

雷达试验评估中的因素作用测算方法及应用

刘 峥^{1,2} 何 峻¹ 张 翼³ 付 强¹

(1. 国防科学技术大学 ATR 国防科技重点实验室, 湖南长沙 410073; 2. 北京航天指挥控制中心, 北京 100094;
3. 北京系统工程研究所, 北京 100101)

摘 要: 在雷达试验评估过程中, 被试雷达存在着多种技术状态, 分析研究各类技术状态在特定条件的适应性是雷达试验评估过程中的一项重要工作。针对通常采用单因素调整法分析适应性存在的诸如因素与性能之间关系难以显示描述、精度不高、对技术状态动态变化难以表示等不足, 引入“相对效率”的思想, 给出了一种基于数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)的 Malmquist 指数法的因素作用测算方法, 研究了雷达试验评估过程中动态变化的技术状态对特定条件的适应性。首先, 阐述了 DEA 的 Malmquist 指数方法的基本理论; 然后, 根据雷达试验评估的实际背景和特点详细, 结合基于 DEA 的 Malmquist 指数方法流程, 给出了雷达试验评估中因素测算方法的决策单元(Decision Making Units, DMU)选取、输入-输出指标确定、DEA 模型选择、距离函数模型选择的原则, 讨论了方法的计算步骤和技术细节; 最后, 通过实例分析验证了方法的合理性和正确性, 给出的结论对实际工作有一定的指导意义。

关键词: 雷达试验评估; 因素作用测算; DEA; Malmquist 指数; 距离函数; 相对效率

中图分类号: TN95 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0530(2011)09-1416-07

Factor Effect Calculation Method and its Application in Radar Test Evaluation

LIU Zheng^{1,2} HE Jun¹ ZHANG Yi³ FU Qiang¹

(1. ATR key Lab., National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;
2. Beijing Aerospace Command Control Center, Beijing 100094; 3. Research institute of system engineering, Beijing 100101)

Abstract: In the process of guidance radar tests evaluation, there are many technical state of radar. It is an important work to analyze the adaptability of various types of technical state under the specific conditions in guidance radar tests evaluation process. Usually, it uses single factor adjusted method to analyze adaptability. But it's hard to describe the relationship between factor and performance and dynamic change of the technical state. Aimed to shortcomings of this method, it introduces an idea of “relative efficiency”, and the factor effect calculation method based on DEA and Malmquist index model is proposed. It studies the adaptability of dynamic change nature of technical state to specific conditions in the radar test evaluation process. First, the DEA Malmquist index theory is introduced. Then, According to the radar test evaluation actual characteristics and combining the flow of the Malmquist index method based on DEA, the principle of how to select the DMU, the input-output index, the DEA model and the distance function model is derived, and the calculation steps and technical details are discussed; At last, Simulation example analysis validate the rationality and correctness of this method, the conclusions have definite significance to practical work.

Key words: radar test evaluation; factor effect calculation; DEA; Malmquist index; distance function; relative efficiency

1 引言

在雷达试验评估过程中,通常采用“试验-修改-再试验-再修改”的模式,在这个过程中,被试雷达存在着多种变化的技术状态。分析研究各类技术状态在特定条件的适应性是雷达试验评估过程中的一项重要工作。但是,雷达试验由于其装备的复杂性、先进性、昂贵性、保密性等原因,实装试验非常有限而且成本很高,全系统的试验则更加有限。如果能利用仿真实

验数据或实装试验数据对各类技术状态在特定条件下的适应性进行定量地分析,便能为后续试验开展,掌握被试雷达技术状况,为最终技术状态的确定提供经验性指导,更能大大提高费效比,减小试验费用的开销。
通常,雷达技术状态对特定条件的适应性分析是通过单因素调整试验来进行的:将特定条件理解为某类影响因素,通过建立因素的定量表征方法参数化各类因素,调整因素的不同参数化取值以获得特定技术状态下的雷达性能,寻求建立因素与雷达性能之间的

