

目标类型识别的改进灰关联模型

李龙跃, 刘付显, 刘永兰, 齐德庆

(空军工程大学导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要 针对防空作战目标类型识别的具体需求, 分析了传统和广义灰关联模型在处理数据时存在的不足之处, 建立了基于熵权法的改进灰关联目标类型识别模型。首先, 为了提高空情数据的利用率, 运用熵权法对数据熵值进行描述而后客观地赋予权重; 其次, 用置信度取代数据的绝对差值, 更加准确地描述数据间相对差异的偏差情况; 最后, 对模型输出结果进行离散化处理, 增强了模型的区分能力。用实例对模型进行检验, 结果表明: 该模型准确、简单且识别率高。

关键词 目标类型识别; 熵权法; 置信度; 离散灰关联

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2011.05.009

中图分类号 TP391.4 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2011)05-0040-05

空袭目标识别, 是现代防空作战的关键环节, 也是指挥决策过程首要解决的问题。不同目标的航迹及各种飞行参数是有差异的, 是对未知空袭目标进行类型识别的主要依据。防空作战环境日趋复杂, 空袭兵器多种多样, 空、地基雷达等传感器获取的目标信息具有不完全性和不确定性, 因此当前空防对抗环境具有典型“灰色系统”的特征。如何准确、有效地从灰色环境中提取信息并进行处理, 为目标识别提供可靠的决策依据, 是防空作战领域的一个重要研究方向。传统的灰关联算法可分为距离灰关联法、广义灰关联法。距离灰关联法是通过计算序列之间相对距离大小进行关联分析的一种算法; 广义灰关联法包括相对灰关联和绝对灰关联 2 种算法, 主要依据各个序列围绕参考序列上下波动的程度进行关联分析。两种算法在应用过程中均有不足之处, 距离灰关联法对初始化算子的要求较高, 关联度容易受数据采样质量和极值影响, 初始化算子不同时, 计算的关联结果也不同; 广义灰关联法不能满足关联四公理中的整体性要求, 缺乏定性分析^[1-2]。针对具体问题, 本文给出改进的灰关联识别算法, 解决定性分析和关联度均值化的相关问题, 进而建立类型识别模型, 解决目标识别的问题。

1 指标样本的建立

1.1 目标类型识别样本

设有 m 个待识别的空中目标, 决定目标类型的特征指标有 n 个, 则描述 m 个目标的指标矩阵为:

$$\mathbf{X} = (x_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \cdots & & \cdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 x_{ij} 为第 i 个目标的第 j 个参数的指标测量值。

依据武器系统的作战使用需要, 可将目标分为以下 5 种类型: 慢速目标(主要指直升机)、巡航导弹类目标(CM)、空地导弹类目标(ARM)、干扰类目标、常规作战飞机。目标类型识别的主要特征指标包括: 目标高度、飞行速度、航路捷径、电磁干扰、航迹类型等, 其中航迹类型可以分为平直、俯冲或爬升这两种类型, 用 1

* 收稿日期: 2010-12-30

基金项目: 国家“973”计划资助项目(613900201)

作者简介: 李龙跃(1988-), 男, 河南驻马店人, 硕士生, 主要从事防空作战建模与仿真研究。

E-mail: lilong_yue@126.com

和 2 来表示^[3-4]。

不同量纲指标间不具可比性,因此应该对上面的矩阵进行归一化,由于指标序列间的数据不存在运算关系,因而不能进行初值化、最小值化、最大值化、平均值化等处理,这里用区间值法进行归一化:

$$y_{ij} = (x_{ij} - \hat{x}_{ij}) / (x_{ij} - \hat{x}_{ij}) \tag{2}$$

式中 \hat{x}_{ij} 、 \hat{x}_{ij} 分别为对所有目标的第 j 个特征取最大或最小。对矩阵 X 归一化后,可得隶属度矩阵 $Y = (y_{ij})_{m \times n}$ 。

1.2 基准矩阵的建立

设将 m 个目标分为 r 个类型,代表每个类型的 n 个特征值用如下基准矩阵表示:

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1r} \\ \cdots & & \cdots \\ b_{m1} & \cdots & b_{mr} \end{bmatrix} = (b_{ik})_{m \times n} \tag{3}$$

