

文章编号: 1001-0920(2007)08-0859-05

基于模糊多属性决策的目标威胁估计方法

王小艺^{1,2}, 刘载文^{1,2}, 侯朝桢¹, 张 翠¹, 原菊梅¹

(1. 北京理工大学 自动控制系, 北京 100081; 2. 北京工商大学 信息工程学院, 北京 100037)

摘 要: 针对目标威胁估计的功能及特点, 提出一种属性为区间数且属性权重完全未知, 决策者对方案有偏好的多属性决策(MADM)方法. 首先给出方案偏好度的计算公式, 在综合考虑客观优化排序和决策者对方案有主观偏好的基础上, 建立了一种主客观综合属性权重获取模型, 使得属性权重信息更加合理地反映实际情况, 模型具有较强的泛化能力. 最后, 通过防空目标威胁估计实例说明了该方法的实用性和有效性.

关键词: 威胁估计; 多属性决策; 方案偏好度; 属性权重

中图分类号: TP301.6 **文献标识码:** A

Method of object threat assessment based on fuzzy MADM

WANG Xiaoyi^{1,2}, LIU Zai-wen^{1,2}, HOU Chaoshen¹, ZHANG Cui¹, YUAN Jumei¹

(1. Department of Automatic Control, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 2. College Information and Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100037, China. Correspondent: WANG Xiaoyi, E-mail: sdwangxy@163.com)

Abstract: According to the function and characters of object threat assessment, a kind of indetermination MADM method with the attribute value of interzone data, completely unknown attribute weighing and the subjective bias towards projects of the decision-maker is presented. A compute formula of obtaining object bias degree is given. Considering synthetically the two aspects of objective optimization taxis and based on the subjective bias to objects of decision maker, a combined optimization model of obtaining attribute weighing is set up, which makes attribute weighing information more reasonably reflect the actual situation, and the model has stronger general applicability. Finally, a numerical example of aerial defense object threat assessment is given to show the rationality and effectiveness of the method.

Key words: Threat assessment; MADM; Object bias degree; Attribute weighing

1 引 言

威胁估计(TA)作为指挥员作战决策过程中重要的一环,可以根据战场敌我双方的态势推断敌方对我方的威胁程度,为我方的决策和指挥提供支持,它是进行多目标攻击的基础,是火力分配和战术决策的前提条件. 目前对威胁估计的研究方法很多,主要有:到达时间判定法、相对距离判定法、相对方位判定法、线性加权判定法、变权理论法、属性分析法、神经网络方法以及模糊数学方法等^[1-5]. 由于多属性决策理论综合考虑了目标威胁中的多个因素,能够全面地反映多因素对最终评估的影响,已成为目标威胁研究的一个热点^[6-8].

现有的目标威胁估计方法是将目标属性值作为实数进行处理,而且没有考虑决策者的主观经验对

威胁评估的影响,这显然不符合实际情况. 由于防空作战中大都采用多传感器系统对来袭目标进行探测与搜索,不同传感器因自身性能差别或受外界环境等因素的影响,所获取的威胁目标属性信息呈现不完整性、不确定性及不可靠性等特点;同时,作战指挥决策人员对威胁目标的偏好信息在目标威胁评估过程中起到了重要作用,而偏好信息本身也具有模糊性和不完整性等特点. 为全面、有效地利用不同传感器提供的威胁目标属性信息和决策者的偏好信息,需要进行一定的处理. 本文将威胁目标属性信息和决策偏好信息作为随机分布的模糊数,以区间数的形式表示,可避免因部分传感器失效或受外界环境等因素影响及决策者主观经验出现的误差. 运用模糊多属性决策方法研究威胁目标评估问题,提高

收稿日期: 2006-04-30; 修回日期: 2006-07-11.

基金项目: 国防预研基金项目(Z172004A001).

作者简介: 王小艺(1975—),男,山西新绛人,博士生,从事智能信息指挥控制系统建模方法研究;侯朝桢(1938—),男,北京人,教授,博士生导师,从事计算机控制、高级仿真体系结构等研究.

了威胁目标的排序精度,为防空火力分配提供了依据.

2 目标威胁估计的多属性决策模型

2.1 目标威胁估计的属性选取

在防空作战的目标威胁估计中,敌我双方均相互保密,作为防空方只能根据探测、跟踪装置获得的目标信息及平时掌握的敌方信息进行判断.根据武器系统作战使用原则和传感器提供的特征信息,影响目标威胁的主要因素包括:空袭方的目标类型、我方与目标的相对距离、目标的速度、目标的航向角、目标的干扰能力以及目标的空袭样式.

