

# 基于模糊多目标决策理论 的军事运输路径优化研究

石玉峰<sup>1</sup> 门志强<sup>2</sup>

1. 西南交通大学, 交通运输学院, 成都 610031

2. 成都空军, 军交运输处, 成都 610041

**摘要:** 本文以军事运输的路径优化为研究对象, 采用基于路段重叠惩罚的多路径搜索算法建立路径决策集; 用模糊多目标决策理论从时间、危险性、保障代价三个方面来构造军事运输路径优化决策算法; 最后, 本文还给出了算法实例。

**关键词:** 军事运输; 路径优化; 模糊理论; 多目标

中图分类号: F502; C934

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2004)01-0112-05

## Optimizing the Military Transportation Paths Based on Fuzzy Multi-Objective Decision Theory

SHI Yu-feng<sup>1</sup> MEN Zhi-qiang<sup>2</sup>

1. College of Traffic and Transportation,

Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China

2. Department of Military Traffic and Transportation,

Chengdu Air Force, Chengdu 610041, China

**Abstract:** This paper studies the problem of optimal path about military transportation. The set of decision is built by "overlapping penalty" algorithm of path. Considering the factors of time, risk and indemnificatory cost, the optimal algorithm of path is designed based on fuzzy multi-objective theory. Finally, an experimental calculation is presented.

收稿日期: 2004-02-18

基金项目: 空军科研项目 (KJZ03452)

作者简介: 石玉峰 (1973-), 男, 工程师, 西南交通大学交通运输学院博士研究生, 主要从事军事物流、决策支持系统方面研究。

Key words : Military transportation, optimal path, fuzzy theory, multi-objective

## 0 引言

军事运输是运用各种交通工具,实现军队人员和物资装备在空间上的位移,以保障军事斗争的顺利进行。通过对古今中外历次战争的分析,军事运输在战前准备、战时机动转移和后勤补给具有十分重要的作用。由于战时军事运输的特殊性,对于运输路径的选择,一般应该从运输起点到终点的道路里程、速度、通行时间、危险性、油料消耗、运输损耗、支援保障等方面进行考虑<sup>[1,2]</sup>,通过分析可将上述问题转化为从运输时间、危险性、保障代价三个目标进行决策。对于这三个指标,除了运输时间外,都具有一定的模糊性,本文引入模糊理论,对路径的多目标优化问题进行研究<sup>[3,4]</sup>。

## 1 决策集的建立

根据任务和实际情况建立基于道路交通网络图  $G = (V, E, T)$ , 其中,  $V$  为节点集(交通枢纽、军供站、交叉路口等);  $E$  为边集(路段);  $T$  为路径时间集(通过各路段所需的时间)。对于军事运输的路径优化研究,由于时间目标在大多数情况下都是优先或必须考虑的,即为了战争的需要,必须在规定的时间内完成运输任务;同时,考虑军事运输的特殊性,一般要求选择多条满足时间要求的相异路径(设需要  $K$  条符合时间约束的路径)。因此,本文首先建立基于时间约束的路径搜索定义域:  $R_i^0 = \{R \mid T(R) \leq T_{\max}\}$ , 其中:  $T_{\max}$  为任务完成可接受的最长时间,  $T(R)$  为路径  $R$  所需的时间。然后,本文采用基于重叠惩罚<sup>[5]</sup>的相异路径算法,在定义域中,搜索  $K$  条路径,建立多目标决策的路径集  $R^0$ 。算法的基本思想是:

STEP1:  $k = 1, i = 1, R^0 = \emptyset$ ;

STEP2: 采用 Dijkstra 最短路算法求取基于时间权的最短路径  $R_i$ ;

STEP3: 计算  $R_i$  的实际时间  $T_i$ 。如果  $T_i < T_{\max}$

且  $k < K$ , 则进行下一步;否则结束;

STEP4: 对交通网络图中的各边重新赋值,函数式:  $t_e^{i+1} = (1 + \frac{a}{T_{\min}})^n t_e^0$ , 其中:  $t_e^0$  为路段的初始时间权值,  $t_e^{i+1}$  为路段  $e$  在第  $i+1$  次循环时的时间权值,  $a$  为重叠惩罚系数,  $n$  为路段  $e$  已被使用了的次数,  $T_{\min}$  为已求的最短时间(其值等于  $T_1$ );

STEP5: 如果  $R_i \notin R^0$ , 则  $k = k+1, R^0 = R^0 \cup \{R_i\}; i = i+1$ , 转 STEP2。

通过上述算法,求出路径集,并按实际时间值递增顺序排列后得到决策集  $R^0 = \{R_1, R_2, \dots, R_K\}$ 。

## 2 目标模糊集的建立与处理

对军事运输路径选择问题,建立目标因素集合  $X = \{x_t, x_s, x_f\}$ , 从时间因素  $x_t$ 、危险因素  $x_s$ 、保障代价因素  $x_f$ , 进行模糊多目标决策<sup>[3],[4],[6]</sup>。

