

# 雷达备件输送路线选择

彭飞, 杨江平, 项建涛, 孙知建

(空军雷达学院, 湖北 武汉 430019)

**摘要:**信息化战场雷达备件及时、经济、有效地输送补充对恢复和保持受损雷达空情获取能力,对及时掌握空情起着决定性的作用。为解决雷达备件输送路线选择问题,建立了输送路线选择方案评估指标体系,针对评估指标体系中多个指标无法量化及指标权重很难确定或可信度不高的问题,采用熵权法得到评估指标体系中各个指标的熵权,并综合运用模糊理论和灰色系统理论对输送路线选择方案进行灰色模糊评估,最终得出输送路线选择方案的优劣排序,算例分析结果表明该方法具有很强的实用性和推广性,其评估结果可以辅助保障指挥员迅速对输送路线方案优劣做出评估,合理作出路线选择决策,对提高雷达备件保障能力具有重要意义,对于其它物资的输送保障同样具有指导借鉴意义。

**关键词:**雷达备件;路线选择;熵权;灰色模糊评估

**中图分类号:** TN95 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2008)05-0066-04

运输活动,是物资保障的重要环节。运输合理化是一个系统分析和系统决策的问题,通常用定性分析和定量分析相结合的办法来进行处理,运输路线的选择属于运输合理化的内容之一,在一对收发货地点之间,可供选择的运输路线不止一条,如何选择合理的运输路线是本文研究的主要内容<sup>[1]</sup>。

以往的路线选择研究中,大多考虑的是在和平环境下进行的路线选择<sup>[2-3]</sup>,方案选择研究中采用的方法大多是综合模糊评估法<sup>[4-7]</sup>,而路线选择中的数据和信息具有很大的不确定性,传统的模糊评估法对解决此类问题还存在着不足,而模糊白化和灰色关联是现代工程领域解决数据不确定性和数据量不足问题的有效方法。本文将灰色理论和模糊理论应用于战时雷达备件运输路线选择研究中,提出了模糊白化灰色关联模型,该模型对战时其它军事物资运输路线选择具有借鉴作用。

## 1 方法简介

### 1.1 评估指标体系的建立

建立科学的评估指标体系是评估工作成功的关键,因此合理地建立评估指标体系成为评估过程中重要的一部分。通过广泛调查研究,进行系统分析,运用改进的德尔斐法可以得到评估指标集<sup>[8-11]</sup>。

### 1.2 指标的规范化处理

规范化可使指标变量无量纲化,张弛成 $[0, 1]$ 之间的数,增加离散性。

#### 1.2.1 定量指标的处理

设有  $m$  个性质相同的待评估事物,  $n$  项指标,第  $i$  个待评估事物的各项指标为  $\{X_i\} = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)$  为各项指标的数值,针对不同类型的指标采用不同的规范化方法将各项指标进行无量纲化处理:

收稿日期:2007-11-14

基金项目:雷达装备维修体系建设资助项目(305643270)

作者简介:彭飞(1981-),男,江西吉安人,博士生,主要从事装备保障研究;E-mail: pengfei1981999@sina.com

杨江平(1963-),男,浙江富阳人,教授,博士生导师,主要从事装备保障研究。

对于极大型指标:  $y_i(j) = \frac{x_i(j)}{\max_i x_i(j)}$ ; 对于极小型指标:  $y_i(j) = \frac{\min_i x_i(j)}{x_i(j)}$ ; 对于适当型指标即越接近某一标准值  $b_i$  越优:  $y_i(j) = 1 - \frac{|x_i(j) - b_i|}{\max_i |x_i(j) - b_i|}$ , 显然,  $y_i(j) \in [0, 1]$ ,  $y_i(j)$  越大, 表明第  $i$  个评估事物的第  $j$  个指标评价越优。

1.2.2 定性指标的处理

定性指标的模糊白化处理主要是依靠构造评估事物集的优越性二元对比矩阵, 通过优越性定性标度矩阵, 得到评估事物集定性排序, 并对评估事物集进行相对优属度量得到定性指标的规范化结果。

设评估事物集中第  $k, l$  2 个评估事物关于第  $p$  项指标的优越性二元对比矩阵为

$$\begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ p_{m1} & \cdots & p_{mm} \end{pmatrix}$$

规定表示优越性的定性排序标度  $p_{kl}$  或  $p_{lk}$  在 0, 0.5, 1 中取值。对评估事物集中第  $k, l$  两个事物关于第  $p$  项指标的优越性进行比较, 若两个事物优越性相同, 则取  $p_{kl} = 0.5$ ; 若第  $k$  个事物优于第  $l$  个事物, 则  $p_{kl} = 1, p_{lk} = 0$ ; 若第  $l$  个事物优于第  $k$  个事物, 则  $p_{lk} = 1, p_{kl} = 0$ 。

