

## 车联社会网络综述

王翔<sup>1</sup>, 冷甦鹏<sup>1</sup>, 张可<sup>2</sup>, 刘浩<sup>3</sup>

(1. 电子科技大学 通信与信息工程学院, 四川 成都 611731;

2. 北京市交通运行监测调度中心, 北京 100073; 3. 北京市交通信息中心, 北京 100073)

**摘要:** 车联社会网络是一种融合了社会科学与无线通信技术的移动通信网络, 旨在为车载用户提供基于社会关系的数据投递服务。在分析国内外移动社会网络及车载网络研究现状基础上, 提出了车联社会网络的基本架构及其典型应用, 深入分析了车载网络与社会网络之间的关系, 探讨了车联社会网络中信息投递、带宽分配、分布式存储和安全隐私等技术中存在的 key 问题及其解决策略, 最后讨论了该领域中新的研究方向与挑战。

**关键词:** 车联社会网络; 移动社会网络; 车载网络

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

## Vehicular social network: a survey

WANG Xiang<sup>1</sup>, LENG Su-peng<sup>1</sup>, ZHANG Ke<sup>2</sup>, LIU Hao<sup>3</sup>

(1. School of Communication and Information Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China;

2. Beijing Municipal Transport Operation Coordinate Center, Beijing 100073, China;

3. Beijing Transportation Information Center, Beijing 100073, China)

**Abstract:** Combining techniques of social networks and wireless communications, vehicular social network (VSN) aim to provide a variety of data delivery services based on the social relationship among vehicle users. With the extensive survey and analysis of existing research work on mobile social network (MSN) and vehicle networks, the architecture and applications of vehicular social network (VSN) as well as the relationship between vehicle networks and social network from a technical viewpoint are presented. The key technologies in VSN are summarized, including the problems and solutions in terms of information delivery, bandwidth allocation, distributed caching, security and privacy. Moreover, future research directions and challenges are presented.

**Key words:** vehicular social network; mobile social network; vehicle network

### 1 引言

社会网络(SN, social network)<sup>[1]</sup>是一种基于网络的社会组织形式, 社会个体成员之间因为互动而形成的相对稳定的关系体系。社会网络描述了人们之间的互动和联系以及人们的社会行为。近年来, 社会网络的理念被运用到通信技术中提供有效的

数据交换, 共享和投递服务。随着移动手机的普及, 人们以移动通信网络的方式连接起来形成虚拟社会团体, 然而, 用户的移动性导致了用户行为的随机性, 尤其是车载环境下的车辆移动速度快, 网络拓扑变化频繁, 使移动用户间的数据交换, 共享和投递服务面临很大的困难。另一方面, 利用社会网络知识了解移动用户的社会行为、用户间的相关性

收稿日期: 2014-09-15; 修回日期: 2014-12-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61374189); 国家科技支撑计划基金资助项目(2011BAK12B02); 欧盟第七框架基金资助项目(PIRSESGA-2012-318939); 交通运输部信息化技术研究基金资助项目(2014364X14040); 中央高校基本科研业务费基金资助项目(ZYGX2013J009)

**Foundation Items:** The National Natural Science Foundation of China (61374189); The National Key Technology Research and Development Program of China(2011BAK12B02); EU EPT Project CLIMBER (PIRSESGA-2012-318939); Information Technology Research Projects of Ministry of Transport of China (2014364X14040); Fundamental Research Funds for the Central Universities (ZYGX2013J009)

及其移动模型,设计高效的数据通信服务和协议,从而有效地提升网络的性能和服务质量,是移动社会网络(MSN, mobile social network)<sup>[2]</sup>技术领域关注的研究重点。

目前对于车载环境下的移动社会网络研究还非常缺乏,这不利于车载环境下的社会应用。人们在行车或乘车的过程中,车辆作为移动通信设备和用户的载体,将无线通信网络与社会网络结合,形成了车联社会网络(VSN, vehicular social network)<sup>[3]</sup>。VSN是一种考虑车载用户之间社会关系的移动通信系统,既包含描述车载用户之间社会关系的社会网络(social network),又包含用于车载用户之间通信的车载通信网络(vehicular network)。

与普通的移动社会网络不同,车载用户间的社会关系强度不能恰当地表征车辆的聚集性。驱使VSN社群形成或聚集的主要因素是基于兴趣与地理位置结合的社群服务,以及同行车辆间的相互协作需求。此外,VSN用户的移动受道路和交通规则约束,能够用于提升用户移动性的预测精度。由于VSN具有自组织、部署迅捷、社会信息丰富等优势,非常适用于智能交通系统、面向物联网的传感网络、智能电网、社交网络等众多领域。这些独有的特点也为VSN通信协议的设计带来了新的挑战和机遇。

越来越多研究者对社会网络与通信网络之间的联系和相互影响产生了浓厚的兴趣。剑桥大学的计算机实验室,计算机协会(ACM, association for computing machinery)的MobiCom和SIGCOMM,普林斯顿大学、麻省理工学院、圣安德鲁斯大学、达特茅斯大学等众多知名高校及学术会议<sup>[4-7]</sup>通过项目或实验试图揭示人类社会网络与通信系统的关系,并发现了一些相关的规律,这也为VSN的研究奠定了坚实的技术基础。美国交通部也致力于建立一个允许车辆与路边无线接入单元或其他车辆间通信的全国性网络。众多科研机构投入对VSN的理论与应用研究,对VSN架构和产业模式的形成都起到了巨大的推动作用。

本文系统论述了车联社会网络的基本技术框架,从技术层面阐述了车载网络与社会网络的相互关系,探讨了VSN的系统架构及其相关关键技术,并总结了VSN所面临的困难和挑战,提出了相应解决思路。

## 2 车载网络与社会网络

由于传统的车载自组织网络(VANET, ve-

hicle ad hoc network)在复杂的路网以及建筑物遮挡等环境中具有临时、随机和不稳定的特点,不能为用户提供持续、可靠的全局服务,从而限制了车载应用的发展。当前,国内外学者对VANET的主要研究集中在消息传递问题上,主要从VANET的MAC与路由2个层面展开,上述2层协议的性能会直接影响到车联网中消息传递的效率。此外,随着新一代蜂窝网的出现,越来越多的车辆以物联网设备形式接入,传统的车载自组织网络正逐步向车联网转变。文献[8]中提出物联网应该是一个开放的综合的网络系统,包括VANET和移动互联网,移动互联网能提供可靠便捷的语音通信和娱乐服务,丰富行车生活,VANET则通过车辆间的直接通信为车辆提供即使通信功能,满足用户行车安全需求<sup>[9]</sup>。通过车联网将人、车、物以及环境相互连通起来,提供持续、可靠、可操控,可管理的通信系统,最终提高交通效率以及用户在车载环境中的服务质量,满足人类在行车过程中的安全和娱乐需求。相比于因特网,车联网更加着重于人与车的结合,车由此变得更加智能,为人提供更加方便的出行。

车联社会网络作为未来车联网的发展趋势之一,是一种融合了社会科学和无线通信技术、以用户为中心的移动通信网络。此类网络通过社会网络分析方法获取车载环境下用户间的社会关系及相似性,为车载用户提供基于社会关系的数据投递服务,扩展用户在车载环境中的社会活动,最终提供更个性化、便捷的行车和娱乐服务。车载网络与社会网络之间的相互映射关系如图1所示。

