基于二型模糊集合的电力客户满意度评估

彭　璠，谭　丹，欧阳雨辰
（长沙理工大学 电气与信息工程学院，湖南 长沙 410114）

摘　要：根据供电服务质量的特点及客户满意度模型，给出了电力客户满意度评估指标。考虑到电力客户满意度的不确定性，运用离散的二型模糊集合，从票数与分数两方面对客户满意度各评估指标进行详细描述与分析，并采用二型模糊集合和模糊综合评判法，实现对电力客户满意度的评估与表述；通过实例验证了方法的可行性和有效性。

关键词：电力；客户满意度；二型模糊集合；模糊综合评判

中图分类号：TP13；F407.61　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1672-3767(2015)02-0101-08

Evaluation of Power Customer Satisfaction Based on Type-2 Fuzzy Sets

Peng Fan，Tan Dan，Ouyang Yuchen
(College of Electric and Information Engineering，Changsha University of Science and Technology，Changsha，Hunan 410114，China)

Abstract: Power customer satisfaction evaluation index were given according to the characteristics of the power supply service quality and customer satisfaction model. For the uncertainty of power customer satisfaction, discrete type-2 fuzzy set was adopted to make a detailed description and analysis of the customer satisfaction evaluation index from votes and scores. Type-2 fuzzy sets and fuzzy comprehensive evaluation method were used to evaluate and describe holistically the power customer satisfaction. The results show that this method is both feasible and effective in customer satisfaction evaluation.

Key words: power; customer satisfaction; type-2 fuzzy set; fuzzy comprehensive evaluation

随着电力市场的发展及电力体制改革的深化，电力市场竞争日益加剧，而客户服务能力是电力企业的核心竞争力，因此帮助电力企业了解影响客户满意度的关键因素并评估客户满意度，将有利于电力企业提升供电服务水平，促进供电公司树立以客户满意为宗旨的市场营销理念。

电力客户满意度的研究引起了许多学者的关注。王鹤[1]、周黎莎[2]等采用层次分析法分析指标之间的相互关系并确定权重，结合模糊综合评判法对满意度进行评价。卢建昌等[3]采用模糊积分分析法引入决策者的重视程度及要求，同时运用模糊积分为非线性函数处理评估指标之间的相互作用。Liu[4]、杨淑霞[5]等采用神经网络对客户满意度进行分析、度量和评价，但 BP(back propagation)神经网络存在收敛较慢、易收敛于局部最优值的缺陷。上述文献中采用的模糊综合评判主要是整体计算，对于各指标的满意度信息并未进行详细描述与分析，因而无法针对具体存在的问题采取相应的改善措施，且上述文献仅根据投票结果对满意度进行评估，而实际评估中会存在投票率与得分的差异性，因此需要综合考虑两者间的关系。采用二型模糊集合对其进行表述，为此类问题的解决提供了一种新思路。

模糊集合[6-7]能有效处理不确定、不精确的信息，但是一型模糊集合的隶属度是精确的，因而不能很好地解

收稿日期：2015-02-28
项目基金：国家自然科学基金项目(61473048，61233008，61074903)；复杂系统管理与控制国家重点实验室开放课题项目(20150101)；长沙理工大学青年英才计划项目
作者简介：彭　璠(1990—)，女，湖南湘潭人，硕士研究生，主要从事语言动力系统、词计算及电力市场方面的研究.
E-mail：pengfan90@163.com

决语言歧义和数据噪声等问题，而二型模糊集合[8-10]将原来精确的隶属函数值扩展为模糊集合，给隶属度函数以更大的自由度，在描述非线性、不精确性、复杂性系统方面具有更好的效果，同时在抗干扰能力与处理不确定系统方面具有明显的优越性，故而得到广泛关注与研究[11-13]。

考虑到调查结果的特性，本研究采用离散的二型模糊集合对电力客户满意度的各指标及整体情况进行描述与分析，从投票和得分两方面分析了各对象指标的满意度情况，并给出各对象指标满意度水平的排序，指出各对象可能存在的问题，同时采用二型模糊综合评判法对整体满意度进行评估。

