

面向移动物联网的可信超网络概念及构架研究

王慧强 温秀秀 吕宏武 冯光升 林俊宇

(哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)

摘 要 泛在服务已成为当前用户的一种基本需求。移动物联网作为泛在服务的一种重要实现形式,面临着网络接入点分布不均匀、频谱无法全面覆盖和网络不稳定等问题,因此用户服务的可信性难以得到保障。与此同时,现有面向移动物联网的网络构架缺乏泛在服务保障与可信性保障的有效结合。因此,首先提出“可信超网络”的新概念,即在传统网络的基础上,利用认知计算技术构建虚拟网或者逻辑网络;然后在可信超网络概念的基础上结合移动物联网的特点,提出以可信性确保为目标、以泛在服务为核心能力的可信超网络构架,从总体上保障移动物联网泛在服务的可信性。

关键词 移动物联网,可信超网络,泛在服务,可信接入

中图法分类号 TP393.0 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.05.014

Concept and Architecture of Trustworthy Super Network for Mobile Internet of Things

WANG Hui-qiang WEN Xiu-xiu LV Hong-wu FENG Guang-sheng LIN Jun-yu

(College of Computer Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract Ubiquitous services are urgent demand of users. Mobile Internet of things is an important part for realizing ubiquitous services, and it suffers from the inhomogeneous distribution of hotspots, the imperfect coverage of spectrums and unstable network links, so the trustworthiness of its services is threatened. Meanwhile, the existing frameworks of mobile Internet of things lack the integration of ubiquitous services guarantee and trustworthiness guarantee. In this paper, a new concept “trustworthy super network” was proposed, which builds virtual networks or logical networks on the basis of traditional networks. Furthermore, according to the concept, a trustworthy super network framework was proposed for mobile Internet of things. The framework aims for trustworthy assurance, and takes ubiquitous service providing as the core ability, so that trustworthiness can be guaranteed when ubiquitous services are provided in mobile environments.

Keywords Mobile Internet of things, Trustworthy super network, Ubiquitous services, Trustworthy network access

1 引言

泛在服务已成为当前网络服务的一种基本需求,用户总是期望在任何时间、任何地点获得可以信赖的网络服务。移动物联网作为泛在服务的一种重要实现形式,不但可以实现人与人、人与机器、人与物甚至物与物之间直接沟通,而且可以通过节点移动创造联通条件来解决诸如边远居民区、野外工地等基础网络设施薄弱区域,以及车辆集群、水面目标编组、飞行器的高速移动目标的高带宽、大数据流量网络互联问题,让网络条件受限目标可以获得泛在服务。移动物联网使得空中、水上、陆地全维度不再存在网络死角,为实现真正意义上的 5A (Anytime, Anywhere, Anyone, Anyway, Anyser-

vice)^[1] 泛在服务提供了可能。

然而,移动物联网的研究尚处于初期阶段,泛在服务的提供不但面临着网络接入点不均匀分布、频谱无法全面覆盖和网络不稳定性等问题,而且由于热点接入开放性、潜在欺诈节点和蓄意攻击等可信性威胁,用户难以信赖所接入的网络环境,因此不能保证数据传输的可靠性、可信性,甚至无法保证数据一定会被选择的热点转发^[2]。这些缺陷极大影响了移动物联网的服务体验,传统的泛在网络构建方法难以解决这些技术难题,因而迫切需要探索如何在移动物联网中提供可信的泛在服务的新途径。

因此,本文提出可信超网络的概念。可信超网络不是一种新的网络形态,而是一种动态逻辑组网技术,其借助现有网

到稿日期:2016-03-13 返修日期:2016-08-04 本文受国家自然科学基金(61370212),博士点基金优先发展领域项目(20122304130002),黑龙江省自然科学基金重点项目(ZD 201102),中央高校基本科研业务费专项资金项目(HEUCFZ1213)资助。

