

Vague集 Vague图及其在ITS物流中的应用

张 然, 刘 扬, 谢砚青, 张 江, 贺仲雄

(北京交通大学, 北京 100044)

[摘要] 在模糊集 (fuzzy set) 的基础上讨论了“双模糊集”Vague集的基本概念和运算形式, 具体讨论了Vague聚类分析、Vague多准则决策、Vague图等问题及其在现代物流中的应用。最后给出根据正、负两方面效益选择运输方案的Vague集在物流中的应用实例。

[关键词] 智能物流; 人工智能; Vague集; Vague图; 在ITS物流中的应用

[中图分类号] T18 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)08-0057-07

1 现代物流急需智能化

在社会飞速发展的今天, 物流在市场经济中越来越显示出其重要的地位。物流的主要作用就是充当生产和消费之间的桥梁, 其主要活动通常是运输、保管、仓储、包装、流通、加工等一系列过程, 它们构成了一个宏观复杂大系统。因而, 物流的管理便成了一个系统化工程。提高物流水平便成了人们越来越关注的问题。面对这样的复杂、动态的现代物流系统, 传统的基于运筹学规划的各种方法显得过于简化, 因此有必要寻找一种全新的方法。

智能交通系统 (ITS) 是利用人工智能、复杂系统、地理信息系统、空间数据的处理等科学技术针对交通的管理问题进行研究的一门学科。现代物流的智能化是与ITS的建设分不开的。而ITS本身就是一门不断变化、不断增加新内容的学科, 其中人工智能是其关键的技术之一。

人工智能作为一门融合了计算机科学、认知科学、心理学等学科的新理论已经发展了半个世纪, 它的一些理论方法和观点已为一些传统问题的解决提供全新的方法和观点。而现代物流的智能化必须

依靠先进的理论。其中, 模糊集 (fuzzy set)^[1] 作为人工智能数学基础之一, 在物流的智能化中起了相当重要的作用^[2]。但是, 模糊集近日已被Vague集包容^[3], 而Vague集即“双模糊”还没有用于物流系统, 笔者在文献[2]的基础上探讨Vague集在物流中的应用。

2 Fuzzy set 与 Vague set

2.1 Fuzzy 集

Fuzzy集^[1]是美国控制论专家L. A. Zadeh于1965年创立的, 它的核心是引用隶属度概念, 从而达到可以描述“是”与“非”的中间状态。例如: 对某人评价“很好”、“较好”、“一般”、“不太好”、“很不好”等多种形态, 这是符合客观实际的。Fuzzy集1976年引入我国, 发展十分迅速, 现已在很多方面应用, 效果很好。当然, 在物流中它也应有一席之地, 参见文献[1, 2]。

一个模糊集可表示为

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^n \mu_i / x_i,$$

在连续时,

$$\tilde{A} = \int_{x \in U} \mu(x) / x,$$

[收稿日期] 2003-09-07; **修回日期** 2003-10-27

[基金项目] “八六三”高科技发展计划资助项目(863-360 ZD06)

[作者简介] 张 然 (1979-), 男, 北京市人, 北京交通大学硕士研究生

如图1所示。

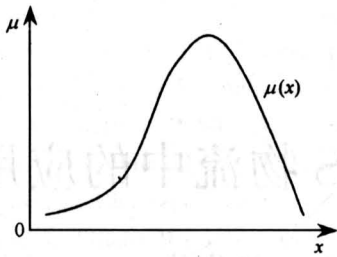


图1 连续的模糊集

Fig.1 Continuous Fuzzy set

2.2 Vague 集

Vague 集^[3]的核心是描述一个集合中某一元素的“正”与“反”的特性。他同时描述了对象对于某个命题“正”与“反”两方面的隶属度，比较全面地表达了对对象的属性，从而为宏观复杂大系统中的问题解决提供了有利的途径。

