

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.10.004

基于灰靶理论的武器装备体系技术贡献度评估

常雷雷, 张小可, 李孟军

(国防科学技术大学 信息系统与管理学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 针对武器装备体系关键技术贡献度问题, 提出一种基于灰靶理论的分析方法。首先, 阐述了武器装备体系层次结构关系, 建立了系统到技术的映射关系, 定义技术贡献度来刻画技术对系统实现功能、体系完成使命的贡献程度, 说明了技术贡献度分析过程。然后, 通过灰靶理论将技术贡献度量化。最后, 以实例研究说明该方法的可行性。该方法可用于辅助武器装备体系的技术发展规划的生成, 为武器装备体系的发展决策提供支持。

关键词: 武器装备体系; 技术贡献度; 灰靶理论

中图分类号: E237; N941.5 **文献标识码:** A

Weapon System of System Technology Contribution Evaluation Based on Grey Target Theory

Chang Leilei, Zhang Xiaoke, Li Mengjun

(School of Information System & Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: An analysis method based on grey target theory is proposed to solve the problem deals with key technology contribution rate of weapon system of system (WSoS). Firstly the WSoS hierarchical structure is elaborated and mapping from system to technology is established. Secondly technology contribution rate is defined to describe the contribution rate for a system to function and WSoS to fulfill its mission and the analysis process of technology contribution rate is illustrated. Then the grey target theory is applied to quantify technology contribution rate. Finally the appliance of the method proposed is demonstrated by a WSoS case study. This method can be applied in creating the WSoS technology planning rules and supporting WSoS development and decision-making.

Keywords: weapon system of system; technology contribution rate; grey target theory

0 引言

武器装备体系是由功能上相互联系、性能上相互补充的各种武器装备系统, 按一定结构综合集成的更高层次的武器装备系统^[1-3]。当作战使命复杂、武器装备繁多时, 需要对研究武器装备的技术发展进行科学规划。技术发展规划需要区分不同技术对其所支持系统具备功能、对整个武器装备体系完成使命的贡献程度。这类问题一般的解决方案都是定性的, 而灰靶理论^[4-5]是一种研究少数据、贫信息的不确定性问题的方法, 可以对技术的贡献度进行量化排序, 故采用灰靶理论来求解贡献度计算问题。

1 技术贡献度分析过程

1.1 武器装备体系层次结构关系

武器装备体系需求描述方面的研究已经建立了从武器装备体系到武器装备系统的层次结构, 再结合支持系统实现功能的各项技术, 就获得了完整的武器装备体系层次结构关系, 如图 1。整个分析过程自上而下, 体现了使命经过整个武器装备体系层

次结构逐层分解, 最终分解到技术层的过程。

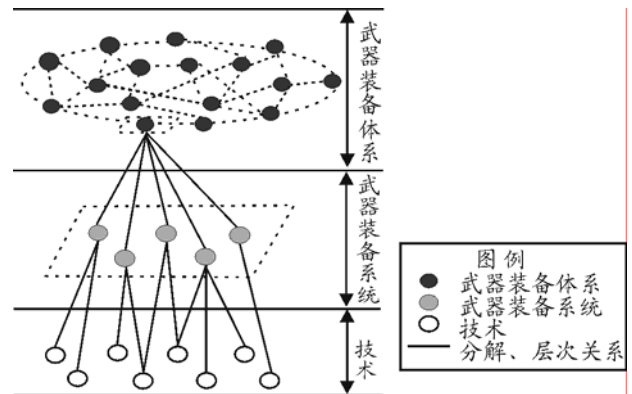


图 1 武器装备体系层次结构关系

技术对整个武器装备体系的贡献程度分析包括 2 方面内容: 首先需要确定系统对整个体系完成使命的贡献程度, 文献[9]对这部分内容进行了研究, 将系统对整个武器装备体系的贡献程度称为系统的军事价值; 然后再确定技术对所支持系统具备功能的贡献程度。最后综合这两方面内容即可获得技术对整个武器装备体系完成使命的贡献程度。

