

船舶最小事故航线选择方法研究

吴凤平 朱报春

(河海大学国际工商学院, 江苏 南京 210098)

摘要 提出了一种船舶最小事故航线的选择方法. 这一方法的基本思路是先将船舶最小事故航线选择问题转化为一不含负权的最短路问题, 然后再运用 Dijkstra 算法进行求解.

关键词 船舶, 最小事故航线, 最短路问题, Dijkstra 算法

中图分类号 : F550.6 **文献标识码** : A **文章编号** : 1000-198X(2001)01-0077-03

船舶的出行除了追求速度快、行程短之外, 有时因特别的需要, 还要追求安全可靠. 如果在区域航运网络中, 统计资料表明, 弧 (v_i, v_j) 或边 $[v_i, v_j]$ 上船舶发生交通事故的概率为 p_{ij} , 现有一船舶要求从网络中的 v_s 点驶向 v_t 点, 船舶最小事故航线选择问题就是要求为船舶设计一条行走线路, 使船舶发生交通事故的可能性最低. 研究船舶最小事故航线选择问题对执行特别任务或研究制定航政措施都是很有意义的. 对船舶最小事故航线选择问题的研究, 一般文献只给出了定性的说明^[1], 目前尚缺乏一个完整的算法. 本文提出求解的思路和相应的算法.

1 船舶最小事故航线选择方法

为便于讨论问题, 先假设航运网络为一有向图来进行分析, 之后再提出如何针对无向图或混合图修改算法.

假设船舶要由出发港 v_s 驶向目的港 v_t , 其选择的航线 m 途径 $v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_k}$ 共 k 个中间点, 则船舶在航线 m 上发生交通事故的概率为

$$P_m = 1 - \prod_{j=0}^k (1 - p_{i_j, i_{j+1}}) \quad (1)$$

这里 $p_{i_j, i_{j+1}}$ 是弧 $(v_{i_j}, v_{i_{j+1}})$ 上船舶发生交通事故的概率. 并约定 $s = i_0, t = i_{k+1}$.

假设由 v_s 至 v_t 的航线共有 l 条, 则可类似地求出 $P_1, P_2, \dots, P_{m-1}, P_{m+1}, \dots, P_l$, 我们要为船舶找一条最小事故航线, 即等价于求:

$$\min_{m \in [1, l]} \{P_m\} \quad (2)$$

仍以航线 m 为例, 令

$$P_m^0 = \prod_{j=0}^k (1 - p_{i_j, i_{j+1}}) \quad (3)$$

即

$$P_m^0 = 1 - P_m$$

则式(2)等价于

$$\max_{m \in [1, l]} \{P_m^0\} \quad (4)$$

将式(3)的积形式采用取对数的办法转化为和形式:

$$\ln P_m^0 = \sum_{j=0}^k \ln(1 - p_{i_j, i_{j+1}}) = - \sum_{j=0}^k |\ln(1 - p_{i_j, i_{j+1}})|$$

再令

$$P_m^1 = \sum_{j=0}^k |\ln(1 - p_{i_j, i_{j+1}})|$$

则式(4)又等价于

$$\min_{m \in [1, t]} \{P_m^1\} \quad (5)$$

令

$$W_{i_j, i_{j+1}} = |\ln(1 - p_{i_j, i_{j+1}})|$$

则

$$P_m^1 = \sum_{j=0}^k W_{i_j, i_{j+1}}$$

由于对任意的 $j \in [0, k]$ 均有 $W_{i_j, i_{j+1}} \geq 0$, 故可采取 Dijkstra 算法^[2]求出船舶最小事故航线. 现构造如下算法:

第一步 对航运网络中所有的弧, 令 $W_{rg} = |\ln(1 - p_{rg})|$, 这里 W_{rg} 记为弧 (v_r, v_g) 的权, p_{rg} 为弧 (v_r, v_g) 上船舶发生事故的概率;

第二步^①: 令 $G(v_s) = 0, L(v_j) = \infty, j = 2, 3, \dots, t, G(v_i)$ 为 v_i 的固定标号, $L(v_j)$ 为 v_j 的临时标号;

第三步 对新获 G 标号的点 v_i , 检查如果 $(v_i, v_j) \in A, A$ 为航运网络的弧集合, 且 v_j 是未获 G 标号的点, 则将 v_j 的 L 标号修改为

$$L'(v_j) = \min\{L(v_j), G(v_i) + W_{ij}\}$$

且如果 $G(v_i) + W_{ij} < L(v_j)$, 记 $\lambda(v_j) = v_i$;

第四步 求所有未获 G 标号的点的 L 标号的极小值, 并设

$$\min_j \{L(v_j)\} = L(v_{j_0})$$

则令

$$G(v_{j_0}) = L(v_{j_0})$$

第五步 如果 v_t 已获 G 标号, 则利用“反向追踪法”确定相应的最小事故航线, 否则转第三步.

