

doi: 10.7690/bgzd.2014.04.019

基于迷宫算法的水雷危险区荐用航道判定方法

崔鹏, 方建平, 马爱民, 吴俊杰

(海军大连舰艇学院水武与防化系, 辽宁 大连 116018)

摘要: 为了在现代反水雷作战中快速确定雷区边界和搜索荐用航道, 并对荐用航道进行科学判定, 提出一种基于迷宫算法的航道判定方法。利用猎雷声纳的探测识别功能, 对雷区或水雷可疑区域进行侦查, 对可疑目标进行记录, 快速搜寻出一条或数条通道; 利用李氏迷宫算法的基本思想, 对荐用航道进行判断, 得到最合理准确的路径, 并给出了具体实现步骤。分析结果表明: 该算法能绘制出迷宫 2 点之间的合理路径, 为快速实现荐用航道判定提供方法。

关键词: 迷宫算法; 荐用航道; 判定; 方法; 反水雷

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Judgment Method of Recommended Route in Mine Field Based on Labyrinth Algorithm

Cui Peng, Fang Jianping, Ma Aimin, Wu Junjie

(Department of Underwater Weaponry & Chemical Defense, Dalian Warship Academy of PLA Navy, Dalian 116018, China)

Abstract: In order to confirm the border of minefield, search the recommended routes and judge and decide the only recommended route within best times in modern mine countermeasure campaign, a judgment method of recommended route based on labyrinth algorithm was proposed. The mine-hunting sonar with detection and identification capability used in anti-mine ships can be used in mine reconnaissance in minefield and doubtful minefield, and can note and label the doubtful underwater targets, then one or more potential routes can be found rapidly. This paper provides a judgment method for getting hold of the recommended route, and receiving a most reasonable and exact shortest path based on Lee labyrinth algorithm, and provides material steps for accomplishment. Analysis result shows that the judgment method can protract the reasonable path connect 2 point in the labyrinth, and provides a perfect way for judge and decide recommended route rapidly and with reason.

Keywords: labyrinth algorithm; recommended route; judgment and deciding; method; mine countermeasure

0 引言

由于现代海战的非对称、非接触和快速性等特点, 现代反水雷作战的主要目的是在战时以最短的时间开辟能够保证战斗舰艇编队或其他任务舰船安全通过雷区的可靠航道, 打破敌方的水雷封锁、阻滞或围堵, 确保后续作战行动的顺利开展和海军作战目标的实现^[1]。在这一情况下, 战时反水雷作战兵力面临的最主要任务将是水雷侦查、航线探查、反水雷导航以及为尽快开辟安全航道而进行的航道疏通和局部水雷清除等任务。为在最短时间为任务舰船开辟安全可靠的航道, 可以采取使用探雷声纳在雷区中快速确定部分雷区边界和搜索荐用航道的方法, 进而尽快打破敌方水雷封锁, 实现作战目的^[2]。搜索荐用航道需在已知部分雷区边界和水雷位置的前提下开展规划, 其推荐航道的安全性、合理性和快速性将直接影响反水雷作战任务的完成效

果。为提高反水雷舰艇在执行航线探查任务中的作战效能, 笔者分析其进行荐用航道判定的条件和步骤, 并利用搜索最短路径的迷宫算法基本原理进行软件开发, 为反水雷作战中快速合理的实现荐用航道判定提供方法。

1 搜索荐用航道的实施方法

荐用航道搜索任务指利用猎雷声纳的探测识别功能, 通过对雷区或水雷可疑区域进行侦查, 并对可疑目标进行记录, 快速搜寻出一条或数条通道, 为我任务舰船通过雷区或水雷危险区提供安全保障。

实施荐用航道搜索任务时, 应制定搜索计划将雷区或水雷可疑区划分为若干个平行搜索带^[2], 搜索带的方向与舰船穿越的方向要基本一致, 从中心搜索带开始搜索并逐步依次向两边扩展, 并逐带记录下探测结果。若已搜寻过的航线总宽度满足通航

