多测度 Vague 集相似度量

韦 波[1,2] 黎 胜[1] 黎珍惜[1]
(桂林理工大学测绘地理信息学院 桂林 541004)[1]
(桂林理工大学广西空间信息与测绘重点实验室 桂林 541004)[2]

摘 要 针对单一测度度量 Vague 集相似性上的缺陷,提出了两种 Vague 集的多测度相似度量。给出了一种 Vague 集的单形体几何表示方法,亦即将 Vague 集的真、假隶属度和未知度表达为划分单形体同一平面的 3 个三角形,进而提出了适合于度量 Vague 集相似性的面积测度,并结合距离测度和未知度测度构造了 Vague 集多测度相似度量,以在空间上体现出"点-线-面"多特征相似性度量格局。实例验证了多测度相似度量的有效性和优越性。

关键词 Vague 集,相似度量,多测度,凸面单形体
中图法分类号 TP18 **文献标识码** A

Multi-measures Similarity Measures between Vague Sets

WEI Bo[1,2] LI Sheng[1] LI Zhen-xi[1]
(College of Geomatics and Geoinformation, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)[1]
(Guilin University of Technology, Guangxi Key Laboratory for Spatial Information and Geomatics, Guilin 541004, China)[2]

Abstract Aimed to the drawbacks of measuring similarity between Vague sets on a single measure, two similarity measures on multi-measures between Vague sets were proposed. A simplex geometrical expression of Vague sets was presented, which represents the degree of true membership, false membership and unknown for Vague sets as the 3 triangles partitioning a same plane within a simplex. Then an area measure suiting for measuring similarity between Vague sets was proposed. Combining the area measure with the measure of distance and unknown degree, the similarity measures on multi-measures between Vague sets were constructed, which embody a measuring pattern for similarity by multi-features of "point-line-region" in spatial. The examples verify the validity and the advantage of the proposed multi-measures similarity measures.

Keywords Vague sets, Similarity measures, Multi-measures, Convex simplex

1 引言

Vague 集能同时给出支持和反对一个对象的证据[1],因此比 Fuzzy 集更能准确地表达模糊信息,近年来已逐渐成为处理不确定信息方法中研究的热点;而相似度量则是其理论研究中的一个重要内容[2]。

文献[3-15]给出了一些 Vague 集的相似度量。然而,所有这些相似度量,虽然已从使用单一距离指标[3,4]逐步转变为多种距离指标组合[5-15]来度量相似性,但它们仍有一个共同的缺点,即都是使用同一种测度——距离测度来度量相似性。单一测度在度量相似性上能力有限,出现区分能力不强或不能分辨等现象[16]是必然的。特别地,其求差本质决定了距离测度对同一量的度量结果都为零,使得 Vague 集的未知度失去了"未知性"的意义。为此,文献[16]提出了另外一种测度(本文称为未知度测度),即用两个元素的未知度之和来度量相似性[16],并结合距离测度给出了一种相似度量。由于两种测度的结合仍具有一定的局限性,在度量相似性方面仍不够完善,因此该相似度量的区分能力也不高。

针对这些问题,本文基于凸面单形体,给出了一种新的 Vague 集几何表示方法,并在此基础上提出了一种新的度量 Vague 集相似性的测度——面积测度。通过面积测度、距离测度与未知度测度三者相结合提出了两种多测度的 Vague 集相似度量。

2 Vague 集单形体几何表示

欧氏空间中的 n 维凸面几何体由若干个 $(n-1)$ 维的凸集构成。只有 $(n+1)$ 个顶点的凸面几何体是 n 维空间中最简单的形式,其称之为凸面单形体,简称单形体,例如,一维空间中由 2 个点确定的线段、二维空间中由 3 个点确定的三角形、三维空间中由 4 个点确定的四面体。

根据 Vague 集的三维表示[17],在以论域 U 上的一个 Vague 集 A 的 $t_A(u)$、$f_A(u)$ 和 $\pi_A(u)$ 为坐标表示的三维笛卡

到稿日期:2011-08-26 返修日期:2011-12-01 本文受国家自然科学基金项目(41071294,41064001),广西自然科学基金项目(0991248),广西研究生教育创新计划项目(2011105960816M14)资助。

