

基于云模型的军事航空通信频谱共享信任机制研究

徐雪飞¹ 李建华¹ 杨迎辉¹ 郭 蓉²

(空军工程大学信息与导航学院 西安 710077)¹ (中国人民解放军 95983 部队 酒泉 735018)²

摘 要 针对军事航空通信频谱共享的特殊性,提出一种基于云模型的频谱共享信任机制。通过对信任的相关理论进行研究,引入云模型理论,构建了基于云模型的频谱共享信任体系结构,确立了频谱共享信任体系中的信任交互关系。运用云模型进行信任评价,实现了将频谱共享中模糊定性的信任属性向精确量化的信任等级的转换,较好地解决了频谱共享信任关系建立等系列问题。设计了信任评价实验,验证了信任评价模型的有效性和实用性,为基于信任机制的频谱共享策略实施提供了有效的支撑。

关键词 频谱共享,云模型,信任机制,信任评价,信任属性,信任等级

中图分类号 TP929.5,TP393.08 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.9.033

Military Aeronautical Communication Spectrum Sharing Trust Mechanism Based on Cloud Model

XU Xue-fei¹ LI Jian-hua¹ YANG Ying-hui¹ GUO Rong²

(College of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)¹

(Unit 95983 of PLA, Jiuquan 735018, China)²

Abstract In response to the particularity of military aeronautical communication spectrum sharing, a spectrum sharing trust mechanism based on cloud model was proposed. By the use of trust relevant theories and the introduction of the cloud model theory, a system framework of spectrum sharing based on the cloud model theory was constructed, and the mutual relationship of spectrum sharing system was confirmed. The clear idea and concrete method of trust evaluation based on the cloud model was proposed at last. The trust evaluation approach can implement the conversion from the fuzzy qualitative trust attributes to the precise quantification trust levels, which could resolve the series problems effectively during the establishment of spectrum sharing trust relationships. The trust evaluation experimentation was designed. The result show that the trust evaluation model is of validity and practicability, which provide the effective support of spectrum sharing strategy based on the trust mechanism.

Keywords Spectrum sharing, Cloud model, Trust mechanism, Trust evaluation, Trust attribute, Trust level

频谱共享(Spectrum Sharing, SS)是认知无线电频谱管理的研究重点。频谱共享通过主用户(Primary User, PU)与认知用户(Secondary User, SU)之间的频谱交易完成。现阶段,频谱交易的方式主要依赖于频谱价格函数的主导^[1-3]。此类频谱共享将频谱带宽以合适的价格出售给SU, SU通过相互之间的竞争和拍卖得到所需的带宽,其中价格函数作为频谱交易的中介,充当了交易货币的角色。在军事航空通信频谱共享过程中,价格竞拍的频谱共享方式却不够合理:由于军事航空通信用户的重要性不遵循市场经济的普遍价值规律,因此依靠价格竞拍去解决频谱共享问题不仅不能有效提高频谱利用效率,甚至会引发战场频谱管控的失调。为此,借鉴社会学、经济学以及互联网等领域提出的信任交易方法论,将信任机制引入军事航空通信频谱共享领域,通过建立用户之间的信任关系将频谱共享演绎为一个更加宽泛的研究范畴。

关于信任机制的研究虽比较广泛,但仍比较零散。早期关于信任的研究主要集中于心理学领域,其中,文献[4,5]对

囚徒困境进行了实验研究,为从心理学的角度研究信任机制开创了先河。此后,信任机制在心理学领域的研究愈发广泛^[6-8]。但是,其他领域关于信任机制的研究一直进展缓慢,直至近些年互联网技术的蓬勃发展才使其重新被学术界所重视。其中,文献[9]针对对等网络信任机制展开研究,通过让交易参与方在交易完成后相互评价,得出交易方的信任度,较好地作为对等网络中的交易提供参考。文献[10]面对物联网环境中的信任机制,分离了异构环境中主体的不同信任需求,提出一种可验证的缓存交互摘要方案,并构建了层次化的信任架构,通过实验验证了所提方案的优越性以及信任架构的良好收敛性。文献[11]针对P2P环境下的电子商务应用领域,提出一种新的基于声誉的信任机制,详细设计了局部声誉、评价可信度、全局声誉以及节点信任度的计算方法,较好地反映了节点的服务质量和评价质量。文献[12]提出一种新的分布式信任机制,其根据节点间的交易历史,动态计算每个节点的买卖全局信誉值,从而减小恶意节点被选为交易对象的概率。

