



长江电子航道图可航水域动态计算模型研究^{*}

杨保岑, 吴 溪, 李伟凡, 贺 敏
(长江航道测量中心, 湖北 武汉 430010)

摘要: 基于长江电子航道图系统, 研究可航水域动态计算的数学模型及算法, 使其能够根据用户指定的船舶吃水需求, 结合实时或预测水位, 计算并更新可航水深范围, 以辅助船舶驾驶员确定可航水域并选择合理航线。该研究的关键在于, 如何基于航道水深数据特征选取合适的水深数据动态插值算法、TIN 模型生成算法、等深线追踪算法、等深线光滑算法等。最后, 依托 ArcGIS 的二次开发功能和空间分析工具, 完成电子航道图可航水域动态计算工具集的研制。

关键词: 长江电子航道图; 可航水域; TIN 模型

中图分类号: U 612. 26 文献标志码: A 文章编号: 1002-4972(2016)01-0083-06

Dynamic calculation model of navigable area in Changjiang electronic navigation chart

YANG Bao-cen, WU Xi, LI Wei-fan, HE Min
(Changjiang Waterway Survey Center, Wuhan 430010, China)

Abstract: With the aid of CJENC system, we explore the dynamic calculation mathematical models and algorithms of the navigable waters, by which, we can calculate and update the navigable water scope and its dynamic centerline according to the user's specific demand on the water depth and combining with the real-time or predictive water levels, so as to assist the ship's pilotsto to confirm the navigable waters and select reasonable routes. The key points of the study are the selections of appropriate dynamic interpolation algorithm of depth data, TIN model generation algorithm, depth contour tracking algorithm, depth contour smoothing algorithm, etc. With the secondary development functions and various spatial analysis tools of ArcGIS, we finally implement the dynamic calculation toolset of navigable waters in CJENC.

Keywords: electronic navigational chart; navigable water; TIN model

为充分发挥长江黄金水道作用, 长江航道局明确提出加快长江航道现代化建设、实现“两个率先”的发展思路, 着力加强“数字航道”建设。长江电子航道图作为“数字航道”建设的核心内容, 起着数据基础和系统支撑的关键作用^[1]。

长江航道水位变幅大, 航标异动频繁, 航道演变剧烈, 航槽变化快, 山区、库区、卵石、砂质、潮汐河流等各种河段特征不同, 航道条件非常复杂。并且, 随着长江航运的发展, 船舶交通流不断增加, 如在长江江苏段就出现了日交通流

4 000艘次的情况, 即断面每 20 s 通过 1 艘船舶, 交通环境极为复杂。同时, 由于长江航道的分段水深差异较大, 又受季节影响, 水深条件各不相同, 而船舶航线多为跨越区段甚至全线航行, 船舶的装货配载受航程内水深与航宽情况影响。这些航道、交通环境及水深条件等因素将不同程度地直接影响着船舶航行安全和效益。因此, 本文基于长江电子航道图研究可航水域动态计算的数学模型及算法, 使得电子航道图系统能够根据用户指定的船舶吃水需求, 结合

收稿日期: 2015-10-30

^{*}基金项目: 交通运输部 2013 年信息化重大专项 (2013-364-548-200)

作者简介: 杨保岑 (1981—), 男, 高级工程师, 从事长江电子航道图、数字航道等方面的技术研究工作。

实时或预测水位, 计算并更新可航水深范围, 以辅助船舶驾驶员确定可航水域并选择合理航线, 保障安全, 节约成本, 达到“深水深用、浅水浅用”的目标。

1 需求分析

可航水域随水位而变化, 高水位时可以通航的水域在低水位时则可能不能通航, 而低水位时不能通航的地方在高水位时则可能成为可以通航的水域。因此, 应对航道作动态的理解, 即航道范围、位置是随河床演变或水位变化而变化的, 航道尺度也可以随季节与水位变化以及航道整治工程的实施而有所调整^[2]。长期以来, 计划航线的获取都是根据任务需求, 在纸质或电子航道图上, 依靠个人经验而手工拟定的。这种方法作业效率低, 不能展示航道内水深差异, 无法满足不同吃水船舶对水深的需求, 结果依赖于作业人员的经验、熟练程度及工作态度, 难以适应现代航运对航线设计快速、经济、可靠的要求^[3]。