1 预备知识

1.1 二型模糊集合

在论域 U 上定义一个二型模糊集合[14]：

$$S=\{(u,x,\mu_S(u,x))\mid \forall u\in U,\forall x\in L_u\subseteq[0,1]\},$$

这里，u 为主变量，x 为次变量，$L_u\in[0,1]$ 为主隶属度，根据多值映射 $\mu^1:\Omega\to 2^I$，对任意 $u\in U$，存在 $L_u\in 2^I$，即 $\mu^1=L_u$。

同时 $0\leqslant\mu_S(u,x)\leqslant 1$，其中 $\mu_S(u,x)$ 为次隶属度，可定义为：

$$\mu_S:\bigcup_{u\in U}u\times L_u\to I。$$

若论域 $U=\{u_1,\cdots,u_c,\cdots,u_n\}$ 离散，其主隶属度可表示为：$L_u=\begin{cases}\{x_{11},\cdots,x_{1k},\cdots,x_{1m_1}\},u=u_1\\ \vdots \qquad\qquad \vdots\\ \{x_{c1},\cdots,x_{ck},\cdots,x_{cm_c}\},u=u_c\\ \vdots \qquad\qquad \vdots\\ \{x_{n1},\cdots,x_{nk},\cdots,x_{nm_n}\},u=u_n\end{cases}$。

当 $u=u_c$ 时，对应的主隶属度为 $\{x_{n1},\cdots,x_{ck},\cdots,x_{nm_c}\}$。该离散的二型模糊集合可表示为：

$$S=\sum_{c=1}^{n}\sum_{k=1}^{m_c}\frac{y_{ck}}{x_{ck}u_c}。$$

其中，x_{ij} 为主隶属度，y_{ij} 为次隶属度。

1.2 模糊综合评判法

模糊综合评价法[1]是基于模糊数学的综合评判方法，即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出总体评价，主要包括：划分因素集，设置评语集，建立权重集，计算综合评估矩阵，分析评估结果。

1.3 电力客户满意度

客户满意度指数模型(customer satisfaction index，CSI)中，客户满意度的评估通常分为四部分：品牌形象，感知价值，感知质量，期望质量。

品牌形象是社会公众对电力企业一切活动及其表现的总体印象和评价；感知价值是电力客户对电价与电力产品和服务质量水平的主观认识，即客户对于电价标准以及计费准确性等方面的分析和比较；感知质量是客户对电力产品质量及附加的电力服务的感知；期望质量是指客户对电力产品及其服务的期望程度。

2 基于二型模糊集合的电力客户满意度评估及分析

2.1 基于离散二型模糊集合的满意度指标描述及分析

客户满意度分为很不满意、不太满意、比较满意和非常满意，分别采用 $V_j(j=1,2,3,4)$ 表示。

问卷调查城市 $U=\{u_1,u_2,\cdots,u_n\}$ 为离散论域，在论域上定义 j 个二型模糊集合 S_{ij}，其中 S_{ij} 表示指标 t_i 为 V_j 的模糊集合，令调查客户数为 m，在评分区间[0,100]上设定4个基词，分别为很低 ω_1，低 ω_2，较高 ω_3 和很高 ω_4，其对应的隶属函数：

$$\mu_{\omega_1}(x)=\begin{cases}1, & x<52.5\\ -\frac{1}{15}x+4.5, & 52.5\leqslant x<65\\ 0, & x\geqslant 67.5\end{cases};\quad \mu_{\omega_2}(x)=\begin{cases}\frac{1}{15}x-3.5, & 52.5\leqslant x<67.5\\ -\frac{1}{15}x+5.5, & 67.5\leqslant x<82.5\\ 0, & \text{其他}\end{cases};$$

$$\mu_{\omega_3}(x)=\begin{cases}\frac{1}{15}x-4.5, & 67.5\leqslant x<82.5\\ -\frac{1}{15}x+6.5, & 82.5\leqslant x<97.5\\ 0, & \text{其他}\end{cases};\quad \mu_{\omega_4}(x)=\begin{cases}0, & x<82.5\\ \frac{1}{15}x-5.5, & 82.5\leqslant x<97.5\\ 1, & x\geqslant 97.5\end{cases}。$$