王慧强(1960—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为未来网络、可信计算等, E-mail: wanghuiqiang@hrbeu.edu.cn; 温秀秀(1989—),女,博士生,主要研究方向为传感器网络、未来网络等; 吕宏武(1983—),男,博士,讲师,主要研究方向为未来网络、性能评价和进程代数; 冯光升(1980—),男,讲师,主要研究方向为认知网络 QoS 保障; 林俊宇(1981—),男,博士,助理研究员,主要研究方向为自律计算、未来网络和 QoS 保障。

络基础设施,通过采用智能计算等自主管理手段,提高网络适变性服务能力,为用户提供可信泛在服务。进而,在可信超网络概念的基础上提出面向移动物联网的可信超网络构架,通过构建可信超网络的方式来达到为移动物联网提供可信泛在服务的目的。

2 国内外研究现状

目前面向移动物联网的可信泛在网络构架的相关研究尚处于探索阶段,部分研究机构分别对其中的泛在服务提供机制、可信性保障等相关内容进行了研究。

移动物联网的泛在服务研究大多与社会网络相结合。Atzori L 等人^[3]提出了社会物联网构架,该构架由基础层、构件层、应用层组成,核心思想是使用与人类交互类似的方式建立设备关系,用于增强移动物联网的资源发现、资源选择和资源使用等方面的功能;Robert K 等人^[4]建立了一个网络容量计算模型,并以计算模型为基础提出了一种跨层框架,该框架用于提高移动车载网的资源利用率和网络吞吐量;Ho^[5]提出一种随机流量模型,该模型由流体模型和随机模型组成,分别描述交通流的演化特性和个体车辆的随机运动,解决模拟实际网络中信号灯对车辆分布浓度和连通性的影响;安健等人^[6]基于社会关系认知提出物联网移动感知服务计算的概念,利用移动用户所携带的各种智能终端组成虚拟社交网络,借助社会网络相关理论实现虚拟社会到物理世界的映射,建立用户服务请求的信任传递链,发现并选择能够提供目标区域感知服务的移动节点。由以上分析可知,现有移动物联网的泛在服务研究大多与节点社会性相结合,能够有效增强泛在服务提供能力,但是在服务可信性保障方面考虑较少,不能适应移动物联网的开放式环境。

在移动物联网可信性保障方面,加利福尼亚大学 Govindan 等人针对无线通信可信传播方法的高开销问题,提出了一个基于交会(Rendezvous)的可信传播方案^[7],该方案通过信任请求方(trust requester)和信任提供方(trust provider)发送的信任请求和计算的信任标记(computed-trust tickets)以一定概率在交会节点相遇的方法来实现,与传统的洪泛方式相比,降低了系统开销。文献^[8]提出安全自发组网的概念,并使用信任链的传递效应保障节点之间数据转发的安全性,而信任值则通过节点行为获取。文献^[9]考虑影响系统可信性元素的多元性,提出一种集中式的基于上下文感知的多服务信任管理系统,该系统首先收集各个代理的可信性信息,然后向请求节点推荐可信代理,节点在接受代理服务后给予评价,信任管理中心再根据用户评价更新各个代理的信用度。由于移动物联网应用种类众多,为了建立可靠的物联网信任机制,刘文懋等人^[10]提出了一种层次化的信任机制,分离了异构环境中主体的不同信任需求,并提出了一种可验证的缓存交互摘要方案,在信任架构中构建了“现象可信—行为可信—节点可信—机构可信—授权可信”的环流。Kuklinski S 等人^[11]提出“clean-slate”框架,该框架基于环境感知和跨层设计,目标是提高车载网的适变能力和服务方案提供能力。Tajeddine^[12]和 Chen 等人^[13]为了提供更安全和效率更高的驾驶体验,在车载网上分别提出了基于信任的隐私保持模型。

前者利用群签名机制实现合法用户识别,保护用户的隐私;后者利用同行共享有关路况信息的一致性来计算设备的可信性,并通过动态控制信息传播来构建车载网可信消息传播机制。现有移动物联网可信性保障方面的研究涉及可信机制建立、隐私保护等各个方面,为丰富和完善移动物联网可信性保障奠定了基础^[14]。然而现有研究大多以集中式的可信机制为基础,难以适应移动物联网的分布式、高动态结构,因此亟需建立适应移动物联网特性的可信超网络模型,为泛在服务的可信性保障提供理论支撑。

