

doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2019.03.005

基于北斗通信的海洋多要素观测系统设计

张茜, 张少永, 高超, 吕九红

(国家海洋技术中心, 天津 300112)

摘要:以低功耗、多参数、安全可靠为设计目标,提出一种基于北斗卫星通信的海洋多要素观测系统设计。设计以嵌入式微控制器 STM32F103RET6 为核心,实现以漂流浮标为载体的海洋环境噪声测量,同时实现对海洋气温、气压、风速、风向及表层海温的多要素观测;以可充电锂电池组和太阳能电池板组合方式供电,同时进行必要的电源管理,有效提高漂流浮标的工作寿命;采用我国自主知识产权的北斗系统进行定位及双向通信,安全性高。实验表明,基于北斗通信的海洋多要素观测系统设计具有可行性,满足低功耗、多参数、安全可靠的设计要求,为以表面漂流浮标为载体的海洋多要素数据采集控制提供新的硬件设计方法。

关键词:海洋多要素观测;北斗通信;表面漂流浮标;数据采集

中图分类号:TP27;TN927

文献标志码:A

文章编号:1003-2029(2019)03-0028-06

海洋多要素观测系统以海洋设备为载体,漂流浮标正是随着科学技术的发展和海洋观测的需要而发展起来的一种现代化的“海洋要素综合观测系统”。我国于 1995 年首次在珠江口布放了国产 FZS3-1 型表面漂流浮标,由国家海洋技术中心余立中等^[1]研制,采用 Argos 卫星系统实现定位与数据传输,仅实现测量海流和水温两个要素;2007 年,国家海洋技术中心商红梅等研发出带气象参数的漂流浮标并获得相关专利;2009 年,中国海洋大学马庆锋等^[2]开发的漂流浮标数据采集系统,采用 GPS+短波通信方式进行定位及数据传输;2011 年,国家海洋技术中心李文彬等^[3]研制出基于新一代 Argos、北斗、铱卫星系统的表面漂流浮标,采集要素有海温和定位信息,该浮标系统具有低功耗、双向通信等特点;2017 年,青岛科技大学王鹏等^[4]进行了 GPS+铱星系统进行定位及数据传输的葫芦形全填充式表面漂流浮标技术研究。

以上可以看出我国以往研制的漂流浮标观测要素主要是海温和海流。而在实际海洋调查中,除水文、气象要素外,海洋声学要素如:海水声速测

量、海洋环境噪声等,也是海洋观测的重要内容。目前专门的水声浮标是获取海洋环境噪声等要素的主要测量设备,由于实际海洋调查成本高昂且布放后回收工作量大,基于现代电子技术及通信技术,设计并实现一种新的多参数、低功耗、高可靠性的小型化海洋综合观测系统显得尤为重要。

1 总体设计

以表面漂流浮标为载体的海洋多要素观测系统主要由 3 部分构成:漂流浮标部分、通信部分、岸站数据接收部分,该系统可测量涵盖水文、气象以及海洋环境噪声等多种海洋要素。总体构成如图 1 所示,具体可分为球型标体、承重电缆、水帆、电源模块、通信模块、数据采集控制系统、各种仪器安装支架等。浮标控制舱整体成球形结构,由上下两个半球壳组成,采用亚克力材料注塑而成。两个半球间安装 O 型圈实现密封,并通过螺栓连接紧固。球体直径为 35 cm,球体及以上结构总高度为 58.4 cm,总体积约为 22.44 L,排水体积由水下水帆重量控

收稿日期:2018-08-20

基金项目:国家重大科学仪器设备开发专项资助项目(2014YQ11078702)

作者简介:张茜(1993-),女,硕士研究生,主要研究方向为海洋观测技术。E-mail:zhangxi2016215@163.com

制。数据采集系统以高性能、低功耗的嵌入式微控制器为控制核心,搭载海洋气象、水文、声学等传感器构成基本采集控制电路。通信系统采用我国自主研发的北斗通信系统,具有定位、通信、实时性强、安全可靠等特点^[6]。12 V 电源主要由高容量可充电锂电池组提供,设计电压转换电路,为各模块提供所需的工作电压,必要的电源管理,有效降低系统能耗,同时采用太阳能电池板为可充电锂电池组提供能源补充,最大程度延长浮标工作寿命,降低海洋调查成本。姿态监测系统采用九轴姿态和 GPS 定位模块^[7]。必要的接口预留为其他设备或传感器的集成提供便利,同时利于以表面漂流浮标为载体的数据采集系统移植到其他海洋设备,降低海洋调查设备系统研发的成本。