关系来分析技术状态对特定条件的适应性。但是,这种方法的问题在于:1)因素与性能之间关系的确定往往缺乏理论指导,而且很多情况下这种关系难以显示描述;2)建立关系往往比较简单,精度不高;3)对于技术状态存在的动态变化特性,这种方法无法建立起理想的关系。针对这些问题,本文考虑从非参数方法入手,引入“相对效率”的思想,基于 DEA 理论的 Malmquist 指数方法,研究雷达试验评估过程中动态变化的技术状态对特定条件的适应性问题。

本文在第二节简单介绍了 DEA 理论和 Malmquist 指数基础,在第三节针对雷达试验评估过程中技术状态变动的特点,给出了一种基于 DEA 的 Malmquist 指数方法的因素作用测算方法,结合雷达试验评估的实际特点详细讨论了方法的计算步骤和技术细节,最后给出了评估实例分析了如何在存在多种技术状态条件下度量因素的作用,结论验证了该方法的合理性和正确性。

2 DEA 理论基础

DEA 方法是运筹学家 A.Charnes 和 W.W.Cooper 等在生产领域里,基于“相对效率”的概念发展起来的一种系统分析方法^[1]。DMU 具有多个输入和输出,要对 DMU 做出评价,就必须为每个输入和输出赋予一定权重,对其输入和输出进行综合。设输入权向量 $V=(v_1, v_2, \cdots, v_m)^T$, 输出权向量 $U=(u_1, u_2, \cdots, u_n)^T$, 为书写方便,记输入和输出向量为 $X_0=X_{i_0}, Y_0=Y_{i_0}, 1 \leq i_0 \leq s$, 称

$$h_{i_0} = \frac{U^T Y_{i_0}}{V^T X_{i_0}} = \frac{\sum_{k=1}^n u_k y_{ki_0}}{\sum_{l=1}^m v_l x_{li_0}} \tag{1}$$

为 DMU_{*i*₀} 的效率评价指数。效率评价指数 h_{i_0} 越大,说明 DMU_{*i*₀} 越能用相对较少的输入获得相对较多的输出。在大多数工业生产和经济生活中,消耗投入最少“资源”以获得最大产出“效益”的生产或投资方案是决策者所追求的理想目标。

在生产领域,设生产可能集为 T , 输入和输出向量分别为 $X=(x_1, x_2, \cdots, x_m)^T$ 和 $Y=(y_1, y_2, \cdots, y_s)^T$, 有 $(X, Y) \in T$, 如果不存在 $(X, Y') \in T$, 其中 $Y \leq Y'$, 则称 (X, Y) 为有效生产活动,对于生产可能集 T , 称全部有效生产活动 (X, Y) 构成的函数 $Y=f(X)$ 为生产函数。生产函数是在一定的技术条件下,任何一组输入和最大输出之间的函数关系。规模效益 (return to scale) 的定义描述了生产函数的性质,如图 1 所示,它可分为可变 (Variable Return to Scale, VRS, 包含递增和递减) 和不变 (Constant Return to Scale, CRS) 两类。

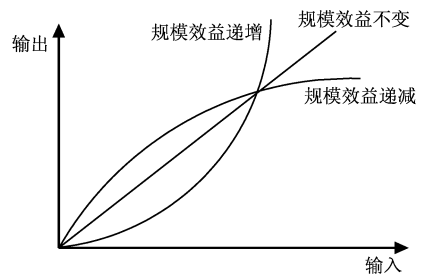


图 1 DMU 规模效益示意图
Fig. 1 The return to scale of DMU

距离函数是研究多输入多输出系统效率的重要工具,它可以从输入和输出两个角度来衡量,下面以输出角度为例进行说明。则第 t 期的输出距离函数分别为

$$D_o^t(X^t, Y^t) = \inf \{ \delta | \delta > 0, (Y^t/\delta) \in P^t(X^t) \} \tag{2}$$

其中, P^t 表示与生产集有关的输出集。可以看到,输出距离函数表示的是在输入固定的情况下,输出与最大可能输出的比值。

设 (X^t, Y^t) 和 (X^{t+1}, Y^{t+1}) 分别表示第 t 期和 $t+1$ 期的输入和输出, $D_o^t(X^t, Y^t)$ 表示以第 t 期技术为参照,第 t 期的输出距离函数; $D_o^t(X^{t+1}, Y^{t+1})$ 表示以第 t 期技术为参照,第 $t+1$ 期的输出距离函数。则第 t 期的输出 Malmquist 生产率指数 (Malmquist Productive Index, MPI) 为^[2]

$$M_o^t(X^t, Y^t, X^{t+1}, Y^{t+1}) = \frac{D_o^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_o^t(X^t, Y^t)} \tag{3}$$