收稿日期: 2013-11-12; 修回日期: 2013-12-07

基金项目: 2011 年度全军研究生课题(2011JY002-448)

作者简介: 崔鹏(1978—), 男, 辽宁人, 硕士, 工程师, 从事反水雷武器及作战使用研究。

航线宽度要求时，检查已发现的水雷位置是否确实允许舰船通航，其要求是搜寻出的荐用航道必须是直线或有限转向的简单折线，如果在探测结果的基础上没有发现可用航道，则继续按原搜索计划扩大搜索范围，直至找到可用航道，如图 1 所示。完成搜索任务后，应根据水雷和其他碍航目标分布情况和通航航道的宽度要求进行荐用航道判定，其判定结果的准确性、合理性和快速性将直接影响任务舰船的通航安全和后续作战任务的顺利进行。

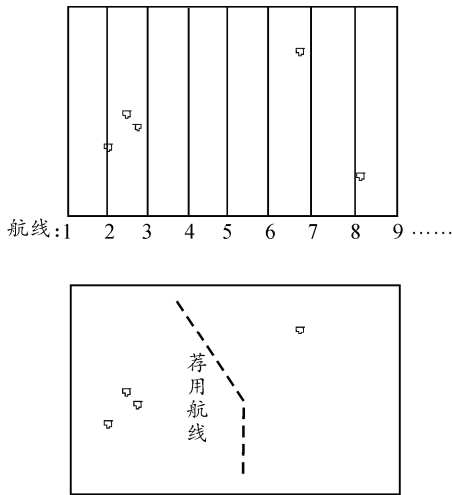


图 1 荐用航道搜寻示意图

2 基于迷宫算法的荐用航道判定方法

2.1 基于迷宫算法的荐用航道判定基本思想

能否根据荐用航道的搜索结果对荐用航道进行正确判定直接影响到任务舰船的通航安全和反水雷作战任务的顺利完成。错误的荐用航道判定结果会导致任务舰船遭到水雷打击，致使反水雷任务的失败，而对于复杂雷区荐用航道的人工判定需要大量的绘图工作和经验的积累，判定过程通常需要消耗较长时间，可能造成任务舰船行动迟滞和贻误战机等严重后果。

在完成快速确定部分雷区边界和搜索荐用航道的基础上，为了能够快速、合理地对荐用航道进行科学判定，可采用某种搜索算法进行快速查找和计算。由 Lee 最先提出的李氏迷宫算法作为一种广度优先的搜索算法可应用于对荐用航道的判定工作。其基本方法是在矩形网格中针对每个单元位置采用上下左右 4 个扩展方向进行障碍物绕行，从而找到出发点 Start 和目的点 Target 之间的最短路径，如图 2 所示。

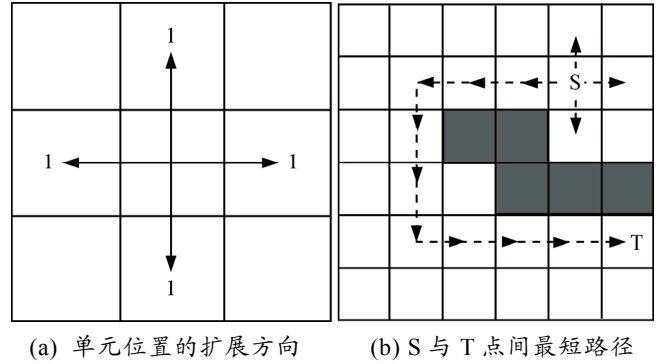


图 2 迷宫算法示意图

李氏迷宫算法的基本思想可以按照对波的传播过程来描述，即在一个存在障碍物的水面上，搜索 2 点之间的最短传播路径，设 Start 点为一波源并朝 4 个方向进行波的传播，传播时无能量损失，观察波的传播情况，当遇到障碍时，波会产生反射，到达水面边缘时也会产生反射，而最先到达目的点 Target 的波显然所经过的路径最短^[3]。只要起点和终点间存在通路，该算法经必然能够找到一条最短路径。

