

# ATS资源选择与配置的灰色局势决策模型

梁雅俊<sup>1</sup>, 张智谦<sup>2</sup>, 梁鹏<sup>3</sup>, 胡斌<sup>1</sup>, 宋海方<sup>1</sup>

(1.空军工程大学航空航天工程学院,西安,710038;2.中国飞行试验研究院,西安,710089;  
3.95503部队,重庆大足,402360)

**摘要** ATS研制的日益复杂精细化趋势使得测试资源的优化选择和配置问题也日益突出。针对传统方法存在不足,基于灰色理论和多目标多属性决策理论提出了一种快速、有效的资源选型决策方法:首先综合分析资源选择与配置的重要因素及测试属性,构建了灰色局势资源决策模型;然后通过对多个配置目标加权合成求解该模型,并利用属性权重进行二次决策,最后获得最优的资源选择与配置方案。工程实例分析表明,该方法科学可靠、可操作性强,能够有效解决ATS硬件集成中的测试资源选择与配置问题。

**关键词** 资源选择与配置;自动测试系统集成;灰色局势决策

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2015.05.009

**中图分类号** V24;TP206 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2015)05-0035-04

## Test Resource Selection and Configuration of Automatics Test System Based on Grey Situation Decision-making Model

LIANG Yajun<sup>1</sup>, ZHANG Zhiqian<sup>2</sup>, LIANG Peng<sup>2</sup>, HU Bin<sup>1</sup>, SONG Haifang<sup>1</sup>

(1.Aeronautics and Astronautics Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;2.Chinese Flight Test Establishment, Xi'an,710089;3.Unit 95503, Dazu 402360, Chongqing, China)

**Abstract:** Aimed at the problems that the drawbacks of traditional methods are lack of scientific and standardized decision-making process, and can hardly configure the optimal test resource, a quick and efficient method based on the grey theory and multi-attributes decision-making theory is proposed in this paper. Firstly, the grey situation decision-making model is built up with overall consideration of influence factors and test attributes affected the selection and configuration of test resource. Then the model is solved through multi-objectives' weighted synthesis, and the attribute weights are used to execute the second decision-making. The optimal scheme of selection and configuration is finally obtained. The analysis of the practical engineering example shows that the method is of high operability and reliable and scientific. And this can effectively solve the resource selection and configuration issues in automatic test system hardware integration.

**Key words:** resource selection and configuration; ATS integration; grey situation decision-making

被测对象和测试环境的日益复杂多变对自动测试系统(ATS)的集成度、可靠性、兼容性提出了更

收稿日期:2014-12-11

作者简介:梁雅俊(1991—),女,四川广元人,硕士生,主要从事武器系统检测与控制等方向的研究.E-mail:1214102891@qq.com

**引用格式:**梁雅俊,肖明清,梁鹏,等.ATS资源选择与配置的灰色局势决策模型[J].空军工程大学学报:自然科学版,2015,16(5):35-38. LIANG Yajun, XIAO Mingqing, LIANG Peng, et al. Test Resource Selection and Configuration of Automatics Test System Based on Grey Situation Decision-making Model[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2015, 16(5): 35-38.

高要求<sup>[1]</sup>。在多个设计目标、多个属性下从种类多样、性能各异的备选测试资源集中选择和配置理想最佳资源,是ATS集成的重要技术与关键环节,关系到ATS的开发周期、兼容性、成本及可靠性<sup>[2]</sup>,是典型的多目标多属性决策优化问题<sup>[3]</sup>。目前国内关于测试资源选择与配置的研究较少,传统凭借经验的资源选型方法,在一定程度上可以解决集成度较低、可靠性要求不高的资源选型问题,但难以保证决策的科学性与合理性。文献[4]建立灰色局势决策模型,从测试性角度对装备系统级测试资源选择与配置进行了研究,但未涉及仪器层的测试资源选型。文献[5]提出运用层次分析法进行COTS(Commercial Off-the-shelf,商用货架产品)选型,极大地降低了主观因素的影响,但随复杂系统的各影响因素间关联性、不确定性增多,也难以排序决策。灰色理论能对大型复杂ATS中的测试指标、属性之间的隐性关联、不确定性因素等灰色关系进行较好的量化描述<sup>[6]</sup>。

