

# 不确定环境下的 Ad-hoc 网络可信性评价模型研究

刘建军

(德州学院计算机系 德州 253023)

**摘 要** 运用不确定理论解决了 Ad-hoc 网络可信性模型的评价问题。运用不确定理论对 Ad-hoc 网络的信任度进行分析、评价和测试,提出了不确定综合评判方法,建立了 Ad-hoc 网络的可信性评价模型。该模型首先采用不确定变量表示各个评判因子的权重系数,增强了各因子权重的合理性;然后通过单因子评价模型对各因子进行评价;最后利用不确定综合评判模型确定 Ad-hoc 网络整体的可信度标准等级。通过实例运算得出综合评价结果。结果分析表明,该模型有效可行,且具有科学性和合理性。

**关键词** Ad-hoc 网络,可信性评价,不确定分布,99 方法,不确定综合评判方法

**中图法分类号** TP3 **文献标识码** A

## Research about Evaluated Model for Creditability of Ad-hoc Network in Uncertain Environment

LIU Jian-jun

(Department of Computer, Dezhou University, Dezhou 253023, China)

**Abstract** This paper solved evaluated problem to model for Ad-hoc network by uncertainty theory. The paper carried on analysis, evaluation and test to creditability level of Ad-hoc network by uncertainty theory, proposed uncertain comprehensive evaluated method, established credibility evaluation model for Ad-hoc network. At first, weight of each evaluated index was characterized as uncertain variable in this model, strengthened rationality of weight of every index. Then carried on evaluation to every index by single index evaluation model. At last, the creditability level for the whole Ad-hoc network was determined by uncertain comprehensive evaluated method. The comprehensive evaluated result was obtained by calculating an example, the analysis to result indicates that this model is effective and feasible, and has scientificity and rationality.

**Keywords** Ad-hoc network, Creditability evaluation, Uncertainty distribution, 99-method, Uncertain comprehensive evaluated method

## 1 引言

Ad-hoc 网络是一种无线移动节点以任意和临时的网络拓扑结构进行动态自组织的网络系统,具有无中心、自组织、无固定网络设施和动态拓扑结构等特征,被广泛应用于军事和商业领域。Ad-hoc 网络是一种新颖的移动计算机网络,它既可以作为一种独立的网络运行,也可以作为当前具有固定设施网络的一种补充形式,其自身的独特性赋予其巨大的发展前景。但是在 Ad-hoc 网络的研究中还存在许多亟待解决的问题,网络的安全问题就是其中之一。这是因为 Ad-hoc 网络采用无线信道<sup>[1]</sup>、分布式控制技术,移动节点相对于固定节点更加容易受到主动入侵、被动窃听等各种网络攻击,建立网络信任模型<sup>[2]</sup>是常用的解决方法。

信任模型是指建立量化的评价模型,用信任度来度量网络的可信任程度。信任度即为自组织网络节点的可信赖程度。通过网络的通信历史反映出的网络可信任程度,本质上就是节点的可信程度。Blaze 等人<sup>[3]</sup>为解决 Internet 的安全问题

首先提出了信任管理<sup>[3]</sup>的概念,指出信任管理系统的本质是采用一种理性的、精确的方法来描述和处理复杂的信任关系,并在对信任管理进行概念描述和定义的基础上提出了 PolicyMaker<sup>[3]</sup>和 KeyNote<sup>[4]</sup>两个信任管理模型;Beth 提出的信任度评估模型主要是基于概率论的知识对信任度进行推导和计算,并用经验的概念来表述和度量信任关系;A. Josang 提出了基于主观逻辑<sup>[5]</sup>的信任模型<sup>[6]</sup>,并引入了事实空间和观念空间的概念来描述和度量信任关系;此外,Adul-Rahman 等人认为信任是非理性的,是一种历史经验的累积,不仅应该包含具体的内容,还应该对信任的程度进行划分,他们同时提出了相应的信任度评估模型。

但是,上述对信任模型的研究都基于概率理论,将信任的主观性和不确定性等同于随机性,忽视了信任本身的不确定性,它们都存在以下 3 个问题:①不同用户信任评价没有衡量的具体标准;②不同用户对信任度评价的权威性无法区别;③对信任度只能用精确的方法描述。显然,信任度应具有模糊性和不确定性。文献[7]研究了一个基于模糊集合理论的主

