

基于加权多属性云的主观信任度量方法

范涛*, 张明清, 刘小虎, 程建

(信息工程大学 密码工程学院, 郑州 450004)

(*通信作者电子邮箱 fantaodyx@163.com)

摘要:针对现有基于云模型的信任度量方法缺乏对信任的多粒度及时效性考虑,提出一种基于加权多属性云的信任度量方法。首先,以多属性信任云对信任度量粒度进行细化,并在实体信任计算中引入时间衰减函数;其次,对信任云的多属性综合与多路径合并得到实体的最终信任云;最后,采用云的相似度比较算法与信任基准云进行比较,得到实体的信任等级。通过网格计算环境下的仿真实验表明,当节点交互100次时,采用加权多属性云的度量方法的交互成功率为80%,比传统方法提升了15%。仿真结果表明,采用加权多属性云的度量方法可以提高信任度量的准确度。

关键词:云模型;信任度量;多属性信任云;时间衰减函数;信任基准云

中图分类号: TP18 **文献标志码:** A

Subjective trust metric based on weighted multi-attribute cloud

FAN Tao*, ZHANG Mingqing, LIU Xiaohu, CHENG Jian

(Institute of Cipher Engineering, Information Engineering University, Zhengzhou Henan 450004, China)

Abstract: The existing trust metrics based on the cloud model lack of the multi-granularity and timeliness consideration. For this reason, a trust metric algorithm based on weighted multi-attribute cloud was proposed. First of all, multi-attribute trust cloud on trust metric was used to refine the grain size, and time decay function was introduced in the entity trust computing; second, multi-attribute comprehensive and multi-path merge was used to get entity ultimate trust cloud. Finally, the trust level of the entity was obtained by comparison with basis trust cloud using cloud similarity comparison algorithm. The simulation results under grid computing environment show that when the node interaction reached 100 times, the interaction success rate of weighted multi-attribute cloud metric was 80%, significantly higher than 65% of the traditional method. The simulation results show that the cloud using the weighted multi-attribute trust cloud metric measurement method can improve the accuracy of trust metric.

Key words: cloud model; trust metric; multi-attribute trust cloud; time decay function; basis trust cloud

0 引言

随着计算机网络的迅速发展,以网格计算、普适计算、P2P技术、Ad Hoc等为代表的大规模分布式应用相继出现,成为了网络应用的研究热点^[1]。分布式系统开放、动态、异构和广域分布的特征,导致系统存在随机性、模糊性等不确定因素^[2-3],使得单纯基于授权和认证的安全机制已不能满足系统的安全需求。因而有学者将信任机制引入计算机系统,为分布式网络应用的安全提供了新的思路,但是目前对于信任的研究存在许多问题需要解决^[4]。

主观信任^[5]是主体对客体特定行为的主观可能性预期,取决于经验并随着客体行为的结果而不断修正。其反映了主观信任的模糊性和随机性,如何对信任的模糊性与随机性进行合适的度量是信任研究的重点。

近年来,国内外众多学者对信任的度量进行了深入研究,并取得了一定的成果。Vivekananth^[6]提出了一个基于经验和概率的信任度量方法;Josang等^[7]提出了基于主观逻辑的信任度量方法;Ehab^[8]采用隐马尔可夫链对信任的随机性进行度量;廖俊等^[9]提出了基于模糊逻辑的主观信任度量方法;

王良民等^[10]提出一种基于信任—信心的二无组模糊信任度量方法;但以上方法都只是从模糊性与随机性的某一方面对信任进行度量。王守信等^[11]提出一种基于云模型的主观信任度量方法,设计一种信任变化云刻画信任客体的信用度变化情况,并通过主观信任云的期望和超熵对客体信任进行度量,较好地将信任的模糊性与随机性结合在一起,但模型存在粒度粗糙的问题。蔡红云等^[12]提出一种基于多维信任云的信任模型,对传统一维信任云的维度进行扩展,通过多维信任云来对实体信任进行度量,增加了度量的精度,但对基于多维信任云的可信实体信任评定没有考虑;顾鑫等^[13]通过对当前典型的可信云研究的分析,指出初始值缺乏多粒度和对信任时效性考虑不足是目前基于云模型的信任度量中存在的主要问题。