到稿日期:2015-07-10 返修日期:2015-10-14 本文受国家自然科学基金(12GJ003-130),全军军事学研究生资助课题资助。

徐雪飞(1986—),男,博士生,主要研究方向为频谱管理与应用,E-mail:xxf19861128@sina.com;李建华(1965—),男,博士,教授,主要研究方向为空天信息系统规划与建设;杨迎辉(1988—),男,博士生,主要研究方向为空天信息系统规划与建设;郭蓉(1990—),女,硕士,助理工程师,主要研究方向为电磁场与微波技术。

但是,上述信任机制存在一个普遍现状,即没有充分考虑如何度量定性化的信任问题,尤其是针对一些难以量化的信任问题,处理的方法较为主观,结论也偏定性。因此,基于云理论的信任机制研究被提出,文献[13]针对复杂网络环境中的信任机制等问题,提出基于云模型的信任评估方法,其客观地反映了信任的特性,有效解决了信用炒作和欺骗行为。文献[14]提出了一种基于云模型的主观信任量化评价方法,设计了一种信任变化云来刻画信任客体信用度的变化情况,其能较好地支撑信任主体的主观信任决策过程。文献[15]对基于云理论的可信模型的基本原理、实现方法、经典改进以及问题进行综述,分析了可信云模型的实现机理,并提出了云模型的未来发展方向。基于此,本文针对军事航空通信频谱共享问题,提出一种基于云模型的信任机制。对频谱共享信任与欺诈进行定义,对影响频谱共享信用机制的因素进行分析,在此基础上构建了基于云模型的信任评价体系结构,最后通过实验验证了机制的有效性和实用性。

1 信任基本理论

1.1 信任概念

信任(Trust)涉及的学科领域庞杂,很难通过一种较精准的语言和较便捷的方式对其进行全面论释。信任的概念按照学科领域划分可分为社会心理学、社会学、经济学3类^[16]。其中,社会心理学主要从个人或群体的角度,以对事件的可靠性期望或者后果为目标,以求获得相互之间的期望行为。社会学则主要从社会交往的角度,通过对社会中人际关系的理性计算,做出对情感关联的选择。经济学则依托于现阶段的互联网技术,着重从网络环境下的经济交易的角度,运用经济学基本原理对经济交易双方进行约束,从而维护经济市场中交易双方的公平性和平衡性。上述3类关于信任概念的论述只是众多论述中的有限个例,这些概念既存在共性,又存在个性。为此,基于上述对信任的定义,结合军事航空通信频谱共享基本条件和场景,对频谱共享信任的概念族定义如下。

定义1(频谱共享信任, Spectrum Sharing Trust, SS_T) 是指在频谱共享过程中,主用户、认知用户以及相互之间为了共同协调使用有限频谱资源而建立的相互关系的集合。具体可表示为以下多元组:

$$SS_T = (R_{honesty}, R_{security}, R_{reliability}, R_{competence}) \quad (1)$$

其中, $R_{honesty}$ 表示诚实性的关系, $R_{security}$ 表示安全性的关系, $R_{reliability}$ 表示可靠性的关系, $R_{competence}$ 表示实力性的关系。

定义2(频谱共享可信度, Spectrum Sharing Trust Value, SS_TV) 是指信任关系的双方对于信任程度的定量化表示。在频谱共享中,一个用户的可信度一方面来自于局部用户之间的信任程度,另一方面来自于全部用户之间的信任程度。具体可表示为:

$$SS_TV = \alpha TV_{local} + \beta TV_{global} \quad (2)$$

其中, TV_{local} 表示局部可信度; TV_{global} 表示全局可信度; α 和 β 为置信因子,表示对信任的重视程度,且 $0 \leq \alpha, \beta \leq 1$ 。

定义3(频谱共享局部信任度, Spectrum Sharing Local Trust Value, SS_LTV) 是指用户在一定时间内,对直接交互关系建立的信任关系的度量。局部可信度具有时间指向性,即局部可信度是针对于某一时间段内的可信度的累计。如果没有时间限制,局部信任度就没有任何参考意义。具体可表示为以下多元组:

$$SS_LTV ::= \langle SS_time, SS_band, SS_rate \rangle \quad (3)$$

其中, SS_time 表示频谱共享的累计时间, SS_band 表示频谱共享的带宽, SS_rate 表示频谱共享的效果评价。根据频谱共享基本原理,上述3类影响因素 SS_time , SS_band 和 SS_rate 与 T_{local} 成正相关关系,即影响因素越大,频谱共享 T_{local} 亦越大。