式中 b_{ik} 为第 i 种类别的指标 k 的基准特征值 ($i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, r$),该数据可以由专家或客观实际数据结合决定,同样,将 B 归一化得隶属度矩阵 $S = (s_{ik})_{m \times n}$ 。

2 熵权法确定权重

目标类型识别中,不同指标之间权重的分配方法有很多,可分为主观赋权法和客观赋权法,主观赋权法虽然充分考虑了专家的意见,但在确定权重时往往因人的主观因素容易形成偏差,因此,本文将选取一种客观赋予权重的方法——熵权法来确定各个指标的权重。熵权法是一种客观赋权法,依据是某项评估指标在各方案中的参数值差异越大,则信息熵越小,信息量越大,该指标的权重也应越大^[5]。熵权法计算权重的步骤如下^[6]:

步骤 1 生成识别指标矩阵。由矩阵(3)可知对于具有 n 个特征指标的 m 个待识别空中目标这个问题,识别指标矩阵即为 $X = (x_{ij})_{m \times n}$ 。

步骤 2 计算同一指标下待识别目标指标值的接近程度。记 X 中每列的最优值为 r_j^* ,即:

$$r_j^* = \begin{cases} \max_{1 \leq i \leq m} [r_{ij}], & j \in I_1 \\ \min_{1 \leq i \leq m} [r_{ij}], & j \in I_2 \end{cases} \tag{4}$$

式中: I_1 为效益性指标; I_2 为成本性指标。记 r_{ij} 与 r_j^* 的接近程度为 D_{ij} ,即:

$$D_{ij} = \begin{cases} r_{ij} / r_j^*, & j \in I_1 \\ r_j^* / r_{ij}, & j \in I_2 \end{cases} \tag{5}$$

对 D_{ij} 进行归一化处理,记为 $d_{ij} = D_{ij} / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n D_{ij}$ 。

步骤 3 计算熵值。定义第 j 个评价指标的熵值为 H_j ,即:

$$H_j = - \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{d_{ij}}{d_j} \ln \frac{d_{ij}}{d_j} \right) \tag{6}$$

式中 $d_j = \sum_{i=1}^m d_{ij}$ 。

步骤 4 计算第 j 个评价指标的熵权,即:

$$\omega_j = (1 - H_j) / (n - \sum_{j=1}^n H_j) \tag{7}$$

权重向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_j)^T$, 式中 $w_j > 0, \sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。由式(6)、(7)可知,熵权最大值为 1,此时表明待识别目标在该指标上的值完全相同;熵权为 0 时,表示该指标未向决策者提供任何有用信息,可考虑被取消。各待识别目标在某指标上的值差别较大时,熵值较小,熵权较大,说明该指标向决策者提供了有用信息,可以赋予较大权重。

3 模型的建立

3.1 关联系数的修正

根据传统灰关联理论,指标序列和基准序列间的关联系数为^[7]:

$$\xi_j(i) = \frac{\min_j \min_i |x_0(j) - x_i(j)| + \rho \max_j \max_i |x_0(j) - x_i(j)|}{|x_0(j) - x_i(j)| + \rho \max_j \max_i |x_0(j) - x_i(j)|} \quad (8)$$

式中 ρ 为关联分辨系数, ρ 的取值视具体情况而定,这里取 $\rho = 0.5 (0 < \rho < 1)$ 。

这里仅仅用 $|x_0(j) - x_i(j)|$ (指标数据与基准数据的绝对差值),没有充分考虑雷达等传感器测量值与目标实际指标参数之间的误差。由于置信度(Certainty Factor, CF)理论被用来管理数据或规则的不确定性,因此常常引入置信度进行决策分析^[8],因此可以用置信度代替 $|x_0(j) - x_i(j)|$,对关联系数进行修正,从概率的角度描绘了数据间相对差异的偏差情况^[9]。具体步骤如下:

步骤1 计算目标类型基准值与待识别目标关于指标 j 的参数值之间的置信度。设置信度 d_{ij} 为:

$$d_{ij} = P_r \left(|Z| \leq \frac{|x_{ij} - x_{0j}|}{\sqrt{\sigma_{ij}^2 + \sigma_{0j}^2}} \right) = \int_{-|x_{ij} - x_{0j}| / \sqrt{\sigma_{ij}^2 + \sigma_{0j}^2}}^{|x_{ij} - x_{0j}| / \sqrt{\sigma_{ij}^2 + \sigma_{0j}^2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (9)$$

式中: x_{0j} 为目标类型的第 j 个基准值; σ_{0j} 为指标值与基准值之间的标准差,分别计算置信度后可得到置信度矩阵 $D = (d_{ij})_{m \times n}$ 。

步骤2 计算置信关联系数 $\xi_j(i)$:

$$\xi_j(i) = (\min_j \min_i d_{ij} + \rho \max_j \max_i d_{ij}) / (d_{ij} + \rho \max_j \max_i d_{ij}) \quad (10)$$

3.2 关联度离散化

将熵权法确定的不同指标的权重加权到式(11)中,即:

$$r_{sk} = \sum_{j=1}^n w_j \xi_j(i), \quad 0 \leq w_j \leq 1 \quad (11)$$

式中: w_j 为权重系数; r_{sk} 为待识别目标 s 的指标序列与第 k 类目标基准序列之间的接近程度。针对传统灰关联算法中关联度比较接近的情况,本文采用关联度的离散灰关联算法,关联的离散化旨在解决关联均值化的问题,基本思想是突出序列间差异使关联度的分布更为离散。文献[10]给出了离散化公式为:

$$r'_{sk} = (1 - r_{sk})^2 \quad (12)$$

计算出 r'_{sk} 后则可以得到离散化后的关联度矩阵,此矩阵即为识别矩阵, r'_{sk} 越小则目标 s 属于第 k 类目标的可能性最大;反之,可能性越小。经关联度排序,取 $\min r'_{sk}$,则可以判别目标 s 属于 k 类。

4 仿真分析

4.1 典型目标基准参数

依据空袭典型目标特性,首先建立基准矩阵 B ,其基准参数见表1。

表1 目标类型的参数模板

Tab. 1 Target type norm parameters

目标类型	高度/m	速度/(m·s ⁻¹)	航路捷径/km	干扰情况
慢速目标	500	60	15	0
CM	150	250	10	0
ARM	10 000	500	1	0
干扰目标	15 000	300	8	1
作战飞机	10 000	350	6	0

由式(2)对基准矩阵进行归一化得到矩阵 S :

$$B = \begin{bmatrix} 500 & 60 & 15 & 0 \\ 150 & 250 & 10 & 0 \\ 10\ 000 & 500 & 1 & 0 \\ 15\ 000 & 300 & 8 & 1 \\ 10\ 000 & 350 & 6 & 0 \end{bmatrix}; S = \begin{bmatrix} 0.003\ 3 & 0.120\ 0 & 1.000\ 0 & 0.000\ 0 \\ 0.001\ 0 & 0.500\ 0 & 0.666\ 7 & 0.000\ 0 \\ 0.666\ 7 & 1.000\ 0 & 0.666\ 7 & 0.000\ 0 \\ 1.000\ 0 & 0.600\ 0 & 0.533\ 3 & 1.000\ 0 \\ 0.666\ 7 & 0.650\ 0 & 0.400\ 0 & 0.000\ 0 \end{bmatrix}$$

4.2 目标类型识别

现有 8 个待识别的空袭目标,其指标参数矩阵如下:

$$X^T = \begin{bmatrix} 11\ 000 & 150 & 250 & 8\ 000 & 10\ 000 & 15\ 000 & 100 & 12\ 000 \\ 350 & 230 & 180 & 500 & 350 & 380 & 200 & 400 \\ 3.5 & 2.5 & 3 & 0.5 & 4.5 & 6.5 & 4.5 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

