

基于 Vague 集的多传感器信息融合方法

王 毅, 雷英杰

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘 要:针对模糊信息融合的局限性,提出了一个基于 Vague 集的多传感器信息融合方法。建立了基于 Vague 集的多传感器信息融合模型,然后给出了适合信息融合的相应定义,最后给出了该方法的数学描述、数据组织、结果评价及算法实现过程。通过实例研究,验证了该方法的有效性和正确性。

关键词:Vague 集;Fuzzy 集;模糊决策;信息融合

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2007)04-0232-03

Method for Multisensor Information Fusion Based on Vague Sets

WANG Yi, LEI Ying-jie

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

Abstract: To issues of the limitations of fuzzy information fusion, a method for multisensor information fusion is proposed. First, a model for multisensor information fusion based on Vague sets is constructed. Then, related definitions appropriated to information fusion are given. Finally, the mathematical description, the data organization, the evaluation of results of the method, and implementation course of the algorithm are exposed. The instance shows that the method is in validity and correctness.

Key words: Vague sets; fuzzy sets; fuzzy decision; information fusion

0 引 言

所谓信息融合,就是充分利用多个传感器的资源,对观测到的信息进行合理支配和使用,把在空间或时间上的冗余或互补信息按照某种准则进行组合,以获取对被观测目标的一致性认识^[1]。信息融合自提出以来,已在军事和民用领域得到广泛应用,在产生巨大效益的同时,也形成了许多行之有效的融合理论和方法。其中基于 Fuzzy 集的信息融合(模糊信息融合)方法^[2],因其在任务描述和评价体系方面的独特优势,成为信息融合研究和应用的一个重要方向。但长期以来,由于 Fuzzy 集理论自身存在一定的限制,如 Fuzzy 集的隶属度是一个单值,该单值包含了支持 $u \in U$ (U 为论域)的证据,也包含了反对 u 的证据。但它不可能同时表示支持和反对的证据。这一限制表现在信息融合中,它不仅造成了融合过程中一定信息的损失,更给模糊信息融合理论发展带来很多羁绊。为了解决 Fuzzy 集无法表示和处理这类具有模糊性的不确定信息和数据的问题, Gau 和 Buehrer 于 1993 年提出

了 Vague 集。文献[3]给出了 Vague 集的概念,对 Fuzzy 集的前述问题给予了一定的解决,同时文献[4]也讨论了相应的理论并在此基础上进行了定义的拓展,文献[5]给出了 Vague 集元素间相似度量的近似推理方法,文献[6]给出了基于 Vague 集的加权模糊运算,对 Vague 集的进一步应用提供了理论基础。在 Vague 集的应用方面, De Kumar 等^[7]通过定义 Vague 集的模糊关系及其模糊关系的合成,将其应用在医疗诊断中,为建立医疗诊断专家系统奠定了基础。Chen^[8]利用 Vague 集理论分别对串联、并联的模糊系统的可靠性进行分析,整个过程简单、条理清晰。本研究在介绍 Vague 集的基础上,试就基于 Vague 集的模糊信息融合方法问题进行探讨。

1 Vague 集

在一个 Vague 集 A 中,是用一个真隶属函数 $t_A(x)$ 和一个假隶属函数 $f_A(x)$ 描述其隶属度的界。这两个界构成 $[0,1]$ 的一个子区间 $[t_A(x), 1 - f_A(x)]$ 。例如,假定 $[t_A(x), 1 - f_A(x)] = [0.5, 0.8]$, 可知 $f_A(x) = 1 - 0.8 = 0.2$ 。此时,可将 x 属于 Vague 集 A 的程度解释为: x 属于 A 的程度为 0.5, 不属于 A 的程度为 0.2。也可用投票模型来解释它:即赞成票 5

收稿日期:2006-07-10

作者简介:王 毅(1979-),男,上海人,博士研究生,主要研究方向为智能信息处理;雷英杰,教授,博士生导师,博士,主要研究方向为智能信息处理。

票,反对票2票,而弃权票3票。显然,用Fuzzy集是无法表示这类模糊信息的,而Vague集的主要特征却正好弥补了Fuzzy集的缺陷,它同时给出了支持和反对的证据,这正是在处理信息融合问题中所期望的。为了进一步了解Vague集理论,在此简要地给出相应的定义。