定义4(频谱共享全局信任度, Spectrum Sharing Global Trust Value, SS_GTV) 指用户在频谱共享的全过程中对所有交互关系建立的信任关系的度量,包括各种直接交互关系和间接交互关系。 SS_GTV 可以通过对 SS_LTV 在时间维的累积进行计算。具体可表示为以下多元组:

$$SS_GTV = \sum_{t=0}^T SS_LTV' \quad (4)$$

其中, t 表示频谱共享累积的时间, SS_LTV' 表示频谱共享局部信任度的修正值。由于 SS_GTV 涉及的共享范畴较 SS_LTV 更广泛,且受到的影响因素更加复杂,因此对 SS_LTV 进行修正,具体可表示为以下多元组:

$$SS_LTV' ::= \langle SS_time, SS_band, SS_rate, SS_relation \rangle \quad (5)$$

其中, $SS_relation$ 表示影响因素之间的相互关系。

定义5(频谱共享信任机制, Spectrum Sharing Trust Mechanism, SS_TM) 是指在形成信任关系的过程中,影响信任关系的各类影响因素之间相互联系、相互作用、相互调节的方法和方式。信任机制的建立是信任关系的具体化和实践化,信任机制通过构建信任模型进行表现。

定义6(频谱共享欺诈, Spectrum Sharing Fraud, SS_F) 是指在频谱共享过程中,由于用户单纯地从个体角度出发以及本身功能属性的欠缺,为了追求自身效益的最大化而进行的一切不符合频谱共享基本原则和规律的用频行为。如 PU 对申请带宽 SU 的不恰当拒绝; SU 申请超过实际需求的带宽、时间以及各类资源等。

1.2 信任关系分析

根据信任基本概念的来源,信任可以分为基于服务提供信任、资源访问信任、代理信任、证书信任、架构信任等^[17]。军事航空通信频谱共享信任是建立于频谱共享关系之上的信任行为。根据用户之间的频谱共享关系,将频谱共享信任分为直接信任和间接信任。

定义7(频谱共享直接信任, Spectrum Sharing Direct Trust, SS_DT) 是指用户之间通过直接的频谱共享关系而建立的信任关系。其中, PU 与 PU 或 PU 与 SU 之间通过频谱的直接共享关系构成直接信任关系。如图1中, PU_1, PU_2 和 PU_m 之间共同使用宏观的频谱资源,其之间属于直接信任关系; $SU_1, SU_2 \dots SU_n$ 之间共同使用 PU_1 的频谱资源,其之间也属于直接信任关系。

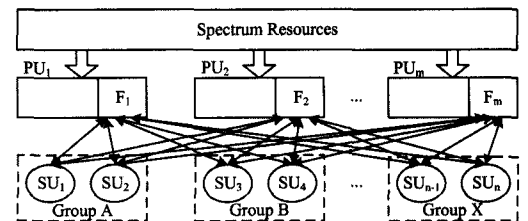


图1 频谱共享信任关系示意图

定义8(频谱共享间接信任, Spectrum Sharing Indirect Trust, SS_IDT) 是指用户之间通过非直接的频谱共享关系

而建立的信任关系。其中,不同群组(Group)中的 SU 之间构成间接信任关系。在图 1 中,分属于 GroupA, GroupB 以及 GroupX 中的 SU 之间由于间接共享使用相对应的 PU 频谱资源而建立的关系属于间接信任关系。

2 云模型基本理论

2.1 云的概念

云理论是解决定性问题向定量问题转化的重要工具,用以反映自然语言中概念的不确定性^[18]。假设 U 是一个用精确数值表示的定量论域, C 是定义于论域 U 上的定性概念,若定量值 $x \in U$, 且 x 是定性概念 C 的一次随机实现, x 对于 C 的确定度 $\mu(x) \in [0, 1]$ 是具有稳定倾向的随机数, $\mu: U \rightarrow [0, 1]$, 且 $\forall x \in U, x \rightarrow \mu(x)$, 则 x 在论域 U 上的分布称为云(Cloud), 每一个 x 称为一个云滴。

2.2 云的数字特征

云的数字特征通过期望 Ex (Expected Value)、熵 En (Entropy) 和超熵 He (Hyper Entropy) 来进行表征。

期望 Ex : 云滴在论域空间分布的期望, 是论域空间中能够代表定性概念的点。

熵 En : 定性概念的不确定性度量, 是概念随机性和模糊性的共同体现。通常, 熵越大, 表示概念越宏观, 即定性的程度越强。

超熵 He : 是熵不确定性的度量, 即熵的熵。

云的 3 个数字特征可以对一般概念的不确定性进行表示, 理论上, 高阶熵可以无限地对概念的不确定性进行刻画, 但通常追求过于高阶的熵没有实际意义。

2.3 云发生器

云发生器(Cloud Generator, CG)是指用计算机实现的一种固化了的云模型生成算法。定性概念向定量值的转换通常使用正态云发生器(Forward Normal Cloud Generator, FNCG)。CG 的输入为云的数字特征(Ex, En, He), 通过对数字特征的计算, 输出云滴 $Drop$ 的函数, 即一定数量的云滴以及云滴的确定度。算法示意如图 2 所示。

