

三峡库区航道建设中的 航标遥测监控系统设计与实现

吴允平¹, 李国祥², 艾廷华³, 蔡声镇¹, 王红³, 俞建林²,
李汪彪¹, 杜杨文², 刘华松⁴, 朱愧³, 苏伟达¹, 吴进营¹

(1. 福建师范大学电子信息工程系, 福州 350007; 2. 长江航道局, 武汉 430010;

3. 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079; 4. 福建闽邮数码科技有限公司, 福州 350003)

[摘要] 三峡库区航道的地理环境决定了航标遥测监控终端应具有低功耗、高精度定位及高可靠性等特点。终端采用双单片机架构设计, 多层分级的数据处理方法, 提高了终端的可靠性, 功耗仅30 mA/4V; 基于通用分组无线业务的虚拟专网(GPRS VPN)网络传送美国海运事业无线电委员会(RTCM)的差分数据, GPS定位精度达到0.9 m; 基于S-57标准并进行适当的拓展作为数据管理和交换平台, 以满足内河应用需求。系统已使用了近4年, 经历寒暑变化, 仍然可靠运行。

[关键词] 三峡库区; 航标监控; 双单片机架构; S-57; 差分GPS

[中图分类号] U644; TP27 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2008)11-0018-05

1 前言

三峡航道素以高山峡谷多、河段弯、雾多阴湿、日照时间短等为主要特点, 航标是其最重要的助航设施之一。自三峡大坝建设以来, 为进一步改善航道条件, 提高航标正常工作的保证率, 交通部实施了三峡库区航路改革航道配套建设工程, 对库区大坝至鳊鱼溪近230盏航标进行了遥测监控。

在三峡库区进行航标遥测监控的难点可归纳为以下3点。

1) 如何可靠地在终端和监控中心之间双向传输数据。可靠通信是系统运行的基本条件, 如何保证无线数据传输网络的可靠和稳定是系统的关键, 无法传输或丢失等将影响整个系统的可用性。

2) 如何提高浮标的定位精度。库区航标以岸标和浮标为主, 浮标多设置在水流湍急、水下地形复杂(有礁石等碍航物)的重点航道上, 航道较窄, 一

般在50 m左右。由于水流、潮汐的影响, 加上锚链回转半径的原因, 浮标的实际位置有时与设计位置相差几十米, 浮标所提供的错误信息会影响过往船只的正常航行和避让, 甚至会引起船舶的搁浅和触礁。因此, 浮标的准确定位在这些航道中是非常重要的, 一般要达到 ≤ 3 m。

3) 如何降低终端的功耗, 提高系统的可靠性。库区航标主要由蓄电池供电, 白天由太阳能充电, 但库区日照时间短。航标维护规范要求配置的蓄电池能量要保证30天以上, 且阴雨天航标能正常工作。因此, 航标终端RTU(remote terminal unit)的功耗应尽可能低。

2 系统设计

2.1 工作原理

系统如图1所示, RTU安装于岸标、浮标或巡标船, 由单片机、GPS、无线通信和传感器等组成, 采集浮标的位置、灯器工作参数, 并根据设定的阈值主

[收稿日期] 2006-11-16; **[修回日期]** 2006-12-18

[基金项目] 国家自然科学基金项目(60673014); 福建省科技厅重点项目(2008H002); 福建省教育厅项目(JB07080)

[作者简介] 吴允平(1971-), 男, 福建连江县人, 博士, 福建师范大学副教授, 主要从事测控技术与智能系统、交通信息化的研究与教学

动判断航标工作是否正常。当设定的时间到并接到中心指令或出现报警时,航标数据将通过无线通信发送到监控中心。

航标数据通过无线网络传送到中心的通信服务器,由其对收到的数据进行判别,通过航道局内部局域网将监测数据发送到数据服务器入库。

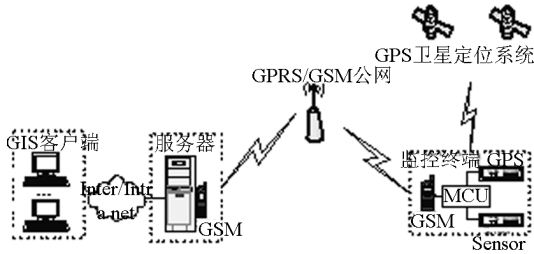


图1 系统构架

Fig. 1 System architecture

各级监控中心的管理人员根据授予的权限监控各自辖区的航标,采用电子航道图操作和查询航标的状态、管理数据库以及实现远程设置、远程遥控功能,报警信息还能按照事先设定的值班人员手机号码发送警示通知。

