

文章编号: 1001-0920(2009)05-0777-04

一种基于模糊密度动态调节的融合目标识别方法

邢清华, 刘付显

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要: 针对工程应用的需要, 给出一种根据实时动态数据确定模糊密度调节系数的方法, 并建立了基于模糊密度动态调节的融合目标识别算法. 最后通过仿真实验给出了各种模糊积分用于目标融合识别时的识别结果, 验证了所提出方法的有效性.

关键词: 模糊积分; 模糊密度; 决策层融合; 目标识别

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

Method of fusion target recognition based on fuzzy densities dynamic adjusted

XING Qing-hua, LIU Fu-xian

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China. Correspondent: XING Qing-hua, E-mail: liuxqh@126.com)

Abstract: For the demand of applying in project, a method of determining coefficient of regulation is proposed according to real time dynamic data. An algorithm of fusion target recognition based on fuzzy densities dynamic regulated is built. The results of fusion target recognition using many formulas of fuzzy integral are given. The simulation experiment shows the effectiveness of the method.

Key words: Fuzzy integral; Fuzzy densities; Decision level fusion; Target recognition

1 引言

决策层融合目标识别就是各传感器根据各自所获得的信息分别进行识别, 建立所观察目标的初步分类结论, 然后融合中心对各传感器处理的结果进行整合, 得到最后的判决结果^[1]. 在多传感器系统中, 由于信息本身的不完全性, 以及所获得信息的不可靠性, 各传感器给出的识别结果不可避免地具有很大的不确定性. 因此, 对多传感器的初步识别结果进行融合尤为重要.

融合目标识别实际上是一种不确定信息处理技术. 处理不确定信息的技术很多, 比如 Bayes 理论、证据理论、模糊理论等都可应用于融合目标识别^[2]. 还有很多学者应用神经网络以及模糊推理等方法研究多传感器融合目标识别问题. 在组合多源目标识别信息时, 模糊积分不仅考虑了各子源给出的客观信息, 同时还考虑了各子源子集的重要性或可靠性^[4], 因此该方法已逐渐引起人们的重视. 将模糊积

分应用于融合目标识别的核心问题是确定反映各传感器重要性的模糊密度. 文献[1]提出了一种自适应模糊密度赋值方法, 本文则结合防空作战的实际, 给出一种确定模糊密度的改进方法, 并建立了基于模糊密度动态调节的融合目标识别算法.

2 模糊测度及有限集合上的模糊积分

2.1 模糊测度

设 S 为任意集合, $P(S)$ 表示 S 的幂集. 如果集合函数 $g: P(S) \rightarrow [0, 1]$ 满足一定的条件^[4,6], 则 g 就是 $P(S)$ 上的模糊测度. g 测度是模糊测度的一种, 它的重要性质是: 当 $A \cap B = \phi$ 时, 有

$$g(A \cup B) = g(A) + g(B) + g(A)g(B).$$

下文所指的都是 g 测度, 简单地以 g 替代.

对于有限集合 $S = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 记 $g^i = g(\{x_i\})$, 则有下列迭代公式:

$$\begin{aligned} g(X_i) &= g^i + g(X_{i-1}) + g^i g(X_{i-1}), \\ X_i &= \{x_1, x_2, \dots, x_i\}. \end{aligned} \quad (1)$$

收稿日期: 2008-04-24; 修回日期: 2008-07-24.

基金项目: 国家自然科学基金项目(60773209); 陕西省自然科学基金项目(2006F18).

作者简介: 邢清华(1966—), 女, 山西文水人, 教授, 博士生导师, 博士, 从事防空作战智能决策、建模仿真的研究;
刘付显(1962—), 男, 山东曹县人, 教授, 博士生导师, 博士, 从事防空作战建模仿真、决策分析的研究.

其中 的值可通过求解如下方程得到:

$$\prod_{k=1}^n (1 + g^k) = \dots + 1. \tag{2}$$

2.2 模糊积分

当集合 $S = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为一有限集, 函数 $h: S \rightarrow [0, 1]$, 并设 $1 \geq h(x_1) \geq h(x_2) \geq \dots \geq h(x_n) \geq 0$ (如果 h 不满足此关系, 则将 S 的元素重新排列, 使得 h 满足此关系), 则函数 h 在集合 S 上关于模糊测度 g 的 Sugeno 模糊积分 (S) 为

$$h(x) \circ g(\cdot) = \bigvee_{i=1}^n [h(x_i), g(A_i)], \tag{3}$$

其中 $A_i = \{x_1, x_2, \dots, x_i\}$.

