

基于突变决策方法的建筑物毁伤效果评估

杨青青^a, 樊桂花^b, 张天齐^a, 董洪松^a

(装备学院 a. 研究生院; b. 光电装备系, 北京 101416)

摘要:提出了建筑物毁伤效果评估的突变决策方法;通过高分辨率遥感图像提取毁伤前后建筑物目标的纹理特征和不变矩特征,规范化为毁伤效果评估的评估指标;在明确各评估指标主次关系的基础上构建毁伤效果评估的递阶层次结构模型;基于突变理论的核心思想,确定各层评估指标所构成的初等突变模型,利用归一化公式机理确定各评估指标对建筑物毁伤效果的初始突变隶属函数值;自下而上的计算突变隶属函数值,得到顶层指标的总突变隶属函数值,据此对建筑物毁伤程度进行排序和优先打击决策;通过算例验证了该方法的可行性和有效性。

关键词:突变决策;建筑物;毁伤效果评估

本文引用格式:杨青青,樊桂花,张天齐,等.基于突变决策方法的建筑物毁伤效果评估[J].兵器装备工程学报,2017(10):185-190.

Citation format: YANG Qingqing, FAN Guihua, ZHANG Tianqi, et al. Battle Damage Assessment of Building Based on Catastrophe Decision-Making Method[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2017(10):185-190.

中图分类号: TJ530 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-2304(2017)10-0185-06

Battle Damage Assessment of Building Based on Catastrophe Decision-Making Method

YANG Qingqing^a, FAN Guihua^b, ZHANG Tianqi^a, DONG Hongsong^a

(a. Graduate School; b. Department of Photoelectric Equipment,
Academy of Equipment of PLA, Beijing 101416, China)

Abstract: A catastrophe decision-making method is proposed for battle damage assessment of building to solve the problems. The texture feature and invariant moment feature of building object before and after damage are extracted by high-resolution remote sensing image, which is standardized as the evaluation index of battle damage assessment. On the basis of defining the primary and secondary relations of each evaluation index, a hierarchical structure model of battle damage assessment is constructed. Based on the core idea of catastrophe theory, the primary catastrophe model of each layer evaluation index is determined, and the initial catastrophe membership function value of each evaluation index to the building damage effect is determined by the normalization formula mechanism. The catastrophe membership function value is calculated from bottom to top, and the total catastrophe membership function value of the top level index is obtained. Accordingly, the damage degree of buildings is sorted and priority strike decision is made. The feasibility and effectiveness of the method are verified by a numerical example.

Key words: catastrophe decision-making; building; battle damage assessment

现代高技术信息化战争的一个重要途径是精确毁伤作战,毁伤效果评估^[1]成为现代精确作战体系中不可或缺的一部分。建筑物作为承担指挥通信系统等重要军事目标的载体,是军事斗争中打击的重要目标之一,对其实时、准确的毁伤效果评估具有重要的意义。现有的毁伤效果评估方法都存在一些不足:基于图像变化检测的毁伤效果评估^[2]对于图像匹配、辐射校正有较高的要求;贝叶斯网络法^[3]存在着样本数据缺陷、选择及挖掘样本数据隐藏信息较为困难等问题;模糊综合评判法^[4-5]本身不能解决评价指标相互造成的重复评判问题,在专家打分和隶属度函数选择上没有确定的方法。

突变决策方法^[6-8]是一种多属性决策方法,利用突变理论和模糊数学理论结合产生突变隶属函数,由归一化公式量化递归计算目标的总突变隶属函数值,进行综合评价,不需要确定各层各评估指标的权重,计算过程简洁高效。通过提取建筑物毁伤前后高分辨率遥感图像特征指标,提出了一种基于突变决策的建筑物毁伤效果评估方法,通过实际算例的评估结果验证了该方法的可行性和有效性。