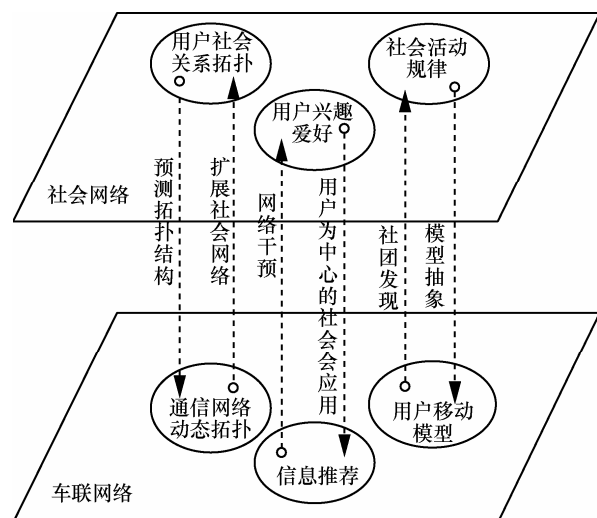


图1 社会网络与车载网络的关系

社会网络中个体的兴趣爱好、个体间社会关系以及人群的社会活动规律，能够在车载网络中的应用发挥作用。反之，车载网络中的社会应用、移动模型以及通信网络的动态拓扑，可对社会网络提供支撑和反馈。

此外，文献[10]研究了 VANET 中存在的社会特性，通过分析真实的车辆统计数据，发现 VANET 是具有小世界现象的网络，而并非随机网络。并且，VANET 具有高聚集效应，社会网络中的任意节点对之间可以通过不超过 3 跳的最短路径到达对方节点。文献[11,12]则从宏观和微观的角度分析了社会网络中不同的度量在车载网络中的应用，包括对通信协议以及服务性能的提升。通过对已有文献的分析，总结列出了 VSN 协议设计中常用的社会度量及其应用，如表 1 所示。

### 2.1 车联社会网络特点

作为一种应用驱动的网络，VSN 的核心是合作式信息交互及其在虚拟社团中的社会应用。与传统网络相比，车联社会网络具有以下特点：热点区域（hotspot）的移动性，基于地图道路的公路交通系统可预测性，通信节点移动速度快拓扑变化频繁。在这样的网络中，用户既是服务（信息）的消费者，也是服务（信息）的提供者，可以基于兴趣及地理位置组建社团，同时也需要基于信任机制的匿名通信。

车联社会网络与通常的在线社会网络的区别主要体现在 3 个方面。首先，从用户间的社会关系角度，普通在线社会网络中信息的交流主要发生在朋友、同事等相互认识的用户之间，而车联社会网

络中的信息交流大多发生在临时相遇的用户之间，他们在相同时空上进行着同一的社会活动，比如乘坐同一辆车，行驶在同一条道路上，经过相同的十字路口、商业区，到达同一活动中心。用户间的相遇是由于人类的社会活动的周期性与随机性（交通事故，车辆限行，展览会）相结合产生的。再加之较长的行车过程中，用户之间有社交活动以及行车协作的需求，从而形成了临时的车联社会团体，并可能会随着较长的持续时间衍生出较稳定的社会网络。其次，车载环境中 VSN 用户的移动性呈现出了 3 类聚集特性。进入车载环境的人类会在公共交通系统中体现聚集性，承载人类在车载环境中移动的车辆可称为移动热点（MGP, mobile gather points）；承载着乘客的车辆会在十字路口、停车场等车辆热点体现聚集性，这种车辆聚集的区域称为车辆聚集热点（VGP, vehicle gather points）；用户离开车载场景时的边缘热点的聚集性则体现在家庭，公司，商业区等固定热点区域（CGP, constant gather points）。用户的高移动性使车载环境下网络拓扑变化频繁，对用户的移动以及网络的建模变得非常困难，不利于车载环境中的通信协议分析及设计，然而 VSN 中的 3 类聚集特性能够很好地刻画 VSN 用户在车载环境中的社会活动及其移动模型。利用用户间的社会聚集性可以优化 VSN 中的通信协议和服务，提高信息的投递和共享效率。最后，VSN 用户的移动性使基于位置信息的服务更加适合于移动终端用户，用户间交流的信息与用户所处地理环境更加相关。例如，手机应用软件 Loopt 可以帮助用户发现周围用户，及其兴趣爱好和移动目的地，

表 1 社会网络度量在车载网络中的应用

社会度量	描述	在车载网络中的应用
距离（distance）	社会网络中节点之间最短路径的跳数	表示车载用户之间的共同兴趣爱好的相似度。可用于 VSN 中的信息推送，社团划分，信息共享
网络密度（density）	车载用户之间连接的密度	描述了网络中节点之间连接密度的分布。配合车载用户的地理位置可以用于优化 RSU 的部署，路由选路
社会关系强度（tie strength）	2 个节点之间的相遇的频次和相遇的时间长短	用来预测车载用户之间的行驶路径的相似度，优化路由协议以及它们之间的信息共享
节点度（node degree）	节点在社会网络图中的度	描述车载用户在网络中的流行程度。社团内部进行信息传递时，社团内节点的度将是路由选路的一个重要度量值
中介中间性（betweenness centrality）	在社会网络中，节点作为 2 个相邻节点的中间桥梁节点的度量	连接 2 个社会团体的中间节点会具有很高的中介中间性，这个中间节点在社团之间的信息交互过程中，起到了很关键的作用
聚集系数（cluster coefficient）	在社会网络图中，节点的邻居节点之间的社会关系强度	聚集系数可以用于社团（community）发现，将具有相同兴趣爱好（比如：广告，告警信息，共享资源）的一群用户组成虚拟的社会团体
接近中心度（closeness centrality）	在社会网络图中，与其他所有节点具有最短路径的节点	描述了最高效的路径和网络的可视性。选取接近中心度最高的节点作为信息分发和扩散的源节点，可以有效的减少信息扩散的时延和网络的开销

通过移动通信网络发现潜在的社会关系, 扩展在线社会网络。

相比于移动社会网络 (MSN, mobile social network), 车联社会网络在成员的社会属性、移动模型、应用类型、网络拓扑方面有其独特性, 这主要是由于 VSN 中通信设备的载体是行驶在道路上的车辆, 而并非移动 MSN 中的人体。MSN 利用用户间的社会关系<sup>[12]</sup>以及人类移动的聚集性, 提出了许多在通信资源匮乏情况下的信息投递技术, 这些技术的核心思想是寻找与目的节点社会关系强度最大的通信节点作为下一跳中继节点。此类研究利用社会网络知识的重点, 主要体现于人类经常聚集的固定热点区域。然而, 当用户的通信需求处于热点区域之间的通信盲区时, 社会网络的优势无法得到体现, 在车载环境中, 人类在 CGP 的聚集性变弱, VSN 通信系统更加关注的是人类在 MGP 的聚集性以及车辆在 VGP 的聚集性, 这也使车联社会网络的研究思路与传统移动社会网络有较明显的区别。综合考虑人类在 CGP, MGP 以及车辆在 VGP 的聚集性才能合理地刻画出 VSN 系统中用户的移动模型及通信需求, 才能更加合理地利用社会网络知识优化车联社会网络的性能与服务。研究社会网络在车载网络中的应用, 能够弥补 MSN 研究的技术空白。