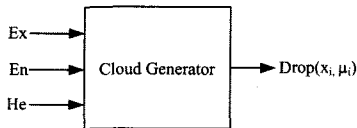


图2 正向云发生器

同样地, 定量值向定性概念的转换通常使用逆向云发生器(Backward Cloud Generator, CG^{-1})。 CG^{-1} 的输入为一定数量的云滴以及云滴的确定度云等精确数据, 输出为云的数字特征(Ex, En, He)。算法示意如图 3 所示。

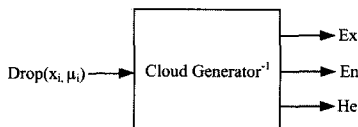


图3 逆向云发生器

3 云模型频谱共享信任机制

3.1 体系结构和关系

频谱共享信任机制是由 PU 、 SU 、频谱共享代理、频谱共享信任模块以及相互之间的交互关系构成的。频谱共享信任机制的建立不仅包括频谱共享关系的建立, 还包括用户间信任关系的建立, 如图 4 所示。

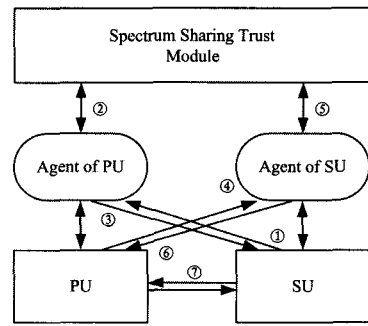


图4 PU 与 SU 建立频谱共享信任过程

频谱共享信任建立主要分为以下阶段和步骤:

① SU 准备共享 PU 中闲置的频谱资源时, 首先要向 PU 的频谱共享代理(Spectrum Sharing Agent of PU , SSA_PU) 请求需要使用的频谱带宽;

② SSA_PU 在收到 SU 的频谱共享请求后, 向频谱共享信任模块(Spectrum Sharing Trust Module, $SSTM$) 调用 PU 的信任情况等级;

③ SSA_PU 向 SU 反馈 PU 的信任情况等级, 如果 PU 的信任情况等级满足 SU 频谱共享的要求, 则 SU 向 PU 发出频谱共享请求;

④ PU 收到来自于 SU 的频谱共享请求后, 向 SU 的频谱代理(Spectrum Sharing Agent of SU , SSA_SU) 调用 SU 的信任情况等级;

⑤ SSA_SU 在收到 PU 的频谱共享请求后, 向频谱共享信任模块(Spectrum Sharing Trust Module, $SSTM$) 调用 SU 的信任情况等级;

⑥ SSA_SU 向 PU 反馈 SU 的信任情况等级, 如果 SU 的信任情况等级满足 PU 频谱共享的要求, 则 PU 将同意与 SU 建立频谱共享信任关系;

⑦ PU 与 SU 根据相互之间的信任等级关系进行频谱共享。

3.2 云模型评价思路

基于云模型的信任评价思路主要运用云发生器对传统信任概念表达过程中模糊定性的属性进行定量转换, 再通过一定方法将定量的结论进行综合合并, 最后得出对定性概念的定量描述和评价, 从而指导频谱共享策略的有效实施。具体流程如图 5 所示。

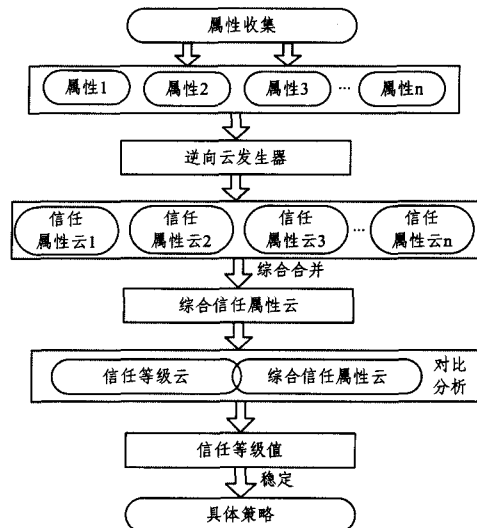


图5 云模型评价流程示意图

对图 5 中的阶段步骤具体说明如下:

- ①对信任评价云进行划分,在此基础上构建信任评价基准云;
- ②针对用户信任情况,收集提取能够反映用户信任情况的各类信任属性,并对信任属性进行预处理;
- ③将处理完成后的信任属性通过逆向云发生器生成信任属性云;
- ④将多个信任属性云进行综合化处理,得到综合信任属性云;
- ⑤将综合信任属性云与信任等级云进行对比分析,得到用户的具体信任等级;
- ⑥重复上述操作若干次,即进行信任更新,直至信任等级值稳定;
- ⑦根据信任等级值选择相对应的频谱共享策略,进而完成频谱共享过程。