进一步,式(3)可以表示为^[3, 4]

$$\begin{aligned} M_o^t(X^t, Y^t, X^{t+1}, Y^{t+1}) &= \frac{D_o^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_o^t(X^t, Y^t)} \cdot \left[\frac{D_o^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_o^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})} \cdot \frac{D_o^t(X^t, Y^t)}{D_o^{t+1}(X^t, Y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= EC \times TC \end{aligned} \tag{4}$$

其中, EC 和 TC 分别表示第 t 期到第 $t+1$ 期所发生的效率变化和技术变化。

$$\begin{aligned} EC &= \frac{D_o^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_o^t(X^t, Y^t)} \\ TC &= \left[\frac{D_o^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_o^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})} \cdot \frac{D_o^t(X^t, Y^t)}{D_o^{t+1}(X^t, Y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \tag{5}$$

MPI 反映了技术效率受因素作用的变化程度,它表明当因素发生变化时,评估对象相对技术效率的变化情况;TC 指数反映了因素变化对技术水平的推动作用,它表明当因素发生变化时技术水平的变化情况;EC 指数反映了评估对象的效率对因素变化的适应能力,它表明当因素发生变化时评估对象距离技术水平的变化情况。

3 雷达试验评估中的因素作用测算方法

雷达试验评估过程中,需要进行多阶段、多批次的试验,“试验-修改-再试验-再修改”的试验模式使得被试雷达存在着多种技术状态。这些技术状态的改变主要包括:1)雷达在试验过程中对某些处理环节可能进行了修改;2)雷达处理软件的参数设置可能存在的差异等。技术状态的改变使得雷达性能同样发生着变化,本节引入“相对效率”的概念,基于 DEA 的 Malmquist 指数法,研究随着试验条件、影响因素的变化,多种技术状态下的雷达性能变化如何定量描述的问题。

3.1 基本原理

在生产理论当中,既有序列性又有截面性的数据被称为面板数据(Panel Data),它的序列性是由时间变化引起。对于雷达试验评估这一问题,面板数据的序列性是由影响因素变化所引起。很显然,将影响因素变化引起的序列性看作是生产理论中面板数据的序列性是完全合理的,它们只存在表面上的差异,可以采用与时间变化相同的思路来分析影响因素的变化。

Malmquist 指数法是生产理论中分析面板数据的一类重要方法。由第 2 节的基本理论,对应到雷达试验评估中来:技术变化反映了因素变化对雷达技术效率的改善情况,衡量了因素变化对现有技术水平的作用;效率变化反映了因素变化对评估对象效率的影响情况,衡量了评估对象对因素变化的适应程度。基于 Malmquist 指数的雷达因素作用测算方法如图 2 所示。

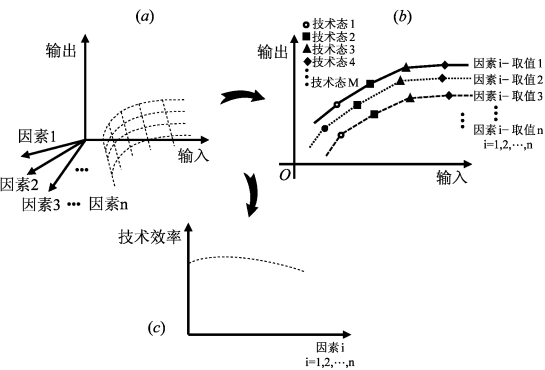


图 2 基于 Malmquist 指数的雷达因素作用测算方法示意图
Fig. 2 The sketch map of the factor effect calculation method based on Malmquist index

图 2 中,(a)为“输入-输出-因素”关系的三维空间;若考虑其中一个因素或是多个因素组合的影响,可以得到(b)所示的情况;在相同的因素条件下,可以将“输入-输出”转化为相对“技术效率”,如(c)所示。由此可见,雷达试验评估问题中“输入-输出-因素”构成的三维空间可以转换到二维空间,并通过 DEA 方法在

