

空袭目标属性综合识别的灰色评判模型

刘 静¹, 魏瑞轩¹, 韩崇昭², 王献锋³

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 西安交通大学, 陕西 西安 710049; 3. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘 要:在灰色关联分析的基础上,对斜关联度进行了修正,引出了点、斜修正关联分析的概念。通过对影响目标属性识别的各种因素的分析,结合战术思想利用灰色点、斜修正关联分析及多目标优化方法建立了目标属性综合识别模型,从而利用数量化理论有效地解决了目标属性识别这一复杂而困难的问题,为防空作战 C³I 系统指挥自动化提供了一种辅助决策方法。

关键词:目标属性识别;灰色关联分析;关联度

中图分类号:O159;E911 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)05-0087-05

高新技术在军事领域的运用,使得信息战、电子战、导弹战成为现代战争的主要特征,要求防空作战的 C³I 系统具备能够进行全方位、立体化的目标探测和识别能力及防御能力。然而目标综合(属性和类型)识别是衡量防空 C³I 系统防御能力和进行及时、有效防空,打击空袭目标的关键环节,也是作战决策过程的首要难题,但它又是一个复杂的多层次动态过程,一般要受到空袭目标的强烈干扰和己方相控阵雷达局限性的限制,使得日臻成熟的基于成像技术和编码技术的目标识别方法很难奏效。为有效地切合实际,提高识别能力,就必须进行多因素综合识别。用数量化理论建立目标属性识别模型,使它既符合实际又便于数学处理、计算机实现是一个相当困难的问题。

军事行动往往是在灰色系统中进行的一种思维决策过程。目标属性识别一般只能通过上级情报、预警和本级探测系统获得目标的大概位置、速度、电子辐射、反射面积等,空防雷达探测到的空袭目标信息是一些不完全的信息,从而能用灰色系统理论来处理目标属性识别问题。

1 识别前提

1) 目标属性识别是基于己方火力单元级的。

2) 假设进行属性识别的空中目标是在已进行过探测、搜索、粗跟、精跟,目标的位置、速度、电子干扰、预警等信息由火力单元信息协调中心(ICC)自动传输给 ICC 识别软件。

3) 为使识别过程易于量化,文中一般用 1 代表有、0 代表无、2 代表不明。如有预警信息(或预警为敌)、有间断电子干扰、目标航迹为爬高或俯冲等都用 1 表示;无预警信息(或预警为我(友)机)、无电子干扰、目标航迹为平直飞行等都用 0 表示;预警不明、有连续电子干扰、目标航迹出现分岔等用 2 表示;目标航迹出现下滑用 3 表示。

2 模型的建立

2.1 灰色关联分析思想

灰关联分析是指事物之间的不确定关联,是采用量化方法研究事物之间、事物因素之间相关性的一种度

收稿日期:2003-02-18

基金项目:国家“973”(2001CB309403)与空军工程大学学术基金资助

作者简介:刘 静(1964-),男,讲师,硕士生,陕西临潼人,主要研究方向为数学与军事系统建模;

韩崇昭(1934-),男,陕西韩城人,教授,博士生导师,主要从事信息融合、非线性系统理论研究。

量。一般点关联度^[1]是邓聚龙教授提出的,基本思想是利用位移差来反映两事物间发展过程或量级的相近性,文献[2]对其进行了修正,引出了第*i*事物与参考事物间的点修正关联度 $r_i^{(1)}$;文献[3]利用速度差(斜率)来反映两事物特征因素序列发展趋势或曲线形状的相似性,主要描述事物特征因素序列间相对变化趋势的接近程度,引出了一般斜关联度 r_i' ;本文先对一般斜关联度 r_i' 进行了修正,将修正后的关联度 $r_i^{(2)}$ 称为斜修正关联度。

由于点修正关联度和斜修正关联度有着各自的优点,为更好地反映和处理实际问题,将二者进行加权叠加,得到点、斜修正关联度: $r_{0i} = \omega_0 r_i^{(1)} + (1 - \omega_0) r_i^{(2)}$ ($i = 1, 2, \dots, m$) 其中 ω_0 、 $(1 - \omega_0)$ 分别为点、斜修正关联度的权重, m 为比较事物或因素的个数。由此可按关联度的大小进行排序,结合定性分析进行关联度分析。

