

文章编号: 1001-0920(2010)05-0780-05

基于新型语言评估标度的二元语义改进模型

鲍广宇, 连向磊, 何明, 王玲玲

(解放军理工大学 指挥自动化学院, 南京 210007)

摘要: 为了有效地求解基于语言评价信息的多属性决策问题, 针对目前常用的二元语义分析方法中存在的标度转换问题, 提出一种处理语言评价信息的新复合标度(该标度综合了指数标度和 $-n \sim n$ 标度的优点), 建立了基于新复合标度的二元语义改进模型. 算例验证结果表明, 新复合标度为处理定性的语言评价信息提供了科学依据, 所提出的改进模型可以有效提高决策结果的精度和可信度.

关键词: 多属性决策; 语言评价信息; 标度转换; 复合标度

中图分类号: C934

文献标识码: A

Improved two-tuple linguistic representation model based on new linguistic evaluation scale

BAO Guang-yu, LIAN Xiang-lei, HE Ming, WANG Ling-ling

(Institute of Command Automation, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China. Correspondent: LIAN Xiang-lei, E-mail: lianxianglei@126.com)

Abstract: To solve the multiple attribute decision-making problems effectively, for the scale transformation problem of the two-tuple linguistic, a new compound scale is proposed deal with linguistic evaluation information, which combines the merit of both exponential scale and $-n \sim n$ scale. An improved two-tuple linguistic representation model based on new linguistic evaluation scale is setup. Experiment results show that, the improved representation model can reduce the loss and distortion of information in aggregating, and improved the precision and reliability of the results effectively.

Key words: Multiple attribute decision-making; Linguistic evaluation information; Scale transformation; Compound scale

1 引言

在实际的多属性决策过程中, 由于客观事物的复杂性和人类思维的模糊性, 决策者通常用语言短语的形式对事物的属性进行评价. 为了有效集结语言评价信息, 保证决策结果的客观、公正, 研究求解基于语言评价信息的决策问题具有重要的理论意义和应用价值, 已逐渐引起人们的重视^[1].

从已有的研究成果看, 求解基于语言信息的决策分析法主要分为两类^[2]: 第1类是基于扩展原理的分析方法, 将语言评价信息转化为模糊数, 并依据扩展原理进行模糊数的运算与分析; 第2类是基于符号转移的方法, 即根据语言评价集自身的顺序和性质, 直接对语言短语符号进行运算或处理. 但是, 利用扩展原理和基于符号转移的方法, 所得到的结果往往与最初给定的语言评价集不一致, 只能由语言评价集

近似地表示, 从而会造成语义信息的损失和扭曲.

西班牙学者 Herrera 教授于 2000 年提出了二元语义分析方法^[3], 该方法作为符号转移的改进方法, 有效地解决了决策结果离散化问题. 值得注意的是, 该方法的思想是将语言评价信息转换为数字评价信息, 即通过 $\Delta^{-1}(\theta(s_i))$ 函数实现由语言评估标度向 $0 \sim n$ 数字标度转换, 而 $0 \sim n$ 标度的简单线性分级, 容易造成信息提取与合成的失真, 限制了二元语义在精确决策运算领域的运用.

本文通过分析二元语义表示模型的定义, 指出二元语义分析方法中存在语言评价信息的不当转换问题, 提出一种结合指数标度和 $-n \sim n$ 标度优点的新型复合标度, 并建立了基于复合标度的二元语义改进模型. 实验结果表明, 改进模型可以有效降低集结过程中的信息扭曲和损失, 提高决策结果的精度和可

收稿日期: 2009-05-26; 修回日期: 2009-09-05.

基金项目: 总装预研基金项目(9140A06020206JB8102).

作者简介: 鲍广宇(1974-), 男, 上海人, 教授, 从事作战信息管理、系统仿真等研究; 连向磊(1981-), 男, 山东荣城人, 硕士生, 从事作战信息管理、系统工程的研究.

信度.

2 标度定义及分类

2.1 标度的定义及常见标度

标度是定量度量人们定性判断的一种尺度, 是反映人们判断意识的一种定量刻画^[4]. 合理的标度能较好地拟合决策评价过程中被评价事物的属性状态对决策者心理感官的刺激程度.

根据适用范围不同, 本文将常用的标度分为两类: 比较标度和评价标度. 其中比较标度包括“互反型”标度和“互补型”标度两种. 比较标度主要用于衡量两元素重要程度的比值或者差值, 常见的比较标度^[5]如表1所示.

