

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.09.023

基于 IAP 和 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 的海洋定位信标设计*

綦声波,田久东,刘贵杰

(中国海洋大学 工程学院,山东 青岛 266100)

摘要:针对在海洋探测活动中如何确保海洋定位信标安全、可靠工作以及如何提升信标可维护性等问题,对海洋信标的功能定位、嵌入式实时操作系统、有限状态机、无线 IAP 等内容进行了研究,对可能引发嵌入式系统不稳定的原因进行了归纳,对程序结构、通讯方式、基于 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 的有限状态机、STM32 启动方式和采用 Ymodem 差错控制协议的无线 IAP 技术进行了设计,提出了一种基于 IAP 和 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 的海洋信标定位系统。这种方式在兼顾系统可靠性的前提下,大大提升了系统的可维护性。最后对海洋信标进行了多次海试。通过对比分析表明:采用 $\mu\text{C}/\text{OS}$ + 有限状态机的海洋定位信标可以提升系统的可靠性,同时无线 IAP 技术的引入,使系统可以实现“非接触”式升级,提高了系统的可维护性。

关键词:海洋信标; $\mu\text{C}/\text{OS}$;有限状态机;IAP

中图分类号:TH766;TP39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)09-1070-05

Design of marine positioning beacon based on IAP and $\mu\text{C}/\text{OS}$

QI Sheng-bo, TIAN Jiu-dong, LIU Gui-jie

(College of Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Aiming at the problems of how to ensure the marine beacon working reliably and how to enhance the maintainability of marine beacon, the functional orientation of marine beacon, embedded real time operating system, finite-state machine, and wireless IAP technology were researched, the reasons for the instability of the embedded system were summarized. The program structure, communication method, finite-state machine based on $\mu\text{C}/\text{OS}$, the boot mode of STM32, and wireless IAP technology using Ymodem error control protocol were designed. A marine beacon positioning system based on IAP and $\mu\text{C}/\text{OS}$ was proposed. And the maintainability of the system was improved. The marine beacon was tested several times in the sea. The results indicate that the stability of the system is improved by using “ $\mu\text{C}/\text{OS}$ + FSM”, and the maintainability of the system is also improved by using wireless IAP technology.

Key words: marine beacon; $\mu\text{C}/\text{OS}$; finite state machine(FSM); in application programming(IAP)

0 引言

在深海探测领域,探测设备需要沉入海底采集数据,工作完成后释放配重,依靠浮力浮出水面^[1]。在下沉、上浮过程中,由于洋流作用,探测设备会偏离投放点,产生较大位置偏移,浮出水面后仅靠肉眼很难发现。

信标是一种典型的嵌入式系统,其可靠工作与否

直接关系到探测设备是否能正常回收,尤其是信标需要和深海探测设备长时间工作于水底,对稳定性要求很高。通常嵌入式设备为了提升系统的稳定性会采用“前后台+看门狗”的方式。在功能较少,程序量较小的情况下,这种方式可以很好地保证系统的稳定性。但程序庞大时系统的稳定性不能保证,不易于维护^[2]。

RTOS 是嵌入式实时操作系统,相比于前后台系统,RTOS 牺牲了一小部分的中断响应延时,同时也增

收稿日期:2017-02-09

基金项目:国家高技术研究发展计划(“863”计划)资助项目(2012AA09A201)

作者简介:綦声波(1970-),男,山东平度人,博士,副教授,主要从事嵌入式技术及智能海洋仪器方面的研究. E-mail: qishengbo@ouc.edu.cn

加了一部分的系统资源开销,但任务化的编程方式使程序开发更简单^[3],尤其提高了程序的可维护性^[4]。基于 RTOS 的有限状态机,根据运行情况,将系统划分成 4 个可控状态和 1 个默认状态,保证系统时时运行在这 5 个可控状态之内。即使出现意外,系统也会先跳入默认状态,再根据运行情况,跳入相应的工作状态,大大提升了系统的稳定性^[5-6]。无线 IAP 技术的引入,主要解决程序升级问题。信标整体封装在高耐压密闭玻璃仓内,对密封性要求很高,拆卸过程不仅麻烦还容易造成设备损坏,这给系统维护带来了很大的困难,不能使用常规开仓调试的方式。