2.2 目标属性识别特征因素的选取

进行属性识别,只要考虑其主要特征因素能较准确地将属性识别出来,以不至于与实际相差甚远和出现漏判、误判的情形,并能为后继的类型识别、拦截适应性检验、火力分配提供可靠的依据即可。根据防空武器系统的特点和战术思想,选取参与属性识别的主要特征因素为:(目标所在的)空域(包括我机原始空域、敌机原始空域、安全走廊、禁飞区)、IFF 应答、电子辐射、机动特性、最小安全速度和目标群规模及预警信息,综合各主要特征因素可提高属性识别的有效性。

2.3 目标属性识别评价集的确定

为有效地对空中目标进行属性判断,并从防空武器指挥控制系统的实际和便于自动化实现的目的出发,可将识别的评价集定义为{我(友)、敌、不明},并用{0、1、2}表示。

2.4 目标属性识别特征因素权重的确定

基于火力单元指挥控制系统,为更能客观地描述和量化作战过程,一般将战备状态分为战态和非战态,并设置相应的两种属性识别权值集合,以备准确地识别,权值反映了属性识别各特征因素对其识别贡献的大小,一般是根据过去的实战经验和一定的理论分析(如 AHP、模糊综合评定法等)给定。

2.5 目标属性综合识别灰色评判模型

2.5.1 属性综合识别样本空间及目标函数的确定

基于参与属性识别的主要特征因素,构造属性识别的样本空间 S 为 $S = \{\text{预警或上级情报, IFF 应答, 电子干扰, 安全走廊, 我机原始空域, 敌机原始空域, 禁飞区, 机动特性, 最小安全速度, 群规模}\}$,其主要特征因素的样本函数可用三维数组 $A[N][T][K]$ 来描述,其中 N 表示本次识别目标的最大个数, T 是系统的反应时间, A 是参与属性识别特征因素的最大个数,在 t 时刻就第 j 批目标而言, $A[N][T][K]$ 为

$$1) \text{战态: } A[j][t][i] = f_i(x)$$

$$f_0(x) = \begin{cases} e_0 & x = y_d = 0 \\ w_0 & x = y_d = 1; \\ b_0 & x = y_d = 2 \end{cases}; \quad f_i(x) = \begin{cases} e_i & x = 0 \\ w_i & x = 1 \end{cases} \quad (i = 1, 2, 4, 5, 7, 8, \dots, K-1)$$

$$f_i(x) = \begin{cases} \frac{1}{k} \sum_{s=1}^k e_i & x = 0 \\ \frac{1}{k} \sum_{s=1}^k s_i & x = 1 \end{cases} \quad (i = 3, 6)$$

其中 e_i 、 s_i 、 b_0 分别表示战态第 i ($i = 0, 1, 2, \dots, K-1$) 个参与属性识别的特征因素经其识别准则识别为我(友)、敌、不明的权值, x 表示经各特征因素属性识别准则识别的结果。而当 $i = 3, 6$ (即为安全走廊和禁飞区,且分别设有 m 条安全走廊和 l 个禁飞区)时,其样本函数值为各安全走廊($k = m$)和禁飞区($k = l$)的样本函数值的均值, s 表示第 s 条安全走廊(或第 s 个禁飞区)。

$$2) \text{非战态: } A[j][t][i] = f_i(x)$$

$$f_0(x) = \begin{cases} e_{00} & x = y_d = 0 \\ s_{00} & x = y_d = 1; \\ b_1 & x = y_d = 2 \end{cases}; \quad f_i(x) = \begin{cases} e_{0i} & x = 0 \\ s_{0i} & x = 1 \end{cases} \quad (i = 1, 2)$$

$$f_i(x) = \begin{cases} \frac{1}{k} \sum_{s=1}^k e_{0i} & x = 0 \\ \frac{1}{k} \sum_{s=1}^k s_{0i} & x = 1 \end{cases} \quad (i = 3); f_i(x) = 0 \quad (i = 4, 5, \dots, K-1)$$

其中 e_{0i}, s_{0i}, b_{1i} 分别表示非战态第 $i(i=0, 1, 2, \dots, K-1)$ 个参与属性识别的特征因素经其识别准则识别为我(友)、敌、不明的权值, x, m, l, s 符号的意义同战时。 $f_i(x) = 0(i=4, 5, \dots, K-1)$ 是因为安全走廊、我机原始空域、敌机原始空域、禁飞区、机动特性、最小安全速度、群规模特征因素对非战态目标属性识别贡献甚微, 故其样本函数可认为是零。