另外, 与车载自组织网络相比, VSN 用户之间不仅通过车联网系统传递数据, 而且会将用户的社会关系反馈给网络系统, 从而优化信息投递, 提高信息的发布和共享效率。而且 VSN 中用户之间的合作性、协调性更加突出, 单纯的车辆间的通信服务并不能满足 VSN 用户的服务需求, 还需要根据社会网络的知识, 将多辆车辆组成虚拟的社会团体, 提供更加完善、丰富的信息服务。此外, 单纯的 VANET 无法完善地刻画 VSN 用户的通信需求, 因为 VSN 中车辆是通信网络的参与者, 更重要的是作为乘客和驾驶员接入车联社会网络的网关。车辆既要满足自身与其他车辆间的协作通信需求, 还要满足车载环境中人类的社交应用需求。另一方面, 车载环境中交通规则、道路等客观因素对用户移动通信和社交活动具有约束作用, VANET 无法维持稳定的车载通信网络, 所以, 在研究及设计 VSN 时应该在社会网络知识的指引下, 分析用户在车载环境中的行车规律以及与其他用户的相似性, 联合考虑用户以及车辆在车载网络中的社会特征,

为用户提供更稳定可靠的行车和娱乐服务。

## 2.2 车联社会网络架构

为了支持不同的数据交换、共享、转发场景, 本文提出了一种混合式的车联社会网络的架构。如图 2 所示, VSN 中采用的无线接入技术可包括 3G/4G 等蜂窝网、WIMAX、WiFi、VANET 等。车载用户既能以集中式的方式访问远端内容服务器, 同时还能以分布式的方式与其他用户通信。具有相同兴趣爱好的用户相遇时, 可进行数据交换和转发。其中, 集中式网络能够保证信息投递的性能, 而车载自组织网络等分布式网络可以减少数据传递开销, 为用户提供低成本无线通信服务。

车联社会网络是多种通信体制组成的异构网络, 需要在 TCP/IP 协议层上进行融合。VSN 的组件大概包括车载终端用户、底层车载网络、VSN 服务器、互联网络融合、全球导航卫星系统 5 部分。表 2 描述了 VSN 架构中各组件的相应实例及作用。

## 2.3 VSN 应用及信息类型

车联社会网络的服务旨在促进车载用户间的社会活动, 为用户提供信息交流平台和个性化服务。按照用户需求, VSN 中传递的信息类型大致可以分为以下 4 类。

1) 个人信息, 包括车辆位置、目的地、建议、语音记录、照片等。这类信息是驾驶员的个人信息, 可存储在装载在车辆上的存储设备, 也可以存储在远端的 VSN 服务器里面, 是组建虚拟社会团体的信息来源和重要依据, 主要用于行驶路线优化、语音聊天、照片分享、合作式行驶虚拟社团的组建。

2) 交通信息, 包括交通事故信息、路况信息、道路拥塞信息。这类信息主要由装载在车辆上的摄像头和传感器收集, 也可以由路旁单元或者是与公共交通系统相连的 RSU 来存储, 分发。交通信息主要用交通安全和交通效率的优化。例如通过社会网络分析用户的行车目的, 具有相同行车路线的车辆可以组建临时车队, 减少风力给汽车带来的阻力, 这样能为汽车节省大量的驱动能源。此外, 在智能电网中, 电动汽车会向电网反馈电量, 有相同馈电需求的车辆可以组建成临时社团, 以团体的形式和电网进行价格谈判和馈电安排, 最大化每个用户的收益。驾驶员之间相互交换交通信息, 可以合理地避开交通事故和交通拥塞, 从而提高整体驾驶者的交通安全和效率, 缓解城市中日益严峻的交通

