



基于无线传感网络的三峡库区变动回水区 航道航标遥测遥控系统研究

吕永祥

(长江航道局, 湖北武汉 430014)

摘要: 针对长江三峡库区变动回水区航道航标布设特点, 利用无线传感网络模块研制航标遥测遥控终端, 提出基于加速度与GPS传感器的航标碰撞与漂移预警方法。结合长江电子航道图的应用, 开发航标遥测遥控软件, 构建长江朝天门航道管理处辖区莲花背控制河段航标遥测遥控系统, 为内河航道物联网技术的应用提供示范。

关键词: 三峡库区航道; 航标遥测遥控; 无线传感网络

中图分类号: U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)03-0176-08

On remote metering and control system for navigation aids in Three Gorges' fluctuating backwater waterway based on wireless sensor network

LV Yong-xiang

(Changjiang Waterway Bureau, Wuhan 430014, China)

Abstract: According to the layout of the navigation aids in Three Gorges fluctuating backwater waterway, the remote metering and control terminal for the navigation aids was developed by wireless sensor network module. Based on the acceleration and GPS sensors, the collision and drift warning method was proposed, and in combination with the application of the Yangtze River's electronic navigation charts, the remote metering and control software was developed. The remote metering and control system for the navigation aids in the Lianhuabei control channel was established, which provides demonstration for the application of the Internet of things technology in inland waterways.

Key words: Three Gorges reservoir waterway; remote metering and control system for navigation aids; wireless sensor network

三峡变动回水区是指自常年回水区(长寿附近)到水库的终点花红堡的区域, 长度大约140 km。汛后三峡水库蓄水到175 m, 该河段水面宽阔、水深增加, 流速减缓, 航道条件良好。汛期水库水位降低至防洪限制水位时, 该河段又恢复了自然航道状态, 水库运行过程中会产生局部河段航道淤积, 影响航道通过能力。为保证该河段航道船舶航行安全, 长江航道局加大了该区域的航标布设密度, 航标平均间距在1 000 m以内。

航道变动与航标数量的增加使得航道维护的工作量剧增, 航标的维护管理业务量大。因此, 有必要采用信息化技术与手段实时监控航标状态, 提高三峡变动回水区航道航标的维护管理水平, 以保证航道畅通安全。

航标遥控遥测系统是近10年来国内航标技术的研究热点, 多家单位均开展了相关研究, 相继试点建设了航标遥测遥控系统^[1-5]。2007年长江南京—浏河口段数字航道与智能航运建设示范工

收稿日期: 2012-10-22

作者简介: 吕永祥(1959—), 男, 高级工程师, 从事航道信息化研究。

程率先开工建设, 2009年竣工验收。南京至浏河口段长江干线369.5 km, 辖区607座航标装备了遥测遥控系统, 实现了电子航道图的数字化、航标监测的自动化和信息服务的网络化。2009年长江三峡库区航标遥测遥控系统开工建设, 2010年工程完成, 长江三峡坝区59 km河段实现了航标数字化、航标信息网络化。但总体而言, 我国在航标遥测遥控系统方面的开发和应用尚处于起步阶段, 航标碰撞检测技术有待深入研究, 物联网技术与手段有待深入应用^[6-7]。

本文结合三峡变动回水区航道航标布设特点, 探讨利用无线传感网络模块、GPS定位模块以及高角度三维加速度传感器, 开发航标遥测遥控系统终端, 构建示范系统, 促进物联网技术在内河航道信息服务中的应用等问题。

1 航标遥测遥控系统设计

1.1 航标遥测遥控系统需求

作为航道信息重要来源之一, 航标遥测遥控系统在信息处理、响应速度、可靠性、系统扩展性与安全性具有自身要求。

1) 信息处理。

根据目前航标管理业务的需求, 航标遥测遥控系统需实时监控航标状态并进行记录, 每个正常运转的航标每天至少要向监控中心报送4次数据。航标异常状况下将立刻报送数据, 如当航标出现电压不稳、灯质错误、碰撞位移等情况时会立刻向中心发送报警信息, 直至恢复正常为止。此外, 业务人员也可主动向航标下达遥测指令。