二维空间里来研究“输入-输出-因素”之间的关系,输入和输出的变化是某一因素或多个因素的组合在“输入-输出”构成平面的投影,利用 DEA 的 Malmquist 指数法可以定量测算各因素的作用;将相同因素条件下的“输入-输出”转化为评估对象的相对“技术效率”,便可利用 DEA 方法分析多指标下的技术效率问题。下面讨论雷达试验评估中因素作用测算方法的算法流程和技术细节。

3.2 算法流程与技术细节

3.2.1 决策单元选取

运用 DEA 的 Malmquist 指数法进行雷达性能因素作用测算的首要问题是要确定评估的参考集,即选择决策单元。为了使得分析结果的现实意义更强、分析过程可参考性更高,基本要求是要选择同类型决策单元。

雷达试验评估过程中,同一批次试验通常是在相似的试验环境和相似的试验条件下进行的,试验目标和任务是力求在可承受的代价范围内或减小消耗性的代价以达到较高的性能。因此,将同批次试验过程中存在的多类技术状态作为决策单元,符合决策单元需为同类型的基本要求。

3.2.2 “输入-输出”指标确定

“输入-输出”指标选取的科学性和合理性直接决定能否全面、准确地反映雷达的真实性能。在运用 DEA 的 Malmquist 指数法定量分析雷达性能因素作用时,需要结合实际需求,根据实际情况建立“输入”和“输出”指标。

在雷达工作过程中,杂波、目标、干扰、雷达平台运动、传输等因素是影响其性能的主要因素,需要根据因素影响的不同,有针对性地选取“输入-输出”指标。例如,对于搜索检测阶段,“输入”可以是搜索检测时间、虚警概率、检测引起的威胁系数等,“输出”则是对目标的检测概率;对于测量跟踪阶段,“输入”可以是测量跟踪时间、测量误差所要付出的代价等,“输出”则可以是测量精度等。

总体来说,“输入-输出”指标的确定不是唯一的,需要根据评估所期望达到的目的和评估实际情况进行选取。

3.2.3 DEA 模型选择

DEA 有两种基本的模型— C^2R 模型和 C^2GS^2 模型^[5],这两种模型的区别在于是否作了锥性假设。对于雷达试验评估而言,需要根据具体的评估对象,讨论锥性假设是否适合于该对象的评估问题,以便选取恰当的 DEA 模型。

雷达工作要经历对目标的检测、识别、跟踪测量等过程,对于不同阶段的性能,有不同的性能指标来衡量,如检测阶段,有检测概率、漏检概率等;识别阶段,

有识别率等;跟踪测量阶段,有测距精度、测角精度等。不同的性能指标,存在不同的特点,如概率型指标,值域范围都在 $[0,1]$ 之间;数值型指标,对于值域范围没有太多限制。雷达试验评估中,当采用概率型性能指标时,DMU 的输出是存在上限的,它不会随着输入的增大而无限增大,因此,在该应用背景不应采用锥性假设;当采用数值型性能指标时,DMU 的输出没有上限,输出随着输入的增大而增大,若没有锥性假设也就不适用于该应用背景了。

从生产函数的角度来看,当评估指标是概率型时,雷达技术的总体特性属于规模效益递减, C^2GS^2 模型更适合此种情况的技术特点;当评估指标是数值型时,雷达技术的总体特性属于规模效益不变, C^2R 模型更适合此种情况的技术特点。图 3 为两类规模效益的 DEA 示意图。

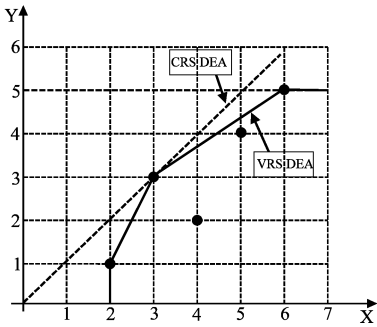


图 3 两类规模效益 DEA 示意图
Fig.3 The sketch map of the two return to scale DEA

3.2.4 距离函数模型选择

距离函数包括输入和输出型两类。在规模效益可变的情况下使用 DEA 方法来计算距离函数,有可能出现线性规划无可行解的问题,因此需要对距离函数类型进行合理地选取。文献[6]对线性规划无可行解的情况做了形象的解释,并指出其本质原因在于^[6]:缺乏足够的观测数据来逼近真实的生产函数。何峻^[7]针对 ATR 评估问题的特点,讨论了几种典型的无可行解的情况并给出了解决对策,本文借鉴其解决对策,将其应用到雷达试验评估中的因素测算方法中来。