综上所述,目前已开始对移动物联网领域的可信超网络进行研究,在采用跨层感知提升接入能力、利用社会性提升泛在服务水平、移动物联网的数据可靠传输和隐私保护等方面已经取得了一定进展,但是还缺乏将泛在服务与可信性保障相融合的研究,这一缺陷已明显与移动物联网开放式环境的可信性、泛在化服务需求不相适应。自主管理思想作为未来网络管理的一种典型代表,指系统利用对内外环境变化的感知来实时调整自身组件配置,动态智能地适应周围环境并指导未来的自主决策,被认为是提升网络适变能力的重要手段^[15],该思想对于在移动物联网环境下构建随时随地的、无处不在的网络服务具有重要借鉴意义。据此,本文首先以认知计算为基础提出“可信超网络”的概念,并对其属性进行了详细定义。可信超网络利用认知计算等智能技术,采用超路由和超接入等逻辑组网模式,为用户提供可信的泛在服务。然后,在“可信超网络”概念的基础上,结合自主管理提出面向移动物联网的可信超网络构架,重点解决“如何在移动物联网的复杂环境中构建泛在网络?”和“如何确保所构建的泛在网络提供的服务是可信的?”两方面问题。

3 可信超网络的概念和属性

本文提出“可信超网络”的新概念。可信超网络指以可信性确保(Assurance)为目标,以目标网络服务能力适变为手段的动态组网技术。可信超网络采用“以可信性不确定网络基础设施构建可信网络”的思想,不但可以提供传统的通信服务,而且能够对应用服务能力、网络能力及通信能力进行全方位、多角度的跨层次感知,并据此实时动态地选择接入网络和数据转发方式,为用户提供可信泛在服务,从而使传统网络角色由信息的被动承载者变为具有复合属性服务的主动提供者。可信超网络中这种具有自适应能力的接入方式被称为超接入;具有自适应能力的数据转发方式称为超路由。

可信超网络不是一种新的网络形态,而是一种动态逻辑组网技术,其借助现有网络基础设施,采用智能计算等自主管理手段,提高网络适变性服务能力,为用户提供可信泛在服务。可信超网络除了具有传统网络的通信能力等特点外,还能够感知当前网络状态、外部环境以及根据不同的用户需求对网络进行配置,无需人为干涉,简化信息传输过程,保障服务的可信性。可信超网络的属性可以形式化地表述为一个四元组:

$$STN=(C,A,D,G)$$

其中, C 代表可信超网络的认知属性, $C=\{\text{推理能力,学习能力,交互能力,感知能力,应急能力}\}$; A 代表可信超网络表现

出的自律属性, $A=\{\text{自容忍, 自配置, 自恢复, 自优化, 自撤销}\}$; D 代表可信超网络的可信属性, $D=\{\text{可靠性, 可用性, 安全性, 生存性}\}$; G 代表可信超网络的目标属性, $G=\{\text{高可信, 高适应, 高集成}\}$ 。可信超网络属性及其关系如图 1 所示。

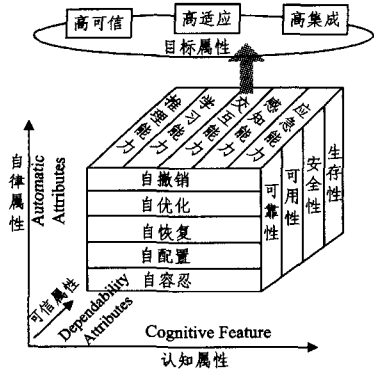


图 1 可信超网络属性及其关系

3.1 认知属性

可信超网络中的认知属性是可信超网络区别于传统网络的属性,当可信超网络具有图 1 中认知维度上的部分或者全部属性时,其就具有相应的认知能力。

- 1)推理能力。推理能力是可信超网络的基本能力,在各个认知层上通过自感知和上下文感知获得网络自身状态、外部环境、资源等感知信息,预测问题并采取措施加以预防。
- 2)学习能力。学习能力是可信超网络优化的动力,网络从以往的经验中学习,以提高网络系统的性能。
- 3)交互能力。可信超网络能够清晰地表达自身需求和决策结果,并能理解用户给出的指令。
- 4)感知能力。感知能力是可信超网络的核心能力,可信超网络能够自我感知自身的行为和周围环境,并用行为反映出感知的内容。
- 5)应急能力。应急能力是可信超网络能健壮地对突发事件进行恰当反应的能力。