通过可航水域动态计算, 能够在电子航道图上实时展现大于某一深度的水域, 并通过水深等值线反映水下地形的情况, 电子航道图可航水域实际上就是水深等值线在电子航道图中的典型应用^[4]。本研究需要根据沿江有限的水位站数据和电子航道图上的水深信息, 动态计算各水深点的实时水深, 根据动态水深数据, 研究如何快速生成可航水域的等深线, 最终根据不同船舶吃水需求, 动态构建船舶可航水域。

2 系统设计

2.1 模型设计

可航水域动态计算模型的总体设计主要包括从电子航道图数据库中提取水深点、动态水深计算、TIN 模型建立、等深线光滑、空间分析生成可航水域等; 软件算法上包括线性插值、不规则三角网、等深线追踪和光滑等; 使用到的地理空间分析软件工具包括栅格矢量转换、栅格计算器、裁剪、擦除、缓冲区、制图综合等 (图 1)。

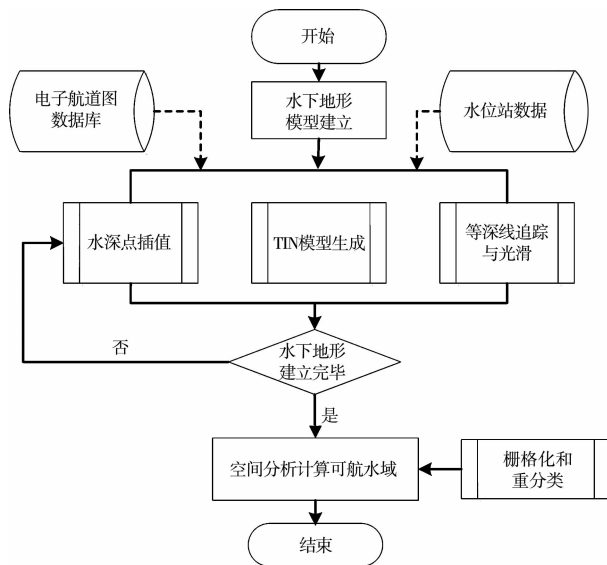


图 1 可航水域动态计算模型总体设计

2.2 基础算法设计

2.2.1 水深点线性插值算法

水深点线性插值算法用来计算单个水深点的动态水深, 首先根据水深点所处的里程获取上游和下游最近的水位站, 这 2 个水位站的高程基准面要与水深点的高程基准面代码一致。根据水位站的布置情况, 假设水位站与水深点是在同一直线上 (图 2)。

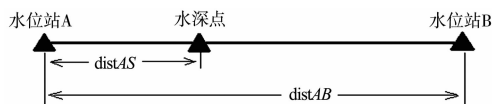


图 2 水深点线性插值示意

假设水位站 A 的水位数据是 SA , 水位站 B 的水位数据是 SB , 则根据线性插值原理, 水深点所处位置的水位数据 SW 可由下式计算:

$$SW = SA - (SA - SB) \times \text{distAS} / \text{distAB} \quad (1)$$

通过线性插值得到该点处的水位数据后, 可根据其水深值计算得到该点的动态水深。

2.2.2 TIN 生成算法

不规则三角网 (TIN, triangulated irregular network) 的生成要遵循一定的三角形生成准则, 这些法则决定着三角形的几何形状和三角网模拟地形的质量。狄洛尼 (Delaunay) 三角网在地形拟合方面表现最为出色, 因此常常被用于 TIN 的生成。通

过 ArcGIS 提供的 Create TIN 工具使用该算法将计算好的动态水深点转换成 Delaunay 准则下的 TIN。

2.2.3 等深线光滑算法

使用等深线光滑算法对 TIN 基础上追踪得到的等深线进行平滑处理。该算法是通过 ArcGIS 的 Smooth Polygon 工具实现的,算法名称是 PAEK (polynomial approximation with exponential kernel)。该算法的实质是指定张力系数的样条函数法,通过选择适当的张力系数以改变曲线的松紧度和消除多余的拐点,使地图上曲线光滑化。