对客户打分划分区域，即对模糊集合清晰化，分别以 60，75，90 为边界值，则“很不满意”“不太满意”“比较满意”和“非常满意”对应的区域分别是[0，60]，[60，75]，[75，90]和[90，100]。对评分进行归类处理，得其相应的投票率和平均得分。将对应区域范围的平均得分与相应的基词进行匹配，得相应的得分匹配度，即当平均得分所在区域为[0，60]，[60，75]，[75，90]和[90，100]时，分别计算该得分与基词 ω_1，ω_2，ω_3 和 ω_4 的匹配度。

设指标 t_i 打分集合为 E，指标 t_i 满意度为 V_j 的客户人数为 m_{ij}。令：

$$\lambda_{i1}=\{e_{i1}\mid e_{i1}\in E \text{ 且 } e_{i1}\in[0,60]\},$$

其中，λ_{i1} 表示指标 t_i 被评为很不满意的得分集合，同理得其被评为“不太满意”“比较满意”和“非常满意”的得分集合。

设 z_{ij} 表示指标 t_i 为 V_j 的平均得分，p_{ij} 表示指标 t_i 属于模糊集合 ω_j 的隶属度，r_{ij} 表示指标 t_i 为 V_j 的投票率，则有：

$$z_{ij}=\frac{\sum\limits_{e_{ij}\in\lambda_{ij}} e_{ij}}{m_{ij}};\tag{1}$$

$$p_{ij}=z_{ij}\wedge u_{\omega_j}(x);\tag{2}$$

$$r_{ij}=\frac{m_{ij}}{m},\quad j=1,2,3,4。\tag{3}$$

以各评估对象对应的投票率为主隶属度，得分匹配度作为次隶属度，即可取得各指标的离散二型模糊集合形式：

$$S_{ij}=\sum_{c=1}^{n}\frac{p_{ij}}{r_{ij}u_c}。\tag{4}$$

综合得票和打分，运用离散二型模糊集合评估各指标满意度、各对象指标满意度水平及其满意度排序。

2.2 电力客户满意度二型模糊综合评估

采用模糊综合评判法从投票与评分两方面对电力客户满意度进行评判，步骤如下：

1)划分因素集

评估因素集合 $T=\{t_1,t_2,t_3,t_4\}$，t_1 为电能质量，t_2 为电价合理性，t_3 为业务处理水平，t_4 为服务态度。

2)设置评语集

记为 $V_j(j=1,2,3,4)$，分别表示“很不满意”“不太满意”“比较满意”“非常满意”。

3)建立权重集

$A_{u_n}=\{a_1,a_2,a_3,a_4\}$，且 $0\leqslant a_i\leqslant 1$，$\sum\limits_{i=1}^{4}a_i=1$，其中，$a_i$ 表示 t_i 的权重。

4)确定模糊综合评判矩阵

模糊综合评判矩阵 $\boldsymbol{R}$ 为 T 到 V_j 的模糊关系，r_{ij} 表示对第 i 个因素做出 V_j 评价的可能程度。

$\boldsymbol{R}_i=[r_{i1}\quad r_{i2}\quad r_{i3}\quad r_{i4}]$表示对 t_i 的单因素评价，综合所有因素即可获得模糊综合评判矩阵 $\boldsymbol{R}$。

根据对各指标评分的分类统计及模糊隶属匹配，可得对象 u_n 在投票和平均得分两方面的电力客户满意度模糊评判矩阵 $\boldsymbol{R}_{u_n}$，表示为：

$$\boldsymbol{R}_{u_n}=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} \end{bmatrix}。$$

