

文章编号: 2095-2163(2022)07-0146-05

中图分类号: TJ03

文献标志码: A

基于模糊推理的综合毁伤效果评估方法

魏鑫, 李晓婷

(北方自动控制技术研究所, 太原 030006)

摘要: 目标的毁伤效果评估是现代战争中不可缺少的一环,合理的毁伤效果评估结果可以为指挥员的下一步作战决策提供科学的参考。本文考虑目标毁伤效果评估问题的复杂性,借助模糊推理的方法,通过规定5条模糊推理规则进行模糊推理。结果表明,模糊推理的方法可以充分考虑毁伤效果评估中的模糊性,具有良好的评估效果。

关键词: 作战决策; 模糊推理; 毁伤效果评估

Comprehensive damage effectiveness evaluation method based on fuzzy reasoning

WEI Xin, LI Xiaoting

(North Automatic Control Technology Institute, Taiyuan 030006, China)

[Abstract] Target damage effect evaluation is an indispensable part in modern war. Reasonable damage effect evaluation results can provide scientific reference for commanders' next decision-making. Considering the complexity of target damage effect evaluation, fuzzy reasoning is carried out by specifying four fuzzy reasoning rules with the help of fuzzy reasoning method. The results show that the fuzzy reasoning method can fully consider the fuzziness in damage effect evaluation, and has good evaluation effect.

[Key words] battle decision; fuzzy reasoning; damage effect assessment

0 引言

目标毁伤效果评估对精确打击目标和作战情报的保障起着关键的作用,是现代化精确打击体系的重要内容^[1]。作为当前的热点研究方向,国内外许多学者都对目标毁伤效果评估进行了深入的研究,主要的评估方法有贝叶斯网络法、毁伤树法、神经网络法等^[2]。

目标毁伤效果评估可以为指挥员的决策提供重要支撑,本文借助模糊推理的方法对目标进行毁伤效果评估。模糊推理是以模糊数学为基础的一种推理方法,使用模糊推理规则得出模糊判断结论。模糊推理主要应用于智能系统的研究,包括模糊系统控制、模糊专家系统、以及模糊模式识别、模糊决策分析等^[3]。因为目标毁伤效果评估问题本身带有模糊性,所以模糊推理是解决目标毁伤效果评估问题的有效方法。

本文针对目标毁伤效果评估问题建立5条模糊推理规则,考虑目标的物理毁伤和功能毁伤进行模糊推理,得到的推理结果可以为下一轮打击的弹药

种类与用弹量的确定提供依据,为指挥员的下一步决策提供参考。

1 模糊数学与模糊推理

1965年,美国控制论专家查德(L.A.Zadeh)发表了经典论文《模糊集合》,标志着模糊数学的诞生^[4]。模糊集合反映了客观存在的模糊性,把数学从二值逻辑的基础上转移到连续值逻辑上来,把绝对的“是”、“非”变为更加灵活的东西,在适当的界限上去相对地划分“是”与“非”,提供了一种处理不确定性问题的新方法,是描述人脑思维处理模糊信息的重要工具,也是运用数学方法研究和处理客观模糊性现象的一门数学新分支^[5-6]。

近年来,作为近似推理的主要组成部分的模糊推理日益受到重视。1973年,Zadeh首先给出了模糊推理理论中最基本的推理规则,即模糊分离规则FMP(fuzzy modus ponens),随后被Zadeh和Mamdani等人算法化,形成了当今以推理合成规则CRI(compositional rule of inference)为主要基础的各种模糊推理方法。30余年来,模糊推理方法在工业

作者简介: 魏鑫(1998-),男,硕士研究生,主要研究方向:系统工程; 李晓婷(1976-),女,硕士,高级工程师,主要研究方向:指挥信息系统。

收稿日期: 2022-01-05

哈尔滨工业大学主办 ◆ 系统开发与应用

生产控制,特别是在家用电器等产品中的成功应用,使得其在模糊系统以及自动控制等领域愈来愈受到人们的重视^[7]。

2 毁伤效果评估流程与模型

本文通过获取目标的物理毁伤度与功能毁伤度,建立“双输入,单输出,五规则”的模型对其进行毁伤效果评估。模糊推理可以通过已有的 5 条规则推理出不属于五条规则的其他情况下的毁伤效果评估结果。具体步骤如下:

- (1) 获取输入信息。输入目标物理毁伤度 α 与目标功能毁伤度 β 。
- (2) 输入信息模糊化。通过隶属度函数将输入信息模糊化,找到非模糊输入信息的模糊表示。
- (3) 推理。将模糊化后的输入信息映射到规则库,根据规定的推理规则进行模糊推理。
- (4) 去模糊化。将推理出的模糊结果转换为非模糊值。

2.1 确定输入输出信息

随着科技的发展,军事目标越来越复杂,可能存在目标物理毁伤严重,但是其作战功能不受影响,或者目标物理上轻微毁伤但是功能瘫痪的情况。因此,本文分别考虑目标的物理毁伤度与功能毁伤度,以达到合理的毁伤效果评估结果。模型输入目标的物理毁伤度和功能毁伤度,输出目标的综合毁伤度。

设模型输入目标的物理毁伤度为 $\alpha, \alpha \in [0, 1], \alpha$ 由专家评估决定, α 越大,目标的物理毁伤越严重;

设模型输入目标的功能毁伤度为 $\beta, \beta \in [0, 1], \beta$ 由专家评估决定, β 越大,目标的功能毁伤越严重;

设模型输出目标的综合毁伤度为 $\gamma, \gamma \in [0, 1], \gamma$ 越大,目标的综合毁伤越严重。

根据陆军某型号项目要求,设目标的物理毁伤度、功能毁伤度和综合毁伤度分 5 个等级^[8]。毁伤等级描述,见表 1。

表 1 毁伤等级描述表

Tab. 1 Damage level description table

毁伤等级	毁伤度 δ	语言描述
零毁伤	$0 \leq \delta < 0.06$	目标外表与结构无明显变化,功能不受任何影响。
轻度毁伤	$0.06 \leq \delta < 0.24$	目标外表与结构有轻微损伤,功能受轻微影响。
中度毁伤	$0.24 \leq \delta < 0.42$	目标外表与结构发生一定的变化,功能受到影响,需要支援修理。
重度毁伤	$0.42 \leq \delta < 0.6$	目标外表与结构发生明显的变化,功能受到严重影响,修理过程需要较长时间。
摧毁	$0.6 \leq \delta \leq 1$	目标结构遭到彻底毁坏,功能完全丧失,失去军用价值。

2.2 输入信息模糊化

为了提取输入信息的模糊特征,需要借助隶属度函数将输入信息模糊化。隶属度函数也称隶属函数,是模糊数学中的重要概念。设论域 U 中任意一个元素 x , 都有一个数 $A(x) \in [0, 1]$ 与之对应,则称 A 为 U 上的模糊集, $A(x)$ 为 x 对 A 的隶属度。隶属度越高,表示 x 属于 A 的程度越高,当 x 在 U 中变动时, $A(x)$ 成为了 x 对 A 的隶属函数。目前,隶属度的确定主要有主观判断法、机器学习法等。当前主流的隶属度函数主要有三角形隶属函数、梯形隶属函数、高斯型隶属函数、 Π 型隶属函数等^[9]。本文根据经验,使用 Π 型隶属函数作为隶属度函数。

Π 型隶属函数的公式(1)如下:

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2 \frac{x-a}{b-a} - \frac{(x-a)^2}{(b-a)^2}, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2 \frac{x-b}{b-a} + \frac{(x-b)^2}{(b-a)^2}, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ 1 - 2 \frac{x-c}{d-c} + \frac{(x-c)^2}{(d-c)^2}, & c \leq x \leq \frac{c+d}{2} \\ 2 \frac{x-d}{d-c} - \frac{(x-d)^2}{(d-c)^2}, & \frac{c+d}{2} \leq x \leq d \\ 0, & x \geq d \end{cases} \quad (1)$$