2) 响应速度。

从航标出现异常至系统接收到自动报警信息的时间不能超过3 min; 对航标发出信息上报请求或控制命令之后, 应在3 min内得到响应。

3) 可靠性。

由于三峡变动回水区航标遥测遥控终端的工作环境较为恶劣, 且为无人职守, 应具有可靠性: ①环境适应性—能够适应三峡库区自然环境, 具备较强的防水、防腐功能, 能经受水上大风大浪引起的震动与撞击; ②性能冗余性—各类

元器件、材料的主要性能指标均应给予一定的富余量; ③抗干扰能力—设备对外界电磁场影响需有相应抑制能力; ④防盗能力—应具备一定的防盗报警措施。此外, 由于航标信息、调度指令等均依赖无线数据通信网传播, 要求无线通信具有良好的稳定性。

4) 可扩展性。

航标遥测遥控技术尚处于发展阶段, 随着条件的逐步成熟和业务需求的拓展, 系统需要逐步完善。因此, 要求系统的体系架构具有较高的可扩展性, 同时系统软件体系架构应具备较好的灵活性与开发性, 能方便的基于现有软件平台部署新的业务应用系统或增加扩展新的应用功能模块。

5) 系统安全性。

根据航标遥测遥控系统特点, 系统安全性需求主要体现在应用安全与网络安全。应用安全方面, 由于本系统涉及到航道局局机关、基层航道处、航道站等各级机构不同类型的用户, 应具备灵活的用户权限管理措施。网络安全方面, 由于上级机关对内外网物理隔离有着严格的要求, 应确保各航道处用户的网络接入安全。

1.2 航标遥测遥控系统组成

根据目前长江航道航标管理模式, 本文涉及航标遥测遥控系统总体架构如图1所示。航标遥测遥控系统分为3层, 即航标遥测遥控监控中心、监控分中心以及数据采集终端。

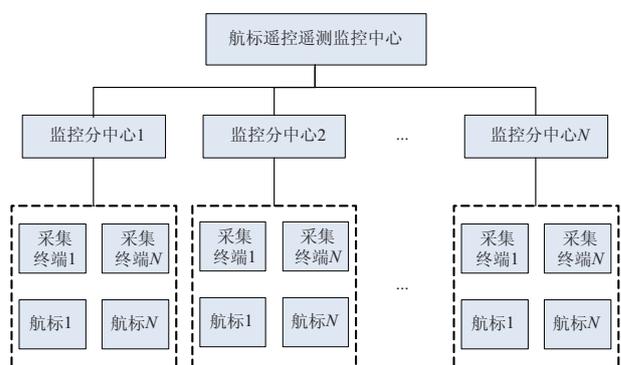


图1 航标遥测遥控总体拓扑结构

航标遥测遥控监控中心负责从监控分中心采集航标设备运行信息, 对数据进行存储、显示、处理、报警, 编辑、生成、存档、打印和报送航标管理所需的各类报表。在监控中心数据库能够

实现系统与系统间的数据共享，并可以为各家航标监测系统提供航标运行信息。在监控中心的网络数据服务器可以为相关部门提供IE浏览服务功能（需身份确认）。监控分中心负责从航标采集终端采集航标运行信息，对数据进行存储、显示、处理、报警，编辑、生成、存档、打印和报送航标管理所需的各种报表，并按时、按需向航标遥测遥控监控中心上报航标设备运行信息。通过监控中心的授权，在监控分中心可以通过图形化人机界面，监视、查询航标设备运行信息，并可向各航标采集终端发送遥控指令，以检查、控制航标的运行状态。航标采集终端是航标遥测遥控系统的基础数据采集平台，负责采集、控制并发送航标设备的运行参数，执行监控中心下达的遥控指令。