收稿日期: 2010-05-10; 修回日期: 2010-06-03

基金项目: “十一五” 武器装备预先研究项目 (513300102); 国家自然科学基金项目 (70901074)

作者简介: 常雷雷 (1985-), 男, 河北人, 在读硕士研究生, 从事国防采办与体系工程研究。

1.2 技术贡献度概念

技术贡献度是指某项技术对于所支持系统获得特定功能的重要程度以及该技术对于其他系统的重要程度的综合度量。上述含义从系统和体系 2 个角度来描述技术贡献度：

1) 从单个武器装备系统来看度，对应的分析过程是纵向分析，得到的结果是技术的纵向贡献度，是技术对特定系统完成功能的贡献程度；2) 从整个武器装备体系来看，当某项技术同时支持多个系统的时候，要增加该技术的重要度，对应的分析过程是横向分析，得到的结果是技术的横向贡献度，是技术对整个体系完成使命能力的贡献程度。

技术对整个体系的贡献度需要综合技术的纵向贡献度和横向贡献度来确定。

1.3 系统到技术的映射矩阵

建立系统到技术的映射矩阵是进行技术贡献度分析的前提，表 1 是一个系统到技术的映射矩阵(横向表示某武器装备体系中所包含的各类系统，纵向为技术)。

表 1 系统到技术的映射矩阵

	系统 1	系统 2	系统 3
技术 1	√	√	
技术 2	√		
技术 3			√

表 1 中，“√”表示有支持关系，空白表示没有支持关系，只考虑系统与技术之间的 4 种关系：

- 1) “一对多”：指一个系统由多项技术支持；
- 2) “一对一”：指一个系统仅需要一项技术的支持；
- 3) “多对一”：指多个系统都由一项技术支持；
- 4) “多对多”：指多个系统同时由多项技术支持。一个“多对多”关系可以分解为若干个“一对多”关系。

综上，这 4 种关系简化为“一对多”关系和“多对一”关系，而这 2 种关系都可使用灰靶理论进行求解，最后获得计算结果是技术对于系统的纵向贡献度，综合系统对整个体系的军事价值后，可获得一项技术对于整个武器装备体系完成使命贡献度。

1.4 技术贡献度的分析过程

已知技术 i 支持系统 p 和系统 s 实现功能，系统 p 和系统 s 是构成某武器装备体系的 2 个武器系统。求解技术 i 对整个武器装备体系的贡献度的步骤如下：

1) 确定系统和技术的所属于映射关系类型，确定所需的参考系统，获得 n 项技术在系统 i 中反映

出的指标集合 $Techw_i$ ；2) 纵向分析，获得技术 i 对系统 p 的纵向贡献度 $ConRate_v(i, p)$ ；3) 横向分析，获得 $ConRate_h(i, p) = ConRate_v(i, p) * SysRate(p)$ 。其中， $SysRate(p)$ 为系统 p 对于整个武器装备体系完成使命的支持程度，即系统的军事价值（根据文献 [7] 获得，作为已知条件给出）；4) 综合分析，获得 $ConRate(i) = ConRate_h(i, p) + ConRate_h(i, s)$ 。其中， $ConRate_h(i, p)$ 为技术 i 对系统 p 的横向贡献度； $ConRate(i)$ 为技术 i 对于整个体系的贡献度。

当系统对技术的映射关系属于“多对一”时，进行综合分析；否则，横向分析的结果就是贡献度分析的结果，即 $ConRate(i) = ConRate_h(i, p)$ 。

综上可知，整个分析过程中的关键是进行技术贡献度纵向分析。

2 基于灰靶理论的技术贡献度纵向分析

2.1 模型的假设、输入变量、符号的规定说明

假设以技术在系统中反映出的技术指标代替技术本身进行分析，将技术对系统的贡献度转化为技术指标对系统的贡献度。

分析 n 项技术指标对于某个系统（系统 p ）具备功能的贡献情况，首先需要收集包含同样 n 项技术指标的相关系统的数据（共 m 个系统），这 m 个系统（含系统 p ）的相关技术指标数据就是整个模型的输入。