本研究提出一种基于电台传输和 STM32 的 IAP 功能的无线升级方式,不用开仓就能调试、更新程序,可大大提高系统的软件可维护性^[7-8]。

1 信标功能分析

本研究所所述的信标是指能提供其所处位置经纬度坐标的装置,其核心功能是:采集 GPS 信息并通过无线电台将该信息发送到主站。出于工程上的考虑,信标与主站之间不只有 GPS 数据的传递,还有指令信息、报警信息等。所以本研究把该核心功能划分成两部分:“GPS 数据采集功能”和“主站通讯功能”。GPS 数据采集功能负责提取、采集 GPS 信息,并将其保存至指定结构体中,以备后续使用。主站通讯功能则负责与主站之间进行的所有通讯,包括数据上传、指令下达和所有的报警信息。主站通讯功能又分为两个部分:主动发送数据和被动反馈数据。主动发送数据是指信标以固定频率向主站上传数据,默认周期 1 min,该数据包含 GPS 信息以及报警信息等。被动反馈数据是信标在接收到主站下达的指令后,立即反馈相应的数据。

信标各个功能间的关系图如图 1 所示。

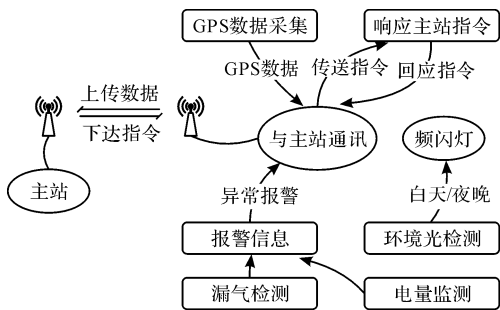


图1 信标功能示意图

响应主站指令功能是指在调试或者工作前夕需要对信标进行的一些配置或查询操作。每个信标均有不同的 ID 号,通过该功能可以根据需要人为更改。另外

信标的发送频率也是可配置的。信标还提供 GPS、电池电量、球内气压等信息查询操作,在下水之前判断信标是否工作在正常状态,供操作人员参考。

报警功能是指信标一旦检测到异常,便把异常信息加入到数据流中,等待下一次与主站通讯时一同上传。异常主要包括两个部分,即漏气检测功能和电量检测功能。信标设备整体封装在玻璃球内,通过抽真空的方式,使两块玻璃半球紧密吸附,因此一旦漏气,球体内部气压会升高。信标内置一个 BMP085 气压芯片,时时检测球内气压,一旦发现球内气压升高便会触发漏气警报。电量检测则通过内置电量计芯片,时时监测锂电池电量,在电量不足 20% 时会触发报警,通知主站,信标电量不足,请及时打捞。

此外,考虑到海况恶劣,有时回收过程不得不在傍晚或夜间进行。即使有 GPS 坐标的辅助,夜间也不容易寻找信标,因此信标还配备了频闪灯模块和环境光检测功能。环境光检测功能利用光敏电阻,可以检测信标所处位置的光照强度,在傍晚或者光线不好的时候,能控制频闪灯闪烁,从而帮助搜寻人员更容易找到信标。

2 用户程序设计

整个软件设计包括用户程序和 IAP 程序。用户程序是指完成信标功能的程序,与 IAP 程序相区分。为了提升系统的安全性、可维护性、稳定性,本研究采用嵌入式实时操作系统 (RTOS) + 状态机的方式。嵌入式实时操作系统的引入可以降低系统开发难度、提升系统的可维护性,并在一定程度上增加系统的稳定性。而基于 RTOS 的状态机设计,使系统每个工作状态都是可知可控的,保证系统不会运行在非设计的状态里,从而提升系统的稳定性。

2.1 μ C/OS 任务设计

本研究选用的是 μ C/OS-II^[9]。根据信标功能分析,系统总共分成 5 大任务和 1 个中断服务程序,分别是:启动任务 (task_start)、时间任务 (time_task)、电台任务 (radio_task)、采集任务 (acquisition_task)、系统任务 (system_task) 和串口中断服务程序。

每个任务均有不同的功能,启动任务仅执行一次,负责创建其它用户任务,并在完成后自行挂起,不再执行。时间任务则负责管理状态机,控制电台的发送频率。电台任务则管理电台设备,负责与主站之间的通讯。采集任务则采集 GPS、气压、电量、光强等信息。并在气压过低、电量过低时触发警报,通过电台任务发

送至主站。系统任务则响应主站下达的命令,根据命令回应相应数据。

各任务功能如表 1 所示。

表 1 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 任务表

任务名	优先级	功能
task_start	17	创建其他用户任务
time_task	13	管理状态机等
radio_task	12	管理电台
acquisition_task	15	采集信息
system_task	14	响应主站指令