本文针对现有信任度量中存在的度量粒度粗糙及对信任时效性缺乏考虑的问题,提出基于加权多属性信任云的信任度量方法,从实体的多个属性进行考虑,来对实体的信任值进行综合评定,细化信任的度量粒度,并引入时间衰减函数来反映信任的时效性——时间越早的信任评定记录所占比重越小。最后,通过云的相似度比较算法将得到的实体信任云与

收稿日期:2013-05-13;修回日期:2013-07-06。

作者简介:范涛(1990-),男,安徽安庆人,硕士研究生,主要研究方向:网络安全建模与仿真;张明清(1961-),男,湖北武汉人,副教授,主要研究方向:系统建模与仿真;刘小虎(1989-),男,河南太康人,硕士研究生,主要研究方向:网络安全建模与仿真;程建(1990-),男,河南安阳人,硕士研究生,主要研究方向:网络安全建模与仿真。

信任基准云进行比较,得出实体的信任等级,为分布式系统信任的进一步研究提供数据支持。

1 相关知识

1.1 信任

目前对于信任没有统一的定义,接受较多的是 Gambetta 对信任的定义:信任是主体对客体特定行为的主观可能性预期,取决于经验并随着客体行为的结果变化而不断修正。

由以上定义,可以得到信任的如下性质:

- 1) 主观性。不同的主体对客体的看法会随着自身状态的不同而不同,即 A 和 B 对 C 的信任评价不一定相同。
- 2) 非对称性。信任一般不具有对称性,即 A 信任 B 不代表 B 信任 A 。
- 3) 有条件传递性。传递性在一定条件下满足,如 A 信任 B , B 信任 C , A 信任 C 只有在 A 同时相信 B 作为一个推荐者时成立,且 A 对 C 的信任程度也可能与 B 对 C 的信任程度不同。
- 4) 时间变化性。信任是随着时间积累和实体行为变化而不断动态变化的过程,而且近期的信任评价一般比早期的信任评价更具可靠性。
- 5) 上下文相关性。信任是与上下文紧密相关的。
- 6) 信任可度量性。信任是主体对客体的相信程度的度量,往往具有一定的等级,信任等级可以是离散的,也可以是连续的。

对于客体信任的搜集、计算和决策过程如图 1 所示。

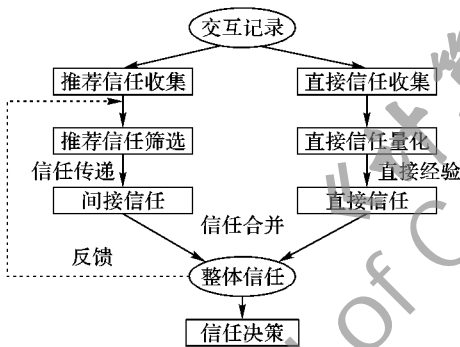


图 1 基于信任的决策过程

分布式系统中的信任信息主要有直接信任和推荐信任两种^[14]。直接信任来自于主体与客体的直接交互记录,推荐信任则来自于环境中第三方对客体的推荐。在获得直接信任和推荐信任后对两种信任分别计算可得到实体的直接信任值和间接信任值,通过两种信任值的综合,得到客体的综合信任值,以此作为主体的决策依据。

1.2 云模型

设 U 是一个用精确数值表示的定量论域, C 是 U 上的定性概念,对于论域中的任意一个元素 x ,且 x 是定性概念 C 的一次随机实现, x 对 C 的确定度 $\mu(x) \in [0,1]$ 是有稳定倾向的随机数, $\mu: U \rightarrow [0,1], \forall x \in U, x \rightarrow \mu(x)$, 则 x 在论域 U 上的分布则称为云,每一个 x 称为一个云滴^[15]。