根据上面的二元对比矩阵得到评估事物集优越性的定性排序后, 确定评估事物集对各指标的相对优属度。根据习惯选择 8 个语气算子, 并利用线性插值插入定量标度值, 见表 1。

表 1 等级划分表  
Tab. 1 Rank measure

语气算子	同样	稍稍	略微	明显	显著	十分	非常	极端
定量标度值	0.50	0.57	0.64	0.71	0.78	0.85	0.92	1
相对优属度	1	0.754	0.537	0.408	0.282	0.176	0.087	

1.3 评估方案的选择

1.3.1 熵权的确定

一个系统的状态越是有序, 它告诉我们的信息就越多; 系统状态越是无序, 它给我们的信息就越少, 熵增加就意味着信息的减少, 所以玻尔兹曼写道: “熵是一个系统失去信息的量度”。一个系统有序度越高, 它的熵越小, 信息量就越大。还可以说, 熵代表无知的程度, 信息代表知识的多少, 二者是互补的关系<sup>[12]</sup>。

设有  $n$  个评估指标,  $m$  个被评估方案, 则第  $i$  个评估指标的熵权定义为

$$s_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m y_i(j) / \sum_{i=1}^m y_i(j) \ln y_i(j) / \sum_{i=1}^m y_i(j), i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

并假定:  $y_i(j) = 0$  时,  $\ln y_i(j) / \sum_{i=1}^m y_i(j) = 0$ 。

1.3.2 规格化矩阵的建立

根据上述方法, 可建立规格化矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1 y_1(1) & \cdots & s_n y_1(n) \\ \vdots & & \vdots \\ s_1 y_m(1) & \cdots & s_n y_m(n) \end{bmatrix} \quad (2)$$

1.3.3 被评方案与理想点贴近度的计算

确定各指标理想点  $P = (p_1, p_2, \dots, p_j), p_j = \max_i \{r_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n\}$ , 被评方案与理想点的贴近度  $t_i$  为

$$t_i = \frac{P \times Y_i}{\|P\|^2} = \frac{\sum_{j=1}^n p_j y_i(j)}{\sum_{j=1}^n p_j^2}, Y_i = (y_i(1), y_i(2), \dots, y_i(n))^T, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

1.3.4 被评方案与理想点距离的计算

根据上述方法, 其被评方案与理想点距离为

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_j - y_i(j))^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

### 1.3.5 评估准则

根据  $t_i$  (越大越优) 决定各被评方案的排序, 若  $t_i$  值相同, 则根据  $d_i$  (越小越优) 进行判断。

## 2 算例

对某雷达器材仓库进行备件补充供应, 从器材仓库到该雷达仓库共有 3 条路线可供选择, 试选择合适的路线。

### 2.1 确立评估指标体系

路线选择的评估体系和许多因素有关, 根据雷达备件和保障的特殊性, 主要考虑以下因素: ①时间性; ②安全性; ③可行性; ④经济性; ⑤灵活性; ⑥损耗性。

### 2.2 规范评估指标

定量指标如就时间性而言, 通过 A、B、C 3 条路线所需时间分别为 6 h, 15 h, 24 h, 进行标准化处理之后关于时间性指标的相对优属度  $e = (e_A, e_B, e_C) = (1, 0.4, 0.25)$ 。

定性指标如可行性, 专家认为通过 3 条路线的可行性从高到低排序为: A、B、C, 因此构造优越性二元对比矩阵为

$$\begin{pmatrix} 0.5 & 1 & 1 \\ 0 & 0.5 & 1 \\ 0 & 0 & 0.5 \end{pmatrix}$$

进一步分析, 通过 A 路线的可行性比通过 B 路线的可行性稍稍优越, 通过 A 路线的可行性比通过 C 路线的可行性明显优越, 根据表 1 得通过 3 条路线可行性的相对优属度  $e = (e_A, e_B, e_C) = (1, 0.754, 0.408)$ , 同理得到其它指标数据的规范化结果见表 2。

表 2 指标的规范化结果

Tab. 2 Standardization result of index

	时间性	安全性	可行性	经济性	灵活性	损耗性
A	1	0.537	1	0.533	0.282	0.282
B	0.4	1	0.754	0.593	0.345	1
C	0.25	0.176	0.408	1	1	0.537

### 2.3 确定各因素熵值并建立规格化矩阵

根据式(1)计算得到各因素熵值见表 3。

表 3 因素熵值列表

Tab. 3 Entropy of index

指标	时间性	安全性	可行性	经济性	灵活性	损耗性
熵值	0.849 2	0.948 9	0.945 5	0.963 7	0.848 2	0.890 3

根据式(2)计算得到规格化矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} 0.849 2 & 0.509 6 & 0.945 5 & 0.513 7 & 0.239 2 & 0.251 1 \\ 0.339 7 & 0.948 9 & 0.712 9 & 0.571 5 & 0.292 6 & 0.890 3 \\ 0.212 3 & 0.167 0 & 0.385 8 & 0.963 7 & 0.848 2 & 0.478 1 \end{bmatrix}$$