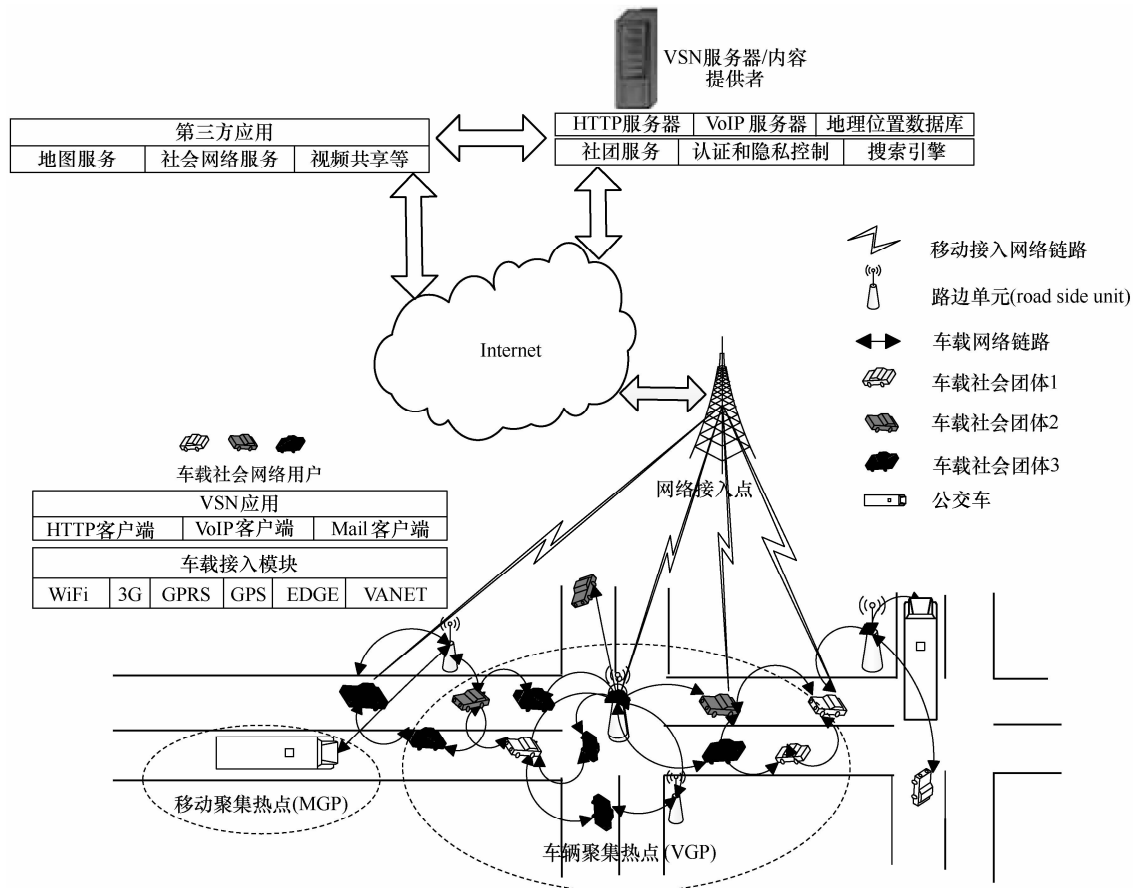


图 2 车联社会网络架构

表 2

VSN 组件及其在 VSN 架构中的作用

VSN 组件	组件实例	组件作用
车载用户终端	车载通信设备、乘客携带的移动终端（手机、笔记本）以及车辆传感器（包括自动距离传感器，比如雷达、激光雷达、相机以及能够检测车辆行驶状况的车轮速度传感器与车轮角度传感器 <sup>[13]</sup> ）	车载用户进行信息的发送与接收的通信设备；VSN 的信息源，存储单元
基础接入网络	路旁单元（RSU, road side unit），基础无线通信系统（其接入方式包括蜂窝网、WiFi、WIMAX 等）	与车载用户协调搭建基础的车载通信网络（V2V（vehicle to vehicle）、V2R（vehicle to road side unit）、V2I（vehicle to infrastructure）） 提供 VSN 与外部网络（Internet、外部服务器）的连接 扩展 VSN 的信息内容
VSN 服务器	VSN 后台服务器	收集和管理 VSN 用户的个人信息，可与外部服务器（比如 facebook 服务器，用户个人公开信息服务器等等）相连 VSN 中社团的发现、创建、管理 VSN 中的资源调度中心 VSN 通信数据统计与分析中心
互连网络融合	Internet 接入	包含丰富的互联网资源以及第三方车载应用
定位系统	全球导航卫星系统（GNSS, global navigation satellite systems） 本地定位系统（LPS, local position system）（例如 LORAN） 室内定位系统（indoor positioning systems）（如 Active Bat 等）	精确的自动定位系统可以准确地提供自身的位置信息和其他用户甚至是目的节点的位置信息 为 VSN 的应用部署与协议设计提供非常重要的信息

压力，也有利于交通相关部门进行统一调度。

3) 娱乐信息，包括聊天平台、视频分享、文件传递、多媒体业务等。这类信息主要来源于乘客智能终端（图片，多媒体影音等）、社交网络以及 VSN

服务器等。该类应用能够满足行驶过程中驾驶员和乘客的娱乐需求，缓解驾驶员行车过程中的行车压力，促进车辆上人们之间的社会活动<sup>[14]</sup>。通过社交网站或 VSN 通信系统分析用户数据，为乘坐公共

汽车、地铁等公共交通系统的用户提供基于用户兴趣的数据投递服务。这样的应用可以是不同主题的聊天平台，也可以是不同类型的多媒体影音，为不同兴趣爱好，不同年龄阶层的用户提供更个性化的娱乐信息服务，缓解枯燥漫长的乘车过程。此外，参与相同社会活动的用户会聚集在相应的城市热点区域。通过分析各个热点地区的社会特征，预测各个热点区域用户的信息需求，以便车联社会网能更智能地满足用户的娱乐信息需求。例如，公交或地铁经过商业中心时用户会收到购物消费相关的信息，经过旅游景区时收到各个景点的简介，经过体育馆时会收到馆内的体育赛事简介等。

4) 车辆信息，包括速度、发动机状态、胎压、油量、道路流量信息以及面向物联网的其他传感信息等。这类信息由装载在车辆和道路上的传感器来收集，这些信息可以用于服务车辆用户，并在湿滑路面，大雾天气等恶劣天气情况下的行车安全应用。如果是电动车辆，这类信息还包括电池的剩余电量，将这些信息发送给电力公司，以便智能电网能合理调度安排电动车辆的充放电。

与传统的社会网络用户不同，VSN 中驾驶员专注于行车，并没有很大的积极性在行车过程中报告或者分享信息。所以，VSN 中信息的发布机制必须非常简单、高效，需要最小化甚至避免对驾驶员的干扰。这给人机交互接口带来了很大的挑战，应用接口应当尽可能避免触屏式的操作和信息展现，而充分利用语音技术。

### 3 VSN 关键技术

本节分别从 VSN 的信息投递、带宽资源分配、分布式存储和安全隐私入手，分析社会网络在车载网络研究中的关键问题、技术手段及典型应用。

#### 3.1 信息投递路由技术

VSN 以用户为中心提供车载通信服务及社会应用，然而车载用户的移动性导致网络拓扑变化频繁，使 VSN 中的信息投递效率很低。但是节点间的社会关系在相对较长的时间内都比较稳定，此外，随着在线社会网络平台和社交网络 (Facebook、Orkut、MySpace 等) 的出现，网络中存储了丰富的用户信息及其社交信息，这促使人们利用社会网络知识来优化车载环境下的信息投递技术。图 3 所示为社会网络知识应用于 VSN 信息交互、信息分发和紧急信息扩散的技术研究。

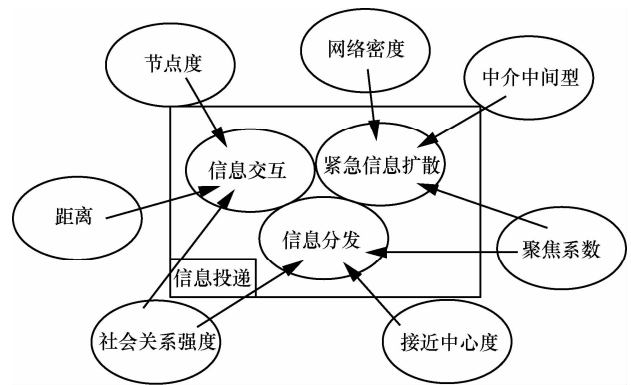


图3 社会度量在 VSN 信息投递设计中的应用

#### 1) 信息交互

在行车过程中用户会希望相互间交流交通信息或娱乐信息，比如多媒体共享、P2P 通信等。此外，VSN 社团内部成员之间，不同社团之间都会存在车辆间的点到点通信需求。

信息交互通常采用单播方式。由于车辆间不能保持相对稳定的无线连接，导致车辆间组成的 VANET 拓扑结构变化非常频繁。此外，车辆的移动速度非常快，使车辆间的可用通信时间较短。这些都给车辆间的信息投递带来了很大的挑战。

目前已有一些路由协议<sup>[15-17]</sup>通过分析社会网络的结构特点以及社会成员间的社会关系，采用基于预测的存储转发的方式，预测随后车辆间的通信概率、时间、地点及其周期性，配合热点技术和分布式存储，旨在提高报文投递成功率和减少投递时延，减少网络资源的开销。然而，目前车载网络中社会特性的研究和应用非常缺乏，可以借鉴容迟网络和 MSN 的路由算法思路，设计面向 VSN 的信息交互协议。

LABEL 路由算法<sup>[18]</sup>将社会团体作为标签来进行信息投递。尽管社团标签能够有效地提高转发效率，但是该算法缺乏一种可以应用于从属不同社团的源目节点路由机制。CAOR<sup>[19]</sup>算法则先把用户进行社团划分，然后在社团间进行信息投递。Bubble<sup>[20]</sup>算法则将社会团体结构和节点的中心度结合起来考虑转发策略。SimBet<sup>[21]</sup>利用节点在网络中的连接性和节点相似度进行路由决策，节点相似度是根据节点之间共同的朋友数量来计算的。SimBetAge<sup>[22]</sup>在 SimBet 的基础上作了部分改进，引入了新的参数—新鲜度。LocalCom<sup>[23]</sup>是抗毁网络中的一种基于社团的传染转发机制。Social Greedy<sup>[24]</sup>算法的转发策略则是由节点在社会网络中的社会相似度来决

定的，2个节点的相似度是通过节点之间共同的社会属性（地址、同时、学校、城市、国家等等）来计算，然而，Social Greedy 的转发成功率并没有传染算法和 BUBBLE 出色。PeopleRank<sup>[25]</sup>受 Google 给网站排名时使用的 PageRank 算法<sup>[26]</sup>启发，并利用加权的社會信息划分节点等级，为社会网络中与重要节点相连的节点分配更高的权重。

