

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.03.015

海战运输路径模糊随机优化初探

李旺, 戴明强

(海军工程大学 理学院, 湖北 武汉 430033)

摘要: 在建立的基于随机延误与模糊损失的海战运输路径数学模型基础上, 给出了基于随机模拟的遗传算法。遗传算法中采用随机数编码, 显性基因与隐性基因同时参与遗传变异, 使全局寻优能力更强, 同时采用随机模拟的方法求解适应度, 并以海战运输网络图为例, 通过给出一组合理数据进行数字举例。算例表明, 该方法不宜出错、贴近实际, 可为海战运输路径决策提供参考。

关键词: 海战运输; 随机模拟; 模糊理论; 遗传算法

中图分类号: N945.12; N945.15 **文献标识码:** A

Optimization Studies on Fuzzy Stochastic for Naval Battle Transportation Route

LI Wang, DAI Ming-qiang

(College of Science, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: Establish the naval battle transportation model based on stochastic delay and fuzzy loss in naval battle transportation, on the basis of it, the genetic algorithm is given based on random simulation. The genetic algorithm takes random number coding, the way of coding with stochastic numbers, dominant genes and concealed genes all taking part in crossover and mutation can reinforce the ability of gain the global optimization solution. Taking naval battle transportation network diagram as example, and some data is given as the example. The result shows that the algorithm is reasonable and efficient, which is valuable for decision-making of naval battle transportation route.

Keywords: Naval battle transportation; Stochastic simulation; Fuzzy theory; Genetic algorithm

0 引言

由于大风大浪、洋流、暗礁、能见度等的影响, 使海洋运输在时间延误上具有很大的不确定性及损耗风险性, 而战时环境中敌对方的军事存在则使损耗风险加大到无法承受的地步。近年来, 在海战环境下关于战时运输时间延误与损耗的优化与建模的研究很少, 近年我海军走向深蓝的发展要求, 对海战运输的研究已迫在眉睫。故建立基于与模糊随机延误与模糊损耗的模型, 对海战运输进行初步探索。

1 模型建立

1.1 建立海战运输网络图

根据战时运输任务, 建立从起点“O”(保障基地)到终点“D”(海战舰队、或军事基地)的运输网络图 $G(V, A, W, C, P)$ 。如图 1。

其中, V 代表节点集(海峡、港口等)。 A 代表弧集(可行航线)。 W 表示弧的权(航线的一般海况航行时间)。 C 为海况的预测概率, 若海况评语集为: $V = \{\text{很好 好 一般 差 很差}\}$, 则

$C_{ij} = [0.1 \ 0.2 \ 0.5 \ 0.1 \ 0.1]$ 表示海况“很好”的可能性为 0.1, “好”的可能性为 0.2, “一般”的可能性为 0.5, “差”的可能性为 0.1, “很差”的可能性为 0.1 的模糊集。各种海况对应的航行时间与 W (航线的一般海况航行时间) 关系为倍数关系, 修正因子为 $\lambda = [\alpha_1 \ \alpha_2 \ \alpha_3 \ \alpha_4 \ \alpha_5]$, 其中 $\alpha_3 = 1$, 例如: 航线 (i, j) 上的海况为 k 时, 则实际航行时间为: $W'(i, j) = \lambda(i, j, k) * W(i, j)$, λ 可根据航行经验航速与海况的对应关系确定, 如: $\lambda = [0.5 \ 0.8 \ 1 \ 1.5 \ 2]$ 。 $P = \{P(i, j) | (i, j) \in A\}$ 表示与天气状况有关的损耗率集合, $P(i, j) = \{P(i, j, k) | k = 1, 2, \dots, 5, k \text{ 为第 } k \text{ 种海况}\}$ 表示航线 (i, j) 上不同海况损耗率的集, $P(i, j, k) = \{[l^1(i, j, k), p^1(i, j, k)], [l^2(i, j, k), p^2(i, j, k)], \dots\}$ 表示航线 (i, j) 上第 k 种海况损耗率的可能情况, $l(i, j, k)$ 为损耗率, $p(i, j, k)$ 为对应