这里，$r_{ij}(j=1,2,3,4)$ 为指标 t_i 分别为“很不满意”“不太满意”“比较满意”和“非常满意”所对应的投票率(平均得分匹配度)，可通过公式(1)～(3)计算求得。

5)综合评判

指标因素的模糊评判矩阵 $\boldsymbol{R}_{u_n}$ 及对应权向量 $\boldsymbol{A}_{u_n}$，利用加权平均模糊合成算子得二型模糊综合评判：

$$\boldsymbol{B}_{u_n}=\boldsymbol{A}_{u_n}\circ\boldsymbol{R}_{u_n}=[b_1\quad b_2\quad b_3\quad b_4]。\tag{5}$$

其中，“∘”表示广义的模糊合成运算，这里为加权平均合成算子 $M(\cdot,\times)$，即

$$\boldsymbol{B}_{u_n}=\sum_{i=1}^{4}a_i r_{ij},j=1,2,3,4。$$

3 应用实例

以某电力公司下属的4个地区 u_1,u_2,u_3,u_4 的客户调查资料为样本对其进行评估，样本数据见表1。

表1 各指标得票数及得分

Tab.1 Vote and score of each index

得分集合			[0,60]	[60,75]	[75,90]	[90,100]
u_1	电能质量	m_1	56	31	13	0
		z_1	50.3	62.1	76.5	0
	电价合理性	m_2	8	55	37	0
		z_2	57.0	68.9	78.2	0
	业务处理水平	m_3	6	69	25	0
		z_3	58.5	69.6	78.4	0
	服务态度	m_4	0	39	49	12
		z_4	0	73.2	80.9	91.2
u_2	电能质量	m_1	12	35	53	0
		z_1	58.9	71.1	76.8	0
	电价合理性	m_2	0	8	22	70
		z_2	0	73.5	84.5	93.1
	业务处理水平	m_3	0	5	38	57
		z_3	0	74.0	86.9	93.8
	服务态度	m_4	0	0	24	76
		z_4	0	0	87.6	94.4

续表

得分集合			[0,60]	[60,75]	[75,90]	[90,100]
u_3	电能质量	m_1	14	56	30	0
		z_1	56.1	67.9	77.4	0
	电价合理性	m_2	30	55	15	0
		z_2	51.7	61.8	76.0	0
	业务处理水平	m_3	62	33	5	0
		z_3	52.8	62.1	76.3	0
	服务态度	m_4	0	39	49	12
		z_4	0	69.5	77.6	90.7
u_4	电能质量	m_1	0	3	53	44
		z_1	0	74	83.5	91.3
	电价合理性	m_2	0	38	49	13
		z_2	0	71.3	80.4	90.4
	业务处理水平	m_3	0	23	38	39
		z_3	0	73.5	80.8	91.6
	服务态度	m_4	0	0	62	38
		z_4	0	0	82.8	92.7

根据得分求得其得分匹配度，并由公式(1)～(4)确定指标电能质量为很不满意 S_{11}、不太满意 S_{12}、比较满意 S_{13} 和非常满意 S_{14} 的二型模糊集合，可表示为：

$$S_{11}=\frac{1}{\frac{0.56}{u_1}}+\frac{0.573}{\frac{0.12}{u_2}}+\frac{0.76}{\frac{0.14}{u_3}}+\frac{0}{\frac{0}{u_4}};\quad S_{12}=\frac{0.64}{\frac{0.31}{u_1}}+\frac{0.76}{\frac{0.35}{u_2}}+\frac{0.97}{\frac{0.56}{u_3}}+\frac{0.57}{\frac{0.03}{u_4}};$$

$$S_{13}=\frac{0.6}{\frac{0.13}{u_1}}+\frac{0.62}{\frac{0.53}{u_2}}+\frac{0.66}{\frac{0.3}{u_3}}+\frac{0.93}{\frac{0.53}{u_4}};\quad S_{14}=\frac{0}{\frac{0}{u_1}}+\frac{0}{\frac{0}{u_2}}+\frac{0}{\frac{0}{u_3}}+\frac{0.59}{\frac{0.44}{u_4}}。$$