按照多属性决策的属性特征分类,空袭方的目标类型、干扰能力及空袭方式属于定性属性,而目标的速度、航向角及相对距离属于定量属性.按照属性的具体含义分类,目标的速度、空袭方式、干扰能力属于效益型指标,而目标的类型、航向角及空袭方式属于成本型属性.

2.2 威胁估计多属性模型

目标威胁估计的多属性决策模型可简单地表示为

$$\max_{x_i \in R} k_i, \quad (1)$$

$$R = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}.$$

其中: R 表示探测装置探测到目标集合; k_i 表示 x_i 批目标威胁度的优序数,其值越大表明威胁程度越大.

3 模糊多属性决策方法

3.1 区间数矩阵

因区间数可视为一类特殊的模糊数,故可采用模糊排序的方法和技术对其进行研究^[9].在进行区间数多属性决策时,主要面临如何表示区间数判断以及如何从区间数决策矩阵导出方案的排序问题.

3.1.1 区间数决策矩阵及规范化^[9]

以区间数为元素的矩阵称为区间数矩阵,表示为 $A = [a_{ij}]_{n \times m}$,其运算可按普通的数字矩阵的运算定义.

定义 1 $R = [r_{ij}]_{n \times m}$ 为规范化区间数决策矩阵,如果 $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$, 则有 $r_{ij} = [r_{ij}^L, r_{ij}^U]$, 且 $r_{ij}^L, r_{ij}^U \in [0, 1]$.

$$\begin{cases} r_{ij}^L = a_{ij}^L / \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n (a_{ij}^U)^2}, \\ r_{ij}^U = a_{ij}^U / \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n (a_{ij}^L)^2}, i = N, j = T_1; \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} r_{ij}^L = (1/a_{ij}^U) / \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n (1/a_{ij}^L)^2}, \\ r_{ij}^U = (1/a_{ij}^L) / \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n (1/a_{ij}^U)^2}, i = N, j = T_2. \end{cases} \quad (3)$$

其中: T_1, T_2 分别为效益型属性和成本型属性.

3.1.2 区间数的排序

考虑到目标威胁估计对实时性和准确性要求较高,同时还要兼顾实用性和易操作性等,在此选用期望-方差法^[10]作为区间数排序方法.

如概率密度 $P(x)$ 选用均匀分布时,有 $P(\bar{A}) = 1/|\bar{A}|$, 根据服从均匀分布随机变量的概率密度函数,容易求得其均值和均方差为

$$m(\bar{A}) = (\bar{A}^L + \bar{A}^U)/2, \quad (4)$$

$$(\bar{A}) = (\bar{A}^L - \bar{A}^U)/2\sqrt{3}.$$

3.2 方案偏好信息的获取

决策者对方案的偏好与决策者的经验直接相关,而决策者经验则是建立在对方案属性及其属性重要性认识的基础上.在考虑决策者对方案的偏好信息与决策者对方案中涉及的属性、属性重要度及决策者自身权威度相关的特性,给出如下方案偏好度的定义.

定义 2 决策者对方案偏好度是决策者权威度与方案中属性值和属性重要度加权乘积的乘积,记作

$$d_i = b \prod_{j=1}^m r_{ij} w_j, \quad (5)$$

其中: d_i 为决策者对第 i 个方案的偏好度; b ($b \in (0, 1)$) 为决策者的权威度,可根据决策者在该领域被认知的程度确定(采用 FHW 方法获得^[12]); r_{ij} 为在方案 i 下第 j 个属性的规范化值; w_j 为属性的重要度(视为属性的初始权重),可借助一些常用方法(如环比法(CCM),AHP 方法等^[11])获得.

当有多个决策者参与方案决策时,会因经验差别对方案的偏好存在差异.设第 p 个决策者的权威度为 b_p ($b_p \in (0, 1)$, $p = 1, 2, \dots, h$), 其中 h 为决策组成员人数.为达到综合不同决策者偏好的目的,可按式获得多决策者对不同方案的偏好度:

$$d_i = \frac{1}{h} \prod_{p=1}^h b_p \prod_{j=1}^m r_{ij} w_j. \quad (6)$$

3.3 属性权重的获取模型

在多属性决策问题中,关于属性的客观赋权方法很多.本文对文献[13]中的确定属性权重方法进行扩展,给出以区间数形式表示的属性优化权重以获取模型.首先给出区间数接近度和理想值的定义.