3.3 云模型评价方法

(1)信任评价基准云

关于信任的评价往往是主观的、模糊的。在频谱共享领域,对信任的评价只能基于信任的行为作出简单评价,这种评价方法过分依赖于自然语言和逻辑表达能力,缺乏对信任的客观评价。为此,建立以主观信任为基础的信任评价基准云,用来作为综合信任属性云的标准和对比对象。参考文献[19]中关于信任空间的等级划分约定,将频谱共享中信任评价空间从强至弱划分为 5 级,具体如表 1 所列。

表 1 频谱共享信任评价空间等级划分表

等级	描述	功能
一级	完全可以信任	能够进行任何形式的频谱共享
二级	比较值得信任	能够进行大部分形式的频谱共享
三级	基本值得信任	能够进行部分形式的频谱共享
四级	不太值得信任	能够进行小部分形式的频谱共享
五级	不值得信任	不能进行任何形式的频谱共享

信任评价基准云是对信任评价空间的转换工具,其定义和说明如下。

定义 9 信任评价基准云 (Trust Evaluation Standard Cloud, TESC) 的论域为 $U = \{(x_1, x_2, \dots, x_m)\}$, T 为与 U 相对应的逻辑描述语言,即为信任等级的描述语言。其中, $x_1, x_2, \dots, x_m$ 为用户信任评价的各类属性,对于 $\forall x \in U$,存在映射关系 $\mu_T: U \rightarrow [0, 1], x \mapsto \mu_T(x) \in [0, 1]$,称 $\mu_T(x)$ 为 x 对 T 的信任隶属度函数,且 $\mu_T(x)$ 在论域 U 上的分布称为用户在属性 x 上的信任评价云。

TESC 的构成形式符合极限中心定理 (Central Limit Theorem),即将 TESC 看作一个随机变量,这个随机变量受到许多独立随机因素的影响,每个独立随机因素产生的影响非常小,故可以认为此随机变量服从正态分布。因此 TESC 是一种正态云,其数字特征符合标准正态云的特征。

定义 10 信任等级云 (Trust Grade Cloud, TGC) 中, x 为用户信任评价的一个属性, $U = [a, b]$ 为该属性的取值论域, U' 是 U 上的一个划分,且 $U' = \{U_i \mid \bigcup_{i=1}^k U_i = U, \bigcap_{i=1}^k U_i = \emptyset, \forall T_{v_i} \in U_i, \forall T_{v_j} \in U_j, i < j, T_{v_i} < T_{v_j}\}$,信任度隶属函数在划分论域 U_i 上的正态信任云就成为信任等级云。

设 U_i 的上、下限分别为 $\alpha_{\max}^i$ 和 $\alpha_{\min}^i$,根据云模型的 $3En$ 规

则,可以求得 TGC 的数字特征。

对于 $T_{v_i}, i \in [1, \omega]$,则

$$Ex_i = \begin{cases} \alpha_{\max}^i, & i=1 \\ \frac{(\alpha_{\max}^i + \alpha_{\min}^i)}{2}, & 1 < i < \omega \\ \alpha_{\min}^i, & i=\omega \end{cases} \quad (6)$$

$$En_i = \begin{cases} \frac{(\alpha_{\max}^i - \alpha_{\min}^i)}{3}, & i=1 \\ \frac{(\alpha_{\max}^i - \alpha_{\min}^i)}{6}, & 1 < i < \omega \\ \frac{(\alpha_{\max}^i - \alpha_{\min}^i)}{3}, & i=\omega \end{cases} \quad (7)$$

$$He_i = \sigma \quad (8)$$

其中, σ 为时间衰减因子,通常根据属性的具体情况进行调整 and 设定。

(2)综合信任属性云

综合信任属性云 (Multiple Trust Attribute Cloud, MTAC) 是对多个信任属性云的有效综合。由于信任属性存在重要性差异,即不同信任属性的权重值不同,因此在对 MTAC 进行计算时要考虑其属性的权重。假设对用户信任存在影响的属性有 m 个, τ_i 为属性的权重,且 $\sum_{i=1}^m \tau_i = 1$,则 MTAC 的数字特征可以表示为

$$Ex_{MTAC} = \sum_{i=1}^m (Ex_i \times \tau_i) \quad (9)$$

$$En_{MTAC} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (En_i^2 \times \tau_i)} \quad (10)$$