## 2) 信息分发

VSN 中信息分发主要针对紧耦合社团，相互认可的社团成员通过集中式或分布式进行信息分发，集中式的信息分发是 VSN 中服务器将信息通过基站以单播的形式发送给社团内的部分成员，再由这些成员以组播的形式将消息扩散给社团内的每一个成员，分布式的信息分发则是用户群组内部进行信息分布式组播分发，比如用户与多个好友间的私聊，社团内群聊。

由于社团内成员在空间上的不确定性以及车辆间网络拓扑动态变化的频繁性，使分发的报文很难在有效的时间内扩散到社团内的每个成员。VSN 中的信息分发，大多是将组播报文发给社团内适当的成员，然后利用潜在的 V2V 网络将报文在车辆间进行扩散。因此，需要研究信息分发携带节点或中继节点的优化选择算法以及信息的高效扩散策略。

通过社会的知识预测社团内成员的移动规律，分析社团的社会网络结构特点，选择合适的车辆成员作为中继节点或分发节点，有助于信息的快速分发以及扩大分发的覆盖范围。车辆间的 V2V 通信则需要综合考虑车辆的移动规律和车辆间的历史相遇信息，在保证组播投递成功率的前提下，尽量减少信息分发时延和开销。如何设计合理的组播路由机制，在组播的开销和 QoS 保障中寻找恰当的折衷，是 VSN 信息分发中需要进一步研究的工作。

文献[27]通过社会网络分析方法，根据用户间的社会关系和用户的兴趣爱好，针对用户遇到的具有不同社会属性、兴趣爱好的用户，提出了4种信息分发机制。SID<sup>[28]</sup>是一种用户兴趣驱使激励机制，促进广告信息在移动社会网络匿名用户中的分发。LBM<sup>[29]</sup>中提出了一种特殊的多播区域，这种区域也代表着多播组。LBM 把多播区域作为多播的报文的目的地信息，而并非所有多播组内各用户的位置信息。文献[30]则分析了移动社会网络中信息分发场景的带宽资源分配问题。

## 3) 紧急信息扩散

这类信息投递是一种广播方式，主要针对松耦合社团，社团内成员无需认证。信息需要在较短的时间内，将信息传递给与地理位置相邻的节点。车载网络的设计初衷是为了提高用户行车安全，由于车辆在道路上行驶时所处的空间位置不同，每个车辆能够感知收集到的安全信息也有所不同。车联网社会网络允许行使在同一路段的车辆组建成临时的虚拟社会团体（车队），在这个社团内的用户广播自己发现的交通路况紧急信息，以确保整个车队的行车安全。

紧急信息扩散要求信息的投递时延短，如何在有效的时间内将信息广播给有潜在需要的用户，是 VSN 中亟待解决的问题。文献[31]分析了分布式移动社会网络中的数据广播问题，采用超级用户将数据广播给其他用户。通过收集现实中的实验数据，揭示了人类移动模型的地理和社会规律、并利用半马尔可夫模型分析了用户与社团的关系。进一步提出适用于超级用户的路由算法，从而最小化超级用户的信息广播周期或者最大化信息分发率。Wu 等人在文献[32]中考虑了源节点的区域性信息以及道路地图，提出了 MDDV(mobility-centric data dissemination algorithm)，MDDV 以机会主义的方式传播广播报文。MDDV 计算到达目的节点所在区域的转发轨迹，并搜索出在这条转发轨迹中与目的节点最相近的车辆。Fasolo 等人提出了 smart broadcast (SB)<sup>[33]</sup>，根据与源节点相关的车辆位置来分配竞争窗口。这使 SB 中信息的传播速度会得到提高，当车辆的密度增加时，效果会更加明显。

## 3.2 信道带宽分配

与传统网络不同，车联网社会网络中同一社会团体内的用户之间存在资源竞争，但是用户得到的服务效用又和竞争用户的资源共享与协作相关。也就是说，车联网社会网络中，用户既享受系统为其提供的服务，也要参与到系统的服务中，用户既是服务（信息）的消费者，也是服务（信息）的提供者。并非竞争到的带宽资源越多，获得的服务质量越好。

VSN 中的通信资源包括通信设备的带宽，存储设备的信息与容量，设备能量等。其资源分配涉及如下几类：V2V 网络中的资源分配、V2R 网络中的资源分配、RSU 与 RSU 之间的资源分配、VSN 服务器之间的资源共享。此外，这些资源分配应该是基于环境感知（context-aware）的，因为车载用户

的资源需求是随时间和空间的变化而变化的。比如在上下班高峰期,车辆用户明显增多,接入网络的下行资源需求较高;而十字路口、高架桥、车站等车辆密度较高的地理位置需要相对较多的带宽资源;公共汽车承载更多的通信用户,它具有较高的社会中心度,也同样需要更多的带宽。

目前已有一些研究学者利用社会网络知识对车载网络的资源分配进行优化。文献[34]利用了社会网络中一个重要的概念社会中心度,分析社会中心度对车载社会网络中特定场景下动态带宽分配(DBA, dynamic bandwidth allocation)的作用。文献[35]描述了V2R通信中的RSU带宽分配,车辆用户购买的RSU带宽可以和其他车辆用户共享,以提高资源的利用率和减少用户购买带宽的花销。利用博弈方法,将车载用户以联盟(社团)的形式划分,用户可以自由选择加入或者离开联盟,联盟可以合并、分裂,最终形成稳定的联盟结构。通过车辆用户之间的带宽共享,使购买的带宽资源得到充分利用。文献[36]描述了车载网络中RSU之间的合作博弈,通过RSU之间的合作,协调各RSU发送给车辆用户的信息类型,并利用潜在的V2V共享不同类型的信息,从而增加各RSU的平均收益。

另外,VSN内容服务器经常需要将信息分发给具有相同兴趣爱好的团体,在文献[37]中,VSN内容服务器之间合作形成联盟,共享与蜂窝网基站的通信带宽,以减少支付给网络运营商的费用。而网络运营商可以根据VSN内容服务器的决策模式,控制为其分配的带宽资源,从而最大化自己的收益。

### 3.3 分布式存储

由于车载网络中车辆的移动速度很快,网络拓扑变化迅速,节点之间的相遇对于时间和空间有很大的依赖性,考虑VSN应用的需求,需要在一些特殊的地理位置(十字路口、立交桥、车站等)部署存储设备,以减少车辆之间的通信对时间和空间的依赖性。这就需要研究存储设备合理部署以提高网络的利用率以及存储单元的优化选择以提升信息投递成功率。

由于车载用户的移动受道路和交通规则的影响,其网络节点密度也随时间和空间的变化而变化,这一特点在城市的车载网络中尤其突出。例如,特定的场所(如立交桥、车站、市中心等)具有高密度的车载用户;周末早上出城车辆偏多,而晚上

进城车辆偏多。具有较高车辆密度的区域是信息的交汇中心,应该部署更多的存储单元。当用户想把信息分发给更多的用户时,则应该尽量选择将信息存储在这些区域,而当用户想把信息投递给较少的用户时,则需要预测目的节点的行驶路径,选择将报文投递到目的节点行驶路径上的存储单元中。