雷达试验评估过程中,“输入”和“输出”随因素的变化关系大致可以归纳为以下几种情况,其单输入单输出情况如图 4 所示。

(1) 随因素的变化,输入基本不受影响,输出变化。例如考虑杂波或目标因素时,输入为信号处理方法的复杂度,如图 4(a)所示;

(2) 随因素的变化,输入增大(或减小),输出提高(或下降)。例如考虑带宽因素时,输入为数据存储容量或是数据更新率,如图 4(b)所示;

(3) 随因素的变化,代价增大(或减小),性能下降

(或提高)。例如因素为目标数量时,输入为跟踪时间、数据存储量或是数据更新率,如图 4(c)所示。

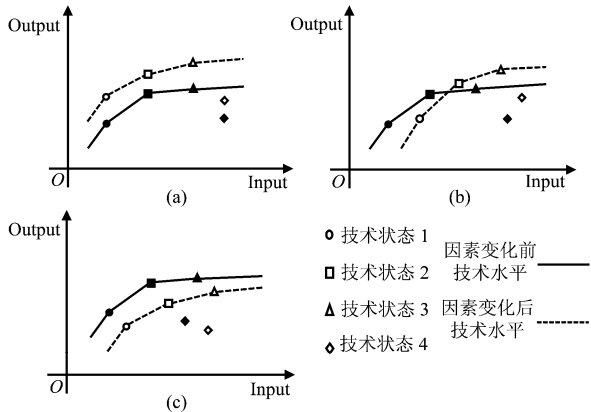


图 4 因素变化对“输入-输出”的影响
Fig.4 The effect of factor change on “input-output”

图 4(a) 所代表的情况,需要从输出角度来定义 MPI,计算输出距离函数可以有效避免无可行解情况的发生;图 4(b) 所代表的情况,需要以因素变化前的水平为基期来计算邻期的输出距离函数,或者以因素变化后水平为基期来计算邻期的输入距离函数;对于图 4(c) 所代表的情况,评估对象为技术状态 4 时,如果以因素变化前的水平作为参考,则无论是采用哪种类型的距离函数,都可能出现无可行解的情况。

为避免无可行解情况的出现,应根据问题背景并结合试验结果合理地选择基期以及距离函数类型(输入型或输出型)。

3.2.5 方法小结

根据前述分析,下面给出基于 DEA 的 Malmquist 指数法的雷达试验评估中因素作用测算方法流程,如图 5 所示。

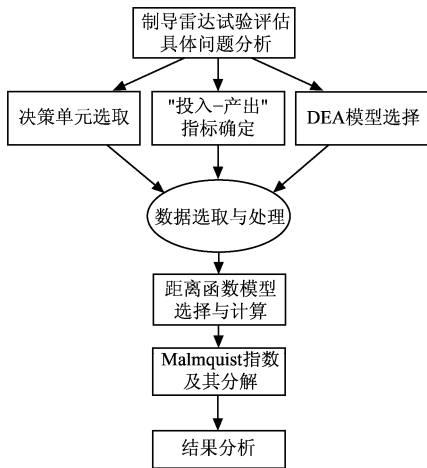


图 5 基于 DEA 的 Malmquist 指数法的雷达试验评估中因素作用测算方法流程

Fig.5 The flow of factor effect calculation method based on DEA Malmquist index method