韦 波(1974-),男,硕士,副教授,主要研究方向为测量、遥感与地理信息处理,E-mail:superweibo@126.com;黎 胜(1985-),男,硕士生,主要研究方向为地理信息处理;黎珍惜(1987-),女,硕士生,主要研究方向为遥感与地理信息处理。

尔坐标系中，任意一点 $u\in U$ 都将落入以点 $C(1,0,0)$、$B(0,1,0)$ 和 $D(0,0,1)$ 所构成的三角平面 CBD 中(见图 1)。显然，三角平面 CBD 为二维空间中由 3 个点确定的三角形，为一凸面单形体。

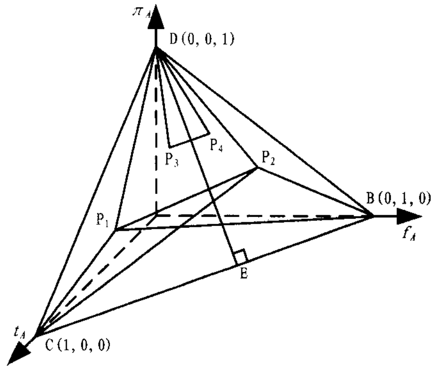

图 1　Vague 集单形体几何表示与面积测度

定理 1[18]　记 $V_0=V(R_1,R_2,\cdots,R_n)$，$V_i=V(R_1,\cdots,R_{i-1},P,R_{i+1},\cdots,R_n)$，则有 $c_i=V_i/V_0$。

文献[18]给出了定理 1 的证明。其中，$(R_1,R_2,\cdots,R_n)$ 为凸面单形体的顶点集，$V(R_1,R_2,\cdots,R_n)$ 表示由 $(R_1,R_2,\cdots,R_n)$ 所围成的单形体体积，记为 V_0。P 表示凸面单形体内任意一点，$V(R_1,\cdots,R_{i-1},P,R_{i+1},\cdots,R_n)$ 表示 P 与 $(R_1,R_2,\cdots,R_n)$ 所围成的若干个单形体子体积，记为 V_i。c_i 为 V_i 与 V_0 之间的体积比，且满足 $\sum_{i=1}^{n}c_i=1,0\leqslant c_i\leqslant 1$。

定理 2　设 CBD 为三维空间中以点 $C(1,0,0)$、$B(0,1,0)$ 和 $D(0,0,1)$ 构成的三角平面，点 P 为 CBD 内一点，论域 U 为一点集空间，$\forall u\in U$，若 P 对应 u，则有(NA 表示归一化面积)：

$$NA(\triangle PBD)=t_A(u),NA(\triangle PCD)=f_A(u)$$

$$NA(\triangle PCB)=\pi_A(u)$$

证明：由定理 1 知，当顶点集个数为 3 时，凸面单形体表现为二维三角平面，顶点集为 (R_1,R_2,R_3)。设 R_1 与 C 对应，R_2 与 B 对应，R_3 与 D 对应，则 V_0 为 $\triangle CBD$ 的面积，V_i 为 P(如图 1 中 P_1 或 P_2)与 (C,B,D) 所形成的 3 个三角形面积，可求得：

$$V_0=\sqrt{3}/2,\ V_1=\sqrt{3}/2\cdot(t_A(u)$$

$$V_2=\sqrt{3}/2\cdot f_A(u),V_3=\sqrt{3}/2\cdot\pi_A(u)$$

其中，V_1 代表 $\triangle PBD$ 的面积，V_2 代表 $\triangle PCD$ 的面积，V_3 代表 $\triangle PCB$ 的面积。以 $V_i(i=1,2,3)$ 对 V_0 进行归一化，即得 $t_A(u)$、$f_A(u)$ 和 $\pi_A(u)$，且 $t_A(u)+f_A(u)+\pi_A(u)=1$。

