

基于单片机的海洋环境监测系统的控制电路设计

刘素花^{1,2,3}, 龚德俊¹, 徐永平¹, 李思忍¹

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 青岛理工大学, 山东 青岛 266520; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要:设计并实现了一种基于 C8051F340 单片机的节能型自治式多功能海洋环境监测系统的控制电路。该电路利用模块化设计方法,通过合理选用器件和设计器件的工作模式,使控制电路具有低功耗、高可靠的特点。实验表明,该控制电路实现了潜标式主浮体对浮标式搭载平台的实时控制,同时实现了浮标搭载平台单向下潜、定点测量、自由上浮、自动避碰等状态的控制,方法简单新颖,实现了对海洋要素的长期连续观测。

关键词:单片机;状态控制;定点剖面测量

中图分类号:P715.4

文献标识码:A

文章编号:1000-3096(2009)08-0067-05

长期、连续、定点观测水环境,尤其是采集深海海洋环境的水文参数,是一项投资浩瀚、艰巨复杂的大课题,向来被海洋界重视。目前,性价比最高的声学多普勒海流剖面仪的探测深度达 180 m,探测其深度以上的声学多普勒海流剖面仪的价格非常昂贵,而浪、流综合测量设备对布放深度有较严格的要求。

锚系资料浮标和潜标是海洋监测网中最普遍采用的搭载平台之一,它们主要用于海洋环境定点监测。海洋资料浮标在研究海洋和大气的相互作用及全球气候变化、预报全球性和地区性海洋灾害、监测海洋污染、校验卫星遥感数据的真实性、以及作为平台用于水声通信和水下定位等方面发挥了重要作用,其缺点在于隐蔽性和安全性较差,会受到海上过往交通工具和恶劣天气及海况的影响。潜标监测平台,由于其主浮体安装在水下 50~100 m,具有良好的隐蔽性和安全性,在构建立体监测系统中有较好的应用,但由于其只是隐藏在海表面以下,所搭载的测量传感器种类有限,数据实时传送困难,从某种程度上也限制了其应用。如果能够将浮标和潜标技术结合起来,充分发挥潜标隐蔽性、安全性好和浮标测量参数多的优点,并利用节能技术,扩充进自治式搭载平台的功能,则会对区域性海洋环境现场监测和海气交界面水文气象资料的获取带来非同寻常的意义,它同时也是开展海洋学研究、进行海洋资源开发与军事海洋学研究的重要基础。

作者设计的控制电路应用于节能型自治式多功能海洋环境监测系统中,该海洋环境监测系统将定点锚泊潜标和浮标技术相结合,具有长期、安全和多参数测量的工作特点^[1]。作者采用 C8051F340 单片机和直流电机为主要器件,结合电平转换芯片和各

种开关器件,实现了对监测系统的状态控制和对采集数据的实时传输与存储。所采用的单片机和开关器件功耗低、体积小、可控性强。该控制电路能够使得传感器搭载平台的工作达到节能、高效的目的。

1 数据采集控制器的总体设计

数据采集控制器由上、下位单片机系统组成,分别嵌入浮标式搭载平台和潜标式主浮体中。节能型自治式多功能海洋环境监测系统由潜标式主浮体、浮标式搭载平台和锚泊回收系统组成,其中潜标式主浮体位于水面以下 50 m 的地方,具有储存与释放能量,提供动力,存储数据,控制浮标式搭载平台的功能,而且潜标式主浮体上驱动浮标式搭载平台的传动装置为一储能型装置^[1],可以有效地储存水体能源,增强了系统长时间运行的能力。浮标式搭载平台具有自动避让海上过往交通工具和恶劣的海况,搭载气象、水文和水质参数传感器,实时传送和存储测量数据等功能,同时此搭载平台亦可在海表面和主浮体潜伏的位置之间进行循环升降运动,可以对主浮体以上温、盐、深、海流等海洋要素进行连续的垂直剖面观测^[2]。锚泊装置是典型的锚定系统,起到定位的作用^[3]。此平台系统设计具有节能、自治、多参数测量、多用途的特点。监测系统结构如图 1 所示。

收稿日期:2009-05-31;修回日期:2009-06-15

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(082612101D);山东省自然科学基金项目(2008G05)