## 1 测试资源选择与配置决策模型

### 1.1 灰色局势决策模型

目前ATS集成选购的大都是模块化的COTS类型成品仪器。所选资源类型必须包含目标测试项目即 $t_i (i=1, 2, \dots)$ 是事件,如对电压、电流、频率等的测量性能。首先,根据系统集成方案和研制需求分析,选出具分辨力、代表性的决策指标构成属性集 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ ;符合要求的测试资源类型 $e_j (j=1, 2, \dots, m)$ 作为 $t_i$ 的一个对策,则市面上可供选择、成熟、符合指标要求的资源构成备选资源集 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ ;同时,根据总体设计目标和用户要求,可从维护需求、后勤保障需求、可靠性指标、操作需求等方面<sup>[2-3]</sup>提出选型决策的目标 $f_k (k=1, 2, \dots, l)$ ,如成本低、温湿度适宜性高、售后服务好、维修性好等<sup>[5]</sup>,记为决策目标集 $F = \{f_1, f_2, \dots, f_l\}$ 。

事件集与对策集的笛卡尔乘积为决策局势集,为指标属性与备选资源类型的所有可能关系集合:

$$S = T \times E = \{(t_i, e_j) \mid t_i \in T, e_j \in E\}$$

对任意 $t_i \in T, e_j \in E$ ,称 $s_{ij}^k = (t_i^k, e_j^k)$ 为目标 $f_k$ 下的局势,也即为某目标下的一个选型决策。

所有的局势 $s_{ij}^k$ 都可以找到一个描述其客观效果的数值,记为 $y_{ij}^k$ ,效果样本值;如供电电源的电压、电流的最大值、最小值,可由市场调查、历史数据得到。则 $\mathbf{Y}_k = (y_{ij}^k)$ 为局势 $s_{ij}^k = (t_i^k, e_j^k)$ 在目标 $f_k$ 下的所有可能决策效果的原始效果样本矩阵。

综上,可得资源配置决策模型:

$$\begin{cases} A = ((F, T, S), \mathbf{Y}^K) \\ B: F \times T \times S \rightarrow W \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $A$  为已知决策目标、指标及客观样本值的集

合;  $B$  为决策结果,即决策目标下所有可能的决策。

### 1.2 比较法确定权重

求解多目标多属性决策问题,关键是确定属性集、目标集的权重<sup>[7]</sup>。权重确定方法一般可分为:主观赋权法与客观赋权法。

影响测试资源决策的评价指标众多,对测试的贡献、维修保障重点也因检测项目、方式、环境而异。测试专家依据专业知识、经验对各属性、目标重要性做出客观实际的判断;这样,主观赋权法引入的专家判断信息与灰色局势决策采用的客观数值相互独立,互为补充。因此本文采用比较法快速确定权重。

比较法<sup>[8]</sup>采用-1、0、1标度,使专家能够准确判别各因素间的重要程度,将人的主观判断量化处理,从而得到确定数值的权重。方法如下:

- 1) 若属性 $t_k$ 比 $t_l$ 重要,则有 $n_{kl}=1, n_{lk}=-1$ ;
- 2) 若属性 $t_l$ 比 $t_k$ 重要,则有 $n_{kl}=-1, n_{lk}=1$ ;
- 3) 若属性 $t_k$ 和 $t_l$ 同等重要,则有 $n_{kl}=n_{lk}=0$ 。

可得对比矩阵:

$$\mathbf{N} = \begin{matrix} & t_1 & \cdots & t_n \\ \begin{matrix} t_1 \\ \vdots \\ t_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} n_{11} & \cdots & n_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ n_{n1} & \cdots & n_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2)$$

根据最优传递矩阵原理,可得 $\mathbf{N}$ 的传递矩阵:

$$\mathbf{M} = (m_{ij})_{n \times n}, m_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (n_{ik} + n_{kj}) \quad (3)$$

进而可得判断矩阵:

$$\mathbf{C} = (c_{ij})_{n \times n} = \exp(m_{ij}) \quad (4)$$

对 $\mathbf{C}$ 每一行求和可得向量 $\mathbf{D} = (d_1, d_2, \dots, d_n)^T$ ,即:

$$d_j = \sum_{i=1}^n c_{ij}, j=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

归一化后,得到属性权重 $\boldsymbol{\lambda} = (\lambda_1, \lambda_2, \dots,$

$\lambda_n)$ ,其中 $\lambda_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j, j=1, 2, \dots, n$