云模型通过期望 Ex , 熵 En 和超熵 He 来描述概念的不确定性,它们反映了定性概念的定量特征,其数字特征如图 2 所示。

期望 Ex 论域空间中最能代表这个定性概念的点,即最能反映概念值的点。

熵 En 代表定性概念的可度量粒度,熵越大粒度越大;

同时,熵还表示在论域空间可以被定性概念接受的取值范围,即模糊度,是定性概念亦此亦彼性的度量。

超熵 He 表示不确定性状态变化的度量,即熵的熵,由熵的模糊性和随机性共同决定,反映代表定性概念样本出现的随机性,用以提示模糊性和随机性之间的关联。

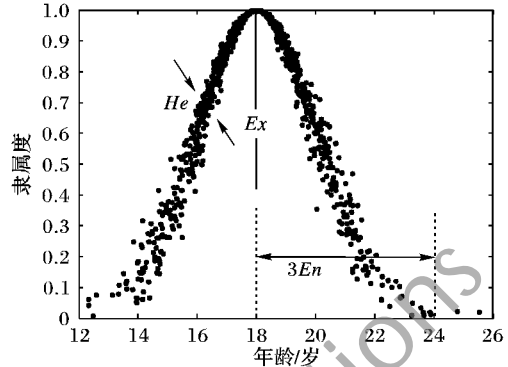


图 2 云的数字特征

2 基于云模型的信任度量

2.1 基于云模型的信任度量整体思路

针对当前复杂的分布式网络应用环境中信任的度量问题,对传统信任云理论进行深入分析,结合信任的特性,对评价客体的信任值进行全面度量,计算出实体信任值,客观地反映出分布式网络应用中信任的模糊性和随机性,为分布式网络应用提供一种柔性的安全度量机制。具体过程如图 3 所示。

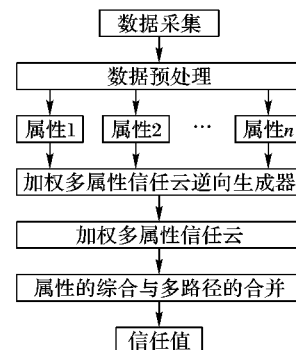


图 3 基于云模型的信任度量流程

1) 根据信任评价的需求,收集被评实体各属性的信任评价价值,然后对收集到的数据进行预处理。

2) 将处理过的数据作为逆向云生成器的输入,生成加权多属性信任云。

3) 对加权多属性信任云的属性进行综合,并对直接信任和推荐信任进行合并。

4) 通过综合与合并的结果对实体的信任度进行评估,得出实体的最终信任值。

2.2 相关定义

定义 1 信任云。定量数域 $T = [0,1]$ 是信任 C 的论域, $x \in T$ 是主体对客体的一次定量信任评价, x 有一个稳定倾向的随机确定度 $\mu(x)$ 与之对应, $\mu: T \rightarrow [0,1], \forall x \in T, x \rightarrow \mu(x)$, x 在数域 T 上的分布称为信任云,每一次信任评价 x 称为一个云滴。

定义 2 多属性信任云。定量多维数域 $T = [0,1]^m$ 是信任 C 的论域, $x \in T$ 是主体对客体的一次定量信任评价,其中 $x(i)$ 是对客体第 i 个属性的评价, $c(i)$ 是第 i 个属性的信任,

$x(i)$ 对 $c(i)$ 的确定度 $\mu(x(i)) \in [0, 1]$ 是具有稳定倾向的随机数, $\mu: T \rightarrow [0, 1]^m, \forall x \in T, x \rightarrow \mu(x)$, 则 x 在论域 T 上的分布称为多属性信任云, 每一次信任评价 x 称为一个云滴。