当 P 在 CB 上时，有 $NA(\Delta PCB)=0,NA(\triangle PBD)+NA(\Delta PCD)=1$，表示 Fuzzy 集；当 P 在 C 上时，有 $NA(\triangle PCB)=0,NA(\triangle PCD)=0,NA(\Delta PBD)=1$，表示支持度精确为 1，为非 Fuzzy 集；当 P 在 B 上时，有 $NA(\triangle PCB)=0,NA(\Delta PBD)=0,NA(\Delta PCD)=1$，表示反对度精确为 1，也为非 Fuzzy 集；当 P 在 DE 上时，有 $NA(\triangle PBD)\equiv NA(\triangle PCD)$，表示支持与反对力量始终相等。

3　相似度量测度

3.1　面积测度

由 Vague 集的单形体几何表示可知，$t_A(u)$、$f_A(u)$ 和 $\pi_A(u)$ 都与面积有关，由此提出一种度量 Vague 集相似性的面积测度。如图 1 所示，设点 P_1、P_2 分别对应 $u,v\in U$，由点 P_1，P_2 与点 D 构建 ΔP_1P_2D，观察 $NA(\triangle P_1P_2D)$ 与 P_1，P_2 之间相似性的关系。若 P_1，P_2 分别在 C，B 上，C，B 分别代表两个不同的非 Fuzzy 集，其相似性为 0，由 $NA(\triangle P_1P_2D)=1$，有 $1-NA(\triangle P_1P_2D)=0$；若 P_1，P_2 都在 C 或 B 上，P_1，P_2 代表同一非 Fuzzy 集，其相似性为 1，由 $NA(\Delta P_1P_2D)=0$，有 $1-NA(\triangle P_1P_2D)=1$；若其它条件相同，$NA(\triangle P_1P_2D)$ 越大，相似性就越低，反之亦然。显然，$0\leqslant NA(\triangle P_1P_2D)\leqslant 1$，符合“相似度量＝1－面积”的原则。设 $u=[t_A(u),1-f_A(u)]$，$v=[t_A(v),1-f_A(v)]$ 是 Vague 集 A 中的两个 Vague 值，计算 $NA(\triangle P_1P_2D)$ 得

$$NA(\triangle P_1P_2D)=|\ t_A(u)f_A(v)-t_A(v)f_A(u)\ | \tag{1}$$

文献[15]基于熵提出了 Vague 集相似度量计算公式。若 u,v 为补集关系，则其公式为(设 $p=1,n=1$)

$$S_p^E(u,v)=1-|t_A^2(u)-t_A^2(v)|=1-|f_A^2(u)-f_A^2(v)| \tag{2}$$

比较式(1)和式(2)的对应部分可知，二者完全相同。若将 P_1，P_2 分别移至 P_3，P_4(P_3，P_4 关于线段 DE 对称)，则式(1)和式(2)的计算值恰好为 $\triangle P_3P_4D$ 的归一化面积。出现这种情况的原因在于，式(2)是在“一个 Vague 集的模糊性能由它本身与自己的补集的相似度量来刻画”[15]的思想指导下构建出来的，故当出现补集时，其反映出式(1)与式(2)所使用的测度一致，同时说明面积测度是一种合理的 Vague 集相似性测度。结合式(1)，得面积测度 NA 及相似度量 MA：

$$\begin{aligned}&NA(u,v)=|t_A(u)f_A(v)-t_A(v)f_A(u)|\\&MA(u,v)=1-NA(u,v)\end{aligned} \tag{3}$$

MA 实际上是用一平面三角形来度量相似性，在空间上属于“面”的范畴，因而面积测度属于“面测度”。显然，单一“面测度”无法度量所用情况，例如 P_1，P_2，D 3 点共线时，MA 均为 0，无法度量相似性。因此，度量 Vague 集相似性还需要距离测度。

3.2　距离测度

基于距离测度的相似度量 MD 表达为

$$MD(u,v)=1-d(u,v)=1-\{Bd_i(u,v)\ \mid\ i\geqslant 1\} \tag{4}$$

式中，$Bd_i(u,v)$ 表示基本距离。$d(u,v)$ 可以单独由一种 $Bd(u,v)$ 构成，也可以是多种 $Bd(u,v)$ 的组合形式。距离在空间上属于“线”的范畴，因而距离测度属于“线测度”。单一“线测度”在度量 Vague 集相似性上仍存在缺陷，例如，P_1，P_2，D 3 点重合时，P_1，P_2 是完全未知的，二者不能认为是完全相似，但距离测度的求差本质将导致二者一致。因此，度量 Vague 集相似性还需要度量点之间相似性的未知度测度。