1 建筑物毁伤效果评估的突变决策模型

1.1 建筑物遥感图像特征分析

在建筑物的毁伤效果评估中,选取建筑物的屋顶图像信息进行分析,不考虑建筑物的楼层高度。建筑物的屋顶一般材质均一性较好,反映在遥感图像中为灰度较均衡的区域,毁伤后建筑物屋顶受到一定的破坏,纹理信息发生了变化,建筑物的形状特征也会发生一定的改变,因此可提取建筑物毁伤前后的纹理特征和不变矩特征作为毁伤效果评估的特征指标。在此计算遥感图像灰度图的灰度共生矩阵(GLCM)提取纹理特征,利用灰度图的二值图提取建筑物不变矩特征,通过毁伤前后的特征规范化处理得到评估指标,进行建筑物的毁伤效果评估。

1.1.1 纹理特征

灰度共生矩阵(GLCM)是 Haralick^[9]于1973年提出的纹理统计分析方法,也是现在应用最广泛的纹理特征分析与提取方法。灰度共生矩阵法的基本思想是:在图像的数据矩阵中(灰度值矩阵或彩色值矩阵)选取一个灰度值为*i*的像素点,统计以一定的角度 θ 、距离*d*的步长处像素灰度值为*j*出现的频数。归一化的灰度共生矩阵表征了图像灰度值之间的联合概率密度。灰度共生矩阵表示为 $P(i, j; d, \theta)$ 。通过统计计算图像的灰度共生矩阵,Haralick定义了14种纹理特征。纹理特征各参数之间存在着冗余^[10]。考虑图像大小、旋转对纹理特征的影响^[11],逆差矩、对比度等纹理特征参数受光照变化影响具有较大的差异。为了更准确的表征建筑物的真实毁伤情况,本文在GLCM计算中选用的纹理特征为角二阶矩、熵和相关性。

定义原图像灰度矩阵的大小为 $M * N$,归一化灰度共生矩阵概率为 $p(i, j)$,纹理特征含义及表达式如下:

角二阶矩为灰度共生矩阵元素值的平方和,反映了图像纹理的粗细程度,其表达式为

$$F_{ASM} = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N p(i, j)^2$$

熵是图像信息量的度量,反映了纹理的复杂程度,其表达式为

$$F_{ENT} = - \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N p(i, j) \log p(i, j)$$

相关性反映了灰度共生矩阵行或列方向的相似程度,其表达式为:

$$F_{COR} = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N \frac{(i - \mu)(j - \mu)p(i, j)}{\sigma^2}$$

1.1.2 不变矩特征

不变矩(Invariant Moments)特征用来表达图像的形状信息,在图像描述能力上具有平移、旋转和尺度不变的特性。1962年M. K. Hu^[12]根据几何不变量理论提出了几何矩的概念,推导出了7个不变矩 $h_1 \sim h_7$,并证明了其对平移、旋转和尺度具有不变性。Hu的7个不变矩表达式为

$$h_1 = n_{20} + n_{02}$$

$$h_2 = (n_{20} - n_{02})^2 + 4n_{11}^2$$

$$h_3 = (n_{30} - 3n_{12})^2 + (3n_{21} - n_{03})^2$$

$$h_4 = (n_{30} + n_{12})^2 + (n_{21} + n_{03})^2$$

$$h_5 = (n_{03} - 3n_{21})(n_{21} + n_{03})[(n_{30} + n_{12})^2 - 3(n_{21} + n_{03})^2] + (3n_{21} - n_{03})(n_{21} + n_{03})[3(n_{30} + n_{12})^2 - (n_{21} + n_{03})^2]$$

$$h_6 = (n_{20} - 3n_{02})[(n_{30} + n_{12})^2 - (n_{21} + n_{03})^2] + 4n_{11}(n_{21} + n_{03})$$

$$h_7 = (3n_{21} - n_{03})(n_{21} + n_{03})[(n_{30} + n_{12})^2 - 3(n_{21} + n_{03})^2] + (3n_{21} - n_{03})(n_{21} + n_{03})[3(n_{30} + n_{12})^2 - (n_{21} + n_{03})^2]$$