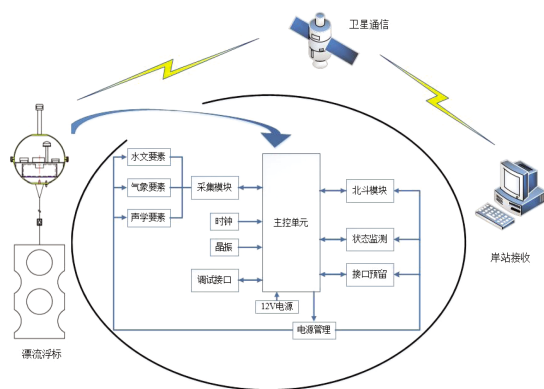


图1 系统组成

Fig.1 System composition

2 数据采集控制系统设计

在浮标上应用的数据采集系统,受特定的工作环境和资源的限制,对浮标上装载的器件在体积、重量、能耗、系统电路板大小以及成本等方面都有特殊的设计要求^[5]。同时,表面漂流浮标为抛弃式设备,因此低功耗是数据采集系统设计要重点考虑的因素之一。降低功耗的主要措施包括:

(1) 硬件电路设计中选用具有低功耗、高性能特点的芯片;(2) 设计电源管理,控制各模块的工作模式,优化电源分配;(3) 外部中断唤醒设计。

2.1 主控单元

微控制器是主控单元的核心部件,控制着整个系统的运行状态,因此微控制器的选择至关重要。

(1) 微控制器满足系统所需数据接口数量要求,本设计中气象模块、声学模块、通信模块各需要

一路串口信号,因此共需要3个串口。

(2) 芯片的功耗、可靠性及对海洋环境的适应性满足系统正常工作需求,设计遵循低功耗设计原则。

(3) 芯片处理速度及内部存储器满足系统正常工作需求。

综合考虑以上关键因素及系统特点,主控单元采用 STM32F103RET6 微控制器作为主控芯片。STM32F103RET6 是基于 ARM Cortex-M3 内核的 32 位嵌入式微控制器,广泛应用于工业控制领域。STM32F103RET6 芯片具有以下特点:

(1) 集成 5 个 USART 通用同步/异步收发传输器接口,及丰富的片上外设接口,满足系统 3 个串口的需求,同时预留 2 个 USART 接口可作为扩展接口。

(2) 工作电压为+2.0~+3.6 V,工作温度为-40~+85 ℃,提供睡眠、停机和待机三种低功耗模式且所有外设的时钟都可以独立地打开或关闭,以降低系统能耗,满足系统低功耗设计原则及工作环境需求。

(3) 具有 1.25 DMIPS/MHz 的性能,最高工作频率达 72 MHz,具有较强的控制功能和一定的数字信号处理能力,满足数据采集系统设计需求。

2.2 功能模块

微控制器丰富的硬件接口,使得以表面漂流浮标为载体的数据采集系统具有良好的可扩充性。各功能模块在主控单元上集成的接口设计如下:

(1) 水文参数测量:采用热敏电阻温度传感器测量表层海水温度,可实现-2~+35 ℃范围测温。具有灵敏度高、稳定性好、体积小等优点。微控制器 STM32F103RET6 通过 ADC_IN 接口与温度传感器连接。

(2) 气象参数测量:Airmar200WX 综合气象站内置超声波风速计、热敏电阻、压阻压力传感器、三轴电子罗盘及 GPS 模块,可测量气温、气压、风速和风向,提供姿态数据及实时位置信息。工作电压范围为+9~+16 V,供电电源 12 V 满足传感器正常工作需求。工作温度为-25~+55 ℃,对海洋环境具有良好的适应性。具有集成度高、可靠性好等优点。微控制器 STM32F103RET6 通过 USART1 接口与综合气象传感器连接。