2.3 信任云逆向生成器设计

2.3.1 时间衰减函数

在分布式系统的实体评价中, 实体的信任值随着时间的变化而不断更新, 越是近期的交互评价对实体的信任值影响越大。基于此种考虑, 在进行信任云逆向生成器设计中引入时间衰减函数 Ψ , 体现信任的时效性。

信任的时间衰减模型可以用一个四元组来描述:

$$TM = \langle E, t_a, t_b, \psi \rangle$$

① $E = [e_1, e_2, \dots, e_n]$ 是对客体的信任评价历史记录, $T(e_i)$ 代表实体第 i 次的信任评价时刻。

② t_a 为评价主体对客体的信任决策时刻, t_b 为信任评价的有效性时间阈值, 即在 t_b 之前的评价记录视为无效。

③ 时间衰减函数 ψ , 反映了评价记录随时间的衰减特性。

$[t_1, t_2, \dots, t_n]$ 是 t_a 和 t_b 间的 n 个有序时间集合, 其中:

$t_a = t_1, t_b = t_n$, 对任一 $t_i, d_i = t_i - t_1$ 为 t_i 到信任决策时刻 t_1 的时间距离, 且满足条件:

$$\forall d_i (1 \leq i \leq n) \rightarrow d_i \leq t_n - t_1$$

$$\forall d_i, d_j (1 \leq i \leq j \leq n) \rightarrow d_i < d_j$$

则在时间窗 d_i 中的客体历史评价记录的时间衰减函数计算公式为:

$$\psi(i) = \delta^{1-i/n}; \quad 0 < \delta < 1$$

其中 δ 为时间影响因子, 与对服务评价的时效性要求的大小有关。

2.3.2 加权多属性逆向云生成算法

在进行信任历史评价数据的搜集及预处理后, 将处理过的数据输入逆向云生成器, 生成多属性信任云的数字特征。

算法 加权多属性逆向云生成器。

输入 N 个云滴 $X_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}), i = 1, 2, \dots, N$ 。

输出 多属性信任云的数字特征 $TC[(Ex_1, Ex_2, \dots, Ex_m), (En_1, En_2, \dots, En_m), (He_1, He_2, \dots, He_m)]$ 。

① 云的期望 Ex :

$$Ex_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi(i) x_{i1}$$

$$Ex_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi(i) x_{i2}$$

⋮

$$Ex_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi(i) x_{mi}$$

② 云的熵 En :

$$En_1 = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi(i) |x_{i1} - Ex_1|$$

$$En_2 = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi(i) |x_{i2} - Ex_2|$$

⋮

$$En_m = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi(i) |x_{mi} - Ex_m|$$

③ 云的超熵 He :

$$He_1 = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \psi(i) (x_{i1} - Ex_1)^2 - En_1^2}$$

$$He_2 = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \psi(i) (x_{i2} - Ex_2)^2 - En_2^2}$$

⋮

$$He_m = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \psi(i) (x_{mi} - Ex_m)^2 - En_m^2}$$

加权多属性逆向云生成器中, 综合考虑了评价客体的多属性, 能为实体信任的多角度决策提供支持。同时, 在生成云的数字特征中考虑了各评价记录的时间权重, 使得越是近期的评价记录在信任决策中影响越大, 是对实际情况的真实反映。

2.4 信任云多属性综合与多路径合并

2.4.1 多属性综合

客体的各项评价记录经过加权多属性逆向云生成器生成各属性云的数字特征, 由于客体的各项属性重要性不同, 要对客体进行总的信任度量, 还需预先指定各属性的权重, 再进行属性的综合, 最终得到客体的信任综合云。

