

计划航线的自动审查

李启华*, 何立居

(1. 海军兵种指挥学院, 广州 510430; 2. 广州航海高等专科学校, 广州 510300)

摘 要:计划航线审查是一项重要且技术要求高的工作, 由于电子海图的出现, 使自动审批计划航线成为可能。文章论述了计划航线自动审查的原理、相关数学模型及实现的方法过程。

关键词:计划航线; 电子海图; 自动审批; 数字高程模型

中图分类号:U675.83 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8724(2007)增刊-0090-05

一、引 言

计划航线是军舰航行的依据, 对航行安全具有重要影响。军舰出航前, 其航行计划必须由作战部门进行审批。审批航行计划必须考虑任务要求、海区的航行和安全条件、军舰的导航手段等因素, 因此审批人员必须要有较高的航海技能和非常严谨的工作态度。目前各单位的作战值班参谋人员, 往往是来源于不同的工作岗位, 有些人对航海技术并非精通, 在审批在计划航线时, 就很难做到准确。即使是航海专业出生, 由于审批涉及内容较多, 也很容易因疏忽造成考虑不周, 导致航行不安全的发生。

随着航海自动化及计算机技术的不断发展, 电子海图在航海中的应用, 计划航线的自动审批已成为可能。实现计划航线的自动审批, 可以大大减轻审批人员的工作量, 降低对审批人员的专业水平要求, 提高审批的准确性。本文在电子海图的基础上, 对计划航线的自动审批进行研究。

二、计划航线自动审批的原理

1. 计划航线自动审批的基本原理

舰船在海上航行的可能区域, 可表示为一个以计划航线为中轴向左右外扩一定距离的带状区域, 如图1。当舰船按航路点 WP_1 、 WP_2 、 WP_3 所组成的计划航线航行时, 实际上将可能航行在由 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 、 P_5 、 P_6 所组成的多边形区域内。外扩

区域的大小应根据舰船尺寸、航速、旋回、惯性等特性, 及定位手段、海区定位条件、风流资料准确性等确定。

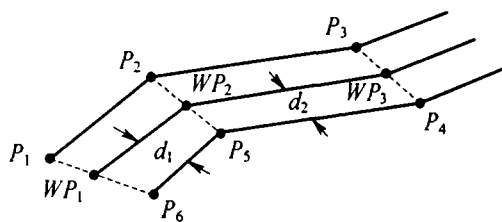


图1 航行带

计划航线自动审批的基本原理就是检查航行带内的水深是否大于安全水深, 是否存在碍航信息。碍航信息主要包括: 电子海图图库中岛岸、礁石、浅滩、沉船、渔网渔栅、疑存雷区、未爆炸弹等海图信息; 台风、寒潮等恶劣天气影响范围的气象信息; 潜艇训练区、敌方布设的雷区以及敌方的岸导、岸炮打击区和观通站探测区等军事信息。如果在航行带内所有点水深大于安全水深, 不存在碍航信息, 那么计划航线是可行的; 否则, 就存在产生危险的可能, 也就是说所报批的计划航线是不可行的。

2. 计划航线自动审批的基本流程

计划航线自动审批的流程如图2。由舰船参数、计划航线、海图等信息, 计算出舰船的航行带, 由海图、气象、军事等信息, 得出碍航区域, 首先判断两区域是否相交, 若相交则计划航线不可行, 若不相交, 继续判断航线附近小于安全水深的浅水区是否与航行带相交, 若不相交则计划可行, 否则不可行。