(3) 声学参数测量:海洋环境噪声测量采用海洋技术中心自主研发的噪声频谱分析模块,将水听器与放大调理电路、采集、滤波、存储及传输集于一体的新型水声信号获取装置。工作频率为 20~2 000 Hz 可

调,接收灵敏度不小于 -210 dB,测量精度为 2 dB,工作电压为 12 V,工作电流约为 120 mA,具有采集信号频带范围广、功耗低、可靠性好等优点。微控制器 STM32F103RET6 通过 USART2 接口与海洋环境噪声测量模块连接。

(4) 定位通信模块:采用 GYM2003B 北斗短报文通信全功能模块,通过低噪放、功放、上下变频和基带处理,实现双向通信及有源定位功能。工作电压为 $+4.9\sim+5.2$ V,供电电源 12 V 经电压转换为北斗模块提供 5 V 电压源,满足模块正常工作需求。工作温度为 $-40\sim+85$ $^{\circ}\text{C}$,对海洋环境具有良好的适应性。接收灵敏度高于 -127.6 dB,待机功耗小于等于 800 mW,发射功耗最小为 5 W,最大不超过 15 W。具有可靠性高、集成度高、体积小等优点,易于在漂流浮标上集成。微控制器 STM32F103RET6 通过 USART3 接口与北斗模块连接。

2.3 电源管理

为了保证系统能够长期连续可靠地运行,电源模块采用可充电锂电池组和太阳能电池板组合供电方式。根据前人经验,采用一种基于能量守恒的简易计算方法,较准确地计算出太阳能电池板及可充电锂电池组的需求量^[8],即选用 3 块 12 V 40 Ah 的锂电池组成锂电池组, 4 块 20 W 的太阳能电池板即可满足系统设计需求。

由于数据采集系统各部分所需电压不尽相同,因此需设计电压转换电路对 12 V 电压源进行分配,以保证系统的正常供电,电源管理设计如图 2 所示。大容量锂电池组提供的 12 V 电压的一部分直接接入采集终端(气象、水文传感器、噪声频谱分析模块等)供电;另一部分通过高效率 DC-DC 电压转换器 MP2359 和线性稳压器 LM1117-5 将 12 V 电压源分别转换为 5 V 电压源,同时分别接入模拟地和数字地,模拟 5 V 电压源提供给模数转换芯片 ADS1274,数字 5 V 电压源通过线性稳压器 TPS70351 转换成主控芯片 STM32 与模数转换芯片 ADS1274 工作所需的数字 3.3 V 与 1.8 V 电压。电源电路的供电保护通过在电源接入端口设置二极管来实现。另外需在模数转换芯片附近用一个 $0\ \Omega$ 的电阻连接数字地与模拟地,使整个电路有一个公共的参考零电位,以降低外部噪声对电路的干扰^[9]。

降压芯片 MP2359 耐受峰值电流为 1.2 A,AMS1117 的耐受峰值电流为 1 A,而北斗模块发射状态的峰值电流可达到 3 A,上述降压芯片无法满

足要求,因此选用高输出电流变换器 TPS5430,具有高达 3 A 的连续输出电流,耐受峰值电流为 4 A,转换效率高达 95% 。

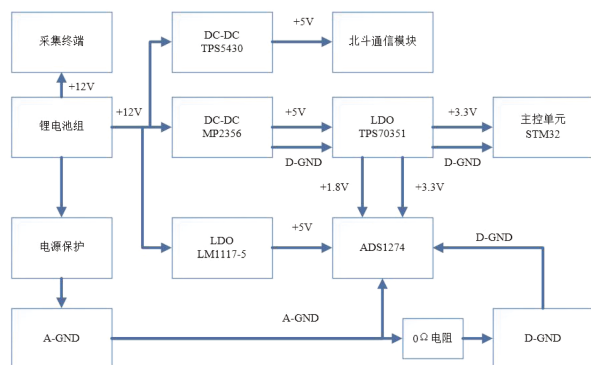


图 2 电源管理框图

Fig.2 Block diagram of power management

3 系统测试

3.1 数据采集测试

首先在实验室进行系统测试。测试时,将浮标和比测用水听器固定于水池中同一位置处,比测用水听器采用含前置放大器的水听器,用于环境噪声比测,比测水听器的采集系统选用进口的 NI PXI-1031 数据采集系统。系统供电由 12 V 直流电压源提供,系统连接如图 3 所示,将综合气象传感器连接到微控制器串口 1,声学模块连接到微控制器串口 2,北斗模块连接到微控制器串口 3。

