

战时不确定性运输路径优化

石玉峰¹, 金建军²

(1. 西南交通大学交通运输学院, 四川成都 610031; 2. 成都空军装备部, 四川成都 610041)

摘要: 基于战时运输随机时间与模糊损耗, 建立了路径优化的相关机会规划模型和遗传算法; 针对运输中的“必经点”问题, 设计了特殊染色体编码、交叉与变异规则; 提出通过对初始种群染色体的预处理来提高算法性能; 给出了获取时间与损耗的模拟步骤。最后, 还进行了算法比较实验和结果分析, 验证了算法的有效性。

关键词: 最优路径; 相关机会规划; 遗传算法; 模拟

中图分类号: TN911 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2005)03-0056-04

在现代战争中, 参战双方对后方运输的依赖越来越大, 交通运输已成为影响战争进程的重要环节。根据目前的研究情况, 对于战时的运输路径优化研究主要还是采用类似民用领域的研究方法和技术路线, 没有很好的反映战时运输路径优化的特点^[1]。在战时的军事运输中, 由于敌袭干扰的影响, 通过各路段的时间和遭受的损耗存在极大的不确定性, 主要反应在对各路段通行时间和损耗很难给出具体的数值, 在某些情况下带有很强的随机性和模糊性^[2], 且是一个多目标问题, 对运输时间和到达运量存在特殊要求, 而对这一问题的研究基本还是空白。因此, 本文以随机运输时间和模糊运输损耗为对象, 对不确定性条件下的多目标路径优化问题进行研究。

1 模型建立

根据战时的军事运输任务, 建立从运输起点到终点的运输网络图 $G = (V, A, T, W)$, 其中: V 代表节点集 (节点编号采用自然数, 并设起点编号为“1”, 终点编号为节点的总数, 即“ n ”); A 代表弧集; T 代表各弧的随机运输时间集合; W 代表各弧的模糊运输损耗率集合。在战时的军事运输中, 还必须考虑必经点和必经路段问题。必经点和必经路段是指部队在执行运输任务的过程中, 必须通过的节点和路段, 如一些重要的交通枢纽、军供站和特殊地段。对于必经路段, 可将路段的起、止点转化为必经点。因此, 须建立相应的必经点集合 V_k 。关于 T 和 W 中各弧值的确定, 可根据历史经验估计、层次分析法或专家评定的方法得到^[2], 分为两种: 一种存在分布规律函数; 另一种只存在经验分布。以通过某弧段的时间为例, 其值可以服从正态分布如 $(10, 2^2)$, 也可以为经验分布: 8 h 内通过的可能性为 0.3、10 h 内通过的可能性为 0.5 等等, 即弧的时间集合为 $t_{ij} = \{(t_{ij}^1, Pr_{ij}^1), (t_{ij}^2, Pr_{ij}^2), \dots, (t_{ij}^k, Pr_{ij}^k)\}$ 表示在 t_{ij}^k 内通过弧 (i, j) 的可能性 (概率) 为 Pr_{ij}^k 。

由于各路段运输时间和损耗是不确定量, 因此从起点到终点的时间和损耗也是不确定量。在战时的运输中, 搜索具有最短时间和最大到达流 (最小损耗) 的路径是没有多大意义的, 对于决策人员还要考虑它的置信度问题, 即优化的目标是搜索在指定的时间内到达给定流量的最大置信度路。因此, 本文引入相关机会规划方法^[3] 建立问题的模型, 求解最优路径 P 。各数学模型为

$$\max \min \{Pr\{T_N \leq \bar{T}_N\}, Poss\{V_N \geq \bar{V}_N\}\} \quad (1)$$

$$T_N = \sum_{(i,j) \in A} t_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