2.2 荐用航道判定基本步骤

假定任务舰船计划穿越某雷区，反水雷舰艇已在该雷区根据任务舰船预定航线和航道海区地理情况确定了雷区边界，由于任务舰船的预定航线大致上为自南至北，其航道中线只穿越了雷区南北两条边界，因此只需确定雷区南北 2 条边界即可。根据荐用航道搜索的实施方法，将雷区分为若干个方向与任务舰船预定航线平行的搜索带，从中心搜索带开始搜索并逐步依次向两边扩展^[2]，逐带记录探测结果。完成荐用航道搜索步骤后，将 2 条边界内的雷区划出若干个方格组成的长方阵形成迷宫，方格宽度和迷宫的设定步骤如下：

1) 将水雷和沉船、浅滩、岩礁等其他碍航物标记在迷宫中。

2) 根据碍航物的性质及其对任务舰船航行安全产生影响的范围确定方格宽度，对于水雷而言，应首先确定其危险圆半径 R ^[4]：

$$R = \sqrt{\left[\frac{\sqrt[3]{G}}{\left(\frac{p_m}{533} \right)^{1.13}} \right]^2 - h} \quad (1)$$

式中： p_m 为舰船所受冲击波峰值压强， kg/cm^2 ； G 为水雷当量装药量， kg ； h 为水雷水深， m 。

再根据水雷危险圆半径 R 得到确保舰船航行安全的航道宽度 B ：

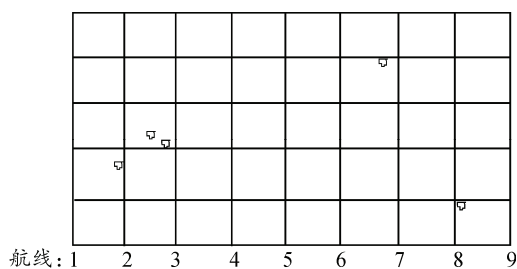
$$B = \left(\frac{B_{\text{船}}}{2} + \sigma + R \right) \times 2 \quad (2)$$

式中： $B_{\text{船}}$ 为任务舰船的船宽； σ 为任务舰船航行误差^[5]； R 为水雷危险圆半径。

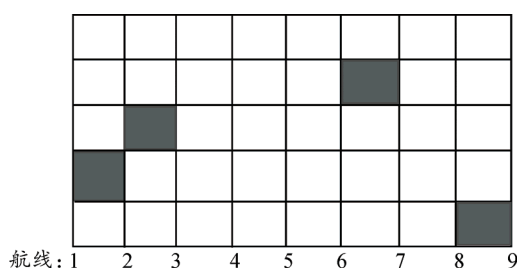
3) 由于水雷爆炸对舰船航行安全产生影响的范围最大，因此把确保任务舰船航行安全的航道宽度 B 作为迷宫方格的宽度。

4) 根据已侦查得到的部分雷区边界和迷宫方格宽度，将雷区划为 $m \times n$ 个方格组成的长方阵迷宫。

雷区迷宫划分完毕后，再将水雷和其他碍航物根据其在迷宫中所处的位置和大小（对于其他碍航物，应考虑任务舰船宽 $B_{\text{船}}$ 和航行误差 σ 的因素）确定迷宫中的障碍物方格位置和数量，即迷宫障碍分布。对水雷而言，无论其处于某一方格的任一位置均视该方格为障碍物，如图 3。对其他碍航物而言，则根据其在方格中的位置、大小、形状和舰船航行误差大小确定所在方格是否设为障碍物^[5]。



