

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.10.006

炮兵目标威胁度评估及决策规则挖掘

潘保国, 王伦夫, 王磊

(解放军陆军军官学院数学教研室, 合肥 230031)

摘要: 为解决炮兵目标威胁度评估中主观因素影响较大以及威胁度评估体系中可能存在不合理属性等问题, 利用偏好关系建立一种客观的炮兵目标威胁度评估模型, 得到目标威胁度排序; 再利用粗糙集理论对目标威胁度评估决策表进行属性约简和值约简, 剔除决策表中的不合理属性及冗余信息; 并通过一个实例对模型进行验证。实例结果证明, 该模型客观、有效。

关键词: 粗糙集理论; 目标威胁度; 偏好关系; 知识约简; 决策规则挖掘

中图分类号: TJ303 **文献标志码:** A

Artillery Target Threat Degree Assessment and Decision Rules Digging

Pan Baoguo, Wang Lunfu, Wang Lei

(Mathematics Staff Room, Army Officer Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: In order to solve the problem that the impact for the subjective factors is great and there may be unreasonable attributes in the artillery target threat degree assessment. An objective assessment model based on preference relation is established and target threat degree sequencing can be got; Then, rough set theory is used to do artillery target threat assessment decision table attribute reduction and value reduction, which can remove the unreasonable attributes and redundant information; At last, an example shows that this method is practical and effective.

Key words: rough set theory; target threat degree; preference relation; knowledge reduction; decision rules digging

0 引言

炮兵目标威胁度是指炮兵指挥员为达成总体作战意图, 根据战场敌我双方的态势, 对敌方目标对我方战斗行动威胁程度的度量^[1]。当前炮兵目标威胁度评估的方法主要有层次分析法、多属性决策法、神经网络和模糊理论等。这些方法在进行评估时均需要专家经验或者先验信息, 同时要求目标信息完整、准确, 然而战场上获取的信息往往是不完整的。笔者利用偏好关系建立了一种客观的评估模型, 达到了利用尽量少的信息进行决策的目的。

1 威胁度评估体系的建立

评估炮兵目标威胁度不但要考虑目标所固有的特征属性, 而且要考虑对炮兵及其他军兵种作战的影响因素。综合分析炮兵目标, 影响目标威胁度的属性主要有以下 7 种^[2]:

危险时间(a_1): 目标的反击火力对炮兵在同一阵地上持续射击时间的影响, 设置为“长”、“中”、“短” 3 个等级;

机动性(a_2): 目标的机动性对炮兵射击效果的影响, 设置为“好”、“中”、“差” 3 个等级;

火力毁伤程度(a_3): 目标的火力因素对我方的

毁伤程度, 设置为“强”、“中”、“弱” 3 个等级;

重要性(a_4): 目标对整个作战进程的影响程度, 设置为“重要”、“较重要”、“一般” 3 个等级;

紧迫性(a_5): 目标在战斗进程中急需炮兵火力打击的紧迫程度, 设置为“非常紧迫”、“紧迫”、“不紧迫” 3 个等级;

可靠性(a_6): 掌握目标信息的可靠程度, 包括目标的性质、数量、幅员、坐标精度等因素, 设置为“精确”、“较精确”、“不精确” 3 个等级;

易损性(a_7): 目标遭炮火打击时被毁伤的难易程度, 设置为“易损”、“较易损”、“不易损” 3 个等级。

以上 7 个属性称为条件属性。

设目标威胁度为决策属性(d), 设置为“严重”、“较严重”、“一般” 3 个等级。

具有条件属性和决策属性及对应属性值的表格称为决策表。

2 属性约简

炮兵目标威胁度评估数据表中的属性值均为定性数据, 先进行数据预处理, 即将定性数据进行赋值。例如, 属性 a_4 “严重”、“较严重”、“一般”分

收稿日期: 2012-04-26; 修回日期: 2012-05-22

基金项目: 总装陆装科订部科研基金“效用理论在战场目标分配中的应用研究”(011027)