到稿日期:2010-09-23 返修日期:2010-12-28 本文受山东省科技攻关项目模糊随机环境下的集约生产计划模型及智能求解算法(2009GG20001029),山东省软科学项目不确定环境下环境监管动态博弈均衡策略研究(2010RKG2066)资助。

刘建军(1971—),女,硕士,副教授,主要研究方向为不确定理论、计算智能,E-mail:lijj@dzu.edu.cn。

观信任管理模型,文献[8]则提出了一种基于模糊理论的信任度评估模型。

实际上,在文献[7-9]中还是用一个精确值去度量某元素是否属于某一个模糊子集,不能科学地反映被评价对象的真实情况。再者,模糊信任度评估模型用“取大取小”方法来确定评价向量也存在问题。“取大取小”运算是在同一论域上的两个模糊集合之间进行的,故不在同一个论域上的两个模糊集之间的“取大取小”运算毫无意义。因此用该方法得到的结果有时会出现不合理或失效的现象,部分文献<sup>[12-15]</sup>对此现象做了深入的分析 and 探讨。如何消除这种现象,文献[16-18]用不同的方法对模糊综合评判模型进行了改进,但这些方法几乎都建立在模糊理论的基础上,未从根本上解决上述问题。

为了处理主观不确定性,刘宝碁于 2007 年创立了数学的一个新分支——不确定理论<sup>[11]</sup>。之后不确定理论被广泛应用于科学和工程中,解决了许多许多的问题。

本文就是运用不确定理论对 Ad-hoc 网络的信任度进行分析、评价和测试,提出了不确定综合评判方法,建立了 Ad-hoc 网络的可信性评价模型,并通过实例运算得出了综合评价结果。结果分析表明,该模型有效可行,且符合实际情况。

## 2 基于不确定理论的 Ad-hoc 网络可信性评价模型

### 2.1 不确定理论

为了更好地理解该模型,先回顾以下定义。

**定义 1** 假设  $\Gamma$  为非空集合,  $L$  是  $\Gamma$  上的  $\sigma$ -代数。每一个元素  $\Delta \in L$  被称为一个事件,而  $M\{\Delta\}$  表示  $\Delta$  发生的机会。如果  $M\{\Delta\}$  满足以下 4 条公理,则称为不确定测度。1(规范性).  $M\{\Gamma\}=1$ 。2(单调性). 如果  $\Delta_1 \subset \Delta_2$ , 那么  $M\{\Delta_1\} \leq M\{\Delta_2\}$ 。3(自对偶性). 对于任意事件  $\Delta$  都有  $M\{\Delta\} + M\{\Delta^c\} = 1$ , 记  $A^c$  为  $A$  的对立集合。4(可列可加性). 对任意可列的事件序列  $\{\Delta_i\}$ , 都有  $M\{\bigcup_{i=1}^{\infty} \Delta_i\} \leq \sum_{i=1}^{\infty} M\{\Delta_i\}$ 。

**定义 2** 假设  $\Gamma$  为非空集合,  $L$  是  $\Gamma$  上的  $\sigma$ -代数,  $M$  是不确定测度, 则三元式  $(\Gamma, L, M)$  被称为不确定空间。

**定义 3** 一个不确定变量  $\xi$  是从不确定空间  $(\Gamma, L, M)$  到实数集的可测函数。即对任意实数的 Borel 集  $B$ , 集合  $\{\xi \in B\} = \{\gamma \in \Gamma | \xi(\gamma) \in B\}$  是一个事件。

**定义 4** 对于任何实数  $x$ , 不确定变量  $\xi$  的不确定分布  $\phi$  可以定义为

$$\phi(x) = M\{\xi \leq x\} \quad (1)$$

**定理 1** 设  $\xi$  是服从不确定分布  $\phi$  的不确定变量,  $f$  是一个严格递增函数, 那么  $f(\xi)$  是具有如下逆不确定分布的不确定变量。

$$\phi^{-1}(\alpha) = f(\phi^{-1}(\alpha)) \quad (2)$$

**例 1** 一个不确定变量  $\xi$  是线形的, 如果服从如下不确定分布  $L(a, b)$ , 其中  $a < b$ , 分布函数图如图 1 所示。

$$\phi(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq a \\ (x-a)/(b-a), & \text{if } a \leq x \leq b \\ 1, & \text{if } x > b \end{cases} \quad (3)$$