3.3　未知度测度

未知度测度定义为两个点的未知度之和[16]，表明度量相似性的最终结果存在变数。即使是同一个点之间，如果存在未知度，表明有“未知性”，不能认为它们完全相似。未知度测度 U 及相似度量 MU 表达为

$$\begin{aligned}&U(u,v)=1/[2\cdot(\pi_A(u)+\pi_A(v))]\\&MU(u,v)=1-U(u,v)\end{aligned} \tag{5}$$

显然，当 P_1，P_2 在 CB 上重合时，不存在未知度，即相似性不存在变数，二者可以完全相似。除此之外，在 $\triangle CBD$ 其它位置重合，都存在未知度，二者不完全相似。特别地，在 D 重合时，未知度最大，相似度最低。未知度测度在空间上属于

"点"的范畴,是一种"点测度"。未知度测度也仅能度量 Vague 集的部分相似性。

4 多测度相似度量

单一面积测度、距离测度和未知度测度在度量 Vague 集相似性上均存在不足。但如果将三者结合起来,就能取长补短,能更好地度量 Vague 集的相似性。例如,当 P_1,P_2,D 3 点共线时,面积测度失效,但距离测度还能发挥作用。而当 P_1,P_2,D 3 点重合时,距离测度失效,但未知度测度仍能发挥作用。由此提出两种由面积测度、距离测度(取其中的端点距离[5]和欧氏距离[12]两种基本距离)和未知度测度结合的多测度相似度量,以在空间上体现出"点-线-面"多特征相似性度量格局。

4.1 Vague 值的相似度量

定义 1 设 $u=[t_A(u),1-f_A(u)]$, $v=[t_A(v),1-f_A(v)]$ 是 Vague 集 A 上的两个 Vague 值,则 u,v 的相似度量 $MM_1(u,v)$, $MM_2(u,v)$ 定义为

$$MM_1(u,v)=1-\frac{NA(u,v)+Bd_1(u,v)+Bd_2(u,v)+U(u,v)}{4} \tag{6}$$

$$MM_2(u,v)=\left[1-\frac{NA(u,v)+Bd_1(u,v)}{2}\right]\cdot\left[1-\frac{Bd_2(u,v)+U(u,v)}{2}\right] \tag{7}$$

式中, $NA(u,v)=|t_A(u)f_A(v)-t_A(v)f_A(u)|$; $Bd_1(u,v)=\sqrt{\frac{[t_A(u)-t_A(v)]^2+[f_A(u)-f_A(v)]^2+[\pi_A(u)-\pi_A(v)]^2}{2}}$; $Bd_2(u,v)=|t_A(u)-t_A(v)|+|f_A(u)-f_A(v)|$; $U(u,v)=1/[2\cdot(\pi_A(u)+\pi_A(v))]$。

定理 3 设 A 是论域 U 上的一个 Vague 集, $u=[t_A(u),1-f_A(u)]$, $v=[t_A(v),1-f_A(v)]$, $w=[t_A(w),1-f_A(w)]$ 是 A 上的 3 个 Vague 值,则相似度量 $MM_i(u,v)(i=1,2)$ 具有如下性质:

(1) $0\leqslant MM_i(u,v)\leqslant 1$;

(2) $MM_i(u,v)=MM_i(v,u)$;

(3) $MM_i(u,v)=MM_i(u^c,v^c)$;

(4) $MM_i(u,v)=1$ 当且仅当 $u=v$ 且 $\pi_A(u)=\pi_A(v)=0$;

(5) $MM_i(u,v)=0$ 当且仅当 $u=[0,0]$ 且 $v=[1,1]$,或 $v=[0,0]$ 且 $u=[1,1]$;