(1) 建立基于时间目标  $x_t$  的隶属度函数

对于时间目标因素的评价,本文采用与最短时间的差值大小作为评价标准,时间差越小路径越好。设评语集为  $Y_t = \{\text{小、中、大、很大}\}$ 。设  $T_{\min}$  代表所求路径决策集  $R^0$  中的从起点到终点的最短运输时间;  $\Delta T$  代表各条路径所耗费时间与最短时间的差,即  $\Delta T = T - T_{\min}$ 。以路径时间差为论域,以  $U_1^t(\Delta T)$ 、 $U_2^t(\Delta T)$ 、 $U_3^t(\Delta T)$ 、 $U_4^t(\Delta T)$  分别表示  $\Delta T$  隶属于时间差评语集  $Y_t$  中“小”、“中”、“大”、“很大”的隶属度。根据军事运输的经验,时间差  $(0 \sim 0.1 T_{\min})$ 、 $(0.1 T_{\min} \sim 0.3 T_{\min})$ 、 $(0.3 T_{\min} \sim 0.6 T_{\min})$ 、 $(0.6 T_{\min} \sim +\infty)$  分别对应“小”、“中”、“大”、“很大”,建立第  $k$  条路径的时间差隶属函数  $U_{jk}^t$ , 其中:  $j = 1, 2, 3, 4$ 。

$$U_{1k}^t(\Delta T) = \begin{cases} 1 - 10\Delta T/T_{\min} & 0 \leq \Delta T/T_{\min} < 0.1 \\ 0 & \Delta T/T_{\min} \geq 0.1 \end{cases}$$

$$U_{2k}^t(\Delta T) = \begin{cases} 10\Delta T/T_{\min} & 0 \leq \Delta T/T_{\min} < 0.1 \\ 1.5 - 5\Delta T/T_{\min} & 0.1 \leq \Delta T/T_{\min} < 0.3 \\ 0 & \Delta T/T_{\min} \geq 0.3 \end{cases}$$

$$U'_{3k}(\Delta T) = \begin{cases} 0 & 0 \leq \Delta T/T_{\min} < 0.1 \\ -0.5 + 5\Delta T/T_{\min} & 0.1 \leq \Delta T/T_{\min} < 0.3 \\ 2 - 10\Delta T/(3T_{\min}) & 0.3 \leq \Delta T/T_{\min} < 0.6 \\ 0 & \Delta T/T_{\min} \geq 0.6 \end{cases}$$

$$U'_{4k}(\Delta T) = \begin{cases} 0 & 0 \leq \Delta T/T_{\min} < 0.3 \\ -1 + 10\Delta T/(3T_{\min}) & 0.3 \leq \Delta T/T_{\min} < 0.6 \\ 1 & \Delta T/T_{\min} \geq 0.6 \end{cases}$$

则有路径  $k$  基于时间差因素集  $Y_i$  的隶属度向量为  $U'_k = (U'_{1k}, U'_{2k}, U'_{3k}, U'_{4k})^T$ , 路径集  $R^0$  对时间差因素的总隶属度矩阵为:  $U' = [U'_1, U'_2, \dots, U'_K]$ 。

(2) 建立基于危险性目标  $x_s$  的隶属度函数

军事运输的危险性, 主要包括自然环境的危险性(路况、自然灾害)、敌袭或暴露战役战术意图对其它部队所带来的危险性, 因此具有很大的模糊性。本文采用综合加权统计法建立隶属度函数。

对危险性的模糊性评语, 也采用“小”、“中”、“大”、“很大”, 建立评语集  $Y_s$ 。根据经验, 评价人员选定作战指挥员、战勤参谋人员、运输人员这三类人员。各类人员对危险性指标评价的权重为  $R^s = (r_1^s, r_2^s, r_3^s)^T$ , 其中  $\sum_{i=1}^3 r_i^s = 1$ , 且  $r_i^s > 0$ 。对于每类人员的评价可按简单统计法或简单加权统计法求出。设第  $i$  类人有  $n_i$  个, 对路径决策集  $R^0$  中第  $k$  条路径同意第  $j$  类评语的有  $m_{jik}$  人, 评价结果为  $A_{jik}^s = \frac{m_{jik}}{n_i}$ , 则隶属于第  $j$  类评语的隶属度为:  $U_{jk}^s = (A_{j1k}^s, A_{j2k}^s, A_{j3k}^s) \times R^s$ , 其中,  $i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3, 4; k = 1, 2, 3, \dots, K$ 。

