第 33 卷 第 6 期 计 算 机 工 程 2007 年 3 月
Vol.33 No.6 Computer Engineering March 2006
·人工智能及识别技术· 文章编号：1000—3428(2007)06—0201—02 文献标识码：A 中图分类号：TP311

信息对抗中多属性决策模型的研究

张朝昆[1,2]，孙富春[2]
(1. 河北师范大学数学与信息科学学院，石家庄 050016；2. 清华大学智能技术与系统国家重点实验室，北京 100084)

摘 要：在分析信息对抗重要作用的基础上，针对各种决策理论在信息对抗中的应用，利用不确定性理论，建立基于理想点的多属性决策模型，给出决策结论的可靠性分析。

关键词：信息对抗；多属性决策方法(MADM)；理想点

Research of Model for MADM in Information Countermeasure

ZHANG Chaokun[1, 2], SUN Fuchun[2]
(1. College of Mathematics and Information Science, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016;
2. State Key Laboratory of Intelligent Technology and Systems, Tsinghua University, Beijing 100084)

【**Abstract**】After analyzing information countermeasure, aiming at application of all kinds of decision theory in countermeasure, multiple attribute decision model based on ideal is constructed by uncertain theory, and reliability analyses of decision conclusion are given.

【**Key words**】Information countermeasure; Multiple attribute decision making(MADM); Ideal point

随着信息科学的快速发展，信息已经成为人们生活中不可缺少的一部分，随之而来的就是信息安全和信息对抗问题。信息对抗主要应用在军事领域中。如在文献[1,2]中提到，在当今世界中，C3 Counter Measure(C3CM)系统是一个重要的、值得人关注的、具有创造性的系统。

在信息对抗过程中，作出正确的决策是非常重要的。现在比较常用的决策理论有 Bayes 决策理论、D-S 证据推理理论、Rough 集决策理论、模糊理论等。在信息对抗中，信息融合之后的数据以属性的形式存放在数据库当中，例如，数据库中存放的为目标 ID、目标类型、目标航迹的经纬高度、目标航迹的经纬高度误差、目标检测可信度和目标识别可信度等，决策支持系统可以将这些作为目标属性来进行决策，因此，这里采用多属性决策方法进行建模是一种比较高效的方法。

多属性决策(Multiple Attribute Decision Making, MADM)也称为有限方案的多目标决策，作为不确定理论的研究内容，是现代决策科学的一个重要组成部分，它的理论和方法在军事领域中有着广泛的应用。多属性决策的实质是利用已有的决策信息通过一定的方式对一组(有限个)备选方案或目标进行排序并择优。由于在对抗过程中，各个属性之间的权重预先并不可能得知。

因此，它属于属性权重完全未知的多属性决策方法。实现这类决策有多种方法，如基于有序加权平均(OWA)算子的多属性决策方法、基于离差最大化的多属性决策方法、基于信息熵的多属性决策方法和对方案有偏好信息的多属性决策方法等。

1 多属性决策模型

由于权重完全未知，因此，确定权重是决策中最重要的部分。基于理想点的多属性决策方法是一个存在部分属性权重的决策方法，但将其特殊化，即全部属性权重不可知。为了便于说明，令 $M=\{1,2,\ldots,m\}$，$N=\{1,2,\ldots,n\}$，并设 $D=\{d_1,d_2,\ldots,d_n\}$ 为目标集，$U=\{u_1,u_2,\ldots,u_m\}$ 为属性集，属性权重信息完全未知。假设属性权重向量 $\omega=(\omega_1,\omega_2,\ldots,\omega_m),\omega_j\ge 0, j\in M$，并满足单位化约束条件 $\sum_{j=1}^{m}\omega_j=1$。下面介绍基于理想点的多属性决策方法的实现步骤。

Step1 对于目标 $d_i(i\in N)$，按属性 $u_j(j\in M)$ 进行测度，得到 d_i 关于 u_j 的属性值 a_{ij}，从而构成决策矩阵 $A=\left(a_{ij}\right)_{n\times m}$。

Step2 根据属性类型是固定型、成本型或效益型，分别按下面的式(1)、式(2)或式(3)对决策矩阵 A 进行规范化处理。假设经过规范化处理后，得到规范化矩阵 $V=\left(v_{ij}\right)_{n\times m}$。