作者简介:刘素花(1970-),女,山东青州人,博士研究生,主要从事检测、自动控制等方面的教学与研究,电话:0532-82898737, 13145321025, E-mail: liusuhua2003@126.com

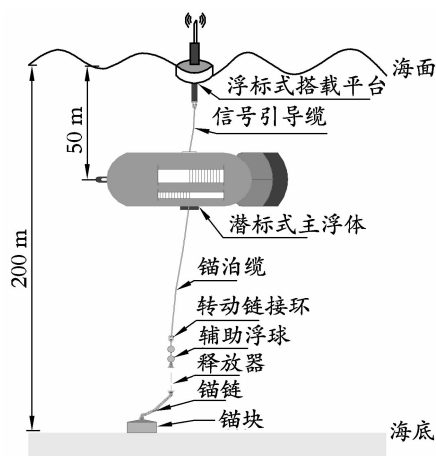


图 1 节能型自治式多功能海洋环境监测系统结构图

Fig. 1 Configuration of the autonomy multi-function energy conserving marine environment monitoring system

节能型自治式多功能海洋环境监测系统诸多功能的实现离不开控制电路的软硬件配合。在本控制电路设计中,海洋水文、气象和水质等参数的测量应用成熟的传感器。由于搭载传感器的浮标式搭载平台在碰到恶劣海况或海上交通工具经过时,需要自动下潜避让,同时海水次表层水质参数的连续剖面

测量也需要此浮标式搭载平台在海水表面至水下 50 m 的深度范围内不断往复循环,若系统常年累月地持续工作,即使是搭载平台每天升降一次,它所需要的能量也是巨大的。为此,在电气控制设计中,作者采用低功耗、高性能芯片 C8051F340^[4] 及其他电子器件,设计了高度集成的低功耗、高可靠的数据采集控制存储器,并采用使传感器系统离散工作等方式来降低功耗。

2 上位单片机数据采集与传送系统

浮标式搭载平台是所有测量传感器的载体,其上可以搭载各类水文、气象和水质传感器,进行海气交界面和海洋次表层水质等多种参数的立体连续测量。同时其上有给传感器供电的电源,另外它还装有测距传感器,可以测量浮标距离海上交通工具远近的情况,浮标上的数据采集与传送控制系统可将海面海况和交通工具情况传送给潜标上的控制中心。数据采集与传送控制系统主要由单片机、静电隔离电路、通讯电路、电平转换模块、高精度时钟电路、传感器数据存储与发送模块、电池组等部分组成。组成结构如图 2 所示。

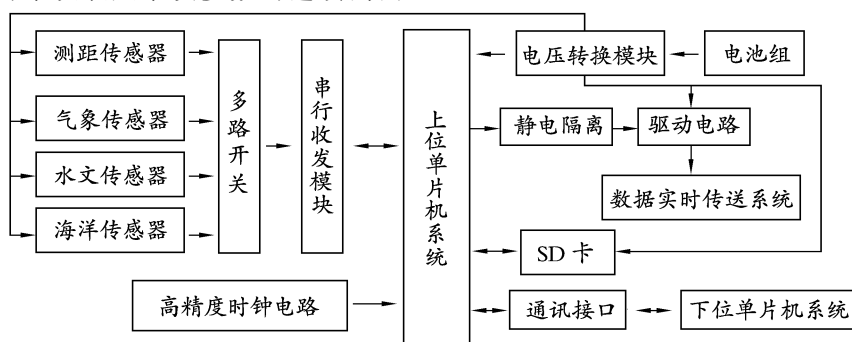


图 2 上位单片机数据采集与控制传送系统

Fig. 2 Configuration of the upper single chip data collection and control system

整个数据采集控制系统的硬件电路主要包括: MAX3223 串行收发模块、C8051F340 单片机、SD 存储卡等。单片机系统主要是由单片机 C8051F340 和外围电路组成,是整个模块的控制中心。系统采用 SD 卡存储测量数据、北京时间和工作参数。下位单片机系统可通过通信接口与各类传感器进行数据交换,同时也可通过通信接口控制各部分的工作状态。