收稿日期: 2009-10-10; 修回日期: 2009-12-04

作者简介: 李旺(1985-), 男, 湖南人, 海军工程大学在读硕士研究生, 从军事系统优化建模与决策研究。

损耗率的概率, 如: $P(1, 2, 4) = \{[0.1, 0.1], [0.05, 0.1]\}$ 表示航线(1, 2)上海况为 4, 即“差”时损耗 0.1 的可能性为 0.1, 损耗 0.05 的可能性为 0.1。P 可以根据不同航线的重要程度, 敌方兵力活动情况, 海况、经作战经验获得。

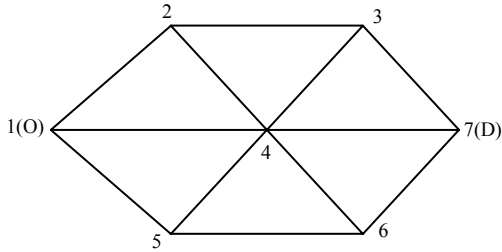


图 1 海战运输网络图

1.2 运输路径优化模型

运输路径优化是一个双目标规划问题, 目标为: 1) 航行时间短; 2) 损耗小, 即限大剩余。但由于战争的代价的特殊性, 不能以最小航行时间与最小损耗的期望值作为评价依据来搜索最优运输路径, 而是要知道优化路径的完成任务时间与损耗在规定的可能性。战争中不可能没有风险, 但要把握好风险度, 把握能承受的风险度。因而, 该问题优化目标为: 1) 在给定置信度下的最小损耗与最小航行时间的航线; 2) 在给定最小损耗与最小航行时间的最大置信度航线。故采用随机机会约束规划和随机相关机会规划^[1-4]方法建立优化模型。

随机机会约束规划模型 (模型 1) 为:

$$\begin{cases} \max & \bar{V}_n \\ \min & \bar{T}_n \end{cases} \quad (1)$$

$$st. \ Pr \{V_n \geq \bar{V}_n, T_n \leq \bar{T}_n\} \geq \alpha \quad (2)$$

其中:

$$\begin{cases} V_n = \prod_{(i,j) \in A} (1 - P(i, j))^{x_{ij}} \\ T_n = \sum_{(i,j) \in A} W'(i, j) * x_{ij} \end{cases} \quad (3)$$

其中, 式 (1) 为随机机会约束规划模型的目标函数, 式 (2) 为机会约束条件, $\alpha \in (0,1)$, 为置信水平。模型 1 是在给定置信水平 α 下, 求能保证的最大剩余率 \bar{V}_n 与最小航行时间 \bar{T}_n 的航线。

随机相关机会规划模型 (模型 2):

$$\max \ Pr \{V_n \geq \bar{V}_n, T_n \leq \bar{T}_n\} \quad (4)$$

式 (4) 为随机相关机会规划模型的目标函数。

模型 2 是在给定最小剩余率 \bar{V}_n 与最大航行时间 \bar{T}_n 时, 求置信水平 α 最大的航线。

模型 1 和模型 2 的公共约束条件有:

$$\begin{cases} \sum_{(1,j) \in A} x_{1j} = 1 & (5) \\ \sum_{(j,N) \in A} x_{jN} = 1 & (6) \\ \sum_{(i,k) \in A} x_{ik} - \sum_{(k,j) \in A} x_{kj} = 0 & (7) \\ k = 2, 3, \dots, N \\ x_{ij} \in \{0,1\}; \forall (i, j) \in A; i, j \in V & (8) \end{cases}$$

式 (5)、式 (6), 使 O 点与 D 点分别只与一条弧相连, 即保证只求起点 O 与终点 D 间的一条航线。式 (7) 使中间点的弧数的平衡约束, 由于有式 (7)、式 (8) 的限制, 能保证所求航线的中间点有且只有一条入弧与一条出弧。式 (8) 表示航线 (i, j) 在所求路径 R 上时 x_{ij} 取 1, 否则, x_{ij} 取 0。

显然, 即使可以通过加权系数把双目标化为单目标, 这种带有模糊和随机参数的规划模型也很难用增益 (负) 网络算法求解^[1], 何况由于军事目的的特殊性, 不可能承受这种笼统处理的风险, 将通过基于模糊随机模拟的遗传算法^[2]给出了模型 2 确阈值 \bar{V}_n 与 \bar{T}_n 的最优航线求解。