1) 将给定系统 p 和相关系统（共 m 个）的所有技术指标称为 m 个模式；2) m 个系统中都具有 n 个技术指标，其中，第 i 个系统的第 k 个技术指标数据称为技术指标模式 $w_i(k)$ ，这些技术指标模式 $w_i(k)$ 构成第 i 个系统技术指标模式序列为 w_i 。

2.2 基于灰靶理论的技术贡献度纵向分析算法^[4-5]

灰靶理论的主要思路是，根据输入的技术指标数据获得的 m 个模式获得一个标准模式，然后将现有模式逐个与标准模式进行比较，比较的结果称为靶心度；由于这些数据模式是由技术指标数据构成的，因此指标数据必然对靶心度有影响，指标数据对靶心度的影响程度的灰色量化即灰靶贡献度。灰靶理论的实质是对代表比较方案或系统的数据模式序列做有测度、有参考系的“整体比较”。主要的算法步骤如下：

1) 确定各性能指标的极性，取得标准模式。

令 $POL(max), POL(min), POL(mem)$ 分别表示极大极性值、极小极性值、适中极性值。

当 $POL(w(k)) = POL(max)$, 取

$$w_0(k) = \max_i w_i(k), w_i(k) \in w(k);$$

当 $POL(w(k)) = POL(min)$, 取

$$w_0(k) = \min_i w_i(k), w_i(k) \in w(k);$$

当 $POL(w(k)) = POL(mem)$, 取

$$w_0(k) = \text{med}_i w_i(k), w_i(k) \in w(k);$$

可得标准模式 $w_0 = (w_0(1), w_0(2), \dots, w_0(n))$ 。

2) 计算指标模型序列中的指标 k 的灰关联度

$$x(k) = (x_1(k), x_2(k), \dots, x_m(k)), \forall x_i(k) \in x(k) \Rightarrow x_i(k) = T_r w_i(k)$$

3) 建立差异信息序列

$x_i(0)$ 与 $x_i(k)$ 之间的差异信息为 $\Delta_i(0, k) = |x_i(0) - x_i(k)|$, 所有 m 个模式的差异信息也就组成了差异信息序列:

$$\Delta(0, k) = (\Delta_1(0, k), \Delta_2(0, k), \dots, \Delta_m(0, k))。$$

4) 计算 k 指标对 i 模式的贡献系数

$$\gamma(x_i(0), x_i(k)) = \frac{\min_i \min_k \Delta_i(0, k) + 0.5 \max_i \max_k \Delta_i(0, k)}{\Delta_i(0, k) + 0.5 \max_i \max_k \Delta_i(0, k)} \quad (1)$$

5) 计算 k 指标的贡献度, 也就是性能指标 k 对系统 p 的影响程度为:

$$\gamma(x(0), x(k)) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \gamma(x_i(0), x_i(k)) \quad (2)$$

最后得到技术 k 对于系统 p 的纵向贡献度为:

$$ConRate(i, p) = \gamma(x(0), x(i)) \in (0, 1)$$

技术 k 对于系统 p 的纵向贡献度为 0 和 1 的情况包括:

(1) 当某项技术 k 与系统 p 不存在映射关系时, $ConRate_v(k, p) = 0$;

(2) 当系统 p 完成功能仅需要一项技术 k 支持时, 则技术 k 对于系统 p 的纵向贡献度为 1, 即 $ConRate_v(k, p) = 1$ 。

3 实例研究

某武器装备体系中包含战术侦察机和通信卫星, 现求解支持这两个系统的各项技术对于整个体系完成使命的贡献程度。表 2 是战术侦察机、通信卫星与其相关技术的映射关系(技术名称略), 表 3 和表 4 分别是战术侦察机、通信卫星(及选定的参考系统)相关技术的指标数据列表(技术名称略), 数据来自文献[10]。