2.1 C8051F340 单片机

C8051F340 单片机属于 C8051F 系列单片机。C8051F 系列单片机是一种典型的高性能单片机,使用 Silicon Laboratories 专有的 CIP-51 微控制器内核,是完全集成的混合信号片上微控制器,与 MCS-51 指令系统完全兼容。该系列单片机采用高速流水线处理技术,不再区分时钟周期和机器周期,能在执行指令期间预处理下一条指令,提高了指令执行效率。C8051F340 单片机具备控制系统所需的模拟和数字

外设,包括看门狗、ADC、DAC、电源管理器、定时器、内部低频振荡器等,并具备多种总线接口,包括 USB、UARTs, SPI, SMBus/I2C。它采用 Flash ROM 技术,具有 64 kB 的片内 Flash ROM 存储器、256 B 的片内 RAM 和 4 kB 的片内 XRAM, 40 个 I/O 端口(耐压 5 V),是真正能独立工作的片上系统。Flash 存储器可以在系统重新编程,提供非侵入式数据存储及允许 8051 固件现场升级。用户软件可以控制所有外设以及可以单独地关闭任何一个或所有的外设以节约能源。片上 Silicon Labs 的 2-Wire (C2) 开发接口允许使用安装在最终应用系统上的 MCU 产品进行非侵入式、全速、在系统调试。C8051F 系列单片机的诸多特点和优越性,使其广受单片机系统设计工程师的青睐,成为很多测控系统设计的首选机型。

2.2 SD 卡存储模块^[5]

长期、定点、连续的海洋环境监测系统的数据存

储具有容量大,可靠性高的要求。SD 卡因其耐用、可靠、安全、容量大、体积小、便于携带和兼容性好等优点而非常适合用于海洋环境监测系统的数据存储。

SD 卡(Secure Digital Memory Card)是一种基于 Flash 技术的存储卡,SD 卡的特点是容量大(最大容量为 4 GB,现在已有 1 GB 的产品),性价比很高(高于 1 MB/元),体积小(32 mm×24 mm×2.1 mm),质量只有几克而且功耗低、接口简单。SD 卡支持 SD 模式和 SPI 模式,其中 SPI 模式中使用的 SPI 接口在单片机系统中应用非常广泛,本设计中就采用 SPI 模式接口与 C8051F340 单片机连接,实现了对采集数据的实时读写。

2.3 传感器及接口电路模块

与分立的传感器和信号调理相比,集成的海洋用温盐深仪具有很好的优势,前者在设计时复杂,干扰容易进入系统中,数据采集后滤波处理等均增加了单片机的负担。XR-420-CTD 是加拿大 RBR 公司生产的一款高精度的集成海洋专用温盐深仪,而且自身带有一定的存储容量,可以测量温度、盐度、深度等参数,输出直接是数字量,通过 MAX3223 接口芯片与单片机相连接。如果要改变浮标滑行的上限和下限深度,需要改变程序中预先设定的上下限深度值。将预先设定的系统运动上、下限值存储在这个单元内,如需改变,则通过串口将数据重新置入该芯片中。这样,整个系统将不再局限于一个区间运动,可以在更大范围内测量数据。浮标式搭载平台可根据实际需要,搭载不同的传感器。

3 下位单片机控制存储系统

潜标式主浮体在整套系统中起到了一个承上启下的作用,是节能型自治式多功能海洋要素采集系

统的主要支撑系统,其上部连接着浮标式搭载平台,下部锚固在海底,主浮体中的密封装置不仅承载水压力、提供系统浮力和装载电源,而且是整套系统的储能设备和控制执行中心。

浮标式搭载平台由机电缆牵引,受潜标式主浮体中海洋电机的驱动和控制。浮标运动是通过驱动系统牵引缠绕于滚筒上的机电缆,拖动连接在机电缆另一端浮标搭载平台上下运动来实现。浮标剖面运动依靠自身浮力上浮,并在上升过程中通过传动储能装置将能量储存起来,需要浮标式搭载平台下降时,释放这部分储存的能量,拉动其下降,不需要人为施加能量。实际过程中,由于水体的阻力,以及系统的摩擦,不可避免地会损失一些能量,即在上浮体下降的过程中需要电源补给少量的能量。驱动机构是传动储能装置的一部分,它的整体外壳作为储能传动装置的主浮体锚泊缆的绕线滚筒,它包括无刷直流电机、电源、滚动轴承、内齿轮、外齿轮、外支架、内支杆及起密封作用的两个端盖和圆筒。潜标式主浮体除了包括上述几类主要部件装置外,还需要一些辅助性机构,如控制滚筒转动与否的执行机构等。