$$He_{MTAC} = \sum_{i=1}^m (He_i \times \tau_i) \quad (11)$$

通过将由式 (9) — 式 (11) 构成的 MTAC 数字特征与 TGC 的数字特征进行相似度对比计算,可求得用户对应的信任等级。

(3)相似度计算方法

为了将 MTAC 与 TGC 进行定量对比,主要通过对信任云的隶属度进行相似度的计算分析。假设 $TC_1(Ex, En, He)$ 为用户的信任属性评价云, $TC_G(Ex_G, En_G, He_G)$ 为 TGC,将信任属性评价云 TC_1 通过正向云发生器生成云滴 $Drop(x_i, \mu_i), i=1, 2, \dots, n$,若 x_i 在 TC_G 中的隶属度为 η_i ,则相似度 Ω_i 可以表示为

$$\Omega_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_i \quad (12)$$

相似度 Ω_i 越大,对某个属性的评价则越趋向于相对应的评价等级。如果关于某个属性的评价与多个评价等级相同,则规定该属性对应其中最高级别的评价等级。

(4)信任度更新方法

由于研究主体的时变性,为了保证信任评价的实时效果,信任度也需要随时间进行更新。信任度更新是基于局部信任度 (Local Trust Value, LTV) 进行的。用户的实时信任度 (Real-Time Trust Value, RTTV) 由两部分组成,具体可表示为

$$RTTV_i = f(t) \times RTTV_{i-1} + \sum_{t=0}^t LTV \quad (13)$$

其中, $f(t)$ 是信任度的时间衰减函数,表示信任度随着时间降低的情况; $RTTV_{i-1}$ 表示前一时刻的信任度值。

4 实验仿真与分析

4.1 条件与假设

(1)信任评价区间定义

为了便于计算,在一维空间内考虑信任的论域,并以 0~100 作为信任的论域取值范围,则频谱共享五级信任通过数域可表示为表 2。

表 2 信任评价空间等级数域划分表

等级	数域范围
T_1^*	$80 < T_v \leq 100$
T_2^*	$60 < T_v \leq 80$
T_3^*	$40 < T_v \leq 60$
T_4^*	$20 < T_v \leq 40$
T_5^*	$0 < T_v \leq 20$

其中,当信任评价取值在 $T_v = (80, 100]$ 中时,表示非常可信;当信任评价取值在 $T_v = (60, 80]$ 中时,表示比较可信;当信任评价取值在 $T_v = (40, 60]$ 中时,表示可信;当信任评价取值在 $T_v = (20, 40]$ 中时,表示不可信;当信任评价取值在 $T_v = (0, 20]$ 中时,表示极不可信。

将等级云以云图的形式表示,其中, $U = [0, 100]$, 云滴数为 1000, $\sigma = 0.5$, 将表 2 中的数域划分根据式(6)~式(8)计算求得,分别为: $TC_1(100, 0.33, 0.5)$; $TC_2(70, 3.33, 0.5)$; $TC_3(50, 3.33, 0.5)$; $TC_4(30, 3.33, 0.5)$; $TC_5(0, 0.33, 0.5)$ 。数域划分生成的信任等级云图如图 6 所示。

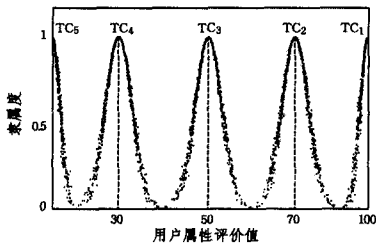


图 6 信任等级云图

(2)信任属性定义

在频谱共享用户群中,将信任属性的种类分为 I, II, III, IV, V 5 类,具体的类别及其含义如表 3 所列。

表 3 信任属性类别及含义

属性类别	含义
I	频谱共享完全可信
II	频谱共享比较可信
III	频谱共享基本可信
IV	频谱共享不太可信
V	频谱共享不可信

其中, I 类频谱共享信任属性对频谱共享的影响最大, II 类频谱共享信任属性对频谱共享的影响其次,其余级别的影响依此类推。因此,将 5 类属性权重 τ_i 分别赋值为 0.4, 0.3, 0.2, 0.1, 0。

4.2 仿真与分析

依据表 1、表 2 列出的频谱共享信任等级划分情况,将表 3 中的 I, II, III, IV, V 类信任属性的评价价值由高至低划分为 5 级,每一级信任属性评价价值在其各自的取值论域内随机产生,参与频谱共享的用户数量为 100, 用户之间随机进行相互信任关系的建立。仿真进行了 10 轮,可以得出 MTAC 与 TGC 的相似度变化情况,如图 7 所示。

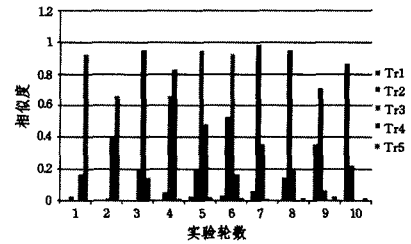


图 7 MTAC 与 TGC 相似度的变化趋势

通过对图 7 进行分析,可以得出以下结论:

