

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.08.004

基于 DEA 的雷达干扰弹效费比评估模型

韩杨, 刘金伟, 彭择令, 陈雨
(解放军炮兵学院 5 系, 安徽 合肥 230031)

摘要: 针对雷达干扰弹类型日益多样化, 缺少效费比评估理论的现状, 利用数据包络分析方法 (DEA) 建立了效费比评估模型。通过计算分析得出了非有效单元输入指标的调整量, 并对其输出指标规模收益状况进行了分析。结果表明, 该评估模型科学合理, 对雷达干扰弹的合理使用具有较好的参考作用。

关键词: 数据包络分析方法 (DEA); 雷达干扰弹; 效费比

中图分类号: N945.12; TN974 **文献标识码:** A

Cost-Effectiveness Evaluation Model of Radar Jamming Shell Based on DEA

Han Yang, Liu Jinwei, Peng Zeling, Chen Yu
(No. 5 Department, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: Aiming at the fact that the types of radar jamming shell become more and more diversiform and the short of the cost-effectiveness evaluation theory, modeling the cost-effectiveness based on data envelopment analysis (DEA) by calculating the data of decision making units (DMU), educe the adjustment of the inefficient DMU's input indexes, and analyze the return to scale of output indexes. The result shows that the evaluation model is scientific and logical, which will give reference for the reasonable use of the radar jamming shell.

Keywords: data envelopment analysis; radar jamming shell; cost-effectiveness

0 引言

雷达干扰弹是以炮弹为运载工具, 将干扰设备运载到指定区域, 通过辐射、转发、反射和吸收电磁能量等方式干扰敌方雷达正常工作的特种炮弹。根据干扰源能量的来源不同, 雷达干扰弹可分为有源雷达干扰弹和无源雷达干扰弹。根据干扰弹投放后于扰机工作的位置不同, 雷达干扰弹可分为着地式有源干扰弹和悬浮式有源干扰弹, 用于干扰敌炮兵侦察校射雷达、活动目标侦察校射雷达和火控雷达。费效比评估是指从费用和效能两方面对单元进行的综合评估, 其目的是为决策者提供费用效能方面的信息, 使决策者可以根据评估结果进行决策。完成对同一目标进行干扰的任务, 不同的弹种将产生不同的效费比。为了以最小的代价获得最佳的干扰效果, 对不同的雷达干扰弹的效费比进行定量分析评估。

1 DEA 模型简介

数据包络分析方法 (Data Envelopment Analysis, DEA) 通过对决策单元 (Decision Making Units, DMU) 的输入和输出的客观数据进行综合分析, 可以得出每个决策单元的综合效率的数量指标, 据此对决策单元排序, 确定相对有效的决策单元, 并指

出其他单元非有效的原因和程度, 适用于多输入多输出系统的综合评价。

1.1 DEA 模型建立

假设存在决策单元 $DMU_j (j=1, 2, \dots, n)$, 每个单元有 m 种输入、 s 种输出。 X_{ij} 为第 j 个 DMU 的第 i 种输入值, Y_{rj} 为第 j 个 DMU 的第 r 种输出, 即:

$$\text{输入向量: } X_j = (X_{1j}, X_{2j}, X_{3j}, \dots, X_{mj})$$

$$\text{输出向量: } Y_j = (Y_{1j}, Y_{2j}, Y_{3j}, \dots, Y_{sj})$$

为了计算输入和输出的总体值, 可以赋予每个输入和输出一个权重, 不妨设输入、输出权重向量为 V 、 U :

$$V = (V_1, V_2, \dots, V_m)^T, \quad U = (U_1, U_2, \dots, U_s)^T$$

那么 DMU_j 的效率评价指数 $h_j = \frac{U^T Y}{V^T X}$ 建立 C^2R 模型:

$$\begin{cases} \max h_j = \frac{U^T Y}{V^T X} \\ h_j = \frac{U^T Y}{V^T X} \leq 1 \\ V \geq 0 \\ U \geq 0 \end{cases}$$

利用 *Charnes-Cooper* 变换转化为一个等价的线形规划模型, 运用对偶理论建立对偶规划模型:

收稿日期: 2010-02-13; 修回日期: 2010-04-07
作者简介: 韩杨 (1982-), 男, 安徽人, 从事作战指挥研究。

$$\begin{cases} \min \theta \\ \lambda^T X_j \leq \theta X_0 \\ \lambda^T Y_j \geq Y_0 \\ \lambda \geq 0 \end{cases}$$

其中, $\lambda=(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)^T$ 为 n 个决策单元 DMU 的输入输出的权系数, $\lambda^T X_j$ 和 $\lambda^T Y_j$ 分别是以这个权重组合构造的 DMU 的输入和输出向量。