定义 3 设规范化区间数矩阵 $A = [r_{ij}]_{n \times m}$, 其中 $r_{ij} = [r_{ij}^L, r_{ij}^U]$. 令矩阵中任意两个区间数的范数 $r_{ij} - r_{kj} = |r_{ij}^L - r_{kj}^L| + |r_{ij}^U - r_{kj}^U|$, 称 $d(r_{ij}, r_{kj}) = r_{ij} - r_{kj}$ 为决策矩阵中元素 r_{ij} 与 r_{kj} 之间的接近度.

定义 4 设规范区间数决策矩阵 $A = [r_{ij}]_{n \times m}$, 各属性理想值为 $r_j^+ = [r_j^{L+}, r_j^{U+}]$, 且

$$r_j^L = \max\{r_{ij}^L / i = 1, 2, \dots, n\},$$

$$r_j^U = \max\{r_{ij}^U / i = 1, 2, \dots, n\},$$

$$j = 1, 2, \dots, m.$$

对于属性 f_j , 各方案评价价值与方案理想值之间的偏差(采用平方表示)为

$$D_i(\lambda) = \sum_{j=1}^m d^2(r_j^+, r_{ij})^2 \lambda_j, i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, M. \quad (7)$$

权重向量的选取应使所有方案的评价价值与理想方案值之间的总偏差最小, 即应满足下列约束最优化问题(P1):

$$\begin{cases} \min F_1(\lambda) = \sum_{i=1}^n D_i(\lambda) = \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d^2(r_j^+, r_{ij})^2 \lambda_j, \\ \text{s.t. } \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, m, \sum_{j=1}^m \lambda_j = 1. \end{cases} \quad (8)$$

另外, 希望决策者主观偏好在决策与排序中起到一定的指导作用. 由于决策者的主观偏好与客观偏好之间往往存在一定的差距, 为使决策具有合理性, 属性权重 λ_j 的选取应使决策的客观偏好(属性值)与主观偏好值的总偏差越小越好. 建立考虑决策者偏好情况下的获取属性权重的优化模型, 应满足下列约束最优化问题(P2):

$$\begin{cases} \min F_2(\lambda) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d^2(r_{ij}, d_i)^2 \lambda_j, \\ \text{s.t. } \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, m, \sum_{j=1}^m \lambda_j = 1. \end{cases} \quad (9)$$

综合规划模型 P1 和模型 P2, 构造如下双目标决策问题(P3):

$$\begin{cases} \min F_3 = [F_1, F_2], \\ \text{s.t. } \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, m, \sum_{j=1}^m \lambda_j = 1. \end{cases} \quad (10)$$

为求解综合规划模型(P3), 可采用多目标分析中的线性加权法和. 将规划模型(P1)和模型(P2)综合为以下具体的模型:

$$\begin{aligned} \min F(\lambda) = & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d^2(r_j^+, r_{ij})^2 \lambda_j + \\ & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d^2(r_{ij}, d_i)^2 \lambda_j = \\ & \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n d^2(r_j^+, r_{ij}) + \sum_{i=1}^n d^2(r_{ij}, d_i) \right) \lambda_j, \\ \text{s.t. } & \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n, \\ & \sum_{j=1}^m \lambda_j = 1, \alpha + \beta = 1. \end{aligned} \quad (11)$$

其中: α, β 为调节两种规划模型的权系数, 当 $\alpha = 1,$

$\beta = 0$ 时, 模型(P3)变为(P1), 此时确定属性权重的方法为基于理想属性值方法(客观赋权法); 当 $\alpha = 0, \beta = 1$ 时, 模型(P3)变成模型(P2), 此时确定属性权重的方法变为决策者对方案有偏好赋权法(主观赋权法); 若 $\alpha, \beta \in (0, 1)$, 则模型(P3)确定目标权重的方法可同时反映主观和客观信息.