这样得到该路径  $k$  的基于危险性因素  $Y_s$  的评价向量  $U_k^s = (U_{1k}^s, U_{2k}^s, U_{3k}^s, U_{4k}^s)^T$ , 路径集  $R^0$  对危险性因素的总隶属度矩阵为:  $U^s = [U_1^s, U_2^s, \dots, U_K^s]$ 。

(3) 建立基于保障代价目标  $x_f$  的隶属度函数。

在军事运输中, 从起点到终点的保障代价除了在一一般运输中所包含的油料耗费、车辆折旧费等外, 还包括军事活动特有的综合保障支援费用, 如对运输车队的警戒和掩护等。因此, 目标的模糊性也很大。保障代价隶属度函数的确定, 也采用综合加权统计法建立隶属度函数, 建立方式类似于危险性指标隶属度函数。

同样选定作战指挥员、战勤参谋人员、运输人员这三类人员对  $R^0$  中的  $K$  条路径进行评价。保障代价

的评语也设为“小”、“中”、“大”、“很大”, 并设各类人员对保障代价目标的权重为  $R^f = (r_1^f, r_2^f, r_3^f)^T$ , 其中,  $\sum_{i=1}^3 r_i^f = 1$ , 且  $r_i^f > 0$ 。对第  $k$  条路径隶属于第  $j$  类评语的评价结果的隶属度为:  $U_{jk}^f = (A_{j1k}^f, A_{j2k}^f, A_{j3k}^f) \times R^f$ 。

其中:  $A_{jik}^f = \frac{m_{jik}}{n_i}$ ,  $i = 1, 2, 3, j = 1, 2, 3, 4, k = 1, 2, \dots, K$ 。

这样得到该路径  $k$  的基于保障代价因素  $Y_f$  的评价向量  $U_k^f = (U_{1k}^f, U_{2k}^f, U_{3k}^f, U_{4k}^f)^T$ 。路径集  $R^0$  对保障代价指标的总隶属度矩阵为:  $U^f = [U_1^f, U_2^f, \dots, U_K^f]$ 。

(4) 综合评判

建立对路径总的评语集  $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}$ , 其中,  $y_1$ 、 $y_2$ 、 $y_3$ 、 $y_4$  分别对应“优”、“好”、“一般”、“差”。对路径决策集  $R^0$  中的路径  $k$ , 建立从时间、危险性、费用三个目标的模糊评价矩阵,  $U_k = [U_k^t, U_k^s, U_k^f]^T$ ; 同时, 根据军事运输任务性质确定各因素的权重  $P = (a_1, a_2, a_3)$ , 其中:  $\sum_{i=1}^3 a_i = 1$ , 且  $a_i > 0, i = 1, 2, 3$ 。综合评价矩阵<sup>[4],[6]</sup>建立的方法有混合合成评判矩阵法、混合乘积评判矩阵法以及准贴近型综合评判法。由于混合乘积评判矩阵法能较明确地反映各类评价人员的评价差异, 因此, 本文采用混合乘积评判法。

对第  $k$  条路径, 有评价模糊向量  $Q_k = P \times U_k = a_1 U_k^t + a_2 U_k^s + a_3 U_k^f$ ,  $Q_k$  为 12 个元素的列向量, 对决策集  $R^0$ , 有评价模糊矩阵  $Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_k)$ ,  $Q$  为  $12 \times k$  的矩阵。

设评语集  $Y$  中各评语对最终选择的权值为  $I = (I_1, I_2, I_3, I_4)$ , 最后有对第  $k$  条路径总的评价值  $C_k = I \times Q_k$ , 从而形成对路径集的总评价集  $C^0 = (C_1, C_2, \dots, C_k)$ , 通过对总评价集的简单排序, 求出最优路径。

### 3 计算实例

设有某军事运输任务, 道路交通网络如图 1 示, 根据任务需要, 规定任务必须在 8 h 以内完成且需要 6 条备选路径。表 1 给出了车队通过各路段时的时间。

(1) 首先使用 Dijkstra 最短路径算法, 求出基

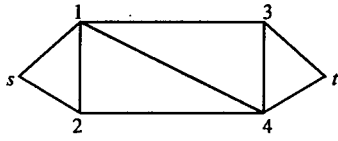


图 1 交通网络

Fig.1 Traffic network

表 1 路段通行时间

Tab.1 Time of passing through roads

路段	s-1	s-2	1-2	1-3	1-4	2-4	3-4	3-t	4-t
时间/h	2	3	1	2	2	1	1	3	2

于时间权的最短时间路径  $R_1$  和所对应的时间  $T_1$  (也就是  $T_{\min}$ ), 然后采用重叠惩罚算法求出其它符合任务时间需求的路径。设重叠惩罚系数为 0.5, 则求出的路径分别是:  $R_1 = \{s, 1, 4, t\}$ ,  $R_2 = \{s, 2, 4, t\}$ ,  $R_3 = \{s, 1, 2, 4, t\}$ ,  $R_4 = \{s, 1, 3, t\}$ ,  $R_5 = \{s, 1, 3, 4, t\}$ ,  $R_6 = \{s, 2, 1, 4, t\}$ , 即决策集合为  $R^0 = \{R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6\}$ , 对应的时间为  $T^0 = \{6, 6, 6, 7, 7, 8\}$ , 最短时间为  $T_{\min} = 6$  h。