引入松弛变量和剩余变量后的具有非阿基米德无穷小 ε 的 C^2R 模型, 对第 j_0 个决策单元 DMU_{j_0} 有:

$$\begin{cases} \min [\theta - \varepsilon \cdot (e_1^T \cdot S^- + e_2^T \cdot S^+)] \\ \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta \cdot X_0 \\ \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\ \lambda_j \geq 0 \\ S^- \geq 0, S^+ \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中, θ 为 DEA 的相对有效性值, λ_j 为对应于投入的权值向量, $e_1^T=(1, 1, \dots, 1)^T \in E_m$, 是元素均为 1 的 m 维向量; $e_2^T=(1, 1, \dots, 1)^T \in E_s$, 是元素均为 1 的 s 维向量; ε 表示非阿基米德无穷小, 后面应用中不妨取值 10^{-5} ; X_0 、 Y_0 表示被评价决策单元的 m 种输入、 s 种输出的向量。

1.2 DEA 有效性的判定

模型 (1) 计算得最优解为 λ 、 S^- 、 S^+ 、 θ , 有:

1) $\theta=1$ 且 $S^-=S^+=0$, 则该 DMU 为 DEA 有效, 同时为技术和规模有效, 即资源获得充分利用, 输入的组合为最佳组合, 输出为最大效益; 2) $\theta=1$ 且 $S^- \neq 0$ 或 $S^+ \neq 0$ 时, 则该 DMU 为弱 DEA 有效, 若 $S^- > 0$ 表明输入没有能够充分利用, $S^+ > 0$ 表明输出没有达到最大值; 3) $\theta < 1$, 则该 DMU 非 DEA 有效, 非技术有效及非规模有效; 4) 若 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$, DMU 为规模效益不变; 若 $\sum_{j=1}^n \lambda_j < 1$, DMU 为规模效益递增, 当输入递增时, 输出会高于输入的增长倍数; 若 $\sum_{j=1}^n \lambda_j > 1$, DMU 为规模效益递减, 当输入递增时, 输出会低于输入的增长倍数。

1.3 非 DEA 有效单元的改进

对一个非 DEA 有效的决策单元 DMU_j , 令

$X=\theta \cdot X_j - S^-$, $Y=Y_j + S^+$, 可以证明: 相对于原来 n 个决策单元是 DEA 有效的, 称 (X, Y) 为该 DMU 在 DEA 相对有效面上的“投影”。

2 雷达干扰弹的 DEA 评估

下面以对外军某型炮位侦察校射雷达实施干扰为例, 采用数据包络分析方法对某型落地式、某型悬浮式雷达干扰弹和某型箔条干扰弹进行分析评估, 以下简称落地式、悬浮式和箔条干扰弹。出于保密的考虑, 设定落地式的各项指标值均为 1, 其他的均以落地式为基准取值, 并且它们之间的数值均无任何函数关系。

2.1 评价指标的选取

为建立高效的模型, 只考虑影响这三种型号雷达干扰弹效能的主要因素, 忽略影响较小的次要因素, 选取最大投掷距离、有效干扰范围、最大干扰时间、频段覆盖范围为输出指标, 选取射弹的投掷偏差和支出费用为输入指标。射弹偏差由距离偏差和方向偏差决定, 这里将其简化为投掷偏差, 支出费用由弹药消耗量和单发价格决定。其值如表 1。

表 1 3 种型号雷达干扰弹效能的主要评价指标情况表

性能	型号		
	落地式 干扰弹	悬浮式 干扰弹	箔条 干扰弹
最大投掷距离/km	1	0.8	0.4
有效干扰范围/km ²	1	1.4	0.9
最大干扰时间/min	1	0.3	0.3
频段覆盖范围/GHz	1	1	0.3
投掷偏差/m	1	2	1.6
支出费用/元	1	1.6	1.8

2.2 模型的建立

由式 (1) 建立 DMU_1 , 即落地式干扰弹的 DEA 模型如下:

$$\begin{cases} \min [\theta - 0.00001 \cdot (S_1^- + S_2^- + S_1^+ + S_2^+ + S_3^+ + S_4^+)] \\ \lambda_1 + 2\lambda_2 + 1.6\lambda_3 + S_1^- = \theta \\ \lambda_1 + 1.6\lambda_2 + 1.8\lambda_3 + S_2^- = \theta \\ \lambda_1 + 0.8\lambda_2 + 0.4\lambda_3 - S_1^+ = 1 \\ \lambda_1 + 1.4\lambda_2 + 0.9\lambda_3 - S_2^+ = 1 \\ \lambda_1 + 0.3\lambda_2 + 0.3\lambda_3 - S_3^+ = 1 \\ \lambda_1 + \lambda_2 + 0.3\lambda_3 - S_4^+ = 1 \\ \lambda_j \geq 0 \\ S^- \geq 0, S^+ \geq 0 \end{cases}$$

同理, 可建立 DMU_2 悬浮式和 DMU_3 箔条干扰弹的 DEA 模型, 利用线性规划软件 LINGO 可计算出各个模型解的结果, 如表 2。

表 2 3 种型号雷达干扰弹效能的模型解

参数	型号		
	落地式 干扰弹	悬浮式 干扰弹	箔条 干扰弹
θ	1	0.875	0.563
S_1^-	0	0.35	0
S_2^-	0	0	0.113
S_1^+	0	0.6	0.5
S_2^+	0	0	0
S_3^+	0	1.1	0.6
S_4^+	0	0.4	0.6
λ_1	1	1.4	0.9
λ_2	0	0	0
λ_3	0	0	0