对于无向图或混合图, 只需将算法的第一步和第三步中的弧 (v_r, v_g) 改为 $[v_r, v_g]$ 即可, 算法的其余部分不变.

2 航运网络中边或弧上船舶发生事故概率的计算

各航段上船舶发生交通事故的概率受多种因素的影响, 如航道尺寸、船型吨位数量、水文条件、货运量、航线位置、洪枯水季节等, 因而事故概率难以用一个准确的数值来加以描述, 但在一定的时期内, 当外界条件相对比较稳定的情况下, 航段事故概率可近似为一个常数. 为此, 笔者建议航运网络中边 $[v_r, v_g]$ 或弧 (v_r, v_g) 上船舶发生事故的可用以下公式计算:

$$p_{rg} = \frac{t_{rg}}{T_{rg}} \quad (6)$$

式中: t_{rg} ——某时段内(一般用1年)边 $[v_r, v_g]$ 或弧 (v_r, v_g) 上船舶发生事故的次数; T_{rg} ——某时段内边 $[v_r, v_g]$ 或弧 (v_r, v_g) 上船舶出行的总次数.

这里 t_{rg} 一般可通过交通统计年鉴或各地区的交通统计资料直接得到, 而 T_{rg} 的获得相对比较困难, 建议采取以下途径获得: 第一 根据航段上观测点的记录直接统计计算; 第二 根据航段上船闸的记录直接统计计算; 第三 根据船舶鉴证簿记载的记录项“出发港”和“到达港”, 判断船舶的行走线路, 经叠加运算后获得; 第四 在航段上设置抽样调查点进行抽样调查. 由于第一种和第二种方法较为方便, 而第三、第四种方法工作量较大, 因此, 应尽量使用前面两种方法. 当前两种方法仍然无法获得 T_{rg} 时, 可采用第三、第四种方法予以补充.

①一般情况下, 固定标号用 $P(v_i)$ 表示, 临时标号用 $T(v_j)$ 表示, 这里为防止 P 标号与概率符号混淆, 将固定标号和临时标号分别改用 $G(v_i)$ 和 $L(v_j)$ 表示.

3 算 例

图 1 为一航运网络 ,现要求寻找一条由①至⑦的最小事故航线.图中边旁数字为 P_{ij} .
先按算法的第一步将其转化为图 2 ,图 2 中边旁数字为 W_{ij} .再针对图 2 按算法的第二步至第五步进行运算 ,结果见表 1.

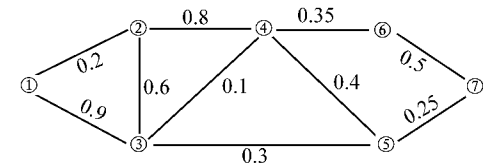


图 1 某航运网络
Fig.1 A shipping network

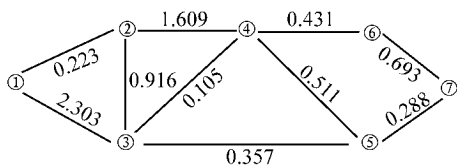


图 2 含 W_{ij} 的网络
Fig 2. A network with W_{ij}

用反向追踪法可得到由结点①至⑦的最小事故航线为
①—→②—→③—→⑤—→⑦

其发生事故的按式(2)计算为
 $P_{事故} = 1 - (1 - 0.2)(1 - 0.6)(1 - 0.3)(1 - 0.25) = 0.832$

4 结 束 语

本文针对“最小事故航线选择问题”,研究了相应的算法,这一算法思路清晰,运算简单,对于大型的航运网络图,还便于计算机编程运算.同时对这一问题的解决,还可以推广应用用于许多类似的问题,比如企业采取怎样的制造流程才能生产出可靠性最强的产品,工程上应采取怎样的施工工序和施工进度才能保证工程的质量最佳等.

参考文献:

[1] 邱民.船舶交通工程学[M].北京 :人民交通出版社 ,1992. 56 ~ 58 .
[2] 钱颂迪.运筹学[M].北京 :清华大学出版社 ,1990. 264 ~ 269 .

表 1 $\alpha(v_i)$ 和 $\lambda(v_i)$ 结果
Table 1 The results of $\alpha(V_i)$ and $\lambda(v_i)$

结点	$\alpha(v_i)$	$\lambda(v_i)$
①	0	0
②	0.223	结点①
③	1.139	结点②
④	1.244	结点③
⑤	1.496	结点③
⑥	1.675	结点④
⑦	1.784	结点⑤

A Method to Select Ships’ Minimum-Accident Probability Line

WU Feng-ping ,ZHU Bao-chun

(International Business School , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract :A method proposed for the selection of ships’ minimum-accident probability line. This problem is changed to a shortest-route problem , and then the Dijkstra algorithm is used to solve it.

Key words :ship ; minimum-accident line ; the shortest-route problem ; Dijkstra algorithm