

· 信息技术 ·



# 基于长江电子航道图的 嵌入式ECS设计与实现\*

白云, 张东华, 代志强, 李 骏

(武汉中原电子集团应用电子研发中心, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 对基于长江电子航道图(2.0版)的嵌入式ECS进行研究。完成系统的模块划分和功能设计, 探讨关键技术, 在Linux的Eclipse环境下实现了系统软件部分, 并进行实际运行测试。测试结果表明该系统稳定、高效、能够充分展现长江电子航道图公共服务平台所提供的实时数据, 为船舶航行提供安全保障。

**关键词:** 长江电子航道图; ECS; 水深值计算; 可航水深面计算; 桥梁净空高度报警

中图分类号: U 612.26

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)03-0145-06

## Design and realization of embedded ECS based on digital hydrographic chart of the Changjiang River

BAI Yun, ZHANG Dong-hua, DAI Zhi-qiang, LI Tao

(Applied Electronics R & D Center, Wuhan Zhongyuan Electronics Group Co., Ltd., Wuhan 430074, China)

**Abstract:** This article researches the embedded ECS which is based on the digital hydrographic chart of the Changjiang River (version 2.0), completes the system module division and function design, discusses its key technology, realizes the software system under the Eclipse environment of Linux and carries out a practical test. The results indicate that the system is stable, efficient and able to fully demonstrate the real-time data provided by the Changjiang River waterway electronic public services platform and can guarantee the safety of ships during the voyage.

**Key words:** digital hydrographic chart of the Changjiang River; ECS; calculation of depth value; calculation of navigable depth surface; bridge headroom alarm

随着长江航运事业的发展, 船舶数量激增, 船舶密度提高, 因而交通事故频繁发生, 给航行安全和环境造成了巨大的威胁<sup>[1]</sup>。当前我国航海技术、计算机技术不断发展, 国内涌现出大量电子海图系统(ECS)产品, 但这些产品均存在以下问题: 电子航道图更新周期长, 航道、航标信息不能及时有效更新, 不能提供航道通告、信息联播等航道公共信息服务, 无法将本船航行信息提供给监管部门等。

因此, 研发一种基于长江电子航道图的嵌入式ECS系统, 充分结合长江电子航道图公共服务平台(简称公共服务平台)所提供的信息显得尤为

重要。

针对长江电子航道图系统的特点, 在标准ECS功能要求的基础上重新设计并添加新的应用功能, 实现电子航道图在线更新, 在电子航道图上对水深值动态校正, 动态显示可航水深面, 定时上报船位信息等功能, 一方面向船舶用户提供方便、实用的导航与助航功能, 另一方面为相关管理部门提供灵活、实用的管理与监控等功能, 有效提升长江航道服务能力与管理水平<sup>[2]</sup>。

本文研究了系统中涉及的若干关键技术, 对于水运信息化水平的提高、长江电子航道图船载应用系统的推广有着积极的意义。

收稿日期: 2013-05-30

\*基金项目: 国家863计划项目(2012AA112303)。

作者简介: 白云(1977—), 男, 博士, 主要研究方向为嵌入式软件、无线通信等。

## 1 系统功能

### 1.1 海图显示及操作

海图显示功能是嵌入式ECS的基础。本系统采用自主研发的跨平台小型GIS基础平台,具有基本的地图解析及显示功能,包括地图放大、缩小、漫游;电子海图的物标分类显示(基本显示、标准显示、全部显示);不同的场景模式(晨昏、暮影、白昼、黑夜)的显示和切换;物标信息查询及测距等<sup>[3]</sup>。同时针对长江电子航道图,该GIS引擎采用最新的长江电子航道图符号库,支持水深值动态校正,电子航标位置的实时显示,长江电子航道图在线升级等功能。

### 1.2 航行数据显示及上报

本系统支持AIS、电罗经、GPS、APRA雷达、测深仪和计程仪的同时接入,传感器的报文数据是以NMEA(National Marine Electronics Association,国际海洋电子协会)语句的形式出现的,NMEA语句符合IEC 61162-1<sup>[4]</sup>和ITU 1371-4<sup>[5]</sup>协议,分别以明文或暗文的形式传输,通过对传感器报文的高效解析,系统能够实时显示相应的信息,并在电子航道图上标绘。