然而,目前车联网技术尚未大面积部署,在车联网部署的初期阶段,RSU存储单元等基础设施的部署开销非常大,如何减少RSU的部署开销是亟待解决的问题。现有研究提供了利用社会网络知识优化部署RSU的解决思路,文献[38]提出利用车辆在十字路口等热点区域的聚集性以及热点区域的中介中间性,定义并计算了十字路口的社会中心度,选择社会中心度较高的热点作为合适的RSU安放地点,提升存储设备的利用率。文献[39]针对信息投递提出了存储转发的机制,节点携带转发报文到达十字路口的时候,估算各路段上车载用户好友的密度,选择合适的存储转发路段,直到目的节点接收报文为止。文献[40]针对在线社会网络在车载网络中的部署提出了社会存储,旨在解决VSN中P2P的连接数目问题。该文提出了一种近似的启发式的社会存储选择算法,从周围的邻居节点中选出合适的邻居集,以减少P2P网络的连接数目。

### 3.4 安全与隐私

VSN中的应用需要经常访问车载用户的物理位置、个人偏好、社会关系等隐私信息,车载用户需要提供或公开自己的部分隐私信息,因此VSN中用户的安全和隐私变得至关重要。

#### 3.4.1 认证

VSN中信息的收集、共享使数据来源和转发的安全性成为重要的因素。需要认证机制提供保障。发送者可能误报信息以方便自己的驾车,比如车辆 $V$ 想要经过某条道路,但它故意错误地给其他车辆发送道路 $R$ 有交通拥塞的信息,以鼓励其他车辆绕过该道路,这样会使VSN中的车辆做出错误的行为。行为更加恶劣的恶意节点甚至会冒充车辆或者路旁单元,从而引发交通安全事故。VSN中应该建立高可信度的信息网络,从而减少这种威胁,VSN中的用户能够识别出信息是否来源于不受信任的发送者。文献[41]提出了结合基于密码学的实体信任和基于邮件的社会信任机制,实体信任确保数据的完整保密,社会信任则根据来往邮件的历史信息

度量数据的可靠性。

### 3.4.2 隐私

发送者的隐私和接收者对信息的认证是紧密联系的，用户既需要在社会网络中与别人分享信息，又不希望自己的行程被跟踪，如何在其中寻找合适的折中需要进一步研究<sup>[42,43]</sup>。VSN中可以考虑一些已有的解决方案，文献[44,45]中提出了可减缓对车辆恶意的跟踪行为的一些策略，比如随机静默期、隐藏于社团、功率控制。此外，还可以利用社会网络特性设计隐私保护的机制。车辆通过广播安全告警信息提高行车的安全和驾驶体验，然而安全告警信息会暴露用户的位置信息和假名，使用户容易被恶意节点持续跟踪并获取隐私信息。文献[46]利用车辆在十字路口、停车场等社会热点的聚集性，扩大匿名集的大小，用户间协同在热点区域同时更换假名并广播安全信息，避免被恶意节点持续跟踪。此外，利用车辆聚集处的RSU的辅助存储转发功能，发送节点将信息投递到合适的RSU，等待目的节点经过RSU时收取信息，使信息投递机制规避发送节点和目的节点的地理位置信息，从而保护车载用户的位置隐私信息。

### 3.4.3 恶意攻击防御

根据文献[47]，攻击者可以分为内在和外在的、恶意的和合理的、积极的和消极的几种类型。在VSN中，恶意攻击可被分为一般攻击和位置相关的攻击。

1) 一般攻击：Raya和Hubaux在文献[47]中提出了公钥基础设施(PKI, public key infrastructure)的解决方法，针对信息交换和数据服务传输会议提供认证。IEEE 1609.2<sup>[48]</sup>也提出了类似的公钥认证来保护应用的可靠性。

2) 位置相关的攻击：包括位置造假和女巫攻击。基于位置的数据传递很容易受到位置造假攻击。为了检测虚假位置信息，自主位置认证<sup>[49]</sup>把VANET中的节点当作系统中一系列独立的传感器、例如侦听基于地图的传感器，并利用移动速度门限、最大密度门限，评估其他车辆发布的位置信息可靠性。Yan等人在文献[50]中提出利用车载雷达来监测邻居节点，并测量公开的坐标信息。雷达检测能够提高对攻击检测的精度，但是对硬件也有额外的要求。对于女巫攻击，攻击者通过发送不同身份的报文来模拟多个节点，文献[51]指出利用双向天线可以有效帮助检测出女巫攻击。

利用用户的社会属性可以有效地提高信息分发、共享的安全性，研究基于用户信任度的VSN中安全与隐私策略将成为热点。设计基于信用度的分布式认证机制，车载用户可根据周围用户的历史交互信息以及车载用户的社会属性，评估用户的信用度。另一方面，通过VSN服务器集中控制管理VSN社团成员，采用基于信用度的机制，提供用户的认证功能。

## 4 新的研究方向与挑战

通过以上对车联社会网络关键技术的综述可知，虽然目前许多可借鉴的技术可应用于VSN，但由于VSN的特点以及车联网尚未大面积部署，仍有许多值得研究的技术问题。此外，VSN用户的社会特性也给车载应用带来了一些新的挑战。针对前述关键技术，本文给出以下4方面的研究建议。

1) 传统移动社会网络中的社会网络分析方法并不适用于VSN。MSN研究中利用社会网络知识的优势主要体现在人类经常聚集的热点区域(hotspot)，而VSN用户间的信息投递主要发生在行驶的道路上，当通信设备的通信需求处于热点区域之间的路程中时，社会网络的优势并没有得到体现。目前VSN中的信息投递技术研究很缺乏，建议VSN信息投递策略研究采用以下思路。

① 基于预测的VSN路由算法。综合考虑车辆用户在热点区域之间的移动规律以及热点之间的路径，分析车辆之间在道路上相遇的概率，根据预测概率设计路由算法。值得注意的是，由于车辆的高移动性，车载网络对用户间连接性的依赖不能过大，信息投递中很有必要利用RSU作为信息缓存单元。

② 基于移动热点的VSN信息投递技术研究。公共交通系统作为VSN中的移动热点，其移动模型是高度有规律可预测的，且移动范围覆盖广，通常会聚集到同一个热点区域(例如汽车站)，通信设备的能力也较强，这使公共交通系统能够很好地作为VSN信息投递的携带者和分发者。此外，公共交通系统承载的车载用户数量也是最多的，体现了车载用户的集聚效应，能够帮助分析社会网络对VSN信息投递的影响。

③ 基于社会学的信息投递机制。这类信息投递是基于车辆用户间的社会关系强度的。在信息投递过程中，信息携带者根据邻居节点的社会关系强

度选取合适的中继节点,从而提高信息的投递成功率和减少投递时延。用户间社会关系的获取目前主要有2种方式:一种是基于在线社交网站,通过用户在各社交网站中的个人信息分析用户间的社会关系强度,另一种是基于车载用户间相遇的历史时间和频次推导得出。

2) 设计合适的带宽资源分配算法是保障用户QoS的重要因素,在该方向需要进一步研究的工作包括以下2项。

① 基于合作博弈的VSN带宽分配算法的设计。车载环境中存在多个热点区域,这些区域不仅是车辆的交汇中心而且也是信息的转发存储中心,大量信息交互传递会导致该区域的带宽资源的需求急剧增加。然而,交通状况良好的相邻区域的通信负载会更轻,可能会存在带宽资源的盈余。资源提供者和竞争者之间可以通过合作博弈的方式,实现带宽资源的最优化配置。