线形不确定变量  $L(a, b)$  的逆分布为

$$\phi^{-1}(\alpha) = (1-\alpha)a + ab \quad (4)$$

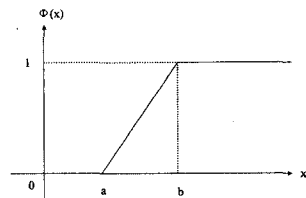


图 1 线形不确定分布图

**例 2** 一个不确定变量  $\xi$  是之字形的, 如果服从如下不确定分布  $Z(a, b, c)$ , 其中  $a < b < c$ 。

$$\phi(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x \leq a \\ (x-a)/2(b-a) & \text{if } a \leq x \leq b \\ (x+c-2b)/2(c-b) & \text{if } b \leq x \leq c \\ 1 & \text{if } x \geq c \end{cases} \quad (5)$$

分布函数图如图 2 所示。

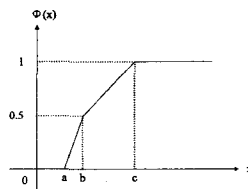


图 2 之字形不确定分布图

之字形不确定变量  $Z(a, b, c)$  的逆分布为

$$\phi^{-1}(\alpha) = \begin{cases} (1-2\alpha)a + 2ab, & \text{当 } \alpha < 0.5 \\ (2-2\alpha)b + (2\alpha-1)c, & \text{当 } \alpha \geq 0.5 \end{cases} \quad (6)$$

**例 3** 一个不确定变量  $\xi$  是正态的, 如果服从如下不确定分布  $N(e, \sigma)$ , 其中  $e$  和  $\sigma$  是实数且  $\sigma > 0$ , 分布函数图如图 3 所示。

$$\phi(x) = (1 + \exp(\frac{\pi(e-x)}{\sqrt{3}\sigma}))^{-1}, x \in R \quad (7)$$

正态不确定变量  $N(e, \sigma)$  的逆分布为

$$\phi^{-1}(\alpha) = e + \frac{\sigma\sqrt{3}}{\pi} \ln \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (8)$$

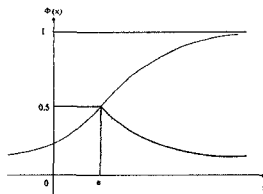


图 3 正态不确定分布图

**定义 5** 假设  $\xi$  是不确定变量, 那么  $\xi$  的期望值定义为

$$E(\xi) = \int_0^{+\infty} M\{\xi \geq r\} dr - \int_{-\infty}^0 M\{\xi \leq r\} dr \quad (9)$$

式中两个积分至少有一个是有限的。

**定理 2** 设  $\xi$  是服从不确定分布  $\phi$  的不确定变量, 如果其期望值存在, 则

$$E(\xi) = \int_0^1 \phi^{-1}(\alpha) d\alpha \quad (10)$$

**定理 3** 设  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  是具有不确定分布  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$  的不确定变量,  $f$  是一个严格递增函数, 那么  $\xi = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$  是一个具有如下逆不确定分布的不确定变量。

$$\phi^{-1}(\alpha) = f(\phi_1^{-1}(\alpha), \phi_2^{-1}(\alpha), \dots, \phi_n^{-1}(\alpha)) \quad (11)$$

**99 方法** 假设一个不确定变量  $\xi$  服从不确定分布  $\phi$  可以用 99 表表示, 其中第一行的 0.01, 0.02, 0.03, ..., 0.99 是

不确定分布  $\phi$  的值,而第二行的  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{99}$  对应的是  $\phi^{-1}(0.01), \phi^{-1}(0.02), \phi^{-1}(0.03), \dots, \phi^{-1}(0.99)$  的值。特别地,99 表是不确定分布  $\phi$  的离散表示。任何一个严格单增函数  $f(x)$  都有 99 表。

|          |          |          |     |             |
|----------|----------|----------|-----|-------------|
| 0.01     | 0.02     | 0.03     | ... | 0.99        |
| $x_1$    | $x_2$    | $x_3$    | ... | $x_{99}$    |
| 0.01     | 0.02     | 0.03     | ... | 0.99        |
| $f(x_1)$ | $f(x_2)$ | $f(x_3)$ | ... | $f(x_{99})$ |

## 2.2 影响 Ad-hoc 网络可信度因素的确立

Ad-hoc 网络的可信度即 Ad-hoc 网络在通信中可以信赖的程度。影响 Ad-hoc 网络可信度的因素很多,一般认为网络通信能力越强,其可信赖的程度就越高。本文以 Ad-hoc 网络通信能力为主要指标给出了影响 Ad-hoc 网络可信度的 5 个主要因素<sup>[10]</sup>:

(1)响应时间:网络通信请求和响应该请求之间的时间,反映了网络根据传输优先级别及时交付信息的能力,是网络信息交付实时性的重要标志。

(2)通信延迟:网络路由寻找期间的缓存时延、接口排队时延、MAC 层重传时延、空中传播时延以及转换时间等所有时延的总和。

(3)通信成功率:通信请求成功数量占总通信请求数量的百分比。

(4)信道利用率:负载和带宽的百分比值。

(5)分组交互率:目的节点正确接收的数据分组的数量与源节点原始发送的数据分组数量的比值。

## 2.3 不确定综合评判方法的提出

在进行系统评价时,专家确定权重总带有个人的偏好、期望等信息,而且各指标权重确定的难易程度也不同,为了更符合实际情况,可以用不确定变量表示权重,由此得到不确定权向量;另一方面,由于种种原因,评价标准等级的划分界限不能用一个精确的数值来表示,因此也可以用不确定变量来刻画,由此得到不确定评价矩阵。

### 2.3.1 权向量的确定

假设一个评判对象的集合  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$  由  $n$  个评价因子构成,在本文的可信度评判模型中,  $u_i$  表示评判 Ad-hoc 网络可信度的因子。各个因子对整体的影响力均不一样,任何专家都无法给出一组确切的数据。但是,如果从所有的因素中任取一个因素进行对比,专家一般都能用“十分重要”、“较重要”、“重要”、“不太重要”、“不重要”等定性语言说明一个因素的重要性程度。设定有“十分重要”,“较重要”,“重要”,“不太重要”,“不重要”等  $l$  个不同的重要程度;同时分别用不确定变量  $q_1, q_2, \dots, q_l$  来表示。假设有  $s$  个专家参与评价,每一个专家  $j$  ( $j=1, 2, \dots, s$ ) 给每一个因子  $u_i$  赋予不同的重要程度,假设有  $s_1$  个专家选择  $q_1, s_2$  个专家选择  $q_2, \dots, s_l$  个专家选择  $q_l$ , 其中  $s_1 + s_2 + \dots + s_l = s$ , 则  $u_i$  的权值可以表示为  $\tilde{\omega}_i = (\frac{s_1}{s}q_1 + \frac{s_2}{s}q_2 + \dots + \frac{s_l}{s}q_l)$ , 为不确定变量。由此可以计算出  $n$  个评价因子的权值,得到评价因子的权向量  $W = (\tilde{\omega}_1, \tilde{\omega}_2, \dots, \tilde{\omega}_n)$ 。

### 2.3.2 不确定评价矩阵的建立

评语集  $R_i = \{R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{im}\}$  是与  $U$  中的第  $i$  ( $i=1, 2,$

$\dots, n$ ) 个因子所对应的评判标准的集合,在 Ad-hoc 网络可信度评判模型中,  $R_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m$ ) 是各个因子所对应的可信度标准等级。由于标准等级下的划定没有一个精确的界限,因此  $R_{ij}$  也可用不确定变量来描述。

### (1)单因素评价

根据 Ad-hoc 网络可信度影响因子指标采样测试集和对应的评价集  $R_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), 并利用式(3)(或式(4)或式(5))先计算出第一个影响因子在对应评价等级下的不确定

度,构成不确定评价矩阵  $\tilde{r}_1 = \begin{Bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{p1} & r_{p2} & \dots & r_{pm} \end{Bmatrix}$ , 其中  $m$

表示评语集中的评价等级,  $p$  表示对影响因子采样测试得到的数值个数。

由于可信度影响因子测试集数据的选取是随机的,因此每次数据的权重值相等。设  $\sum_{i=1}^p \omega_i = 1$ , 则在单因素评判过程中,可取权重向量  $W_1 = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_p) = (1/p, 1/p, \dots, 1/p)$ , 运用下式可以得到第一个因子的评价结果。

$$\begin{aligned} \tilde{R}_i &= W_1 \cdot \tilde{r}_1 = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_p) \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{p1} & r_{p2} & \dots & r_{pm} \end{bmatrix} \\ &= (\tilde{r}_{11}, \tilde{r}_{12}, \dots, \tilde{r}_{1m}) \end{aligned}$$

同理可以得到其他因子的评价结果,形成如下不确定评价矩阵。

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} \tilde{r}_{11} & \tilde{r}_{12} & \dots & \tilde{r}_{1m} \\ \tilde{r}_{21} & \tilde{r}_{22} & \dots & \tilde{r}_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{r}_{n1} & \tilde{r}_{n2} & \dots & \tilde{r}_{nm} \end{bmatrix}$$