根据 Π 型隶属函数的公式(1),分别确定目标物理毁伤度和目标功能毁伤度对于不同毁伤等级的隶属函数。根据文献[10]和 Π 型隶属函数的公式,目标物理毁伤隶属函数和目标功能毁伤隶属函数如

图1和图2所示,函数参数表见表2。通过隶属函数,即可确定不同毁伤值对不同毁伤等级的隶属度。

表2 毁伤等级隶属函数参数表

Tab. 2 Damage grade membership function parameter table

毁伤等级	a	b	c	d
零毁伤	0	0	0.01	0.11
轻度毁伤	0.01	0.11	0.19	0.29
中度毁伤	0.19	0.29	0.37	0.47
重度毁伤	0.37	0.47	0.55	0.65
摧毁	0.55	0.65	1	1

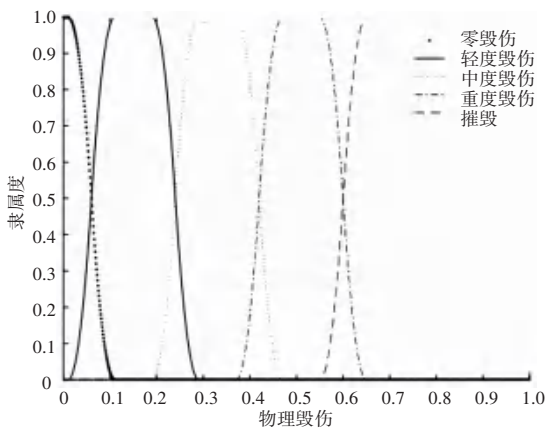


图1 目标物理毁伤隶属函数

Fig. 1 Target physical damage membership function

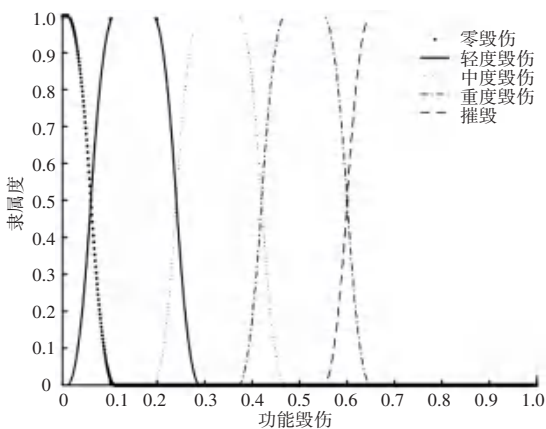


图2 目标功能毁伤隶属函数

Fig. 2 Target function damage membership function

2.3 模糊推理

为了进行模糊推理,需要制定推理规则。本文根据毁伤等级制定5条推理规则:

规则1 若目标物理毁伤等级为零毁伤且目标功能毁伤等级为零毁伤,则目标综合毁伤等级为零毁伤;

规则2 目标物理毁伤等级为轻度毁伤且目标功能毁伤等级为轻度毁伤,则目标综合毁伤等级为轻度毁伤;

规则3 若目标物理毁伤等级为中度毁伤且目标功能毁伤等级为中度毁伤,则目标综合毁伤等级为中度毁伤;

规则4 若目标物理毁伤等级为重度毁伤且目标功能毁伤等级为重度毁伤,则目标综合毁伤等级为重度毁伤;

规则5 若目标物理毁伤等级为摧毁且目标功能毁伤等级为摧毁,则目标综合毁伤等级为摧毁。

毁伤效果评估模型进行模糊推理时需要同时考虑5条规则。规则的模糊逻辑词为且,即遵循最小隶属原则。为了表现出且的蕴含逻辑,在进行每一条规则的判断时,需要考虑模型输入的目标物理毁伤度和功能毁伤度与规则内对应的毁伤等级的隶属度的最小值。

以规则1的推理过程举例如下:

若目标物理毁伤等级为零毁伤且,目标功能毁伤等级为零毁伤,则目标综合毁伤等级为零毁伤。在规则1进行判断时,只考虑目标物理毁伤度对零毁伤等级的隶属度和目标功能毁伤度对零毁伤等级的隶属度。设目标的物理毁伤度为 α ,目标的功能毁伤度为 β ,根据II型隶属函数公式,目标物理毁伤度对零毁伤等级的隶属度为 $f_{\text{零}}(\alpha; a, b, c, d)$ 。目标功能毁伤度对零毁伤等级的隶属度为 $f_{\text{零}}(\beta; a, b, c, d)$ 。为了表现出且的蕴含逻辑,规则1的输出结果取两个隶属度的最小值,即式(2):

$$\min(f_{\text{零}}(\alpha; a, b, c, d), f_{\text{零}}(\beta; a, b, c, d)) \quad (2)$$

以此类推,通过5条规则得到5个模糊结果,式(3):

$$\begin{aligned} & \uparrow \min(f_{\text{零}}(\alpha; a, b, c, d), f_{\text{零}}(\beta; a, b, c, d)) \\ & \uparrow \min(f_{\text{轻}}(\alpha; a, b, c, d), f_{\text{轻}}(\beta; a, b, c, d)) \\ & \uparrow \min(f_{\text{中}}(\alpha; a, b, c, d), f_{\text{中}}(\beta; a, b, c, d)) \\ & \uparrow \min(f_{\text{重}}(\alpha; a, b, c, d), f_{\text{重}}(\beta; a, b, c, d)) \\ & \uparrow \min(f_{\text{毁}}(\alpha; a, b, c, d), f_{\text{毁}}(\beta; a, b, c, d)) \end{aligned} \quad (3)$$

得到模糊结果后,需要对其应用蕴含方法将其映射到输出结果的模糊集之中。模型的输出结果为目标的综合毁伤度,其对5个毁伤等级的隶属度函数与目标物理毁伤度和功能毁伤度对5个毁伤等级的隶属度函数相同。将5个模糊结果分别作为因变量对规则对应的目标综合毁伤的隶属度函数进行削顶,将削顶后的结果叠加,得到输出结果的模糊集。

2.4 去模糊化

为了得到精确的输出结果,需要进行去模糊化。常用的去模糊化方法有质心法,平分线法等。本文

使用较为流行的质心法。通过寻找输出结果模糊集图像的质心得到去模糊化结果。

3 算例分析

地面建筑物作为很多重要军事部门的所在地,是军事打击的重要目标,研究地面建筑物的毁伤情况具有重要的军事意义,由于不同建筑物的结构、材料、被战斗部毁伤的部位不同,会有不同程度的毁伤。由于建筑物的物理毁伤与功能毁伤不存在严格的相关关系,可能存在建筑物物理上严重毁伤但是功能上轻微毁伤,或者建筑物功能上严重毁伤但是物理上轻微毁伤的情况^[11]。因此,需要分别考虑建筑物的物理毁伤与功能毁伤,以达到更合理的毁伤效果评估结果。模型输入建筑物物理毁伤度和功能毁伤度,输出建筑物综合毁伤度。

针对敌军某重要建筑物进行火力打击后,得到该建筑物的物理毁伤度为 0.435,功能毁伤度为 0.4。

3.1 输入信息模糊化

根据 II 型隶属函数计算其物理毁伤度与功能毁伤度对 5 个毁伤等级的隶属度,见表 3。

表 3 物理毁伤与功能毁伤隶属度

Tab. 3 Membership degree of physical damage and functional damage

毁伤等级	物理毁伤隶属度	功能毁伤隶属度
零毁伤	0	0
轻度毁伤	0	0
中度毁伤	0.245	0.82
重度毁伤	0.755	0.18
摧毁	0	0

3.2 模糊推理

考虑规则 1,取物理毁伤隶属度与功能毁伤隶属度的最小值 0 作为建筑物综合毁伤的零毁伤等级隶属函数的削顶值;

考虑规则 2,取物理毁伤隶属度与功能毁伤隶属度的最小值 0 作为建筑物综合毁伤的轻度毁伤等级隶属函数的削顶值;

考虑规则 3,取物理毁伤隶属度与功能毁伤隶属度的最小值 0.245 作为建筑物综合毁伤的中度毁伤等级隶属函数的削顶值;