② 基于认知无线电技术的VSN带宽资源分配算法研究。VSN中用户即是带宽资源的竞争者又是合作者。认为主用户把带宽分配给与自已社会关系强度更高的用户,会给自己带来更多的收益(获得更多自己关心的信息)。当车载主用户有剩余带宽资源时,可根据与邻居节点的共同兴趣爱好,历史相遇频次等社会关系强度来给次用户分配带宽。

3) VSN中用户的移动规律与其生活习惯息息相关,这直接决定车载用户与通信设备相遇的概率,从而影响车载用户间的通信。目前车载网络与社会存储相结合的研究还不够完善,如何根据用户的社会信息设计合理的存储机制,将是VSN通信系统提高整体服务质量的关键因素,VSN分布式社会存储机制研究应考虑以下2点。

① VSN中信息投递的存储机制。设计基于社会网络的路由投递存储机制,根据目的节点社会活动规律(工作、生活、娱乐等),选择目的节点常去的地理区域(固定热点区域)或公交系统(移动热点区域)进行投递存储,提高投递率减小投递时延。

② VSN存储单元的分布机制。基于社会邻近的城市车载网络环境中,热点区域附近的车辆分布随与热点的距离呈幂次法则衰减<sup>[52]</sup>,需要结合车辆在固定热点的聚集性以及人类在车辆上的聚集性进一步研究如何合理的分布存储单元,使路由和带宽更为优化。

4) 虽然社会网络为解决VSN中的用户隐私问

题提供了新思路,但由于VSN中用户间交互、共享的是隐私相关的信息,使VSN的隐私更容易暴露给恶意节点。文献[53]指出隐私攻击者可以通过观察VSN用户的信息投递模式,跟踪路由路径和截取群组发送列表等信息投递过程中容易暴露的信息,分析得出用户的个人偏好、社团归属、朋友圈等隐私信息。尤其是在VSN的信息投递过程中,涉及其他节点或设备辅助中继转发,用户的数据及其隐私安全问题更加突出,这也给VSN系统及其协议设计带来了新的挑战。目前还没有很好的解决办法,研究者的主要思路还是通过集中式身份管理系统(IMS)<sup>[54]</sup>管理用户身份授权,并采用信息加密技术避免数据在信息的传递过程中被攻击者破解,有效缓解VSN中信息传递过程中造成的用户隐私泄露。

## 5 结束语

车联社会网络正在改变人类通信和数据交换方式。VSN以用户为中心提供服务的同时,用户之间的社会关系又可用来优化数据交换、共享和转发,以提高系统的服务质量。此外,通过社会网络的信息,可以将原本离散的车辆节点组合成同一个团体,形成统计复用增益,这也是移动社会网络区别于其他的网络的最大优势。本文通过介绍VSN的基本概念、架构与应用,讨论VSN通信系统中的相应协议、关键技术和未来研究方向,力图展示车联社会网络的基本技术框架。相信通过对社会网络的研究可优化车载通信系统的性能,而车载通信系统的发展可以促进社会网络的演进,使人类的社会活动更加方便、快捷、高效。

## 参考文献:

- [1] WASSERMAN S. Social Network Analysis: Methods and Applications[M]. Cambridge University Press, 1994.
- [2] KAYASTHA N, NIYATO D, WANG P, *et al.* Applications, architectures, and protocol design issues for mobile social networks: A survey[J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(12): 2130-2158.
- [3] SMALDONE S, HAN L, SHANKAR P, *et al.* RoadSpeak: enabling voice chat on roadways using vehicular social networks[A]. Proceedings of the 1st Workshop on Social Network Systems[C]. ACM, 2008. 43-48.
- [4] CHAINTREAU A, HUI P, CROWCROFT J, *et al.* Pocket switched networks: Real-world mobility and its consequences for opportunistic forwarding[R]. Technical Report UCAM-CL-TR-617, University of Cambridge, Computer Laboratory, 2005.
- [5] SRINIVASAN V, MOTANI M, OOI W T. Analysis and implications of

- student contact patterns derived from campus schedules[A]. Proceedings of the 12th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking[C]. ACM, 2006.86-97.
- [6] Dartmouth University. A community resource for archiving wireless data at dartmouth[EB/OL]. <http://crawdad.cs.dartmouth.edu>.
- [7] LU N, LUAN T H, WANG M, *et al.* Bounds of asymptotic performance limits of social-proximity vehicular networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2014, 22(3):812-825.
- [8] YANG F C, WANG S G, LI J L, *et al.* An overview of internet of vehicles[J]. Communications, China, 2014, 11(10): 1-15.
- [9] HARTENSTEIN H, LABERTEAUX K P. A tutorial survey on vehicular ad hoc networks[J]. Communications Magazine, IEEE, 2008, 46(6): 164-171.
- [10] LIU X, LI Z, LI W, *et al.* Exploring social properties in vehicular ad hoc networks[A]. Proceedings of the Fourth Asia-Pacific Symposium on Internetworking[C]. ACM, 2012.24.
- [11] CUNHA F D, VIANNA A C, MINI R A F, *et al.* How effective is to look at a vehicular network under a social perception[A]. Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2013 IEEE 9th International Conference[C]. IEEE, 2013.154-159.
- [12] VASTARDIS N, YANG K. Mobile social networks: architectures, social properties, and key research challenges[J]. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2013, 15(3): 1355-1371.
- [13] 钱志鸿, 王义君. 面向物联网的无线传感器网络综述[J]. 电子与信息学报, 2013, 35(1):215-227.
- QIAN Z H, WANG Y J. Internet of things-oriented wireless sensor networks review[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2013, 35(1): 215-227.
- [14] LUAN T H, SHEN X, BAI F, *et al.* Feel bored? join verse! engineering vehicular proximity social network[J]. IEEE Transaction on Vehicular Technology, 2014, 7:1-12.
- [15] YU N, HAN Q. Context-aware community: integrating contexts with contacts for proximity-based mobile social networking[A]. Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), 2013 IEEE International Conference[C]. IEEE, 2013.141-148.
- [16] VASTARDIS N, YANG K. Multi-phase socially-aware routing in distributed mobile social networks[A]. Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)[C]. IEEE, 2013.1353-1358.
- [17] GONG H, YU L. Study on routing protocols for delay tolerant mobile networks[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2013(2013): 145727.
- [18] HUI P, CROWCROFT J. How small labels create big improvements[A]. Pervasive Computing and Communications Workshops, Fifth Annual IEEE International Conference[C]. IEEE, 2007.65-70.
- [19] XIAO M, WU J, HUANG L. Community-aware opportunistic routing in mobile social networks[J]. IEEE Transactions on Computers, 2013, 63(7):1682-1695.
- [20] HUI P, CROWCROFT J, YONEKI E. Bubble rap: social-based forwarding in delay-tolerant networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2011, 10(11): 1576-1589.
- [21] DALY E M, HAAHR M. Social network analysis for routing in disconnected delay-tolerant manets[A]. Proceedings of the 8th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing[C]. ACM, 2007.32-40.
- [22] BITSCH L J Á, VIOL N, GOLIATH A, *et al.* SimBetAge: utilizing temporal changes in social networks for pocket switched networks[A]. Proceedings of the 1st ACM workshop on User-provided networking: challenges and opportunities[C]. ACM, 2009.13-18.
- [23] LI F, WU J. LocalCom: a community-based epidemic forwarding scheme in disruption-tolerant networks[A]. Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, 6th Annual IEEE Communications Society Conference[C]. IEEE, 2009.1-9.
- [24] JAHANBAKHS K, SHOJA G C, KING V. Social-greedy: a socially-based greedy routing algorithm for delay tolerant networks[A]. Proceedings of the Second International Workshop on Mobile Opportunistic Networking[C]. ACM, 2010.159-162.
- [25] MTIBAA A, MAY M, DIOT C, *et al.* Peoplerrank: social opportunistic forwarding[A]. INFOCOM, 2010 Proceedings IEEE[C]. IEEE, 2010. 1-5.
- [26] BRIN S, PAGE L. The anatomy of a large-scale hypertextual Web search engine[J]. Computer Networks and ISDN Systems, 1998, 30(1): 107-117.
- [27] ZHANG Y, ZHAO J. Social network analysis on data diffusion in delay tolerant networks[A]. Proceedings of the tenth ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing[C]. ACM, 2009.345-346.
- [28] NING T, YANG Z, WU H, *et al.* Self-Interest-driven incentives for ad dissemination in autonomous mobile social networks[A]. INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE[C]. IEEE, 2013.2310-2318.
- [29] MAIHOFER C. A survey of geocast routing protocols[J]. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2004, 6(2): 32-42.
- [30] NIYATO D, HAN Z, SAAD W, *et al.* A controlled coalitional game for wireless connection sharing and bandwidth allocation in mobile social networks[A]. Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010), 2010 IEEE[C]. 2010.1-5.
- [31] FAN J, CHEN J, DU Y, *et al.* Geocommunity-based broadcasting for data dissemination in mobile social networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2013, 24(4): 734-743.
- [32] WU H, FUJIMOTO R, GUENSLER R, *et al.* MDDV: a mobility-centric data dissemination algorithm for vehicular networks[A]. Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks[C]. ACM, 2004.47-56.
- [33] FASOLO E, ZANELLA A, ZORZI M. An effective broadcast scheme for alert message propagation in vehicular ad hoc networks[A]. Communications, IEEE International Conference[C]. 2006. 3960- 3965.
- [34] FEI R, YANG K, CHENG X. A cooperative social and vehicular network and its dynamic bandwidth allocation algorithms[A]. Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPs), 2011 IEEE Conference[C]. 2011. 63-67.
- [35] NIYATO D, WANG P, SAAD W, *et al.* Coalition formation games for bandwidth sharing in vehicle-to-roadside communications[A]. Wireless Communications and Networking Conference (WCNC) 2010 IEEE[C]. 2010.1-5.
- [36] SAAD W, HAN Z, HJORUNGNES A, *et al.* Coalition formation games for distributed cooperation among roadside units in vehicular networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2011, 29(1): 48-60.
- [37] NIYATO D, WANG P, SAAD W, *et al.* Controlled coalitional games for cooperative mobile social networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(4): 1812-1824.