通信子系统是航标遥测遥控系统的重要组成部分，采用ZigBee无线网络通信模块与3G网络组合的通信子系统，充分发挥各通信网络优势互补，为整个系统提供一个运行安全、可靠、经济的通信子系统。同时，根据安装的实际情况通信结构可以灵活改变，以满足长江三峡变动回水区航道狭窄、弯曲的特点。通信网络结构如图2所示。

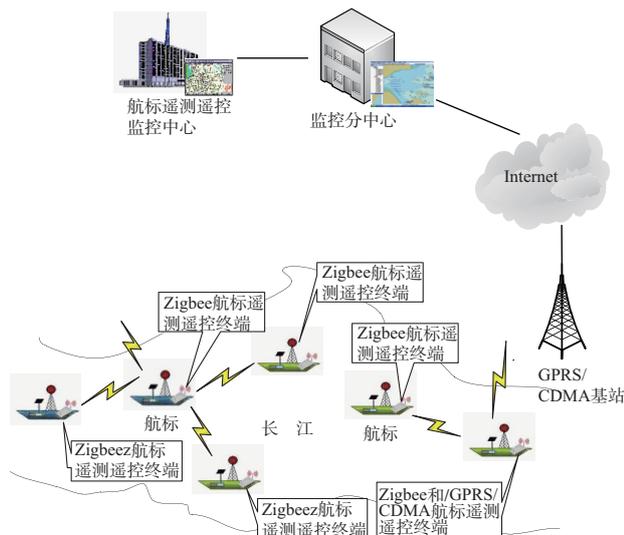


图2 通信网络结构

2 航标遥测遥控系统终端的开发

2.1 航标状态信息采集与通信模块设计

航标状态信息采集与控制包括航标定位信息

及与基点偏差距离、航标灯工作状态（发光/熄灭）、航标灯的灯质（能遥测256种国标灯质和用户自定义灯质）、日光值和日光阈值、航标灯工作电压、电流、太阳能充电电压和电流、蓄电池电压和蓄电池充放电电量检测等。此外，还包括航标碰撞检测子系统设计以及电源管理与低功耗处理等。

航标遥测遥控终端能完成除了日光值和日光阈值测量外的其它项目的遥测功能，日光阈值的修改、灯质的改变和强制灯器亮灭等遥控设置功能需利用航标灯器控制器完成，需要在终端与灯器控制器之间建立通信接口和制定通信协议，据此航标遥测遥控终端连接如图3所示。将原来灯器控制电路板电源和光敏元件连接到新增灯器控制板。新增灯器控制板通过RS-485连接到航标遥测遥控终端。

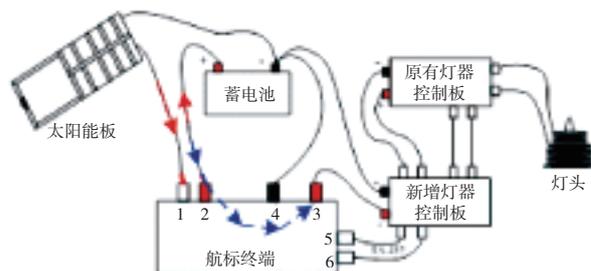


图3 航标遥测遥控终端连接结构

航标遥测遥控终端由电源管理与信息采集模块和通信模块2部分组成。其中，电源管理与信息采集模块负责终端电源分配和管理、各种航标信息采集以及通过RS-485连接航标灯器采集灯器信息，包括ARM主控模块、电源模块、电压电流采集、加速度模块、E2PROM、信息输入模块、RS-485通信模块和GPS模块等。通信模块负责无线数据通信，包括GPRS/CDMA通信模块、ZigBee通信模块，不同功能的航标可以选用不同的通信模块。GPRS/CDMA通信模块，具有技术成熟，研发周期短、网络覆盖广、网络容量大、传输速率高等优点。但是其每月需要交纳一定的通讯费用，增加了运营费用，且网络覆盖有盲区，特别是三峡回水变动区网络信号较差；ZigBee航标遥测遥控终端采用ZigBee通信模块，具有功耗低的特点；采用2.4 GHz ISM频段，无需通信费用；技术