* 收稿日期: 2007-06-22

作者简介: 李启华(1956-), 男, 江苏南通人, 教授, 主要从事交通信息工程及控制研究。

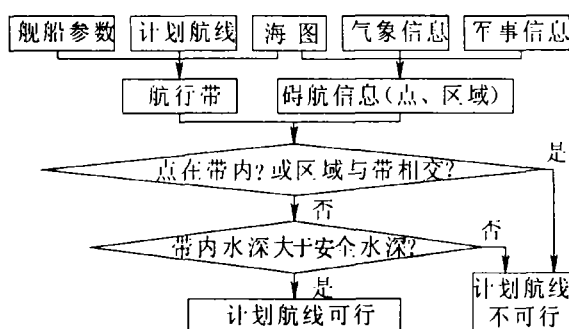


图2 计划航线自动审批流程图

三、计划航线自动审批相关模型

1. 航行带宽度

由审批原理和过程可以看到,航行带是自动审批中的重要因素,航行带的宽度是指从计划航线向外展宽的大小,应根据定位误差和推算误差的横向误差来确定。

定位误差由航行采用的定位方法决定,每一种定位方法都有一个与之对应的均方差,精度越高,均方差越小,则航行带的宽度越小。

推算误差的横向误差主要由航向误差造成。引起航向误差的因素较多,如罗经误差、操舵误差、风流误差等。误差大小与推算时间成正比。

确定航行带宽度时,对各种误差的影响,应根据误差传播的特点计算总的均方差,取3倍的均方差作为航行带宽度是比较安全可靠的,此时船舶越过航行带的可能性仅为3‰。根据实用情况,通常用GPS导航时,航行带宽度3链即可;用陆标定位,磁罗经导航,航行带宽度至少5链。具体还应根据当时的海况、航海人员的技术水平等确定。

对于特殊的航段,如航门水道,航行时基本是直接看周边物标的相对位置操纵,航行带宽度只要考虑航道大于几倍船宽,具体量值应根据航道的水流情况、导航条件而定。

2. 多曲面拟合内插法数字高程模型(DEM)

电子海图中显示的所有信息都是从纸质海图中数字化得来的,而纸质海图中仅有一些离散的水深数据。计划航线自动审批中必须知道电子海图中任意比例尺下任意点的水深数据。因此,应将离散的水深点数据,借助于某种算法,来计算任意点的水深。

多曲面拟合内插法数字高程模型(DEM)可以用来对离散点的高程数据进行多曲面拟合,得出任意

点的高程数据。把水深作为负高程,即可用DEM来对水深曲面拟合,得出任意点的水深数据。DEM的基本原理是:任何一个圆滑的数学表面总是可以用一系列有规则的数学表面的总和以任意的精度进行逼近。也就是一个数学表面上某点 (X, Y) 处高程 Z 的表达式为

$$Z = f(X, Y) = \sum_{j=1}^n a_j q(X, Y, X_j, Y_j) \\ = a_1 q(X, Y, X_1, Y_1) + a_2 q(X, Y, X_2, Y_2) + \dots + a_n q(X, Y, X_n, Y_n) \quad (1)$$

其中: $q(X, Y, X_j, Y_j)$ 称为核函数(Kernel),即拟合所用的曲面函数;点 (X_j, Y_j) 称为核函数的中心点; a_j 为待定系数。

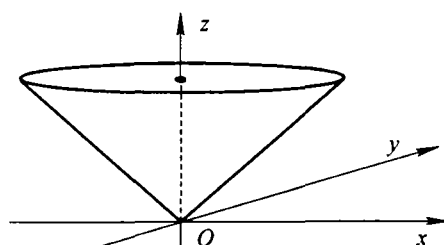


图3 对称圆锥面二次曲面

核函数可以任意选取,如二次曲面、三次曲面等。为了计算方便,同时又能保证在计算数据点处坡度的连续性,可采用对称圆锥面二次曲面函数,如图3所示。即核函数为

$$q(X, Y, X_j, Y_j) = \sqrt{(X - X_j)^2 + (Y - Y_j)^2} \quad (2)$$

若有 m 个水深点 (X_i, Y_i, Z_i) ($i = 1, 2, \dots, m$),可任选其中 n ($m \geq n$)个水深点为核函数的中心点 $P_j(X_j, Y_j)$,令

$$q_{ij} = q(X_i, Y_i, X_j, Y_j)$$

根据式(1),各水深点应满足

$$Z_i = \sum_{j=1}^n a_j q_{ij}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

由此可列出误差方程:

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{m1} & q_{m2} & \dots & q_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \dots \\ Z_m \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中, v_i ($i = 1, 2, \dots, m$)为各水深点的拟合误差,即