3.1 下位单片机控制存储系统

下位单片机控制存储系统主要根据上位单片机传送来的测量数据启动工作指令或按预定程序进入工作状态,决定电机工作与否;控制各类传感器的工作,接收并存储、传送测量数据。对浮标式搭载平台进行水中升降控制,主要采用对电机等执行元件的微机程序化比对策性控制,并设计相应的控制电路和测试设备,用来检验和调试系统执行情况等。下位单片机系统主要由单片机、隔离电路、通信电路、电压转换模块、高精度时钟电路、电池组等部分组成。组成结构如图 3 所示。

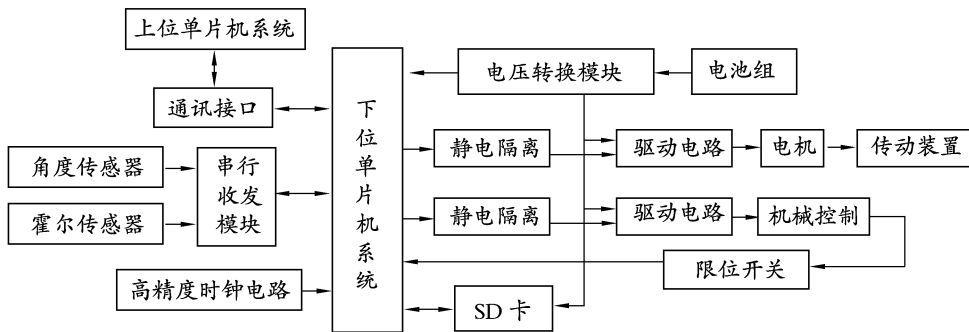


图 3 下位单片机控制存储系统原理图

Fig. 3 Configuration of the lower single chip control and storage system

电路部分位于海洋电机里的摆锤上,水下导电滑环安装在滚筒一侧,转动轴与滚筒轴连接,机电缆下端通过导电滑环连接到潜标内的控制器中,上端经特制的连接器将电缆和承力纤维芯分离密封,电缆经水下可插拔接头与浮标数据采集器连接,实现了测量数据、指令的实时传输^[6]。通过导电滑环也可以与传感器相连。利用角度传感器可以监测摆锤

的位置和驱动电机的扭矩;利用一对霍尔传感器来测量缆线的输出和方向。高效无刷驱动电机有利于控制并增加了寿命。每一个剖面循环开始前,通过一个开关将绞架导到浮体的一端,以便重新校准缆绳的输出,当绞动系统恢复原位后,也假定传感器浮标完全返回原位可以让软件重新设定缆绳的起始位置,此时缆绳要有一定的长度以保证两个浮体之间

分开数米的距离。

驱动电机的动作情况受控于控制系统。控制系统的工作过程为:在浮标搭载平台下潜的过程中,驱动电机带动齿轮转动,储能传动装置释放能量,控制电路不断地读取深度信号,当搭载平台下潜到预设深度后,控制电路发出命令,驱动电机停止转动,齿轮反向传动,搭载平台在自身正浮力的作用下上浮至水面或事先设定的深度。采集数据是在仪器浮标上升过程中完成的。此后,控制电路再发送控制命令使驱动电机反转,又处于工作状态,浮标式搭载平台再次步进下潜。如此反复,浮标式搭载平台就可以在水下一定深度范围内上下不停地循环运动,由其搭载的传感器进行海洋要素的测量,这样可以由单一传感器实现对海洋要素的连续垂直剖面测量。当然,也可以停留在海表面完成对海表面水文、气象等参数的测量。

3.2 软件设计

控制存储电路的功能是实现浮标搭载平台的上浮、下潜、停留在设定深度和防碰撞强制下潜等状态的转换及将测量数据实时传送和存储,这些功能通过程序控制相应硬件电路可以自动完成。当其处于下潜状态时,浮标搭载平台和潜标主浮体在驱传动