设正隶属度为 t ，反隶属度为 f ，则一个 Vague 集可表示为以下形式^[3]，为方便起见，采用 t 和 $[1-f]$ 两个指标：

$$\tilde{V} = \sum_{i=1}^n [t, (1-f)]/x,$$

在连续时，

$$\tilde{V} = \int_{x \in U} [t, (1-f)]/x,$$

如图2所示。

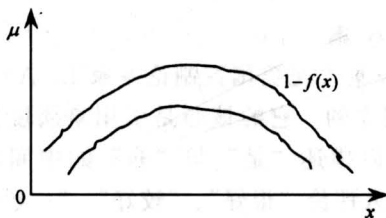


图2 连续的 Vague 集

Fig.2 Continuous Vague set

不难看出，Vague 集是建立在 Fuzzy 集上的。当 $f=0$ 时，Vague 集就退化为 Fuzzy 集。它采用正反隶属度描述事物，使描述更精确、更细致，便于做出相应对策。因此，Vague 集的应用很广泛。

给定了 Vague 集的基本形式，不难定义 Vague 集的一些基本运算：

定义1 如果对于任意给定的论域 U 上的 2 个 Vague 集：

$$\tilde{A} = \sum [t, 1-f]/u,$$

$$\tilde{A}' = \sum [t', 1-f']/u.$$

当 $\forall u \in U, t(u) \leq t'(u), f(u) \geq f'(u)$ 同时满足时，则称 A 包含于 A' ，记成

$$\tilde{A} \subseteq \tilde{A}'.$$

定义2 给定论域 U 上的一个 Vague 子集

$$\tilde{A} = \sum [t, 1-f]/u, U \times U,$$

定义 Vague 集合

$$\tilde{A}' = \sum [t', 1-f']/u,$$

当 $\forall u \in U, t'(u) = f(u), 1-f'(u) = 1-t(u)$ 时，则称 A' 为 A 的补集。

定义3 给定 2 个论域 U 上的 Vague 集合 A, B ，则定义 $\tilde{C} = \tilde{A} \cup \tilde{B}$ 为 A 与 B 的并集，其中 C 的隶属函数满足

$$\forall u \in U, t_C(u) = t_A(u) \vee t_B(u),$$

$$1-f_C(u) = (1-f_A(u)) \vee (1-f_B(u)).$$

定义4 给定 2 个 U 上的 Vague 集合 A, B ，则定义 $\tilde{C} = \tilde{A} \cap \tilde{B}$ 为 A 与 B 的交集，其中 C 的隶属函数满足

$$\forall u \in U, t_C(u) = t_A(u) \wedge t_B(u),$$

$$1-f_C(u) = (1-f_A(u)) \wedge (1-f_B(u)).$$

其中 \wedge 表示求小运算， \vee 表示求大运算，把 $[t, 1-f]$ 简记为 v ，这样 $v_1 \wedge v_2$ 表示

$$[t_1 \wedge t_2, (1-f_1) \wedge (1-f_2)].$$

同理， $v_1 \vee v_2$ 表示

$$[t_1 \wedge t_2, (1-f_1) \vee (1-f_2)].$$

定义5 论域 $U \times U$ 上的 Vague 集 R 称为一个 U 上的 Vague 关系，Vague 关系的隶属度函数可以表示成矩阵的形式 $(R)_{ij}$ ，其中元素 (u_i, u_j) 的隶属度为 $v_{ij} = [t(u_i, u_j), 1-f(u_i, u_j)]$ 。

定义6 Vague 关系的合成：设给定论域 $U \times U$ 上的 2 个 Vague 关系 R_1, R_2 ，则关系 R_3 是 R_1 与 R_2 的关系合成，如果 R_3 的隶属度矩阵满足

$$v_3(u_i, u_j) = \bigvee_{k=1}^n [v_1(u_i, u_k)] \wedge v_2(u_k, u_j),$$

记为

$$R_3 = R_1 \circ R_2.$$

3 Vague 集在物流中的应用

3.1 Vague 集与物流

现代物流在市场经济中起着越来越重要的作用，其主要活动有：运输、仓储、保管、包装、流

通、加工等。运输管理工作愈来愈受到企业的重视, 因为物品的价格中, 来自运输部分的比重相当大, 若能通过有效的运作, 选择最佳运输方案, 则可以达到有效降低成本的目的。