根据预先指定的各属性权重和多属性信任云的数字特征, 对客体的 m 个属性信任综合云计算如下:

$$TC(Ex, En, He) = TC_1(Ex_1, En_1, He_1) \oplus TC_2(Ex_2, En_2, He_2) \oplus \dots \oplus TC_m(Ex_m, En_m, He_m)$$

$$Ex = \sum_{i=1}^m w_i \times Ex_i$$

$$En = \sqrt{\sum_{i=1}^m w_i \times En_i^2}$$

$$He = \sum_{i=1}^m w_i \times He_i$$

其中: \oplus 为逻辑加, 表示各属性云的综合; w_i 是客体第 i 项属性的权重, 且满足 $\sum_{i=1}^m w_i = 1$ 。

2.4.2 多路径合并

信任信息的来源有直接信任和推荐信任两种, 由直接信任信息产生的云称为直接信任云 $TC_B(Ex, En, He)$, 间接信任信息产生的云称为推荐信任云 $TC_D(Ex, En, He)$, 对直接信任云和推荐信任云的合成计算叫作信任云的合并。

$$TC_A(Ex, En, He) = TC_B(Ex, En, He) + TC_D(Ex, En, He)$$

2.5 信任云等级评定

信任是一种主观概念, 在人们的认识中, 信任值为 0.9 和 0.95 都表示实体是非常可信的, 并无实质差别。所以在信任的度量中, 进行精确的数值描述是无意义的。本文中, 根据认识的普遍性将实体的可信度分为不可信、低可信、一般可信、高可信、完全可信五级, 与五个信任等级对应则为五级信任基准云, 如表 1 所示。

表 1 信任云等级描述

信任基准云级别	可信度	定量值	信任基准云级别	可信度	定量值
1	不可信	0	4	高可信	0.75
2	低可信	0.25	5	完全可信	1
3	一般可信	0.50			

在得到客体信任云的三个数字特征后, 要通过与信任基准云的相似度比较来对客体的信任等级进行评定。

定义 3 T_1 为待评价信任云, T_2 为信任基准云, 由正向云发生器生成 T_1 的 N 个云滴 $(x_i, \mu_i), i = 1, 2, \dots, N, x_i$ 在 T_2 中的隶属度为 μ_i' , 则 $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mu_i'$ 称为云 T_1 与 T_2 的相似度, 记为 φ 。

云的相似度比较算法步骤如下:

输入 基准云与比较云的特征参数 $T_1[Ex_1, En_1, He_1]$, $T_2[Ex_2, En_2, He_2]$ 。

输出 两个云的相似度 φ 。

1) 以 En_1 为期望, He_1 为方差, 生成正态随机数 $En_1' = NR(En_1, He_1)$;

2) 以 Ex_1 为期望, En_1' 为方差, 生成正态随机数 $x_i = NR(Ex_1, En_1')$;

3) 将 x_i 代入比较云 T_2 的确定度方程 $\mu_i' = e^{-\frac{(x_i - Ex_2)^2}{2(En_2)^2}}$;

4) 重复 1) ~ 3), 直至生成 N 个 μ_i' ;

5) 则两个云的相似度 $\varphi = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mu_i'$ 。

3 仿真实验与分析

基于 Matlab 仿真平台模拟了一个包含 100 个网络节点的分布式网格计算环境, 其中存在恶意与诚实两种节点, 每个节点都力求获得最大利益, 所以每个节点与其他节点合作之前计算其信任值, 符合信任要求则与之合作; 否则拒绝合作。以下是实验的具体参数设置。

本实验环境包括 20 个恶意节点和 80 个诚实节点, 每个节点进行 100 次的交互, 每次交互对象随机选取, 提供服务的等级分为不满意、较不满意、较满意、很满意、满意, 分别对应于信任基准云的五级。诚实节点提供很满意、满意服务的概率各为 40%, 较满意服务 10%, 其他两种服务各 5%。恶意节点提供很满意、满意服务概率各 10%, 其他三种服务概率各 20%。服务好坏从服务质量、服务速率、服务成本三种指标进行评定, 其指标权重根据具体应用需求进行指定, 本实验中定为 0.5, 0.3, 0.2, 时间影响因子 $\delta = 0.7$ 。