在Hu不变矩的基础上,F. JAN等^[13]提出主要以二阶和三阶中心矩构成的仿射不变矩 $l_1 \sim l_4$,对仿射变换具有不变性,其表达式如下:

$$l_1 = (\mu_{20}\mu_{02} - \mu_{11}^2) / \mu_{00}^4$$

$$l_2 = (\mu_{30}^3\mu_{03}^3 - 6\mu_{30}\mu_{21}\mu_{12}\mu_{03} + 4\mu_{30}\mu_{12}^3 + 4\mu_{12}^3\mu_{03} - 3\mu_{21}^2\mu_{12}^2) / \mu_{00}^{10}$$

$$l_3 = (\mu_{20}(\mu_{21}\mu_{03} - \mu_{11}^2) - \mu_{11}(\mu_{30}\mu_{03} - \mu_{21}\mu_{12}) + \mu_{02}(\mu_{12}\mu_{30} - \mu_{21}^2)) / \mu_{00}^7$$

$$l_4 = (\mu_{30}^3\mu_{03}^3 - 6\mu_{20}\mu_{11}\mu_{12}\mu_{03} - 6\mu_{20}\mu_{21}\mu_{02}\mu_{03} + 9\mu_{20}^2\mu_{02}\mu_{12}^2 + 12\mu_{20}\mu_{11}\mu_{21}\mu_{03} + 6\mu_{20}\mu_{11}\mu_{12}\mu_{03}\mu_{30} - 18\mu_{20}\mu_{11}\mu_{21}\mu_{02}\mu_{12} - 8\mu_{10}^3\mu_{30}\mu_{03} - 6\mu_{20}\mu_{02}^3\mu_{12}\mu_{03} + 9\mu_{20}\mu_{02}^2\mu_{21}^2 + 12\mu_{11}^2\mu_{02}\mu_{12}\mu_{03} - 6\mu_{11}\mu_{02}^2\mu_{12}\mu_{03} + \mu_{02}^3\mu_{30}^2) / \mu_{00}^{11}$$

本文提取遥感图像建筑物毁伤前后二值图像的不变矩特征,得到毁伤前后建筑物的形状变化信息。结合纹理特征变化信息,进行建筑物的毁伤效果评估。

1.2 突变理论与突变决策

1.2.1 突变理论的基本原理

突变理论^[14-16]是法国数学家 R. Thom 于 1972 年提出的综合拓扑学、奇点理论和结构稳定性等数学工具研究系统在连续发展过程中非连续现象的新兴数学分支。根据系统的势函数 $f(x)$ 描述系统状态变量和控制变量间的相互关系,对临界点进行分类,分析临界点附近非连续变化的特征。令 $f'(x) = 0$ 得到系统所有临界点集合构成的平衡曲面方程,令 $f''(x) = 0$ 得到平衡曲面的奇点集,联立 $f'(x) = 0$ 和 $f''(x) = 0$ 消去 x ,得到系统的分歧集方程。分歧集方程决定了系统的所有性质,当控制变量满足此方程时,系统将会发生突变。由系统的势函数和分歧集方程可推导出归一化方程,通过将系统内各指标的不同质态归化为可比较的同一种质态,自下而上的进行递归量化计算,得到系统的总突变隶属函数值,依此进行系统的综合评价。

R. Thom 通过严格的数学推导总结出当状态变量不多于 2 个,控制变量不多于 4 个时共有 7 种初等突变模型。常用的 4 种初等突变模型为:折叠突变、尖点突变、燕尾突变和蝴蝶突变。图 1 为 4 种初等突变模型的结构形式:

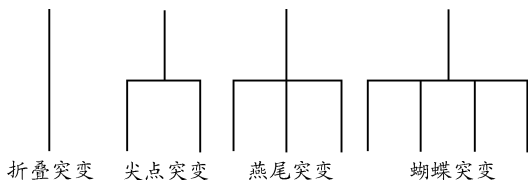


图 1 4 种初等突变模型的结构形式

对应的数学模型如表 1 所示,其中 x 为系统的状态变量, u, v, w, t 为系统的控制变量。

表 1 4 种初等突变模型

突变模型	状态维数	控制维数	势函数
折叠突变	1	1	$x^3 + ux$
尖点突变	1	2	$x^4 + ux^2 + vx$
燕尾突变	1	3	$x^5 + ux^3 + vx^2 + wx$
蝴蝶突变	1	4	$x^6 + ux^4 + vx^3 + wx^2 + tx$