运输路线的选择, 根据 Vague 集的思想, 可从正负两方面考虑, 运输物资的基本方式包括: 铁路运输、公路运输、水路运输、管道运输及航空运输等。其优点对应 Vague 集中的正隶属度 t , 缺点对应 Vague 集中的负隶属度 f 。各种运输方式的优缺点见表 1。

表 1 物流系统 Vague 指标
Table 1 Logistic system Vague index

优点 (t)	缺点 (f)
1. 使用空间小, 使用最具灵活性	1. 运输量较小
公路 2. 受地形, 气候影响较小	2. 安全性比其他运输工具差
3. 短程距离的运输速度较快	3. 人力成本较高
运输 4. 运输时间较具弹性	
5. 运输费用较低	
1. 运送量大	1. 投资成本高
铁路 2. 受气候影响较小	2. 无法提供小量运输
3. 运费较低廉	3. 无法提高到用户服务
运输 4. 行驶速度较为稳定	
1. 运送量大	1. 受气候及港湾地形的影响
水路 2. 调度方便	2. 速度慢
3. 费用低廉	3. 可达到地点有限
运输 4. 安全性颇高	4. 无法提供到用户服务
5. 续航力大	
1. 速度快	1. 运费高
航空 2. 不受地形影响	2. 运送量有限
3. 航向较不受限制	3. 可到达地点有限
运输 4. 用途广泛	4. 受气候影响颇大
	5. 无法提供到用户服务
1. 运送量大	1. 运送路线受到限制
管道 2. 不受气候影响	2. 运送速度不快
3. 对部分工厂可提供到用户服务	3. 运送管路检查不易
运输 4. 运费较低	4. 只能运送液体、气体货物

3. 2 Vague 聚类与物流

有了交通运输的指标体系, 就不难对每个运输方案进行评价, 设有运输方案 n 个, 它们构成了方案的集合 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 其中对每个方案都可以用 m 个指标进行评价也就是针对 a_i , 选用 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ 对每个方案进行评价, 这

样方案 a_i 的指标 c_j 的评价结果就是 v_{ij} , 这样就能得到一个 $n \times m$ 的评价矩阵:

$$V = \begin{matrix} & c_1 & c_2 & \dots & c_m \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1m} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{n1} & v_{n2} & \dots & v_{nm} \end{bmatrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \end{matrix} \end{matrix}$$

如果可行方案很多, 而且评价每个方案的指标过多的时候, 也就是 m 和 n 都是很大的数, 很难进行决策, 找出最满意的方案, 此时需要对现有的各种方案进行聚类分析。首先需要对 A 中的方案根据矩阵 V 进行两两对比, 得到一个对比矩阵 $(S_{ij})_{n \times n}$, 其中 $S_{ij} = [t_{ij}, 1 - f_{ij}]$, 由专家评分给出任意一个方案的对比 a_i 和 a_j 的相似程度, 并且这个相似程度使用 Vague 值来表示的, 这样就可能对 2 个方案的相似程度进行正、反两方面评价, 可以把矩阵 $(S_{ij})_{n \times n}$ 写出来:

$$(S_{ij})_{n \times n} = \begin{matrix} & a_1 & a_2 & \dots & a_n \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} [t_{11}, 1 - f_{11}] & [t_{12}, 1 - f_{12}] & \dots & [t_{1n}, 1 - f_{1n}] \\ [t_{21}, 1 - f_{21}] & [t_{22}, 1 - f_{22}] & \dots & [t_{2n}, 1 - f_{2n}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [t_{n1}, 1 - f_{n1}] & [t_{n2}, 1 - f_{n2}] & \dots & [t_{nn}, 1 - f_{nn}] \end{bmatrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \end{matrix} \end{matrix}$$