比较 S_{11}，S_{12}，S_{14}，u_2 偏向于 S_{12}，u_4 偏向于 S_{14}，u_2 和 u_4 在[75,90]的平均分分别属于[75,82.5]和[82.5,90]。对于电能质量，u_4“比较满意”，u_2，u_3 都“不太满意”，u_1 则“很不满意”，满意度排序为：u_4，u_2，u_3，u_1。城市 u_1 在电力网络结构方面存在不足或者是拟定的限电方案不合理。

对于因素“电价合理性”，对应的二型模糊集合：

$$S_{21}=\frac{0.7}{\frac{0.08}{u_1}}+\frac{0}{\frac{0}{u_2}}+\frac{1}{\frac{0.3}{u_3}}+\frac{0}{\frac{0}{u_4}};\quad S_{22}=\frac{0.91}{\frac{0.55}{u_1}}+\frac{0.6}{\frac{0.08}{u_2}}+\frac{0.62}{\frac{0.55}{u_3}}+\frac{0.75}{\frac{0.38}{u_4}};$$

$$S_{23}=\frac{0.71}{\frac{0.37}{u_1}}+\frac{0.87}{\frac{0.22}{u_2}}+\frac{0.57}{\frac{0.15}{u_3}}+\frac{0.86}{\frac{0.49}{u_4}};\quad S_{24}=\frac{0}{\frac{0}{u_1}}+\frac{0.71}{\frac{0.7}{u_2}}+\frac{0}{\frac{0}{u_3}}+\frac{0.53}{\frac{0.13}{u_4}}。$$

分析可知，u_1 与 u_3 属于 S_{24} 的主、次隶属度均为 0，即不存在“很满意”的情况，u_2 与 u_4 属于 S_{21} 的主、次隶属度均为 0，即不存在“很不满意”的情况。分析 S_{22} 的 u_1 与 u_3 知，两者“不太满意”的主隶属度(投票率)相同，但 u_3 的次隶属度低于 u_1，故不太满意程度低于 u_1，且 u_1 偏向于 S_{23}，u_3 偏向于 S_{21}。从而 u_1，u_3 都“不太满意”，u_2，u_4“比较满意”，满意度顺序为 u_2，u_4，u_1，u_3。

同理，因素“业务处理水平”对应的模糊集合分别为：

$$S_{31}=\frac{0.6}{\frac{0.06}{u_1}}+\frac{0}{\frac{0}{u_2}}+\frac{0.98}{\frac{0.62}{u_3}}+\frac{0}{\frac{0}{u_4}};\quad S_{32}=\frac{0.86}{\frac{0.69}{u_1}}+\frac{0.57}{\frac{0.05}{u_2}}+\frac{0.64}{\frac{0.33}{u_3}}+\frac{0.6}{\frac{0.23}{u_4}};$$

$$S_{33}=\frac{0.73}{0.25}_{u_1}+\frac{0.71}{0.38}_{u_2}+\frac{0.59}{0.05}_{u_3}+\frac{0.89}{0.38}_{u_4};\quad S_{34}=\frac{0}{0}_{u_1}+\frac{0.75}{0.57}_{u_2}+\frac{0}{0}_{u_3}+\frac{0.61}{0.39}_{u_4}。$$

由 S_{31} 和 S_{34} 隶属度为0的情况可知，u_2 与 u_4 不属于 S_{31}，u_1 与 u_3 不属于 S_{34}。S_{33} 中的 u_2 与 u_4 的主隶属度(投票率)相同，但 u_2 的次隶属度低于 u_4，故“比较满意”程度低于 u_4，但 u_2“非常满意”程度远高于 u_4，比较可知 u_2 的平均得分高于 u_4。综合得满意度排序为 u_2,u_4,u_1,u_3，且 u_2“非常满意”，u_4“比较满意”，u_1“不太满意”，而 u_3 则“很不满意”，即 u_1,u_3 存在电力工作人员专业水平不够或是工作效率较低等问题。