4 目标威胁估计算法及实现

4.1 模糊区间数多属性决策算法

模糊区间数多属性决策方法步骤如下:

- 1) 对一多属性决策问题, 选择涉及的相关属性;
- 2) 对属性进行模糊化处理, 其中定性属性利用文献[11]中 9 级量化法将其转变成区间数形式, 构成决策矩阵 $A = [a_{ij}^L, a_{ij}^U], i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m;$
- 3) 利用式(2), (3) 对决策矩阵进行规范化处理, 得到规范化决策矩阵 $R = [r_{ij}]_{n \times m} = [r_{ij}^L, r_{ij}^U];$
- 4) 确定各属性的理想值 $r_j^+, j = 1, 2, \dots, m;$
- 5) 根据式(6) 获得决策者对评估方案的主观偏好度 $d_i, i = 1, 2, \dots, n;$
- 6) 利用式(11) 求取属性最优权重分配 $\lambda_j;$
- 7) 根据式 $z_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} \lambda_j$ 计算各个威胁目标的综合属性值 $z_i;$
- 8) 利用式(4) 处理综合属性值, 根据结果进行威胁排序.

4.2 防空目标威胁估计的应用

假定敌方采用空袭编队形式对我方某区域进行空袭, 我方地面多传感器系统探测到威胁目标数目为 5 批. 表 1 给出了威胁目标的定性属性特征.

表 1 威胁目标的定性属性特征

目标	空袭兵器种类	目标干扰能力	目标空袭样式
x_1	大型目标	强	低空
x_2	小型目标	弱	中空
x_3	大型目标	强	低空
x_4	小型目标	弱	中空
x_5	武装直升机	中	超低空

下面介绍利用本文方法进行目标威胁估计的计算过程.

4.2.1 目标属性量化与规范化处理

表 2 给出了多传感器系统获得的各批威胁目标定性属性的量化结果及定量属性的测试范围. 对表 2 中的属性值进行规范化处理, 其中利用式(2) 对效益型属性进行规范化处理; 利用式(3) 对成本型属性进行规范化处理. 获得属性规范决策矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} [0.34, 0.43] & [0.21, 0.22] & [0.35, 0.59] \\ [0.54, 0.65] & [0.56, 0.62] & [0.57, 0.88] \\ [0.53, 0.59] & [0.42, 0.46] & [0.11, 0.17] \\ [0.53, 0.63] & [0.62, 0.67] & [0.24, 0.47] \\ [0.18, 0.25] & [0.05, 0.06] & [0.08, 0.14] \\ [0.55, 0.65] & [0.41, 0.50] & [0.59, 0.73] \\ [0.11, 0.17] & [0.28, 0.34] & [0.19, 0.22] \\ [0.58, 0.70] & [0.41, 0.48] & [0.39, 0.44] \\ [0.13, 0.16] & [0.31, 0.37] & [0.23, 0.26] \\ [0.40, 0.48] & [0.59, 0.68] & [0.50, 0.59] \end{bmatrix}$$

表2 目标属性量化结果

目标	空袭兵器种类	目标速度	目标航向角
x_1	[0.342, 0.434]	[0.205, 0.223]	[0.354, 0.585]
x_2	[0.542, 0.646]	[0.558, 0.622]	[0.571, 0.879]
x_3	[0.534, 0.394]	[0.415, 0.556]	[0.105, 0.165]
x_4	[0.534, 0.631]	[0.622, 0.667]	[0.240, 0.465]
x_5	[0.178, 0.252]	[0.051, 0.064]	[0.080, 0.140]

目标	目标干扰能力	目标空袭样式	目标距离
x_1	[0.552, 0.653]	[0.410, 0.503]	[0.585, 0.725]
x_2	[0.113, 0.171]	[0.278, 0.336]	[0.194, 0.223]
x_3	[0.581, 0.700]	[0.395, 0.479]	[0.390, 0.443]
x_4	[0.127, 0.163]	[0.307, 0.368]	[0.234, 0.262]
x_5	[0.397, 0.482]	[0.585, 0.679]	[0.505, 0.591]

4.2.2 确定决策者对威胁目标的偏好度

有4位作战指挥员参与作战决策,其权威度为 $b_p = (0.85, 0.77, 0.82, 0.93)$, 根据环比法获得属性的重要度(作为属性的初始权重) $j = (0.20,$