式(3) 采用了取大算子 \bigvee 和取小算子 \bigwedge . Weber^[3] 将式(3) 中的取小算子 \bigwedge 用一般的 T 模代替, 得到如下广义的 Sugeno 模糊积分 (GS):

$$h(x) \circ g(\cdot) = \bigvee_{i=1}^n [T(h(x_i), g(A_i))]. \tag{4}$$

几种常用的 T 模是: $T_B(a, b) = \max(0, a + b - 1)$; $T(a, b) = ab$; $T(a, b) = \min(a, b)$.

Wierzchon 将式(3) 中的算子 \bigvee 和 \bigwedge 交换位置, 得到另一种公式, 称为 Wierzchon 模糊积分 (W):

$$h(x) \circ g(\cdot) = \bigwedge_{i=1}^n [h(x_i), g(A_i)]. \tag{5}$$

将式(5) 中的算子 \bigwedge 用一般的 S 模代替, 得到如下的广义 Wierzchon 模糊积分 (GW):

$$h(x) \circ g(\cdot) = \bigwedge_{i=1}^n [h(x_i), g(A_i)]. \tag{6}$$

几种常用的 S 模是: $S_B(a, b) = \min(1, a + b)$; $S(a, b) = a + b - ab$; $S(a, b) = \max(a, b)$.

Choquet 模糊积分是用容度理论中的泛函定义的一种模糊积分, 其形式 (C) 为

$$h(x) \circ g(\cdot) = \bigvee_{i=1}^n h(x_i) \cdot (g(A_i) - g(A_{i-1})), \tag{7}$$

其中 $g(A_0) = 0$.

3 基于模糊积分的目标融合识别原理

基于模糊积分进行融合目标识别时, 集合 S 为传感器的集合 $\{s_1, s_2, \dots, s_N\}$, M 类目标为 $\{c_1, c_2, \dots, c_M\}$. 对于目标 x , 传感器 s_i 输出的识别结果 $d_i(x) = (d_{i1}(x), d_{i2}(x), \dots, d_{iM}(x))$ 为一个 M 维向量, $d_{ij}(x)$ 表示传感器 s_i 输出的目标 x 属于 c_j 的后验概率. 令可测函数 $h_j(s_i) = d_{ij}(x)$, 模糊测度 $g_j(A_i)$ 表示传感器集 A_i 识别第 j 类目标时的重要性, 则 $g_j^i = g_j(\{s_i\})$ 表示判决目标属于 c_j 类时传感器 s_i 的重要性, 也称作模糊密度.

利用模糊积分对各传感器输出的识别结果进行融合就是计算函数 $h_j(s_i)$ 在集合 S 上关于模糊测度 $g_j (j = 1, 2, \dots, M)$ 的模糊积分.

4 基于模糊密度动态调节的融合识别

在实际多传感器信息融合目标识别系统中, 融合识别发生在传感器感知目标的每一个时刻点上, 也发生在该传感器感知到的所有目标上. 如果对每个目标在每个时刻点都进行模糊密度的调节, 并不断计算目标相对各类别的可能性, 势必影响实时性, 并带来一些负面影响. 比如, 文献[1] 中传感器对目标后验概率一次突变的发生, 可能将一个好的模糊密度调节为一个不好的模糊密度, 况且该密度具有后效性, 进而影响融合识别结果. 为此, 本文结合工程实际需求, 给出模糊密度调节系数的计算方法及调节时机, 并给出基于模糊密度动态调节的融合识别算法.

4.1 初始模糊密度的确定方法

对于 M 类目标, 设传感器 s_i 的归一化混淆矩阵是一 $M \times M$ 矩阵 $P^i = (p_{kl}^i)_{M \times M}$, 其中 p_{kl}^i 表示传感器 s_i 将训练样本中第 k 类目标识别为第 l 类的比率.