成熟、开发周期短；航标间自组网、组网灵活；网络稳定、可靠且具有自恢复功能；网络数据加密、信息安全等优点。但ZigBee的物理层采用2.4 GHz无线频段，绕射能力弱，易受到天气、环境影响（如下雨、大雾天气、遮挡等）。因此采用GPRS/CDMA与ZigBee通信模块组合构建航标遥测遥控系统的通信网络，以保证通信的可靠性。航标遥测遥控终端结构框图如图4所示。

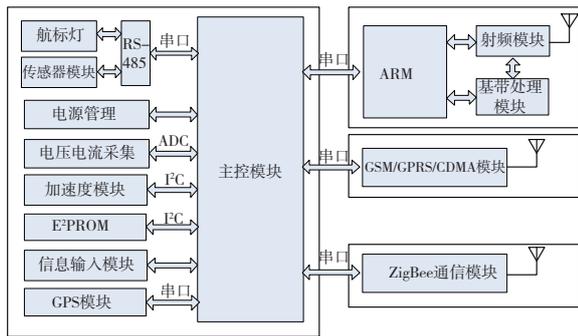


图4 航标遥测遥控终端结构框图

2.2 航标遥测遥控系统电路设计

主控模块电路采用STM32F105RBT6芯片，完成航标终端的数据采集、处理、存储、通信控制等各项功能，同时也为GPS定位模块、RS232/RS485/RS422总线模块、检测控制模块、电源管理模块、传感器模块提供电路接口，其电路包括：电源系统供电、通信、地址输入、存储器、电压采集、GPS接口、以及加速度电路等。

2.2.1 系统供电电路

由于多功能航标终端的电源稳定性受灯器蓄电池、太阳能充电的影响，闪光灯的脉冲瞬间电流、太阳能充电时电压的变化、通信模块发送数据时瞬间大电流都会给多功能航标终端的精密A/D测量带来干扰，因此采用独立式供电、大电容放电电路和电源滤波加上分时工作模式及其他保护电路的设计保证了多功能航标终端具有较强的抗干扰性。

2.2.2 RS-485通信电路

RS-485总线主要采用平衡发送和差分接收方式实现通信，具有极强的抗共模干扰的能力，因此利用RS-485总线与航标灯控制器间通信。设计中采用MAX3485来实现串口的TTL电平信号转换

成485差分信号。485总线通信电路如图5所示。

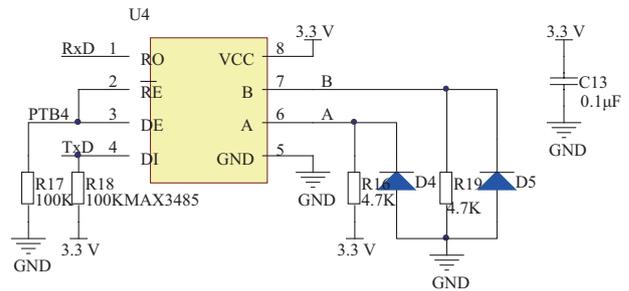


图5 RS-485总线电路

2.2.3 地址输入电路

考虑到航标遥测遥控终端网络ID和航标地址各不相同，终端系统启动时，需要对这些参数进行初始化，如果采用程序内以常量形式固定不变不宜航标终端批量生产、安装配置及维护更换，因此设计采用2个8位拨码开关作为网络ID和航标地址输入，输入范围0~255。在安装时根据多功能航标终端的网络ID和航标地址通过拨码开关进行配置。