表 1 中 4 种初等突变模型对应的归一化公式为

折叠突变: $x_u = \sqrt[3]{u}$ 。

尖点突变: $x_u = \sqrt[3]{u}, x_v = \sqrt[3]{v}$ 。

燕尾突变: $x_u = \sqrt[3]{u}, x_v = \sqrt[3]{v}, x_w = \sqrt[4]{w}$ 。

蝴蝶突变: $x_u = \sqrt[3]{u}, x_v = \sqrt[3]{v}, x_w = \sqrt[4]{w}, x_t = \sqrt[5]{t}$ 。

1.2.2 突变模型的多指标决策思路

根据建筑物毁伤效果评估指标体系,结合突变理论的内容,多指标决策系统的状态特征 X 完全由有限的变量 $x_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 确定,变量 x_i 的值由 $x_{ij} = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}; j = 1, 2, \dots, n)$ 确定,变量 x_i 的值影响着系统的最终状态,由此建立建筑物毁伤效果评估的多指标递阶层次结构模型,如图 2 所示。

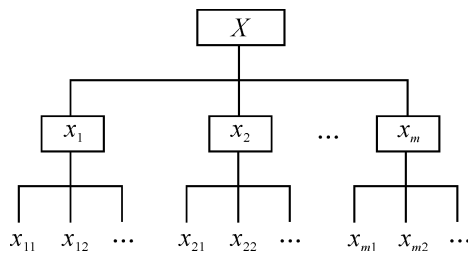


图 2 多指标递阶层次结构模型

将毁伤效果评估多指标决策系统中的每一个指标看成是由其对应的下层指标的行为变化所决定的状态变量,就可以借助突变模型来研究下层指标(控制变量)对上层指标(状态变量)的作用机制,即一个指标受若干个下层指标的行为变化所控制,则视其为发生相应突变的状态变量。

当建立起建筑物毁伤效果评估的突变递阶层次结构模型后,在得到建筑物毁伤前后特征指标的取值下,通过规范化转换公式将指标数据进行处理,利用相应突变模型的归一化公式将下层指标的取值转化为上层指标的突变隶属函数值,最终求得多指标决策系统的总突变隶属函数值,对各建筑物的总突变隶属函数值排序后可进行决策。

1.2.3 建筑物毁伤效果评估的突变决策原则

建立建筑物的毁伤效果评估递阶层次结构模型后进行优先打击决策时,遵循 3 条原则:

1) 互补决策原则。当决策系统的各控制变量之间存在弥补或替代的相互关联作用时,选取各控制变量平均值为系统状态变量值。

2) 非互补决策原则。当决策系统的各控制变量之间不存在弥补或替代的相互关联作用时,选取各控制变量最小值为系统的状态变量值,即“大中取小”的非互补决策原则。

3) 阈值互补决策原则。当决策系统的各控制变量满足一定的阈值条件时,采用互补决策原则,否则采用非互补决策原则。

1.2.4 建筑物毁伤效果评估突变决策步骤

建筑物毁伤效果评估的突变决策具体步骤总结如下:

1) 通过对建筑物毁伤效果评估的总体分析,建立多指标递阶层次结构模型,各层指标重要程度从左到右依次降低排序;

2) 定义规范化公式对底层指标数据进行规范化处理,得到各底层指标的完好度;

3) 确定各层指标的初等突变模型,利用相应的归一化公式计算底层指标的初始突变隶属函数值,采用合理的突变决策原则自下而上的逐层递归运算,得到顶层指标的总突变隶属函数值;

4) 重复1)~3)步骤,得到不同建筑物目标完好度总突变隶属函数值;

5) 根据各建筑物的完好度总突变隶属函数值进行排序,做出优先打击决策。

2 算例分析

2.1 建筑物特征提取与处理

本文采用的图像为美军打击伊朗某军事基地卫星灰度图像,分辨率为0.6 m。选取3组毁伤前后的建筑物提取纹理特征与不变矩特征。纹理特征用建筑物灰度图的最小矩形区域进行提取,不变矩特征用建筑物的二值图进行提取。3组毁伤前后的建筑物图像依次编号为PRE1、POST1、PRE2、POST2、PRE3、POST3。毁伤前后的建筑物图像如图3所示。