3.2 可信属性

可信超网络的一大特点即为利用不可信的网络基础设施为用户构建一个可信的使用环境,因此可信属性是可信超网络的基础属性。

- 1)可靠性。在规定的环境下及规定时间内可信超网络无失效运行的能力。
- 2)可用性。可信超网络在用户需求下所具有的有效性、效率和用户满意度。
- 3)安全性。安全性的实质是为系统建立所采取的各种安全保护措施,以保护系统中硬件、软件及数据,防止因偶然或恶意因素造成的系统破坏、数据更改或泄露等。
- 4)生存性。生存性是用来表明可信超网络面对蓄意攻击、故障失效或偶发事故而仍能完成其任务并及时恢复整个服务的能力。

3.3 自律属性

通过自律计算,可信超网络实现“以技术管理技术”的目的,降低人工管理和选择的复杂性,因此自律属性是可信超网络的必备属性。

- 1)自容忍。自容忍是可信超网络对不能恢复的故障和异常所采取的一种手段,为使用者提供降级服务,保障可信超网络系统的继续运行。
- 2)自配置。自配置指可信超网络能够根据高层策略自动配置,以适应环境的变化。
- 3)自恢复。自恢复指当可信超网络中的软、硬件发生故障或异常时,系统能够自动地发现、诊断、修复网络系统,并使其正常运行的能力。
- 4)自优化。自优化体现了可信超网络系统实现资源的分配和使用的能力以及为系统用户提供服务的质量。自优化能力体现在可信超网络可以从经验中进行学习,并根据系统总体目标预先对自己进行调整,使用自优化技术进行负载管理并优化软硬件,同时确认是否实现服务水平目标。

5)自撤销。自撤销是可信超网络的必备能力,是安全系统的重要组成部分,当可信超网络的操作面临安全威胁时,撤销上一个时间窗口内的历史动作来保障超网络的可信性。

3.4 目标属性

可信超网络的目标属性是可信超网络所追求的目标,一个完整的可信超网络系统需在可信性、适应性、集成性等方面具有良好的性能。

- 1)高可信。可信超网络的可信属性是指网络需要满足的关键属性,由多个子属性组成,通过可信属性集来综合体现。
- 2)高适应。高适应反映的是可信超网络根据内外部环境适当地改变原网络系统的结构或参数来保持网络系统的良好运行能力,可以作为系统的全局指标对其他属性的自适应能力进行描述,也可以对网络整体自适应性进行描述,由认知属性集综合度量。
- 3)高集成。可信超网络是多种网络在逻辑上的集成。认知无线网络、Ad-Hoc 网络、蜂窝网、有线网络均可作为可信超网络所依据的对象。可信超网络的高集成属性使得跨网络、大规模通信成为可能。

可信超网络的概念采用可扩展属性集模式,其各个属性随时间的改变而进化以适应新的需求,即通过动态抽取和组合集合 A, C, D 和 G 中的部分或全部元素来调整系统的属性范围,以提高模型的适应性。同时,可信超网络是面向用户需求的可信逻辑网,其概念模型可根据用户需求进行动态扩展。

4 可信超网络构架

网络构架是网络设计与分析的基础。根据可信超网络的概念,提出能够在整体上动态确保移动物联网可信泛在服务的可信超网络构架。针对现有物联网结构网络层次结构固化和移动性支持不足的问题,引入虚拟化技术和无定型覆盖网的思想,对超网络的整体架构进行分层设计。在赋予物联网核心节点自主管理能力后,使其支持可信适变接入选择、可信延迟容忍路由和 DHT(Distributed Hash Table)模式的可信服务分发等适变性特征,从而适应移动物联网特性,实现可信泛在服务。在设备快速移动的过程中,当设备能够感知到可用的可信频谱资源时,通过适变过程接入最可信的网络;当设备感知到自己处于可信接入的网络孤岛时,将开启可信延迟