2 基于模糊随机模拟的遗传算法求解

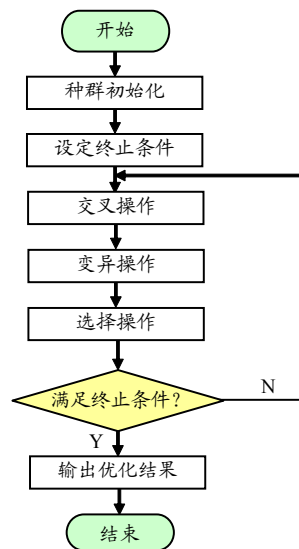


图 2 遗传算法结构流程

遗传算法是由 Holland 等于上世纪 70 年代创立的, 是一种基于群智能的随机优化算法, 是把寻优搜索过程与模拟成生物体的进化过程的巧妙结合,

用可行域中的点集合模拟自然界中的生物种群，用生物个体间交配类比为较优可行解间的信息交换过程，将生物变异过程对应到全局寻优的过程，将求解问题的目标函数作为生物体对环境的适应能力，并以适应能力为选择依据的生物进化过程类比为寻优搜索过程，用更优的可行解取代较差可行解的迭代过程。因而，遗传算法的主要过程有：种群初始化、交叉操作、变异操作和选优操作^[5-6]。算法结构流程图如图 2。

2.1 种群初始化

2.1.1 编码方式

采用十进制随机数编码^[6]，用随机数序列 $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_N$ ，表示染色体，其中 $0 \leq \xi_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, N$ ，它由显性基因与隐性基因组成。显性基因对实现功能（构成航线）发生作用，隐性基因则相反。一条染色体对应一个种群个体，如一个含 5 个节点（基因）的运输网，若起点为 1（O）与终点为 5（D），则它的一个染色体可能为： $[0 \ 0.23 \ 0.60 \ 0.48 \ 0.50]$ ，其中，编码位置 i 的基因表示第 i 个节点，由于起点 1（O）确定，这里第 1 个编码直接取 0，将该随机数序列按升序排列，得到对应的节点排序： $[1 \ 2 \ 4 \ 5 \ 3]$ ，若要求一条从节点 1 到节点 5 的航线，如果存在的话，则 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 5$ 为一可能航线，显然，第 3 个基因没有在航线中出现，称它为隐性基因，其余基因称为显性基因。

2.1.2 适应度函数定义及计算方法

适应度函数为目标函数为：

$$f = \Pr \{V_n \geq \bar{V}_n, T_n \leq \bar{T}_n\}$$

采用模拟的方法求解适应度^[1-2]，步骤为：

1) 把运输网转化为全图，使各节点间都有弧连接，并对新产生的弧赋权：(1) 航行时间为足够大正数，例如大于运输网络图 $G(V, A, W, C, P)$ 中实际存在弧航行时间的总和；(2) 损耗为 1。

2) 对一条染色体 ξ ，通过它的排序信息，可以得到一种路径 R ，航线 (i, j) 的损耗率为 $P(i, j)$ ，模拟的总次数设为 N_0 ，初始化以模拟次数计数参数 n ，置 $n=0$ ，置模拟成功次数计数参数 $S=0$ 。

3) 对路径 R 上的任一航线 (i, j) ，产生一个随

机数，以 C_{ij} 中各海况隶属度为概率确定一海况 k 为路径 R 上航线 (i, j) 的模拟海况，进而确定航行时间修正系数 $\lambda(i, j, k)$ ，再在该海况下以另一随机数以同样的方式确定航线 (i, j) 的模拟损耗率 $p(i, j, k)$ 作为 $P(i, j)$ 。计算剩余率 V_n 与航行时间 T_n ，若 $V_n \geq \bar{V}_n$ 且 $T_n \leq \bar{T}_n$ ，则令 $S \leftarrow S+1$ 。模拟完一次后，令 $n \leftarrow n+1$ 。若 $n < N_0$ ，继续步骤 3)，否则，转步骤 4)。

4) 染色体 ξ 适应度 $f = S/N_0$ 。

2.1.3 初始种群筛选

搜索一组比较优的染色体，步骤如下：

1) 给定种群大小 pop_size ，给定一筛选用置信度 $\bar{\alpha}$ 。置已有个体个数计数参数 $num = 0$ 。

2) 随机产生一条染色体 ξ ，通过上述模拟法求适应度 f 。

3) 若 $f > \bar{\alpha}$ ，则 ξ 被作为一初始种群个体，并且令 $num \leftarrow num + 1$ ，若 $num < pop_size$ ，转步骤 2)，否则结束筛选。