表 2 战术侦察机、通信卫星到技术的映射

	战术侦察机	通信卫星
Tech1	√	
Tech2	√	
Tech3	√	
Tech4	√	
Tech5	√	√
Tech6		√
Tech7		√
Tech8		√
Tech9		√

表 3 战术侦察机及选定参考系统的技术指标列表

技术	技术指标名称	战术侦察机	参考系统 1	参考系统 2	极性
Tech1	飞行速度/km·h ⁻¹	300	320	350	max
Tech2	最大往返航程/km	2 000	2 100	2 200	max
Tech3	飞行高度/km	10 000	11 000	12 000	max
Tech4	最大起飞重量/t	16 000	18 000	20 000	max
Tech5	地面鉴别率/m	1	0.90	0.90	min

注: max 极大值极性, min 极小值极性

表 4 通信卫星及选定参考系统的技术指标列表

技术	技术指标名称	通信卫星	参考系统 1	参考系统 2	极性
Tech5	可见光空间分辨率/m	0.50	0.30	0.20	min
Tech6	可见光定位精度/m	100	80	70	min
Tech7	测速精度/m·s ⁻¹	0.01	0.30	0.50	max
Tech8	数据存储容量/G	550	450	600	max
Tech9	数据存储速率/Mbps	200	220	250	max

注: max 极大值极性, min 极小值极性

根据式(1)、式(2)计算出技术对于所属装备的纵向贡献度; 根据文献[9]获得的通信卫星、战术侦察机对于整个体系的军事价值(通信卫星为 30%, 战术侦察机为 50%), 最后计算得到的技术对于整个体系完成使命的贡献度见表 5。

表 5 各项技术对系统、体系的贡献度值

技术	纵向贡献度	所属系统	系统军事价值	横向贡献度	贡献度
Tech5	0.605	战术侦察机	50%	0.303	0.487
Tech5	0.612	通信卫星	30%	0.184	
Tech2	0.619	战术侦察机	50%	0.310	0.310
Tech1	0.584	战术侦察机	50%	0.292	0.292
Tech4	0.573	战术侦察机	50%	0.286	0.286
Tech3	0.550	战术侦察机	50%	0.275	0.275
Tech6	0.747	通信卫星	30%	0.224	0.224
Tech8	0.701	通信卫星	30%	0.211	0.211
Tech9	0.662	通信卫星	30%	0.199	0.199
Tech7	0.537	通信卫星	30%	0.161	0.161

根据上述计算结果分析可得到以下结论:

1) 系统的军事价值对于技术贡献度有较大影响。如, Tech2 对于战术侦察机的纵向贡献度为 0.619, Tech9 对于通信卫星的纵向贡献度为 0.662,

(下转第 19 页)

表 5 集结对策模型的合成支付值 (括号内依次为 A、B、C 的支付值)

		B			
		β_1	β_2	β_1	β_2
A	a_1	(5,5,-1)	(7,-5,-2)	(10,0,-2)	(20,1,0)
	a_2	(3,10,-2)	(5,0,-3)	(8,5,-3)	(18,6,-1)
	a_3	(11,2,5)	(15,3,7)	(15,10,-3)	(16,2,1)
	a_4	(12,12,8)	(13,7,8)	(12,12,-1)	(13,3,3)
	a_5	(-2,13,7)	(0,3,6)	(3,8,6)	(13,9,8)
		γ_1		γ_2	
		C			

为说明对策集结模型的实用性,在不考虑 A、B、C 各军的兵力限制的前提下,分别单独求解甲、乙地域的非合作三人对策,可以得到他们的 Nash 均衡解如下:

甲地域: $X_1^*=(1,0,0)$, $Y_1^*=(1,0)$, $Z_1^*=(0,1)$;

乙地域: $X_2^*=(0,1,0)$, $Y_2^*=(1,0)$, $Z_2^*=(1,0)$ 。

此时, A 军在甲、乙两地域采用的最优策略分别为部署兵力 300 万和 150 万,加起来需要 450 万,不满足 A 军总兵力只有 400 万的限制要求; B 军在甲、乙两地域采用的最优策略分别为部署兵力 200 万和 100 万,总共需要 300 万,也不满足 B 军总兵力只有 250 万的限制要求; C 军在甲、乙两地域采用的最优策略分别为 90 万和 110 万,满足兵力的限制要求。