表1 几种常见的比较标度

标度	等级					表达式
	同等	稍微	明显	非常	绝对	
1~9	1	3	5	7	9	k
指数	a^0	a^2	a^4	a^6	a^8	a^{k-1}
比例	1	1.2	1.4	1.6	1.8	$1+0.1(k-1)$
10/10~18/2	10/10	12/8	14/6	16/4	18/2	$(9+k)/(10-k)$

评价标度是指提供给决策者评价单个元素的尺度标准, 目前决策领域中对比较标度的研究比较充分, 而对评价标度的研究尚处于起步阶段. 常见的评价标度如表2所示.

表2 几种评价标度

语言评价标度	0 ~ n 标度 (n=6)	-n ~ n 标度 (n=3)
S ₀ (很差)	0	-3
S ₁ (差)	1	-2
S ₂ (较差)	2	-1
S ₃ (一般)	3	0
S ₄ (较好)	4	1
S ₅ (好)	5	2
S ₆ (很好)	6	3

评价标度和比较标度都存在不严格的转换关系, 如图1所示. 可借鉴比较标度中一些比较成熟的标度(例如指数标度和10/10~18/2标度), 设计实用的评价标度.

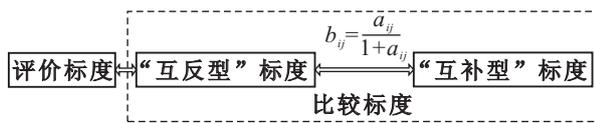


图1 标度体系结构

2.2 语言评价标度

语言评价标度是解决语言类决策问题的基础, 将专家利用语言评价标度给出的评价信息无损地转化为可以集结的数字信息, 是目前研究的热点问题.

语言评价标度 S 是一个预先定义好的有序集, 一般由奇数个元素构成. 比如考虑 S 是由7条语言短语构成的集合, 即 $S = \{s_0 = FC(\text{非常差}), s_1 = HC(\text{很差}),$

$s_2 = C(\text{差}), s_3 = YB(\text{一般}), s_4 = H(\text{好}), s_5 = HH(\text{很好}), s_6 = FH(\text{非常好})\}$.

S 中的元素个数不能太少, 否则, 所得到的语言信息太粗略, 从而影响决策方案之间的比较和排序; S 中的语言短语个数也不能太多, 否则会对决策者在专业知识、时间等方面提出过高的要求, 从而增加决策者的决策负担. 一般语言评估标度通常为7或9个级别.

3 构建新型复合标度

决策过程中, 决策者要面对不同的决策问题和决策环境, 但在现实中不可能存在能够普遍适用于所有决策问题的标度, 而实际决策活动也不允许在解决每个具体问题时都重新设计标度, 这便要求人们设计出一种能够较好满足常见决策需求的通用标度.

3.1 复合标度模型

新型复合标度综合了指数标度和 $-n \sim n$ 标度的优点. 指数标度具有良好的心理学基础, 德国心理学家费希纳提出了著名的韦伯-费希纳定理^[6], 即

$$M = k \log R.$$

其中: M 为人的主观感觉量, R 为客观刺激量, k 为韦伯常数. 当刺激大小以几何级数增加时, 感觉强度以算术级数增加.

指数标度为复合标度的数值变化提供了依据, 但指数标度只能表现数值单向增长, 而决策事物属性状态对决策者的心理刺激包括好与差两个方向, 如果单纯利用指数标度对属性进行评价, 则会造成语义的偏差, 如图2所示.

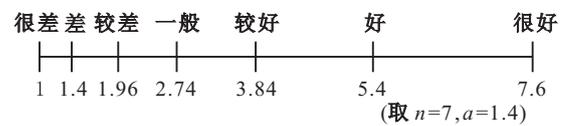


图2 单纯指数标度应用于评价标度

由图2可知, “很差”与“差”之间语义距离最小, 不符合实际决策情况, 且与对应的“很好”与“好”之间的距离严重不一致. 因此, 需结合 $-n \sim n$ 标度, 实现标度点值双向向几何级数增长, 较好地拟合评价过程中现实心理物理值, 以满足评价时对标度的需求, 实现标度设计的“等比赋值、梯次跃进”原则. 下面给出复合评估标度表达式:

$$s_i = \begin{cases} a^{i-(g/2)} - 1, & i \geq g/2, i = 0, 1, \dots, g; \\ -a^{(g/2)-i} + 1, & i < g/2, i = 0, 1, \dots, g. \end{cases}$$

其中: s_i 表示语言短语; s_0 和 s_g 分别表示决策者实际使用的语言短语的下限和上限; g 为偶数, $g+1$ 表示语言短语的个数.