恶意攻击的开放网络环境下,发现并选择符合当前用户需求的最优接入网络,以实现移动用户的泛在可信接入与数据保密传输,主要功能模块有可信信道感知与发现、可信信道选择方法研究和可信信道捆绑与组合。

4.2.1 可信信道感知与发现

此部分主要负责结合移动物联网频谱资源的动态变化特性,分析信道占比,实现终端对可用信道资源的快速感知。进而,此部分还具有可用信道的可信性分析功能,并建立超网络统一的资源特征可信性描述,是最优化信道接入的基础。

4.2.2 可信信道选择

分析和归纳移动物联网中各种接入要素,揭示接入要素与接入可信性之间的联系,通过将用户接入要素与超网络统一的资源特征可信性描述空间进行匹配来完成可信信道选择。

4.2.3 可信信道捆绑与组合

当单个可信信道的带宽无法满足应用需求时,为缩短信息传输时间,考虑对位于不同频段的可信信道并联使用以提高带宽,并将待传输的数据包按照特定方法进行切割分片并行传输且在接收端重组还原,传输的同时采用特殊加密算法变换信道组合方式来降低信息被破解的概率。

4.3 可信延迟容忍路由

由于潜在数据转发节点的自私性和蓄意攻击,节点可能陷入网络可信孤岛,此时无法通过周围节点建立可信路径而直接接入网络。传统的面向连接的路由服务无法解决网络可信孤岛的通信问题,此部分引入延迟容忍路由思想,利用移动物联网设备的移动性、社会属性,解决网络可信孤岛中节点与外部节点可信通信的路由问题,主要功能模块有消息可信转发和节点缓存替换策略两部分。

4.3.1 消息可信转发机制

此部分结合社会属性,根据移动过程中相遇节点保存的社会关系列表、社会群体属性、社会功能属性等信息,通过可信性识别算法来确定相遇节点的可信程度。在选定转发可信节点的基础上,混合使用基于复制和基于相遇预测的转发机制,降低网络中消息副本的数量;同时,充分利用可信孤岛的局部连通性,在维持网络基本连接的前提下提高网络利用率。

4.3.2 节点缓存替换策略

此部分负责分析转发数据的可信性,并综合考虑数据与节点相关性、数据项访问/更新频率和节点移动趋势等因素对缓存命中率的影响,设计综合评估决策方法,提升延迟容忍路由的可信性,降低节点存储过程的开销和数据错误、丢失机率。

4.4 可信服务管理

此部分是提供可信泛在服务的前提。移动物联网处于高度动态变化的环境中,服务经常消失或重新出现,即具有动态可获取性的特点。此部分引入 RESTful (Representational State Transfer) 服务模型,以提升服务发现的实时性,通过服务发布添加可信要素和可信程度筛选选择来达到可信服务发现的目的,具体包括可信服务的统一描述、可信服务发布形式、可信服务的查找与匹配。

4.4.1 可信服务的统一描述

为使移动物联网系统中的异构设备进行服务交互与协作,采用面向服务的架构将设备功能封装为松散耦合的设备 Web 服务,以便于采用统一接口向外界提供服务,从而使各种异构的设备之间、设备与传统 Web 服务之间能够相互通信与协作。同时,由于设备种类和所具有资源量的异构性,不同设备所提供的服务具有异构的服务描述模型,因此对现有 RESTful Web 服务描述进行改进,不但使之兼容 WSDL (Web Services Description Language) 模型和 RESTful 服务模型,而且通过添加必要的字段使之能够描述与位置和可信性相关的内容。

4.4.2 可信服务发布

此部分负责可信服务发布。在发布服务中提取关键词,并依据事先建立的主题模型将关键词扩展为概率主题,从而达到扩充语义、有效地估计服务隐含主题的目的。其次,构建主题分类模型,描述主题之间的关联性。再次,建立包含主题、时间戳、可信程度 3 个维度的层次化主题发布模型,为后续的服务查找提供支持。最后,在发布服务时,进入 RESTful Web 服务模型,发布服务的信息不但包含服务主题,还包含时间戳和发布者的可信签名,其中签名是由群签名完成的,而服务请求者可以向可信自主管理域的管理节点请求验证。