(6) 若 $u\leqslant v\leqslant w$,则 $MM_i(u,v)\geqslant MM_i(u,w)$ 且 $MM_i(v,w)\geqslant MM_i(u,w)$。

下面仅证明 $MM_1(u,v)$ 的性质(6),其它证明略。

证明:若 $u\leqslant v\leqslant w$,则 $t_A(u)\leqslant t_A(v)\leqslant t_A(w)$ 且 $f_A(u)\geqslant f_A(v)\geqslant f_A(w)$。由定义 1 得 $MM_1(u,w)$:

$$MM_1(u,w)=1-1/[4\cdot(NA(u,w)+Bd_1(u,w)+Bd_2(u,w)+U(u,w))]$$

文献[12]已证明当 $u\leqslant v\leqslant w$ 时, $Bd_1(u,v)\leqslant Bd_1(u,w)$[12]。而 $NA(u,v)-NA(u,w)=|t_A(u)f_A(v)-t_A(v)f_A(u)|-|t_A(u)f_A(w)-t_A(w)f_A(u)|=t_A(v)f_A(u)-t_A(u)f_A(v)-t_A(w)f_A(u)+t_A(u)f_A(w)=f_A(u)[t_A(v)-t_A(w)]+t_A(u)[f_A(w)-f_A(v)]\leqslant 0$,故 $NA(u,v)\leqslant NA(u,w)$。

又 $Bd_2(u,v)+U(u,v)-Bd_2(u,w)-U(u,w)=|t_A(u)-t_A(v)|+|f_A(u)-f_A(v)|+1/[2\cdot(\pi_A(u)+\pi_A(v))]-|t_A(u)-t_A(w)|-|f_A(u)-f_A(w)|-1/[2\cdot(\pi_A(u)+\pi_A(v))]=t_A(v)-t_A(u)+f_A(u)-f_A(v)-t_A(w)+t_A(u)-f_A(u)+f_A(w)+1/[2\cdot(\pi_A(v)-\pi_A(w))]=t_A(v)-t_A(w)+f_A(w)-f_A(v)+1/[2\cdot(t_A(w)-t_A(v)+f_A(w)-f_A(v))]=1/[2\cdot(t_A(v)-t_A(w))]+3/[2\cdot(f_A(w)-f_A(v))]\leqslant 0$,故 $Bd_2(u,v)+U(u,v)\leqslant Bd_2(u,w)+U(u,w)$。

综上所述,有 $MM_1(u,v)\geqslant MM_1(u,w)$。

同理可证, $MM_1(v,w)\geqslant MM_1(u,w)$。

4.2 Vague 集的相似度量

由 Vague 值的相似度量公式可以得出相应的 Vague 集之间的相似度量公式。

定义 2 设 A 和 B 是论域 $U=\{u_1,u_2,\cdots,u_n\}$ 上的两个 Vague 集,其中

$$A=\sum_{i=1}^{n}[t_A(u_i),1-f_A(u_i)]/u_i,\ B=\sum_{i=1}^{n}[t_B(u_i),1-f_B(u_i)]/u_i$$

则 Vague 集 A 和 B 的相似度量定义为 $(j=1,2)$

$$MM_j(A,B)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}MM_j(A(u_i),B(u_i))$$

定理 4 设 A,B,C 是论域 U 上的 3 个 Vague 集,则相似度量 $MM_j(A,B)(j=1,2)$ 具有如下性质:

(1) $0\leqslant MM_j(A,B)\leqslant 1$;

(2) $MM_j(A,B)=MM_j(B,A)$;

(3) $MM_j(A,B)=MM_j(A_c,B_c)$;

(4) $MM_j(A,B)=1$ 当且仅当 $A=B$ 且 $\pi_A(u_i)=\pi_B(u_i)=0(i=1,2,\cdots,n)$;

(5) $MM_j(A,B)=0$ 当且仅当 $A=\{[0,0]|u\in U\}$ 且 $B=\{[1,1]|u\in U\}$,或 $A=\{[1,1]|u\in U\}$ 且 $B=\{[0,0]|u\in U\}$;

(6) 若 $A\subseteq B\subseteq C$,则 $MM_j(A,B)\geqslant MM_j(A,C)$ 且 $MM_j(B,C)\geqslant MM_j(A,C)$。