其中, $t_{ij} = t_{ji}$, $f_{ij} = f_{ji}$, 也就是 $(S_{ij})_{n \times n}$ 满足对称性, 并且 $t_{ii} = 1$, $f_{ii} = 0$, 也就是对角线上的元素都为 $[1, 1]$, 即相似矩阵具有自反性。但是一般的相似矩阵不满足传递性, 需构造传递闭包。首先需要定义 Vague 矩阵的传递闭包:

定义 6 设给定论域为 $A \times A$ 的 Vague 关系 R , 则 R 的传递闭包记为 $t(R)$, 它满足 $t(R) = R \circ R \circ \dots \circ R$, 即若干个 R 的关系合成, 并且 $t(R) \subseteq R$ 。

相似 Vague 关系矩阵 $(S_{ij})_{n \times n}$ 经过闭包运算之后得到了一个关系矩阵 $t(S)$, 它满足自反、对称、传递的性质, 因此它是一个等价关系矩阵。如果选定一个小数 λ 在 $[0, 1]$ 闭区间去截关系矩阵 $t(S)$, 就可以得到一个布尔矩阵 $(B)_{n \times n}$, 其中任意一个元素为:

$$\forall u \in U, t(u) \leq t'(u), f(u) \geq f'(u),$$

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } [t_{ij}, 1 - f_{ij}] \geq [\lambda, \lambda] \\ 0, & \text{if } [t_{ij}, 1 - f_{ij}] < [\lambda, \lambda] \end{cases}$$

其中 $[t_{ij}, 1 - f_{ij}] \geq [\lambda, \lambda]$ 表示 $t_{ij} \geq \lambda$, 且 $1 - f_{ij} \geq \lambda$, $[t_{ij}, 1 - f_{ij}] < [\lambda, \lambda]$ 表示 $t_{ij} < \lambda$, 且 $1 - f_{ij} < \lambda$

$< \lambda$ 。

这样得到的布尔矩阵就是一个等价关系矩阵, 因此根据这个等价关系就能把论域 A 划分成 l 个等价类 $\{A_1, A_2, \dots, A_l\}$ 。这样就达到对多个运输方案进行聚类的目的。

λ 的选取决定了后面等价类的个数, λ 接近于 0 的时候, 得到的布尔矩阵 B 接近于全 1 元素, 因此所有的方案趋近于一个分类, λ 越大则得到的分类数越多, 当 $\lambda = 1$ 时只有对角线上的元素为 1, 其他都为 0, 这也就是说所有的方案自己都独自归为一个类别, 因此得到了 $l = n$ 个分类组。

应用聚类分析可以把不同的运输方案进行分组, 可以认为聚类操作是一个预处理的过程, 这样有利于下一步的评价。

3.3 Vague 集多准则综合评价

假设存在多个运输的方案 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 其中对每个方案都要满足多个决策的准则, 把决策准则的集合记为 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$, 而把每个方案在每个准则 c_j 下的评价记为 v_{ij} , 可以得到矩阵表 2。在一般的评价中, v_{ij} 都是一个实数值, 而为了能够客观真实的反映方案的优点和缺点, 把 v_{ij} 替换成一个 Vague 值 $[t_{ij}, 1 - f_{ij}]$, 这样就能够对方案进行正反两方面的评价。其中 t_{ij} 和 f_{ij} 选择可以直接由专家打分得出, 也可以由 WAS 权重系统给出。这样就能把表 1 化成一个 Vague 矩阵 V' 。得到了 Vague 矩阵 V' , 相当于针对每个指标 c_j 以方案集 A 为论域得到了一个 Vague 集合, 记为,

$$S_j = \sum_{i=1}^n v_{ij}/a_i = \sum_{i=1}^n [t_{ij}, 1 - f_{ij}]/a_i,$$

记 $t_{ij}^* = 1 - f_{ij}$, 就能得到表 2。

表 2 Vague 多准则决策表

Table 2 Vague multi-criticon decision table

	c_1	c_2	...	c_m
A_1	$[t_{11}, t_{11}^*]$	$[t_{12}, t_{12}^*]$...	$[t_{1m}, t_{1m}^*]$
A_2	$[t_{21}, t_{21}^*]$	$[t_{22}, t_{22}^*]$...	$[t_{2m}, t_{2m}^*]$
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots
A_n	$[t_{n1}, t_{n1}^*]$	$[t_{n2}, t_{n2}^*]$...	$[t_{nm}, t_{nm}^*]$