4 实例分析

本节利用雷达仿真平台,通过构建多类技术状态和因素的变化状态,对前面介绍的方法进行验证分析。

4.1 实例 1

雷达跟踪测量过程中,选择杂波特性作为因素,分析因素变化对各类技术状态的影响,评估因素对雷达技术状态系统效率和技术水平的作用。

4.1.1 方法设计与数据特性分析

选取 8 个不同雷达技术状态作为 DMU,编号 1~8。杂波特性因素主要考虑杂波时间相关性,取相关性的 5 个离散值:0.93、0.75、0.36、0.11、0.07。分别对 8 个不同雷达技术状态下,不同杂波时间相关性下的测角性能进行仿真,并将测量引起的最后攻击位置与实际目标位置之间的关系作为威胁系数,离实际目标位置越远,威胁系数越小。选择测角均方差的倒数为“输出”指标值;测量引起的威胁系数的倒数为“输入”指标值。由此获得一组单输入/单输出的情况,如图 6 所示。

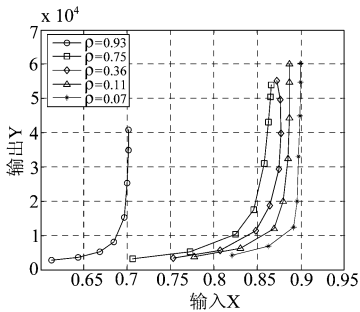


图 6 实例 1 不同因素条件下 DMU 的“输入-输出”示意图
Fig. 6 The “input-output” of DMU under the difference condition in example 1

由图 6 可以看出,本实例中的输出指标数据属于数值型,DMU 输出随着输入的增大而增大,根据第 3.2.3 节的分析,含有锥性假设的模型更适合本实例的情况,因此选择 C^2R 模型。由第 2 节的分析可知,曲线斜率最大值对应的技术状态的效率最高,即以较小的威胁系数获得较低的测量均方差,其他技术状态要获得与之相当的效率,需要以增大一定的威胁为代价,换取测量误差的降低,这完全是合乎实际情况的。

4.1.2 评估结果

计算距离函数(均以相关性较大的条件作为基期),然后根据式(4)和式(5)来计算因素变化过程中,8 类技术状态的技术变化和效率变化指数,具体结果见表 1 和表 2。

由表 1 可以看出,杂波时间相关性由 0.93 变化到 0.11 时,即相关性减弱时,所有雷达技术状态的技术变化指数都大于 1,这说明,随着相关性的减弱,雷达各类

技术状态的技术水平得到了提升;当相关性由 0.11 变化到 0.07 时,各技术状态的技术变化指数约略小于 1 (接近于 1,可以认为约等于 1),这说明,当相关性小到一定程度下,杂波时间相关性对雷达各技术状态技术水平的影响趋于平缓,其对测量结果的影响比杂波相关性大时的影响要小。

表 1 实例 1 参评各技术状态技术变化指数
Tab. 1 The technology change index of each technological state in example 1

单元号	杂波时间相关性			
	0.93 ~ 0.75	0.75 ~ 0.36	0.36 ~ 0.11	0.11 ~ 0.07
1	1.0704	1.0145	1.0704	0.9868
2	1.0727	1.0089	1.0714	0.9916
3	1.0704	1.0141	1.0683	0.9904
4	1.0691	1.0146	1.0721	0.9880
5	1.0704	1.0150	1.0704	0.9909
6	1.0698	1.0153	1.0718	0.9893
7	1.0704	1.0145	1.0726	0.9901
8	1.0700	1.0150	1.0720	0.9900
平均值	1.0704	1.0140	1.0711	0.9896

表 2 实例 1 参评各技术状态效率变化指数
Tab. 2 The efficiency change index of each technological state in example 1

单元号	杂波时间相关性			
	0.93 ~ 0.75	0.75 ~ 0.36	0.36 ~ 0.11	0.11 ~ 0.07
1	0.9342	0.9718	1.0290	1.0704
2	1.1340	1.0182	1	1.0625
3	1.4962	1.0703	0.9624	1.0146
4	1.6567	1.0300	0.9708	0.9970
5	1.5438	0.9141	1.0150	1.0185
6	1.2956	0.8940	1.0293	1.0108
7	1.0972	0.9573	1.0134	0.9967
8	1	1	1	1
平均值	1.2448	0.9804	1.0022	1.0210

由表 2 中不难看到,相关性由 0.75 变化到 0.07 时,效率变化指数随因素变化的波动较平缓;而 0.93 变化到 0.75 时,各技术状态技术效率指数波动很大。这说明,相关性较大时,相关性变化给各技术状态带来的影响比相关性较小时要大。