2.2 网络拓扑

系统的网络结构如图2所示。三峡库区航标遥测监控系统采用长江通信导航局的通信线路,分别在长江宜昌航道局、三峡通航管理局建立一级监控中心,各中心独立设置通信服务器、数据库服务器、电子航道图工作站以及大屏幕显示系统。在长江宜昌航道局的巴东、秭归航道站设立二级监控中心(或称分中心),配置服务器、监控工作站,通过长江通信导航局的通信线路与一级监控中心联网。远程或移动用户通过GIS客户端软件查询航标遥测监控信息。

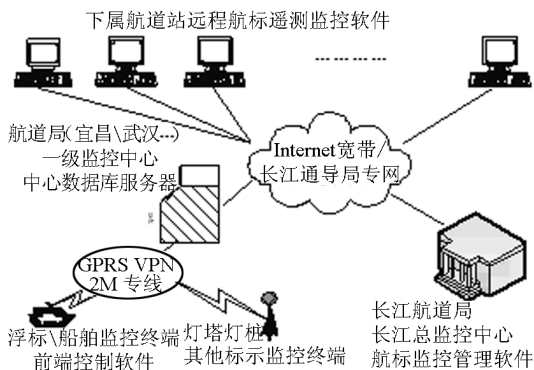


图2 系统网络结构图

Fig. 2 Diagram of system net

3 几个关键问题

3.1 通信方案^[1]

三峡航道地理条件复杂,无线电传输条件相差甚远,全球移动通信系统(GSM)、甚高频通信系统(VHF)等多种方式各有利弊。如GSM方式具有频率利用率高、覆盖面大、系统容量大且初期投资与维护费用低等优点,但由于其短信的存储转发机制,所以会影响通信时效,并存在通信盲点等问题。长江沿岸已建设了42个VHF通信基站及相应的辅助设施,并在船岸通信方面得到成熟的应用,具有很好的通信实时性和应用基础,但VHF数传电台耗电大(电压为9~12V,电流1~2A),长江通信导航局建设的船岸对讲系统要求船用电台功率最小为5W,这个功率对于航标供电系统而言太大。

鉴于三峡航道航标维护工作具有点多线长、工况环境复杂各异,防盗、防碰难度大等特点,全面采用专网建设投资大且实施困难,在建成后还需要安排足够的力量进行维护,反而增加了航道基层单位的维护工作。采用公共网络则可充分利用公共资源,减少重复建设,这也符合基础设施的社会化服务和标准化服务趋势。根据实地测试,目前公网信号如GPRS/GSM、CDMA(码分多址)等已覆盖了长江干线航道的绝大部分区域,信号质量也能满足航标遥测监控的要求。就航标监测而言,每次发送与接收的数据不过数十字节,短信服务的140字节已可满足数据传输要求,且短信的滞后性所造成的时差对航标一般标位的监测也基本无碍。因此,选用中国移动GPRS/GSM网络作为数据传输的首选方案。

3.2 数据交换平台

数据服务器和电子航道图构成了监控中心的两个重要部分,其中数据服务器可完成航标数据的管理、维护和数据备份恢复模块,具备通信费用和流量统计等功能^[2]。电子航道图是本系统的重要部分,属于长江航道数字化建设的一个重要组成部分,不仅是航标动态的显示和管理平台,还是一个多重应用体系,具备电子导航、船舶自动识别、水上交通管理、航道维护指挥调度以及航道演变分析等功能。目前,国际上均采用IHO(国际海道测量组织)颁布的标准S-52, S-57为数据交换和显示标准。其中,S-57标准主要是针对海上而制定的,经过多年的发展,已经非常成熟。S-57电子海图主要致力于海洋开发,而电子航道图在表达流域特征的同时

还需关注更多的陆上目标,因此 S-57 标准中已有描述的目标不能满足内河航道图的需要。

采用长江航道局编著的《长江三峡库区船舶航行参考图》(以下简称《航参图》),对描述的空间目标的类别进行分类(共 9 大类,75 种物标),《航参图》中所描述空间目标的 86.7% 在 S-57 标准中均有表示,但仅有 26.7% 的物标与 S-57 标准完全对应。因此,电子航道图可选用海图的 S-57 标准作为数据交换平台,但需进行适当的扩充^[3],以满足内河航道的应用需求。