收稿日期: 2004-08-30

基金项目: 军队科研基金资助项目

作者简介: 石玉峰 (1973-), 男, 四川成都人, 工程师, 博士生, 主要从事军事物流研究。

$$V_N = V_1 \prod_{(i,j) \in A} (1 - \tilde{w}_{ij}) x_{ij} \tag{3}$$

$$\sum_{(i,j) \in A} x_{ij} - \sum_{(i,j) \in A} x_{ji} = 1 \tag{4}$$

$$\sum_{(i,j) \in A} x_{ij} - \sum_{(i,j) \in A} x_{ji} = 0 \quad i = 1, 2, \dots, N - 1 \tag{5}$$

$$\sum_{(N,j) \in A} x_{Nj} - \sum_{(j,N) \in A} x_{jN} = -1 \tag{6}$$

$$\sum_{i \in A_k^+} x_{ik} = 1, \sum_{j \in A_k^-} x_{kj} = 1 \quad \forall k \in V_k \tag{7}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in A \quad i, j \in V \tag{8}$$

其中:式(1)是问题模型的优化目标, \bar{T}_N 和 \bar{V}_N 分别为时间和到达流量要求, $Pr\{\cdot\}$ 、 $Poss\{\cdot\}$ 分别表示随机事件的概率置信度和模糊事件的可能性置信度, \min 是取指定路径的符合时间与流量要求的置信度中的最小者, \max 是从所有符合时间与流量要求的路径中取最大置信度者;式(2)、(3)分别为运输时间 T_N 和到达流量 V_N 的定义, 其中 t_{ij} 和 \tilde{w}_{ij} 为弧 (i, j) 的随机通行时间和模糊损耗率, 符号“ Π ”为连乘符号;式(4)~式(6)为出发点、中间点与终点约束条件;式(7)为“必经点”约束, A_k^+ 、 A_k^- 分别为进入和发出节点 k 的弧集合;式(8)为 x_{ij} 的定义。

对于问题模型的求解, 采用传统的方法是很难的, 甚至是不可行的;同时, 由于在军事运输路径决策中一般需要多条路径作为备份, 因此寻优是满足要求的路径集, 包括最优和次优路径等^[2,4]。由于遗传算法(Genetic Algorithms)具有潜在的并行性和全局寻优及算法构造简单的特点, 能够快速寻找到多条满足需求的路径, 而且通过构建染色体编码规则和设置特殊的交叉与变异方法, 能很好的解决战时运输中的“必经点”问题。因此, 本文基于遗传算法对问题进行优化算法设计。

2 遗传算法设计

2.1 染色体编码与初始种群生成

本文采用自然数编码方式构造染色体^[5,6], 染色体的基因是网络的节点序号, 而排列顺序代表着起点到终点的路径。

设路网的节点集合 V 中节点个数为 n , 则染色体的基因数也设定为 n 。染色体基因的组成方式: 第一个为起点的序号“1”;接下来是中间节点, 分为两部分, 一部分由必经点集合 V_k 中的所有节点序号构成, 设有 k 个, 另一部份为 l 个其它节点构成, $0 \leq l \leq n - k - 2$;然后是终点“ n ”。如果 $l < n - k - 2$, 则在终点后补“0”, 使基因总数保持为 n 。设染色体中从“1”到“ n ”的基因个数为 $m + 1$ (即有效基因数), 则代表的路段弧数为 m 。

初始种群的生成, 是通过产生 $[k, n - 2]$ 之间的随机整数表示中间基因节点个数, 以及对中间部分基因节点位置做随机排列得到的。由于路径的好坏与染色体基因的排列顺序有关, 为了提高遗传算法的收敛性能, 笔者通过多次试算, 提出在种群初始化时应对染色体做预处理, 当检查发现染色体中的两相邻基因生成的有效弧数不足该路径总弧数的 30% 时, 则该染色体无效, 需重新生成。

2.2 适应度函数

根据问题决策模型, 建立适应度函数为

$$F = \min \{ Pr\{T_N \leq \bar{T}_N\}, Poss\{V_N \leq \bar{V}_N\} \} \tag{9}$$

如果染色体代表路径弧的通行时间和损耗率分别服从同一分布规律的函数, 则可采用解析法分别求出该路径符合时间与流量要求的置信度, 然后从 Pr 与 $Poss$ 的置信水平中取较小者;而当不服从同一分布规律函数或为经验分布时, 则只能采用模拟方法求解。