4.4.3 可信服务的查找与匹配

由于移动物联网设备资源的有限性和移动性、无线通信的不可靠性、可信服务的孤岛隔离等特点,设备服务往往处于高度动态变化的环境中,服务经常消失或重新出现;而传统 Web 服务变化相对不频繁,这就要求移动物联网的可信服务发现必须具有更高的匹配效率。检索的关键词首先在最近时间戳、最高可信用度、最大概率匹配主题构成的主题发布模型空间中进行查找,匹配最高可信用度的服务;否则扩展到上一个层次的时间戳、次一个等级的可信程度、最小主题分类构成的搜索空间,并匹配最高可信用度的服务。当存在多个相同可信度的服务时,选择时间戳最新的服务。最后,当选择服务后,向发布服务的可信认知管理域的管理节点验证服务的可信性。

4.5 可信超网络的工作过程实例

本节以移动设备为例,说明可信超网络构架的工作过程。设备首先完成可信网络接入,然后进行可信服务选择,具体过程如下。

在节点快速移动过程中,不断通过信道感知模型感知网络资源。当有多个可用的网络接入点时(例如 wi-fi、ISP 基站、路边单元同时存在),分析和归纳用户接入要素,揭示接入要素与接入可信性之间的联系,通过将用户接入要素与超网络统一的资源特征可信性描述空间进行匹配来完成可信信道选择;当单个可信信道的带宽无法满足应用需求时,考虑对位于不同频段的可信信道并联使用以提高带宽,同时采用特殊加密算法来变换信道组合方式以降低信息被破解的概率。当设备感知到自己处于可信接入的网络孤岛时,将开启可信延迟容忍路由机制,利用相遇节点的社会特性,在移动过程中间接入可信赖的网络。

在节点完成可信接入后,通过超网络模型的可信服务管理完成可信服务选择。可信服务管理将服务提供者提供

的服务封装为松散耦合的设备 Web 服务,并记录时间戳和发布者可信签名。可信服务管理层在接到用户请求后,根据时间戳、可信度、主题等综合因素查找服务,并提供给用户。

从上述过程可知,可信超网络构架一方面可以保障服务随时随地的特点(通过将现有网络和延迟容忍路由思想相结合来为用户提供泛在服务,即使处于网络孤岛的情况下),另一方面可以保障服务的可信性(在接入过程和服务选择过程进行服务可信性的双重保障),能够适应移动物联网环境。

结束语 可信超网络的概念和属性是研究可信超网络的基础,有助于建立一个具有认知能力和自我管理能力的下一代网络。据此,本文首先提出可信超网络的概念,然后结合可信超网络概念,针对目前关于移动物联网方面的研究未能在整体上对“泛在服务提供”和“服务可信性保障”进行协调和关联的问题,提出可信超网络构架。本构架充分利用认知计算等自主管理技术,采用将可信适变接入和可信延迟容忍路由结合的方法,为用户提供泛在服务的同时保障服务可信性。

本文首先在认知计算、自律计算的基础上提出可信超网络的概念。在构架方面,与现有工作相比,本文通过充分利用现有网络基础设施,避免了当前利用 TPM 从底层硬件重构的可信网络模式对新加入移动物联网设备的过高要求,能够提升移动物联网的泛在可信服务提供能力。