2.2 交叉操作

采用交换染色体段方式实行交叉操作，隐性基因也参与遗传，参与交叉操作。步骤为^[6]：

1) 对种群个体产生一个交叉操作配对顺序；

2) 对一对个体随机选择一基因，以此基因作为染色体分段分界点，将该对染色体分别分为 2 段；

3) 将该 2 条染色体对应段交换位置，得到新的 2 条染色体。

以含 7 个基因的染色体为例。设有配对了的一对染色体 f_1 与 f_2 。若随机选择 $f_1 = \{\xi_1 \xi_2 \xi_3 \xi_4 : \xi_5 \xi_6 \xi_7\}$ ， $f_2 = \{\zeta_1 \zeta_2 \zeta_3 \zeta_4 : \zeta_5 \zeta_6 \zeta_7\}$ 的基因为 4，则交叉后的 2 条新染色体为： $f'_1 = \{\xi_1 \xi_2 \xi_3 \xi_4 : \zeta_5 \zeta_6 \zeta_7\}$ ， $f'_2 = \{\zeta_1 \zeta_2 \zeta_3 \zeta_4 : \xi_5 \xi_6 \xi_7\}$ 。

2.3 变异操作

隐性基因也参与变异操作。有 2 种变异：1) 隐性基因变为显性基因，显性基因变为隐性基因；2) 显性基因实现功能的顺序改变，即在航线中的位置改变。实现步骤如下：

1) 随机选择给定染色体中的 3 个基因把该染色体分为 4 段。

2) 把第2段插到最后一段前面。

还是以含7个基因的染色体 f_1 为例。设随机选择的基因为 2、4、6, 则变异后为:

$$f''_1 = \{\xi_1 \xi_5 \xi_6 \xi_2 \xi_3 \xi_4 \xi_7\}.$$

通过变异操作确保解的全局最优的可能性。

2.4 选择操作

按适应度从大到小的顺序选择优良个体作为

下一代种群个体, 以保证解的优良性质, 以确保进一步寻优。

3 算法应用

以图1的运输网络图为例, 通过合理地给出一组数据, 数据见表1, 按上述遗传算法思想, 分别取 $\lambda_1=[0.5 \ 0.8 \ 1 \ 1.5 \ 2]$, $\lambda_2=[0.5 \ 0.8 \ 1 \ 2 \ 4]$ 通过 Matlab7.1 编程得出结果分别如表2、表3。