为了从整体上把握因素变化所带来的影响,将 4 次变化过程中的评价指数取几何平均值,如表 3 所示。

表 3 实例 1 因素变化过程中评价指数的几何平均值
Fig. 3 The geometric mean of evaluation index in the process of factors change

单元号	Malmquist 指数	TC 指数	EC 指数
1	1.0349	1.0349	1
2	1.0898	1.0355	1.0524
3	1.1576	1.0352	1.1183
4	1.1737	1.0353	1.1337
5	1.1387	1.0361	1.0990
6	1.0854	1.0360	1.0478
7	1.0517	1.0363	1.0149
8	1.0361	1.0361	1
平均值	1.0948	1.0357	1.0571

由表 3 可以看出,本实例中,随着杂波时间相关性的减小,雷达各技术状态的相对效率整体平均提高了 9.5%,最优技术状态的整体平均性能提升了约 3.6%,效率提升了 5.7%。对各技术状态来说,平均技术变化指数接近,状态 3、4、5 的平均效率变化指数较大,平均相对效率提高较大,这说明因素变化对于状态 3、4、5 的影响较大。

4.2 实例 2

雷达检测过程中,选择目标特性作为因素,分析因素变化对各类技术状态的影响,评估因素对雷达技术状态系统效率和技术水平的作用。

4.2.1 方法设计与数据特性分析

选取 6 个雷达不同技术状态作为 DMU,编号 1 ~ 6。目标特性因素主要考虑目标特性综合变化(包括幅度、起伏、散射中心展布、均匀分布特性等),取 5 类目标,编号 1 ~ 5,其目标特性对检测性能的影响逐渐减弱。分别对 6 个不同雷达技术状态下每一类目标的检测性能进行仿真,选择检测概率为“输出”指标值;一次检测所需时间为“输入”指标值。由此获得一组单输入/单输出的情况,如图 7 所示。

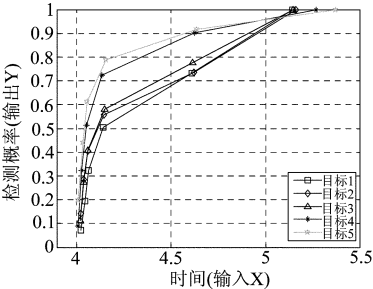


图 7 实例 2 不同因素条件下 DMU 的“输入-输出”示意图
Fig. 7 The “input-output” of DMU under the difference condition in example 2

由图 7 可以看出,本实例中的输出指标属于概率型指标,DMU 输出不会随着输入的增大而无限制的增大,根据第 3.2.3 节的中分析,含锥性假设的模型不适合本实例的情况,因此选择 C^2GS^2 模型。

4.2.2 评估结果

计算距离函数(均以目标特性影响较大条件作为基期),然后根据式(4)和式(5)来计算因素变化过程中,6 类技术状态的技术变化和效率变化指数,具体结果见表 4 和表 5。

表 4 实例 2 参评各技术状态技术变化指数
Tab. 4 The technology change index of each technological state in example 2

单元号	目标特性			
	1 ~ 2	2 ~ 3	3 ~ 4	4 ~ 5
1	0.9610	1.0440	1.0010	0.9761
2	0.9940	1.0617	1.1609	1.0140
3	1.1005	1.0440	1.2449	1.0917
4	1.2500	1.0050	1.2578	1.2001
5	1.4608	0.9556	1.1848	1.3686
6	1.9843	0.7943	0.7840	2.2648
平均值	1.2497	0.9794	1.0914	1.2609

表 5 实例 2 参评各技术状态效率变化指数
Tab. 5 The efficiency change index of each technological state in example 2

单元号	目标特性			
	1 ~ 2	2 ~ 3	3 ~ 4	4 ~ 5
1	1	1	1	0.9998
2	1.0073	0.9983	1.0018	1
3	1.0011	0.9990	1.0005	1.0001
4	0.9999	0.9988	1.0004	1.0002
5	1.0007	0.9995	0.9997	0.9987
6	1.0024	0.9978	1.0060	0.9974
平均值	1.0019	0.9989	1.0014	0.9994