复合标度满足下列条件:

- 1) S 是有序的, 当 $i \geq j$ 时, $s_i \geq s_j$;

2) 存在逆运算, $\text{neg}(s_i) = s_j$, 其中 $j = g - i$, 这里 $g + 1$ 表示 S 中元素的个数;

3) 极大化和极小化运算, 当 $s_i \geq s_j$ 时, $\max(s_i, s_j) = s_i$, $\min(s_i, s_j) = s_j$.

复合标度 S 中, 随着语言短语下标的增大, 相邻语言短语下标之间的偏差绝对值也随着增大。

3.2 指数标度中 a 值的确定

取不同的参数 a , 可以得到不同类型的指数标度, a 值的确定是指数标度的重要内容^[7].

有物理背景时, 可咨询有关专家或查阅相应物理文献来确定参数. 对于一般的社会经济系统, 参数的确定则以心理学定律或心理学实验为依据. 通常情况下, 可使用以下两种方法确定参数 a .

1) 实验法. 通过调查确定第 1 级与第 0 级的权重之比, 这个比率就是参数 a . 设计调查表如表 3 所示.

表 3 实验法确定 a 值

如果指标 A 比 B 稍微重要, 则认为其重要性程度之比				
A	B	C	D	E
55:45	60:40	65:35	70:30	75:25

大量的实验调查数据显示, a 取值 $(55/45 + 60/40)/2 = 1.361$, 通常取值区间为 $[1.36, 1.4]$.

2) 主观法. 假设指标 A 与 B 相比极端重要, 其重要程度比值为 m , 则由 $a^k = m$ (k 为标度等级), 可得参数 $a = \sqrt[k]{m}$. 目前大多学者认为取 $m = 9$ 是重要性之比的极限, 因此当标度等级为 7 时, 可得 $a = \sqrt[7]{9} \approx 1.37$.

4 基于复合标度的语言信息处理方法

4.1 二元语义表示模型及其缺陷分析

二元语义^[8]是一种基于符号转移的概念, 它采用一个二元组 (s_i, α_i) 表示决策者的语言评价信息. 其中: $s_i \in S$, $\alpha_i \in [-0.5, 0.5]$ 为符号转移值, 表示由计算得到的语言信息与预先定义的语言评价集 S 中最贴近的语言短语之间的偏差.

定义 1 设 $s_i \in S$ 是一个语言短语, 则其相应的二元语义形式可通过如下函数获得:

$$\theta(s_i) = (s_i, 0), s_i \in S.$$

定义 2 设 q_1, q_2, \dots, q_n 为一组语言评价信息, $q_i \in S$, $i = 1, 2, \dots, n$, 实数 $\beta \in [0, g]$ 为语言评价信息 q_1, q_2, \dots, q_n 经某种集结方法运算的结果, 则通过如下函数 Δ 能够求得与 β 相应的二元语义:

$$\Delta: [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5];$$

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha_i) = \begin{cases} s_i, & i = \text{round}(\beta); \\ \alpha_i = \beta - i, & \alpha_i \in [-0.5, 0.5]. \end{cases}$$

式中 round 是“四舍五入”取整运算.

定义 3 设 (s_i, α_i) 是一个二元语义, $s_i \in S$, $\alpha_i \in$

$[-0.5, 0.5]$, 则通过如下函数 Δ^{-1} 可以将二元语义 (s_i, α_i) 转化为相应的数值 $\beta \in [0, g]$, 即

$$\begin{cases} \Delta^{-1}: S \times [-0.5, 0.5] \rightarrow [0, g], \\ \Delta^{-1}(s_i, \alpha_i) = i + \alpha_i = \beta. \end{cases}$$

二元语义首先利用 θ 函数将决策者给出的语言评价信息 s_i 转换为二元组 $(s_i, 0)$, 然后利用 Δ^{-1} 函数实现由语言评估标度向 $1 - n$ 数字标度的转换.