### (2)多因素综合评价

利用上文得到的权向量  $W$  和评价矩阵  $\tilde{R}$ , 通过如下计算可以得到多因素综合评价结果。

$$\begin{aligned} \tilde{B} &= W \cdot \tilde{R} = (\tilde{\omega}_1, \tilde{\omega}_2, \dots, \tilde{\omega}_n) \cdot \begin{bmatrix} \tilde{r}_{11} & \tilde{r}_{12} & \dots & \tilde{r}_{1m} \\ \tilde{r}_{21} & \tilde{r}_{22} & \dots & \tilde{r}_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{r}_{n1} & \tilde{r}_{n2} & \dots & \tilde{r}_{nm} \end{bmatrix} \\ &= (\tilde{b}_1, \tilde{b}_2, \dots, \tilde{b}_m) \end{aligned}$$

式中,  $\tilde{b}_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) 也是不确定变量。

### 2.3.3 评语值 $E[\tilde{b}_i]$ 的计算

利用不确定模拟技术和 99 方法计算出  $E[\tilde{b}_i]$ , 得出整个评判对象所对应的每一个评价标准等级的值,其中最大值对应的评价等级即为评价结果。

## 3 实例与结果分析

### 3.1 权向量的确定

由于多因素综合评判中各个可信度影响因子对整体的影响存在差异,如果简单地给出估计值,计算结果将产生比较大的误差,甚至影响评判结果。因此,本文选定了 10 个专家通过测试和调研来确定各个因子对总体的影响程度。

本文设定有 5 个评价等级{十分重要、较重要、重要、不太重要、不重要}, 分别用 5 个之字形不确定变量  $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5$

来表示,其中  $q_1 \sim Z(0.8, 0.9, 1.0)$ ,  $q_2 \sim Z(0.7, 0.8, 0.9)$ ,  $q_3 \sim Z(0.4, 0.6, 0.8)$ ,  $q_4 \sim Z(0.2, 0.4, 0.6)$ ,  $q_5 \sim Z(0, 0.2, 0.4)$ 。调查结果如表 1 所列,表中  $I_1$  表示响应时间,  $I_2$  表示通信延迟,  $I_3$  表示通信成功率,  $I_4$  表示信道利用率,  $I_5$  表示分组交付率。表中的数字表示认为该因素有此影响程度的专家数。根据上面的不确定综合评判方法,权向量的计算如下。

$$\begin{aligned}\tilde{\omega}_1 &= \frac{3q_1 + 3q_3 + 4q_4}{10} \sim Z(0.44, 0.61, 0.78) \\ \tilde{\omega}_2 &= \frac{2q_2 + 4q_3 + 4q_4}{10} \sim Z(0.38, 0.56, 0.74) \\ \tilde{\omega}_3 &= \frac{6q_1 + 2q_2 + 2q_3}{10} \sim Z(0.7, 0.82, 0.94) \\ \tilde{\omega}_4 &= \frac{5q_3 + 4q_4 + q_5}{10} \sim Z(0.28, 0.48, 0.68) \\ \tilde{\omega}_5 &= \frac{4q_3 + 2q_4 + 4q_5}{10} \sim Z(0.2, 0.4, 0.6)\end{aligned}$$

表 1 专家确定的权值统计表

|       | 十分重要 | 较重要 | 重要 | 不太重要 | 不重要 |
|-------|------|-----|----|------|-----|
| $I_1$ | 3    |     | 3  | 4    |     |
| $I_2$ |      | 2   | 4  | 4    |     |
| $I_3$ | 6    | 2   | 2  |      |     |
| $I_4$ |      |     | 5  | 4    | 1   |
| $I_5$ |      |     | 4  | 2    | 4   |

### 3.2 不确定评价矩阵的建立

本节给出 Ad-hoc 网络可信度影响因子的主要指标,验证所提出评判模型的有效性。假定将可信度程度分为可信度非常高、可信度比较高、可信度一般和可信度低 4 个等级,得到评语集合  $V = \{I, II, III, IV\}$ 。在某个 Ad-hoc 网络通信中选取 5 组可信度影响因子的主要指标平均测试值组成测试集,并根据调研和实际需要,给出与可信度的 4 个等级相对应的可信度影响因子指标标准值。由于标准值的界限是不确定的,因此选用之字形不确定变量来表示。具体取值情况如表 2 和表 3 所列。