各任务间独立、并发运行,并通过消息邮箱协调同步。系统共设计 3 个消息邮箱:时间邮箱、系统邮箱和中断邮箱。时间邮箱用于时间任务与电台任务之间的协调同步,时间任务请求使用电台发送数据。中断邮箱用于串口中断服务程序与系统任务之间的同步,在串口中断服务程序接收到正确数据后,便向中断邮箱 Post 信号,同时把数据传进邮箱。系统任务 Pend 中断邮箱,接收到数据后便解析指令,根据指令准备回应数据,并 Post 系统邮箱,发送信号给电台任务。电台任务则 Pend 时间邮箱和系统邮箱,分别受理时间任务和系统任务提出的使用电台请求。

各任务间的关系图如图 2 所示。

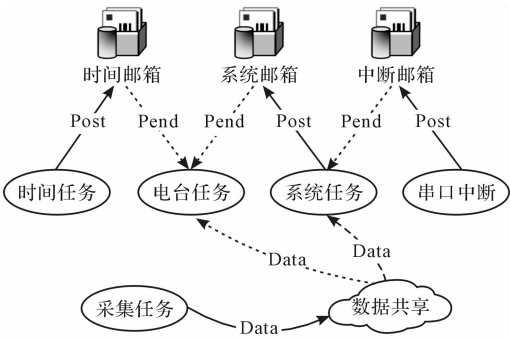


图 2 任务关系图

系统还设立一个数据共享区,采集任务采集气压、电压、GPS、光强等信息,并存入该共享区,以供其它任务使用。

2.2 基于 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 的有限状态机设计

信标在不同环境下具有不同的工作模式,在刚上电时可以接收主站命令,进行配置、查询等操作。配置结束或等待超时后信标转入工作模式。根据 GPS 信号、电池电量工作模式又分为:搜星模式、正常工作模式和休眠模式 3 种。一般情况下 GPS 定位成功,信标电量充足,信标工作在正常工作模式,此时信标以固定频率(默认 1 min)向主站发送数据,并根据光强控制频闪灯闪烁。如果电量足够但 GPS 信号弱定位不成

功,此时信标则转入搜星模式,此时信标关闭其它外设,仅保留 GPS 模块,不断搜寻 GPS 信号,并以低频率(默认 10 min)向主站发送数据。如果此时为夜间,光强较弱,并且 GPS 信号也微弱,信标则增大频闪灯亮度,提升闪烁频率以便搜寻人员更容易找到。

在任何情况下,只要电池电量不足,信标则会进入休眠模式,此时关闭一切外设,信标等待太阳能电池板充电,直到电量充足退出休眠模式,信标才能正常工作。信标设计可持续工作一周,一般情况下很难进入休眠模式。

另外,当信标被干扰导致运行状态异常时,状态机仍然可以从“Other”状态跳转至正常工作状态。在任何时间信标的状态都是可控的,从而确保系统运行的稳定性。

状态机切换图如图 3 所示。

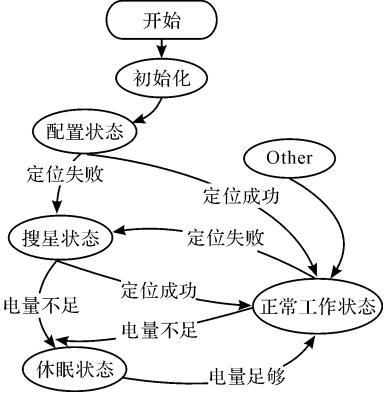


图 3 状态机切换图

3 IAP 程序设计

信标设备工作过程中需要沉入深海,这对玻璃仓的密封性提出很高要求。信标封装在高耐压密闭玻璃仓内,内部为负压结构,安装和拆卸困难,频繁拆卸也易造成设备损坏。而传统的 J-link 等升级方式需要开仓接线,这样就会破坏玻璃仓的密封性。基于无线电台传输和 STM32 系列的 IAP 功能,可以在不开仓的情况下实现软件升级,进一步提高了系统的软件可维护性。

3.1 Flash 空间分配

IAP 是一种在线编程技术,可以在运行过程中对特定用户 Flash 区域进行烧写^[10]。采用 IAP 技术的项目包含两个程序:IAP 程序和用户程序,两个程序分别存储在不同区域。用户程序负责完成产品功能,而 IAP 程序则负责控制用户程序的下载或升级。

本研究选用 STM32F207VCT6 作为主控芯片,内置

256 K Flash,地址范围为 0x08000000-0x0803FFFF。该 flash 空间需要同时存储 IAP 程序和用户程序,因此需要划分不同的存储空间。另外在本研究设计中用户程序和 IAP 程序需要通讯交流,也需要开辟单独的 flash 空间。综合上述 Flash 空间共分为 3 个部分:IAP 空间、信息交换空间和用户空间,大小分别为:15 K(0X08000000 ~ 0X08003BFF)、1 K(0X08003C00 ~ 0X08003FFF)、240 K(0X08004000 ~ 0X0803FFFF)。