同理,可求得目标权重 $\mathbf{p} = \{p_1, p_2, \dots, p_l\}$ 。

### 1.3 多目标加权合成

求解测试资源选择与配置决策模型时,需对比、集成不同目标、量纲下的评价指标的效果样本值,从而得出综合效果样本<sup>[9]</sup>。但成本、可互用性、故障率及精度等样本值需进行量纲统一<sup>[7]</sup>,式(6~8)分别为适中值型、成本型和收益型目标的变换:

$$r_{ij}^{(k)} = \frac{\min\{y_{ij}^{(k)}, y(0)\}}{\max\{y_{ij}^{(k)}, y(0)\}} \quad (6)$$

$$r_{ij}^{(k)} = \frac{\min_i \min_j \{y_{ij}^{(k)}\}}{y_{ij}^{(k)}} \quad (7)$$

$$r_{ij}^{(k)} = \frac{y_{ij}^{(k)}}{\max_i \max_j \{y_{ij}^{(k)}\}} \quad (8)$$

效果样本矩阵 $\mathbf{Y}_k = (y_{ij}^k)$ 经变换后,求得效果判断矩阵 $\mathbf{R}_k = (r_{ij}^k)$ 。利用目标权重 $\mathbf{p} = \{p_1, p_2, \dots, p_l\}$ ,对各决策目标下的 $\mathbf{R}_k$ 加权合成,可求得综合效

果判断矩阵:

$$R = \sum_{k=1}^j p_k R^k \quad (9)$$

则将多目标决策简化为综合单目标决策<sup>[7]</sup>。

### 1.4 二次决策

综合判断矩阵  $R$  只是综合考虑决策目标因素下的判断矩阵,并没有包含评价指标的影响,需利用属性权重对综合效果进行再次决策:

1)将属性权重赋给对应的属性效果判断序列:

$$R_f = R\lambda^T = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^n \lambda_j r_{1j} \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j r_{mj} \end{bmatrix} \quad (10)$$

式中: $R_f$ 为最终效果决策矩阵;令  $r_{fm} = \sum_{j=1}^n \lambda_j r_{mj}$ , 为备选资源类型的最终决策值,表征了各备选资源的综合最终效果。

2)比较  $R_f$  中的最终效果值,确定最大值(可能不止一个),即  $r_f^* = \max\{r_{fm}\}$  为最佳决策效果值,对应的资源  $e_f^*$  即为最佳资源类型。

## 2 模型求解步骤

**Step1** 根据工程设计指标,确定决策目标集  $F$ 、属性集  $T$ 、备选资源集  $E$  及决策局势集  $S$ 。

**Step2** 根据 1.2 节内容确定决策  $F$ 、 $T$  的权重  $p$ 、 $\lambda$ 。

**Step3** 根据历史数据、市场调查,求  $Y_k$ 。

**Step4** 根据式(6)~(8)对  $Y_k$  统一求出判断矩阵  $R^k$ ,利用  $p$  对其加权合成,得综合判断矩阵  $R$ 。

**Step5** 利用  $\lambda$  求二次决策最终决策矩阵  $R_f$ 。

**Step6** 找出  $R_f$  中的最大值  $r_f^*$  及对应的  $e_f^*$ 。

## 3 工程实例分析

某型飞机军械系统外挂装置的 ATS 硬件集成的测试资源选型为例。经测试需求分析后,可确定该 ATS 需要选择与配置 PXI 模块化单元有数字万用表等 9 个模块。以数字万用表的选型为例,建立模型,求解获得理想最优的 COTS 完成 ATS 硬件集成;其它模块同理。

1)首先确定数字万用表配置选型的属性集、目标集和决策局势集。遴选出如下产品:NI PXI-4071、Agilent M1983A、阿尔泰 PXI7062、凌华 SMX2040、航天测控 AMC4311A,记为  $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5\}$ ;由设备信号测试需求可确定选型决策的评价指标集  $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\} = \{\text{分辨率,电压测量,电流测量,频率测量}\}$ ;

根据 ATS 的系统研制需求分析,参考军用 ATE 战时保障能力的评价指标体系<sup>[10]</sup>,提出了以下资源选型要求,可确定决策目标集  $F = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5\} = \{\text{维修性,售后服务,精度,质保期,费用}\}$ ;且  $f_1, f_2, f_4$  为收益型, $f_3$  为适中值型, $f_5$  为成本型。基于上述内容,可建立式(10)的灰色局势决策选型模型。