### 2.4 计算各方案与理想点的贴近度与距离

根据式(3)、式(4)得到各被评方案与理想点的贴近度和距离见表 4。

根据评估准则, 确定路线 B 为运输路线, 该结果与采用德尔斐法、模糊评估法分析结果相同(德尔斐法、模糊评估法算法省略), 但计算简单, 定量精确。

表 4 方案评价结果

Tab. 4 Evaluation result of project

	A	B	C
贴近度	0.671 4	0.762 1	0.616 4
距离	1.035 1	0.802 3	1.180 9
排序	2	1	3

### 3 结束语

本文将模糊理论、灰色理论和熵权理论综合运用,解决了路线选择问题中对定性指标进行分析和权重无法准确确定的问题,评估结果经验证与其他方法分析结果相同从而说明该模型的有效性,运用此模型在一定程度上能对路线选择给出比较客观的评估结果,对辅助指挥员快速做出决策、提高雷达部队的备件保障能力具有现实意义。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 王宗喜,徐东. 军事物流学[M]. 北京:清华大学出版社,2007.  
WANG Zongxi, XU Dong. Military Logistics[M]. Beijing:Tsinghua University Press, 2007. (in Chinese)
- [ 2 ] 刘荣华,孙皓,赵娟. 基于供应链的运输决策研究[J]. 中国海洋大学学报,2007,37(1):63-65  
LIU Ronghua, SUN Hao, ZHAO Juan. Research on Transportation Decision-making Based on Supply-chain[J]. Journal of Ocean University of China, 2007,37(1):63-65. (in Chinese)
- [ 3 ] 李锡军,花兴来,叶安健. GIS环境下雷达装备保障最佳路径规划[J]. 空军雷达学院学报,2003,17(3):42-44.  
LI Xijun, HUA Xinglai, YE Anjian. Optimum Route Layout of Radar Equipment Support Under the GIS Environment[J]. Journal of Air Force Radar Academy, 2003,17(3):42-44. (in Chinese)
- [ 4 ] 朱根林. 军事行动决策的模糊综合评判[J]. 数学的实践与认识,2005,22(12):19-22.  
ZHU Genlin. Fuzzy Comprehensive Evaluation of Operation Decision-making[J]. Practice and Cognition of Mathematics, 2005,22(12):19-22. (in Chinese)
- [ 5 ] Chen S J, Hwang C L. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Method and Applications[M]. New York: Springer, 1992.
- [ 6 ] Copeland A C, Trivedi M M. Models and Metrics for Signature Strength Evaluation of Camouflaged Targets[J]. Proceedings of the SPIE, 1997, 30(7):194-199.
- [ 7 ] Sharoni A H, Bacon L D. The Future Combat System(FCS): A Technology Evolution Review and Feasibility Assessment[J]. ARMOR, 1997, 12(8):7-13.
- [ 8 ] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉:华中工业学院出版社,1990.  
DENG Julong. Grey System Theory Tutorial[M]. Wuhan: Huazhong Industry Academy Press, 1990. (in Chinese)
- [ 9 ] 袁嘉祖. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,2002.  
YUAN Jiazuo. Grey System Theory and Application[M]. Beijing: Science Press, 2002. (in Chinese)
- [ 10 ] James J Buckley, Esfandiar Eslam, Thomas Feuring I. Fuzzy Mathematics in Economics and Engineering[M]. London: Heidelberg Physical-verlag, 2002.
- [ 11 ] Didier Dubois, Henri Prade. Fundamentals of Fuzzy Sets[M]. Boston: Kluwer Academic, 2000.
- [ 12 ] 屈惠泽. 熵概念的泛化与思考[J]. 武汉水利电力大学学报,1999,9(12):26-29.  
QU Huize. Think to Entropy Concept[J]. Journal of Wuhan Electricity-irrigation University, 1999,9(12):26-29. (in Chinese)

(编辑:田新华)

## Research on Choice of Radar Spare Part Transportation Route in Wartime

PENG Fei, YANG Jiang-ping, XIANG Jian-tao, SUN Zhi-jian

(Air force Radar Academy, Wuhan 430019, Hubei, China)

**Abstract:** In order to settle the problem of choosing radar spare part transportation route, an evaluation index system of transportation route choice plan is established. In view of the problem that many indexes involved in route choice can not be quantified, the weight of index is hard to be determined or low in creditability, an information entropy method is adopted to obtain the entropy weight of each index in the evaluation index system and the grey fuzzy evaluation of transportation route choice plan is performed by combining the fuzzy theory and grey theory in application. Finally the reasonable sequence of choosing the route is gained. The result can be a help to the commander in making a quick decision and the model is of some instructive value in improving the spare part support effectiveness in wartime.

**Key words:** radar spare part; route choice; information entropy; grey fuzzy evaluation