由于属性的类型可能不同，一般有效益型(属性值越大越好的属性)、成本型(属性值越小越好的属性)和固定型(属性值越接近某个固定值 a_j 越好的属性)等类型。设固定型、效益型和成本型所对应的下标集分别为G、G^+和G^-，为了消除不同物理量纲对决策结果造成的影响，决策时应将决策矩阵A进行规范化处理。固定型的属性的规范化处理可以由式(1)计算得到。

$$v_{ij}=1-\frac{|a_{ij}-a_j|}{\max\limits_i|a_{ij}-a_j|}, i\in N, j\in G \tag{1}$$

式(1)中，若 a_j 取最大值，即 $\max\limits_i(a_{ij}), i\in N$ 时，将变为成本型属性的计算公式：

$$v_{ij}=\frac{\max\limits_i(a_{ij})-a_{ij}}{\max\limits_i(a_{ij})-\min\limits_i(a_{ij})}, i\in N, j\in G^- \tag{2}$$

类似地，在式(1)中，若 a_j 取最小值，即 $\min\limits_i(a_{ij})$,

基金项目：国家“973”计划基金资助项目(G2002cb312205)
作者简介：张朝昆(1981－)，男，硕士，主研方向：信息融合及决策支持系统；孙富春，教授、博士后
收稿日期：2006-03-30 **E-mail**：mrlywin@126.com

$i \in N$ 时，将变为效益型属性的计算公式：

$$v_{ij}=\frac{a_{ij}-\min_i(a_{ij})}{\max_i(a_{ij})-\min_i(a_{ij})}, i\in N, j\in G^+ \tag{3}$$

Step3 根据式(7)得到最优权重解，从而确定权重。

根据规范化矩阵 V，可令正理想点(正理想方案)对应于 $d^+=(1,1,\dots,1)$，显然，方案 d_i 越接近正理想点就越优。由于属性权重信息未知，因此可建立简单的单目标最优化模型：

$$\begin{cases}\min F(\omega)=\sum_{i=1}^{n} f_i(\omega)\\ s.t.\ \omega_j\ge 0, j\in M, \sum_{j=1}^{m}\omega_j=1\end{cases} \tag{4}$$

其中，$f_i(\omega)=\sum_{j=1}^{m}(1-v_{ij})\omega_j^2$ 表示方案 d_i 与正理想点 d^+ 之间的偏差。利用 Lagrange 函数来解此模型：

$$L(\omega,\xi)=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(1-v_{ij})\omega_j^2+2\xi(\sum_{j=1}^{m}\omega_j-1) \tag{5}$$

对式(5)求偏导数，从而求得最优解：

$$\overset{*}{\omega}_j=[\sum_{i=1}^{n}(1-v_{ij})]^{-1}\{\sum_{j=1}^{m}[\sum_{i=1}^{n}(1-v_{ij})]^{-1}\}^{-1},\ \ j\in M \tag{6}$$

因此,权重向量 ω 的最优情况 $\overset{*}{\omega}=(\overset{*}{\omega}_1,\overset{*}{\omega}_2,\dots,\overset{*}{\omega}_m)$ 可作为多属性决策的权重。

Step4 求出方案 $d_i(i\in N)$ 与正理想点之间的偏差函数值 $f_i(\overset{*}{\omega})(i\in N)$。

Step5 根据 $f_i(\overset{*}{\omega})(i\in N)$ 的值由小到大的顺序对方案 $d_i(i\in N)$ 进行排序，$f_i(\overset{*}{\omega})$ 最小值所对应的方案为最优方案。

2 决策结论的可靠性分析

在信息对抗的决策分析中，不仅要知道决策方案的好坏(离正理想解越近的越优)，还要评价决策结论的可靠性。先给出 WAA 算子定义和综合属性值。设 $WAA: R^n\to R$，称函数 WAA 是加权算术平均算子，也称为 WAA 算子，若

$$WAA_\omega(a_1,a_2,\dots,a_m)=\sum_{j=1}^{m}\omega_j a_j \tag{7}$$

其中，$\omega=(\omega_1,\omega_2,\dots,\omega_m)$ 是数据组 $(a_1,a_2,\dots,a_m)$ 的加权向量，$\omega_j\in[0,1]$，$j\in M$，$\sum_{j=1}^{m}\omega_j=1$。

为了更好的分析决策结论的可靠性，首先将规范化决策矩阵 V 标准化成矩阵 S。

利用 WAA 算子对标准化决策矩阵 S 中的方案 d_i 的属性值进行集结，集结之后的值称为综合属性值，这里记为 z_i：

$$z_i(\omega)=\sum_{j=1}^{m}s_{ij}\omega_j \tag{8}$$

本文主要讨论当一个方案 d_i 的综合属性值 z_i 变化时,对决策结论产生多大的影响。

假设需要分析的决策矩阵为规范化矩阵，如果不是，则按式(1)、式(2)或式(3)进行规范化处理。

用 $\tilde{s}_{ij}$ 表示 s_{ij} 变化之后的值，用 $\tilde{z}_i$ 表示 z_i 变化之后的值。

为了找到决策的稳定边界值，这里构造一个变量 $\tilde{s}_{pj}^q$，它满足，存在一个方案 d_q，使得 $\tilde{z}_p=\tilde{z}_q$。