运算 $\Delta^{-1}(\beta(s_i)) = i$, 清晰地描述了二元语义隐含的标度转换过程, 如图 3 所示 (在此取 $n = 7$).

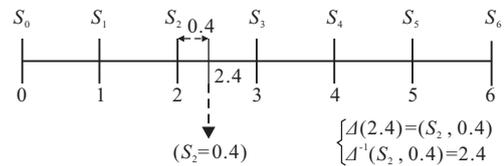


图 3 符号转移计算图例

二元语义将语言标度直接转换为 $0 \rightarrow n$ 标度, 容易产生下列问题:

1) 计算结果精度较差. 语言短语 (s_0, s_1, \dots, s_6) 中的数字下标是感觉重要程度序列值, 将序列值代入集结算法, 运算结果精确度较低. 应该根据心理物理学的定律^[9]推断人的“感觉变化”所代表的实际物理刺激量的大小进行运算, 但序列值粒度较粗, 可能会导致集结结果相同, 从而无法有效区分方案.

2) 可能出现与实际情况相反的逆序. 在语言评估标度中, 随着语言短语下标的增大, 相邻语言短语之间的语义距离绝对值也相应增大. 但转换到 $0 \sim n$ 标度后, 将非线性的语义距离生硬地转换为线性等距的数字距离, 会造成转换后信息语义的扭曲. 将扭曲的信息代入集结算法, 会产生扭曲, 甚至错误的结果.

上述问题使得二元语义应用的有效性和合理性受到质疑, 即便是专家给出的判断信息是合理的, 也会由于二元语义所采取的信息提取与合成方法, 而导致集结结果不合理.

4.2 基于复合标度的二元语义改进模型

标度转换不是简单的数值与对应位置语言短语的变换, 数字标度的选择应以能够准确表达专家语言表述为衡量标准.

为解决传统二元语义分析方法在信息转换过程中造成的信息损失, 建立基于复合标度的二元语义改进模型.

定义 4 设 $s_i \in S$ 是一个语言短语, 则其相应的二元语义形式可通过如下函数获得:

$$\theta(s_i) = (s_i, 0), s_i \in S.$$

定义 5 设 q_1, q_2, \dots, q_n 为一组语言评价信息, $q_i \in S$, $i = 1, 2, \dots, n$, 实数 $\beta \in [1 - \alpha^{g/2}, \alpha^{g/2} - 1]$ 为语言评价信息 q_1, q_2, \dots, q_n 经某种集结方法得到的结果,

则通过如下函数 Δ 能求得与 β 相应的二元语义:

$$\Delta: [1 - \alpha^{g/2}, \alpha^{g/2} - 1] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5);$$

$$\Delta(\beta) = (s_i, \delta_i) =$$

$$\begin{cases} s_i, i = \begin{cases} \frac{g}{2} + \text{round}(\log_a(\beta + 1)), & \beta \geq 0; \\ \frac{g}{2} - \text{round}(\log_a(|\beta| + 1)), & \beta < 0; \end{cases} \\ \delta_i = \begin{cases} \log_a(\beta + 1) + \frac{g}{2} - i, & \beta \geq 0; \\ -\log_a(1 - \beta) + \frac{g}{2} - i, & \beta < 0; \end{cases} \\ \delta_i \in [-0.5, 0.5). \end{cases}$$

式中 round 是“四舍五入”取整运算。

定义 6 设 (s_i, δ_i) 是一个二元语义, $s_i \in S, \delta_i \in [-0.5, 0.5)$, 则通过如下函数 Δ^{-1} 可以将二元语义 (s_i, δ_i) 转化为相应的数值 $\beta \in [1 - \alpha^{g/2}, \alpha^{g/2} - 1]$, 即

$$\Delta^{-1}: S \times [-0.5, 0.5) \rightarrow [1 - \alpha^{g/2}, \alpha^{g/2} - 1];$$

$$\Delta^{-1}(s_i, \delta_i) = \beta = \begin{cases} a^{(i+\delta_i-g/2)} - 1, & i + \delta_i \geq g/2; \\ -\alpha^{(g/2-i-\delta_i)} + 1, & i + \delta_i < g/2. \end{cases}$$