表 2 可信度影响因子等级标准指标值

|       | I                  | II                   | III                   | IV                   |
|-------|--------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| $R_1$ | $Z(0, 0.1, 0.25)$  | $Z(0.2, 0.4, 0.55)$  | $Z(0.5, 0.6, 0.75)$   | $Z(0.7, 0.8, 1.0)$   |
| $R_2$ | $Z(0, 0.2, 0.35)$  | $Z(0.3, 0.5, 0.65)$  | $Z(0.6, 0.7, 0.85)$   | $Z(0.8, 1.0, 1.15)$  |
| $R_3$ | $Z(0.85, 0.95, 1)$ | $Z(0.8, 0.85, 0.9)$  | $Z(0.65, 0.75, 0.85)$ | $Z(0.3, 0.5, 0.7)$   |
| $R_4$ | $Z(0.8, 0.9, 1)$   | $Z(0.7, 0.8, 0.9)$   | $Z(0.6, 0.7, 0.8)$    | $Z(0.5, 0.6, 0.7)$   |
| $R_5$ | $Z(0.9, 0.95, 1)$  | $Z(0.85, 0.9, 0.95)$ | $Z(0.8, 0.85, 0.9)$   | $Z(0.55, 0.7, 0.85)$ |

表 3 可信度影响因子指标采样测试集

| 测试组/指标 | $I_1$ | $I_2$ | $I_3$ | $I_4$ | $I_5$ |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1      | 0.2   | 0.36  | 0.83  | 0.86  | 0.91  |
| 2      | 0.3   | 0.32  | 0.9   | 0.79  | 0.87  |
| 3      | 0.35  | 0.23  | 0.88  | 0.77  | 0.88  |
| 4      | 0.4   | 0.35  | 0.82  | 0.81  | 0.92  |

#### (1) 单因素评价

根据 Ad-hoc 网络可信度的第一个影响因子指标响应时间采样测试集数据和对应的评价集  $R_i (i=1, 2, 3, 4)$ ; 并利用式(3)先计算出响应时间这一影响因子在对应评价等级下的不确定测度,构成不确定评价矩阵

$$\tilde{r}_1 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.833 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix}$$

由于可信度影响因子测试集数据的选取是随机的,因此每次数据的权重值相等。设  $\sum_{i=1}^4 \omega_i = 1$ ,则在单因素评价过程中,取权重向量  $W = (\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4) = (0.25, 0.25, 0.25, 0.25)$ ,运用不确定评判公式可得到响应时间的评价结果。

$$\begin{aligned}\hat{R}_1 &= W \cdot \tilde{r}_1 \\ &= (0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25) \cdot \begin{bmatrix} 0.833 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.208 \ 0.37500)\end{aligned}$$

由此可以得到响应时间对 4 个可信度等级 I, II, III, IV 的不确定测度分别是 0.208, 0.375, 0, 0,其中 0.375 最大,因此属于 II 级标准的可信度比较高。同理,其它影响因子的评判结果也可以相应地求出,具体数据如表 4 所列。

表 4 单因子评价结果

|     | $I_1$ | $I_2$ | $I_3$  | $I_4$  | $I_5$ |
|-----|-------|-------|--------|--------|-------|
| I   | 0.208 | 0.15  | 0.0375 | 0.0875 | 0.075 |
| II  | 0.375 | 0.081 | 0.575  | 0.5375 | 0.45  |
| III | 0     | 0     | 0.225  | 0.45   | 0.375 |
| IV  | 0     | 0     | 0      | 0      | 0     |

结果显示,通信延迟属于 I 级标准,响应时间、通信成功率、信道利用率和分组交互率都属于 II 级标准。由表 4 可以得到不确定评价矩阵

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.208 & 0.375 & 0 & 0 \\ 0.15 & 0.081 & 0 & 0 \\ 0.0375 & 0.575 & 0.225 & 0 \\ 0.0875 & 0.5375 & 0.45 & 0 \\ 0.075 & 0.45 & 0.375 & 0 \end{bmatrix}$$