定义1 (Vague集^[3]) 令 X 是一个点(对象)的空间,其中的任意一个元素用 x 表示, x 中的一个Vague集 A 用一个真隶属函数 $t_A(x)$ 和一个假隶属函数 $f_A(x)$ 表示, $t_A(x)$ 是从支持 x 的证据所导出的 x 的隶属度下界, $f_A(x)$ 则是从反对 x 的证据所导出的 x 的否定隶属度下界, $t_A(x)$ 和 $f_A(x)$ 将区间 $[0,1]$ 中的一个实数与 x 中的每一个点联系起来,即 $t_A: X \rightarrow [0,1], f_A: X \rightarrow [0,1]$,其中, $t_A(x) + f_A(x) \leq 1$ 。设 A 为一Vague集,当 X 是连续的时候,有 $A = \int_x [t_A(x), 1 - f_A(x)]/x_i; x_i \in X$ 。当 X 为离散的时候,有

$$V = \sum_{i=1}^n [t_A(x_i), 1 - f_A(x_i)]/x_i; x_i \in X$$

关于Vague集的交、并、补等其他运算定义可参考文献[4]。

2 基于Vague集的多传感器信息融合模型

2.1 问题与信息融合模型定义

在进行多传感器信息融合的过程中,如何选择一个问题最逼近真实目标值方案的问题,取决于多传感器对多目标的数据采集和信息融合的有效综合,存在着信息的描述、组织、关联以及结果的评价等因素。基于Vague集的多传感器信息融合方法,正是应用Vague集理论来描述决策任务,组织、关联数据,评价决策结果的过程。为此,在相关文献对Vague集的讨论基础上,给出适合信息融合的相应定义。

定义2 设 O 为目标集合, S 为传感器集合, $O = \{O_1, O_2, \dots, O_m\}, S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ 。传感器 S_j 对目标 O_i 的刻画程度可用Vague表示为

$$O_i = \{(S_1, [t_{i1}, 1 - f_{i1}]), (S_2, [t_{i2}, 1 - f_{i2}]), \dots, (S_n, [t_{in}, 1 - f_{in}])\} (i = 1, 2, \dots, m)$$

式中, t_{ij} 表示传感器 S_j 对目标 O_i 的确定程度; f_{ij} 表示传感器 S_j 对目标 O_i 的不确定程度; $t_{ij} \in [0,1], f_{ij} \in [0,1], t_{ij} + f_{ij} \leq 1, 1 \leq j \leq k \leq p \leq s \leq n, 1 \leq i \leq m$,若设 $1 - f_{ij} = t_{ij}^*$,则传感器 S_j 对目标 O_i 的刻画程度可以表示成如下形式:

$$O_i = \{(S_1, [t_{i1}, t_{i1}^*]), (S_2, [t_{i2}, t_{i2}^*]), \dots, (S_n, [t_{in}, t_{in}^*])\}$$

定义3 如果传感器 S_j 对目标的目标 O_i 确定程

度是100%确定,则这种确定程度就定义为完全确定,其Vague值表示为 $[1,1]$,并将这种理想状态表示为 $O^* = \{S_j, [1,1]\}$ 。此时任意目标可表示为:

$$O_i = \{(S_j, [t_{ij}, 1 - f_{ij}]) \mid i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$$

基于Vague集的多传感器信息融合问题,就是要从Vague集表示的满足评价指标程度的多个目标方案中选出最佳的方案来。

定义4 假设 $x = [t_x, 1 - f_x], y = [t_y, 1 - f_y]$ 是两个Vague值, x 和 y 之间的距离可定义为如下形式:

$$L(x, y) = |S(x) - S(y)|/4 + (|t_x - t_y| + |f_x - f_y|)/4$$

定义5 假设 A 和 B 为两个Vague集,则 A 和 B 的距离可定义为:

$$T(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L(V_A(u_i), V_B(u_i)) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{|S(V_A(u_i)) - S(V_B(u_i))|}{4} + \frac{|t_A(u_i), 1 - t_B(u_i)| + |f_A(u_i) - f_B(u_i)|}{4} \right]$$