由于模糊密度 $g_j^i = g_j(\{s_i\})$ 表示传感器 s_i 在判决目标属于类别 c_j 时传感器 s_i 的重要性或可靠性, 初始模糊密度 g_j^i 可用下式估计:

$$g_j^i = \left(1 - \left(\prod_{k \neq j} p_{kj}^i / (m - 1)\right)\right) p_{ij}^i, \tag{8}$$

$i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, M.$

该式的意义是 p_{ij}^i 越大, 则 $\prod_{k \neq j} p_{kj}^i$ 越小, g_j^i 越大. 换言之, 传感器 s_i 对训练样本中第 j 类目标的正确识别率越高, 则将其他类目标识别为第 j 类目标的比率越低, 从而在判决目标属于类别 c_j 时传感器 s_i 的重要性或可靠性越大.

4.2 模糊密度调节系数的确定方法

假定各传感器的输出结果 $d_{ij}(x)$ 已知, 则为每个传感器定义的模糊密度调节系数 $\alpha_i(x)$ 定义为

$$\alpha_i(x) = \begin{cases} 1, & d_{im}(x) \geq \alpha_m; \\ 1 - \frac{1}{M - 1} \prod_{j=1, j \neq m}^M d_{ij}(x), & d_{im}(x) < \alpha_m. \end{cases} \tag{9}$$

其中: $d_{im}(x) = \max_{1 \leq j \leq M} (d_{ij}(x))$, 为预先设定的开关变量, $i = 1, 2, \dots, N$.

式(9) 的含义是: 首先预设一个开关变量 α_m , 当 $d_{im}(x) \geq \alpha_m$ 时, 说明传感器 s_i 输出的待识别目标 x 属于某一类的概率很大, 而属于其他类的概率很小, 该传感器将其识别错的概率很小, 所以认为传感器 s_i 识别结果的置信度高, 不需要对模糊密度进行调

节,调节系数置1;当 $d_m(x) <$ 时,说明传感器 s_i 输出的待识别目标 x 属于各类的概率相差不大,该传感器很容易将其识别错,所以认为该传感器识别结果的置信度较低,需要对模糊密度进行调节.

4.3 基于模糊密度动态调节的融合识别算法

基于模糊密度动态调节的融合识别算法如下:

1) 由训练样本获得每个传感器的混淆矩阵,并利用式(8)计算初始模糊密度 g_j^i .

2) 对于待识别目标 x ,根据其实时动态数据,利用式(9)确定模糊密度的调节系数 $i(x)$,并对模糊密度进行调节.

$$g_j^{i(*k)} = g_j^{i(*k-1)} * i(x),$$

$$i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, M.$$

3) 通过式(2)求 g_j^i 的值,获得其惟一的大于 - 1 且不等于 0 的根;通过式(1)递推求取 $g(A_i)$.

4) 根据各传感器输出的识别结果 $d_{ij}(x)$,确定模糊积分中的 $h_j(s_i)$ 如下:

$$h_j(s_i) = d_{ij}(x),$$

$$i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, M.$$

5) 计算融合识别系统对目标 x 的融合识别结果如下:

$$r_j(x) = h_j(s_i)^0 g_j^i(x), j = 1, 2, \dots, M. \quad (10)$$

综合 $r_j(x)$,可得到各传感器对目标 x 的融合识别结果 $R(x) = (r_1(x), r_2(x), \dots, r_M(x))$. $r_j(x)$ 表示融合后目标 x 属于 c_j 类的可能性.最后的融合结果为

$$r_k(x) = \max_j (r_j(x)).$$

6) 统计目标 x 被判为 c_k 类的次数 $\text{num}(x)$,并统计对目标 x 的总判别次数 $\text{sum}(x)$.当 $\text{sum}(x)$ 大于某一值,同时 $\text{num}(x) / \text{sum}(x)$ 大于某一比率时, c_k 将是目标 x 的最终类别,以后的每一周期将不再对该目标进行融合识别,转 7);否则,转 2) 继续进行.

7) 输出目标 x 的最终融合识别类别 c_k .

5 仿真实验

在防空作战指挥控制中,通常在进行目标识别分类时,一般将目标分为 5 种类型:TBM,大型目标,小型目标,武装直升机和诱饵^[5].目标类型识别的主要特征包括:目标高度、飞行速度、航线特征、电磁辐射(ECM)以及发现距离,当然还有别的辅助特征.3部雷达对空中同一目标 x 测得的特征参数^[2]如表 1 所示.