考虑规则 4,取物理毁伤隶属度与功能毁伤隶属度的最小值 0.18 作为建筑物综合毁伤的重度毁伤等级隶属函数的削顶值;

考虑规则 5,取物理毁伤隶属度与功能毁伤隶属度的最小值 0 作为建筑物综合毁伤的摧毁等级隶属函数的削顶值;

属函数的削顶值。

建筑物综合毁伤度的零毁伤等级隶属函数的削顶值为 0,即建筑物综合毁伤的零毁伤等级隶属函数被完全削平,建筑物综合毁伤度对零毁伤等级隶属度为 0,即完全不属于零毁伤。

建筑物综合毁伤度的轻度毁伤等级隶属函数的削顶值为 0,即建筑物综合毁伤的轻度毁伤等级隶属函数被完全削平,建筑物综合毁伤度对轻度毁伤等级隶属度为 0,即完全不属于轻度毁伤。

建筑物综合毁伤度的中度毁伤等级隶属函数的削顶值为 0.245,削顶结果如图 3 所示。

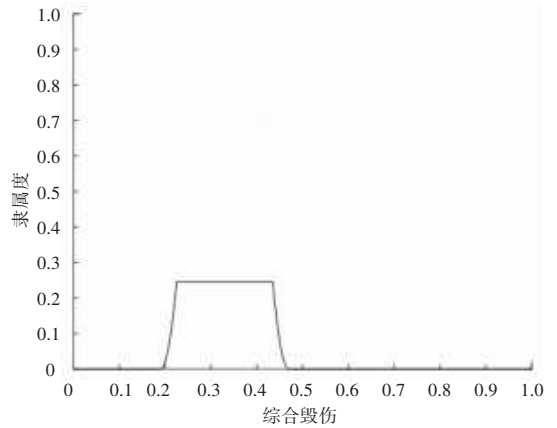


图 3 建筑物综合毁伤度对中度毁伤等级隶属函数

Fig. 3 Membership function of building comprehensive damage degree to moderate damage grade

建筑物综合毁伤度的重度毁伤等级隶属函数的削顶值为 0.18,削顶结果如图 4 所示。

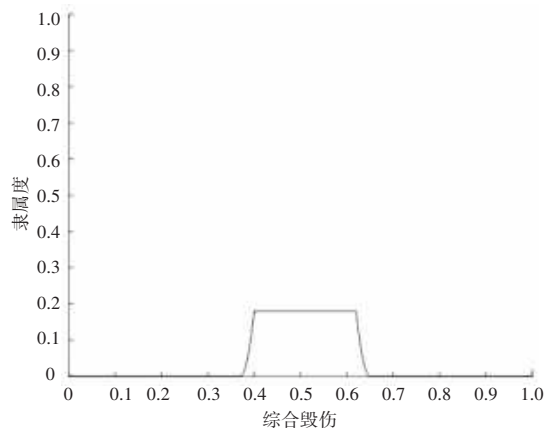


图 4 建筑物综合毁伤度对重度毁伤等级隶属函数

Fig. 4 Membership function of building comprehensive damage degree to severe damage level

建筑物综合毁伤度的摧毁等级隶属函数的削顶值为 0,即建筑物综合毁伤的摧毁等级隶属函数被完全削平,建筑物综合毁伤度对摧毁等级隶属度为 0,即完全不属于摧毁。

削顶后将其结果进行叠加,可以得到输出结果的模糊集,如图5所示。

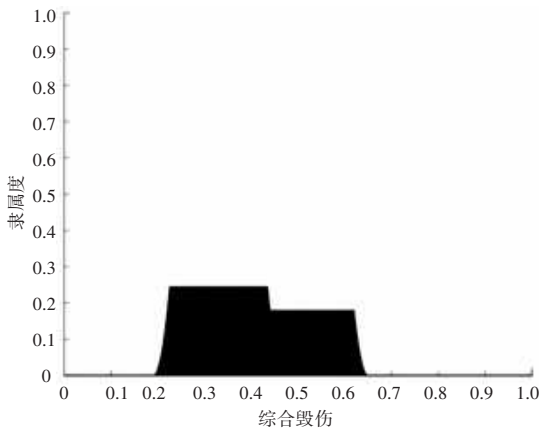


图5 建筑物综合毁伤模糊集

Fig. 5 Fuzzy set of comprehensive damage of buildings

通过质心计算公式(4)可以得到建筑物综合毁伤的质心坐标。

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\iint x d\sigma}{\iint d\sigma} \\ \bar{y} &= \frac{\iint y d\sigma}{\iint d\sigma} \end{aligned} \quad (4)$$