3 系统实现

3.1 软件开发基础平台

长江电子航道图可航水域动态计算模型是在电子航道图的基础上,采用 ArcGIS 软件进行的二次开发。ArcGIS 具有强大的地图制作、空间数据管理、空间分析、空间信息整合、空间信息发布与共享的能力。为了使可航水域动态计算模型能在未来工作中得到最大程度的复用,将整个计算模型按照组件化的模式拆分成若干耦合性较小的模块,通过模块之间参数的输入和结果输出,串联成完整的算法模型。

3.2 软件开发设计

3.2.1 水深数据读取

水深数据读取功能首先从电子航道图数据库中获取最新的图幅数据,然后从中提取水深点数据插入到新的要素表中,提取出的水深点几何类型是 Point 类型,包含图幅名称、高程基准面、水深值等信息。

3.2.2 水深动态计算

由于电子航道图中的水深数据是基于航行基准面改化后的图载水深,不能代表当前时段的水深。因此需要根据长江沿线水位站发布的最新实测与未来 7 d 的预测水位信息,基于深度基准面,利用水深点线性插值算法,对水深值进行动态修正,计算每个点的实测与未来 7 d 的预测水深信息,称之为计算水深。

3.2.3 TIN 模型生成与栅格化

用计算水深点进行 TIN 模型生成与栅格化,然后提取 0.1 m 的间隔进行重分类。

3.2.3.1 TIN 模型生成

1) 生成 TIN: 分别用上游、中下游的图幅范围对计算水深做一次剪切计算,得到上游或者中下游的计算水深点,然后通过 TIN 生成算法把水深点转换成三角网,三角网的 Z 值根据需要可以选择当天的计算水深或未来 7 d 中某一天的计算水深(图 3)。

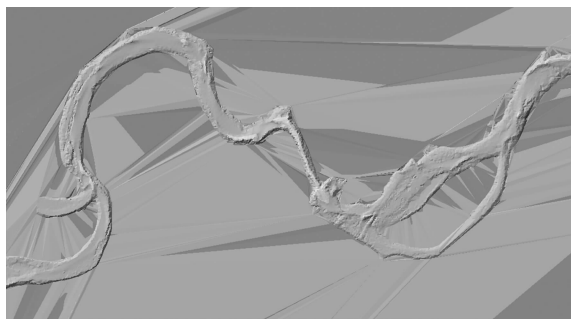


图3 TIN 模型生成结果

2) 删除冗余三角边: 由于长江是条带状的,所以构建出来的三角网会有很多数据冗余,需要进一步处理。其方法就是通过 ArcGIS 的 Delineate TIN Data Area 工具对三角网的轮廓进行细化,细化的规则是设置三角形边长的最大值。细化后可以得到航道 TIN 模型的清晰骨架(图 4)。



图4 TIN 模型冗余处理结果

3.2.3.2 栅格化和重分类

1) TIN 转栅格: 利用 ArcGIS 的三角网线性插值工具将细化后的三角网转成栅格。

2) 栅格重分类: 以上步骤生成的栅格,单元格的值是浮点型,数据量也非常大,仅上游的计

算水深点转成的栅格数据达 2 GB。为了对栅格进行简化,并提升后续计算的性能,需要对栅格进行重分类,分类的规则根据可航水深计算的需求,上游从 2.5 ~ 7 m,以 0.1 m 为间隔设置(表 1)。

表 1 TIN 模型栅格化重分类

旧值	新值
-999 ~ 2.5	0
2.5 ~ 2.6	25
2.6 ~ 2.7	26
2.7 ~ 2.8	27
2.9 ~ 3.0	29
3.0 ~ 3.1	30
3.1 ~ 3.2	31
3.2 ~ 3.3	32
6.5 ~ 6.6	65
6.6 ~ 6.7	66
6.7 ~ 6.8	67
6.8 ~ 6.9	68
6.9 ~ 7.0	69
7.0 ~ 999	70