系统采用SOAP协议与公共服务平台进行通讯,获取并显示公共服务平台发布的信息,包括长江电子航道图地图文件,长江河道信息、水位站信息、雾情站信息、桥梁信息以及长江航道局发布的通知和通告等;同时,系统采用UDP协议定时上报GPS数据信息,包括:船舶唯一标识、时间、经度、纬度、方向、速度等,为相关管理部门提供灵活、实用的管理与监控等功能,有效提升长江航道服务能力与管理水平。

### 1.3 航行监视与报警

1) 航线监视:系统将本船航行信息与计划航线信息进行比较,自动计算下一到达的航线转向点编号、到达下一转向点所需要的时间、估计到达本次行终点的时刻、本船位置与下一转向点的方位角、当前航线段的航向、当前位置到下一转向点的距离、下一航线段航向、偏航距离以及本船航向与当前航线段的偏差等,并在醒目位置突出显示。当系统检测到本船偏离航线时,将自动报警。

2) 航行安全监控:在航行过程中,船舶安全扇面以及固定距标圈范围内出现特殊水域(如受限区域、渔业区、锚泊区等)或危险物(如孤立危险物立标,障碍物、沉船、暗礁等)系统将予以文字提示,发出语音报警,并在电子航道图上突出显示<sup>[6]</sup>。

3) 船舶会遇报警:在船舶航行过程中,系统会在电子航道图上显示本船周围的船舶,并根据它船的航向及航速自动计算与本船的DCPA(Distance of Close Point of Approaching)和TCPA(Time of Close Point of Approaching),当计算结果不满足本船的航行安全参数时,系统会自动报警提醒船员采取一系列应对措施,避免本船与他船发生碰撞事故<sup>[7]</sup>。

4) 桥梁净空高度报警:用户事先设置好预警里程数,当本船在预警范围内发现跨河建筑物时,系统根据最新水位数据,并结合跨河建筑物相关属性数据,计算实际通航高度并判断是否能够安全通过。

### 1.4 航行记录与回放

船舶在航行过程中,系统将一直记录其航行轨迹,默认保存15 d(用户可自定义)。对于违规航行(超越航道分隔线等),将长期保存其违规时间点前后各10 min,即累计20 min的轨迹,其他时间段的轨迹可删除。对于记录的航行轨迹,系统提供轨迹回放功能,并可根据用户需求进行快速播放。为了能够真实准确地反映历史航行的状况,轨迹回放功能支持地图版本回溯,例如:轨迹G是在图A 000下记录的,现在图升级到了001,那么终端上回放的时候,会采用当时的图000。

### 1.5 航道图动态校正

1) 水深值动态校正:根据电子航道图上已有的水深点信息,结合该电子航道图测量时水深点的水位与公共服务平台发布的最新水位的差值,获得某个或多个水深点当前最新的水深值并加以显示;

2) 航标实时校正:用户可设置航标刷新频率,系统将定时向公共服务平台获取当前航标的位置信息和工作状态等,并对电子航道图作相应的修改。

## 2 系统关键技术

### 2.1 水深值计算

长江电子航道图中本身提供水深点信息,但由于长江水位变幅大,且没有规律,使得船舶在航行过程中无法准确获取当前的水深信息,一旦电子航道图所提供的原始水深信息与当前水深值差距过大,会给船舶航行带来潜在的危险。系统根据公共服务平台所提供的各地水位站或测量船采集的水位差值,以一定的校正周期动态修正电子航道图上的水深信息,减小显示水深与实际水深的误差,提高船舶通航安全。

水深值计算步骤如下:

1) 通过公共服务平台所提供的水位站目录信息接口,获取水位站编号、名称、水位站所处位置(上、中、下游)和里程值。该信息不会经常变化,故以文件的形式长期保存在本地,在必要时可手动更新。