(a) 水雷在雷区中的位置分布



(b) 水雷在迷宫中形成的障碍物位置分布

图3 雷区水雷在迷宫中的设定

2.3 荐用航道判定的实现

根据雷区迷宫的设定，设计迷宫算法，并绘制出迷宫 2 点之间的合理路径，其基本步骤是：

1) 定义二维数组存储迷宫数据，迷宫数据根据搜索得到的雷区边界、任务舰船安全航道宽度 B 和水雷及其他碍航物在雷区中位置设定。

2) 在迷宫中设置某方格为出发点 $Start$ ，并作

为程序运算的当前位置，再设置迷宫中某方格为目的点 $Target$ ，以 0 和 1 分别标示为迷宫中的通路方格和障碍物方格，定义 1 个以链表作存储结构的栈类型。

3) 编写求解迷宫的递归程序，迷宫各方格以三元组的形式输出：

$$t_{ij}(x, y, d) \quad (3)$$

其中： t_{ij} 为迷宫中的某一点； x 为 t_{ij} 的横坐标； y 为 t_{ij} 的纵坐标； d 为步进到下一点的方向，0 为北，1 为南，2 为西，3 为东。

从当前位置向某一方向步进，同时将原位置设为障碍物方格，步进后判断新的位置是否为目的点 $Target$ ，若是则找到路径，搜索结束，直接跳至步骤 5)，否则，放置障碍物方格于新位置，以防再次绕回该位置。

4) 检测相连单元是否存在障碍物方格，若不存在，则步进至该相邻位置，并将该相邻位置存入堆栈中，然后令该位置为当前位置，跳回至步骤 3)，若存在障碍物方格，则选择其他方向的另一个相邻位置按照上述步骤继续搜索，如果当前位置所有相邻位置均被搜索过且都存在障碍物方格，则当前位置不能通往出口，从堆栈中弹出一个元素作为新的当前位置，以此位置的一个未被选择过的相邻方向继续搜索。

5) 将堆栈中所有位置依次连成一条路径，即得到出发点 $Start$ 和目的点 $Target$ 最短路径。

荐用航道判定过程中，可先将雷区中任务舰船预定航线起始位置的无障碍方格作为起始出发点 $Start$ 位置，而目的点 $Target$ 可从预定航线在雷区中的终点位置无障碍方格开始设定，如没有满足条件的航线在向两侧的无障碍方格扩展，直至找到最短安全航道。

在探雷声纳完成的一定宽度的雷区侦查基础上，若存在满足要求的荐用航道则停止搜索，将满足条件的航道从图上标注出来。若没有找到满足要求的荐用航道则继续扩大搜索范围，直到找到满足要求的航道，或是在某一区域通过清除最少数量的水雷满足任务舰船的通航要求，此时任务舰船的出发点 $Start$ 应向航线起始位置两侧扩展再进行判定。

3 荐用航道判定方法的应用扩展

以上基于迷宫算法的荐用航道判定方法立足于 4 个扩展方向，在实际使用过程中，如果方格宽度较大，最短路径转向较多，则会产生较远的迂回现

象,此时可通过将单元位置扩展方向增至 8 向或 16 向进行改进,但计算量也会因此增大。

对于实现任务舰船两侧旋回、单侧旋回、单向航行 3 种任务要求,由于其根本区别在于安全航道的宽度不同,因此也可通过改变迷宫方格宽度的方式分别获得不同情况下的荐用航道,也可以为最短时间完成航道疏通任务提供依据。若雷区水雷密度较小,而任务舰船由于机动能力的限制,其转向次数和角度只能限定在一定数值以内,此时可采取在障碍物方格密度较小的雷区内进行人工分段设置出发点 Start 位置和目的点 Target 位置的方法,以确保荐用航道为直、斜或是有限的转向次数。

4 结束语

笔者在对反水雷舰艇航线探查任务实施过程和对荐用航道判断方法原理本质进行分析的基础上,根据李氏迷宫算法的主要思想,提出了基于迷宫算

法的水雷危险区荐用航道判定方法,并给出了基本步骤和实现过程。验证结果表明:基于迷宫算法的荐用航道判定方法能够绘制出迷宫 2 点之间的最合理路径,为快速合理地实现任务舰船荐用航道判定提供方法和途径。文中的方法可为反水雷舰艇作战方案的制定提供理论参考,为反水雷指控系统战术软件的设计提供技术支撑。

参考文献:

[1] 徐学章. 水雷作战[M]. 北京:海潮出版社,2009:19-24.