式中, $V_A(u_i) = [t_A(u_i), 1 - f_A(u_i)], V_B(u_i) = [t_B(u_i), 1 - f_B(u_i)] (u_i \in U)$ 。

由于在处理多传感器对多传感器进行信息融合的过程中会因为诸多的因素而导致在精度、范围以及输出形式等方面存在较大差异,所以在融合时有必要对其进行分层次考虑,使其得到的数据更加逼近真实值。在信息融合应用中,还要对其评价指标进行加权改进,以得到更适宜的描述。

定义6 加权距离。若考虑传感器 S_j 自身的优劣性,对其赋予一定的权值,此时求得的距离称为加权距离。设传感器 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$,对应权系数 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\} (w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1)$,目标 $O = \{O_1, O_2, \dots, O_m\}$,则此时的加权距离为:

$$T_i(O_i, O^*) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \{w_j [|t_{O_i}^*(u) - t_{O_i}(u)| + |f_{O_i}^*(u) - f_{O_i}(u)|]/2\}$$

定义7 设 O_i 为待确定目标, O^* 为理想的完全确定目标,则 O_i 与 O^* 的最小距离定义为:

$$T_i(O_i, O^*) = \min \{T_1(O_1, O^*), T_2(O_2, O^*), \dots, T_m(O_m, O^*)\}$$

2.2 基于Vague集的信息融合算法

基于Vague集的多传感器信息融合的算法步骤如下:

步骤1:分别输入来自于传感器对于目标所采集的各类数据以及各类目标所赋予的权重;

步骤 2: 计算待确定目标 O_i 和理想目标 O^* 的加权距离 $T(O_i, O^*)$ 及不确定性 $U(O_i)$;

步骤 3: 求出最小距离 $T(O_i, O^*)$ 并找出其对应目标;

步骤 4: 输出融合结果——判定的目标。

算法复杂度的高低体现在运行该算法所需要的计算机资源的多少, 所需资源越多, 则该算法的复杂度越高; 反之, 则越低。时间复杂度和空间复杂度是衡量算法复杂度的标准。由于空间复杂度是作为算法所需存储空间的量度, 所以在文中只对时间复杂度进行分析, 通过算法分析, 该信息融合算法时间复杂度为 $T(n) = O(n)$ 。

3 算 例

下面给出一个实例来说明基于 Vague 集的多传感器信息融合方法。假设有 3 类目标 $\{O_1, O_2, O_3\}$ 、3 类传感器 $\{S_1, S_2, S_3\}$, 传感器对应权值为 $\{w_1, w_2, w_3\}$, 经过多批采集数据求三种传感器最后的融合结果(见表 1)。

表 1 输入数据表

S_j	W_j	O_1		O_2		O_3	
		t_{1j}	$1 - f_{1j}$	t_{2j}	$1 - f_{2j}$	t_{3j}	$1 - f_{3j}$
S_1	0.3	0.6	0.7	0.5	0.7	0.4	0.6
S_2	0.5	0.7	0.8	0.6	0.7	0.5	0.7
S_3	0.2	0.8	0.9	0.4	0.6	0.5	0.6

现在用前述算法步骤进行计算:

步骤 1: 输入数据。将传感器对目标刻划处理成符合 Vague 集要求的数据, 作为输入数据;

步骤 2: 将如下数据用 Vague 集表示为:

$$O_1 = \{(S_1, [0.6, 0.7]), (S_2, [0.7, 0.8]), (S_3, [0.8, 0.9])\}$$

$$O_2 = \{(S_1, [0.5, 0.7]), (S_2, [0.6, 0.7]), (S_3, [0.4, 0.6])\}$$

$$O_3 = \{(S_1, [0.4, 0.6]), (S_2, [0.5, 0.7]), (S_3, [0.5, 0.6])\}$$

$$\text{传感器权值 } w = \{0.3, 0.5, 0.2\}$$

步骤 3: 分别计算距离

$$T_1(O_1, O^*) = [0.3(1 - 0.6 + 0.3) + 0.5(1 - 0.7 + 0.2) + 0.2(1 - 0.8 + 0.1)] / (2 \times 3) = 0.0866$$

$$T_2(O_2, O^*) = [0.3(1 - 0.5 + 0.3) + 0.5(1 - 0.6 + 0.3) + 0.2(1 - 0.4 + 0.4)] / (2 \times 3) = 0.1316$$

$$T_3(O_3, O^*) = [0.3(1 - 0.4 + 0.4) + 0.5(1 - 0.5 + 0.3) + 0.2(1 - 0.5 + 0.4)] / (2 \times 3) = 0.1666$$

