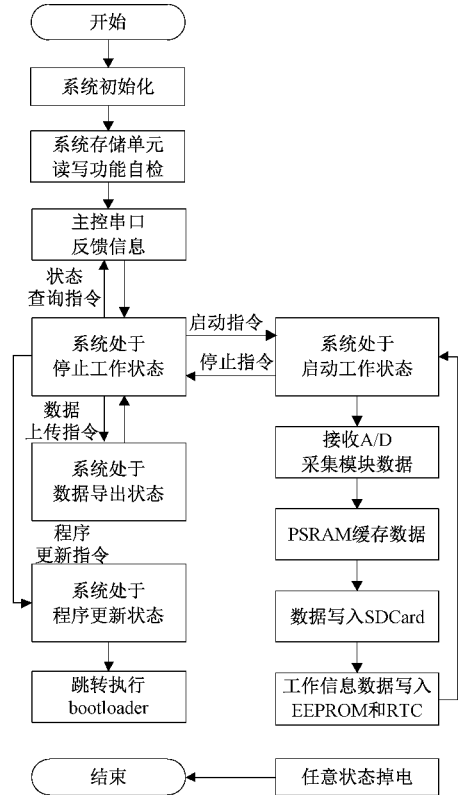


图 2 系统工作流程

时钟等部分的初始化,之后依次进行 PSRAM、EEPROM、RTC 以及 SDCard 的读写功能自检,然后利用主控串口向应用平台发送反馈信息,告知应用平台系统上电工作正常。平台发送启动指令后,系统会自动断开网络连接,开始实时连续接收 A/D 采集模块数据,并将数据首先缓存至外部 PSRAM,按照实际采样率缓存 1 s 数据后继续在相应位置缓存 RTC 时间信息、当前帧号、电压电流的采样值以及主控串口发送的指令信息,并按固定数据包格式写入 SD 卡,等待 SD 卡写入结束后再将这些主要工作信息写入 EEPROM 和 RTC 数据备份区。在连续工作期间,应用平台还可通过主控串口发送时间配置、停止工作、数据擦除和状态查询等指令,系统会根据不同指令执行相应操作。系统在非启动工作状态可以恢复与上位机的网络通信,除前面提到的操作指令以外,上位机还能下发数据上传指令和程序更新指令,当接收到数据上传指令时,根据下发帧号依次将数据从 SD 卡读出,并通过网口上传至 PC 机。当需要更新程序时,程序会跳转到片内 Flash 首地址执行 bootloader 程序,bootloader 通过建立 TCP 服务器实现与上位机通信,接收可执行的应用文件数据,将其写入片内 Flash 并执行。

2.1 采集存储控制设计

A/D 采集模块主要采用 24-bit 转换精度的四通道模数转换器 ADS1274,该转换器采用非标准 SPI 接口协议完成数据传输,传输协议时序如图 3 所示。

取到空间 1 中,然后利用定时器计数超时的方式判断上位机是否读取完所有帧号,如果超时则重置指令接收序列,重新按照上位机首次发送指令开始处理。如果未超时当接收下一帧数据上传指令时,启动网口直接向上位机发送空间 1 数据,同时预先将下一帧数据读取到空间 2 中,然后同样利用定时器计数超时的方式判断上位机是否读取完所有帧号,如果超时则重置指令接收序列,如果未超时则继续重复以上过程。

3 实验与结论

为了全面测试系统采集存储功能和上传功能的正确性和可靠性,本系统在 20 V 直流电源供电条件下连续工作 6 天,采集数据量总共 561 098 帧,系统独立工作时功耗约为 1.2 W,其实际工作状态如图 6 所示。采集过程中该系统的 A/D 采集模块上连接了一款自制矢量水听器,并利用外放设备播放 3 种单频混合音频信号,其频率组成为 1、1.5、2.5 kHz,整体功耗约为 2.8 W,其实际工作状态如图 7 所示。