综上所述, 无论是战态还是非战态, 对 t 时刻第 i 批目标进行属性识别的目标样本函数都可取为: $A[j][t] = \{A[j][t][0], A[j][t][1], \dots, A[j][t][K-1]\}$, 这样就可据此结合实战选取参考列, 对空态目标进行灰关联分析, 进而识别目标的属性。

2.5.2 最优参考集的确定

对各目标进行综合评判, 必须制定评判标准。针对属性识别, 结合实战经验, 可选取最可能的两种情形即当属性识别的各主要特征因素的样本函数都分别确定为我机和敌机情况下的目标函数为两个最优函数, 它们既能体现为我机和敌机的最大可能性, 又易于实现, 也符合灰关联分析思想, 故我机($c=0$) 和敌机($c=1$) 战态与非战态的两个最优列分别为

$$m_0[c] = \{m_0[c][0], m_0[c][1], \dots, m_0[c][K-1]\} = \begin{cases} \{e_0, e_1, \dots, e_{[K-1]}\} & c = 0 \\ \{s_0, s_1, \dots, s_{[K-1]}\} & c = 1 \end{cases}$$

$$m_1[c] = \{m_1[c][0], m_1[c][1], \dots, m_1[c][K-1]\} = \begin{cases} \{e_{00}, e_{01}, \dots, e_{0[K-1]}\} & c = 0 \\ \{s_{00}, s_{01}, \dots, s_{0[K-1]}\} & c = 1 \end{cases}$$

2.5.3 灰色关联度的计算

1) 当目标被探测雷达跟踪并将精跟的目标信息: 位置 $r = (x, y, z)$ 、速度 $v_t = (x_0, y_0, z_0)$ 、方位角 u 、电子干扰(e_c)及预警信息(y_p)、预警属性(y_d)、IFF 信息(i_p)和航迹(f_p)等传输给 ICC, 得到 t 时各目标($j=1, 2, \dots, N$)信息矩阵 X_t :

$$X_t = [x_{jq}]_{N \times M}^t = \begin{bmatrix} x_1[0][t] & x_2[0][t] & \dots & x_M[0][t] \\ x_1[1][t] & x_2[1][t] & \dots & x_M[1][t] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1[N-1][t] & x_2[N-1][t] & \dots & x_M[N-1][t] \end{bmatrix}$$

其中 X_t 的列分别依次代表各目标的 $x, y, z, x_0, y_0, z_0, u, e_c, l_p, y_p, y_d, f_p$ 。 M 表示参与属性识别的目标信息个数(此处 $M=12$)。

2) 取属性识别样本函数中的各特征因素为评判指标, 根据 X_t 经各特征因素的识别准则分别识别后, 得到 t 时的各特征因素目标函数值矩阵 Y_t :

$$Y_t = [y_{qj}]_{N \times M}^t = \begin{bmatrix} A[0][t][0] & A[0][t][1] & \dots & A[0][t][K-1] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A[j][t][0] & A[j][t][1] & \dots & A[j][t][K-1] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A[N-1][t][0] & A[N-1][t][1] & \dots & A[N-1][t][K-1] \end{bmatrix}$$

选取矩阵 Y_t 中各目标的各特征因素目标函数值序列:

$$A[j][t] = \{A[j][t][0], A[j][t][1], \dots, A[j][t][K-1]\} \quad (j=0, 1, 2, \dots, N-1)$$

为比较列, 在时刻 t 和最多共有 N 个比较列, 当实际目标数 n 少于 N 时, 依实际目标数计算。

3) 计算我机($c=0$) 和敌机($c=1$) 的点、斜修正关联度

$$\Delta A[j][t][k'] = |A[j][t][k+1] - A[j][t][k]|; \Delta m_0[c][k'] = |m_0[c][k+1] - m_0[c][k]|$$

$$\xi_g^{(1)}(k) = \frac{\rho \max_j \max_k |A[j][t][k] - m_0[c][k]|}{|A[j][t][k] - m_0[c][k]| + \rho \max_j \max_k |A[j][t][k] - m_0[c][k]|} \quad (k=0, 1, 2, \dots, K-1)$$