根据不同的决策标准, 由表 2 选出一个最满意的方案。假设 m 个准则的关系是并列重要的, 而且是必须满足的约束, 那么可以求 m 个 Vague 集的交集, 也就是求

$$S = S_1 \cap S_2 \cap \dots \cap S_m = \sum_{i=1}^n [t_i, 1 - f_i]/a_i.$$

这样得到了每一个方案都有一个 Vague 值对其进行评价, 那么哪个方案是最好的呢? 很显然只需求得方案 a_i , i 满足 $\max\{t_i + f_i\}$ 。

如果 m 个准则之间的关系是并列重要的, 而且满足 C_1 或者满足 $C_2 \dots$ 或者满足 C_m , 可以求 m 个 Vague 集合的并集

$$S = S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_m = \sum_{i=1}^n [t_i, 1 - f_i]/a_i.$$

然后, 用同样的准则求出最好的方案 a_i , i 满足 $\max\{t_i + f_i\}$ 。

如果各个准则之间的重要程度不一样, 设第 j 个准则的权重为 w_j , 这样就可以给 m 个准则分配一个权重向量

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_m), \sum_{j=1}^m w_j = 1.$$

设计 2 个函数把任意一个 Vague 值压缩成一个确定的实数。对于任意一个 Vague 值 $v = [t, 1 - f]$, 定义为

$$E(v) = t - f, H(v) = t + f.$$

显然这 2 个数值从两方面评价了 Vague 值, 其中 E 评价 v 的支持度的情况, E 越大表明这个 Vague 值被支持的可能性越大。 H 评价 Vague 值的不确定情况, 可认为是风险度, H 越大则表示不确定信息越少, 反之则越大。不难得出 $E(v)$ 在区间 $[-1, 1]$ 内取值, 而 $H(v)$ 在区间 $[0, 1]$ 内取值。根据这 2 个函数可以把任意一个 Vague 集进行变换, 也就是对于 S_j 可以得到 2 个统一集 (论域都是方案集合, 描述域都在 $[-1, 1]$ 上, 并且采用类似模糊集合的扎德记号方法):

$$S'_j = \sum_{i=1}^n E(v_{ij})/a_i, S''_j = \sum_{i=1}^n H(v_{ij})/a_i.$$

然后, 对 m 个变换后的 Vague 集 (可认为是一种广义的统一集) 求加权平均数, 得到每个方案总的评价 (也就是 2 个统一集):

$$S' = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m w_j E(v_{ij}) \right] / a_i,$$

$$S'' = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m w_j H(v_{ij}) \right] / a_i,$$

其中 $[\Sigma *]$ 是数字的加法, 而 $[\Sigma *]$ 左边的 Σ 表示一种集合的记号 (扎德记号法)。

针对任意一个方案 a_i , 得到 2 个评价指标 E 和 H 分别评价该方案的支持度和风险度。由决策

者的标准可以根据不同的目的选择方案。当决策者更看重支持度而不顾及风险时，可以选择 E 最大的方案，而如果决策者更看重风险性，即认为风险越小越好，可以选择 H 值最大的一个方案。当然，决策者还可以根据不同的权重分配来权衡支持度和风险度。

3.4 Vague 图分析

在现代物流系统中，经常要考虑运输线路的选择与评价。任意给定的运输线路都可以看成是一个抽象的图。在图论中，任意一个图 G 可以表示为 $G = \langle V, E \rangle$ ，其中 V 是顶点的集合，而 E 是边的集合，它可以看成是集合 V 上的一个关系。在经典的图论中，边的集合是经典集，也就是说 v_i 到 v_j 这条边仅仅表示顶点 v_i 到 v_j 有连接，而连接的强度则表示不出来。