表1 航线海况、正常航行时间、损耗率表

航线	海况	航时	损耗率
(1, 2)	(0.1, 0.2, 0.5, 0.1, 0.1)	30	{(0.15, 0.1), (0.25, 0.2)} {(0.15, 0.2), (0.25, 0.1)} {(0.1, 0.1), (0.2, 0.1)} {(0.15, 0.1), (0.2, 0.1)} {(0.1, 0.2)}
(1, 4)	(0.1, 0.1, 0.5, 0.2, 0.1)	25	{(0.1, 0.2), (0.2, 0.2)} {(0.1, 0.2), (0.2, 0.15)} {(0.1, 0.1), (0.2, 0.1)} {(0.1, 1), (0.15, 0.1)} {(0.1, 0.1)}
(1, 5)	(0.3, 0.3, 0.2, 0.1, 0.1)	18	{(0.2, 0.2), (0.3, 0.1)} {(0.2, 0.15), (0.3, 0.1)} {(0.1, 0.1), (0.2, 0.2)} {(0.1, 0.05), (0.2, 0.05)} {(0.1, 0.1)}
(2, 3)	(0.2, 0.3, 0.3, 0.1, 0.1)	35	{(0.3, 0.2), (0.4, 0.2)} {(0.3, 0.1), (0.4, 0.15)} {(0.2, 0.15), (0.3, 0.1)} {(0.1, 0.1), (0.2, 0.1)} {(0.1, 0.1)}
(2, 4)	(0.2, 0.3, 0.2, 0.2, 0.1)	24	{(0.4, 0.2), (0.5, 0.2)} {(0.2, 0.15), (0.3, 0.1)} {(0.1, 0.1), (0.2, 0.1)} {(0.1, 0.1), (0.2, 0.05)} {(0.1, 0.1), (0.2, 0.05)}
(3, 4)	(0.1, 0.1, 0.2, 0.3, 0.3)	33	{(0.5, 0.2), (0.5, 0.2)} {(0.25, 0.15), (0.3, 0.1)} {(0.2, 0.1), (0.25, 0.1)} {(0.1, 0.2), (0.2, 0.1)} {(0.1, 0.1)}
(3, 7)	(0.15, 0.25, 0.4, 0.1, 0.1)	13	{(0.2, 0.2), (0.3, 0.3)} {(0.2, 0.3), (0.3, 0.15)} {(0.1, 0.1), (0.2, 0.3)} {(0.1, 0.1), (0.2, 0.2)} {(0.1, 0.1)}
(4, 5)	(0.2, 0.2, 0.4, 0.1, 0.1)	22	{(0.2, 0.3), (0.3, 0.3)} {(0.2, 0.3), (0.3, 0.2)} {(0.1, 0.2), (0.2, 0.25)} {(0.1, 0.1), (0.2, 0.2)} {(0.1, 0.2)}
(4, 6)	(0.15, 0.25, 0.4, 0.1, 0.1)	14	{(0.25, 0.2), (0.35, 0.3)} {(0.2, 0.3), (0.3, 0.2)} {(0.1, 0.2), (0.2, 0.3)} {(0.1, 0.1), (0.2, 0.2)} {(0.1, 0.1)}
(4, 7)	(0.2, 0.3, 0.3, 0.1, 0.1)	35	{(0.3, 0.2), (0.4, 0.2)} {(0.3, 0.1), (0.4, 0.15)} {(0.2, 0.15), (0.3, 0.1)} {(0.1, 0.1), (0.2, 0.1)} {(0.1, 0.1)}
(5, 6)	(0.3, 0.25, 0.2, 0.15, 0.1)	19	{(0.2, 0.2), (0.35, 0.3)} {(0.2, 0.3), (0.3, 0.2)} {(0.1, 0.2), (0.2, 0.3)} {(0.1, 0.2), (0.2, 0.2)} {(0.2, 0.1)}
(6, 7)	(0.1, 0.25, 0.4, 0.15, 0.1)	23	{(0.2, 0.2), (0.5, 0.3)} {(0.3, 0.3), (0.4, 0.15)} {(0.1, 0.3), (0.2, 0.3)} {(0.1, 0.1), (0.2, 0.2)} {(0.1, 0.1)}

表2 λ_1 算例计算结果

(\bar{V}_n, \bar{T}_n)	最优路径	α
(120, 0.75)	1→4→7	0.59
(130, 0.7)	1→4→7	0.85
(140, 0.6)	1→4→7	1.0

表3 λ_2 算例计算结果

(\bar{V}_n, \bar{T}_n)	最优路径	α
(120, 0.75)	1→4→7	0.40
(130, 0.7)	1→4→7	0.71
(140, 0.6)	1→4→7	0.88

该算法是对实际情况的仿真, 充分利用了随机模拟, 虽然优化目标只有2个, 但在真正面对实际情况时, 需优化考虑的目标很多, 但不会受到影响, 只需增加相应运算量^[7]。

4 结束语

算例表明, 基于模糊随机模拟的遗传算法求解

海战运输问题是可行的。该算法易于实现, 容错能力强, 稳定性高, 算法的程序运行时间短。能为海战运输路径模糊随机优化提供一定的参考。

参考文献:

- [1] 石玉峰. 具有战时随机损耗的军事运输路径优化[J]. 系统工程学报, 2005, 20(6): 649-652.
- [2] 丁晓东, 吴让泉, 邵世煌. 含有模糊和随机参数的混合机会约束规划模型[J]. 控制与决策, 2002, 17(5): 587-590.
- [3] Liu B. Uncertain Programming [M]. New York: Wiley, 1999.
- [4] Liu B. Theory and Practice of Uncertain Programming[M]. Heidelberg: PhysicaVerlag, 2002.
- [5] 蓝发起, 王洪. 基于 Matlab 的遗传算法程序设计[J]. 广西物理, 2008, 29(1): 32-34.
- [6] 徐珊, 司守奎, 等. 求解 TSP 问题的遗传算法[J]. 海军航空工程学院学报, 2004, 19(5): 562-564.
- [7] 钟晓声, 李应歧. 一种基于遗传算法的防空导弹火力分配优化方法[J]. 四川兵工学报, 2009(7): 20-23.