2.2.4 FLASH存储器电路

为了保存主控芯片程序以及Zigbee网络信息，设计外扩了一片128K字节8位数据宽度的M25P10-A Flash存储器。该存储器具有块、扇区或整片擦除等特点，50 MHz SPI总线，20年数据保存周期，工作电压范围为2.3~3.6 V，并且具有较低的功耗。

2.2.5 EEPROM存储器电路

为了系统保存需要掉电保存的系统程序参数，本设计采用1K字节8位数据宽度的STM24C08 EEPROM存储器。该存储器具有宽工作电压1.8~5.5 V、低功耗（1 mA典型工作点流、1 μA典型待机电路）、I2C总线接口（3.3 V工作电压下频率400 kHz）、可按字节读写、可按页读写、硬件数据写保护、写周期（最大5 ms）、自动递增地址、ESD保护大于2.5 kV、高可靠性（擦写寿命100万次、数据保持时间100 a）等特点。

2.2.6 工作电压电流采集电路

航标系统遥测遥控系统主要监测的参数有以下几种：1）航标灯工作参数，即工作电流、工作电压；2）蓄电池参数，即输出电压、电流；

3) 太阳能板参数, 即充电电压、电流。因此, 本设计中需要测量的模拟量主要有以下几个: 航标灯、蓄电池、太阳能板等设备的电压、电流等。电压的测量先通过精密电阻分压将电压按比例降至合理的电压范围, 再经过滤波电路进入A/D转接口进行相应处理; 电流的测量则经过电流传感器将电流转换为电压, 再经过滤波电路进入A/D转换接口。

2.2.7 GPS模块接口电路

GPS模块采用ET662 GPS模块。该模块提供了2个串口, 其中串口1为ET662与JN5139提供控制和数据通道, 数据接口为TX、RX以及GND3根信号线。TX信号向JN5139发送定位信息, RX信号接收主控模块发送的参数设置信息。在电路设计GPS模块接口电路时需考虑以下方面: 1) 设计时将模块接口布置在电路板的边缘, 方便天线安装; 2) ET662 GPS模块需要2串口对其进行配置, 而主控模块串口较少, 所以GPS模块需要与485总线通信模块共用1个串口, 设计时应考虑扩展串口之间的切换; 3) ET662 GPS模块内部包含了射频模块, 设计时尽量将其远离其它芯片。

2.2.8 加速度模块电路

传统的加速度传感器一般为模拟输出, 用户需要A/D采样后, 将模拟量转换为数字量, 再进行数据处理。MMA7455L提供数字接口(I2C和SPI), 用户可直接读取MMA7455L的寄存器得到输出数字量, 方便用户的数据处理, 在没有A/D接口的MCU上照常使用。总线通讯可以使用MCU硬件单元, 也可以使用IO模拟通讯, 对MCU的支持更加广泛。MMA7455L加速度模块电路如图6所示。

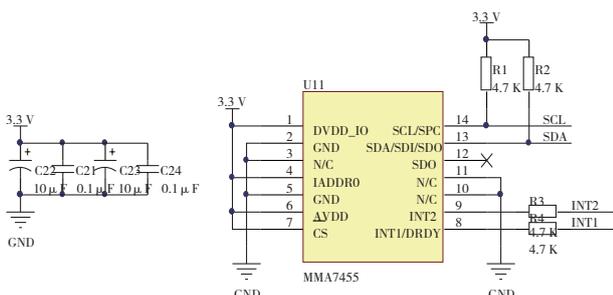


图6 MMA 7455 L 加速度模块电路

3 航标碰撞漂移在线监测

加速度传感器是监测冲击的主要手段, 而GPS可以监测航标的位置信息, 因此采用上述2类传感器实现航标碰撞与漂移的在线监测

3.1 加速度信息采集

MMA7455L加速度传感器提供数字接口, 用户可以直接读取MMA7455L的内部寄存器得到输出数字量。MMA7455L加速度模块基本采集顺序:

- 1) 配置JN5139芯片, 启动I2C通信模块。
- 2) 配置I2C通信模块波特率。此波特率需在MMA7455L芯片允许的波特率范围内。
- 3) 写底层通信驱动命令, 包括读1个字节和写1个字节。
- 4) 对MMA7455L内部寄存器0×16写0×05, 使得MMA7455L测量模式在2g模式下。
- 5) 读MMA7455L内部寄存器0×16, 确认是否修改命令写入成功。
- 6) 配置MMA7455L内部寄存器, 如标定零点、设置中断输出和修改量程等。
- 7) 读MMA7455L内部寄存器0×06、0×07、0×08得出X、Y和Z三轴加速度。
- 8) 通过三轴加速度计算整体加速度。

3.2 GPS数据采集与处理

ET662 GPS模块支持NMEA-0183协议和RTCM SC-104协议。NMEA-0183协议是GPS接收机应当遵守的标准协议, 也是目前GPS接收机上使用最广泛的协议, 大多数常见的GPS接收机、GPS数据处理软件、导航软件都遵守或者至少兼容这个协议。GPS接收机根据NMEA-0183协议的标准规范, 将位置、速度等信息通过串口传送到PC机、PDA等设备。NMEA 0183格式输出数据有7种, 分别为\$GPGGA、\$GPGLL、\$GPGSA、\$GPGSV、\$GPRMC、\$GPVTG和\$GPZDA。GPS数据采集与处理程序中主要解析报文有: GPRMC报文、导航初始化命令和RTCM SC-104协议1类电文。

3.3 碰撞报警

在通常情况下, 浮标受到风力、水流等的驱动, 产生不规则的运动, 但由于水上船舶有时会

撞击到它，造成位置偏移和损坏，因此，必须能够及时发现浮标受撞击的事件。当浮标受到撞击时，由于受到某个方向的作用力其运动状态将发生变化，产生该方向的速度和加速度。本文采用以GPS测量浮标的速度和用一个加速度传感器测量的浮标加速度来联合判断是一种比较理想的方法。如图7所示，通过设计2个滑窗来对测量的速度和加速度进行滤波处理，当浮标的速度和加速度均超过设定的门限时，判决浮标被撞击，发出撞击报警信息。

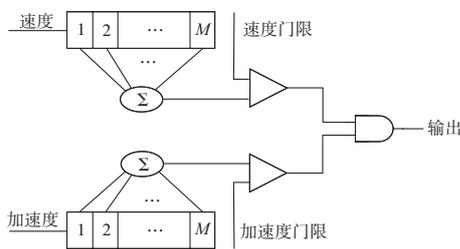


图7 浮标受撞击的判断模型

3.4 位置漂移报警

航标位置是否漂移，从原理上讲，只要准确地确定航标的位置就可判断。本设计采用的定位方法是GPS定位技术。假设GPS无测量误差，由于浮标受风力、水流等的驱动，链条的长短随时变化，使浮标的位置在以沉石位置为基点的回旋半径 r_1 范围内变化， r_1 由下式确定：

$$r_1 = 0.8\sqrt{h^2 - H^2} \quad (1)$$

式中： h 为链条全长； H 为设置航标处海图水深；0.8为链条悬弧系数。GPS接收机是安装在浮标上的，由于浮标具有一定高度，水上浮标在有风的情况下会产生摇摆，如图8所示。

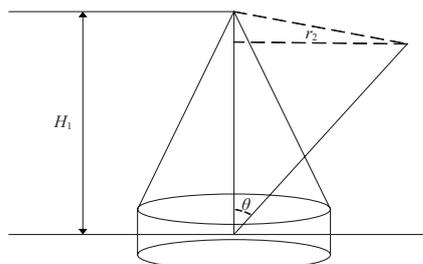


图8 浮标示意

假设浮标高度为 H_1 ，倾角为 θ ，则GPS摆动的位置将偏离航标 r_2 ：

$$r_2 = H_1 \sin\theta \quad (2)$$

考虑GPS的测量误差 r_3 和基准点的位置误差 r_4 ，则：在极限的情况下，浮标位置数据偏离基准点的误差将为 r ：

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 = 0.8\sqrt{h^2 - H^2} + H_1 \sin\theta + r_3 + r_4 \quad (3)$$