由式(4) - (7)可计算权重向量 $w_j = (0.2, 0.36, 0.15, 0.29)$,将指标参数矩阵经过归一化数据处理之后,再由式(8) - (12)计算出 8 批待识别指标参数与基准参数之间的离散灰关联度,可得到离散灰关联矩阵 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.812\ 9 & 0.871\ 4 & 0.109\ 6 & 0.731\ 8 & 0.766\ 5 & 0.891\ 7 & 0.855\ 8 & 0.849\ 5 \\ 0.833\ 0 & 0.403\ 0 & 0.819\ 3 & 0.888\ 4 & 0.819\ 9 & 0.766\ 5 & 0.299\ 5 & 0.799\ 4 \\ 0.883\ 2 & 0.766\ 5 & 0.762\ 6 & 0.434\ 7 & 0.945\ 2 & 0.891\ 5 & 0.898\ 9 & 0.887\ 6 \\ 0.846\ 9 & 0.827\ 8 & 0.893\ 2 & 0.936\ 0 & 0.060\ 0 & 0.820\ 4 & 0.823\ 5 & 0.899\ 0 \\ 0.214\ 8 & 0.897\ 0 & 0.912\ 4 & 0.875\ 5 & 0.893\ 4 & 0.344\ 9 & 0.729\ 8 & 0.213\ 5 \end{bmatrix}$$

由 R 可对这 8 个待识别空袭目标进行关联排序:

$$r'_{15} < r'_{11} < r'_{12} < r'_{14} < r'_{13}, r'_{22} < r'_{23} < r'_{24} < r'_{21} < r'_{25}; r'_{31} < r'_{33} < r'_{32} < r'_{34} < r'_{35}, r'_{42} < r'_{41} < r'_{45} < r'_{42} < r'_{44}; r'_{54} < r'_{51} < r'_{52} < r'_{55} < r'_{53}, r'_{65} < r'_{62} < r'_{64} < r'_{63} < r'_{61}; r'_{72} < r'_{75} < r'_{74} < r'_{71} < r'_{73}, r'_{85} < r'_{82} < r'_{81} < r'_{83} < r'_{84}。$$

依据关联排序得到 8 个空袭目标的类型识别结果为 {作战飞机、CM、慢速目标、ARM、干扰目标、作战飞机、CM、作战飞机},此结果与专家依据目标速度、高度、航路捷径及电磁特征所得到的识别结果是一致的,因此模型可用于空袭目标类型识别。

以第 1 个待识别目标为例,分别使用传统灰关联模型和绝对、相对灰关联模型进行计算,将其关联结果与改进后关联模型计算结果进行对比,得到 matlab 仿真图 1。由图 1 可以看出,改进后的灰关联模型对数据进行处理后,对于不相关的目标类型模型反应较为迟钝,关联度值的点连线较为平缓;对于第 5 种类型目标(作战飞机)关联度值却发生突然剧烈变化,此外,改进后关联度值点分布较另外 3 种模型更加离散,说明了该模型对不同类型目标区分能力得到了增强。

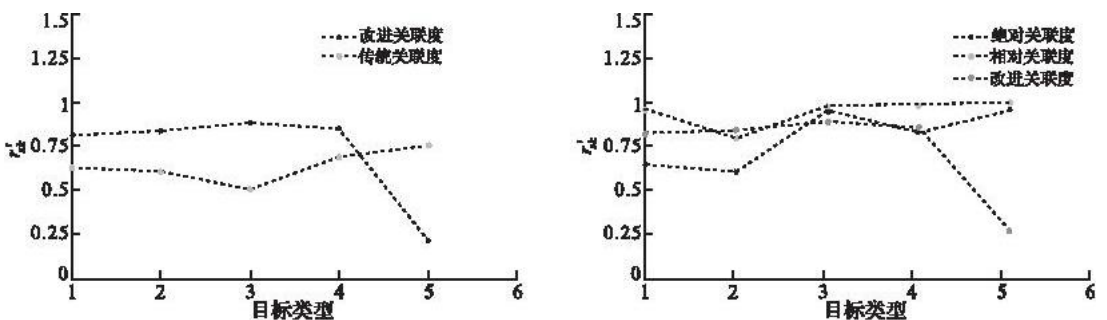


图 1 改进灰关联模型与其它 3 种关联模型对比图

Fig.1 Contrast diagram of improved GR model with three traditional GR model

5 结束语

本文采用熵权法进行不同指标赋权,客观的描述了待识别目标指标变化对关联度的影响程度,其次对关联结果进行离散化,大大增强了模型识别不同类型目标的能力。

需要特别注意的是,在使用该模型时需要有一组可靠的基准参数,尽量发生误判行为。为了使模型更加

可靠、实用,在未来的研究中还应考虑指标体系的准确建立、基准参数的建立及分辨系数的选取等问题。

参考文献:

- [1] 刘思峰,郭天榜,党耀国. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,1999:40-45.
LIU Sifeng, GUO Tianbang, DANG Yaoguo. Grey system theory and practice[M]. Beijing: Science publishing company, 1999:40-45. (in Chinese)
- [2] 王靖成,诸文智,张彦斌. 基于面积的改进灰关联度算法[J]. 系统工程与电子技术,2010,32(4):777-778.
WANG Jingcheng, ZHU Wenzhi, ZHANG Yanbin. Improved algorithm of grey incidence degree based on area[J]. System engineering and electronics,2010,32(4):777-778. (in Chinese)
- [3] 龚亮亮,陈长春,裴迎军,等. 基于测度区间灰关联的未知雷达信号判别方法[J]. 现代防御技术,2009,37(5):114-122.
GONG Liangliang, CHEN Changchun, PEI Yingjun, et al. Unknown radar signal identification method based on measure interval grey correlation technique[J]. Modern defense technology, 2009,37(5):114-122. (in Chinese)
- [4] 陈志杰,朱晓辉,朱永文. 多传感器目标识别融合模型研究[J]. 现代防御技术,2008,36(5):85-87.
CHEN Zhijie, ZHU Xiaohui, ZHU Yongwen. Multiple sensor information fusion model applied to target identification[J]. Modern defense technology, 2008,36(5):85-87. (in Chinese)
- [5] Jing W U, Xiaoyan W U,GAO Zhongchang. Multi-attribute weight allocation based on fuzzy clustering analysis and rough sets [J]. Lecture notes in computer science,2009,58(1):358-365.
- [6] CHEN Suozhong, WANG Xiaojing, ZHAO Xiujun. An attribute recognition model based on entropy weight for evaluating the quality of groundwater sources [J]. Journal of china university of mining and technology, 2008,18(1):72-85.
- [7] Deng Julong. Control problems of grey system[J]. System and control letters,1982,5(1):288-294.
- [8] 王海栋,郑晓庆,张红俊. 基于置信度理论的网络知识融合系统和应用[J]. 计算机系统应用,2011,20(1):1-6.
WANG Haidong, ZHENG Xiaoqing, ZHANG Hongjun. Web knowledge fusion system based on certainty factor theory and its application [J]. Computer system application,2011,20(1):1-6. (in Chinese)
- [9] Behera H S,Dash P K,Biswal B. Power quality time series data mining using S-transform and fuzzy expert system [J]. Applied soft computing journal,2010,10(3):945-955.
- [10] WEI Guiwu. GRA method for multiple attribute decision making with incomplete weight information in intuitionistic fuzzy setting [J]. Knowledge-based systems,2010,23(3):243-247.
- [11] ZHAI Lianyin, Lipheng Khoo, ZHONG Zhaowei. Design concept evaluation in product development using rough sets and grey relation analysis [J]. Expert systems with applications,2009,36(3):7072-7079.

(编辑:田新华)

Air Target Type Recognition Model Based on Improved Grey Relation Theory

LI Long-yue, LIU Fu-xian, LIU Yong-lan, QI De-qing

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China)

Abstract: For the requirement of Target type recognition in air defense combat process, this paper points out the limitations of traditional and generalized Grey Relation (GR) models in data processing, and then an improved GR model based on entropy-weight method to recognize the unknown target type is established. Firstly, in order to make full use of air targets' data exactly, the method of entropy-weight is introduced in this model to determine the index weight. Secondly, the Certainty Factor is used instead of the absolute value to more accurately describe data errors between different serial numbers. Finally, the discretization of the output of this model is made, which enhances the ability to distinguish different target types effectively. Furthermore, examples are taken to validate this model, the results show that the model is accurate, simple, high in recognition rate and of great value in application.

Key words: target type recognition; entropy-weight method; Certainty Factor; dispersed grey relation