信标在上电时默认先运行 IAP 程序,进行升级相关操作,在完成相应工作后(升级或不升级)才跳入用户空间执行用户程序,因此在 flash 空间分配中,IAP 空间在前,用户空间在后,中间留有 1 K 的信息交换空间。

Flash 分配图如图 4 所示。

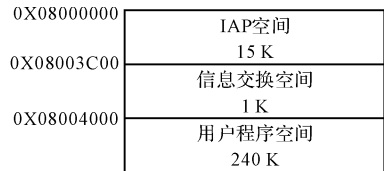


图 4 Flash 空间分配图

3.2 Ymodem 协议

进行 IAP 升级时需要主站需要把升级程序包通过无线电台传送到信标,这过程中容易受到电磁干扰,导致数据误码等现象,严重干扰程序的升级,因此在传送数据时需要加一种纠错机制,保证升级数据包的正确传送。

Ymodem 正是一种错误纠正协议,它以 1 024 字节为单位进行数据传输。发送方每发送一个数据包,都会等待接收方的确认,如果传输错误接收方会回馈给发送方,请求重发。

Ymodem 帧结构如图 5 所示。

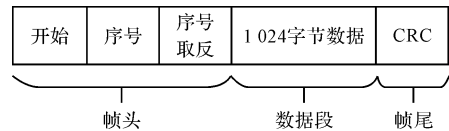


图 5 Ymodem 数据帧结构

Ymodem 数据帧由帧头、数据段、帧尾构成,帧头又包含开始信号、包序号以及包序号补码。数据段为固定 1 024 字节,数据尾是 16 位的 CRC 校验码,用以检查数据正确性,如果校验不通过,接收方便会通知发送方重发。

3.3 IAP 程序实现

信标需要长时间工作在无人环境下,并且它的功能是定位被寻找设备,一旦信标工作异常,不能向主站

发送它的定位信息,那么回收人员将无法找到它,直接造成设备丢失,所以要增强系统的可靠性。但加入了 IAP 技术后必然会对原有系统的可靠性造成影响。IAP 是用来升级信标设备的,本研究希望只在实验室,需要系统更新时才触发 IAP,在正常工作时不触发 IAP,而 STM32 芯片在硬件上决定了,每次上电必须先启动 IAP 程序,再执行用户程序。在工作时,无人环境下,信标启动 IAP 程序有进行程序升级的风险,因此本研究采用以下手段避免该风险。

Flash 共分为 3 个空间:IAP 空间、信息交换空间和用户程序。IAP 程序和用户程序分别存储在相应空间。系统上电后会执行 IAP 程序,而 IAP 程序会检测信息交换空间的升级标志位,该升级标志位只能由用户程序写入,并且带校验。IAP 读取该值,再校验通过后才进行系统升级步骤,否则直接跳入用户程序。

用户程序拥有升级标志位的写入/擦除权限,每次下海前,都要检查该标志位是否为零,不为零的话应人工置零,以保证信标在工作时不会执行 IAP 程序升级步骤。

另外在升级过程中也进行了安全防护,只有在标志位正确、规定时间(10 min)内接收到正确数据,校验通过后才执行 flash 烧写、程序更新工作。在 IAP 升级过程中,任何一个错误都会导致 IAP 程序中断,直接跳入用户程序,执行上一版本程序。

IAP 程序升级流程图如图 6 所示。

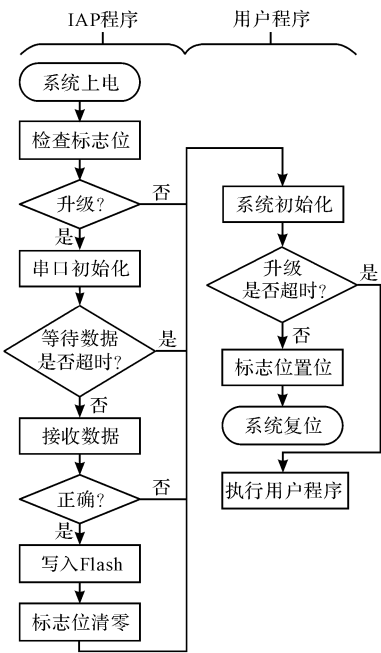


图 6 IAP 升级程序流程图

4 实验与结果分析

海洋信标在深海勘探设备回收领域发挥着至关重

要的作用,由于洋流作用,在探测设备下沉、上浮过程中,会偏离投放点达几公里之远,仅靠肉眼很难发现。如果安装信标设备的话,一旦信标浮出水面,就会不停向外发送 GPS 坐标,搜寻船根据坐标便很容易找到信标从而找到勘探设备。信标在软件结构上采用了 RTOS + 状态机的方式,提高了系统的稳定性与可维护性,为探测设备的成功回收做了有力保障。另外 IAP 技术的引入使得信标可以通过无线电台在线升级系统,不破坏系统的密封性,操作更加简便,提升了系统的可维护性。