作者简介: 潘保国(1977—), 男, 安徽人, 硕士, 讲师, 从事应用数学研究。

别赋值“2”、“1”、“0”。

威胁度评估体系的 7 个属性中可能存在不合理的属性，即去掉某属性后对最终的决策不会产生影响。属性约简是粗糙集理论^[3]处理数据的重要方法，基本思想是在保持决策能力不变的条件下将得到的决策表中不合理的条件属性去掉，减少不必要的信息。笔者选择基于区分矩阵的约简算法^[4]。

3 目标威胁度评估模型

威胁度评估问题中涉及的条件属性均是含有偏好信息的属性，因此首先将决策表进行变形，用两两比较表代替原来的决策表。

3.1 两两比较表

设炮兵目标威胁度决策表 $S=(U,A,V,f)$ ，其中 U 是炮兵目标集合； $A=Q \cup d$ 是非空属性集合，其中 Q 为条件属性集，属性 d 为决策属性； $V = \bigcup_{a \in A} V_a$ ， V_a 是属性 a 的值域； $f:U \times A \rightarrow V$ 是信息函数，它对每个对象的每个属性赋予一个信息值，即 $\forall a \in A, x \in U$ ，有 $f(x,a) = V_a$ 。

定义 1^[5] 定义 U 上的二元关系 P_a^h 来表示不同程度的偏好关系，其中属性 $a \in A$ ， h 是一个整数，用来衡量偏好级别，则 $\forall(x,y) \in U \times U$ ，有：

$h > 0$ 时， $xP_a^h y$ 表示关于属性 a ， x 以 h 级别偏好于 y ；

$h < 0$ 时， $xP_a^h y$ 表示关于属性 a ， x 以 h 级别不偏好于 y ；

$h = 0$ 时， $xP_a^h y$ 表示关于属性 a ， x 无差别于 y ；

$h \geq 0$ 时， $xP_a^{>h} y$ 表示关于属性 a ， x 至少以 h 级别偏好于 y ；

$h \leq 0$ 时， $xP_a^{\leq h} y$ 表示关于属性 a ， x 至少以 h 级别不偏好于 y ；

$\forall(x,y) \in U \times U$ ，若 x 不劣于 y ，则记为 xSy ；若 x 不偏好于 y ，则记为 $xS^C y$ 。

例如，目标 x 和 y 关于重要性(a_4)的属性分别是“重要”和“一般”，二者相差 2 个等级，则有 $xP_a^2 y$ 或 $yP_a^{-2} x$ 。

决策表就变成一个两两比较表，可以反映出任意 2 个对象关于各属性的偏好信息。

3.2 目标威胁度评估

根据上面的知识，有以下 3 种形式的决策规则：

- 1) 若 $xP_{a_1}^{\geq h(a_1)} y, xP_{a_2}^{\geq h(a_2)} y, \dots, xP_{a_{|Q|}}^{\geq h(a_{|Q|})} y$ ，则 xSy ；
- 2) 若 $xP_{a_1}^{\leq h(a_1)} y, xP_{a_2}^{\leq h(a_2)} y, \dots, xP_{a_{|Q|}}^{\leq h(a_{|Q|})} y$ ，则 $xS^C y$ ；
- 3) 若 $xP_{a_1}^{\geq h(a_1)} y, xP_{a_2}^{\geq h(a_2)} y, \dots, xP_{a_k}^{\geq h(a_k)} y$ 且 $xP_{a_{k+1}}^{\leq h(a_{k+1})} y, \dots, xP_{a_{|Q|}}^{\leq h(a_{|Q|})} y$ ，则 xSy 或者 $xS^C y$ 。