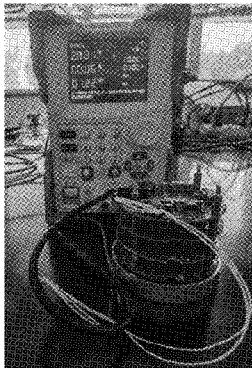


图 6 系统独立工作图

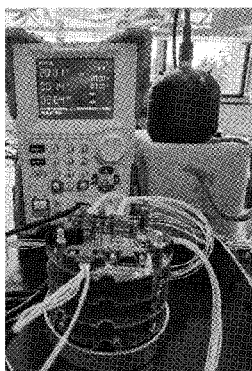


图 7 系统实时采集图

在上位机控制下系统完成了数据上传,总共耗时 15 h 左右,上传过程的系统功耗约为 1.5 W,其实际工作状态如图 8 所示,上位机完成数据接收如图 9 所示。上传过程中利用 wireshark 工具测试网络数据吞吐量,网络数据吞吐量如图 10 所示,从图中可以看出吞吐量从时间 0 开始随着时间逐渐增长,当增长到 2.4×10^7 bits/s 时吞吐量达到最

大值,往后一直保持稳定不变,说明实际上传平均速度可达到 3 MB/s。之后使用 MATLAB 对上传数据进行频谱分析,得到结果如图 11 所示。从图中可以看出矢量水听器的

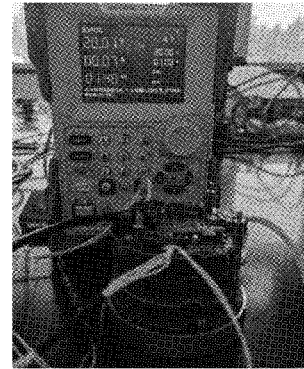


图 8 系统数据上传图

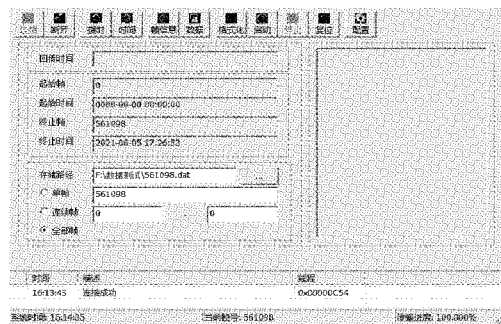


图 9 系统上传数据完成图

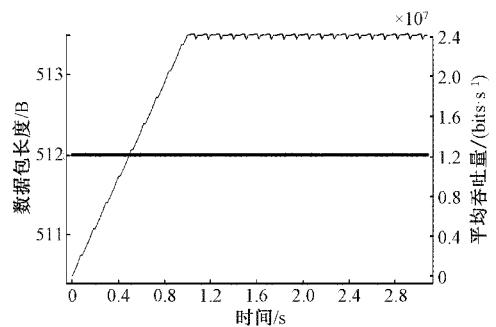


图 10 系统网络实时吞吐量

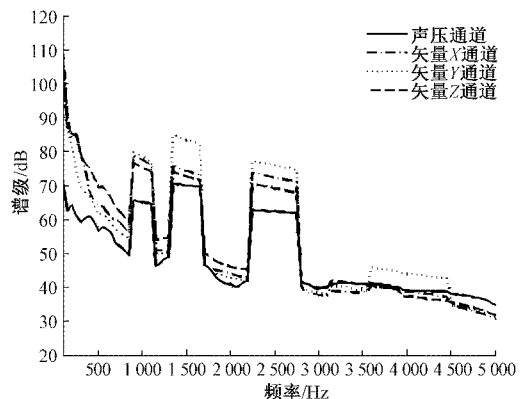


图 11 采集信号频谱图

4个通道在1、1.5、2.5 kHz处均有信号能量,可以说明采集数据和存储数据均正确,以上测试结果可以表明系统主要功能均正常,并具有功耗低、稳定性好、可靠性高等特点。