此处只需要计算 \bar{x} 即可。可得 $\bar{x} = 0.406$, 即建筑物综合毁伤度为 0.406, 属于中度毁伤。

4 结束语

模糊推理作为一种重要的推理方法,在各个领

域都发挥着重要的作用。由于目标毁伤效果评估问题的不确定性内涵,模糊推理方法可以对目标的毁伤效果进行有效的评估。本文以模糊推理为方法对目标的毁伤效果进行评估,为目标的物理毁伤度和功能毁伤度向目标的综合毁伤度的转化提供了方法。后续可以考虑细化输入信息的粒度、采取更有效的去模糊化方法等来提高模型的效果。

参考文献

- [1] 李峰,石全,孙正. 目标毁伤效果评估技术研究综述[J]. 兵器装备工程学报,2018,39(9):69-72.
- [2] 李阳,张玉梅,赵彦东,等. 基于云贝叶斯网络的毁伤效果评估方法[J]. 火力与指挥控制,2020,45(3):144-149,155.
- [3] 裴道武. 模糊推理的基本理论[J]. 高校应用数学学报 A 辑,2012,27(3):340-350.
- [4] ETIENNE E. KERRE, JOHN N. MORDESON. A Historical Overview Of Fuzzy Mathematics [J]. New Mathematics and Natural Computation, 2005, 1(1): 1-26.
- [5] Vitaly I. Levin. A Composition of Fuzzy Sets[J]. Studia Humana, 2016, 4(4): 39-46.
- [6] 汪培庄. 模糊数学简介(I) [J]. 数学的实践与认识,1980(2): 45-59.
- [7] 潘正华. 模糊推理算法的数学原理[J]. 计算机研究与发展,2008(S1): 165-168.
- [8] 许诚,袁有宏,赵杰,等. 目标毁伤等级及毁伤数据库系统的研究[J]. 舰船电子工程,2011,31(11):104-107.
- [9] 杨家豪,欧阳森,石怡理,等. 一种组合隶属度函数及其在电能质量模糊评价中的应用[J]. 电工电能新技术,2014,33(2):63-69.
- [10] 王季方,卢正鼎. 模糊控制中隶属度函数的确定方法[J]. 河南科学,2000(4):348-351.
- [11] 康中启,汪民乐,范明俊,等. 基于贝叶斯网络的楼房建筑毁伤效果评估研究[J]. 战术导弹技术,2010(4):27-31,43.

(上接第145页)

参考文献

- [1] 李小波,吴浩. 软故障分析在地铁车辆辅助逆变器系统维修中的应用[J]. 铁道机车车辆,2011,31(3):62-63.
- [2] 季颖. 地铁车辆辅助供电系统健康管理技术研究[D]. 上海工程技术大学,2017.
- [3] 沈茜,任磊,龚春英,等. 一种基于系统辨识的 Buck 型变换器特征参数提取方法[J]. 中国电机工程学报,2016,36(20):5624-5631.

- [4] 姜媛媛,陈李,魏念巍. 基于时域特征 DC_DC 电路软故障诊断[J]. 新余学院学报,2020,25(2):11-18.
- [5] 陈李. 变工况 Buck 电路软故障特征提取方法研究[D]. 淮南:安徽理工大学,2020.
- [6] 姜媛媛. 电力电子电路故障诊断及预测关键技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2018.
- [7] 王磊,张清华,马春燕,等. 故障诊断中无量纲指标研究综述[J]. 信息技术,2014,3(2):19-22.