图 4 是改进后的二元语义表示模型转换过程示意图。

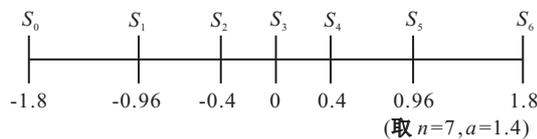


图 4 复合标度转换图例

5 实验及结果分析

假设对两套防空指控系统 X_1, X_2 进行效能评估, 其评估指标体系^[10]如 5 图所示。

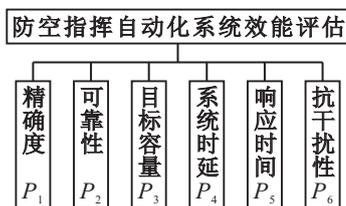


图 5 防空指控系统效能评估指标体系

为突出对比两种方法实验结果, 在此简化集结算法, 采取语言加权平均(WAA)算子进行集结. 该算子的特点是: 先对每个数据进行加权, 再对加权后的数据进行集结, 仅考虑每个数据的自身重要性程度。

军事专家给出数字型的评估指标体系的属性权重矩阵 $W = (0.24, 0.16, 0.15, 0.14, 0.16, 0.15)^T$, 对两套指控系统的属性评价如表 4 所示。

表 4 防空指控系统属性评价

方案	属 性					
	精确度	可靠性	目标容量	系统时延	响应时间	抗干扰性
X_1	很好	好	很好	好	差	非常好
X_2	好	一般	好	很好	一般	好

Step 1: 利用 θ 函数将语言形式的信息转化为二元语义形式, 利用 Δ^{-1} 函数将二元语义转化为相应的数值(取 $a=1.4$)。

以方案 1 的精确度为例, 二元语义形式及 β 值为

$$\theta(s_5) = (s_5, 0),$$

$$\beta_{\text{精确度}} = \Delta^{-1}(s_5, 0) = 1.4^{(5-3)} - 1 = 0.96.$$

全部标度转换后的 β 值如表 5 所示。

表 5 转换后评价

方案	属 性					
	精确度	可靠性	目标容量	系统时延	响应时间	抗干扰性
X_1	0.96	0.4	0.96	0.4	-0.4	1.8
X_2	0.4	0	0.4	0.96	0	0.4

Step 2: 利用 WAA 算子, 分别求出两套系统的效能评估值

$$X_1 = \text{WAA}(0.96, 0.4, 0.96, 0.4, -0.4, 1.8) = 0.70,$$

$$X_2 = \text{WAA}(0.4, 0, 0.4, 0.96, 0, 0.4) = 0.35.$$

Step 3: 利用 Δ 函数求取与评估值相对应的二元语义形式

$$\Delta(X_1) =$$

$$\begin{cases} i = \frac{g}{2} + \text{round}(\log_{1.4} 1.7) = 5, \\ a_i = \log_{1.4} 1.7 + \frac{g}{2} - i = -0.42, \end{cases} = (S_5, -0.42);$$

$$\Delta(X_2) =$$

$$\begin{cases} i = \frac{g}{2} + \text{round}(\log_{1.4} 1.35) = 4, \\ a_i = \log_{1.4} 1.35 + \frac{g}{2} - i = -0.112, \end{cases} = (S_4, -0.112).$$

当只需要对方案进行排序时, 可以省略 Step 3, 直接比较 X_1 和 X_2 的值, 以提高定量决策的速度。

表 6 改进模型与传统二元语义运算结果对比

系统	传统二元语义分析方法	基于指数标度的二元语义
X_1	$(s_4, 0.37)$	$(s_5, -0.42)$
X_2	$(s_4, -0.18)$	$(s_4, -0.112)$

从表 6 的结果分析可知:

1) 当方案各属性的评价数据偏向标度坐标轴“中间”时(如方案 2), 改进后的算法与传统算法集结结果具有较好的一致性, 验证了采用传统二元语义分析方法将语言标度转换为 $0 \sim n$ 标度, 使用感觉反应量可以进行近似运算。

2) 当方案各属性的部分评价数据偏向“两边”时(如方案 1), 改进后的算法能较准确地表达语义信息含义, 提供更好的运算精度和方案分辨能力。

6 结 论

本文提出了一种处理语言评价信息的复合标度, 在此基础上建立的二元语义改进模型, 可以较好地提高二元语义精确决策能力, 为处理语言类决策问

题提供了一个新方法. 同时, 关于标度的分类理顺了不同类型标度之间的关系, 新标度的提出丰富了评价标度的种类. 本文的工作具有较重要的理论意义和应用价值.