重分类以后的栅格,单元格是整型,数据量也极大地压缩了,上游水深点数据由原来的 2 GB 减少为 4.5 M 左右。

3.2.4 可航水域生成

1) 栅格数据二值化:对重分类的栅格进行一次栅格计算,根据输入的水深值,对于栅格值大于等于该水深点的栅格值设置为 1,其他的栅格值设置为 0。

2) 栅格转多边形:利用 ArcGIS 的 Raster to Polygon 工具将二值化后的栅格转换成多边形,栅格值 Value 将保存到多边形的 grid_code 字段里。假设可航水深设置为 n 米,则转换完以后就得到了矢量多边形数据的 grid_code 等于 1 的范围为大于等于 n 米的区域,grid_code 等于 0 的为小于 n 米的区域。

3) 多边形筛选与投影定义:从生成的多边形中选择 grid_code 等于 1 的多边形,这就是该深度下的可航水域(图 5)。

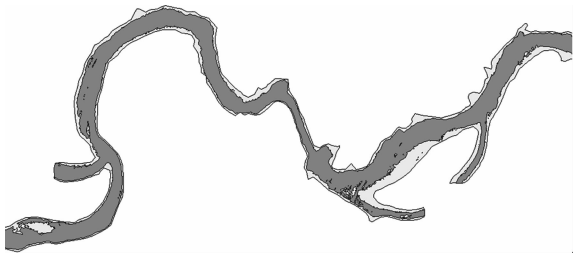


图 5 栅格转多边形结果图

4) 多边形平滑:栅格转成的多边形边界是锯齿状的,需要采用等深线平滑算法对其边界进行平滑处理。处理前后的边界如图 6 所示。



a) 处理前



b) 处理后

图 6 可航区域平滑处理前后的边界

5) 河道边界切割:经过以上步骤计算出的多边形可能会与岸线重叠,需要用河道面对多边形做一次剪切计算,确保生成的水深多边形都在河道面内部。

6) 输出结果:用可航水深面切割加密后的宽度垂线,得到可航水深的宽度垂线,用于计算可航宽度。将所有数据存储在服务器,并以接口形式对外提供服务。外部应用通过调用接口,即可实现复杂的计算功能,有利于电子航道图的广泛应用。