表2、表3和表4为各建筑物图像的纹理特征值和不变矩特征值。

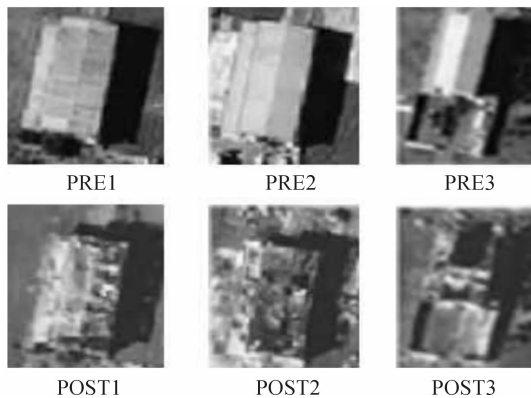


图3 毁伤前后的建筑物图像

表2 各建筑物毁伤前后纹理特征值

特征值	ASM		ENT		COR	
图像	PRE1	POST1	PRE2	POST2	PRE3	POST3
1组	1.63e-3	4.90e-4	7.16	7.92	0.996 3	0.995 6
2组	5.09e-3	5.51e-4	6.22	7.93	0.997 7	0.996 3
3组	2.06e-3	1.40e-4	6.66	7.09	0.962 1	0.938 1

表3 各建筑物毁伤前后Hu不变矩特征值

特征值	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7
PRE1	1.92e-1	9.50e-3	7.73e-5	3.45e-6	-1.30e-11	-3.07e-7	5.49e-11
POST1	1.90e-1	7.70e-3	8.27e-5	7.83e-6	1.48e-10	6.64e-7	1.33e-10
PRE2	1.92e-1	9.50e-3	1.38e-5	3.41e-6	2.11e-11	1.73e-7	-1.01e-11
POST2	2.00e-1	6.50e-3	4.18e-4	3.06e-5	2.91e-9	2.36e-6	1.87e-9
PRE3	2.38e-1	2.74e-2	3.19e-4	4.97e-5	6.30e-10	-2.18e-6	-6.23e-9
POST3	2.81e-1	1.05e-2	3.52e-4	1.40e-3	5.81e-7	1.05e-4	-7.39e-7

表4 各建筑物毁伤前后仿射不变矩特征值

特征值	l_1	l_2	l_3	l_4
PRE1	6.90e-3	-4.07e-11	-7.32e-7	2.69e-8
POST1	7.40e-3	-1.83e-10	-7.41e-7	4.64e-8
PRE2	6.90e-3	-7.15e-12	-7.69e-8	7.67e-9
POST2	8.30e-3	9.19e-11	-4.01e-6	2.50e-7
PRE3	7.40e-3	-2.95e-9	-1.30e-6	2.21e-7
POST3	1.71e-2	3.77e-8	1.32e-5	3.56e-6

通过定义毁伤前后子特征完好度来表征建筑物的毁伤程度。完好度体现了毁伤前后同一子特征的变化程度。为有效区分不同毁伤程度的建筑物,分别定义纹理子特征和不变矩子特征的完好度。

对于纹理特征 T ,定义毁伤前各子特征的完好度为1,令

毁伤前各子特征值为 $T_i(PRE)$,毁伤后对应的子特征值为 $T_i(POST)$ 。将各子特征的完好度值规范化为 $[0,1]$ 范围内。对于子特征的完好度定义为:

$$WHD_i = 1 - \left| \frac{T_i(PRE) - T_i(POST)}{T_i(PRE) + T_i(POST)} \right|$$

对于不变矩特征 M_i 。矩特征原始值变化范围较大,将各子特征值进行相同的处理: $M'_{ij} = abs(\log_{10}(abs(M_{ij})))$ 。定义毁伤前各子特征的完好度为1,令毁伤前各子特征值为 $M_{ij}(PRE)$,毁伤后对应的子特征值为 $M_{ij}(POST)$ 。将各子特征的完好度值规范化为 $[0,1]$ 范围内。各类不变矩特征包含的子特征个数不同,取各子特征完好度的平均值作为特征的完好度。含有 n 个子特征的不变矩特征完好度定义为:

$$WHD_i = 1 - \frac{1}{n} \sum \left| \frac{M'_{ij}(PRE) - M'_{ij}(POST)}{M'_{ij}(PRE) + M'_{ij}(POST)} \right|$$