系统作用下作相对运动;而在上浮状态,两浮体作相向运动,浮标搭载平台完全处于自由状态,在浮力作用下沿锚定缆上浮,并在上浮过程中定时完成对海洋要素的采集及能量的转化和存储,由单片机完成对 SD 卡的读写操作,将采集的数据存储在 SD 卡中。在整个运动过程中,系统依靠写入单片机的程序来控制浮标搭载平台的运动状态。程序采用 KEILC 和汇编语言混合编写。

4 海上试验及结果

控制电路设计制作完成后,为了现场检验数据采集控制存储系统性能及整体控制系统在设计水深的稳定可靠性,课题组分别于 2008 年 12 月 10 日在青岛胶州湾和 2008 年 12 月 26 日在海南省三亚市进行了试验。

青岛胶州湾近海实验地点为: $36^{\circ}04.9'N$, $120^{\circ}14.4'E$, 水深 42 m, 波高 15~30 cm, 流速 1~1.5 m/s。海南省三亚市东南近海的试验地点是: $18^{\circ}05.322'N$, $109^{\circ}30.222'E$, 水深 54.5 m, 波高 3 m 左右。两次试验浮标搭载平台只装载了 XR-420-CTD 传感器。图 4 为 CTD 传感器采集的不同深度的水文数据。

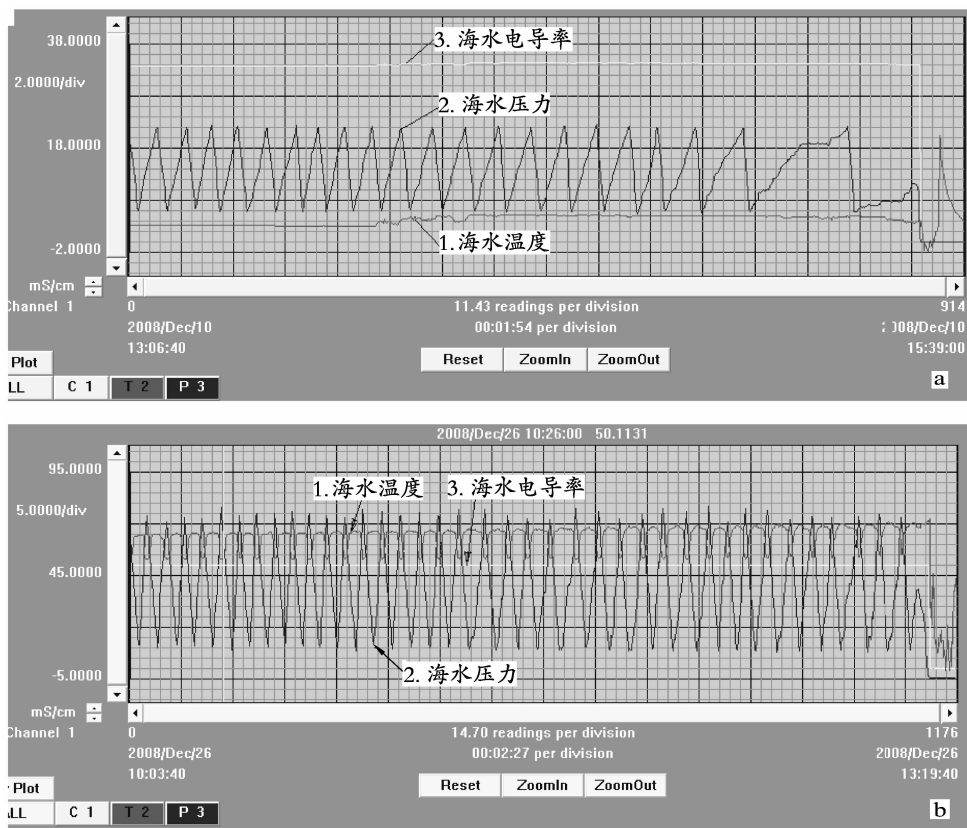


图 4 近海水温、压力、电导率实测结果

Fig. 4 Test results of the temperature, pressure and electrical conductivity of coastal waters