参 考 文 献

- [1] ATZORI L, IERA A, MORABITO G. The internet of things: A survey[J]. *Computer Networks*, 2010, 54(15): 2787-2805.
- [2] HAZRA S, SETUA S K. Trust based secure wireless communication in Ubiquitous network[C]// *Proceeding of 2014 International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*, 2014. Palawan: IEEE, 2014: 1-6.
- [3] ATZORI L, IERA A, MORABITO G. Siot: Giving a social structure to the internet of things[J]. *IEEE Communications Letters*, 2011, 15(11): 1193-1195.
- [4] SCHMIDT R K, BRAKEMEIER A, LEINMÜLLER T, et al. Architecture for decentralized mitigation of local congestion in VANETs[C]// *Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST)*, 2010. Kyoto: IEICE, 2010: 21-28.
- [5] HO I W H, LEUNG K K, POLAK J W. Stochastic model and connectivity dynamics for VANETs in signalized road systems[J]. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2011, 19(1): 195-208.
- [6] AN J, GUI X L, ZHANG W D, et al. Social relation cognitive model of mobile nodes in the Internet of Things [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2012, 35(6): 1164-1174. (in Chinese)
安健, 桂小林, 张文东, 等. 物联网移动感知中的社会关系认知模型[J]. *计算机学报*, 2012, 35(6): 1164-1174.
- [7] FENG H, LI G, LU W, et al. Trust based secure in-network data processing schema in wireless sensor networks[J]. *Journal of Networks*, 2011, 6(2): 295-302.
- [8] LACUESTA R, PALACIOS-NAVARRO G, Cetina C, et al. Internet of things: where to be is to trust[J]. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2012, 2012(1): 1-16.
- [9] SAIED Y B, OLIVEREAU A, ZEGHLACHE D, et al. Trust management system design for the Internet of Things: A context-aware and multi-service approach[J]. *Computers & Security*, 2013, 39(B): 351-365.
- [10] LIU W M, YIN L H, FANG B X, et al. A hierarchical trust model for the internet of things[J]. *Chinese Journal of Computer*, 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] KUKLINSKI S, MATEI A, WOLONY G. NGVN: A framework for Next Generation Vehicular Networks[C]// *Proceedings of 2010 8th International Conference on Communications (COMM)*, 2010. Bucharest: IEEE, 2010: 297-300.
- [12] TAJEDDINE A, KAYSSI A, CHEHAB A. A privacy-preserving trust model for vanets[C]// *Proceedings of 2010 IEEE 10th International Conference on Computer and Information Technology (CIT)*, 2010. Bradford: IEEE, 2010: 832-837.
- [13] CHEN C, ZHANG J, COHEN R, et al. A trust modeling framework for message propagation and evaluation in VANETs[C]// *Proceedings of the 2nd International Conference on Information Technology Convergence and Services (ITCS)*, 2010. Cebu: IEEE, 2010: 1-8.
- [14] YAN Z, ZHANG P, VASILAKOS A V. A survey on trust management for Internet of Things. A survey on trust management for Internet of Things[J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2014, 42(1): 120-134.
- [15] HE Q, FENG Z Y, ZHANG P. Reconfiguration decision making based on artificial intelligence technology in cognitive radio networks[J]. *Journal on Communications*, 2012, 33(7): 96-102. (in Chinese)
贺情, 冯志勇, 张平. 基于人工智能技术的认知无线网络重构决策算法[J]. *通信学报*, 2012, 33(7): 96-102.
- [12] QU Z Y, LI H G. An Improved EEMD-based Denoising Method [J]. *Noise and Vibration Control*, 2014, 34(5): 171-176. (in Chinese)
屈中阳, 李鸿光. 一种改进的集合平均经验模态分解去噪方法[J]. *噪声与振动控制*, 2014, 34(5): 171-176.
- [13] WANG Y T, JUNG T P. Visual stimulus design for high-rate SSVEP BCI[J]. *Electronics Letters*, 2010, 46(15): 1057-1058.
- [14] HUANG L Y, HUANG X X, WANG Y T, et al. Empirical mode decomposition improves detection of SSVEP[C]// *International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society*. Osaka, Japan, 2013: 3901-3904.

(上接第 70 页)

杜丽, 李猛. 多层清除重复间隔阈值的 EMD 去噪及其应用[J]. *中国民航大学学报*, 2013, 31(5): 5-8.

[12] QU Z Y, LI H G. An Improved EEMD-based Denoising Method [J]. *Noise and Vibration Control*, 2014, 34(5): 171-176. (in Chinese)

屈中阳, 李鸿光. 一种改进的集合平均经验模态分解去噪方法