为简化分析, 模型中以服务的先后次序作为服务的时间, 即第一次服务记录时间记为 1, 随后的服务记录时间依次加 1, 实体评价结果在很满意及以上的才选择与之交互。

3.1 实体信任值仿真

在 100 个节点中选取一节点 B , 通过其 100 次交互记录对其信任值进行度量。

仿真实验步骤如下:

1) 搜集 B 的历史评价记录, 利用加权逆向云生成算法生成 B 的多属性信任云。

2) 对 B 的多属性信任云进行综合与合并后得到 B 的最终信任云 $T_B = [0.69, 0.15, 0.03]$ 。

3) 根据五级信任基准云的范围, 设置基准云的特征参数。不可信云 $TC_1 = [0, 0.1, 0.02]$, 低可信云 $TC_2 = [0.25, 0.1, 0.02]$, 一般可信云 $TC_3 = [0.5, 0.1, 0.02]$, 高可信云 $TC_4 = [0.75, 0.1, 0.02]$, 完全可信云 $TC_5 = [1, 0.1, 0.02]$, 由正向云生成算法生成五级信任基准云。

4) 通过云的相似度比较算法, 得到 T_B 与五个信任基准云的相似度如表 2 所示, T_B 与信任基准云的比较云图如图 4 所示。

表 2 T_B 与信任云的相似度

信任基准云	与 T_B 相似度	信任基准云	与 T_B 相似度
不可信云	0.002	高可信云	0.723
低可信云	0.046	完全可信云	0.149
一般可信云	0.258		

由表 2 和图 4 的仿真结果可以看出, T_B 与高可信云的相

似度最高, 所以实体 B 的信任等级评定为高可信。仿真结果与实体 B 所提供服务一致。

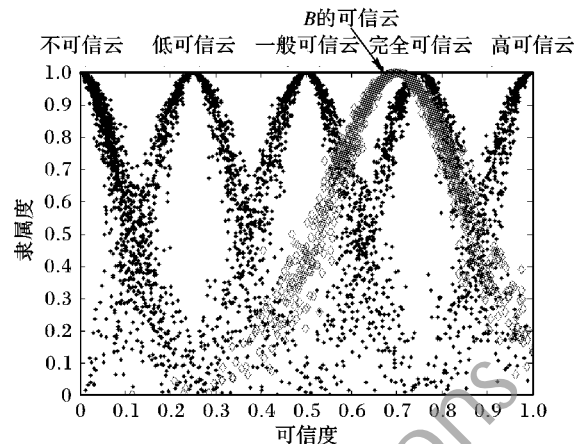


图 4 T_B 与信任基准云的相似度比较

3.2 交互成功率仿真

交互成功率是在所有交互次数中成功交互次数所占的比例, 是信任模型好坏的一个重要参考依据, 交互成功率 = 成功交互次数 / 交互总次数。本次实验共 100 个节点, 共完成 100 次交互, 其中恶意节点占 20%, 实验共进行两轮, 传统单粒度、不考虑时间衰减情况下的信任度量方法与本文方法, 仿真结果如图 5 所示。

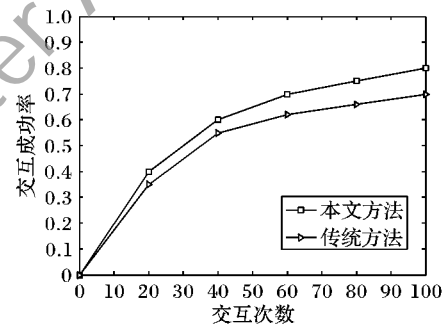


图 5 两种方法下的交互成功率

由图 5 可见, 当交互次数为 100 时, 采用本文的度量方法交互成功率为 80%, 而传统方法为 65%, 本文方法明显优于传统方法, 并且随着交互次数的增加, 交互成功率增加更明显, 表明本文所提方法比传统方法有更高的信任度量精度。