a. 青岛胶州湾; b. 海南三亚近海;

a. Jiaozhou Bay in Qingdao; b. the South China Sea

图4中,曲线1表示海水温度的变化,曲线2表示不同深度海水压力的变化,而曲线3代表海水电导率的变化。从图4a可以看出:该海上实验系统运行132 min,获取21组有效数据。测量平台完成一个15 m的下降和上浮循环基本稳定在5~6 min之间,因此可以推算该平台在同等海况下完成50 m垂直升降所用时间为22 min到30 min之间。从图4b可以看出:该海上实验系统运行177 min,获取39组有效数据(其中第一组为单独上升数据,第39组为单独下降数据)。以现有数据推知,在此海况条件下(当日最大波高为330 cm),25 m行程上升时间为2.5 min左右,50 m行程测量平台往返时间大约为10 min到15 min。通过试验数据可以看出:(1)浮标搭载平台下降速度要远远小于其上升速度,因此在上升的过程中很快就会完成剖面数据的测量和记录,出于整个系统低功耗的考虑,选择浮标搭载平台上升时,由传感器采集数据,并进行存储;(2)搭载平台完成一个20 m的下降和上浮循环,用时在8~14 min之间,据此可以推算此测量系统完成一个50 m深度垂直升降所用时间在20 min到35 min之间,这样的话,一天可以完成数个垂直剖面测量,完全可以满足海洋学上的需求。

5 结论

节能型自治式多功能海洋环境监测系统以一种简约的方式,利用设计的控制电路,实现了在无人值守情况下对海洋要素垂直剖面的长期连续观测,满足了海洋学研究、海上工程建设前期调查和海洋军

事上的需求,是对传统测量方法的有益补充。实验证明,设计的控制电路能够精确地实现潜标主浮体和浮标搭载平台之间的实时通信,能够完成浮标的各种运动状态的循环控制。该控制电路的硬件部分功耗低、体积小、可控性强,软件部分精度高、可移植性好、灵活性强、适用的海域范围广。同时该控制电路通过将SD卡存储方式运用到海洋要素数据采集系统中,简化了采集系统的设计,减小了系统尺寸,提高了系统的可靠性,满足了测量数据海量存储的需要,使海洋环境监测仪器的数据读写变得简单易行。

参考文献:

- [1] Gong Dejun, Chen Yonghua, Li Siren. A moored underwater energy conservation system for profiling measurement [J]. *China Ocean Engineering*, 2007, **21**(3): 541-548.
- [2] 商红梅, 张少永, 沈高山. 极区冰盖下定点剖面测量系统 [J]. *海洋技术*, 2006, **25**(3): 23-26.
- [3] Hamilton J, Fowler G, Beanlands B. Long-term monitoring with a moored wave-powered profiler [J]. *Sea Technology*, 1999, **40**(9): 68-69.
- [4] 鲍可进. C8051F单片机原理及应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2006. 1.
- [5] 周立功. ARM嵌入式系统软件开发实例(二) [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.
- [6] 李永军, 李飞权. 水下自动监测站的结构设计和试验 [J]. *海洋技术*, 2007, **26**(1): 1-5.

The control circuit of the marine environment monitoring system based on microcontroller

LIU Su-hua^{1,2,3}, GONG De-jun¹, XU Yong-ping¹, LI Si-ren¹

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Qingdao Technological University, Qingdao 266520, China; 3. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: May, 31, 2009

Key words: microcontroller; state control; fixed-point profiling measurement

Abstract: A new kind of control circuit is introduced in this paper. This circuit which is based on microcontroller C8051F340 is used to make an automatic multi-function energy conserving marine environment monitoring system. The design of the modularization is used in the circuit. The control circuit has the characteristics of low power consumption and high reliability by selecting electric parts and designing their working modes reasonably. It is proved that the circuit could achieve the control aim of the main subsurface flotation controlling the profiling float in real time. It realizes states controls of the profiling float: diving at single direction, observing in fixed-point, floating in a free situation and anti-colliding automatically. It also realizes the goal that the ocean elements could be continuously observed in a simple and original way for a long time.

(本文编辑: 刘珊珊)