$$\xi_g^{(2)}(k') = \frac{\rho' \max_j \max_{k'} |\Delta A[j][t][k'] - \Delta m_0[c][k']|}{|\Delta A[j][t][k'] - \Delta m_0[c][k']| + \rho' \max_j \max_{k'} |\Delta A[j][t][k'] - \Delta m_0[c][k']|} \quad (k'=0, 1, 2, \dots, K-2)$$

$$r_c[j][t] = \frac{\omega_0}{K} \sum_{k=0}^{K-1} \xi_{gj}^{(1)}(k)w(k) + \frac{1-\omega_0}{K-1} \sum_{k'=0}^{K-2} \xi_{gj}^{(2)}(k')w(k') \quad (j = 0, 1, 2, \dots, N-1)$$

其中 $w(k)$ 表示在点修正关联分析中第 k 个特征因素的权重, $w(k')$ 为在斜修正关联分析中第 k 个特征因素较第 $k+1$ 个特征因素重要的权重。且 $\sum_{k=1}^n \omega(k) = 1, \omega(k) \geq 0, \sum_{k=1}^{n-1} \omega(k') = 1, \omega(k') \geq 0$, 对于非战态的情形与此类似讨论。

2.5.4 评判结果

比较时刻 t 同一目标 j 关于敌、我两个点、斜修正关联度 $r_0[j][t]$ 和 $r_1[j][t]$:

若 $r_0[j][t] \begin{cases} > \\ < \end{cases} r_1[j][t]$, 则第 j 个目标为 $\begin{cases} 我 \\ 敌 \end{cases}$ 机; 若 $|r_0[j][t] - r_1[j][t]| \leq \alpha$, 则第 j 个目标为不明。

其中 α 是与防空武器系统有关的参数, 是在进行比较同一个目标对敌、我两个参考列所获得的关联度大小时, 从实际出发经定性和定量分析选取的一个基准参数, 此处取 $\alpha = 0.05$ 。对于不同武器系统和配置 α 的选取会有所不同。

3 评价案例

1) 假设某时刻 t 空中共有 8 批目标, 目标的各种信息见表 1。

表 1 8 批目标的各种信息

目标序号	目标位置/km			目标速度(km/h)			方位角/(°)	电子干扰	IFF 应答	预警信息	预警属性	航迹信息
j	x	y	z	x_0	y_0	z_0	u	e_c	i_p	y_d	y_d	f_p
1	45.00	2.00	50.00	85.00	25.00	90.00	55.00	0	1	1	1	0
2	80.00	22.00	100.00	260.00	55.00	320.00	60.00	0	1	1	2	0
3	105.00	2.50	165.00	135.00	90.00	140.00	45.00	0	1	1	1	1
4	90.00	40.00	95.00	-800.00	225.00	-950.00	135.00	0	1	1	1	0
5	50.00	1.50	130.00	-450.00	-250.00	-780.00	90.00	1	0	1	0	2
6	65.00	5.20	150.0	-1200.00	-850.00	-900.00	75.00	1	0	1	0	1
7	12.40	1.60	24.000	-135.00	-20.00	-180.00	60.00	1	0	0	0	0
8	0.50	0.10	5.40	85.00	30.00	-120.00	120.00	0	0	0	0	3

2) 火力单元的各种信息如下: ①空域信息、安全走廊信息、禁飞区信息分别见表 2、表 3、表 4; ② 进行目标属性识别的特征因素个数: $K = 10$; ③ 预警方位角边界: $[0^\circ, 360^\circ]$; ④ 干扰方位角边界: $[30^\circ, 120^\circ]$; ⑤ 属性识别对战态各特征因素的权值经专家评估后利用 AHP、模糊综合评判法^[5]计算, 见表 5。

3) 在战态取 $\omega_0 = 0.5$, 分别就 $\rho = 0.5, \rho' = 0.5$ (文献[1]) 和 $\rho = 0.05, \rho' = 0.05$ (文献[7]) 两种情况下依所建模型得到表 6 的结果(其中 j 代表第 j 个目标, $j_m = 0, 1, 2$ 分别表示被判为我(友)机、敌机、不明)。

表 2 空域信息

原始空域	时间范围/min	高度范围/km	方位角范围/(°)	距离范围/km
我机	[0.00, 60.00]	[0.00, 15.00]	[45.00, 53.00]	[0.00, 50.00]
敌机	[0.00, 90.00]	[5.00, 20.00]	[45.00, 90.00]	[220.00, 250.00]