表5、表6为各建筑物图像的不变矩特征处理值。

表5 各建筑物毁伤前后 Hu 不变矩特征处理值

特征值	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7
PRE1	0.71	2.02	4.11	5.46	10.89	6.51	10.26
POST1	0.71	2.11	4.08	5.11	9.83	6.18	9.88
PRE2	0.72	2.02	4.86	5.47	10.68	6.76	11.00
POST2	0.70	2.19	3.38	4.51	8.54	5.63	8.73
PRE3	0.62	1.56	3.50	4.30	9.20	5.66	8.21
POST3	0.55	1.98	3.45	2.85	6.24	3.98	6.13

表6 各建筑物毁伤前后仿射不变矩特征处理值

特征值	l_1	l_2	l_3	l_4
PRE1	2.16	10.39	6.14	7.57
POST1	2.13	9.74	6.13	7.33
PRE2	2.16	11.15	7.11	8.12
POST2	2.08	10.04	5.40	6.60
PRE3	2.13	8.53	5.89	6.66
POST3	1.77	7.42	4.88	5.45

表7为规范化的纹理特征和不变矩特征各子特征的完好度,即底层评估指标值:

表7 各子特征的完好度

完好度	PRE1、2、3	POST1	POST2	POST3
ASM	1.00	0.46	0.20	0.13
ENT	1.00	0.95	0.88	0.97
COR	1.00	1.00	1.00	0.99
$h_1 \sim h_7$	1.00	0.98	0.91	0.87
$l_1 \sim l_4$	1.00	0.99	0.92	0.91

2.2 建筑物毁伤效果评估指标分层模型

建筑物的毁伤效果评估指标主要包括纹理特征和不变矩特征两类。纹理特征包含角二阶矩、熵和相关性,不变矩特征包含仿射不变矩、Hu 不变矩。据此建立毁伤效果评估递阶层次模型,如图4所示。

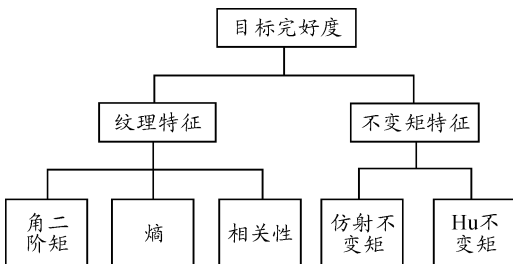


图4 毁伤效果评估递阶层次结构模型

1级评估指标包括纹理特征、不变矩特征,用 $x_i (i=1,2)$ 表示,1级评估指标包含的2级评估指标用 $x_{ij} (i=1,2; j=1,2,3 \text{ 和 } 1,2)$ 表示。各层评估指标按重要程度从左至右降低依次排序。第1层指标的排序为纹理特征、不变矩特征;第2层指标纹理特征排序为角二阶矩、熵、相关性,不变矩特征排序为仿射不变矩、Hu 不变矩。

根据2.1节各底层评估指标完好度得到评估指标特征矩阵为:

$$\begin{bmatrix} 1.00 & 0.46 & 0.20 & 0.13 \\ 1.00 & 0.95 & 0.88 & 0.97 \\ 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.99 \\ 1.00 & 0.98 & 0.91 & 0.87 \\ 1.00 & 0.99 & 0.92 & 0.91 \end{bmatrix}$$

2.3 各层评估指标突变隶属函数值计算

纹理特征、不变矩特征与目标完好度构成尖点突变模型;纹理特征及其子特征角二阶矩、熵、相关性构成燕尾突变模型;不变矩特征及其子特征仿射不变矩、Hu 不变矩构成尖点突变模型。纹理特征与不变矩特征分别表征建筑物的纹理信息与形状信息;纹理特征各子特征分别代表纹理特征的不同信息;不变矩特征各子特征分别反映建筑物形状的不同信息。各层评估指标之间存在着弥补的相互关联作用,因此均采用互补决策原则。令 Z 表示目标完好度的总突变隶属函数值,令 z_i 表示一级评估指标对应的突变隶属函数值,令 z_{ij} 表示2级评估指标对应的突变隶属函数值。