把图 G 中的边看成是一个 V 上的模糊关系，也就是 $E = \sum_{v \in V} \mu(v)/v$ ，也就是说图中每个节点之间都有连接，并且连接的强度由模糊关系的隶属度给定。因此这样的图 G 就是模糊图。模糊图比经典图进步的地方就在于模糊图不仅表达出了图中节点之间是否联得上，而且表达出了节点之间是否联得好。

然而在现实物流系统中，评价某个运输线路时，人们很难为每个边指定一个单独的隶属度，而是给出这个边的支持程度和对立程度。比如有 5 个专家对运输线路 v_i 到 v_j 进行评价的时候，很有可能 2 个专家支持线路 ij ，有 1 个专家反对线路 ij ，而另外有 2 个专家弃权，认为是否从 ij 走无关紧要。此时很难确定边 ij 的模糊隶属度，取而代之的是一个 Vague 隶属度，可用 $[2/5, 1-1/5]$ 表示。这样图 G 中的每条边都可以确定一个 Vague 隶属度，就得到 Vague 图的概念：

定义 7 Vague 图 给定一个有穷的经典集合 V ，以及 V 上的一个 Vague 关系 E ，就相应地确定了一个 Vague 矩阵 $([t, I-f])_{n \times n}$ ，其中 n 为 V 的个数，则得到一个 Vague 图，记为

$$\tilde{G} = \langle V, E, t, f \rangle,$$

其中 t 和 f 分别为 Vague 关系 E 的正隶属度和反隶属度函数。

由 Vague 图的定义，可以把经典图论中的一些问题推广到 Vague 图的情形。在物流系统中，经常要考虑沿某个运输线路能够最小化的代价，这个代价可能是费用，也可能是时间等。但在复杂的

运输系统网络内，很难给定每一条路径的单一目标函数对其最小化，因此借助专家的经验对每个线路进行评价打分，从而得到 Vague 图，然后在这个 Vague 图上考虑图的最优路径问题。

考虑从 v_0 出发到终点 v_n 的所有可能路径构成了路径的集合 P ，而在这些路径中每一条都是由图 G 中的不同的边串联构成的，而每一条边都有一个 Vague 值对这条边进行评价。这样一条路径 p 上的 m 条边就构成了限制路径 p 的条件或者准则。也就是说如果选择路径 p ，就必须经过 m 条边。 P 中的所有路径都可以看成是受若干所经过边的约束问题，这样在 P 中选择一个最优的路径就相当于在 P 中求得一个方案来满足多个准则 M ， M 为所有 P 中路径边数 m 的最大值。因此剩下的问题就转化成一个多准则的决策问题。

4 运输实例分析——Vague 图优化

设要运一批货物，有 A, B, C, D, E 五地，要从 A 地运货到 E 地（在各地停留），画出路线见图 3。

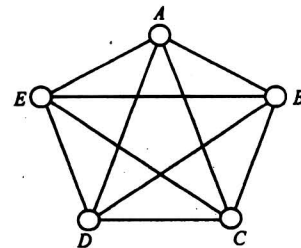


图 3 A, B, C, D, E 五地路线

Fig.3 The routes to A, B, C, D, E five places

假设：

- 1) 不在各地停留， $r_{ii} = 1$ ；
- 2) 往返条件相同， $r_{ij} = r_{ji}$ ，对应路线见图 4。

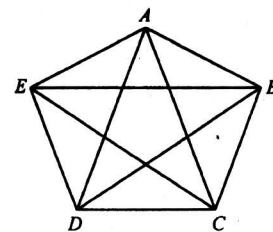


图 4 $r_{ij} = r_{ji}$ 对应路线

Fig.4 The corresponding route of $r_{ij} = r_{ji}$

对应矩阵是满足自反性和对称性的相似矩阵，故只列出上半部分。且设 $A \rightarrow 1, B \rightarrow 2, C \rightarrow 3,$