由表1，因素“服务态度”相应的4个二型模糊集合分别为：

$$S_{41}=\frac{0}{0}_{u_1}+\frac{0}{0}_{u_2}+\frac{0}{0}_{u_3}+\frac{0}{0}_{u_4};\quad S_{42}=\frac{0.62}{0.39}_{u_1}+\frac{0}{0}_{u_2}+\frac{0.87}{0.39}_{u_3}+\frac{0}{0}_{u_4};$$

$$S_{43}=\frac{0.89}{0.49}_{u_1}+\frac{0.66}{0.24}_{u_2}+\frac{0.67}{0.49}_{u_3}+\frac{0.98}{0.62}_{u_4};\quad S_{44}=\frac{0.58}{0.12}_{u_1}+\frac{0.79}{0.76}_{u_2}+\frac{0.54}{0.12}_{u_3}+\frac{0.68}{0.38}_{u_4}。$$

u_1，u_2，u_3 和 u_4 隶属于 S_{34} 的隶属度为0，4个城市均无“很不满意”情况，同时 u_2 和 u_4 不存在“不太满意”情况。u_1 和 u_3 的主隶属度相同，由次隶属度知 u_1 满意度高于 u_3，且 u_1 与 u_3 在[60,75]的平均分均在[67.5,75]，在[75,90]的平均分均在[75,82.5]，则 u_1,u_4 属于“比较满意”，u_3“不太满意”，u_2“非常满意”，其满意度排序为 u_2,u_4,u_1,u_3。u_3 存在电力工作人员工作态度较差或是企业形象较差等问题。

对各城市整体满意度水平进行二型模糊综合评估，以主隶属度投票率构建4个城市的模糊综合评判矩阵分别为：

$$\boldsymbol{R}_{u_1}=\begin{bmatrix}0.56&0.31&0.13&0\\0.08&0.55&0.37&0\\0.06&0.69&0.25&0\\0&0.39&0.49&0.12\end{bmatrix};\quad \boldsymbol{R}_{u_2}=\begin{bmatrix}0.12&0.35&0.53&0\\0&0.08&0.22&0.70\\0&0.05&0.38&0.57\\0&0&0.24&0.76\end{bmatrix};$$

$$\boldsymbol{R}_{u_3}=\begin{bmatrix}0.14&0.56&0.30&0\\0.30&0.55&0.15&0\\0.62&0.33&0.05&0\\0&0.39&0.49&0.12\end{bmatrix};\quad \boldsymbol{R}_{u_4}=\begin{bmatrix}0&0.03&0.53&0.44\\0&0.38&0.49&0.13\\0&0.23&0.38&0.39\\0&0&0.62&0.38\end{bmatrix}。$$

根据电力客户调查及专家意见，设置指标权向量分别为：

$$\boldsymbol{A}=[0.2\quad 0.3\quad 0.3\quad 0.2]。$$

根据公式(5)进行综合评判可得：

$$\boldsymbol{B}_{u_1}=[0.154\quad 0.512\quad 0.31\quad 0.024];\quad \boldsymbol{B}_{u_2}=[0.024\quad 0.109\quad 0.334\quad 0.533];$$

$$\boldsymbol{B}_{u_3}=[0.304\quad 0.454\quad 0.218\quad 0.024];\quad \boldsymbol{B}_{u_4}=[0\quad 0.189\quad 0.491\quad 0.32]。$$

以次隶属度(平均得分隶属度)构建模糊综合评判矩阵，归一化处理后得4个城市的模糊综合评判矩阵分别为：

$$\boldsymbol{R}_{u_1}=\begin{bmatrix}0.45&0.29&0.26&0\\0.30&0.39&0.31&0\\0.27&0.39&0.34&0\\0&0.30&0.46&0.27\end{bmatrix};\quad \boldsymbol{R}_{u_2}=\begin{bmatrix}0.29&0.39&0.32&0\\0&0.28&0.40&0.32\\0&0.28&0.35&0.37\\0&0&0.46&0.54\end{bmatrix};$$

$$\boldsymbol{R}_{u_3}=\begin{bmatrix}0.32&0.41&0.27&0\\0.46&0.28&0.26&0\\0.44&0.29&0.27&0\\0&0.42&0.32&0.26\end{bmatrix};\quad \boldsymbol{R}_{u_4}=\begin{bmatrix}0&0.28&0.44&0.28\\0&0.35&0.40&0.25\\0&0.29&0.42&0.29\\0&0&0.59&0.41\end{bmatrix}。$$