2) 获取视野内的图幅信息。当比例尺过小时(如小于1:10 000),此时显示水深点信息是没有意义的,故不予计算水深。通常在需要显示水深点信息的比例尺下,视野范围内的图幅不会超过2幅,首先获取该图幅内的水深点信息、里程标志点信息等。

3) 根据左右两岸同里程的标志点坐标信息,一次性计算当前视野范围内幅图下所有水深点所属的里程值。计算原则是某个水深点距离最近的一条左右两岸同里程标志点的连接线,即是该水深点的里程值。

4) 读取本地水位站目录信息列表,获取某里程位置(假定为P)最近的一个上游水位站(假定为A)和一个下游水位站(B)相关信息。

5) 通过实时水位站信息接口,获取A、B当前水位信息。通过A和B两个水位站里程之间的差值,内插得到P在两个时间点(所属图幅测量时间和最新时间)的水位差值,将该差值叠加到P位置上的水深值上,从而获得该水深点最新的水深值。

### 2.2 可航水深面计算

长江河床不平坦,存在浅滩、暗礁等危险物,对船舶航行造成潜在威胁。系统根据校正后

的水深值信息,自动计算大于用户输入水深阈值的区域,用不同颜色显示该区域并用等深线勾勒其范围,可认为船舶在该区域内航行是安全的。用于输入的水深阈值应结合本船的吃水以及地图显示的水深值与实际的误差来考虑。

计算可航水深面的思路为:首先根据用户设置的水深阈值,筛选出该图幅中水深值大于阈值的所有水深点,计算生成一个多边形,确保该多边形能够包含所有符合条件的水深点;然后筛选出多边形内不符合条件的水深点,将他们以一定的距离进行分组处理(如设置距离为 $k$ ,当两点间距离小于 $k$ 时,认为这两点为一组),将每组点集各自形成一个小多边形;最后将大多边形以内,小多边形以外的区域着色,以透明叠加在海图上的方式显示。

多点计算多边形,通常采用Graham算法<sup>[8]</sup>求得一个覆盖这些点的面积最小的凸多边形。若在长江电子航道图中直接采用该算法,并不能准确的描述点集的面域形态,特别是在弯道处,会产生大量的非法区域。故需要对其算法进行改进,其具体步骤如下:

1) 确定扫描半径 $R$ ;

2) 在所有点中选取 $y$ 坐标最小的一点 $H$ ,当作基点。如果存在多个点的 $y$ 坐标都为最小值,则选取 $x$ 坐标最小的一点。坐标相同的点应排除;

3) 搜索与基点 $H$ 距离小于等于 $R$ 的所有点 $P$ ,按照 $P$ 和基点构成的向量 $\langle H, P \rangle$ 与 $y$ 轴负方向的旋转角进行排序,选择旋转角最小的点 $P_i$ 作为边界点,将其与 $H$ 点相连;

4) 将 $P_i$ 作为基点,重复步骤3)搜索其他的边界点,直到搜索到 $H$ 点为止。

需要强调的是:半径 $R$ 值的选择一定要适当。在实际应用时,可根据平面点集的分布情况,估计 $R$ 的值,再根据实验结果反复修改,最终获得合理值。若 $R$ 值比较小,不能保证所搜过程中其他点与基点的距离小于等于 $R$ ,可能造成无法形成有效多边形或多边形无法包围所有点。若 $R$ 值过大,则可能产生大量的非法区域。

