

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.05.005

灵敏度分析在 KPP 需求排序中的应用

孟凡凯, 喻中华

(解放军炮兵学院 研究生系, 安徽 合肥 230031)

摘要: 针对武器装备作战需求论证过程中关键性能指标 (Key Performance Parameter, KPP) 需求排序问题, 提出采用灵敏度分析法对关键性能指标进行科学合理的排序。介绍武器装备关键性能指标需求排序模型, 分析其步骤, 以中国某型自行火炮关键性能指标需求排序为例, 进行自行火炮系统效能模型。结果表明, 利用该方法可科学、直观地确定武器装备关键性能指标对系统效能的影响大小, 下一步将研究多因素同时变化灵敏度分析。

关键词: 灵敏度; 关键性能指标; 需求排序

中图分类号: O223 **文献标识码:** A

Application of Sensitive Degree Analysis in KPP Requirement Sequence

MENG Fan-kai, YU Zhong-hua

(Dept. of Postgraduate, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: Aiming at the problem of Key Performance Parameter (KPP) requirement sequence in campaign requirement of weapons and equipment, put forward a point of using sensitive degree analysis method to rank KPP scientifically and reasonably. KPP requirement sequence model of weapons and equipment is introduced, analyses the steps and builds system efficiency model on the example of a kind of Chinese auto-mobile cannon. The result indicates that the method can reckon how much degree the KPP affects system efficiency intuitionistically and scientifically. Sensitive degree analysis which many factors vary simultaneously will be researched at next step.

Keywords: Sensitive degree; KPP; Requirement sequence

0 引言

关键性能指标是指对有效军事能力的发展不可缺少的、至关重要的, 或者对作战构想中所定义的作战特性有重要贡献的系统属性或特征^[1]。通常情况下, 通过武器装备作战需求分析, 可以得出武器装备系统需要发展的一组关键性能指标。但这组关键性能指标中的单个指标谁重谁轻, 在随后的武器装备发展过程中应首先发展哪个关键性能指标是亟待解决的问题。故采用灵敏度分析方法对关键性能指标进行科学合理的排序, 找出需求重点。

1 排序的模型

武器装备关键性能指标需求排序模型描述为:

$$\begin{cases} E = \sum_{i=1}^n e_i = f(p_*) \\ f(p_*^m - p_*^x) = F(e_i^m - e_i^x) = \Delta E_i \\ \max \Delta E_i \rightarrow P \\ p_* \rightarrow e_i \end{cases} \quad (1)$$

其中, 第 1 行公式中, E 为武器系统的效能, e_i 分别表示武器系统各分系统的效能, p_* 表示武器系统某个关键性能指标, f 为对应函数。第 1 行公式

表示武器装备系统的效能既是其各分系统效能之和, 又由关键性能指标决定; 第 2 行公式中, p_*^m 是武器装备关键性能指标的目标值, p_*^x 为武器装备关键性能指标的现状, $p_*^m - p_*^x$ 为关键能力指标差距 (或称发展区间), $F(e_i^m - e_i^x)$ 表示关键性能指标 p_* 的差距所造成的分系统效能差距, ΔE_i 表示关键性能指标 p_* 的差距所造成的武器系统效能差距。 $\max \Delta E_i \rightarrow P$ 中, P 为需求度最高即最应优先发展的关键性能指标, 是对 ΔE_i 影响最大的指标; 根据 ΔE_i 变化大小可依次对关键性能指标排序。 $p_* \rightarrow e_i$ 表示关键性能指标与武器分系统的对应关系。

2 分析的步骤

采用灵敏度分析对武器装备关键性能指标需求排序一般可分为 4 个步骤: 1) 建立武器系统效能的数学模型; 2) 针对武器系统效能, 对关键性能指标进行灵敏度分析; 3) 确定关键能力指标发展区间内系统效能增量; 4) 依据系统效能增量大小对关键能力指标重要程度排序。

2.1 建立武器装备系统效能的数学模型

收稿日期: 2009-12-23; 修回日期: 2010-02-05

作者简介: 孟凡凯 (1981-), 男, 河北人, 炮兵学院在读博士研究生, 从事国防系统分析与构模研究。

建立武器系统效能的数学模型的方法很多, 主要有统计试验法、解析法、指数法和作战模拟法、ADC 法、专家评估法等。建立武器系统效能的数学模型的目的, 一是明确武器系统效能的构成; 二是明确武器装备关键性能指标对武器系统效能的制约关系。

2.2 对关键性能指标进行灵敏度分析

对关键性能指标进行灵敏度分析时, 采用单因素变化灵敏度分析, 即以武器系统其他关键性能指标保持不变的前提下, 逐一变动某个关键性能指标, 观察武器系统效能值的变化情况, 分析其灵敏程度。在计算过程中需要在 2 个方面重点把握。首先, 就是分析过程要与武器装备实际情况结合, 确保关键性能指标取值的合理性。取值范围不能过大或过小。其次, 就是要确定关键性能指标变化的取值间隔。取值步长亦不能过大或过小。重点把握这两方面的原因: 首先是使问题分析不失真, 能够合理有效地反映系统效能的敏感性。保证通过分析可以获得有价值的结论。其次, 避免增加不必要的计算量。