#### (2) 多因素综合评价

利用上文得到的权向量  $W$  和评价矩阵  $\tilde{R}$ ,通过如下计算可以得到多因素综合评价结果。

$$\begin{aligned}\tilde{B} &= W \cdot \tilde{R} \\ &= (\tilde{\omega}_1, \tilde{\omega}_2, \dots, \tilde{\omega}_n) \cdot \begin{bmatrix} \tilde{r}_{11} & \tilde{r}_{12} & \dots & \tilde{r}_{1m} \\ \tilde{r}_{21} & \tilde{r}_{22} & \dots & \tilde{r}_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{r}_{n1} & \tilde{r}_{n2} & \dots & \tilde{r}_{nm} \end{bmatrix} \\ &= (\tilde{\omega}_1, \tilde{\omega}_2, \tilde{\omega}_3, \tilde{\omega}_4, \tilde{\omega}_5) \cdot \begin{bmatrix} 0.208 & 0.375 & 0 & 0 \\ 0.15 & 0.081 & 0 & 0 \\ 0.0375 & 0.575 & 0.225 & 0 \\ 0.0875 & 0.5375 & 0.45 & 0 \\ 0.075 & 0.45 & 0.375 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (\tilde{b}_1, \tilde{b}_2, \tilde{b}_3, \tilde{b}_4)\end{aligned}$$

### 3.3 利用不确定模拟技术和 99 方法计算出 $E[\tilde{b}_i]$ ,得出每一个评语的值

首先使用 99 方法得到  $\tilde{\omega}_1, \tilde{\omega}_2, \tilde{\omega}_3, \tilde{\omega}_4, \tilde{\omega}_5$  的 99 表,如表 5 所列。

表 5  $\tilde{\omega}_1, \tilde{\omega}_2, \tilde{\omega}_3, \tilde{\omega}_4, \tilde{\omega}_5$  的 99 表

|                    | 0.01   | 0.02   | 0.03   | ... | 0.99   |
|--------------------|--------|--------|--------|-----|--------|
| $\tilde{\omega}_1$ | 0.4434 | 0.4468 | 0.4502 | ... | 0.7766 |
| $\tilde{\omega}_2$ | 0.3836 | 0.3872 | 0.3908 | ... | 0.7364 |
| $\tilde{\omega}_3$ | 0.7024 | 0.7048 | 0.7072 | ... | 0.9376 |
| $\tilde{\omega}_4$ | 0.284  | 0.288  | 0.292  | ... | 0.676  |
| $\tilde{\omega}_5$ | 0.204  | 0.208  | 0.212  | ... | 0.596  |

然后根据给定的 Ad-hoc 网络 5 个可信度影响因子的测试集数据,使用不确定模拟技术计算出  $E[\bar{b}_i](i=1,2,3,4)$ , 得到该 Ad-hoc 网络的可信度评判结果为 (0.1531, 0.578, 0.2688, 0)。4 个数中 0.578 最大,可见该 Ad-hoc 网络的可信度等级为 II 级,与实际情况基本一致,但结果以数据的形式量化表示,更加真实、可靠。

**结束语** 本文提出了一种基于不确定理论的 Ad-hoc 网络可信度评判方法,首先采用不确定变量表示各个评判因子的权重系数,增强了各因素权重的合理性;然后通过单因素评价模型对各因素进行评价;最后利用不确定综合评判模型确定整个 Ad-hoc 网络的可信度标准等级,提高了评判的准确性。在今后的工作中,关于 Ad-hoc 网络可信性的定义、信任度影响因子的确定还需要进一步的研究和探讨,在实际应用中不确定变量的选取和权重系数的确定方法也都需要进一步完善,从而提出更加科学的模型和评价方法。