图1为两种算法所得结果的比较。

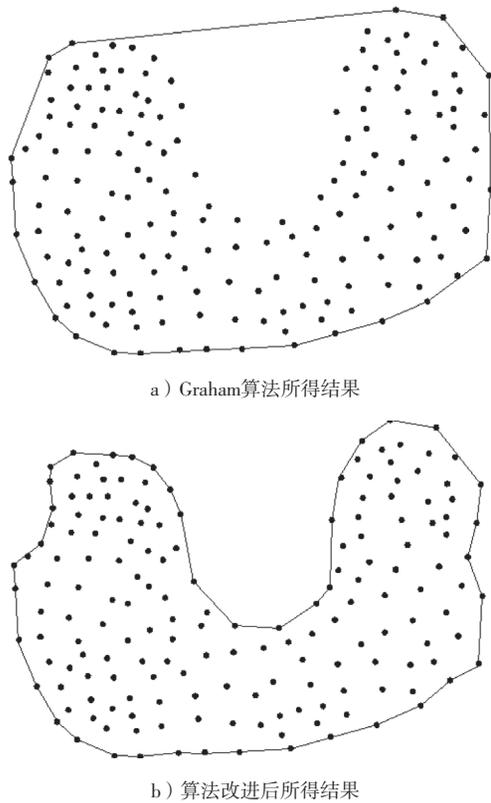


图1 两种算法所得结果的比较

### 2.3 桥梁净空高度报警

长江航道中存在许多跨江建筑物，如桥梁、架空电缆等，当江面水位涨高或船舶载货过高时，容易与跨江建筑物发生碰撞，造成巨大损失。本系统通过公共服务平台获得该桥梁所在位置的水位，根据本船高度和桥梁净空高，判断是否能够通过该桥梁，如果不能通过则报警。

桥梁净空高度报警流程图如图2所示，其主要步骤如下：

1) 通过公共服务平台所提供的相应接口，获取桥梁信息目录和里程点信息映射表。桥梁信息目录包括桥梁名称、河道范围（长江上、中、下游）和里程值。里程点信息映射表包括里程点所属河道范围（长江上、中、下游）、里程值和经纬度坐标。由于该信息不会经常发生变化，故在系统开机运行时就将该信息保存至本地，以避免系统频繁通过网络进行查询，有效提高运行效率。

2) 根据本船的位置信息并结合保存在本地的里程值映射表，利用插值的方式，计算本船的里程值。

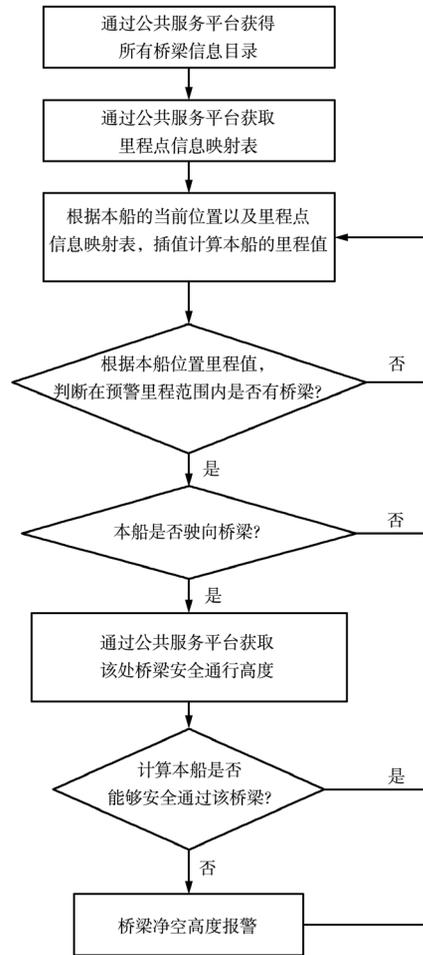


图2 桥梁净空高度报警流程

3) 根据本船里程值以及用户预先设置的预警里程，系统自动在桥梁信息目录中查找预警范围内的桥梁，此时可能存在多个桥梁。

4) 根据本船里程值与桥梁里程值差值的变化，判断本船是否驶向桥梁，若存在多个桥梁，选取离本船最近的桥梁。

5) 利用步骤4) 获取桥梁的河道范围和里程数，通过公共服务平台获取该处桥梁安全通行高度，判断本船是否能够安全通过。其判断公式为：桥梁安全高度 > 船舶总高度 - 吃水，即为安全。其中船舶总高度和吃水为用户预先设定。