步骤 4: 求出最小距离 $T_1(O_1, O^*) = 0.0866$, 故对应目标为 O_1 。

4 讨 论

信息融合是一种多层次的、多方面的处理过程, 这个过程是对多源数据进行检测、结合、相关、估计和组合以达到精确的状态估计和身份估计, 以及完整、及时的态势评估和威胁估计。在多传感器信息融合问题的处理上, 仅仅考虑“确定”或“不确定”的这种单值情况是远远不够的, 这也就是 Fuzzy 集仅能反映出其“单值”的缺陷之一。

文中就模糊信息融合本身所具有“缺陷”而提出采用基于 Vague 集的多传感器信息融合方法。首先, 依据对问题的描述, 提出了信息融合的 Vague 集相应定义, 其次从多传感器信息融合的多个目标方案中选出评价指标程度最佳的方案, 然后针对在信息融合过程中诸多因素而导致在精度、范围以及输出形式等方面存在的差异, 给出了加权距离的定义, 使其得到的数据更加逼近真实值, 最后给出最小距离定义进行判定。实例验证, 基于 Vague 集的多传感器信息融合方法在其算法复杂度和融合效果上具有高效性和正确性。

5 结 语

信息融合是针对一定的决策任务, 对多传感器或多源信息进行有效地综合处理, 从而获得更准确、更稳定的决策结果的技术。这种技术与模糊理论相结合使得在处理这类具有模糊性的不确定信息和数据的问题上更加易于描述和表示。文中针对模糊信息融合局限性分析, 提出了一个基于 Vague 集的多传感器信息融合方法。在该方法中, 首先建立了基于 Vague 集的多传感器信息融合模型, 然后提出了适合信息融合的相应定义, 最后给出了该方法的数学描述、数据组织、结果评价等概念及算法实现过程。通过实例分析, 采用基于 Vague 集的多传感器融合方法的优点可以集中表现在信息利用的充分性和融合过程的简易性, 同时这种方法无论从思想还是过程上更容易让人接受。

参考文献:

[1] 何 友, 王国宏, 陆 大, 等. 多传感器信息融合及应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.
[2] Bell M R, Zadeh L A. Decision making in a fuzzy environment [J]. Management Science, 1990, 17: 141 - 146.
[3] Gau W L, Buehrer D J. Vague sets [J]. IEEE Trans on Systems Man Cybernet, 1993, 23: 610 - 614.
[4] 李 凡, 徐章艳, 饶 勇. Vague 集 [J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2002, 30(1): 11 - 14.
[5] 李 凡, 徐章艳, 蔡立晶. Vague 集元素间相似度量的近似推理 [J]. 应用科学学报, 2002, 20(2): 178 - 182.

```
CString m_sProxyServer;//代理服务器 IP 或域名
int m_nProxyPort;//代理服务器端口
...};
```

3.4 POP3 协议实现

POP3 响应由一个状态码和一个可能跟有的附加信息组成,所有响应也是以 CRLF 对结束。POP3 响应共有两种状态码“+OK”和“-ERR”,其对特定命令的响应是由许多字符组成的。在发送第一行响应和一个 CRLF 之后,任何的附加信息行也以 CRLF 对结束,发送的最后一行信息应包括一个结束字符“.”和一个 CRLF 对。检测多行响应时,客户应确认此行是否以结束字符开始,如果是而且其后的字符不是 CRLF,此行的第一个结束字符应被抛弃[8]。

POP3 的协议实现不像 SMTP 一样有清晰的流程。它有认证、传输和更新三种状态,每种状态下只有相应的命令才可以提交 POP3 服务器并作相应状态转换,对于在模