$D \rightarrow 4, E \rightarrow 5$ 。

正隶属度

$$\tilde{R}_f = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & f_{14} & f_{15} \\ & f_{22} & f_{23} & f_{24} & f_{25} \\ & & f_{33} & f_{34} & f_{35} \\ & & & f_{44} & f_{45} \\ & & & & f_{55} \end{bmatrix}$$

负隶属度

$$\tilde{R}_t = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} & t_{15} \\ & t_{22} & t_{23} & t_{24} & t_{25} \\ & & t_{33} & t_{34} & t_{35} \\ & & & t_{44} & t_{45} \\ & & & & t_{55} \end{bmatrix}$$

各隶属度值可调用 WAS 系统分析确定^[4]。设数据如下：

$$\tilde{R}_t = \begin{bmatrix} 1 & 0.5 & 0.7 & 0.8 & 0.9 \\ & 1 & 0.7 & 0.8 & 0.8 \\ & & 1 & 0.5 & 0.6 \\ & & & 1 & 0.7 \\ & & & & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{R}_f = \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.5 & 0.6 & 0.6 \\ & 0 & 0.7 & 0.5 & 0.6 \\ & & 0 & 0.1 & 0.5 \\ & & & 0 & 0.1 \\ & & & & 0 \end{bmatrix}$$

在调用 WAS 系统^[4]中，由专家群体确定来调整正负权重 α 。设 $\alpha = 0.8$ ， $r_{ij} = t_{ij} + \alpha f_{ij}$ ，得到综合矩阵

$$\tilde{R}_f = \begin{bmatrix} 1 & 0.42 & 0.3 & 0.32 & 0.42 \\ & 1 & 0.14 & 0.5 & 0.32 \\ & & 1 & 0.42 & 0.2 \\ & & & 1 & 0.62 \\ & & & & 1 \end{bmatrix}$$

从 A 到 E (不在各地停留) 有如下路线：

- $A \rightarrow E$,
- $A \rightarrow B \rightarrow E$,
- $A \rightarrow C \rightarrow E$,
- $A \rightarrow D \rightarrow E$,
- $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E$,
- $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E$,
- $A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$,
- $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$ 。

根据 Kauffman 最强路算法^[2]，计算路值 $r_{ij} = t_{ij} - f_{ij}$ ：

1) $A \xrightarrow{r_{15}} E, r = 0.9 - 0.48 = 0.42$;

2) $A \xrightarrow{r_{15}} B \xrightarrow{r_{25}} E,$
 $r_{12} \wedge r_{25} = 0.42 \wedge 0.32 = 0.32$;

3) $A \xrightarrow{r_{13}} C \xrightarrow{r_{35}} E,$
 $r_{13} \wedge r_{35} = 0.3 \wedge 0.2 = 0.2$;

4) $A \xrightarrow{r_{14}} D \xrightarrow{r_{45}} E,$
 $r_{14} \wedge r_{45} = 0.32 \wedge 0.62 = 0.32$;

5) $A \xrightarrow{r_{12}} B \xrightarrow{r_{23}} C \xrightarrow{r_{35}} E,$
 $r_{12} \wedge r_{23} \wedge r_{35} = 0.42 \wedge 0.62 \wedge 0.2 = 0.2$;

6) $A \xrightarrow{r_{13}} C \xrightarrow{r_{34}} D \xrightarrow{r_{45}} E,$
 $r_{13} \wedge r_{34} \wedge r_{45} = 0.3 \wedge 0.42 \wedge 0.62 = 0.3$;

7) $A \xrightarrow{r_{12}} B \xrightarrow{r_{24}} D \xrightarrow{r_{45}} E,$
 $r_{12} \wedge r_{24} \wedge r_{45} = 0.42 \wedge 0.4 \wedge 0.62 = 0.4$;