2.3 结果分析

由表 1 可知, DMU₁ 为 DEA 有效, DMU₂、DMU₃ 为非 DEA 有效。由 $X = \theta \cdot X_j - S^-$, $Y = Y_j + S^+$, 可以算出 DMU₂、DMU₃ 的投影值。

对于 DMU₂, $S_1^- > 0$, S_1^+ 、 S_3^+ 、 $S_4^+ > 0$, 说明投掷偏差过大, 最大投掷距离、最大干扰时间、频段覆盖范围没有达到最大值。 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1.4 > 1$, 说明

DMU₂ 为规模效益递减, 当投掷偏差和支出费用递增, 干扰效能会低于输入的增长倍数。其投影值为:

$$X = \theta \cdot X_2 - S^- = 0.875 \times \begin{pmatrix} 2 \\ 16 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0.35 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.4 \\ 1.4 \end{pmatrix},$$

$$Y = Y_2 + S^+ = \begin{pmatrix} 0.8 \\ 1.4 \\ 0.3 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0.6 \\ 0 \\ 1.1 \\ 0.4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.4 \\ 1.4 \\ 1.4 \\ 1.4 \end{pmatrix}$$

这说明 DMU₂ 要 DEA 有效, 投掷偏差、支出费用分别要减小 0.6 和 0.2。

对于 DMU₃, $S_2^- > 0$, S_1^+ 、 S_3^+ 、 $S_4^+ > 0$, 说明支出费用过大, 最大投掷距离、最大干扰时间、频段覆盖范围没达到最大值。 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 0.9 < 1$, 说明 DMU₃

为规模效益递增, 指当投掷偏差和支出费用递增时, 干扰效能会高于输入的增长倍数。其投影值为:

$$X = 0.563 \times \begin{pmatrix} 1.6 \\ 1.8 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0.113 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9 \\ 0.9 \end{pmatrix},$$

$$Y = Y_2 + S^+ = \begin{pmatrix} 0.4 \\ 0.9 \\ 0.3 \\ 0.3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0 \\ 0.6 \\ 0.6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9 \\ 0.9 \\ 0.9 \\ 0.9 \end{pmatrix}$$

这说明 DMU₃ 要 DEA 有效, 投掷偏差、支出费用分别要减小 0.2 和 0.4。

3 结束语

由于该模型进行了定量计算, 因此, 根据 DEA

模型计算出的结果与实际使用效果比较相似。该模型仅是针对某几种特定弹种建立的指标体系, 对于其他单元, 可视具体情况建立有效模型。

参考文献:

[1] 魏权龄. 数据包络分析[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
 [2] 刘广军, 左小勇. 防空导弹武器系统的综合评价[J]. 兵工自动化, 2009, 28(10): 21-23.
 [3] 邵国培, 曹志耀, 何俊, 等. 电子对抗作战效能分析[M]. 北京: 解放军出版社, 1998.
 [4] 鲍鸿飞, 赵祚德, 杜毅. DEA 方法在水雷障碍效能评估中的应用[J]. 四川兵工学报, 2009(1): 66-68.

(上接第 9 页)

仿真实验的环境是 Pentium4 1.4G CPU, BCB 编程。在这种环境下, 系统中相邻两解耦目标点的输出时差不超过 11 ms, 解耦目标点与其对应的真实目标点时差不超过 9 ms, 基本做到了同步。通过实验可以看出, 跟踪过程中误差主要来自 2 个方面, 其一是 glint 噪声及抖动噪声带来的误差, 这是主要的误差来源; 其二是真实角速度变化的幅度对跟踪结果的影响。以上实验及分析证明, 该滤波算法对噪声耦合图像进行去噪是可行的, 无论从速度上还是精度上均可达到较好的结果。

5 结束语

仿真实验表明, 该方法能够有效去除影响稳像的成像噪声, 且具有速度快、精度高的特点。

参考文献:

[1] 卜彦龙, 牛轶峰, 沈林成. 单通道防空导弹导引头图像的弹旋解耦新方法[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(5): 1164-1168.
 [2] 卜彦龙, 沈林成. 单通道红外防空导弹图像解耦方法研究[J]. 宇航学报, 2006, 27(12): 97-103.
 [3] Hower G.A, Martin R.D, Zeh J. Robust Preprocessing for Kalman Filtering of Glint Noise[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, AES-23, 1987, 1: 120-128.
 [4] Wu W.R. Target Tracking with Glint Noise[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1993, 23(1): 174-185.
 [5] 左东广, 韩崇昭, 卞树檀, 等. 闪烁噪声机动目标跟踪的模型集交互跟踪算法[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(4): 767-771.
 [6] 黄怀德, 等. 振动工程[下][M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
 [7] 徐鹏, 黄长宁, 王涌天, 等. 卫星振动对成像质量影响的仿真分析[J]. 宇航学报, 2003, 24(3): 259-263.
 [8] 张炜栋, 马林立. 电控罗经航向数据噪声[J]. 四川兵工学报, 2009(11): 53-55.