定义 2^[5] 应用决策规则， $\forall x \in U$ ，定义炮兵目标的离开流、进入流、净流。

离开流定义为

$$\phi^+(x) = S^{++}(x) + S^{+}(x)$$

其中 $S^{++}(x)$ 和 $S^{+}(x)$ 分别表示至少有一个决策规则判断 xSy 和 $yS^C x$ 的 y 的个数。

进入流定义为

$$\phi^-(x) = S^{+}(x) + S^{-}(x)$$

其中 $S^{+}(x)$ 和 $S^{-}(x)$ 分别表示至少有一个决策规则判断 ySx 和 $xS^C y$ 的 y 的个数。

净流定义为

$$S_{nf}(x) = \phi^+ - \phi^-$$

$\forall x \in U$ ，净流越大的目标威胁度越大，这样就可以得到目标威胁度排序。

4 决策规则挖掘

通过上面的目标威胁度评估，就得到了目标威胁度排序的决策表，其中目标威胁度排序就是决策属性。根据目标威胁度排序可以将目标进行分类，设置为“严重”、“较严重”、“一般”3 类。

决策表中的一个目标的条件属性值对应于决策属性值，就是一条基本决策规则，但是这样的决策规则仍然含有冗余信息，不够简洁。决策规则挖掘就是在对属性进行约简的基础上继续进行值约简，从而得到更加简化的决策规则。

定义 3 目标威胁度决策表 $S=(U,A,V,f)$ ，令 X_i 和 Y_j 分别代表 U/Q 和 U/d 中的等价类， $\text{des}(X_i)$ 表示对等价类 X_i 的描述(等价类 X_i 对于各条件属性值的特定取值)； $\text{des}(Y_j)$ 表示对等价类 Y_j 的描述(等价类 Y_j 对于各决策属性值的特定取值)。决策规则定义如下：

$$r_{ij} : \text{des}(X_i) \rightarrow \text{des}(Y_j), X_i \cap Y_j \neq \phi$$

其中，箭头的左边称为规则的前件，右边称为规则的后件，它们表达一种因果关系。

决策规则挖掘的过程^[6]如下：

- 1) 对决策表中条件属性进行逐列考察。除去一列后，若产生冲突，则保留原属性值。若未产生冲

突, 当含有重复目标时, 将重复目标的属性值标为“*”, 否则, 将该属性值标为“?”。

2) 删除重复目标, 并考察每条含有标记“?”的目标。若未被标记的属性值可判断出决策, 则将“?”标记为“*”; 否则, 修改为原属性值。若某个目标的所有条件属性均被标记, 则将标有“?”的属性项修改为原属性值。

3) 删除所有条件属性均被标为“*”的目标及可能产生的重复记录。

属性值约简后的决策表就是最简的目标威胁度决策表, 可以进一步得到决策规则。

5 实例

设某炮兵群有 7 个决策射击的目标^[7]: 支撑点(x_1)、集结坦克连(x_2)、自行炮兵连(x_3)、炮瞄雷达(x_4)、指挥所(x_5)、导弹发射架(x_6)、通信枢纽(x_7)。具体数据见表 1。

表 1 炮兵目标威胁度评估数据^[8]

U	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
x_1	长	中	中	重要	非常紧迫	精确	较易损
x_2	长	好	强	一般	不紧迫	较精确	不易损
x_3	中	好	强	重要	紧迫	精确	较易损
x_4	短	中	弱	一般	不紧迫	不精确	易损
x_5	短	差	弱	重要	紧迫	精确	易损
x_6	短	差	强	重要	非常紧迫	不精确	易损
x_7	长	差	弱	较重要	不紧迫	较精确	易损

5.1 属性约简

先对表 1 中的定性数据进行赋值处理, 得表 2。

表 2 定性数据赋值表

U	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
x_1	0	1	1	2	2	2	1
x_2	0	2	2	0	0	1	0
x_3	1	2	2	2	1	2	1
x_4	2	1	0	0	0	0	2
x_5	2	0	0	2	1	2	2
x_6	2	0	2	2	2	0	2
x_7	0	0	0	1	0	1	2

基于区分矩阵的约简算法进行属性约简后得到的约简结果为 $\{a_4, a_5, a_7\}$ 。

5.2 目标威胁度评估

先利用偏好关系将目标威胁度决策表转化为两两比较表。将各目标与其他目标的所有属性分别进行比较, 可以得到 7 个两两比较表。表 3 就是目标 x_1 与其他目标比较的结果。