$$V = QA - Z \quad (5)$$

令各水深点的拟合误差 $v_i = 0 (i = 1, 2, \dots, m)$, 即

$V = 0$ 。故式(5)可化为

$$QA - Z = 0 \quad (6)$$

即

$$QA = Z \quad (7)$$

由于 Q 为 $m \times n$ 阶矩阵, 故 Q 不存在逆矩阵, 因此可先将式(7)化为

$$Q^T QA = Q^T Z \quad (8)$$

其中, Q^T 为矩阵 Q 的转置。

在式(8)中, $Q^T Q$ 为 $n \times n$ 阶方阵, 其逆矩阵为 $(Q^T Q)^{-1}$, 故式(4~8)可化为

$$(Q^T Q)^{-1} Q^T QA = (Q^T Q)^{-1} Q^T Z \quad (9)$$

而 $(Q^T Q)^{-1} Q^T Q = I_{n \times n}$ 。其中

$$I_{n \times n} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n}$$

故式(9)可化为

$$A = (Q^T Q)^{-1} Q^T Z \quad (10)$$

由式(1)可得, 任意一个水深点 $P_k(X_k, Y_k)$ 位置上的水深值 Z_k 为

$$Z_k = \sum_{j=1}^n a_j q_{kj} \quad (11)$$

其中, $q_{kj} = q(X_k, Y_k, X_j, Y_j)$, 即

$$Z_k = Q_k^T A \quad (12)$$

其中, $Q_k^T = [q_{k1}, q_{k2}, \dots, q_{kn}]$ 。将式(10)代入式(12)可得

$$Z_k = Q_k^T (Q^T Q)^{-1} Q^T Z \quad (13)$$

若将全部水深点取为核函数的中心点, 即 $m = n$, 则

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ q_{n1} & q_{n2} & \cdots & q_{nn} \end{bmatrix}$$

此时 Q 和 Q^T 均为 $n \times n$ 阶方阵, 其逆矩阵分别为 Q^{-1} 和 $(Q^T)^{-1}$ 。

由矩阵运算法则可将式(13)化为

$$Z_k = Q_k^T Q^{-1} (Q^T)^{-1} Q^T Z \quad (14)$$

而 $(Q^T)^{-1} Q^T = I_{n \times n}$ 。故式(14)可化为

$$Z_k = Q_k^T Q^{-1} Z \quad (15)$$

展开得

— 92 —

$$Z_k = [q_{k1}, q_{k2}, \dots, q_{kn}]$$

$$\begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ q_{n1} & q_{n2} & \cdots & q_{nn} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \cdots \\ Z_n \end{bmatrix} \quad (16)$$

即为任意水深点 $P_k(X_k, Y_k)$ 位置上的水深值。

在计算任意地理坐标位置水深点数据时, 应选取计算点附近的已知水深点数据, 而且要求这些水深点数据相对均匀地分布在计算点的各个方向, 如果单一的取某一个方向上的水深点数据, DEM 拟合出来的海底曲面方程将与实际的高程情况存在一定的偏差, 可能导致计算出的水深值误差较大。

在具体的 DEM 拟合算法中, m 值取得越大, 即矢量海图图库中已知水深点数据取得越多, 所拟合出来的海底曲面方程就越精确, 但是算法中的矩阵运算量也就越大, 计算机的运算时间也就越长。为了同时满足精度要求和计算速度, 通常可取 20~30 个已知水深点数据进行拟合。图 4 表示的是某海区图载水深点(共 20 个点)的水深值及分布情况, 使用 DEM 对该海区的海底曲面进行拟合, 得到的海底曲面形状见图 5, 其相应的等深图见图 6。

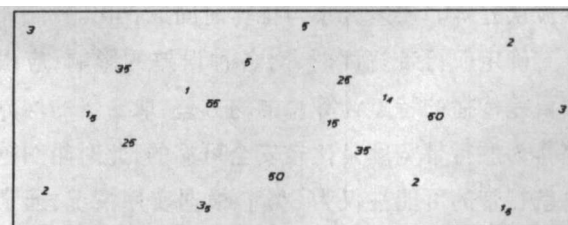


图 4



图 5



图 6

3. 交点计数检测法

检测一个碍航点是否在航行带内, 需用交点计数检测法。交点计数检测法具体的算法是, 先从检测点水平向右作一条射线至无穷远, 如检测点坐标

为 (x_0, y_0) ,则射线方程可表示为

$$\begin{cases} x = x_0 + u \\ y = y_0 \end{cases} \quad (17)$$

其中 $u \in [0, \infty]$, 然后求该射线与多边形各边的交点个数, 若交点个数为奇数, 则点在多边形内, 若交点个数为偶数, 则点在多边形外。如图 7(a) 所示, 射线 a 、 c 分别与多边形有两个和四个交点, 其交点个数为偶数, 故点 A 、 C 在多边形外; 而射线 b 、 d 分别与多边形有三个和一个交点, 其交点个数为奇数, 故点 B 、 D 在多边形内。