在 2015 年初至 2016 年末,信标随 863 课题《海洋可控源水下系统装备研制和理论研究》项目共计出海 4 次,投放采集站几十余次,全部回收成功,成功率 100%,信标在这过程中发挥着不可替代的作用。

南海实验时采集站浮出水面的照片如图 7 所示。

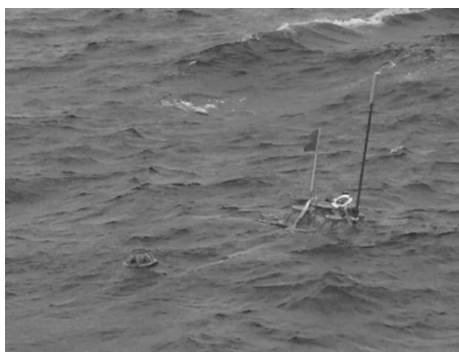


图 7 信标出海工作图

图 7 中,左侧为信标,右侧为电磁采集站,中间用绳索相连。

5 结束语

本研究通过对信标开发、实验过程中出现的问题分析总结,目前信标存在以下技术缺陷:

(1)通过数传电台,利用 IAP 技术更新程序时耗时较长,数传电台主要用来向主站远距离传输定位数据,发射功率高、通信波特率低,在近距离通信中,发射功率高意味着误码率增加,Ymodem 协议有纠错机制,导致通信数据包增加,而升级程序一般较大,在波特率低时所占用时间较长,目前更新一次程序大约耗时 10 min;

(2)信标和接收器之间是“多对一”的关系,实际使用时接收器一次只能接收一台信标发送的数据,信标在发送数据时没有仲裁机制,到时间就直接发送,没有监听该信道有没有被占用,当多台信标同时向接收器发送数据时可能会造成通讯失败。

参考文献 (References):

- [1] 沈金松,陈小宏. 海洋油气勘探中可控源电磁探测法 (CSEM) 的发展与启示[J]. 石油地球物理勘探, 2009, 44 (1): 119-127, 130, 11.
- [2] 冯地明. 状态机在嵌入式前后台系统中的应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2008 (11): 25-28.
- [3] 刘 森,王田苗,魏洪兴,等. 基于 uCOS-II 的嵌入式数控系统实时性分析[J]. 计算机工程, 2006, 32 (22): 222-224, 226.
- [4] ZHAO W G, LI W J, LIANG G W. The real-time embedded OS uCOS-II porting on AT91 [J]. *Journal of China Institute of Metrology*, 2005, 16 (2): 137-139.
- [5] 孙宏旭,邢 薇,陶 林. 基于有限状态机的模型转换方法的研究[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22 (2): 10-13, 17.
- [6] CHENG K T, KRISHNAKUMAR A S. Automatic functional test generation using the extended finite state machine model [C]. *Conference on Design Automation*, Dallas: IEEE, 1993.
- [7] ZHANG W J, NAN Y M. Design and implementation of IAP techniques based on STM32F103VB: design and implementation of IAP techniques based on STM32F103VB [J]. *Journal of Computer Applications*, 2009, 29 (10): 2820-2822.
- [8] 张 萌. 基于 ISP/IAP 和 CAN 总线的远程升级系统研制 [D]. 青岛:中国海洋大学工程学院, 2013.
- [9] 邵贝贝,许庆丰,王若鹏. 什么是嵌入式实时操作系统 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2001 (7): 72-76.
- [10] 徐 洋,马 跃. STM32F103 系列微控制器在应用编程技术研究[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2013, 13 (8): 35-37, 40.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

蔡声波,田久东,刘贵杰. 基于 IAP 和 $\mu C/OS$ 的海洋定位信标设计[J]. 机电工程, 2017, 34 (9): 1070 - 1074.

QI Sheng-bo, TIAN Jiu-dong, LIU Gui-jie. Design of marine positioning beacon based on IAP and $\mu C/OS$ [J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2017, 34 (9): 1070 - 1074.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>