利用文献[5]中给出的模型计算每个传感器输出的目标属于某一类的后验概率如下:

$$d_1(x) = (0.054785, 0.327942, 0.182962, 0.127748, 0.306564);$$

表 1 3 部雷达测得的目标参数

传感器	特征参数			
	高度	速度	航线特征	ECM
传感器 1(s_1)	19600	335	310	1
传感器 2(s_2)	19500	350	330	1
传感器 3(s_3)	20000	400	360	1

$$d_2(x) = (0.057864, 0.328759, 0.184111, 0.131900, 0.297367);$$

$$d_3(x) = (0.064805, 0.324316, 0.193344, 0.133224, 0.284311).$$

5 列分别对应 TBM(c_1),大型机(c_2),小型机(c_3),武装直升机(c_4)和诱饵(c_5),共 5 种类型.

这里更关注的是模糊密度的调节,所以本文没有从训练样本中计算初始模糊密度,而是利用文献[2]中的参数 $g_j^i, i = 1, 2, 3, j = 1, 2, \dots, 5$.

利用式(10)计算各传感器的调节系数 $a_1(x) = 0.831985, a_2(x) = 0.832190, a_3(x) = 0.831079$.用该系数调节后,各传感器识别各类目标的可靠度为

$$g_1^1 = 0.399353, g_2^1 = 0.249596, g_3^1 = 0.207996,$$

$$g_4^1 = 0.374393, g_5^1 = 0.166397;$$

$$g_1^2 = 0.349520, g_2^2 = 0.208047, g_3^2 = 0.249657,$$

$$g_4^2 = 0.291266, g_5^2 = 0.208047;$$

$$g_1^3 = 0.274256, g_2^3 = 0.290878, g_3^3 = 0.166216,$$

$$g_4^3 = 0.249324, g_5^3 = 0.182837.$$

利用式(2),计算得 $a_1 = -0.0676, a_2 = 1.2346, a_3 = 2.5128, a_4 = 0.3002, a_5 = 3.5298$.

根据式(1)计算所得的 $g_i (i = 1, 2, \dots, 5)$ 模糊测度如下:

对于类型 c_1 (TBM),模糊测度 g_1 为

$$g_1(A_1) = g_1^3 = 0.274256, A_1 = \{s_3\};$$

$$g_1(A_2) = 0.617296, A_2 = \{s_3, s_2\};$$

$$g_1(A_3) = 0.999984, A_3 = \{s_3, s_2, s_1\}.$$

对于类型 c_2 (大型机),模糊测度 g_2 为

$$g_2(A_1) = g_2^2 = 0.208047, A_1 = \{s_2\};$$

$$g_2(A_2) = 0.521753, A_2 = \{s_2, s_1\};$$

$$g_2(A_3) = 1.00000, A_3 = \{s_2, s_1, s_3\}.$$

对于类型 c_3 (小型机),模糊测度 g_3 为

$$g_3(A_1) = g_3^3 = 0.166216, A_1 = \{s_3\};$$

$$g_3(A_2) = 0.520147, A_2 = \{s_3, s_2\};$$

$$g_3(A_3) = 0.999999, A_3 = \{s_3, s_2, s_1\}.$$

对于类型 c_4 (武装直升机),模糊测度 g_4 为

$$g_4(A_1) = g_4^3 = 0.249324, A_1 = \{s_3\};$$

$$g_4(A_2) = 0.562390, A_2 = \{s_3, s_2\};$$

$$g_4(A_3) = 0.999992, A_3 = \{s_3, s_2, s_1\}.$$

对于类型 c_5 (诱饵), 模糊测度 g_5 为

$$g_5(A_1) = g_5^1 = 0.166397, A_1 = \{s_1\};$$

$$g_5(A_2) = 0.496640, A_2 = \{s_1, s_2\};$$

$$g_5(A_3) = 0.999998, A_3 = \{s_1, s_2, s_3\}.$$

将积分公式(3)和(4)(两种 T 模形式), (5)和(6)(两种 S 模形式)以及(7)用于(10), 并结合上面计算得到的模糊测度, 可得到各传感器对目标 x 的融合识别结果, 如表2所示.