当射线穿过多边形顶点时, 必须特殊对待。如图 7(b) 所示, 射线 f 过多边形顶点, 即与边 6 和边 7 各有一个交点, 若将交点个数计为 2, 则会错误地认为点 F 在多边形外。但是, 若规定射线过多边形顶点时, 将交点个数计为 1, 则又会错误地认为点 E 在多边形内。正确的方法是, 若共享顶点的两边在射线的同一侧, 则交点个数计为 2, 否则计为 1。具体可判断两条边的另一个端点的 y 值与 y_0 的大小关系, 如果两个 y 值都大于或小于 y_0 , 则两条边在射线的同一侧, 反之则两条边不在射线的同一侧。在如图 7(b) 中, 射线 g 在边 4 和边 5 的同一侧, 交点个数计为 2, 同时又在边 2 和边 3 的两侧, 交点个数计为 1, 故其交点个数共有 3 个, 为奇数, 从而判断点 G 在多边形内。

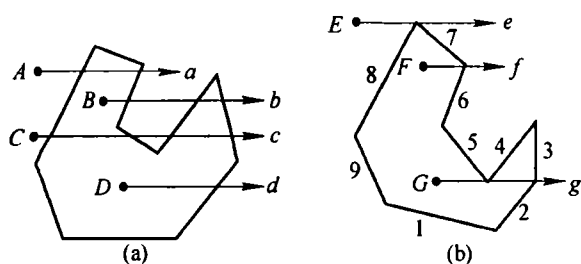


图 7 交点计数检测算法

四、计划航线自动审批的实现

1. 航行带内危险信息的判断

航行带内危险信息的判断, 可以分为点状危险信息判断和面状碍航区域判断。

(1) 点状危险信息检测判断

点状危险信息主要指礁石、沉船、未爆炸弹等。检测判断目的是检查这些危险物是否在航行带内, 原理就是交点计数检测法。Windows 系统提供了做该项工作的 API 函数 $PtInRegion()$, 可以直接调

用。具体判断流程如图 8 所示。根据电子海图提供的航行海区点状为危险信息, 和由航行计划、定位方法、海区条件确定的航行带, 对每一个点状危险信息, 逐一调用 $PtInRegion()$ 函数, 判断是否在航行带内, 如有一个在航行带内, 则计划不可行。

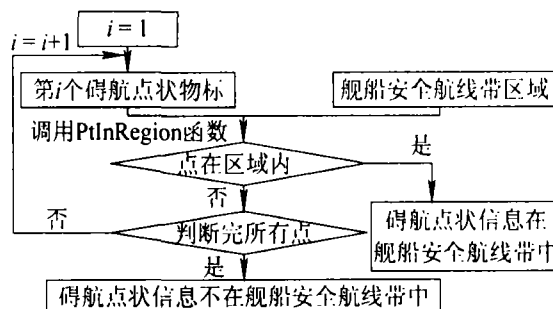


图 8 点状危险信息的判断

(2) 碍航区的检测判断

碍航区是指岛岸、浅滩、渔网渔栅区、雷区, 台风、寒潮等恶劣天气影响区域, 潜艇训练区, 敌方岸导、岸炮打击区和观通站探测区等。碍航区的检测判断, 就是看这些区域是否与航行带相交, 如有一个相交, 则计划不可行。

检查判断两个区域是否相交, 可调用 Windows 的 API 函数 $CombineRgn()$ 。碍航区检测判断的流程见图 9 所示。根据碍航区数量, 逐一调用 $CombineRgn()$ 函数, 判断是否与航行带产生相交的新区。

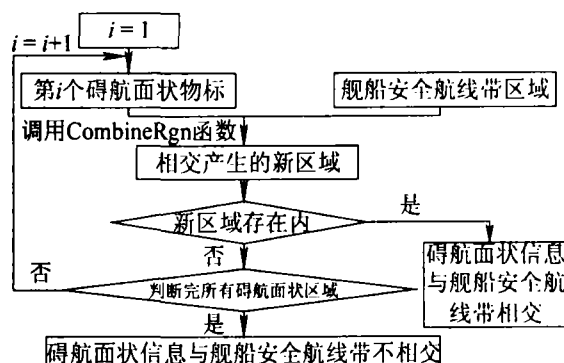


图 9 碍航区的检测判断

2. 航行带内水深检测判断

航行带是一个连续的区域, 不能对其中的每一个点都求出水深值, 再判断其是否满足舰船吃水要求, 一是因为从几何角度考虑在舰船安全航线带区域中有无数多个点, 二是因为海底曲面比较复杂, 即便取的点密度再大, 也有可能恰恰把不满足舰船吃水要求的水深点遗漏掉。可采用逐点检查, 局部拟合的方法检查判断航行带是否有不满足安全水