3.2.1 对 S-57 标准中没有描述的物标的扩充

1) 陆上地物目标。电子航道图不仅关注航道的信息,对岸上目标也应关注,如烟囪、桥墩等都有可能作为航行时标识物,须加以表达。

2) 视频、音频等附加信息。电子航道图的用途比电子海图广泛,它不仅作为航道管理的决策工具,同时还可用于表现一个地区的人文旅游信息等,特别是三峡库区。

在进行库区电子航道图的设计时,将需要扩充的部分单独进行表达,以底图形式表述。

3.2.2 对 S-57 标准中已有的部分目标属性进行扩充表达

1) 水位的动态变化。内河河床发育的速度比海底快,流域有着明显的洪水季节和枯水季节,水位变化较大,河床特征变化比较频繁。所以在进行内河航道图水涯线的表达时,要充分考虑到由于水位变化而引起的水涯线的动态变化;

2) 水流情况比海上复杂。内河流域影响航行安全的一个重要因素就是水流状况。虽然水流在电子海图中也有表达,但是相对内河要求来说过于粗糙(海上的水流情况往往是大面积的均衡流态但内河流态变化频繁),需进行扩充表达;

3) 助航设施比海上复杂。由于内河与海上航行条件的巨大差别,作为助航设施的航道标志和航行标志具有内河的鲜明特性,例如解除禁止追尾、分隔线及船舶的流向等,电子航道图需结合国家制定的内河助航标准对 S-57 标准中的助航标志进行扩充表达。

3.3 终端的低功耗设计

航标多采用免维护铅酸蓄电池供电,RTU 的功耗应尽可能低。图 3 所示的是双单片机架构的航标遥测监控终端^[4-6]。单片机 1 为航标在线测量系统的控制核心^[7],采用高速 Flash 工艺的 PIC 单片机,

其内嵌有 EEPROM 和 Flash 程序存储器、内部 RAM;内置多种功能单元电路,运行电压范围为 2.0~5.5 V。只需少量的阻容元件,便可实现对航标灯运行参数如电压、电流、周期性信号的测量与控制,待机休眠方式下,仅耗电 20 μ A/4 V。

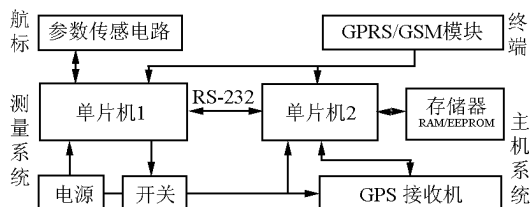


图 3 双单片机架构的航标终端结构

Fig. 3 Architecture of RTU based on double MCU

单片机 2 采用华邦 W78E58 实现,内部有 20 kB 程序存储器,MCS-51 兼容,外扩展 64 kB RAM 和 32 kB EPROM,采用 16C554 扩展 4 路串口,分别和单片机测量系统、GPS 接收机、GPRS/GSM Modem 及和计算机调试用串口连接,完成 GPS NMEA-0813 格式处理、GPRS/GSM 数据处理、航标数据处理及调试等功能。这个主机系统中,GPRS/GSM Modem 在和无线公网进行通信时,瞬间电流可达 1.5 A,休眠模式为数十毫安;GPS 是另外一个耗电较大的部分,休眠模式需 10 mA 左右的电流,再加上扩展的 RAM,16C554 等电路的功耗,主机系统的功耗远远超过航标测量系统功耗。经实测,主机系统在休眠模式下,功耗仍然占 RTU 功耗的 90% 以上。

正常情况下,大多数航标灯器的工作和蓄电池电压是正常的,发生异常情况的概率较小,白天灯器灭,不消耗电能,太阳能充电;夜晚灯器亮消耗电能。而航标 RTU 却时时刻刻监测着航标状态,消耗着大部分电能,无疑是不符合建设航标遥测监控系统的本意。因此,RTU 的工作模式应考虑航标实际情况,只有在航标异常时,才发送航标数据,正常情况下,则尽可能地降低 RTU 功耗。基于此,将 RTU 中的主机系统处于受控状态,航标测量系统和 GPRS/GSM Modem 处于常供电工作状态,只有在定时时间到、航标状态变化(亮-灭,灭-亮)、航标异常(欠压、灯质错误、被撞击)、中心远程控制等情况时,控制开启 RTU 中的主机系统,完成和监控中心的数据通信工作任务。

按照上述工作模式,当系统仅单片机 1 和 GSM 模块工作时,其工作电流 $I_s \leq 20$ mA。正常情况下,如果主机系统每天发送 6 组数据(凌晨和傍晚过渡时间各一次,白天和黑夜各两次),即每 4 h 工作一

次,每次工作时间仅 $2 \text{ min}(t_0)$,其工作电流 $I_0 \approx 300 \text{ mA}$,每天消耗蓄电池的能量按下式计算:

$$W = V_B \cdot \alpha \cdot [I_s + \frac{t_0}{60} \cdot (I_0 - I_s)] \cdot t_s$$