以建筑物 POST1 目标完好度计算为例,利用归一化公式计算各二级评估指标的突变隶属函数值。纹理特征子特征突变隶属函数值: $z_{11} = \sqrt{0.46} = 0.68, z_{12} = \sqrt[3]{0.95} = 0.98, z_{13} = \sqrt[4]{1.00} = 1.00$, 不变矩特征子特征突变隶属函数值: $z_{21} = \sqrt{0.99} = 0.99, z_{22} = \sqrt[3]{0.98} = 0.99$ 。

采用互补决策原则,计算各一级评估指标的突变隶属函数值为 $z_1 = \frac{z_{11} + z_{12} + z_{13}}{3} = 0.89, z_2 = \frac{z_{21} + z_{22}}{2} = 0.99$ 。

对于目标完好度,采用互补决策原则,计算目标完好度的总突变隶属函数值为 $Z = \frac{z_1 + z_2}{2} = 0.94$ 。

同理,可计算建筑物 POST2、POST3 的目标完好度总突

变隶属函数值。计算结果如表 8 所示。

表 8 各建筑物总突变隶属函数值

建筑物	POST1	POST2	POST3
完好度	0.94	0.88	0.86

由表 8 可知,建筑物目标完好度总突变隶属函数值分别为 0.94、0.88、0.86,即目标完好度排序为 POST1 > POST2 > POST3。各建筑物均受到了一定的毁伤,但是毁伤程度不同,根据目标完好度排序可进行优先打击决策,打击顺序为 POST1 > POST2 > POST3。

3 结论

建筑物毁伤效果评估的突变决策方法利用建筑物毁伤前后的纹理特征与不变矩特征,较全面的反映出毁伤变化的纹理信息与形状信息。计算过程中避免了确定评估指标权重的问题,由归一化公式内在机理决定各评估指标对目标完好度的重要程度,降低了评估过程中主观因素的影响。构建模型层次清晰,计算简洁高效,为建筑物毁伤效果评估及优先打击决策提供了一种解决方法。

参考文献:

[1] CURRY H. The Current Battle Damage Assessment Paradigm is Obsolete[J]. Air & Space Power Journal, 2004, 18(4): 41-44.

[2] 杨延平. 基于图像变化检测的毁伤效果评估技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.

[3] 曾雅文. 基于贝叶斯网络的目标毁伤效果评估研究[D]. 武汉: 中国舰船研究院, 2014.

[4] 宁淑婷. 基于二级模糊综合评判的建筑物和桥梁打击效果评估研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.

[5] 苗启广, 宁淑婷, 张晔. 基于二级模糊综合评判的建筑物打击效果评估研究[J]. 系统工程理论与实践, 2014(9): 2438-2445.

[6] 唐鑫, 杨建军. 目标威胁评估的突变决策方法[J]. 电光与控制, 2016(9): 55-58.

[7] 史志富, 张安, 刘海燕, 等. 基于突变理论与模糊集的复杂系统多准则决策[J]. 系统工程与电子技术, 2006, 28(7): 1010-1013.

[8] 张云丰, 王勇, 龚本刚, 等. 基于突变决策方法的物流虚拟企业选择研究[J]. 安徽工程大学学报, 2014, 29(1): 27-31.

[9] HARALICK R M. Statistical and Structural Approaches to Texture[J]. Proceedings of the IEEE, 1979, 67(5): 786-804.

[10] 陈美龙, 戴声奎. 基于 GLCM 算法的图像纹理特征分析[J]. 通信技术, 2012, 45(2): 108-111.

[11] 苑丽红, 付丽, 杨勇, 等. 灰度共生矩阵提取纹理特征的实验结果分析[J]. 计算机应用, 2009, 29(4): 1018-1021.

[12] HU M. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants[J]. Information Theory Ire Transactions on, 1962, 8(2): 179-187.

[13] FLUSSER J, SUK T. Pattern Recognition by Affine Moment Invariants[J]. Pattern Recognition. 26(1): 167-174[J].

[14] 刘文辉. 基于燕尾突变的车辆脱轨研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.

[15] 朱龙轶. 基于突变理论的信用风险评估及应用[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.

[16] 胡苗苗, 朱家明. 基于多属性决策的高校家庭经济困难学生认定方法及应用[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2016, 33(2): 54-57.

(责任编辑 唐定国)