块中实际用到的命令如表 1 所示。

4 结束语

介绍了一个基于 Windows 平台的 MUA 软件模块的实现过程。该模块已成功在长庆油田采油二厂原油集输站数据采集系统上应用,在这里给出一个该 MUA 模块发送端的测试用界面(如图 3 所示)。

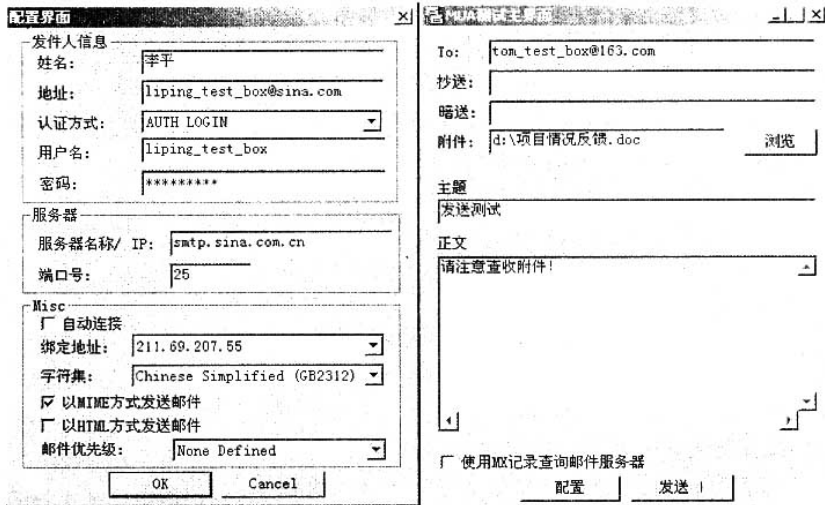


图 3 测试界面

经运行测试,这个模块具有很好的通用性,适用于现有的大部分公用邮箱。如果系统对邮件安全性有较高的要求,可以考虑加入对 OPENSSL 的支持。

参考文献:

[1] RFC2045~2049. Multipurpose Internet Mail Extensions (MIME)[S]. 1996.
[2] RFC822. Standard for the format of ARPA Internet text messages[S]. 1982.
[3] RFC1928. Socks Protocol Version 5[S]. 1996.
[4] RFC2616. HyperText Transfer Protocol - HTTP/1.1[S]. 1999.
[5] RFC2104. HMAC: Keyed - Hashing for Message Authentication[S]. 1997.
[6] RFC1869. SMTP Service Extensions[S]. 1995.
[7] RFC821. Simple Mail Transfer Protocol[S]. 1982.
[8] RFC1939. Post Office Protocol version - 3[S]. 1996.

表 1 POP3 协议命令与应答流程

状态	命令	应答	描述
认证 Authentication	Socket 连接	+ OK POP3 server ready	打开连接
	USER name	+ OK POP3	用户名
	PASS string	+ OK POP3	密码。如认证成功转入传输状态
	QUIT	+ OK POP3 Disconnect	此次 QUIT 命令不进入更新状态
传输 Transaction	STAT	+ OK 2 320	统计
	LIST [msg id]	+ OK 2 messages (320 octets) 1 120 2 200	统计列表
	RETR msg id	+ OK 120 octets < 服务器发送信件 >	收邮件
	DELE msg id	+ OK message 1 deleted	加删除标记
	NOOP	+ OK	空闲
	RSET	+ OK	服务器去掉某些邮件的删除标记
	QUIT	+ OK Server signing off	进入更新状态

(上接第 234 页)

[6] 李 凡,饶 勇. 基于 Vague 集的加权模糊运算[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2001, 29(3): 25-29.
[7] Kumar D S, Biswas R, Ranjan R A. An application of intuitionistic fuzzy sets in medical diagnosis[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2001, 117(2): 209-213.

[8] Chen S M. Fuzzy system reliability analysis based on vague sets theory[C]//Proceeding of the 1997 IEEE International Conference on Computational Cybernetics and Simulation. Orlando: IEEE Press, 1997: 1650-1655.