2)权重确定。运用快速比较法,由测试专家对  $T$  和  $F$  各元素对比,得到  $N_t$  和  $N_f$ :

$$N_t = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}; N_f = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

由式(2~5)可得,  $\lambda = (0.276, 0.455, 0.102, 0.167)$ 、 $p = (0.143, 0.078, 0.318, 0.143, 0.318)$ 。

3)获取原始  $Y_k$ 。维修性可采用相关板卡的平均修复时间 MTTR(7 天或 15 天或 30 天不等)来度量,此处将修复率的概念<sup>[11]</sup>进一步引申为概率值,并做归一化处理(以 7 天为基准),通过统计返厂检修或更换等得到的历史数据,见表 1。

表 1 仪器故障(7 天)可修复的概率

Tab.1 Repairable probabilities (7days) of the instrument failure (%)

仪器型号	直流电压	交流电压	电阻测量	频率测量
PXI-4071	30	30	35	40
M9183A	25	35	40	35
PXI7062	30	30	35	45
SMX2040	45	30	40	40
AMC4311A	35	25	35	40

同理,分别通过市场调研及测试人员打分获得各备选资源在售后服务方面的评分(以 10 分为计);查询官网资料和产品手册即可获得相关最大量程数据见表 2。

表 2 各型仪器的售后服务评分及相关量程数据

Tab.2 The after-sale service evaluations of each instrument

仪器型号	售 后 服 务	质 保 期 /a	费 用 价 格 /万元	分 辨 率 /位	电 压 /V	电 流 /A	频率/ kHz
PXI-4071	9.2	3	2.3	7.5	1	3	800
M9183A	9.0	3	1.46	6.5	0.3	2	500
PXI7062	8.1	200	1.68	5.5	1	1	200
SMX2040	8.4	1	1.24	6.5	0.3	2	300
AMC4311A	7.8	2	1.19	5.5	0.3	3	200

根据上述表格中的数值,可得到各决策目标下的原始效果样本矩阵  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5$ 。

4)多目标加权合成。根据决策目标的极性及其式(6~8),依次对  $Y_1 \sim Y_5$  原始效果样本矩阵进行量纲统一:

$$\begin{aligned}
Y_1 \rightarrow R_1 &= \begin{bmatrix} 0.667 & 0.667 & 0.778 & 0.889 \\ 0.578 & 0.778 & 0.889 & 0.778 \\ 0.667 & 0.667 & 0.778 & 1 \\ 1 & 0.667 & 0.889 & 0.889 \\ 0.778 & 0.578 & 0.778 & 0.889 \end{bmatrix} & Y_2 \rightarrow R_2 &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.978 & 0.978 & 0.978 & 0.978 \\ 0.88 & 0.88 & 0.88 & 0.88 \\ 0.923 & 0.923 & 0.923 & 0.923 \\ 0.857 & 0.857 & 0.857 & 0.857 \end{bmatrix} \\
Y_3 \rightarrow R_3 &= \begin{bmatrix} 0.207 & 0.645 & 0.517 & 0.194 \\ 0.238 & 0.194 & 0.775 & 0.31 \\ 0.282 & 0.645 & 0.645 & 0.775 \\ 0.238 & 0.194 & 0.775 & 0.517 \\ 0.282 & 0.194 & 0.517 & 0.775 \end{bmatrix} & Y_4 \rightarrow R_4 &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.667 & 0.667 & 0.667 & 0.667 \\ 0.333 & 0.333 & 0.333 & 0.333 \\ 0.667 & 0.667 & 0.667 & 0.667 \end{bmatrix} \\
Y_5 \rightarrow R_5 &= \begin{bmatrix} 0.522 & 0.522 & 0.522 & 0.522 \\ 0.822 & 0.822 & 0.822 & 0.822 \\ 0.708 & 0.708 & 0.708 & 0.708 \\ 0.960 & 0.960 & 0.960 & 0.960 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

再根据(2)中已求得决策目标权重  $p$  对  $R_k$  进行加权合成,可得综合效果判断矩阵:

$$R = \sum_{k=1}^5 p_k R_k = \begin{bmatrix} 0.548 & 0.688 & 0.663 & 0.576 \\ 0.639 & 0.654 & 0.854 & 0.691 \\ 0.574 & 0.690 & 0.706 & 0.779 \\ 0.644 & 0.582 & 0.799 & 0.716 \\ 0.681 & 0.625 & 0.756 & 0.854 \end{bmatrix}$$