表3 不同模型参数下属性优化权重及综合属性值比较

模型参数	属性优化权重 j	方案属性综合值 z_i
$\alpha = 1.0, \beta = 0.0$ (P1模型)	(0.42, 0.11, 0.08, 0.10, 0.18, 0.11)	(0.438, 0.464, 0.484, 0.445, 0.324)
$\alpha = 0.8, \beta = 0.2$ (P1和P2模型)	(0.41, 0.11, 0.08, 0.10, 0.18, 0.12)	(0.439, 0.462, 0.482, 0.443, 0.325)
$\alpha = 0.5, \beta = 0.5$ (P1和P2模型)	(0.39, 0.12, 0.09, 0.10, 0.18, 0.12)	(0.440, 0.460, 0.478, 0.439, 0.326)
$\alpha = 0.2, \beta = 0.8$ (P1和P2模型)	(0.34, 0.14, 0.11, 0.11, 0.18, 0.13)	(0.441, 0.457, 0.467, 0.432, 0.325)
$\alpha = 0.0, \beta = 1.0$ (P2模型)	(0.25, 0.18, 0.16, 0.11, 0.17, 0.13)	(0.439, 0.467, 0.438, 0.424, 0.308)
$\alpha_1 = 0.651, \alpha_2 = 0.349$ (文献[14])	(0.37, 0.11, 0.12, 0.10, 0.18, 0.12)	(0.445, 0.464, 0.467, 0.432, 0.324)

4.2.4 确定目标的威胁排序

根据防空目标威胁估计的特点,即决策指挥员的主观经验在模型中起到了相对重要的作用,选择 $\alpha = 0.8, \beta = 0.2$. 根据表3中方案属性综合值的计算结果,威胁度的排序结果为 $x_3 > x_2 > x_1 > x_4 > x_5$.

在获得目标威胁排序结果之后,火力单元便可根据威胁排序的结果对目标进行火力分配.

5 结论

在综合考虑客观排序与决策者对方案有主观偏

好的基础上,建立了获取方案属性优化权重的综合模型. 该方法在极大程度上兼顾了客观优选排序和决策者对方案有偏好两方面的优势,使属性权重信息能更加准确地反映实际情况. 通过调节模型参数的取值来调节模型的取向,可突出客观优选排序或决策者主观偏好在解决实际问题的重要性,使模型具有较强的泛化能力. 该方法具有运算简单、计算机编程易于实现、实时性高等特点,解决了目标威胁排序问题,为防空火力分配提供了依据. 该方法也为解决类似问题提供了一条有效途径.

$$d_i = [[0.3086, 0.3948], [0.3828, 0.4663], [0.3298, 0.3799], [0.3116, 0.3809], [0.2099, 0.2623]]$$

由目标偏好度计算结果可知,决策者认为目标2的威胁度最大,其次为目标3,而目标5的威胁度最小.

4.2.3 确定目标属性最优权重及综合属性值

计算出在不同模型参数下目标属性的最优权重分配后,根据步骤7)和8)计算目标的综合属性值,比较结果如表3所示.

由表3可见,当综合模型参数选择不同时,所获得的属性优化权重分配有所差别. 其中属性 f_1 (目标类型) 的权重由模型(P1)到(P2)的转换中逐渐减小,变化的原因是由于决策者主观偏好信息在模型中作用逐渐增大. 但该属性权重相对其他属性始终最大,说明该属性对决策结果所起的作用最大. 其他属性权重分配由于模型的转换出现了部分变化.

对于目标威胁的综合排序,当模型偏向客观排序模型(P1)时($\alpha > \beta$),目标3的威胁度最大;当模型偏向主观排序模型(P2)时($\alpha < \beta$),由于模型中决策者对目标威胁主观偏好所起的作用,使得目标2的威胁度变为最大;而目标5不论在什么情况下的威胁度始终为最小. 其他目标威胁度由于模型的侧重不同而出现不同的排序结果,这与运用文献[14](采用组合赋权方法)中方法计算的结果一致.

好的基础上,建立了获取方案属性优化权重的综合模型. 该方法在极大程度上兼顾了客观优选排序和决策者对方案有偏好两方面的优势,使属性权重信息能更加准确地反映实际情况. 通过调节模型参数的取值来调节模型的取向,可突出客观优选排序或决策者主观偏好在解决实际问题的重要性,使模型具有较强的泛化能力. 该方法具有运算简单、计算机编程易于实现、实时性高等特点,解决了目标威胁排序问题,为防空火力分配提供了依据. 该方法也为解决类似问题提供了一条有效途径.