由表 4 可以看出,目标特性发生变化时,雷达技术状态 1 ~ 5 的技术变化指数都在 1 附近,多数指数大于 1,这说明,雷达技术状态的水平得到了提升;技术状态 6 的技术变化指数在随因素变化起伏很大,这说明,因素对这一技术状态水平的影响很大。

由表 5 中不难看到,目标特性发生变化时,效率变化指数随因素变化的波动较平缓,这说明,目标特性变化给各技术状态带来的效率变化不大。

为了从整体上把握因素变化所带来的影响,将 4

次变化过程中的评价指数取几何平均值,如表 6 所示。

表 6 实例 2 因素变化过程中评价指数的几何平均值

Fig. 6 The geometric mean of evaluation index in the process of factors change

单元号	Malmquist 指数	TC 指数	EC 指数
1	0.9950	0.9950	0.9999
2	1.0577	1.0557	1.0018
3	1.1181	1.1179	1.0002
4	1.1737	1.1735	0.9998
5	1.2261	1.2266	0.9997
6	1.2946	1.2934	1.0009
平均值	1.1397	1.1392	1.0004

由表 6 可以看出,实例 2 中,随着目标特性的变化,雷达各技术状态的相对效率在整体上平均提高了 13.9%,而目标特性的变化对技术状态在整体上平均性能的提升起到了主要作用。并且技术状态 1~6 的技术变化指数逐渐增大,这说明因素变化对技术状态 6 的影响相对更大。

5 结论

本文基于 DEA 的 Malmquist 指数法,针对雷达试验评估过程中技术状态存在变动的特点,给出了一种不同于传统“因素-性能”建模方法的因素作用测算方法。结合雷达试验评估的实际特点详细讨论了方法的基本原理、算法流程和技术细节,通过仿真实例分析了如何在存在多种技术状态条件下度量因素的作用,实例验证了该方法的合理性和正确性。

实际试验评估过程中,针对很多“输入-输出”指标为区间型的情况,还需要从区间 DEA 方法入手解决;另外针对实际试验评估过程中存在的数据特点、因素不确定性等问题,还需要进一步的研究。

参考文献

[1] Charnes A., Cooper W., Wei W. Cone ratio data envelopment analysis and muti-objective programming[J]. International Journal of System Science. 1989(No. 20):1099-1118.

[2] Shephard R. W. The Theory of cost and production function[M]. Princeton: Princeton University Press, 1970.

[3] Fare R., Grosskopf S. Biased technical change and malmquist productivity index[J]. Scandinavian Journal of Economics. 1997, 99: 119-127.

[4] Fare R., Grosskopf S., Norris M. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries[J]. The American Economic Review. 1994, Vol. 84(No. 1): 66-84.

[5] Charnes A., Cooper W., Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operation Research. 1978, 2: 429-444.

[6] Ray S. C., Mukherjee K. Decomposition of the Fisher ideal index of productivity; a nonparametric analysis of US Airline data[J]. The Economic Journal. 1996, 106: 1659-1678.

[7] 何峻. 自动目标识别评估方法研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2009.

He Jun. Research on Automatic Target Recognition Evaluation Method[D]. ChangSha: National University of Defense Technology. 2009. (in Chinese)

作者简介

刘 峥(1981-),男,湖南湘潭人,国防科学技术大学电子科学与工程学院博士研究生,主要研究方向: 雷达信号处理、自动目标识别、自动目标识别与雷达系统性能评估。
E-mail: lz000lz000@yeah.net

何 峻(1979-),男,国防科学技术大学信息与通信工程专业博士,国防科学技术大学电子科学与工程学院讲师,主要研究方向为雷达信号处理、自动目标识别及其性能评估。

张 翼(1981-),男,河北保定人,国防科学技术大学信息与通信工程专业博士,北京系统工程研究所工程师。主要研究方向: 雷达信号处理与自动目标识别。

付 强(1962-),男,湖南长沙人,国防科学技术大学信息与通信工程专业博士,国防科学技术大学电子科学与工程学院教授、博士生导师,分别获国家科技进步二等奖、全军科技进步奖、部委级科技进步奖共 6 项,在国内外发表学术论文 40 余篇,主要研究方向为雷达系统设计、信号处理与自动目标识别。