(2) 建立时间、危险性、保障代价目标的隶属度函数

根据  $T^0$ , 并设评价人员有作战指挥员 5 人、战勤参谋人员 10 人、运输人员 20 人, 各类人员对危险性和保障代价的评价权重分别为  $R^s = (0.5, 0.3, 0.2)^T$ ,  $R^f = (0.3, 0.4, 0.3)^T$ , 建立路径决策集  $R^0$  对时间差、危险性和保障代价的结果列于表 2。其中评价向量中的各元素代表各类人员同意的人数。

表 2 各因素的影响

Tab.2 Effects caused by each factor

路径		$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
时间差		0	0	0	1	1	2
危险性评语	小	(0,3,5)	(1,2,4)	(3,6,10)	(3,6,8)	(2,5,10)	(2,4,10)
	中	(2,3,6)	(3,5,8)	(2,3,6)	(2,4,10)	(3,5,9)	(3,5,10)
	大	(3,4,8)	(1,3,4)	(0,1,4)	(0,0,2)	(0,0,1)	(0,1,0)
	很大	(0,0,1)	(0,0,4)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,0,0)
保障代价评语	小	(2,4,5)	(1,1,4)	(2,5,9)	(2,4,8)	(0,1,2)	(0,0,2)
	中	(2,4,10)	(4,6,12)	(3,4,8)	(2,5,10)	(1,3,3)	(1,3,5)
	大	(1,2,5)	(0,3,3)	(0,1,3)	(1,1,2)	(4,5,10)	(3,5,10)
	很大	(0,0,0)	(0,0,1)	(0,0,0)	(0,0,0)	(0,1,5)	(1,2,3)

通过计算可得各目标因素的隶属度于表 3。

表 3 因素隶属度

Tab.3 Membership degree of each factor

路径		$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
时间差评语	小	1	1	1	0.0	0.0	0.0
	中	0	0	0	0.667	0.667	0.0
	大	0	0	0	0.333	0.333	0.889
	很大	0	0	0	0.0	0.0	0.111
危险性评语	小	0.14	0.2	0.58	0.56	0.45	0.42
	中	0.35	0.53	0.35	0.42	0.54	0.55
	大	0.5	0.23	0.07	0.02	0.01	0.03
	很大	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
保障代价评语	小	0.355	0.16	0.455	0.4	0.07	0.03
	中	0.43	0.66	0.46	0.47	0.225	0.255
	大	0.215	0.165	0.085	0.13	0.59	0.53
	很大	0.00	0.015	0.00	0.00	0.115	0.185

(3) 综合评判  
 根据军事运输任务需要和经验, 设时间、危险性  
 和保障代价因素的权重为  $P = (0.5, 0.3, 0.2)$  各评

语的权重为  $I = (0.5, 0.3, 0.15, 0.05)$ , 利用公式  
 $Q_k = P \times U_k$  和  $C_k = I \times Q_k$ , 得各路径的评价模糊矩阵  
 于表 4 和最终评价结果于表 5 中。

表 4 模糊矩阵

Tab.4 Matrix of fuzzy

评语	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
优	0.613	0.592	0.765	0.248	0.149	0.132
好	0.191	0.291	0.197	0.553	0.540	0.216
一般	0.193	0.102	0.038	0.199	0.288	0.560
差	0.003	0.015	0.000	0.000	0.023	0.092

表 5 评价结果

Tab.5 Evaluation results

	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
最终评价值	0.393	0.399	0.447	0.320	0.281	0.215

所以路径排序结果:  $R_3 > R_2 > R_1 > R_4 > R_5 > R_6$ 。  
 算例表明, 采用基于模糊多目标决策理论的路径

优化算法是有效的, 能很好的解决军事运输路径优化  
 问题。

参考文献

[1] 胡桐清等编著. 人工智能军事应用教程[M]. 北京: 军事科学出版社, 1999.

[2] 王丰, 姜大力. 伊拉克战争中的美英联军物流[J]. 物流世界, 2003; (3).

[3] 关桂霞等. 一种基于模糊理论的最佳路径选择方法[J]. 华北工学院学报, 2001; (1).

[4] 赵晓冬著. 现象与决策[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.

[5] Park D. Multiple path based vehicle routing and stochastic transportation networks[D]. Texas: A&M University, 1998.

[6] 王宗军. 综合评价的方法、问题及其研究趋势[J]. 管理科学学报, 1998; 1(1): 73-79.