4 结 论

本文基于STM32H743系列控制器设计了一种小型化低功耗大容量的数据采集存储系统,该系统目前主要实现了大容量SD卡的数据存储,PSRAM的数据缓存,RTC与EEPROM的掉电数据恢复,以及以太网的数据上传。经过长时间性能测试,其结果可以表明系统具有功耗低、稳定性好、可靠性高等特点,目前该系统尚处于试用阶段,初步实现了对矢量水声原始信号的采集和存储。在后续的实际生产和使用过程中将进一步完善片内的时钟管理,SD卡阵列的并行控制以及以太网口的速率优化,提升系统的工作能效。

参考文献

- [1] 于涤非,黄海宁,张春华,等. 三维成像声纳数据采集系统设计[J]. 现代电子技术, 2018, 41(3):41-49.
- [2] 刘鲲. 低功耗深海水声数据记录仪设计与实现[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2017.
- [3] 林开泉,李国良,徐国贵,等. 基于XPE的水声浮标采集系统开发[J]. 装备制造技术, 2018(6):45-48.
- [4] 毕然. 基于ARM的船舶水声浮标系统嵌入式应用[J]. 舰船科学技术, 2017, 39(7):112-113.
- [5] 夏宇,王瑛,王铁流. 基于STM32F4的水下定向与测距处理平台[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(5):61-65.
- [6] 谢辉,曹亮. 基于LabVIEW和CRIO的复杂海洋水声数据采集系统[J]. 声学与电子工程, 2019(2):17-20.
- [7] 赵晶晶,杜天为,祝萌作,等. 多通道可重构水声信号采集模块设计[J]. 计算机工程与设计, 2021, 42(1):279-286.
- [8] 李晨歌,张国军,朱珊,等. 自容式水听器的设计与实现[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(6):120-124.
- [9] 张产品. 基于OMAP-L138水声信号的数据采集存储系

统技术的研究与实现[D]. 成都:电子科技大学, 2017.

- [10] 乔健. 基于MicroTCA规范的多通道同步数据采集卡设计与实现[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2020.
- [11] 卢锋,田洪瑞,王永鹏,等. 一种基于FPGA+DSP的水下信号实时采集系统[J]. 电子制作, 2020(9):5-7.
- [12] 王志民. 矢量阵多通道测量系统设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2017.
- [13] 黄胜券. 基于矢量水听器的船舶噪声数据采集系统[D]. 舟山:浙江海洋大学, 2019.
- [14] 韩雪建. 矢量阵信号采集传输平台的设计与实现[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2017.
- [15] 高清泽,包吉明,彭飞. 一种低频远程水下遥控平台的设计[J]. 电子测量技术, 2019, 42(14):137-141.
- [16] 刘璐,肖灵. 混合驱动水下滑翔机自噪声测量及分析[J]. 中国舰船研究, 2017, 12(4):132-139.
- [17] 廉宇琦,张国军,张兰胜,等. 基于MEMS标矢量一体化水听器的浮标系统设计[J]. 电子器件, 2020, 43(5):1148-1151.
- [18] 王宏云. 基于浮标的水声数据监测采集系统的设计与实现[D]. 武汉:华中科技大学, 2018.

作者简介

孙巍,助理工程师,主要研究方向为数据采集存储系统、嵌入式控制系统设计。

E-mail:swfx20112@163.com

孙芹东,副研究员,主要研究方向为矢量传感器及其应用技术、水下无人探测装备研制。

E-mail:sqd2010@163.com

马士全,工程师,主要研究方向为数字信号处理和复杂电路设计。

E-mail:sqma@qnlm.ac

吕勇,工程师,主要研究方向为水声信号采集与处理技术。

E-mail:ylv@qnlm.ac

邹佳运,研究实习员,主要研究方向为声纳系统设计与仿真。

E-mail:jyzou@qnlm.ac