很明显,不进行对策集结,得出的结果不能满足 A、B 两军自身的总兵力限制,不具可行性。而采用该对策集结模型则可以从全局出发,为决策者提供合理的决策支持。

3 结束语

针对三人多冲突环境,根据局中人所受到的资

源约束,建立了多冲突环境下的三人对策集结模型。实例证明:该模型是实用和有效的。

参考文献:

[1] Marilda S. The stability of the equilibrium outcomes in the admission games induced by stable matching rules[J]. International Journal of Game Theory, 2008, 36(4): 621-640.

[2] Jacob C E, Rudy C D. On the sensitivity matrix of the Nash bargaining solution[J]. International Journal of Game Theory, 2008, 37(2): 265-279.

[3] Inohara T, Takahashi S and Nakano B. Integration of games and hypergames generated from a class of games[J]. Journal of the Operational Research Society, 1997, 48(4): 423-432.

[4] Srikant R and Basar T. Sequential decomposition and policy iteration schemes for M-player games with partial weak coupling[J]. Automatica, 1992, 28: 95-105.

[5] 吴艳杰, 宋业新, 曾宪海. 两人多冲突环境下的双矩阵对策集结模型[J]. 海军工程大学学报, 2009, 21(1): 22-25.

[6] 宋业新, 瞿勇, 吴艳杰. 多冲突环境下的多目标双矩阵对策集结模型[J]. 华中科技大学学报, 2009, 37(6): 32-35.

[7] 张继敏, 杨金虎, 冯志强. 复杂电磁环境对炮兵作战的影响及其对策[J]. 四川兵工学报, 2009(12): 131-132.

[2] 李英华, 申之明, 李伟. 武器装备体系研究的方法论[J]. 军事运筹与系统工程, 2004(1): 17-20.

[3] 李英华, 申之明, 蓝国兴. 军兵种武器装备体系研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2002(3): 50-52.

[4] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.

[5] Deng J L. On grey target[J]. The Journal of Grey System. 1993(3): 172.

[6] DoDAF Working Group. DoDAF (version2.0)[R]. USA: Department of Defense, 2008: 5.

[7] The MODAF Development Team. MODAF handbook version1.2[R]. UK: Ministry of Defense, 2008.

[8] Paul K. Davis. Analytic Architecture for Capabilities-Based Planning, Mission-System Analysis, and Transformation[R]. USA: RAND Natinal Research Institute, 2002.

[9] 刘磊, 荆涛, 吴小勇. 武器装备体系演化的评估方法研究[J]. 系统仿真学报, 2006(8): 621-624.

[10] World Wide Equipment Guide[S]. USA:TRADOC DCSINT Theater Support Directorate, 2001.

[11] 王志勇, 冯杰. 基于灰色聚类的海上目标威胁等级评估[J]. 四川兵工学报, 2009(3): 46-49.

(上接第 15 页)

但由于系统 M 对于整个体系的军事价值 (30%) 小于战术侦察机 (50%), 因此, Tech9 对与整个体系的贡献度 (0.199) 小于 Tech2 (0.310); 2) 支持多个系统完成功能的技术具有较大贡献度。如 Tech5 和 Tech6 都支持通信卫星, 二者的纵向贡献度分别是 0.612 和 0.747, 但由于 Tech5 还同时支持战术侦察机, 因此其对于整个体系的贡献度 (0.487) 大于 Tech6 (0.224)。

4 结束语

该研究为武器装备体系技术发展规划提供重要的约束条件。下一步, 将继续对技术与具体性能指标之间的关系、系统军事价值的确定方法进行分析研究, 使之更加完善。

参考文献:

[1] Mark W. Maier. Architecting Principles for system of systems[J]. Proc 6th Annu Symp INCOSE, 1996: 567-574.