参考文献(References)

- [1] Xu Zeshui. An approach to pure linguistic multiple attribute decision making under uncertainty[J]. Int J of Information Technology and Decision Making, 2005, 4(2): 197-206.
- [2] 姜艳萍, 樊治平. 基于二元语义符号运算的群决策方法[J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25(11): 1373-1376. (Jiang Y P, Fan Z P. An approach to group decision-making problems based on two-tuple linguistic symbol operation[J]. Systems Engineering and Electronics, 2003, 25(11): 1373-1376.)
- [3] Herrera F, Martinez L. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words[J]. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 2000, 8(6): 746-752.
- [4] 郭亚军, 张发明, 易平涛. 标度选择对综合评价结果的影响及合理性分析[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(7): 1277-1280. (Guo Y J, Zhang F M, Yi P T. Rationality analysis on different scales and comprehensive evaluation result sensitivity[J]. Systems Engineering and Electronics, 2008, 30(7): 1277-1280.)
- [5] Xu Zeshui. An interactive procedure for linguistic multiple attribute decision making with incomplete weight information[J]. Fuzzy Optimization and Decision Making, 2007, 6(1): 17-27.
- [6] 刘武, 裴登峰. 费希纳的心理物理学与现代定量心理学的测量方法论评述[J]. 东北大学学报, 2004, 6(3): 168-171. (Liu W, Pei D F. Fechner's psychophysics and methodological review measurement in modern quantitative psychology[J]. J of Northeastern University, 2004, 6(3): 168-171.)
- [7] 吕跃进, 张维. 指数标度在AHP标度系统中的重要作用[J]. 系统工程学报, 2003, 18(5): 452-456. (Lv Y J, Zhang W. Kernel function of index scale in the scale system of the AHP[J]. J of Systems Engineering, 2003, 18(5): 452-456.)
- [8] Herrera F, Herrera-Viedma E. Linguistic decision analysis: Steps for solving decision problems under linguistic information[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 20(115): 67-82.
- [9] Ding M, Eliashberg J. A dynamic competitive forecasting model incorporating dyadic decision-making[J]. Management Science, 2008, 54 (4): 820-834.
- [10] 王瑜, 郑荣金, 陈志军. 基于理想点的指挥自动化系统不确定多属性效能评估[J]. 海军工程大学学报, 2006, 18(5): 43-45. (Wang Y, Zheng R J, Chen Z J. Uncertain multi-attribute effectiveness evaluation of C3I system based on ideal points[J]. J of Naval University of Engineering, 2006, 18(5): 43-45.)

(上接第779页)

2) 单调约束模型MRM的工程适应性较强, 只要产品阶段试验数据呈增长趋势, 就能使用此模型, 而且可充分利用产品全部技术状态阶段的试验数据.

3) 在工程实践中使用MRM模型时, 可靠性参数的概率密度函数 $f(R)$ 是由曲线拟合所得, 误差不可避免, 因此对于高可靠性产品MRM模型会存在较大误差. MRM模型的建议适用范围是任务可靠度均值低于0.99, 弹用发动机就是这类典型产品.

参考文献(References)

- [1] 周源泉, 翁朝曦. 可靠性增长[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 5-15. (Zhou Y Q, Weng Z X. Reliability growth[M]. Beijing: Science Press, 1992: 5-15.)
- [2] 邹心遥, 姚若河. 小子样统计理论及IC可靠性评估[J]. 控制与决策, 2008, 23(3): 241-244. (Zou X Y, Yao R H. Small sample statistical theory and IC reliability assessment[J]. Control and Decision, 2008, 23(3): 241-244.)
- [3] Utkin L V. A new efficient algorithm for computing the imprecise reliability of monotone systems[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2004, 86(3): 179-190.
- [4] 李新民, 李国英, 徐兴忠. 参数受限制时的Fiducial区间及其应用[J]. 中国科学(A辑), 2005, 35(1): 106-120. (Li X M, Li G Y, Xu X Z. Fiducial interval with restricted parameter space and its application[J]. Science in China (A), 2005, 35(1): 106-120.)
- [5] 赵宇, 黄敏, 王智. 一种用于变环境数据的可靠性增长分析模型[J]. 航空学报, 2002, 23(2): 111-114. (Zhao Y, Huang M, Wang Z. Model of reliability growth evaluation to various environments[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2002, 23(2): 111-114.)