然后计算各炮兵目标的离开流、进入流、净流值。最后根据各炮兵目标净流越大的目标威胁度越大的规则得到目标威胁度排序。根据排序的结果将 7 个目标划分为“严重”、“较严重”、“一般”3 类,

分别赋值“2”、“1”、“0”, 并设该列为决策属性 d 。结果见表 4。

表 3 x_1 的两两比较表

(x_1, x_i)	a_4	a_5	a_6	a_7
(1,1)	0	0	0	S
(1,2)	2	2	1	S
(1,3)	0	1	0	S
(1,4)	2	2	-1	S^C
(1,5)	0	1	-1	S^C
(1,6)	0	0	-1	S^C
(1,7)	1	2	-1	S^C

表 4 目标威胁度排序结果

U	a_4	a_5	a_7	S_{nf}	威胁度排序	定性分类	d
x_1	2	2	1	6	3	严重	2
x_2	0	0	0	-5	7	一般	0
x_3	2	1	1	-1	5	较严重	1
x_4	0	0	2	-3	6	一般	0
x_5	2	1	2	7	2	严重	2
x_6	2	2	2	10	1	严重	2
x_7	1	0	2	1	4	较严重	1

5.3 决策规则挖掘

分 3 步利用属性值约简进行决策规则挖掘。

1) 对于 x_1 , 若删除 a_4 对应的属性值, 则决策表中不包含重复对象, 故将该属性值标为“?”。若删除 a_5 对应的属性值, 则与 x_3 矛盾, 故将该属性值保留原值。若删除 a_7 对应的属性值, 则与 x_6 重复, 故应将属性值标为“*”。依次对每个对象进行处理, 可得到表 5。

表 5 决策表

U	a_4	a_5	a_7	d
x_1	?	2	*	2
x_2	0	*	*	0
x_3	?	?	1	1
x_4	0	*	*	0
x_5	?	*	2	2
x_6	?	?	*	2
x_7	1	?	?	1

2) x_2 和 x_4 重复, 故删掉 x_4 。对于 x_1 , 由属性 a_5 可以作出决策, 故 a_4 对应的“?”应改为“*”。依次对每个对象进行处理可得到表 6。

表 6 决策表

U	a_4	a_5	a_7	d
x_1	*	2	*	2
x_2	0	*	*	0
x_3	*	1	1	1
x_5	2	*	2	2
x_6	*	2	*	2
x_7	1	*	*	1

3) x_1 和 x_6 重复, 故删掉 x_6 , 可得到表 7。

表 7 约简结果

U	a_4	a_5	a_7	d
x_1	*	2	*	2
x_2	0	*	*	0
x_3	*	1	1	1
x_5	2	*	2	2
x_7	1	*	*	1

通过上面的值约简，表 7 就是决策规则挖掘的最终结果，对应的决策算法如下：

- 1) $(a_5,2) \vee ((a_4,2) \wedge (a_7,2)) \rightarrow (d,2)$;
- 2) $(a_4,0) \rightarrow (d,0)$;
- 3) $(a_4,1) \vee ((a_3,1) \wedge (a_7,1)) \rightarrow (d,1)$ 。

所以炮兵目标威胁度评估的决策规则如下：

1) 若紧迫性为“非常紧迫”，或重要性为“重要”且则易损性为“易损”，则目标威胁度为“严重”。此类目标应为优先打击目标；

2) 若重要性为“一般”，则目标威胁度为“一般”；

3) 若紧迫性为“紧迫”且则易损性为“较易损”，或重要性为“一般”，则目标威胁度为“较严重”。

从上面的实例可以看到：属性约简能够成功地剔除评估体系建立中产生的不合理的评估要素；利用偏好关系建立的评估模型在计算目标威胁度排序过程中，排除了主观因素，结果更具客观性；利用属性值约简进行决策规则挖掘可以得到更简单并且可靠的决策规则。

6 结束语

实例结果证明：基于偏好关系的炮兵目标威胁

(上接第 13 页)