4 结语

主观信任的模糊性与随机性特点, 使得其度量问题成为信任研究中的重点和难点。而云模型能很好地将模糊性与随机性结合在一起, 实现定性概念到定量值之间的转换。本文在传统信任云的基础上, 对主观信任的度量粒度进行了细化, 并考虑了信任的时效性问题, 使得该度量方法能够更加真实地反映出分布式系统中实体间信任的特征, 为分布式系统信任问题的进一步研究提供了数据支持。

参考文献:

[1] 李勇军, 代亚非. 对等网络信任机制研究[J]. 计算机学报, 2010, 40(2): 422 - 431.
 [2] 马彬, 谢显中. 无线传感器网络云信任模型[J]. 计算机科学, 2010, 37(3): 128 - 132.
 [3] 张仕斌, 陈麟, 王一川. 一种基于模糊推理的主观信任评价模型[J]. 仪器与仪表学报, 2009, 30(S1): 658 - 660.

表 1 基于双耳时间差的方位估计

实验次数	ITD 值/ μs	估计方位/ $(^\circ)$	实际方位/ $(^\circ)$	噪声方位/ $(^\circ)$	方位误差/ $(^\circ)$
1	315.50	33.090	40	20	6.910
2	92.60	11.280	20	0	8.720
3	-85.99	-5.129	-10	10	4.871
4	-174.20	-13.290	-20	0	6.710
5	-390.30	-34.720	-40	-20	5.280

表 2 基于改进的双耳时间差的方位估计

实验次数	ITD 值/ μs	估计方位/ $(^\circ)$	实际方位/ $(^\circ)$	噪声方位/ $(^\circ)$	方位误差/ $(^\circ)$
1	372.6	39.390	40	20	0.610
2	172.4	18.810	20	0	1.190
3	-130.1	-9.191	-10	10	0.809
4	-213.9	-17.030	-20	0	2.970
5	-429.9	-39.090	-40	-20	0.910

由此证明,经过耳蜗核模型改进的声源定位系统比传统的声源定位系统在噪声环境下具有更好的鲁棒性,在噪声环境下实现更精确的定位。

4 结语

由实验可知,本文提出的利用耳蜗核模型改进传统的双耳时间差声源定位系统具有较好的鲁棒性,在噪声环境下具有较好的定位精度,有助于语音定位在噪声环境下的应用。

随着对听觉系统研究的不断深入,人们对中枢神经系统的复杂机制将有更加深入的了解。利用细胞模型模拟这些机制,建立一个更加完整的听觉定位系统,实现在多声源环境下的精确定位,有助于噪声环境下的语音系统识别率的提高,战场目标的精确锁定等。

参考文献:

- [1] LUO Y, TONG K G, ZHANG Y, *et al.* Sound source separation in a multi-voice environment based on auditory central nervous system [J]. *International Journal of Information Engineering*, 2012, 2(1): 47-53.
- [2] MAY T, van de PAR S, KOHLRAUSCH A. A probabilistic model for robust localization based on a binaural auditory front-end [J]. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 2011, 19(1): 1-13.
- [3] 张文娟. 基于听觉仿生的目标声音识别系统研究[D]. 长春: 中

国科学院研究生院长春光学精密机械与物理研究所, 2012.