因此，通过获得GPS定位坐标和航标GPS基准点坐标就可以计算出两点距离，当距离大于 r 时，判决浮标位置漂移，发出位置漂移报警信息。

4 三峡变动回水区航标遥测遥控系统示范应用

在结合三变动回水区航道特点利用无线传感网络模块开发了航标遥测遥控终端后，选取处于长江三峡变动回水区的重庆朝天门航道管理处辖区莲花背控制河段航标构建示范系统，并开发航标遥测遥控系统管理软件验证终端的实用性。

4.1 示范系统建立

长江朝天门航道管理处辖区莲花背控制河段为641~656 km，共15 km航道，辖区位于三峡库区回水变动段，选用设标数为43座，航标间距小于1 km。构建航标遥测遥控示范系统由监控服务器、航标遥测遥控终端、通信子系统等组成如图9所示，其中通信子系统由无线传感网路与CDMA构成。

4.2 系统软件开发与测试

航标遥测遥控系统软件是利用长江电子航道图为基础平台，对航标进行综合管理，提高助航系统维护能力。其系统架构如图10所示，软件系统具体由如下功能模块构成。

1) 通信服务器收发模块。

通信服务器通过TCP/IP送达的信息由该模块接受处理并送往中心处理模块，将中心模块发来的特定消息送往通信服务器。该模块通过对信息类别判断、存盘、分配、发送等处理，将登陆分配、点名分配、停止点名、报警分配、终止报警发向通信服务器；将终端请求登陆、终端请求注销、轮询数据、点名数据、开始报警数据、报警数据、操作结果及出错信息发向通信服务器中心处理模块。