[2] 马爱民. 水雷威胁探查方案优化方法[J]. 海军大连舰艇学院学报,2011,34(6):51-53.

[3] 张立华. 基于电子海图的航线自动生成理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2011:33-36.

[4] 傅金祝. 国外水雷与反水雷技术[M]. 北京:国防工业出版社,2007:83-96.

[5] 赵国荣,黄婧丽,王希彬. 舰船地磁独立导航系统[J]. 兵工自动化,2012,31(12):33-35.

(上接第 64 页)

某型武器分队接到支援命令,经过 3 轮的火力交战,形成了新的战场态势,如图 3(b)。红军实际控制区域为 592,蓝军控制区域为 368,其余的栅格势场值为零,平均势场值为 1.041,红方初步形成力量优势。蓝军前沿防守力量得到有效压制。

在 2 000 个仿真步长内,某型武器分队的任务达成度有一定的波动,但随时间增加,该指标趋近稳定值 0.88。图 4 是某型武器分队支援作战任务达成度变化情况。

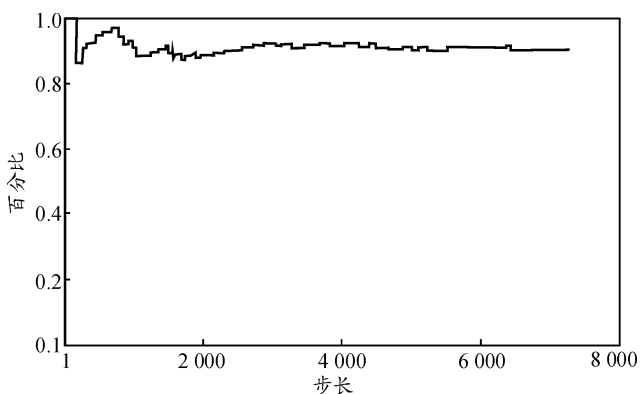


图 4 某型武器分队任务达成度

在指挥 Agent 的统一组织指挥下,作战 Agent 相互协同、密切配合完成作战任务。作战 Agent

实现相互之间的信息共享,并相互之间协调行动,在进一步观察战场的基础上,按照目标价值选择打击的目标。仿真结果显示某型武器分队可以很好地完成射击任务,平均毁伤目标为 13.6,自身的生存能力也显著提高,随机交战系统中被毁伤由 8.16 降低到 6.33。

5 结论

笔者通过基于智能体模型对某型武器分队作战进行仿真实验,证明该方法可以有效地解决作战能力复杂系统的评估问题,也能够为部队作战行动提供有效的决策依据。

参考文献:

[1] 刘博联. 基于博弈链的作战 Agent 决策模型研究[M]. 北京:北京理工大学数学系,2008:42-45.

[2] 贺建民,王元元,闵锐. 作战智能体模型研究[J]. 系统仿真学报,2004,16(10):2140-2142.

[3] 陈之宁,周存宝,王安. 属性权重不确知的区间直觉模糊群决策方法[J]. 兵工自动化,2012,31(1):33-36.

[4] 杨槐,宫研生. 作战数据在指挥决策中的作用评估方法研究[J]. 兵工自动化,2012,31(6):25-27.

[5] 胡喜珍,夏军,曹素平. 基于灰色熵权法的常规导弹部队作战能力评估[J]. 兵工自动化,2012,31(7):27-30.