通过模糊综合评判可得：

$$\boldsymbol{B}_{u_1}=[0.259\quad 0.356\quad 0.333\quad 0.052];\quad \boldsymbol{B}_{u_2}=[0.056\quad 0.238\quad 0.381\quad 0.325];$$

$$\boldsymbol{B}_{u_3}=[0.353\quad 0.339\quad 0.26\quad 0.048];\quad \boldsymbol{B}_{u_4}=[0\quad 0.236\quad 0.482\quad 0.282]。$$

以投票率结果作为主隶属度，平均得分隶属为次隶属度组成对对象总体评估的 4 个模糊集合，记为：

$$S_1=\frac{\frac{0.261}{0.154}}{u_1}+\frac{\frac{0.058}{0.024}}{u_2}+\frac{\frac{0.334}{0.304}}{u_3}+\frac{\frac{0}{0}}{u_4};\quad S_2=\frac{\frac{0.352}{0.512}}{u_1}+\frac{\frac{0.246}{0.109}}{u_2}+\frac{\frac{0.337}{0.454}}{u_3}+\frac{\frac{0.248}{0.189}}{u_4};$$

$$S_3=\frac{\frac{0.333}{0.31}}{u_1}+\frac{\frac{0.381}{0.334}}{u_2}+\frac{\frac{0.277}{0.218}}{u_3}+\frac{\frac{0.452}{0.491}}{u_4};\quad S_4=\frac{\frac{0.054}{0.024}}{u_1}+\frac{\frac{0.315}{0.533}}{u_2}+\frac{\frac{0.052}{0.024}}{u_3}+\frac{\frac{0.3}{0.32}}{u_4}。$$

这 4 个模糊集合均为正规凸模糊集合，由最大隶属度法可知，u_2 为非常满意，u_4 为比较满意，u_1 和 u_3 为不太满意。4 个城市电力客户满意度整体水平排序为：u_2,u_4,u_1,u_3 。

4　结束语

结合电力客户的特点，综合考虑投票与得分的影响，以投票率为主隶属度，平均得分匹配度为次隶属度，构成离散的二型模糊集合，对满意度指标进行表述与分析，比较了各对象指标间的满意度水平，确定了其满意度排序，并从这两方面着手，运用二型模糊综合评判法对整体满意度水平进行了评估；给出其相应的二型模糊集合表述形式，全面分析了供电企业可能存在的问题，有助于确定具体改善方案。

二型模糊集合的应用精简了满意度的描述，有效地处理了不确定、模糊信息，使输出简洁明了，为电力客服满意度的刻画与分析开拓了新视野。下一步的主要工作是建立电力客户满意度评估闭环控制模型，以语言动力学理论[15-16]为基础，对电力客户满意度改善进行词计算[11]，研究其语言动力学轨迹。

参考文献：

[1]王鹤，曾鸣，陈珊，等. 基于模糊层次分析法的供电服务质量综合评价模型[J]. 电网技术，2006，30(17)：92-96.
Wang He，Zeng Ming，Chen Shan，et al. Comprehensive evaluation model for power supply service quality based on fuzzy analytic hierarch process[J]. Power System Technology，2006，30(17)：92-96.

[2]周黎莎，于新华. 基于网络层次分析法的电力客户满意度模糊综合评价[J]. 电网技术，2009，33(17)：191-197.
Zhou Lisha，Yu Xinhua. Fuzzy comprehensive evaluation of power customer satisfaction based on analytic network process [J]. Power System Technology，2009，33(17)：191-197.