深的点。

所谓逐点检查,就是对航行带内的离散水深点,逐一检查,如果水深小于安全水深,则计划不可行;如果水深大于安全水深,由该点向四周选取邻近的 20 个离散水深点,这些点有可能在航行带内,也有可能在航行带外,如果这些点都满足安全水深,则说明该点附近是安全的。如果这些点中有不满足舰船安全吃水要求的,则使用数字高程模型 (DEM) 拟合得出对应区域的海底曲面方程,这就是说为局部拟合。将海底曲面方程中 Z_k 定为舰船吃水要求的最小值,则曲面方程便程以 X_k 和 Y_k 为变量的曲线方程。将该曲线方程与航行带的边界的直线方程联立求解,若有解,则说明航行带内存在不满足舰船吃水要求的水深点,若无解,则浅水区在航行带外。检查判断的流程如图 10。

五、结 论

根据以上思路,在 Windows 平台,用 VC6.0 语言,编程实现了计划航线自动审批的功能。自动审批计划航线,不仅大大减轻值班人员的劳动,降

低审批人员的专业要求,而且审批的速度快,考虑

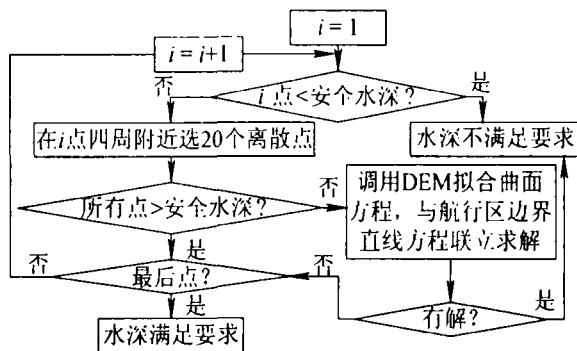


图 10 航行带内水深判断

周全,结论可靠。

参考文献:

- [1]徐德云.电子海图的发展历程[J],世界海运,1999(3).
- [2]张英俊.电子海图的数学和算法基础[M],大连海事大学出版社,2001.
- [3]徐长青.计算机图形学[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [4]吴信才.地理信息系统原理与方法[M].北京:电子工业出版社,2002.

(上接第 89 页)

(6)VHF DSC:模拟的是 JHS-31A 及 JHS-32A 型的设备,主要实现的功能有 VHF 的信道设置、双值守、信道扫描、功率选择、遇险报警、单呼、全呼、自动/半自动业务、遇险转播;

(7)NBDPT:模拟的是 DP-5 型的设备,主要实现的功能有文件的编辑管理、台站表的设置、自动操作表的设置、ARQ 通信、FEC 通信、定时通信、自检;

(8)406MHz EPIRB:模拟的是 JQE-2A 型的设备,主要实现的功能有遇险报警、电池及水压释放器年限的查看、设备的自检、水压释放器的使用及自动报警;

(9)SART:模拟的是 SOLAS-9 型的设备,主要实现的功能有设备被触发前与触发后的变化、自检、触发后雷达屏的显示、电池有效期的查看;

(10)518kHz NAVTXT:模拟的是 NCR-300 型的设备,主要实现的功能有对台站及信息种类的接收与拒收的设置、设备的自检、对设备编程的打印;

(11)手持双向无线电话:模拟的是 McMurdo R1 型的设备,主要实现的功能有对 16/13/6 信道的设置、电池有效期的查看、设备从开机到关机整个流程的演示。

由于上述设备中,有大量的数据及功能是重复或类似的,所以在设计当中可以采用模块化来简化程序的设计。比如通信的频率和信道基本上是所有设备都需要涉及的一个内容,在软件中就单独做一个频率表,需要用到频率的程序就直接到表中调取相应的数据即可。再如 DSC 的呼叫程序基本上是由“点信号”、“定相序列”、“格式符”、“地址”、“类别”、“自识别”、“报文 1~4”、“序列终止符”、“校验符”这些内容来组成的,只需要以上述内容搭建起来的模块,基本上和 DSC 相关软件都可以套用。总的来说,这套 GMDSS 模拟器的研发,主要立足于实际应用,注重对遇险报警、日常通信、设备的自检等在实际工作中经常遇到或者可能遇到的问题进行训练。而通信训练正是很多单机版的模拟器无法解决的一个问题。该套 GMDSS 模拟器在教学实践中得到了学员的肯定和好评。