表 3 安全走廊信息

安全走廊数($m=2$)	时间/min	高度/km	方位/(°)	截距	斜率	
序号 k	1	[0.00, 90.00]	[0.00, 10.00]	[0.00, 72.00]	[0.00, 20.00]	1.00
	2	[60.00, 180.00]	[5.00, 15.00]	[70.00, 130.00]	[100.00, 130.00]	-1.00

表 4 禁飞区信息

禁飞区数($l=2$)	高度/km	中心方位角/(°)	中心距/km	半径/km	
序号 k	1	[0.00, 10.00]	0.00	60.00	5.00
	2	[2.00, 20.00]	75.00	52.00	10.00

表5 综合评判法计算的权值

特征因素 评价集	预警 信息	IFF 应答	ECM 干扰	安全 走廊	我原 空域	敌原 空域	禁飞区	机动 特性	安全 速度	群规模
我(友)	0.416 8	0.277 9	0.083 4	0.055 6	0.027 7	0.027 7	0.027 7	0.027 7	0.027 7	0.0277
不明	0.00	×	×	×	×	×	×	×	×	×
敌机	-0.029 4	-0.294 1	-0.147 1	-0.088 2	-0.029 4	-0.029 4	-0.029 4	-0.029 4	-0.029 4	-0.029 4

上述8批目标经所建模型在参数 $\rho = 0.5$, $\rho' = 0.5$ 下的识别结果为第1、2、3批目标被判为我机;第4批目标被判为不明;第5、6、7、8批目标被判为敌机;而在参数 $\rho = 0.05$, $\rho' = 0.05$

表6 两组不同参数 ρ 和 ρ' 下所建模型的仿真识别结果

		j							
		1	2	3	4	5	6	7	8
$\rho = 0.5, \rho' = 0.5$	j_m	0	0	0	2	1	1	1	1
$\rho = 0.05, \rho' = 0.05$		0	0	0	1	1	1	1	1

下的识别结果为第1、2、3批目标被判为我机;第4、5、6、7、8批目标被判为敌机。其判断结果与专家评定结果一致,且用参数 $\rho = 0.05, \rho' = 0.05$ 比取参数 $\rho = 0.5, \rho' = 0.5$ 更易识别目标属性。此模型经采用10组实际数据对每组8批目标进行验证,都取得了满意的效果。

4 结论

采用灰色点、斜修正关联分析法所建的目标属性识别模型,利用了数量化方法,所得的识别结果基本准确地反映了实际情况。对于防空武器系统来说具有较高的实用价值和可信度,因而在实战中可以为指挥作战人员进行目标识别提供一种行之有效的方法。

参考文献:

[1] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1990.
 [2] 陈茜影,程宝龙. 灰色点关联系数与点关联度的记号[J]. 系统工程,1990,8(5):59-64.
 [3] 施宝正. 灰关联的表现形式与点、斜关联量化方法的探讨[J]. 数理统计与管理,1992,11(4):47-51.
 [4] 王 壮,郁文贤. C³I系统中的目标综合识别技术[J]. 系统工程与电子技术,2001,23(1):5-8.
 [5] 王 琦. 实用模糊数学[M]. 北京:科学技术文献出版社,1992.
 [6] 刘兴堂. 现代系统建模与仿真技术[M]. 西安:西北工业大学出版社,2001.
 [7] 申卯兴,薛西锋,张小水. 灰色关联分析中分辨系数的选取[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2003,4(1):68-70.

(编辑:姚树峰)

A Grey Evaluation Model of the Air Raid Targets' Attribute Comprehensive Identification

LIU Jing¹, WEI Rui-xuan¹, HAN Chong-zhao², Wang Xian-feng³

(1. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China; 2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi 710049, China; 3. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

Abstract: Based on the grey incidence analysis, the slope - incidence degree is modified and thus the concept of point - slope modification incidence analysis is deduced. Through the analysis of factors affecting air targets' attribute identification and combining the ideas of air defense by utilizing the grey point - slope modification incidence analysis and the multi - objective optimization method, this paper establishes a model of targets' attribute identification which can be used to effectively solve the complicated and difficult problem of targets' attribute identification by quantitative theory and also provides an auxiliary decision method for C31 system of air defense fight.

Key words: targets' attribute identification; grey incidence analysis; incidence degree