- [38] LU R X, LIN X D, SHEN X M. SPRING: a social-based privacy-preserving packet forwarding protocol for vehicular delay tolerant networks[A]. INFOCOM, 2010 Proceedings IEEE[C]. 2010. 1-9.
- [39] KHOKHAR R H, NOOR R M, GHAFOR K Z, *et al.* Fuzzy-assisted social-based routing for urban vehicular environments[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2011,(1): 1-15.
- [40] HAN L. Social Caching and Vehicular Social Networks: Two Contributions to the Theory and Practice of Online Social Networks[M]. Rutgers University, 2013.
- [41] HUANG D, ZHOU Z, HONG X, *et al.* Establishing email-based social network trust for vehicular networks[A]. Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)[C]. 2010. 1-5.
- [42] HU Y C, LABERTEAUX K P. Strong VANET security on a budget[A]. Proceedings of Workshop on Embedded Security in Cars (ESCAR)[C]. 2006.1-9.
- [43] 丁丽萍, 卢国庆. 面向频繁模式挖掘的差分隐私保护研究综述[J]. 通信学报, 2014, 35(10):200-209.  
DING L P, LU G Q. Survey of differential privacy in frequent pattern mining[J]. Journal on Communications, 2014, 35(10):200-209.
- [44] SAMPIGETHAYA K, LI M, HUANG L, *et al.* Amoeba: Robust location privacy scheme for vanet[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007, 25(8): 1569-1589.
- [45] CHEN G, RAHMAN F. Analyzing privacy designs of mobile social networking applications[A]. Embedded and Ubiquitous Computing, 2008. EUC'08. IEEE/IFIP International Conference[C]. 2008. 83-88.
- [46] LUN R X, LIN X D, LUAN T H, *et al.* Pseudonym changing at social spots: an effective strategy for location privacy in VANETs[J]. IEEE Transaction on Vehicular Technology, 2012, 61(1): 86-96.
- [47] RAYA M, HUBAUX J P. The security of VANETs[A]. Proceedings of the 2nd ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks[C]. ACM, 2005.93-94.
- [48] IEEE 1609.2-2006. IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Security Services for Applications and Management Messages[S]. 2006.
- [49] LEINMÜLLER T, MAIHÖFER C, SCHOCH E, *et al.* Improved security in geographic ad hoc routing through autonomous position verification[A]. Proceedings of the 3rd International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks[C]. ACM, 2006.57-66.
- [50] YAN G, OLARIU S, WEIGLE M C. Providing VANET security through active position detection[J]. Computer Communications, 2008, 31(12): 2883-2897.
- [51] GUETTE G, DUCOURTHIAL B. On the Sybil attack detection in VANET[A]. Mobile Adhoc and Sensor Systems, IEEE International Conference[C]. 2007.1-6.
- [52] LU N, LUAN T H, WANG M, *et al.* Capacity and delay analysis for

social-proximity urban vehicular networks[A]. INFOCOM, 2012 Proceedings IEEE[C]. 2012.1476-1484.

- [53] YAN S, LIHUA Y, SHUANG X. Privacy vulnerability analysis on routing in mobile social networks[A]. Parallel and Distributed Systems (ICPADS), 2013 International Conference[C]. 2013. 454-455.

- [54] CAHILL C, CHAMPAGNE D, ELLISON G, *et al.* Liberty ID-WSF authentication, single sign-on, and identity mapping services specification[EB/OL]. <http://www.docin.com/p-193062258.html>.

#### 作者简介:



王翔(1988-), 男, 湖南常德人, 电子科技大学博士生, 主要研究方向为车联社会网络、移动社会网络、车载网络。



冷甦鹏(1973-), 男, 四川资中人, 博士, 电子科技大学教授、博士生导师, 主要研究方向为物联网/无线传感网、下一代宽带无线网络、移动社会网络、智能交通信息技术等。



张可(1974-), 男, 河南新乡人, 博士, 北京市交通运行监测调度中心研究员, 主要研究方向为智能交通、交通信息提取计算技术、综合交通运行监测与数据分析应用。



刘浩(1977-), 男, 四川资中人, 博士, 北京市交通信息中心副研究员, 主要研究方向为智能交通技术、交通建模、交通仿真等。