后坐阻力由制退机液压阻力、复进机力和摩擦力 3 部分组成。以某 140 mm 口径迫击炮为例，其传统三件式火炮结构的后坐阻力即其炮膛合力，通过仿真计算得出的炮膛合力如图 4 所示。由图可知炮膛合力最大值约为 167 kN。

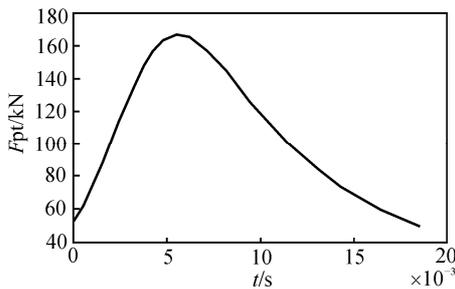


图 4 炮膛合力-时间曲线

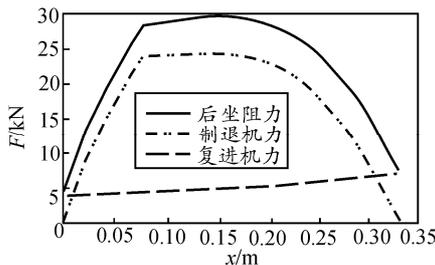


图 5 后坐阻力、制退机力、复进机力-位移曲线

度评估模型不需要专家主观经验和先验信息，避免了专家缺少相关经验以及先验信息不足可能导致的错误信息，并能得到多样的、可靠的决策规则，适应了战场获取的信息少或信息缺失的情况，可为指挥员决策提供参考。

参考文献：

- [1] 辛庆武, 杨灿军. 一种基于模糊多目标决策的炮兵火力优化方法[J]. 运筹与管理, 2005, 14(4): 29-34.
- [2] 王海涛, 阳平华. 基于主成分分析法的炮兵目标威胁度评估[J]. 兵工自动化, 2008, 27(5): 9-11.
- [3] Pawlak Z. Rough set[J]. International Journal of Computer and Information Sciences, 1982, 11(5): 341-356.
- [4] 张文修, 吴伟志, 梁吉业, 等. 粗糙集理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 10-15.
- [5] 何亚群, 胡寿松. 基于粗糙集的空军航材供应点的偏好选址[J]. 系统工程理论与实践, 2003, 23(7): 95-99.
- [6] 李宁宁. 基于粗糙集理论的数据挖掘应用研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2007: 27-30.
- [7] 张杨, 袁宏伟. 复杂电磁环境下炮兵火力打击目标价值分析[J]. 舰船电子工程, 2009, 176(2): 172-175.
- [8] 何幼林, 郭昆, 黄德所. 基于 TOPSIS 法和灰色关联度法的炮兵战场目标价值分析[J]. 指挥控制与仿真, 2009, 31(6): 52-55.

在采用笔者所设计的后坐结构的情况下，当炮身质量 40 kg，配重质量 200 kg，火炮射角为 0° 时，通过仿真计算得到后坐阻力、复进机力以及制退机力与后坐位移关系如图 5 所示。

从仿真分析的结果可以看出，在后坐长度约为 0.33 m 的情况下，后坐阻力减小到约为 29.5 kN，与传统 140 mm 迫击炮相比，后坐阻力大幅度减小。

3 结论

仿真计算分析结果表明：笔者所提出的后坐结构使传统 140 mm 迫击炮的后坐阻力降低了 80% 以上，很好地实现了降低火炮后坐力的目的，同时后坐位移及整体质量也得到了很好的控制，满足了车载的需要，能很好地解决多管火炮实现车载遇到的主要问题，有良好的实用价值。

参考文献：

- [1] 王永存, 周霖, 袁稳新, 等. 一种降低后坐力的火炮发射方法[J]. 火炮发射与控制学报, 2007(4): 10-12.
- [2] 高树滋, 陈运生, 张月林, 等. 火炮反后坐装置设计[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1995.
- [3] 谈乐斌, 侯保林, 陈卫民. 降低火炮后坐力技术概述[J]. 火炮发射与控制学报, 2006(4): 69-72.
- [4] 吴斌, 田庆涛. 火炮身管内膛擦拭及影响[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(5): 39.