8) $A \xrightarrow{r_{12}} B \xrightarrow{r_{23}} C \xrightarrow{r_{34}} D \xrightarrow{r_{45}} E,$
 $r_{12} \wedge r_{23} \wedge r_{34} \wedge r_{45} = 0.42 \wedge 0.62 \wedge 0.42 \wedge 0.6 = 0.42$ 。

路线选择：

$$l_{ij}^* = \bigvee_{i=1}^5 (a_{ik} \wedge b_{kj}),$$

其中 $i = 1, j = 5, l_{15}^* = 0.42$ ，选择第 8 种路线，见图 5 粗线。

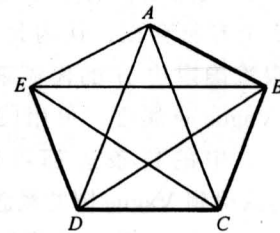


图 5 优选的路线

Fig.5 The prior route

注：例中使用 Zadeh 算子“ \wedge ”“ \vee ”，也可采用其他广义算子。

6 应用展望

物流在市场经济中已经显示出其重要地位，现代物流渐渐地向全球化发展。Vague 集将是使物流走向智能化的重要途径，Vague 集与物流密不可分。

分。另外, 统一集论^[5]、VGES 方法和 VGES - DSS 方法^[6]也将在物流中显示出其重要的作用, 有待进一步研究。

参考文献

- [1] 贺仲雄. 模糊数学及其应用 (第二版) [M]. 天津: 天津科技出版社, 1985
- [2] 程 成. 模糊物流方法及其在计算机上的实现 [A]. 模糊分析与设计文集 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1999. 204~209
- [3] Gau Wenlung, Daniell J B. Vague sets [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1993, 23 (2): 610~614
- [4] 阎 皓, 贺仲雄. 权重分析系统 [J]. 系统工程与电子技术, 1992, (4): 41~44
- [5] 张 江, 林 华, 贺仲雄, 等. 统一集论与人工智能 [J]. 中国工程科学, 2000, (3): 40~47
- [6] Xie Yanging, Liu Yang. Vague grey extension space [A]. IGSS-CB MFDIT & SCMS ' 02 (A) [C]. Ningbo, China, 2002

Application of Vague Sets and Vague Graphics in ITS Logistic

Zhang Ran, Liu Yang, Xie Yanqing, Zhang Jiang, He Zhongxiong

(Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

[Abstract] This paper presents the basic concept of Vague sets and their operation based on fuzzy set theory. The Vague clustering method, Vague multi-criterion decision-making, Vague graphics and their applications in the contemporary logistic are discussed. At last an example of Vague sets in logistic alternative selection according to the positive and negative utility is presented.

[Key words] intelligent logistic; artificial intelligence; Vague set; Vague chart; application in ITS logistic

(cont. from p. 49)

Simulation on Flow Field Characteristic of Restricted Wall-attached Jet in Heading Face

Wang Haiqiao, Liu Ronghua, Chen Shiqiang

(School of Energy & Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China)

[Abstract] Pressed ventilation in heading face is actually a restrained wall-attached jet ventilation in confined space. In this paper, based on hydrodynamic and jet theory, the turbulence $k - \epsilon$ model of restrained wall-attached jet ventilation in heading face is set up and calculation boundary is analyzed. Combining with practice, and using PHOENICS3. 4 software of computational fluid dynamics (CFD), three - dimensional airflow field of the jet ventilation in heading face is simulated. The flow field characteristics such as the flow field zoning, the starting segment of jet, the attaching course of jet and the changing pattern of jet velocity are obtained by numerical simulation. According to result of numerical simulation, there are four zones in heading face, i. e. wall-attached jet zone, impact jet wall-attached zone, back flow zone and eddy zone. The starting segment length of attached jet is shorter than that of free attached jet. After wall-attached jet formed completely, the axis velocity of wall is higher than that in air outlet. The result of numerical simulation agrees with that of experiment, which provides a dependable basis for further study of the air mass transport process, the reason of methane accumulation and the efficiency of air displacement in heading face.

[Key words] heading face; restricted wall-attached jet; $k - \epsilon$ model; numerical simulation