(1)通过对每一轮仿真结果的分析,可以得出每一轮 MTAC 与 TGC 的相似度关系,相似度越高, MTAC 越贴近于 TGC 所代表的信任评价等级;相似度越低, MTAC 越背离 TGC 所代表的信任评价等级。

(2)随着实验轮数的增加, MTAC 与 TGC 的相似度在 T_1^* 等级上是一个逐渐上升的过程,在 T_2^* , T_3^* 和 T_4^* 等级上是一个先增后降的过程,在 T_5^* 等级上是一个逐渐下降的过程,且峰值与相对应等级的隶属度最高,这与信任等级云图的表现情况非常符合。

(3)在所有 10 轮的仿真中, MTAC 与 TGC 的相似度始终处于 0~1 之间的一个不确定概率值,这反映了云模型隶属度的模糊性和不确定性,即亦此亦彼性,也进一步验证了云模型评价的有效性。

结束语 本文提出了基于云模型的军事航空通信频谱共享信任机制,构建了信任机制的体系结构,提出了基于云模型的信任评价思路和方法。通过进行实验仿真与分析,验证了信任评价模型的有效性,从而进一步验证了基于云模型频谱共享信任机制的科学性和合理性。本文重点针对信任评价的方法进行研究,下一步将深化对信任评价属性以及相关影响因素的研究,制定出更加完备的信任等级划分标准,完善信任评价模型的客观性和普适性。

参考文献

- [1] Luo Li-ping, Qiu Huan-xin, Zhang Guang-chi, et al. Optimal Pricing Function with Spectrum Constraint in Cognitive Radio Networks[J]. Acat Electronica Sinica, 2011, 39(3): 562-566 (in Chinese)
罗丽平, 邱唤新, 张广驰, 等. 具有约束条件的认知无线网络最优频谱价格函数[J]. 电子学报, 2011, 39(3): 562-566
- [2] Tan Xue-song, Lin Chao, Guo Wei. Spectrum Sharing Schemes in Cognitive Radio Networks based Collusion Formation[J]. Journal on Communications, 2014, 35(3): 58-68 (in Chinese)
谭雪松, 林超, 郭伟. 基于合作形成的认知无线网络频谱共享策略[J]. 通信学报, 2014, 35(3): 58-68
- [3] Tang Hai-bing, Hu Zhi-gang. Competitive and Cooperative Pricing for Idle Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks[J]. Systems Engineering and Electronics, 2013, 35(1): 173-178 (in Chinese)
汤海冰, 胡志刚. 认知无线网络空闲频谱共享的竞争与合作定价[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(1): 173-178
- [4] Deutsch M. Trust and Suspicion[J]. Journal of Conflict Resolution, 1958, 2(4): 265-279
- [5] Deutsch M. Trust, Trustworthiness and the F-Scale[J]. Journal of Abnormal and Social Psychology, 1960, 61(61): 138-140
- [6] Rotter J B. A New Scale for the Measurement of Interpersonal