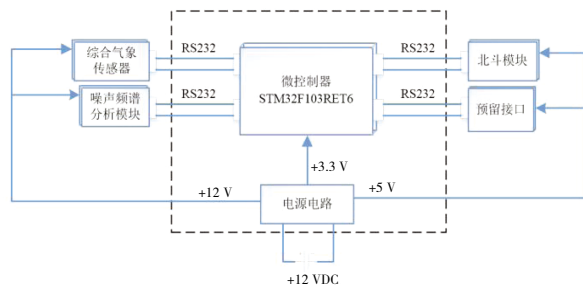


图 3 连接示意图

Fig.3 Connection schematic

数据采集时首先给外围接口电路通电,初始化采集模块,定时 2 min 完成数据采集及北斗卫星信号检测工作, 2 min 时间到,传感器断电,通过北斗系统实现数据传输,理论上可在 1 s 钟内完成,北斗模块完成数据传输后马上断电。一次工作周期完成,系统返回低功耗模式。

数据采集及数据传输工作周期作如下设置:

(1) 数据采集模块采集周期设置为 2 h 一次,每次采集时间为 1 min,最多不超过 2 min。

(2) 通信模块数据传输周期设置为 2 h 一次,每次工作时间为 2 min,最多不超过 3 min。

上位机通过串口助手软件接收数据。对数据进行解析处理并导入到表格中,数据采集情况如图 4 所示。

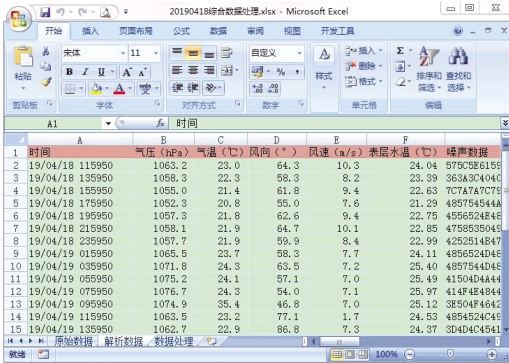


图 4 数据采集情况

Fig.4 Data acquisition

从数据的采集情况可以看出,系统基本按照 2 h 采集传输一次数据,能够正常运行。此次测试共获得 48 h 累计 24 组数据。数据处理中发现有异常数据出现,如图 5 所示,温度值在某时刻突然高于当前平均温度。对于某一区域来说气温和气压在很短时间内的数据可以看做不变的,由于实验环境及设备本身可能会引入一些比较大的误差,因此就需要剔除异常程度大的数据,然后根据前、后数据做内插处理^[10]。