表2 各模糊积分公式对目标的融合识别结果

模糊积分	类 型				
	TBM	大型机	小型机	武 装 直升机	诱饵
Sugeno	0.06433	0.32552	0.18275	0.13224	0.29517
GS _{Tb}	0.05623	0.33294	0.18783	0.13114	0.29187
GS _T	0.05624	0.33293	0.18782	0.13114	0.29186
Wierzc	0.20282	0.24312	0.14298	0.18438	0.22671
GW _{Sb}	0.16216	0.25673	0.17196	0.18296	0.22619
GW _S	0.17014	0.24805	0.17339	0.18499	0.22344
Choque	0.05901	0.32875	0.18644	0.13136	0.29445

从表2可以看出, 各种模糊积分的融合结果一致, 目标的最终类型为“大型机”, 只是不同的融合公式所得到的可能度有所不同, 比如利用 Sugeno 积分得到该目标属于大型机的可能性为 0.325517. 该结果与基于模糊识别聚类^[5], D-S 证据组合^[2]等方法的识别结果一致. 另外, 从仿真结果看, 不同模糊积分用于融合识别时, 所得到的目标属于每一类的可能性值各不相同, 这为采用模糊积分进行融合识别提供了更大的灵活性. 例如, 在用模糊积分计算融合识别结果时, 对不同目标类别是分别进行的, 因此可以对不同类别采用不同的模糊积分.

各种模糊积分用于决策层融合目标识别时, 均有其各自的直观含义, 在具体融合时利用哪一种模糊积分, 与指挥员的偏好以及不同积分的直观含义有关. Sugeno 积分寻求的是传感器给出的客观证据与传感器重要性之间一致性的最大值, 广义 Sugeno 积分寻求的是它们二者之间“悲观”一致性的最大值. 而 Wierzc 积分寻求的是传感器给出的客观证据与传感器重要性之间“乐观”一致性的最小值, 广义 Wierzc 积分寻求的是它们二者之间更为“乐观”一致性的最小值. Choquet 积分实质上是扩展的平均加权法. 当指挥员需要得到某一类型的“乐观”识别结果时, 若该类型的目标参数变化幅度较大, 则一般用 Wierzc 积分或其广义积分融合. 当指挥员需要得到某一类型的“悲观”识别结果时, 一般用 Sugeno 积分或其广义积分融合. 对于其他情

况, 用 Choquet 积分比较好.

该仿真是从静态角度(某一时刻点)验证融合识别算法, 而从动态角度验证该算法则需要一段时间内的空情信息, 限于篇幅, 这里不再赘述.

6 结 论

本文研究了各种模糊积分. 针对模糊积分应用于融合目标识别的关键问题之一, 即确定反映各传感器重要性的模糊密度问题, 给出了一种适合工程需求的模糊密度动态调节方法. 该方法充分利用各传感器识别结果包含的动态信息, 解决了现有模糊密度确定方法只利用训练样本静态信息的缺陷. 另外, 本文还给出了基于模糊密度动态调节的目标融合识别算法, 并通过仿真验证了所提出方法的正确性; 对各种模糊积分的融合结果进行比较, 给出了具体融合时, 根据不同指挥员的偏好选择不同模糊积分公式的建议. 该方法的提出将为防空指挥控制系统的目标识别研究提供新的思路.

参考文献(References)

- [1] 付耀文, 黎湘, 庄钊文. 一种自适应模糊密度赋值的决策层融合目标识别算法[J]. 电子学报, 2004, 32(9): 1433-1435.
(Fu Y W, Li X, Zhuang Z W. A decision level fusion algorithm for target recognition with fuzzy densities determined adaptively[J]. Acta Electronica, 2004, 32(9): 1433-1435.)
- [2] 邢清华. 多传感器信息智能融合方法研究[D]. 西安: 空军工程大学, 2007.
(Xing Q H. Study on intelligent fusion method of multi sensor information[D]. Xi'an: Air Force Engineering University, 2007.)
- [3] Weber S. S decomposable measures and integrals for Archimedean t -conorms [J]. Math Analysis and Applications, 1984, 101(1): 114-138.
- [4] 付耀文. 雷达目标融合识别研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2003.
(Fu Y W. Research on radar target fusion recognition [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2003.)
- [5] 邢清华, 刘付显. 空袭目标类型的模糊识别与聚类研究[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(6): 139-143.
(Xing Q H, Liu F X. Study on the fuzzy recognition and cluster of air attack target character [J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2004, 24(6): 139-143.)
- [6] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2005.
(Yang L B, Gao Y Y. Fuzzy mathematics theory and application[M]. Guangzhou: Published by South China University of Technology, 2005.)