### 3 试验与分析

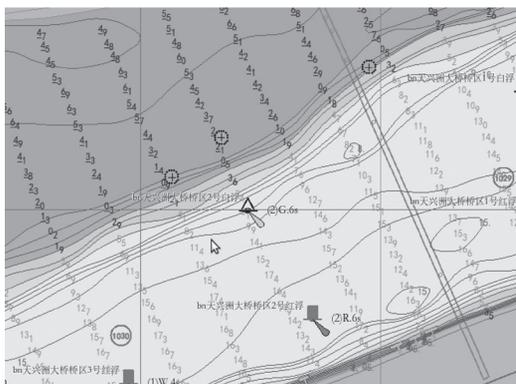
在Linux的Eclipse环境下实现了系统软件部分，并选择在武汉天兴洲大桥附近的河段对系统主要功能进行测试，验证其关键技术的可行性。

1) 水深值动态校正：系统在断网的情况下

开机, 将视野拖动至天兴洲大桥附近, 此时显示的水深值为电子航道图固有的水深值。连接网络后, 等待一段时间 (可自定义水深值校正周期), 系统将自动更新航道图水深值, 如图3所示。



a) 校正前

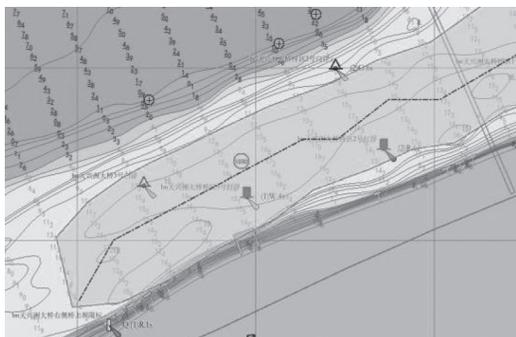


b) 校正后

图3 航道图水深值

在系统设置浅水区等深线为4.0 m的情况下, 对比图4a)和b)可发现, 该区域修正后的水深值比原始值小0.1 m, 于是浅水区面积扩大了。

2) 可航水深面计算: 可航水深面采用透明叠加的方式在电子航道图上显示, 并根据其形状采用虚线绘制中心线 (图4)。



a) 水深阈值为13 m



b) 水深阈值为12 m

图4 可航水深面

对比可发现阈值为13 m时, 可航水深面面积明显小于阈值为12 m时的可航水深面面积, 且中心线也发生了变化。

3) 桥梁净空高报警: 通过公共服务平台获取天兴洲长江大桥安全通行高度为29.4 m, 设置船舶吃水为5 m, 船舶总高度为34 m, 进行模拟航行, 系统不报警; 保持本船吃水不变, 修改船舶高度为35 m时, 再次模拟航行, 系统能够在预警里程范围内进行桥梁净空高报警 (图5)。

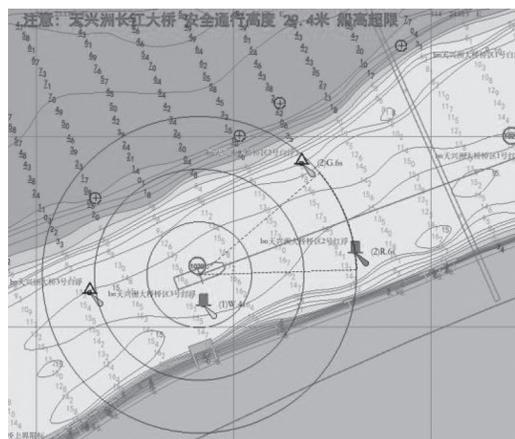


图5 桥梁净空高报警

### 4 结语

基于嵌入式Linux操作系统, 采用自主研发的GIS引擎, 使用嵌入式GUI Qt\_Embedded, 设计并实现了嵌入式电子航道图导航系统的软件部分。系统在满足国内ECS标准的同时, 针对长江电子航道图 (2.0版) 系统的特色, 实现水深值的动态修正, 电子航道图的在线升级, 并以合理的方式充分展现长江电子航道图公共服务平台所提供的数据。

目前本系统已进行实地安装部署, 用户使用结果表明, 本系统具有操作简便、经济实用、功能完善、快速响应、扩展性强、系统稳定的优点。

参考文献:

[1] 何河通, 杨功流, 熊正南, 等. 21世纪初期我国电子海图应用技术展望[J]. 舰船科学技术, 2008(2): 41-45.