5 实例

表 1 以 1—4 行、5—7 行和 8—11 行各为一组数据,分别记为 Z_1,Z_2 和 Z_3。数据表明,对 Z_1 和 Z_2,本文提出的两种相似度量 MM_1 和 MM_2 都能完全分辨。文献[10]提出的第二种改进方法 M_{**}(参数 λ,α,β 取值同文献[10],文献[10]给出的第 4 行数据的计算结果为 0.94 有误)和文献[15]提出的 M(设 $p=1,n=1$)能完全分辨其中的一组;而文献[7]的两种相似度量 M_* 和 M_{**} 区分力度都不高;文献[13]的 M 则完全不能分辨;文献[16]的 M 虽然考虑了两种测度的结合,但其所选取距离测度中的核距离和端点距离两种基本距离的度量性能较相似,因此分辨力也不高。对 Z_3,比较的是同一个 Vague 值的相似性。当未知度为 0 时(第 8 行数据),未知度不产生任何影响,所有度量结果都一样。但当未知度不为 0 时(第 9—11 行数据),只有本文的 MM_1 和 MM_2 以及 M[16] 能体现出"未知性",即存在变数,并且具有未知度越大,相似性越低的性质。事实上,文献[3-6,8,11,12,14]中的相似度量对 Z_3 的度量结果也全为 1,说明仅由单一距离测度构建的相似度量是存在缺陷的,其求差本质决定了这种缺陷的必然性(注:相关文献中已有的比较,表 1 不再重复)。

(下转第 241 页)

果相比较，容易发现进化算法通常不易求得 RTVKP3 问题的最优解，而且所耗费的计算时间也非常多。特别是当 TVKP3 实例的规模≥300，并且背包载重变化周期不超过 3s 时，进化算法的求解效果与速度往往较差。

结束语 本文利用 RTVKP3 问题的物品价值与重量不随背包载重的变化而改变这一特性，给出了一种基于动态规划算法求解 RTVKP3 问题的有效方法。通过仿真计算容易看出：动态规划法不仅是目前求解背包问题的最有效算法之一，而且也是求解背包载重动态变化的动态背包问题的一种有效算法。通过以上讨论可知，利用动态规划法求解 RTVKP3 问题，其效果和速度均优于进化算法，并且便于编程实现。此外，注意到本文方法的通用性，今后将进一步分析如何将本文方法推广，以用于求解物品价值、重量与背包载重均随时间变化的 RTVKP 问题。

参 考 文 献

[1] Jin Y, Branke J. Evolutionary optimization in uncertain environments[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2005, 9(2): 303-317

[2] 陈国良，王熙法，庄镇泉，等. 遗传算法及其应用[M]. 北京：人民邮电出版社，2003

[3] Goldberg D E, Smith R E. Nonstationary function optimization using genetic algorithms with dominance and diploidy[C]// International Conference on Genetic Algorithms. Hillsdale: L. Erlbaum Associates Inc., 1987: 59-68

[4] 汪定伟，王俊伟，王洪峰，等. 智能优化方法[M]. 北京：高等教育出版社，2007

[5] Yang S. Non-stationary problem optimization using the primal-dual genetic algorithm[C]//Proceeding of the 2003 congress on Evolutionary Computation. 2003, 4: 2246-2253

[6] 周传华，谢安世. 一种基于动态小生境的自组织学习算法[J]. 软件学报，2011(08)

[7] Sedgewick R, Flajolet P. An introduction to the analysis of algorithms[M]. Boston: Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1999