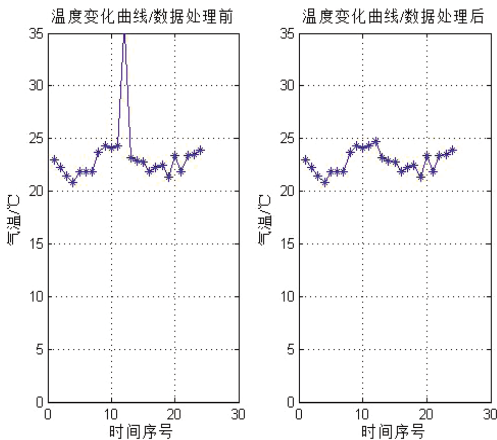


图 5 异常数据处理

Fig.5 Abnormal data processing

气压、水温、风速、风向等要素采集数据良好,数据处理如图 6 所示,海洋多要素数据采集系统基本满足设计要求。

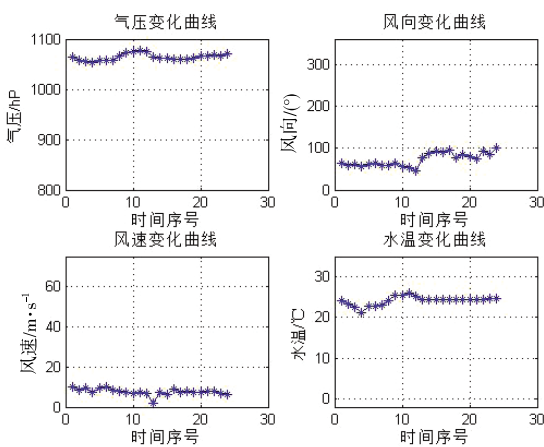


图 6 各要素数据曲线

Fig.6 Data curve of elements

环境噪声比测采用含前置放大器的水听器作为比测用水听器,将采集数据在 MATLAB 中进行分析对比,如图 7 所示。

可以看出,噪声数据趋势基本一致,1/3 倍频程测量点 1 kHz 频点处误差不大于±2 dB,满足《海洋调查规范第 5 部分:海洋声、光要素调查》(GB/T 12763.5-2007)要求。

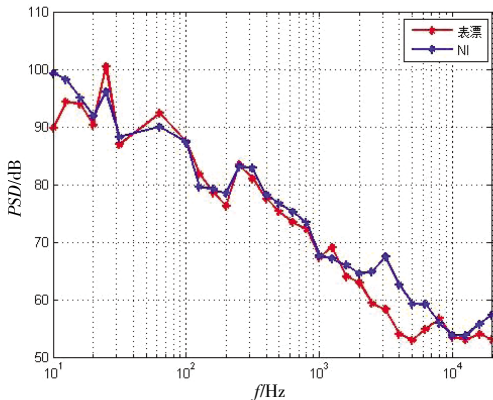


图 7 环境噪声比测

Fig.7 Environmental noise measurement

3.2 系统功耗测试

采用直流 12 V 恒压电源作为供电电源,系统始终处于工作状态,各模块功耗如表 1 所示。

表 1 系统功耗

Tab.1 System power consumption

模块	电压/V	电流/A	工作时间	平均功耗/W
微控制器	3.3	0.001	24h	0.003 3
综合气象	12	0.085	每 2 h 加热 1 min	1.02
声学模块	12	0.12	每 2 h 加热 1 min	1.44
北斗模块	5	待机:0.17	每 2 h 加热 2 min	1.1
		发射:3	2 s 完成数据发送	

微控制器工作1 d的能耗约为0.024 Ah, 数据采集部分每2 h上电1 min, 1 d时间里工作能耗约为:

$$(0.085+0.12)A \times 0.2h = 0.041Ah$$

通信部分给北斗模块上电时, 每2 h上电2 min, 2 s完成数据发送, 1 d时间里工作能耗约为:

$$0.17A \times 0.4h + 3A \times 0.0067h = 0.088Ah$$

1 d时间里系统能耗为:

$$0.024W + 0.041W + 0.088W = 0.153Ah$$

则浮标正常工作2 a的总能耗为111.69 Ah, 电源利用率为:

$$111.69/120 = 93.075\%$$

通过计算可以看出, 基于能量守恒计算得到的电池需求量, 即3块12 V 40 Ah的可充电锂电池组成的锂电池组, 电源容量设计满足浮标工作需求。基于北斗通信的海洋多要素观测系统的总体功耗在3.6 W左右, 搭载太阳能电池板补充供电, 能够满足无人值守的情况下正常运行2 a以上, 符合设计要求。

4 结论

本文针对表面漂流浮标的工作环境和数据采集要求, 提出多要素测量的数据采集系统基本架构以及各功能模块硬件实现方法, 主要包括芯片的选取、传感器集成、电源管理, 设计过程始终遵循低功耗原则。在系统实现过程中, 同时考虑可扩展性设计原则, 预留多类数据接口, 便于其他传感器和设备集成。最后对海洋要素观测系统进行集成控制测试, 数据采集情况良好, 电源设计可满足无人值守的情况下正常运行2 a以上。结果表明, 以表面漂流浮标为载体的海洋多要素观测系统基本稳定实现对海洋气象、水文、海洋环境噪声等要素观测, 基于我国独有的北斗卫星通信方式, 具有低功耗、可扩展、监测范围广、安全性高等特点, 可以为深远海的海表层及次表层理论研究及声学参数反演等研究提供数据支持。

参考文献:

- [1] 余立中. 表层漂流浮标的研制与海上实验[J]. 海洋技术, 1995, 32(3): 61-68.
Yu Li-zhong. Development of surface floating buoy and marine experiments[J]. Ocean Technology, 1995, 32(3): 61-68. (in Chinese)
- [2] 马庆锋. 漂流浮标数据采集系统设计[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
Ma Qing-feng. The Design of data acquisition system for drifting float[D]. Qin Dao: Ocean University of China, 2009. (in Chinese)
- [3] 李文彬, 张少永, 商红梅, 等. 基于新一代 Argos 卫星系统的表面漂流浮标设计[J]. 海洋技术学报, 2011, 30(1): 1-4.
Li Wen-bin, Zhang Shao-yong, Shang Hong-mei, et al. Design of surface drifting buoy based on argos satellite system [J]. Ocean Technology, 2011, 30(1): 1-4. (in Chinese)
- [4] 王鹏. 新型表层漂流浮标的研制[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2017.
Wang Peng. Development of new surface drifting buoy[D]. Qingdao: University of Science & Technology, 2017. (in Chinese)
- [5] 钟健瑜. 基于铱星数据通信的海洋数据采集与实时传输通用平台的研究[D]. 江西: 南昌大学, 2008.
Zhong Jian-yu. Research on universal platform for marine data acquisition and real-time transmission based on iridium satellite data communication [D]. Jiang Xi: Nanchang University, 2008. (in Chinese)
- [6] 张勇, 陈苏婷, 张燕. 基于北斗卫星的自动气象站数据传输管理系统[J]. 电子技术应用, 2014, 40(5): 21-23.
Zhang Yong, Chen Su-ting, Zhang Yan. Data transmission management system of automatic weather station based on beidou satellite [J]. Electronic Technology Application, 2014, 40 (5): 21-23. (in Chinese)
- [7] 沈翔, 郭善镜. 全机疲劳试验姿态监控系统[J]. 现代电子技术, 2014(22): 60-62.
Shen Xiang, Guo Shan-jing. Attitude monitoring system for full aircraft fatigue test [J]. Modern Electronic Technology, 2014 (22): 60-62. (in Chinese)
- [8] 惠力, 赵杰, 鲁成杰. 海洋仪器的太阳能供电系统设计[J]. 山东科学, 24(3): 51-54.
Hui Li, Zhao Jie, Lu Cheng-jie. Design of solar power supply system for marine instruments [J]. Shandong Science, 24 (3): 51-54. (in Chinese)
- [9] 王振, 刘振江, 崔浩, 等. 海洋潜标数据采集系统的设计实现与试验测试[J]. 海洋技术学报, 2013, 32(4): 6-10.
Wang Zhen, Liu Zhen-jiang, Cui Hao, et al. Design and experiment of data acquisition system of submerged buoy [J]. Journal of Ocean Technology, 2013, 32(4): 6-10. (in Chinese)

[10] 陈上及,马继瑞. 海洋数据处理分析方法及其应用[M]. 北京:海洋出版社,1991.

Chen Shanghe, Ma Jirui. Ocean data processing and analysis method and its application [M]. Beijing: China Ocean Press, 1991. (in Chinese)

Design of a Marine Multi-Element Observation System Based on Beidou Communication

ZHANG Xi, ZHANG Shao-yong, GAO Chao, LV Jiu-hong

National Ocean Technology Center, Tianjin 300112, China

Abstract: With the design goal of achieving low-power consumption, multi-parameter measurement, safety and reliability, a design of marine multi-element observation system is proposed based on Beidou satellite communication. Designed with embedded microcontroller STM32F103RET6 as its core, it realizes marine environmental noise measurement with drifting buoy as the carrier, and achieves multi-element observation of ocean temperature, air pressure, wind speed, wind direction and surface sea temperature. Power supply is composed of rechargeable lithium battery packs and solar energy panels. The necessary power management is carried out at the same time to effectively improve the working life of the drifting buoy. The Beidou system with independent intellectual property rights in China is used for positioning and two-way communication, which is of a higher safety level. Experiment results show that the marine multi-element observation system based on Beidou communication is feasible, meeting the requirements of low-power consumption, multi-parameter measurement, safe and reliable design. The design provides a new hardware design method for marine multi-parameter data acquisition control with surface drifting buoy as the carrier.

Key words: marine multi-element observation; Beidou communication; surface drifting buoy; data acquisition