## 参考文献

- [1] Xu Li, Lin Zhi-wei, Ayong Y E. Analysis and counter measure of selfish node problem in mobile Ad hoc network[C]//Proc of the 10th Computer Supported Cooperative Work in Design International Conference, 2006; 1-4
- [2] Li Jing-tao, Jing Yi-nan, Xiao Xiao-chun, et al. A trust model based on similarity-weighted recommendation for P2P environments [J]. Journal of Software, 2007, 18(1): 157-167
- [3] Blaze M, Lacy F J. Decentralized trust management[C]//Proceedings of the 17th Symposium on Security and Privacy. IEEE Computer Society Press, 1996; 164-173
- [4] Blaze M, Feigenbaum J, Keromitis D A. Keynote: trust management for public-key infrastructure[C]//1998 security protocols International Workshop. Springer-Verlag, 1999; 59-63
- [5] Josang A. A logic for uncertain probabilities[J]. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems, 2001, 9(3): 279-211
- [6] Josang A, Kaapskog S J. A metric for trusted systems[M]. Global IT Security. Wien: Austrian Computer Society, 1998; 541-549
- [7] 唐文, 陈钟. 基于模糊集合理论的主观信任管理模型研究[J]. 软件学报, 2003, 14(8): 1401-1408
- [8] 张艳群, 张辰. 基于模糊理论的信任度评估模型[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(3): 532-533
- [9] 王小斌, 矫立峰, 孙延明, 等. 基于模糊模拟的主观信任评价模型研究[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(16): 102-104
- [10] 陈涛, 周学广, 张焕国. 基于模糊理论的 Ad-hoc 网络可信性研究[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(5): 958-960
- [11] Liu B. Theory and Practice of Uncertain Programming(2nd ed) [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2009
- [12] 曾文才. 模糊综合评判失效的分析与对策[J]. 系统工程理论方法应用, 1995, 4(2): 53-59
- [13] 宋世德, 周静芋, 袁志发. 解决模糊综合评判中失效与失效问题的方法[J]. 西北农业大学报, 1996, 24(01): 75-78
- [14] 林衍, 顾恒岳, 盛湘渝, 等. 模糊综合评判误判原因的探讨[J]. 系统工程理论方法应用, 1997, 6(2): 67-70
- [15] 王道勇. 模糊综合评判的失效与消除[J]. 系统工程理论方法应用, 1998, 7(2): 6
- [16] 付强, 王立, 宋艳纷. 对模糊综合评判决策模型的认识和改进[J]. 农机化研究, 2002(2): 27-29
- [17] 谢华, 朱学峰. 模糊综合评判中几种数学模型的比较[J]. 广东自动化与信息工程, 2001, 22(4): 5-7
- [18] 张兴芳, 管恩瑞, 孟广武, 等. 区间值模糊综合评判及其应用[J]. 系统工程理论方法应用, 2001(12): 80-85

(上接第 95 页)

在大数量集下的运算效率和推荐质量也需要进一步评估。

## 参考文献

- [1] 王代琳, 刘亚秋, 王真谛. 基于平均差异度的数字图书馆个性化推荐算法研究[J]. 图书情报工作, 2009, 53(11): 119-122
- [2] 丁会平. 移动数字图书馆内容管理系统的设计与实现[D]. 南京: 南京理工大学, 2004
- [3] Prahalad C K. Beyond CRM; C. K. Prahalad Predicts Customer-Context Is the Next Big Thing[M]. New York: AMACOM, 2004
- [4] Adomavicius G, Tuzhilin A. Toward the Next Generation of Recommendation Systems: A Survey of the State-of-the-Art and Possible Extensions[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2005, 17(6): 734-749
- [5] Shukla V N, Gujani K K A V. Digital Library: Language Centered Research, Test Beds and Applications[EB/OL]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.123.787&rep=rep1&type=pdf>, 2010-08-27
- [6] Mary A K. Book Review: Open Access to Knowledge and Information; Scholarly Literature and Digital Library Initiatives-the South Asian Scenario[J]. Library Management, 2008, 29(8): 811-812
- [7] Lippincott K A. Mobile future for academic libraries [J]. Reference Services Review, 2010, 38(2): 205-213
- [8] Eunice S A, Tedjasaputra A D. Exploring potentials and challenges of mobile ICT for learning in Finland and Indonesia[J]. International Journal of Mobile Learning and Organisation, 2008, 2(2): 103-118
- [9] 张成昱, 方玮, 周虹. 关于移动数字图书馆建设的几点思考[J]. 图书馆建设, 2009, 9(1): 68-71
- [10] 丰江帆, 朱冠宇. 基于 TD-SCDMA 的移动数字图书馆研究[J]. 图书馆学研究, 2009(12): 28-31
- [11] 孙一钢, 王安生. 移动数字图书馆集成服务的体系结构与表现形式[J]. 国家图书馆学报, 2008(3): 51-54
- [12] Sankaranarayanan R, Adomavicius G. Incorporating contextual information in recommendation systems using a multidimensional approach[J]. ACM Transactions on Information Systems, 2005, 11(23): 103-145
- [13] Park H S, Yoo J O, et al. A context-aware music recommendation system using fuzzy bayesian networks with utility theory [C]//International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. 2006; 970-979
- [14] 傅祖芸. 信息论——基础理论与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001
- [15] Delgado J, Ishii N. Memory-based Weighted-majority Prediction for Recommender Systems[C]//Proc. ACM SIGIR '99 Workshop Recommender Systems: Algorithms and Evaluation. 1999; 671-674