2.3 确定关键能力指标发展区间内系统效能增量

在关键能力指标与总体效能灵敏度分析曲线上分别查取关键能力指标的目标值和实际值对应的武器系统效能, 两者的差值即为武器系统效能的变化量 ΔE_i 。

2.4 关键能力指标重要程度排序

根据 ΔE_i 值的大小对关键能力指标重要程度进行排序。

3 应用举例

以中国某型自行火炮关键性能指标需求排序为例。建立自行火炮系统效能模型为^[2]:

$$E = \sum_{i=1}^4 w_i e_i \quad (2)$$

其中, e_1 、 e_2 、 e_3 、 e_4 分别代表指挥控制系统效能、火力火控系统效能、运行系统效能和防护系统效能, w 为各系统的权重。火力火控系统 e_2 效能为:

$$e_2 = \sqrt[4]{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4} \quad (3)$$

其中, C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 分别代表火力持续能力、火力反应能力、火力覆盖能力、火力毁伤能力。在此, 对火力持续能力对应的关键性能指标—持续射速 V 和火力反应能力对应的关键性能指标—系统

反应时间 T 两者进行灵敏度分析。作战能力的量化采取标准炮法。

火力持续能力 C_1 为:

$$C_1 = \frac{Q}{Q_0} \quad (4)$$

$$Q = \frac{S/V}{S/V+L} \quad (5)$$

其中, Q 为自行火炮持续射击概率; Q_0 为标准炮持续射击概率; S 为自行火炮的携弹量; V 为自行火炮持续射速; L 为弹药补充时间。

由于系统反应时间为自行火炮的固有性能, 且火力反应能力主要由系统反应时间决定。所以火力反应能力为:

$$C_2 = T_0/T \quad (6)$$

其中, T_0 为标准炮系统反应时间, T 为自行火炮系统反应时间。

在进行灵敏度分析之前做如下假设: 1) 自行火炮系统效能最大值为 1, 经计算 $w_1 e_1 + w_3 e_3 + w_4 e_4$ 等于 0.5, 即赋予自行火炮系统效能初值 0.5 (当火力火控系统失效时); 2) 自行火炮实际持续射速 $V=4$ 发/s, 实际系统反应时间 $T=40$ s, 持续射速目标值 $T^m=8$ 发/s, 系统反应时间目标值 $T^m=30$ s。

灵敏度分析结果如图 1 和图 2 (由于 E 最小值为 0.5, 所以不考虑纵轴 0 至 0.5 阶段)。

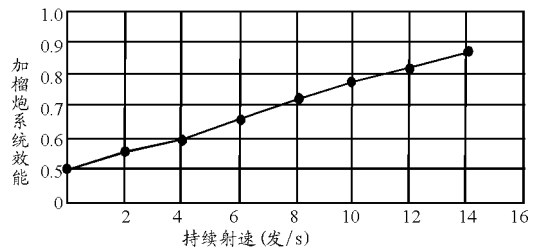


图 1 持续射速灵敏度分析曲线

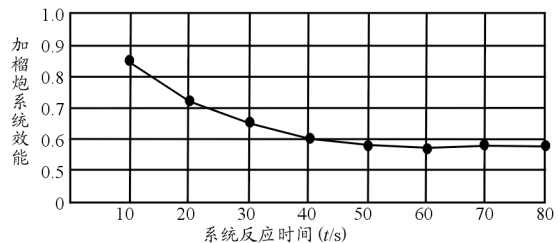


图 2 系统反应时间灵敏度分析曲线

通过对图 1 持续射速实际值与目标值对应系统效能值的查取, 可以求得 $\Delta E_1=0.71-0.595=0.105$; 通过对图 2 系统反应时间实际值与目标值对应系统效能值的查取, 可以求得 $\Delta E_2=0.662-0.595=0.067$ 。

(下转第 23 页)

一: ① $Eu_i > Eu_j$; ② $Eu_i = Eu_j$, 且 $Du_i < Du_j$, 记 $S_i > S_j$ 。 S_i 等价于 S_j 是指 $Eu_i = Eu_j$, $Du_i = Du_j$, 记为 $S_i \sim S_j$ 。 d_i 劣于 d_j 是指下列 2 种情况之一发生:

① $Eu_i < Eu_j$; ② $Eu_i = Eu_j$, 且 $Du_i > Du_j$, 记 $S_i < S_j$ 。

以上定义的区间值优先序具有如下性质:

性质 1 传递性 $S_i > S_j, S_j > S_k, \Rightarrow S_i > S_k$ 。

性质 2 连通性 对任意 $S_i, S_j \in S, i \neq j$,

$S_i > S_j, S_i \sim S_j, S_i < S_j$ 这 3 种情况有且只有一种情况发生。

因此, 可以首先计算 Eu_i 和 $Du_i, i=1,2,\dots,m$; 然后比较 $Eu_i, i=1,2,\dots,m$ 的大小, 当 $Eu_i = Eu_j$, 再比较相应的 Du_i 和 Du_j 的大小; 最后给出对应方案的排序结果 $S'_1 > S'_2 > \dots > S'_m, S'_i \in S, i=1,2,\dots,m$ 。

2 不确定性多属性统计方法在战场目标排序中的应用

考虑一个防空重点保卫目标优选与排序问题^[1], 通常情况下防空保卫目标的重要程度以目标价值、保卫迫切程度和工程特征 3 个属性作为评估指标。设有 5 个防空重点目标需要保卫。并假定属性的权重向量为 $W = (0.4, 0.4, 0.2)$ 。决策者以区间值这种不确定形式给出了各方案的属性值。为简化算法, 设表 1 为规范化的决策矩阵。

表 1 规范化决策矩阵

属性	W_1	W_2	W_3
x_1	[0.287, 0.356]	[0.199, 0.294]	[0.113, 0.187]
x_2	[0.186, 0.231]	[0.126, 0.168]	[0.183, 0.292]
x_3	[0.084, 0.115]	[0.126, 0.210]	[0.122, 0.198]
x_4	[0.236, 0.292]	[0.206, 0.311]	[0.244, 0.367]
x_5	[0.084, 0.154]	[0.133, 0.282]	[0.122, 0.233]

利用文中提出的算法, 式 (1) 计算各目标的综合评价值的期望和方差, 结果见表 2。

表 2 各目标综合评价变量的期望与方差

属性	E_u	D_u
x_1	0.257 2	1.615×10^{-2}
x_2	0.189 7	1.101×10^{-2}
x_3	0.139 0	8.2×10^{-3}
x_4	0.270 1	1.597×10^{-2}
x_5	0.166 1	9.89×10^{-3}

各方案的期望值严格递减排列, 故方差的大小可以不需要讨论, 得到的排序结果为 $x_4 > x_1 > x_5 > x_2 > x_3$, 该结果与文献[1]的排序结果完全一致。

显然, 文中的方法更简单易行, 且具备一定的统计理论性质, 克服了现行战场目标排序存在的缺陷。

3 结束语

算例说明了模型的适应性, 但随机变量的统计特征与随机变量分布本身包含的信息仍有差距, 还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 宁伟华, 李海龙, 席吉席. 基于不确定多属性决策的防空重点保卫目标优选与排序[J]. 空军工程大学学报, 2006, 7(4): 28-31.
- [2] 徐长江, 王乐群. 基于不确定多属性决策的空中目标威胁评估技术[J]. 现代防御技术, 2009, 37(4): 5-9.
- [3] 王进, 蒋宝唐, 周文学. 区间数 TOPSIS 法在战场目标优选中的应用[J]. 电光与控制, 2007, 14(4): 73-76.
- [4] 卢盈齐, 王颖龙, 祝长英. TOPSIS 法用于区域防空重点保卫目标排序计算[J]. 火力与指挥控制, 2006, 31(2): 20-21.
- [5] 刁联旺, 于永生. 一种区间型不确定多属性决策的统计方法[J]. 江南大学学报, 2007, 6(6): 683-685.
- [6] 徐大杰, 王永彬, 薛剑. 基于熵权的坦克分队作战方案优选[J]. 兵工自动化, 2009, 28(4): 48-50.

(上接第 15 页)

$\Delta E_1 > \Delta E_2$, 故在自行火炮系统这 2 个关键能力指标需求排序中, 持续射速在系统反应时间之前。同理, 通过此方法可依次对各关键性能指标需求进行排序。

4 结束语

通过灵敏度分析, 可以科学直观地确定武器装备关键性能指标对系统效能的影响大小, 从而对关键性能指标需求重点进行排序。同时, 通过灵敏度饱和点值的确定对先前需求分析得出的关键性能指标目标值有一定的验证和修正作用。下一步, 将对多因素同时变化的灵敏度分析进行研究。

参考文献:

- [1] Chairman of the Joint Chiefs of Staff .CJCSM3170.01B: operation of the joint capabilities integration and development system[R]. Washington D.C.: Department of Defense, 2005.
- [2] 侯明. 灵敏度分析在武器装备效能分析中的应用[J]. 炮兵学院学报, 2006, 26(4): 58-60.
- [3] 张宝书. 陆军武器装备作战需求论证概述[M]. 北京: 解放军出版社, 2005.
- [4] 张君齐, 韩朝阳, 徐敏. 基于一致性排序法和模糊综合评价法的潜艇作战效能评估[J]. 四川兵工学报, 2009(10): 90-92.