（上接第 221 页）

表 1 不同相似度量比较

	u	v	M_*[7]	M_{**}[7]	M_{**}[10]	M[13]	M[15]	M[16]	MM_1	MM_2
1	[0.4,0.8]	[0.3,0.7]	0.9	0.9	0.89	0.9	0.94	0.675	0.81	0.644
2	[0.4,0.8]	[0.3,0.8]	0.9	0.9167	0.9463	0.9	0.965	0.7125	0.8325	0.6815
3	[0.4,0.8]	[0.3,0.9]	0.8	0.8667	0.945	0.9	0.95	0.675	0.7767	0.5872
4	[0.4,0.8]	[0.5,0.7]	0.8	0.8667	0.945	0.9	0.93	0.765	0.8267	0.6775
5	[0.3,0.7]	[0.4,0.6]	0.8	0.8667	0.95	0.9	0.93	0.765	0.8317	0.685
6	[0.3,0.6]	[0.4,0.7]	0.9	0.9	0.8925	0.9	0.93	0.72	0.8325	0.6863
7	[0.3,0.8]	[0.4,0.7]	0.8	0.8667	0.9475	0.9	0.94	0.72	0.8042	0.6359
8	[0.5,0.5]	[0.5,0.5]	1	1	1	1	1	1	1	1
9	[0.3,0.7]	[0.3,0.7]	1	1	1	1	1	0.8	0.9	0.8
10	[0.2,0.8]	[0.2,0.8]	1	1	1	1	1	0.7	0.85	0.7
11	[0,1]	[0,1]	1	1	1	1	1	0.5	0.75	0.5

结束语 本文方法为提出 Vague 集多测度相似度量提供了一种新的思路。与文献[3-16]中的 Vague 集相似度量相比，本文提出的多测度 Vague 集相似度量主要有以下优点：(1)在空间上体现出“点-线-面”多特征相似性度量格局，当其中的某个特征失效时，其它特征还能继续发挥度量作用，因而具有更高和更好的分辨力；(2)多测度的相似度量将不同测度体现出的不同区分能力有效地结合起来，进一步增强了分辨力，从而避免了文献[8,10]人为给定参数权重来提高区分力度的情况，使度量相似性结果更客观。

参 考 文 献

[1] Gau W L, Daniel J. Vague sets[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybemetics, 1993, 23(2): 610-614

[2] 王昌. Vague 集的模糊熵、相似度量和距离测度的关系[J]. 计算机科学，2010, 37(10): 221-224

[3] Chen S M. Measures of similarity between vague sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1995, 74(2): 217-223

[4] Chen S M. Similarity measures between vague sets and between elements[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybemetics, 1997, 27(1): 153-158

[5] Hong D H, Kim C. A note on similarity measures between vague sets and between elements [J]. Information Sciences, 1999 (115): 83-96

[6] 李凡，徐章艳. Vague 集之间的相似度量[J]. 软件学报，2001, 12(6): 922-926

[7] 范九伦. Vague 值与 Vague 集上的贴近度[J]. 系统工程理论与实践，2006, 26(8): 95-100

[8] 兰蓉，范九伦. Vague 值和三参数 Vague 值上的贴近度[J]. 模式识别与人工智能，2010, 23(3): 341-348

[9] 刘华文. 模糊模式识别的基础—相似度量[J]. 模式识别与人工智能，2004, 17(2): 141-145

[10] 张清华. Vague 值(集)相似度量的研究[J]. 电子与信息学报，2007, 29(8): 1855-1859

[11] 李艳红，迟忠先，阎德勤. Vague 相似度量与 Vague 熵[J]. 计算机科学，2002, 29(12): 129-132

[12] 闫德勤，迟忠先，李艳红. 关于 Vague 集的相似度量[J]. 模式识别与人工智能，2004, 17(1): 22-26

[13] 闫德勤. Vague 集的相似度量[J]. 计算机科学，2006, 33(5): 195-196

[14] 朱振国，王匡胤. Vague 集相似度量[J]. 计算机科学，2008, 35(9): 220-225

[15] 黄国顺，刘云生. 基于 Vague 熵的 Vague 集相似度量[J]. 小型微型计算机系统，2008, 29(1): 139-144

[16] 贾保华. 基于未知度的 Vague 集相似度量新方法[J]. 昆明理工大学学报：理工版，2010, 35(5): 112-117

[17] Eulalia S, Janusz K. Entropy for intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2001(118): 467-477

[18] 耿修瑞，张兵，张霞，等. 一种基于高维空间凸面单形体体积的高光谱图像解混算法[J]. 自然科学进展，2004, 14(7): 810-814