[3]卢建昌，韩红领，刘天宝，等. 基于模糊积分的电力客户满意度综合评价[J]. 电网技术，2008，32(1)：67-70.
Lu Jianchang，Han Hongling，Liu Tianbao，et al. Comprehensive evaluation of power customer satisfaction degree based on fuzzy integral[J]. Power System Technology，2008，32(1)：67-70.

[4]Liu Y，Zhou C F，Chen Y W. Measuring customer satisfaction based on neural networks partial least squares approach[C]// IEEE International Conference on Service Operations and Logistics and Informatics. Shanghai，June 21-23，2006：627-631.

[5]杨淑霞，韩奇，徐琳茜，等. 基于鱼群算法优化 BP 神经网络的电力客户满意度综合评价方法[J]. 电网技术，2011，35(5)：146-151.
Yang Shuxia，Han Qi，Xu Linqian，et al. Comprehensive evaluation of electric power customer satisfaction based on BP neural optimized by fish swarm algorithm[J]. Power System Technology，2011，35(5)：146-151.

[6]Zadeh L A. Fuzzy sets[J]. Information and Control，1965，8(3)：338-353.

[7]Zadeh L A. Fuzzy logic computing with words[J]. IEEE Transaction on Fuzzy Systems，1996，4(2)：103-111.

[8]Liang Q L，Mendel J M. Interval type-2 fuzzy logic systems：Theory and design[J]. IEEE Transaction on Fuzzy Systems，2008，8(5)：535-550.

[9]Mo H，Zhou M. On the definition of type-2 fuzzy sets [C]//10th World Congress on Intelligent Control and Autmation，Beijing，July 6-8，2012：601-605.

[10]Mo H，Wang F Y，Zhou M，et al. Footprint of uncertainty for type-2 fuzzy sets[J]. Information Sciences，2014，272：96-110.

[11]莫红，王涛. 广义区间二型模糊集合的词计算[J]. 自动化学报，2012，38(5)：707-715.
Mo Hong，Wang Tao. Computing with words in generalized interval type-2 fuzzy sets[J]. Acta Automatica Sinica，2012，38(5)：707-715.

[12]Wu D R, Mendel J M. Linguistic summarization using if-then rules and interval type-2 fuzzy sets[J]. IEEE Transaction on Fuzzy System, 2011, 19(1): 136-151.

[13]Chen W, Sun Z Q. Research on of type-2 fuzzy logic systems and its application[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2005, 19(1): 126-135.

[14]莫红,王飞跃. 语言动力系统与二型模糊逻辑[M]. 北京:中国科学技术出版社,2013:152-157.

[15]莫红,王飞跃,肖志权,等. 基于区间二型模糊集合的语言动力系统稳定性[J]. 自动化学报,2011,37(8):1018-1024.
Mo Hong, Wang Feiyue, Xiao Zhiquan, et al. Stabilities of linguistic dynamic systems based on interval type-2 fuzzy sets [J]. Acta Automatica Sinica, 2011, 37(8): 1018-1024.

[16]Mo H, Wang F Y. Linguistic dynamic system based on computing with words and their stabilities[J]. Science in China, F Series: Information Science, 2009, 52(5): 780-796.

(责任编辑:吕文红)

“机器人与智能技术”研究专栏征稿

征稿范围:

◇机器人理论与控制技术
◇人工智能与智能控制技术
◇移动机器人及自主导航技术
◇机器人传感技术、智能传感器
◇机器视觉、图像处理与模式识别技术
◇智能系统建模与控制
◇机器人结构设计
◇多机器人系统
◇特种机器人
◇机器学习

欢迎相关领域专家、学者和工程技术人员踊跃投稿,来稿请注明“机器人与智能技术”专栏。稿件经专家评审通过后优先发表。

投稿平台:http://xuebao.sdust.edu.cn/index_z.asp

电子邮箱:xbgjcl@126.com; zklwh@sdust.edu.cn

联系电话:0532-86057826

山东科技大学学报(自然科学版) 编辑部