式中, V_B 为 4 V 蓄电池电压; $t_s = 24 \text{ h}$; $\alpha = 0.52$, 电流变换系数,考虑电源转换效率(本系统 $\geq 80\%$); 终端系统占用蓄电池(100 Ah/12 V)的容量:

$$Q = \frac{W}{V_B} \% = \alpha \cdot [I_s + \frac{t_0}{60} (I_0 - I_s)] \cdot t_s \times 100 \% \approx 0.95 \%$$

计算结果和近 4 年的应用效果均表明,这种低功耗设计合理,满足了现实需求。

3.4 终端多层分级数据处理

终端工作环境恶劣,干扰因素多,如灯器的亮和熄变化时的瞬间冲击电流、GPRS/GSM 模块工作时的大脉冲电流及辐射干扰、GPS 飞点^[8]、黄昏和凌晨过渡时刻灯器的状态变化等。这些干扰容易导致 RTU 判断航标异常并发送报警数据,从而造成航标的误报警现象。频繁的误报警最后会影响降低整个航标遥测系统数据的可行性,并导致系统弃用。

多层次分级数据处理由非易失性存储器、内存一级缓存、内存二级缓存构成,非易失性存储器,用于保存航标各个参数报警的门限值和等级值。内存一级缓存,用于存放终端实时测量得到的航标状态各个参数。内存二级缓存,用于存放终端测量得到的正式航标状态各参数。终端单片机 1 的处理流程如图 4 所示。

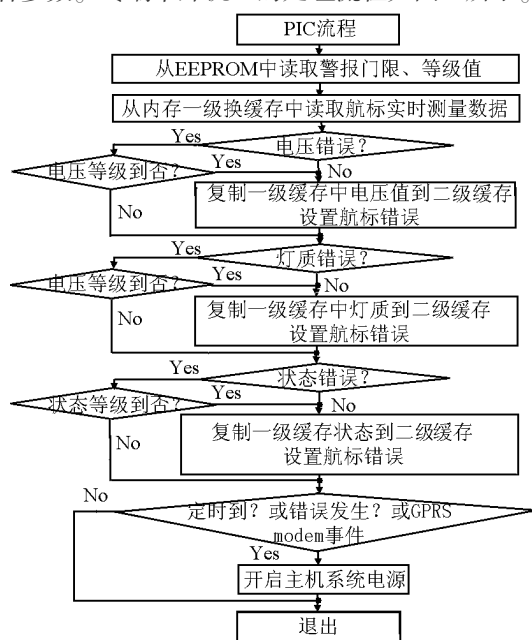


图 4 航标终端数据处理流程

Fig. 4 Flowchart of pharos' data treatment

将内存一级缓存中实时测量获得的电压值、灯质日光值、工作电流分别和设定的电压高门限、低门限,设置灯质、最小工作电流和日光阈值等进行比较,但出现电压错误、灯质错误、状态错误时,并不马上判定为航标错误,而是进行等级判断。等级判断是一种依靠时间的快速滤波处理方法,即统计错误发生的连续时间,只有连续发生错误的时间超过设定的等级时间时,才判断为航标状态错误,并把内存一级缓存中这个数据复制到二级缓存对应地址中,作为航标的正式数据。在判定航标异常、定时到及 GPRS Modem 事件时,立刻唤醒主机系统,完成和中心的通信。应用效果表明,这种多层分级的数据处理方法降低了误报警率,提高了终端数据的可信度。

3.5 GPS 定位精度

目前,在长江下游南京以下的部分航道,利用交通部在沿海地区设置的信标台发出的差分信号(differential global position system, DGPS),定位精度可达到 $\pm 5 \text{ m}$ 范围以内。而在南京以上的中上游区,因缺少差分信号,单点定位的民用 GPS 精度一般仅为 $\pm 15 \text{ m}$ 左右。为解决这一问题,在监控中心附近的已知坐标点设立固定 GPS 差分基准台,得到的差分信号通过数据接口送至数据库中,并发送到远端的航标终端进行差分修正,从而完成前差分处理,这种方法适用于小范围区域。

图 5 是终端 DGPS 设计的硬件电路图^[9],图 6 是终端 DGPS 服务的流程设计。图 5 中,GPRS/GSM 模块的串口连接到 U3 第一个串口,GPS 的串口连到 U3 第二个串口,同时,GPS 的 RTCM 端连到 U3 第三个串口。当终端通过指定端口和服务器 TCP 连接后,通过 GPRS VPN 发送/接收数据。服务器再向 GPRS 在线的终端发送 RTCM 数据包^[10],微处理器接受 RTCM 数据包后,转发到 GPS 模块的 RTCM 端,由 GPS 模块完成并输出差分后的定位数据。