- Trust[J]. Journal of Personality, 1967, 35(4): 651-665
- [7] Schlenker B R, Helm B, Tedeschi J T. The Effects of Personality and Situational Variables on Behavioral Trust[J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1973, 25(3): 419-427
- [8] Wrightsman L S. Interpersonal Trust and Attitudes toward Human Nature[M]. San Diego: Academic Press, 1974
- [9] Li Yong-jun, Dai Ya-fei. Research on Trust Mechanism for Peer-to-Peer Network[J]. Chinese Journal of Computers, 2010, 33(3): 390-405(in Chinese)
李勇军, 代亚非. 对等网络信任机制研究[J]. 计算机学报, 2010, 33(3): 390-405
- [10] Liu Wen-mao, Yin Li-hua, Fang Bin-xing, et al. A Hierarchical Trust Model for the Internet of Things[J]. Chinese Journal of Computers, 2012, 35(5): 846-855(in Chinese)
刘文懋, 殷丽华, 方滨兴, 等. 物联网环境下的信任机制研究[J]. 计算机学报, 2012, 35(5): 846-855
- [11] Jiang Shou-xu, Li Jian-zhong. A Reputation-Based Trust Mechanism for P2P E-Commerce Systems[J]. Journal of Software, 2007, 18(10): 2551-2563(in Chinese)
姜守旭, 李建中. 一种 P2P 电子商务系统中给予声誉的信任机制[J]. 软件学报, 2007, 18(10): 2551-2563
- [12] Peng Dong-sheng, Lin Chuang, Liu Wei-dong. A Distributed Trust Mechanism Directly Evaluating Reputation of Nodes[J]. Journal of Software, 2008, 19(4): 946-955(in Chinese)
彭冬生, 林闯, 刘卫东. 一种直接评价节点诚信度的分布式信任机制[J]. 软件学报, 2008, 19(4): 946-955
- [13] Zhang Shi-bin, Xu Chun-xiang. Study on the Trust Evaluation Approach Based on Cloud Model[J]. Chinese Journal of Computers, 2013, 36(2): 422-431(in Chinese)
张仕斌, 许春香. 基于云模型的信任评估方法研究[J]. 计算机学报, 2013, 36(2): 422-431
- [14] Wang Shou-xin, Zhang Li, Li He-song. Evaluation Approach of Subjective Trust Based on Cloud Model[J]. Journal of Software, 2010, 21(6): 1341-1352(in Chinese)
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
- [15] Gu Xin, Xu Zheng-quan, Liu Jin. Review of Cloud Based Trust Model[J]. Journal on Communications, 2011, 32(7): 176-181(in Chinese)
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): 176-181
- [16] Zhang Xian-feng. Research on Online Consumer Trust Mechanism Based on Transaction Chain[D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 2006(in Chinese)
张仙峰. 基于交易链面向网上消费者的信任机制研究[D]. 西安: 西安交通大学, 2006
- [17] Qu Xiang-li. Research on Key Techniques for Mutual Trust Mechanism in Grid[D]. Changsha: National University of Defence Technology, 2006(in Chinese)
曲向丽. 网格环境下互信机制关键技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2006
- [18] 李德毅, 杜鹑. 不确定性人工智能[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005
- [19] Huang Hai-sheng, Wang Ru-chuan. Subjective trust evaluation model based on membership cloud theory[J]. Journal on Communications, 2008, 29(4): 13-19(in Chinese)
黄海生, 王汝传. 基于隶属云理论的主观信任评估模型研究[J]. 通信学报, 2008, 29(4): 13-19

(上接第 155 页)

- [5] Ahlswede R, Cai N, Li S Y R, et al. Network information flow[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2000, 46(4): 1204-1216
- [6] Han Li, Qian Huan-yan, Liu Hui-ting. Algorithm for Multi-source Multicast with Network Coding over Multi-hop Wireless Networks[J]. Computer Science, 2015, 42(10): 88-91(in Chinese)
韩莉, 钱焕延, 刘慧婷. 无线多跳网络上基于网络编码的多源多播算法[J]. 计算机科学, 2015, 42(10): 88-91
- [7] Chen Chen, Dong Chao, Mao Ya-fei, et al. Survey on network-coding-aware routing in wireless network[J]. Journal of Software, 2015, 26(1): 82-87(in Chinese)
陈晨, 董超, 茅娅菲, 等. 无线网络编码感知路由综述[J]. 软件学报, 2015, 26(1): 82-87
- [8] Chachulski S, Jennings M, Katti S, et al. Trading Structure for Randomness in Wireless Opportunistic Routing[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2007, 37(4): 169-180
- [9] Hao Kun, Jin Zhi-gang, Hao Ping. A New Opportunistic Routing Mechanism Based on Partial Network Coding[C]// The Fifth International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems. IEEE, 2012: 154-157
- [10] Wang Xiao-dong, Huo Guang-cheng, Sun Hai-yan, et al. An Opportunistic Routing for MANET Based on Partial Network Coding[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(8): 1736-1740(in Chinese)
王晓东, 霍广城, 孙海燕, 等. 移动自组网中基于部分网络编码的机会主义路由[J]. 电子学报, 2010, 38(8): 1736-1740
- [11] Chen Chen, Dong Chao, Wu Fan, et al. Improving unsegmented network coding for opportunistic routing in wireless mesh network[C]// 2012 IEEE Wireless Communications and Network Conference(WCNC). IEEE, 2012: 1847-1852
- [12] Tian Xian-zhong, Liu Qiang, Hu Tong-sen. An Algorithm of Network Coding Based Opportunistic Routing for Wireless Networks[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2011, 24(12): 1771-1776(in Chinese)
田贤忠, 刘强, 胡同森. 一种基于网络编码的无线网络机会路由算法[J]. 传感技术学报, 2011, 24(12): 1771-1776
- [13] Wang Dan, Zhang Qian, Liu Jiang-chuan. Partial network coding: theory and application for continuous sensor data collection[C]// IEEE International Workshop on Quality of Service, IWQoS. USA: New haven, 2006: 93-101
- [14] Couto D, Aguayo D, Bicket J, et al. A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing[C]// Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. San Diego: ACM Press, 2003: 134-146