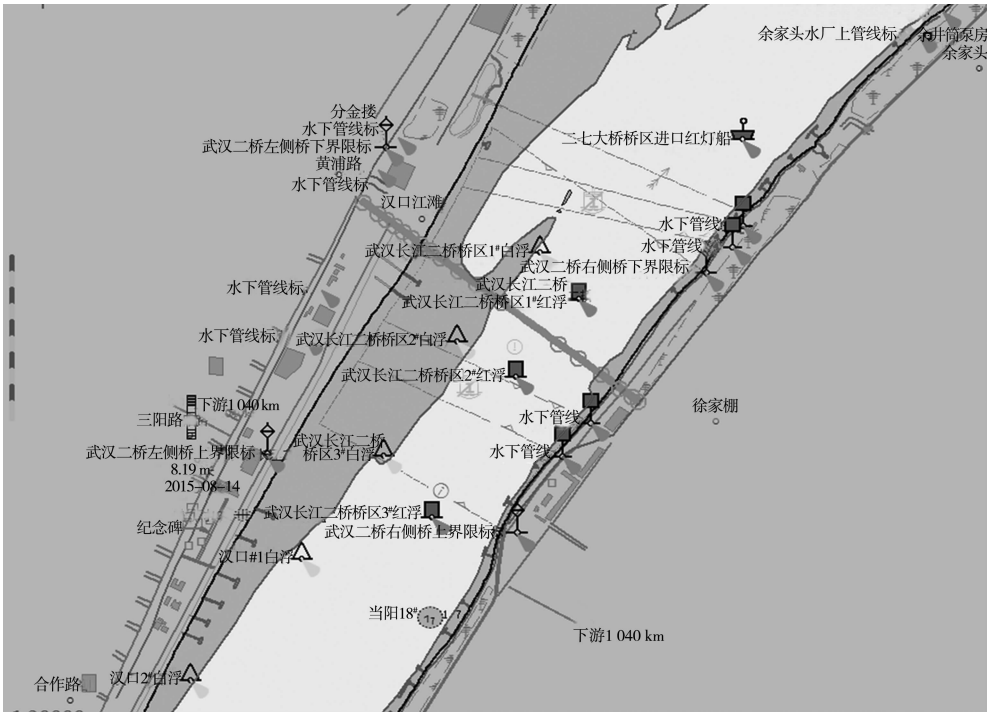
4 效果与效益

通过电子航道图系统终端的可航水域动态计算功能, 可以显示航道实际水深, 其图示展现的

河床地貌深浅趋势界定等清晰明了。图 7 展示的浅色标志区域分别为电子航道图终端显示的可航水深设置为 5 m 及 13 m 时的可航水域范围。



a) 可航水深5 m



b) 可航水深13 m

图 7 船舶可航水域范围

可航水域动态计算功能能使船舶在运输生产上提高适当的载量。以目前长江散货运输 2 种主要代表船型为例：“新长江 25001”型，载质量 5 100 t，满载吃水 5.2 m，半载以上水尺每 10 cm 水尺载质量约 130 t；“新长江 06001”型，载质量 7 019 t，满载吃水 4.65 m，半载以上水尺每 10 cm 水尺载质量约 190 t。这两类船型，在留足船舶航行所需的富裕水深后，在电子航道图上可分别选取 5.5 m 和 5.0 m 的可航水深航路，经济效益能够明显提升。

5 结语

1) 基于长江干线航道沿线水位数据，利用水深数据插值、航道地形不规则三角网构建技术，动态计算电子航道图中图载水深的实时水深值，并快速生成可航水域的等深线，构建了长江电子航道图可航水域动态计算模型。

4 总结

基于 WebService 的长江电子航道图应用服务体系的构建和实践为航道管理部门从“职能型”向“服务型”转变奠定了坚实的信息化基础和信心。

1) 面向服务的技术架构，通过智能化手段解放了对人力资源的束缚。

2) 服务端研发了一系列维护各类助航数据的信息管理系统和程序，丰富了对内对外航道信息服务的内容。

3) 前端应用结合 WebService 发布的数据资源和业务能力，深度融合发挥航道管理部门所建设、生产、搜集的数据资源，构成了完整的电子航道图应用服务体系。

未来，长江电子航道图应用服务体系可以在数据资源、计算资源、应用领域拓展更多的发挥空间。通过 Web 服务，所有管理机构、社会企业都可以将各自的数据资源、业务模型、科研模型打包成服务，接入到长江电子航道图应用服务体

2) 结合实测水位和未来 7 d 预测水位，基于长江电子航道图可航水域动态计算模型开发了电子航道图应用系统，该系统可通过水深等值线反映当前及未来 7 d 的水下地形的情况，使用户及有关管理部门能够掌握长江航道水深变化情况，为船舶配载与航道维护管理提供辅助决策服务。

参考文献：

[1] 石昕, 杨保岑, 彭文, 等. 长江电子航道图系统建设方案设计[J]. 水运工程, 2012(4): 196-199.

[2] 周立. 长江干线(宜昌至南京)深水航道资源利用研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.

[3] 王义涛. 一种基于海图水深的碍航区自动提取方法[J]. 海洋技术, 2010, 16(3): 69-72.

[4] Lavie T, Oron-Gilad T. Perceptions of electronic navigation displays[J]. Behaviour & Information Technology, 2012, 32(8): 800-823.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第 82 页)

系中进行共享，这样各软硬件厂商不必重复劳动，将研发资源投入到应用创新、体验升级。跨行业、跨部门、跨区域的综合应用和数据共享，能够使广大用户更直接、更便捷、更高效地使用电子航道图服务。

参考文献：

[1] 邓乾焕. 长江电子航道图研发应用与展望[J]. 中国水运, 2012(10): 40-41.

[2] 何明宪. 长江电子航道图系统的研发与建设[EB/OL]. (2012-08-08) [2015-10-10]. http://www.cjhdj.com.cn/inland/channel_tech/201401/t20140103_48459.htm.

[3] 张国平. 加快推进长江电子航道图建设[J]. 中国水运, 2010(4): 34-35.

[4] 常乐, 彰晖, 陈宏盛. WebGIS 应用系统设计[J]. 计算机工程, 2001, 27(4): 51-53.

[5] 李伟凡, 彭文, 李赫, 等. 基于 B/S 架构航标信息管理系统的设计与开发[J]. 中国水运, 2013(2): 80-84.

(本文编辑 郭雪珍)