5)属性权重进行二次决策。利用属性权重  $\lambda$  对  $R$  每一列赋权值,求得最终的决策矩阵:

$$R_f = R \lambda^T = \begin{bmatrix} e_1 \cdots 0.628 \\ e_2 \cdots 0.676 \\ e_3 \cdots 0.674 \\ e_4 \cdots 0.644 \\ e_5 \cdots 0.692 \end{bmatrix}$$

综上,得出最大效果值  $r_{f5} = 0.692$ ,对应最佳资源类型  $e_5$ 。因此采购航天测控公司生产的 AMC4311A 型数字万用表板卡。

### 4 结语

本文将灰色局势决策模型应用于 ATS 测试资源选择与配置,先确定决策的目标集、属性集及权重值,建立资源决策模型,再进行加权合成、二次决策,得到最佳决策方案。实例证实该方法简单规范、可操作,可指导 ATS 研制的硬件集成资源选型。

### 参考文献 (References):

[1] 肖明清,方甲永,王邑,等.军用飞机二线测试设备现状及发展趋势[J].空军工程大学学报:自然科学版,2010,11(1):11-14.  
XIAO Mingqing, FANG Jiayong, WANG Yi, et al. Present Situation and Prospect of Military Aircraft Depot test Equipment[J].Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2010, 11

(01):11-14. (in Chinese)  
[2] 邱静,刘冠军,杨鹏,等.装备测试性建模与设计技术[M].北京:科学出版社,2012.  
QIU Jing, LIU Guanjun, YANG Peng, et al. Equipment Testability Modeling and Design Technology [M].Beijing: Publishing House of Science, 2012. (in Chinese)  
[3] Sivapirakasam S P, Surianarayanan M J. Multi Attribute Decisionmaking for Green Electrical Discharge Machining [J]. Expert Systemwith Applications, 2011, 38(7):8370-8374.  
[4] Chen XX, Qiu J, Liu G J, et al. Test Equipment Selection and Deployment of Materiel System Based on Grey Situation Decision[C]//IEEE Circuit and System International Conference on Testing and Diagnosis. Chengdu, 2009, 5:13~16.  
[5] 赵鑫,肖明清,李潇瀛.ATS 集成中的 COTS 选型决策研究[J].计算机测量与控制,2010,18(9):2183-2186.  
ZHAO Xin, XIAO Mingqing, LI Xiaoying. Research on COTS Selections Decision-Making for ATS Integration[J].Computer Measurement & Control, 2010, 18(9):2183-2186. (in Chinese)  
[6] WANG Xingqi, QI Lei, CHEN Chan, et al. Grey System Theory Based Prediction for Topic Trend on Internet[J].Engineering Application of Artificial Intelligence, 2014, 29(3):191-200.  
[7] Feng CHEN, Qi ZHANG, JIA Yuanhuan, et al. Research of Traffic Flow Multi-Objectives Intelligent Control Method for Junction Network[J]. Telecommunication Systems, 2013, 53(1):77-84.  
[8] 马健,孙秀霞.比较法确定多属性决策问题属性权重的灵敏度分析[J].系统工程与电子技术,2011,33(3):585-589.  
MA Jian, SUN Xiuxia. Sensitivity Analysis on Attribute Weight Ascertaind by Comparison Method in Multiple Attribute Decision Making[J].Systems Engineering and Electronics, 2011, 33(3):585-589. (in Chinese)  
[9] S. Meysam Mousavi, Fariborz Jolai, Reza Tavakkoli-Moghaddam. A Fuzzy Stochastic Multi-Attribute Group Decision-Making Approach for Selection Problems[J]. Group Decision and Negotiation, 2013, 22(2):207-233.  
[10] 陈希林,肖明清.军用 ATE 战时保障能力的概念和评价体系[J].航空维修与工程,2008,(1):16-18.  
CHEN Xilin, XIAO Mingqing. Conception and Evaluating System of Capability of Combat Support for Military ATE[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2008(1):16-18. (in Chinese)  
[11] GJB451-2005.可靠性维修性保障性术语[S].2005.  
GJB451-2005. Reliability Maintainability and Supportability of Terminology[S].2005. (in Chinese)

(编辑:徐敏)