由于在决策矩阵中，只有方案 d_p 改变，而方案 d_q 并没有改变，因此有

$$z_q=\tilde{z}_q=\tilde{z}_p=\sum_{\substack{l=1\\ l\ne j}}^{m}\omega_l s_{pl}+\omega_j\tilde{s}_{pj}^q=z_p+\omega_j(\tilde{s}_{pj}^q-s_{pj}) \tag{9}$$

由式(9)两边变形后得到

$$\tilde{s}_{pj}^q=s_{pj}+(z_q-z_p)\omega_j^{-1} \tag{10}$$

根据式(10)，如果得到的 $\tilde{s}_{pj}^q$ 超出了实际允许的取值范围，如没有在[0,1]之间，则说明 s_{pj} 为稳定参数，也就是说，在允许范围中变化时，决策结论不变；如果求出的 $\tilde{s}_{pj}^q$ 有效，当 $|\tilde{s}_{pj}^q-s_{pj}|$ 很小时，说明 s_{pj} 为不稳定参数，$\tilde{s}_{pj}$ 的改变将很容易造成决策结论的变化；如果 $\tilde{s}_{pj}$ 由 s_{pj} 经 $\tilde{s}_{pj}^q$ 变到另一区间时，决策结论也将会改变。

3 实例分析

假设某海上舰队发现了 6 个敌方目标并获得一些数据，现需要根据所获取的情报信息作出决策，以确定打击敌方目标的先后顺序，并评估决策方案的可靠性。

在存在对抗的作战环境中，得到的敌目标情况数据主要有 u_1(目标距离)、u_2(目标速度)、u_3(目标类型威胁度)、u_4(目标易损度)和 u_5(目标位置通视度等)。其中，属性 1 和属性 4 为成本型，属性 2 和属性 5 为效益型，属性 2 为固定型，当达到 1.3 时为最佳。根据接收到的信息进行测度，得到决策矩阵 A，如表 1 所示。

表 1 决策矩阵

	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
d_1	150	1.6	0.9	0.7	0.85
d_2	200	1.1	0.3	0.5	0.6
d_3	300	1.5	0.8	0.6	0.4
d_4	100	0.3	0.4	0.2	0.8
d_5	250	0.8	0.6	0.5	0.7
d_6	50	1.3	0.5	0.6	0.6

矩阵 A 经过规范化，并利用式(6)得到权重 $\omega=(0.190,0.259,0.180,0.150,0.223)$，从而计算出偏差函数值 $f(\omega)=(0.057,0.1082,0.122,0.106,0.1083,0.067)$。最后，根据偏差函数的值从大到小排序，得到方案排序结果：$d_1\succ d_6\succ d_4\succ d_2\succ d_5\succ d_3$，故最优方案为 d_1。

下面评价首选打击目标 d_1 的可靠性，这里对最优方案 d_1 和次优方案 d_6 的排序稳定性进行分析,其他类似可分析。规范化矩阵 V 经过标准化，得到综合属性值，从而得到最优方案 d_1 和次优方案 d_6 的直接指标值 $(\tilde{s}_{11}^6,\tilde{s}_{12}^6,\tilde{s}_{13}^6,\tilde{s}_{14}^6,\tilde{s}_{15}^6)$ 必须分别小于：

$(0.101,0.111,0.248,-0.126,0.206)$

则它们与原值相差 $\Delta=|\tilde{s}_{1j}^6-s_{1j}|, j\in M$ 分别为 $(0.099,0.073,0.105,0.126,0.084)$，若要求精度为 0.1，则属性 1、属性 2 和属性 5 是不稳定的，即这 3 个属性在干扰情况的变化可能会引起打击目标决策的变化。

4 结论

使用 MADM 方法，可以根据来自数据源的信息，从目标集中更加准确迅速地判断出应该打击的最佳目标，并能给出当信息数据受到干扰时，信息的可靠度有多少，然后将决策的相关信息发送给指挥员，使指挥员可以更加准确地判断出应该打击目标的概率及可靠性，使得我军在有信息对抗的作战环境中占得优势。 (下转第 224 页)