[2] 何明究. 长江电子航道图系统的研发与建设[EB/OL]. (2012-08-08)[2013-05-27]. <http://www.cjhdj.com.cn/main.do?method=item&id=43319>.

[3] 许兆新, 方明, 徐婧. 基于国际标准的电子海图显示系统设计[J]. 计算机与数字工程, 2005, 33(9): 93-96.

[4] IEC 61162- ,Maritime navigation and radiocommunication

equipment and systems –Digital interfaces –Part 1: Single talker and multiple listeners[S].

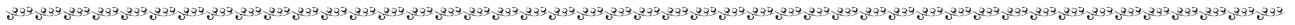
[5] ITU-R M 1371-4 Technical characteristics for a universal shipborne automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile band[S].

[6] 陈磊, 李忠新. 电子海图导航系统的构想与实现[J], 航海技术, 2003(6): 25-27.

[7] 齐英凯, 徐海潮, 初秀民. 基于S57的内河船舶导航系统研究[J]. 航海技术, 2012(3): 37-40.

[8] Graham R. An efficient algorithm for determining the convex hull of a finite point set[J]. Info ProcLett, 1972(1): 132-133.

( 本文编辑 郭雪珍 )



( 上接第124页 )

4) 船模试验表明: 在对下引航道口门区外侧采取开挖整治等措施的前提下, 在枢纽下泄流量 $Q \leq 6\ 740\ m^3/s$ 的各级通航流量情况下, 设计船舶在上引航道口门区进出闸均较顺利, 其最大舵角均未超过船模试验安全舵角限值(  $25^\circ$  ), 上行最小航速均明显优于船模试验最低航速限值(  $0.4\ m/s$  ), 满足安全通航要求<sup>[6]</sup>。上下行相比较, 上行舵角大于下行, 上行难度大于下行。由于二线船闸更靠近岸边, 纵横向流速均相对较小, 其通航条件略优于一线船闸。两个设计方案相比较, 由于设计方案2的一、二线船闸下游进闸航道分开设置, 口门区水域更宽阔, 两线船闸的相互干扰小, 更有利于船舶航行。

参考文献:

[1] 杨文俊, 孙尔雨, 杨伟, 等. 三峡水利枢纽工程非恒定流通航影响研究 I: 上、下引航道[J]. 水力发电学报, 2006(2): 45-49.

[2] 叶海桃. 船闸引航道口门区流态的模型研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.

[3] 李珊. 双线船闸共用下引航道的水流特性研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2012.

[4] 李发政, 孙家斌. 三峡船闸下游引航道通航条件研究[J]. 长江科学院院报, 1999(5): 13-16.

[5] 胡旭跃, 李彪, 徐立君. 水利枢纽通航水流条件研究综述[J]. 水利工程, 2005(11): 65-70.

( 本文编辑 武亚庆 )



( 上接第129页 )

鉴于该整治措施仍存在枯水期码头前沿水深不足的问题, 建议将码头前沿河底高程开挖到设计水位以下1.7 m, 以满足枯水期码头前沿的航深要求。

参考文献:

[1] 重庆交通大学. 什川吊桥滩河段水流泥沙物理模型试验研究报告[R]. 重庆: 重庆交通大学, 2012.

[2] JTJ/T 232—1998 内河航道与港口水流泥沙模拟技术规范[S].

[3] JTJ 312—1998 航道整治工程技术规范[S].

[4] 交通部水运规划设计院. 滩险整治实例汇编[M]. 北京: 交通部水运规划设计院, 1991.

[5] 吴宋仁, 陈永宽. 港口及航道工程模型试验[M]. 北京: 人民交通出版社, 1993.

[6] 黄伦超, 许光祥. 水工与河工模型试验[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2008.

[7] 王平义, 程昌华, 荣学文, 等. 航道整治建筑物水毁理论及模拟技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

( 本文编辑 郭雪珍 )