参考文献(References)

- [1] 华中和, 李群. 雷达网信息处理[M]. 武汉: 空军雷达学院, 1992.
(Hua Zhong-he, Li Qun. Information disposal of radar net [M]. Wuhan: Institute of Air Force Radar, 1992.)
- [2] 曹可劲, 江汉, 赵宗贵. 一种基于变权理论的空中目标威胁估计方法[J]. 解放军理论大学学报, 2006, 7(1): 32-35.
(Cao Ke-jin, Jiang Han, Zhao Zong-gui. Air threat assessment based on variable weight theory [J]. J of PLA University of Science and Technology, 2006, 7(1): 32-35.)
- [3] 王猛, 章新华, 夏志军. 基于属性分析的威胁评估技术研究[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(5): 848-851.
(Wang Meng, Zhang Xin-hua, Xia Zhi-jun. Research on the threat assessment based on cue analysis [J]. Systems Engineering and Electronics, 2005, 27(5): 848-851.)
- [4] Tony Jan. Neural network based threat assessment for automated visual surveillance [C]. Proc of 2004 IEEE Int Joint Conf on Neural Networks. 2004: 1309-1312.
- [5] 姜宁, 胡维礼. 辐射源威胁等级判定的模糊多属性方法[J]. 兵工学报, 2004, 25(1): 56-59.
(Jiang Ning, Hu Wei-li. Fuzzy multi-attribute method of emitter threatening grade evaluation [J]. Acta Armamentar, 2004, 25(1): 56-59.)
- [6] Qu C W, He Y. A method of threat assessment using multiple attribute decision-making [C]. Proc of the 6th Int Conf on Signal Processing. 2002: 1091-1095.
- [7] 曲长文, 何友, 马强. 应用多属性决策的威胁估计方法[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 22(5): 26-29.
(Qu Chang-wen, He You, Ma Qiang. Threat assessment method using multi-attribute decision-making [J]. Systems Engineering and Electronics, 2002, 22(5): 26-29.)
- [8] 周林, 娄寿春, 赵杰. 基于 MADM 的威胁评估排序模型[J]. 系统工程与电子技术, 2001, 23(1): 18-41.
(Zhou Lin, Lou Shou-chun, Zhao Jie. Model of menace assess ordering based on MADM [J]. Systems Engineering and Electronics, 2001, 23(1): 18-41.)
- [9] 徐泽水. 求解不确定多属性决策问题的一种新方法[J]. 系统工程学报, 2002, 17(2): 177-181.
(Xu Ze-shui. New method for uncertain multi-attribute decision making problems [J]. J of Systems Engineering, 2002, 17(2): 177-181.)
- [10] 周光明, 成央金. 不确定多属性决策中区间数的排序法[J]. 湘潭大学社会科学学报, 2002, 26(5): 180-181.
(Zhou Guang-ming, Cheng yang-jin. The taxis method of interzone data in indetermination MADM [J]. Social Science J of Xiangtan University, 2002, 26(5): 180-181.)
- [11] 魏世孝, 周献中. 多属性决策理论与方法及其在 C3I 系统中的应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
(Wei Shi-xiao, Zhou Xian-zhong. Theory and method of multi-attribute decision making and application on C3I system [M]. Beijing: Industry Publishing Company of National Defense, 1998.)
- [12] 谢砚青, 张江, 国强, 等. 模糊灰色物元 (FHW) 理论与实践—宏观复杂大系统决策方法[J]. 中国工程科学, 2002, 4(11): 57-66.
(Xie Yan-qing, Zhang Jiang, Guo Qiang, et al. Fuzzy gray matter element space theory and practical application and development—The policy D Engineering Science [J]. Engineering Science, 2002, 4(11): 57-66.)
- [13] 樊治平. 多属性决策的一种新方法[J]. 系统工程, 1994, 12(1): 25-28.
(Fan Zhi-ping. A new method for multiple attribute decision making [J]. Systems Engineering, 1994, 12(1): 25-28.)
- [14] 陈华友. 多属性决策中基于离差最大化的组合赋权方法[J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(2): 194-197.
(Chen Hua-you. Combination determining weights method for multiple attribute decision making based on maximizing deviations [J]. Systems Engineering and Electronics, 2004, 26(2): 194-197.)

(上接第 858 页)

- [17] Rudolf Brockhaus. 飞行控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999: 413-414.
(Rudolf Brockhaus. Flight control [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1999: 413-414.)
- [18] Ioannou P A, Sun J. Robust adaptive control [M]. New Jersey: Prentice-Hall, 1996.
- [19] Brian L S, Frank L L. Aircraft control and simulation [M]. New York: Wiley Interscience, 2003: 327-348.