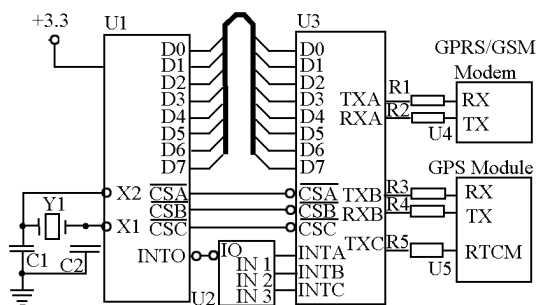


图 5 终端 DGPS 设计硬件电路图

Fig. 5 Schematic of DGPS in RTU

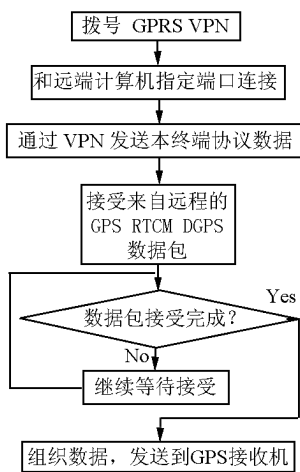


图 6 终端 DGPS 流程设计

Fig. 6 Flowchart of DPGS in RTU

实际在武汉桥区浮标上得到应用,通过航道局测量队现场测试,实现差分后的 GPS 定位精度为 0.868 m。

4 应用效果

该遥控系统于 2004 年 9 月在库区大坝至鳊鱼溪 98.5 km 河段投入使用,对 230 座航标进行遥测监控。项目实施前,需每天进行 1 次巡检,劳动强度大,且存在维护不及时的现象,影响船舶的夜间航行安全。

项目实施后,巡标员在电脑前就可以知道远程航标的实时情况,且了解的参数更全面、更准确。2005 年 9 月 2 日,台风泰利影响武汉,桥区红浮 3 号浮标出现漂失报警,航标维护人员根据 GPS 定位轨迹很快就找到了已经漂失的航标并迅速将其恢复原位。巡标员还可通过数据统计分析预先发现问题,

预见到航标的异常时间,提前做好准备,变事后维护为预先控制、主动维护,实现了由“定期巡标”到“故障巡标”的航标维护模式转变。原来航标艇每天查一次标,现每天自动上报 6 次数据,增强了航标维护的针对性和时效性,航标维护质量显著提高,维护正常率达 100%,保障了航标灯光明亮,航标技术状况良好,助航效果较项目实施前显著提高,为辖区营运船舶提供了更加安全可靠的航道条件。

近 4 年的应用表明,系统改变了航标维护模式,缩短了失常航标的恢复时间,提高了航标的完好率和船舶航行的安全保障能力,为航行船舶提供了更好的夜间航行环境,取得了明显的社会、经济效益。

参考文献

- [1] 李国祥,俞建林. 航标遥测遥控系统实现方案的探讨[J]. 水运工程,2006(8):74-78
- [2] 吴允平,蔡声镇,刘华松,等. 航标遥测遥控信息系统的设计与实现[J]. 计算机工程,2006,32(12):253-260
- [3] 朱 帆. 航标遥测监控系统中电子地图的设计与实现[D]. 武汉:武汉大学,2005
- [4] 吴允平,蔡声镇,刘华松. 航标遥测遥控的省电装置[P]. 中国专利:ZL200420007347.0,2006-03-01
- [5] 吴允平,蔡声镇,李国祥,等. 三峡库区航标遥测终端系统的几个关键问题[J]. 微计算机应用,2007,28(12):1297-1300
- [6] 蔡声镇,吴允平,苏伟达,等. 双 MCU 架构航标监控终端的研制[J]. 微电子学与计算机,2005,22(10):92-95
- [7] 吴允平,蔡声镇,李汪彪,等. 基于单片机的航标终端系统[J]. 电子测量技术,2006,29(4):71-72
- [8] 韩保民,欧吉坤,曲国庆. GPS 观测数据的模拟研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2003,30(3):246-250
- [9] 吴允平,刘华松. 基于 GPRS VPN 的航标遥测遥控终端 GPS 前差分装置[P]. 中国专利:ZL200620002694.3,2007-06-20
- [10] 张九宴,刘 晖,黄其欢. 常用 GPS 载波相位差分电文格式分析与比较[J]. 测绘信息与工程,2003(8):29-30

(下转 58 页)