- [4] LIU J D, HARRY E, STEFAN W. Mobile robot broadband sound localisation using a biologically inspired spiking neural network [C]// *Proceedings of the 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. Piscataway: IEEE Press, 2008: 2191-2196.
- [5] 周成. 人耳声源定位与编码技术研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2011.
- [6] 李冰, 夏秀渝, 申庆超, 等. 基于过零点双耳时间差的运动声源定位[J]. *计算机工程与应用*, 2012, 48(9): 127-130.
- [7] MAGNUS S, MOHAMMAD B, PRTER V. Improved binaural model for localization of multiple sources [C]// *Proceedings of 10th ITC Conference on Speech Communication*. Braunschweig: VDE Verlag, 2012: 26-28
- [8] CECILIA M Z, RAFFAELE P, AURELIO U. Binaural sound source location in the presence of reverberation [C]// *Proceedings of the 17th International Conference on Digital Signal Processing*. Piscataway: IEEE Press, 2011: 1-6.
- [9] WOODRUFF J, WANG D L. Binaural localization of multiple sources in reverberant and noisy environments [J]. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 2012, 20(5): 1503-1512.
- [10] 匡神兵. 听觉系统声源定位神经通路信息处理特性研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.
- [11] 陈世雄, 官琴, 金慧君. 用 Gammatone 滤波器组仿真人耳基底膜的特性[J]. *清华大学学报: 自然科学版*, 2008, 48(6): 1044-1048.
- [12] 成彬彬, 张海. 听觉系统内毛细胞 Meddis 模型的分析与仿真 [C]// *2008 系统仿真技术及其应用学术会议论文集*. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008: 234-239.
- [13] 赵祥辉, 龙长才. 内毛细胞到听神经信号转换中的随机共振 [C]// *中国声学学会 2006 年全国声学学术会议论文集*. 厦门: 中国声学学会, 2006: 405-406.
- [14] CHUN G D, CAUDELL T P. A model for auditory localization in robotic systems based on the neurobiology of the inferior colliculus and analysis of HRTF data [C]// *IJCNN'01: Proceedings of the 2001 International Joint Conference on Neural Networks*. Piscataway: IEEE Press, 2001: 1107-1111.
- [15] VOUSAS K, ADAMY J. A biologically inspired spiking neural network for sound source lateralization [J]. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 2007, 18(6): 1785-1799.

(上接第 3231 页)

- [4] 杨柳, 吕英华. 基于云模型的网络风险评估技术研究[J]. *计算机仿真*, 2010, 27(10): 95-98.
- [5] GAMBETTA D. Can we trust trust?[M]// *Trust: making and breaking cooperative relations*. New York: Oxford Press, 1990: 213-237.
- [6] VIVEKANANTH P. Reputation based trust model for grid with enhanced reliability [C]// *Proceedings of the 2011 International Conference on Computers and Computing*. Stevens Point, Wisconsin: World Scientific and Engineering Academy and Society, 2011: 1-11.
- [7] JOSANG A, PRESTI S. Analyzing the relationship between risk and trust [C]// *iTrust04: Proceedings of the Second International Conference on Trust Management*. Berlin: Springer-Verlag, 2004: 279-311.
- [8] EHAB E. Probabilistic trust models in network security [D]. South-

ampton: University of Southampton, 2011.

- [9] 廖俊, 张宏, 蒋黎明, 等. 基于直觉模糊理论的 MANET 主观信任模型[J]. *南京航空航天大学学报*, 2011, 43(4): 538-543.
- [10] 王良民, 郭渊博, 詹永照. 容忍入侵的无线传感器网络模糊信任评估模型[J]. *通信学报*, 2010, 31(12): 37-44.
- [11] 王守信, 张莉, 李鹤松. 一种基于云模型的主观信任评价方法[J]. *软件学报*, 2010, 21(6): 1341-1352.
- [12] 蔡红云, 杜瑞忠, 田俊峰. 基于多维信任云的信任模型研究[J]. *计算机应用*, 2012, 32(1): 5-7.
- [13] 顾鑫, 徐正全, 刘进. 基于云理论的可信研究及展望[J]. *通信学报*, 2011, 32(7): 172-181.
- [14] 贺利坚, 黄厚宽. MAS 中信任和信誉系统的研究进展[J]. *计算机科学*, 2011, 38(4): 1-8.
- [15] 李德毅. 不确定性人工智能[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 171-177.