以经验分布为例, 模拟步骤为

1) 设由染色体基因得到的路径 P 包含的路段数为 m , 第 i 路段的时间随机经验分布集合为 $t_i = \{(t_i^1, Pr_i^1), (t_i^2, Pr_i^2), \dots\}$, 损耗率模糊经验分布集合为 $w_i = \{(w_i^1, Poss_i^1), (w_i^2, Poss_i^2), \dots\}$ 。设定运输的时间要求为 \bar{T}_N , 到达流量为 \bar{V}_N , 模拟的次数设为 N , 置 $i = 0, j = 0$ 。

2) 如果 $i < N$, 令 $i = i + 1$, 并置 $T_N = 0, V_N = 1$, 否则转 4)。

3)在 0~1 之间产生 m 个随机数,分别依路径 P 中的 m 条路段弧的通行时间与损耗率经验分布集合查找对应的时间 t 和 w ,计算 $T_N = T_N + t$ 与 $V_N = V_N \cdot (1 - w)$,判断是否满足 $T_N \leq \bar{T}_N$ 和 $V_N \geq \bar{V}_N$,若成立则令 $j = j + 1$,转 1)。

4)计算 $F = j/N_0$ 。

对时间和损耗率存在分布规律函数的弧,模拟时可依分布函数产生样本。染色体生成的路径中,对于不存在弧相连的基因序列相邻节点对,设其通行时间为较大的值和损耗率为 1。

2.3 染色体选择

本文采用改进的轮盘赌选择法^[4,5]。在选择新个体时,首先在当前代的可行个体中选择最佳个体直接进入下一代(若有多个,则随机选取一个),然后对其它个体依适应度大小采用轮盘赌方式进行选择。

2.4 染色体交叉

本文采用类 OX 法^[4]。步骤为

1)从上一代选择染色体 A_0 、 B_0 的基因中随机选择两个交叉点,交叉点必须同时位于两个染色体的起点之后,终点之前,以保证“0”基因不被交叉,交叉点之间的部分为匹配区域段;

2)将 B_0 的匹配段加到 A_0 的基因“1”之后,将 A_0 的匹配区域加到 B_0 的基因“1”之后;

3)消除染色体匹配段后面的重复节点。

如图 1 为类 OX 法交叉示意图,节点总数为 8,其中 6 为“必经点”。

A_0 :1	2	5	3	4	6	7	8
B_0 :1	2	3	4	5	6	8	0
A_1 :1	3	4	5	6	2	5	3 4 6 7 8
B_1 :1	5	3	4	6	2	3	4 5 6 8 0
A_2 :1	3	4	5	6	2	7	8
B_2 :1	5	3	4	6	2	8	0

图 1 类 OX 法交叉

2.5 染色体变异

本文采用的染色体变异方式有 3 种:第 1 种,在基因“1”和“ n ”之间随机的删除一个非“必经点”基因,同时在“ n ”后补“0”基因,以使保持基因数为 n ;第 2 种,当有效基因总数不能超过 n 时,增加一个基因中没有的节点序号,同时在“ n ”后删除一个“0”基因;第 3 种,互换“1”和“ n ”之间的两个基因。图 2 为变异示意图。

A_0 :1	2	5	4	6	7	8	0
A_1 :1	2	5	6	7	8	0	0
A_2 :1	2	5	3	4	6	7	8
A_3 :1	5	2	4	6	7	8	0

图 2 变异示意图

3 算例

本文用 C++ Builder6 语言设计了算法软件,对包含不同节点数和必经点数的时间为随机经验分布、损耗率为模糊经验分布条件下的路径优化问题进行算法性能实验,目标是搜索在指定时间内到达给定流量的最大机会度路及次优路。设定种群规模为 80,交叉概率为 0.85,变异概率为 0.05,模拟次数为 500,总计 300 代,进行 50 次实验,所得最优解与次优解出现平均代数如表 1。