a) 遥测遥控系统终端



b) 服务器与岸基终端

图9 航标遥测遥控系统设备

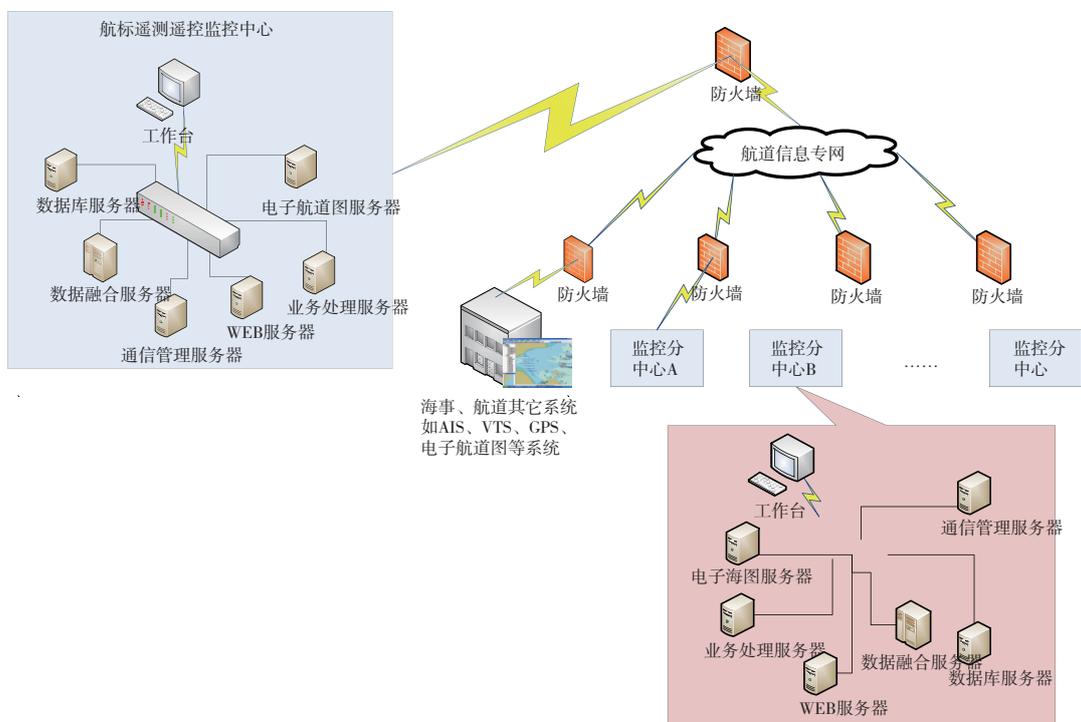


图10 航标遥测遥控系统软件网络架构

2) 航标遥测遥控模块。

负责对航标灯状态（包括电源的电流、电压、灯质等）的遥测与航标灯遥控。

3) 航标碰撞检测模块。

通过对利用GPS及加速度传感器的上传数据进行实时分析，检测航标船是否被碰撞，如果发现碰撞，系统自动报警，同时提供碰撞船舶轨迹回放功能；

4) 历史数据查询模块。

接受监控台的历史状态/数据查询指令后，查询满足指定条件的历史数据和状态。

5) 数据统计功能。

提供航标数据的日/月统计、航标状态的月统计以及航标碰撞和肇事船舶的统计功能。

6) 系统设置模块。

主要完成系统航标静态数据的设置，包括航标初始状态、航标碰撞与漂移报警阈值、通讯模式及参数等的设置。

7) 系统用户管理模块。

3个权限等级，分别为：系统管理员、值班用户、一般用户。一般用户权限：查看实时信息、报警确认处理、查看历史数据信息等。值班用户

除一般用户操作权限外，可遥控开关航标灯等操作。系统管理员负责：设置用户及用户权限、设置报警阈值、设置通信参数、更新电子航道图等，并具备一般用户权限。航标遥测遥控系统的部分功能界面如图11所示。

长江朝天门航道管理处辖区莲花背控制河段航标遥测遥控示范系统经过数月运行测试，可有效监测航标状态，提高航标维护管理信息化水平。



a) 航标监控子系统主界面



b) 碰撞船回放界面

图11 航标遥测遥控系统软件

5 结语

航道是航运的基础，航标是为保证船舶安全、经济和便利航行而设置的最重要的航道辅助设施，高效、科学地维护航标助航系统是提高航道通过能力的重要保证。三峡库区变动回水区航

道航标布设密度大，具有物联网技术应用条件，为此本文探讨了利用无线传感网络通信模块，研制基于物联网技术的航标遥测遥控终端，以长江电子航道图为基础平台开发航标遥测遥控系统软件，构建长江朝天门航道管理处辖区莲花背控制河段航标遥测遥控系统，实现该河段航标状态的实时监测与智能化管理等技术问题。在未来的研究中，将进一步完善航标遥测遥控终端，提高碰撞检测与漂移预警的精度，完善航标遥测遥控终端行业技术标准，推动物联网技术在航道信息化中的应用，促进长江智能航道建设。

参考文献：

- [1] 朱年龙, 周庆, 姚海亮. 内河航标遥测遥控技术应用研究[J]. 中国水运, 2006(8):58-59.
- [2] 吴允平, 蔡声镇. 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): 253-254.
- [3] 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.
- [4] 朱焯. 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.
- [5] 束梅玲, 陆颖, 陆兵. 基于3G的航标自动遥测系统的建设[J]. 计算机系统应用, 2004(11): 14-16.
- [6] Chin E L, Chih C L, An S H, et al. A Real Time Remote Control Architecture using Mobile Communication[C]// Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2002:901-906.
- [7] Ma C D, Pablo C, Luis O, et al. Design of an intelligent waterway ambient infrastructure based on Multiagent Systems and Wireless Sensor Networks[C]//International journal of systems applications, engineering & developments, 2008: 137-146.

(本文编辑 郭雪珍)