表 1 最优解平均代数/次优解平均代数计算结果

总节点数	必经点数量			
	0	2	4	8
20	134/125	136/121	133/126	135/131
30	178/153	173/148	181/145	173/151
40	275/218	281/222	277/214	287/219

分析上述计算结果,可以发现随着节点数的增多,最优解和次优解出现的平均代数将增加;而“必经点”数的变化,除去随机因素,其对算法的收敛性没有影响,分析原因是因为染色体的好坏只与基因节点排列顺序有关,有、无“必经点”以及数目的多少并无实质性影响,从这一点体现了采用遗传算法的优势。

本文算例证明,用相关机会规划和遗传算法研究战时运输随机时间和模糊损耗决策问题是可行的,能有效解决战时路径优化问题。

参考文献:

- [1] 石玉峰,彭其渊,门志强. 基于双最短时间的运输分配研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2004,5(6):76-79.
- [2] 石玉峰,门志强. 基于模糊多目标决策理论的军事运输路径优化研究[J]. 交通运输工程与信息学报,2004,2(1):112-116.
- [3] Liu B. Dependent - Chance Programming: A Class of Stochastic Programming[J]. Computers & Mathematics with Applications, 1997,34(12):89-104.
- [4] 高虹霓,杨建军. 提高大型交通网络最短路搜索效率研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2003.4(1):54-56.
- [5] 王小平,曹立明. 遗传算法——理论、应用与软件实现[M]. 西安:西安交通大学出版社,2002.
- [6] 景玲,黄席樾,潘娅. 基于遗传算法的动态路径诱导[J]. 重庆大学学报,2002,25(4):68-71.

(编辑:田新华)

Optimizing the Transportation Path with Uncertain Factor in War

SHI Yu - feng¹, JIN Jian - jun²

(1. School of Traffic and Transportation, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China; 2. Department of Air Force Military Equipment in Chengdu, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract:Based on stochastic time and fuzzy loss in war, the model of optimal path is constructed by dependent-chance programming and a genetic algorithm is designed. For solving the problems of the necessity - node, the special rules of coding, crossover and mutation are designed. Initial chromosomes are predisposed to improve the efficiency of algorithm. The steps of simulation to gain time and loss are presented. Finally, some experiments are performed and analyses are presented to verify the effectiveness of the algorithm.

Key words: optimal path ; dependent - chance programming; genetic algorithm ; simulation ; military transportation

(上接第55页)

- [2] Elasser A, Torry D A. Soft Switching Active Snubbers for DC/DC Converter [J]. IEEE Trans Power Electron, 1996, 11(5):710-722.
- [3] Jung Goo Cho, Chang Yong jeong. Novel Zero - Voltage - Transition Current - Fed Full - Bridge PWM Converter for Single - Stage Power Factor Correction[J]. IEEE Trans Power Electron, 1995, 10(5):1005-1011.
- [4] 阮新波,严仰光. 直流开关电源的软开关技术[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [5] 张恩利,夏峥,侯振义,等. 一种带辅助支路的移相全桥零电压 PWM 变换器[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2004,5(2):72-76.
- [6] 张恩利,余侃民,侯振义. 一种基于 DSP 的 PFC 变换器采样控制算法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2004,5(5):42-45.

(编辑:门向生)

A Design of ZVT - PFC Boost Converter

YU Kan - rain, WEI Jun, ZHANG En - li

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract : A novel single - phase active - clamped power factor correction converter is presented in this paper. The operation principle and the circuit parameters of the converter are analyzed. The proposed scheme is verified on a 3kW prototype converter operating at 100kHz. Simulating and experimental results prove that this circuit not only realizes the ZVT controlled by the main switch and the ZCS controlled by the auxiliary switch, but also has a low current and voltage stress, meanwhile, the overall efficiency of the proposed converter is 92%.

Key words : converter ; soft switching ; active - clamp ; ZVT; ZCS