

# 车联网群智感知与服务

## Crowd Sensing and Service in Internet of Vehicles

李静林/LI Jinglin  
袁泉/YUAN Quan  
杨放春/YANG Fangchun

(北京邮电大学 网络与交换技术国家重点实验室, 北京 100876)  
(State Key Laboratory of Networking and Switching Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

车联网(IoV)是一种基于多人、多机、多车、环境协同的可控、可管、可运营、可信的开放融合网络系统,其通过先进的信息通信与处理技术,对人、车、网络通信和道路交通基础设施等环境元素的大规模复杂静态/动态信息进行感知、认知、传输和计算,解决泛在异构移动融合网络环境中智能管理和信息服务的可计算性、可扩展性和可持续性等问题,最终实现人、车、环境的深度融合<sup>[1-2]</sup>。群智感知的核心思想是通过感知个体信息,继而挖掘群体信息,实现对个体或群体的泛在化服务<sup>[3]</sup>。从车联网和群智感知的内涵可见,群智感知是车联网服务的核心特征之一。

相比于普通移动设备,车联网群智感知会有更多优势。首先,车辆的移动性更强,感知的覆盖范围更广,且车载设备没有严格的能源约束,车辆中可装载复杂的传感器及高性能的数据处理、存储和无线通信设备。其次,车联网提供的车与车(V2V)、

收稿日期: 2015-09-05

网络出版时间: 2015-10-21

基金项目: 国家高技术研究发展(“863”)计划(2012AA111601); 国家自然科学基金(61272521)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2015) 06-0006-004

**摘要:** 移动群智感知与协同计算是车联网的核心特征之一。通过对集中式和分布式两种车联网群智感知框架的结构、工作过程、优势与问题的分析,提出了支持车联网群智感知与服务的混合式框架模型。混合式模型融合集中式在感知效率和分布式在信息效用方面的优势,解决了车联网群智感知在高效性与实时性之间的矛盾,为移动群智感知和协同计算拓展了新的研究领域。

**关键词:** 车联网; 群智感知; 车载自组织网

**Abstract:** Mobile crowd sensing and coordinated computing are core features of the Internet of Vehicles (IoV). In this paper, we elaborate on the architecture, operation procedures, and advantages and disadvantages of both centralized and distributed crowd sensing frameworks in IoV. We propose a novel hybrid framework that facilitates crowd sensing and service in IoV. The hybrid framework combines the sensing efficiency of a centralized framework with the information utility of a distributed framework. This resolves the contradiction between efficient sensing and real-time sensing in IoV. The hybrid framework expands the field of research for mobile crowd sensing and coordinated computing.

**Keywords:** Internet of vehicles; crowd sensing; vehicular ad-hoc networks

车与路边基础设施(V2I)等通信模式,拓展了群智感知的能力和形式。最后,车辆的行驶受道路和交通条件约束,且具有较强的规律性,使得其轨迹容易预测,有利于感知任务的合理分配。

考虑到车辆作为交通工具的基本属性,车联网群智感知特别适用于交通安全与效率相关要素的感知。相较于传统的部署于重要路口和断面的地感线圈、摄像机等交通监测手段,车联网群智感知使得交通监测的覆盖区域更完整,时空分辨率灵活可调,并使重点区域可以获得更高精度和分辨率的感知数据,使得从交通感知到信息服务的过程更敏捷与实时。因此,车联网群智感知与服务是群智感知中感知与服务一体化的具

体体现。

### 1 集中式的车联网群智感知与服务

集中式感知是车联网群智感知的基本模式,由装载传感器的车辆节点和数据处理中心构成,如图1所示。其中,参与群智感知的车辆有专业和普通之分,专业车辆为感知任务发布机构(如交管中心、气象局、环保局,以及车载导航服务提供商等)所拥有,因此其行驶轨迹可控,且感知数据质量高,但数量较少;而更大规模的是普通车辆(如出租车、公交车,甚至是一些私家车等),其行驶轨迹取决于驾驶人的实际需求,感知数据质量也参差不齐。车辆收集的城市大数据,将交由数据处理中心进行集

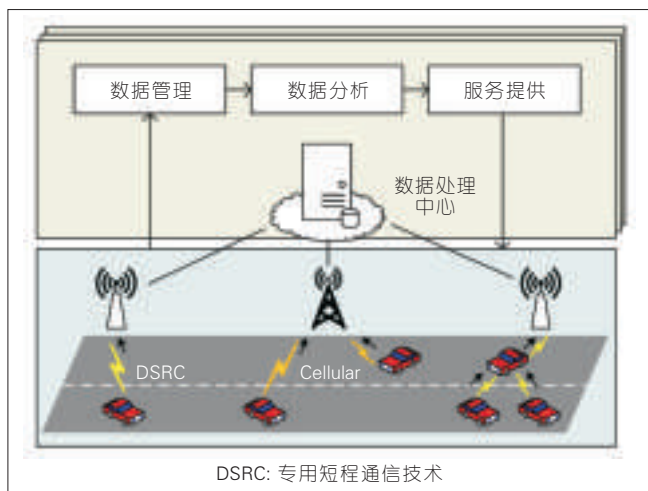


图1  
集中式的车联网群智感知与服务

中管理与分析,并以信息服务的方式反作用于物理世界,具体过程如下:

- 数据收集。车载传感器以固定的时空间隔感知物理世界,并对感知数据进行初步处理,在车载存储器暂存。当其进入路侧的无线网络接入点或公众移动通信网基站覆盖范围时,将数据传输至数据处理中心。

- 数据处理。数据处理中心拥有强大的计算和存储资源,负责对感知数据进行管理、分析及服务提供,即特定领域下的城市计算。其中数据管理技术包括流数据管理、图数据管理、轨迹管理和时空索引等;数据分析即大数据背景下的数据挖掘、机器学习和可视化等技术,旨在监控城市运行状态,发掘潜在异常事件,预测城市要素发展态势;服务提供则涉及服务计算的相关技术。

集中式的车联网群智感知是一种众包机制。在初期的研究中,学者们提出了各种集中式感知的应用场景,如 CarTel<sup>[4]</sup>将车辆作为探针感知交通延误,并发现交通拥塞区域; Pothole Patrol<sup>[5]</sup>利用安装在车辆上的三轴加速度传感器来识别路面凹坑; Hu 等人<sup>[6]</sup>通过向车辆安装附加传感器进行城市气象和空气质量的细粒度监测; Zhu 等人<sup>[7]</sup>以及 OpenStreetMap 利用车辆的全球定位系统(GPS)轨迹来绘制电子地图,这为自动驾驶所需厘米级高精度地图的绘制提供了

思路。在这些场景中,集中式车联网群智感知主要用于城市复杂环境中长期大规模非实时或准实时的自然社会环境监测。

感知质量与效率是评价一个感知系统的重要指标。虽然参与群智感知的大部分是非专业车辆,单一车辆感知精度难以保证,然而数据处理中心可以利用全体采样数据的关联关系进行数据验证与修复,从而去粗取精、去伪存真,在感知资源较为充裕的地区能够保证群智感知的感知质量,但同时由于依赖大规模数据融合处理,其感知的实时性不高。另外,由于非专业车辆行驶轨迹取决于驾驶人的实际需求,会导致感知资源的时空分布不均匀。感知资源过剩的区域(如商业区、居民区等)存在数据冗余,浪费感知、通信和计算资源;而感知资源稀缺的区域(夜间、城乡结合部等)存在数据缺失,进而影响感知质量。针对数据冗余问题,在满足感知质量的前提下可选择尽量少的车辆参与感知,以有效提高感知效率<sup>[8]</sup>。针对数据缺失问题,插值、主成分分析、矩阵和张量补全<sup>[9-10]</sup>等方法可以充分利用感知数据的时空相关性及潜在演变模式实现缺失数据较精准的估计。使用动态激励机制<sup>[11]</sup>来诱导车辆的行驶轨迹与感知行为,实现感知资源的重分配,是一种主动解决数据冗余和缺失问题的途径。

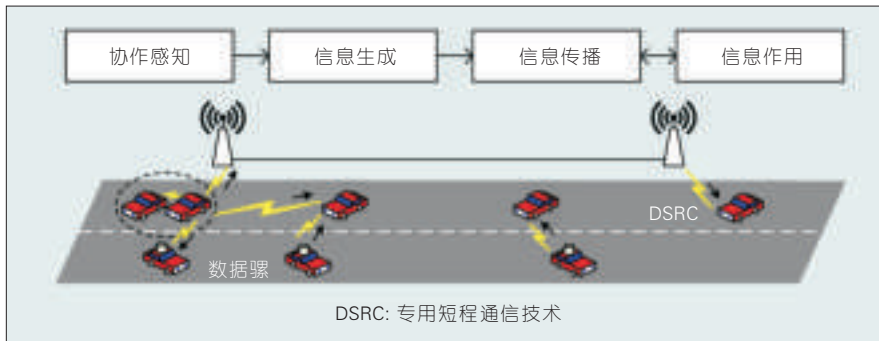
集中式车联网群智感知与服务是目前应用最为广泛的车联网服务模式,适用于非实时或准实时的车联网群智感知与服务。但由于各感知任务发布机构拥有独立的数据处理中心,缺少公共感知服务平台,导致系统与数据的复用率低,在多个机构的数据需求相似时,存在严重的冗余现象,且多源数据相互增强的实施成本很高。

## 2 分布式的车联网群智感知与服务

分布式感知是车联网群智感知的一种独特模式。在这种模式下,车辆既是感知节点,也是服务节点,车载计算能力将感知数据进行处理,并通过专用短程通信技术(DSRC)、D2D等通信技术,用自组织的方式进行信息传播,形成感知数据收集与利用的局域循环,强调感知与服务的准确性与实时性。分布式感知不依赖数据处理中心,仅由车辆节点之间通过有意识地协作或无意识地协同来完成,具体包括协作感知、信息生成、信息传播、信息作用4个阶段,如图2所示。

- 协作感知。分布式感知中的数据采集与处理都由车辆完成,车辆间通过主动组织成“簇”或“社区”,有意识地交换不同粒度的数据及知识,通过分布式数据处理,逐步迭代收敛形成对感知内容准确、全面、一致的描述。除此之外,车辆间也可以通过无意识地交流或互动来调整各自的感知结果,如车辆根据自己所掌握的感知数据进行的行为决策(减速、避让等),会通过贝叶斯方法逐步形成对自动驾驶的共识。

- 信息生成。由合适车辆在满足触发条件时生成用于描述感知内容的具有情境的语义化信息,包括时间、位置、事件类型及程度等。根据自动驾驶和辅助驾驶等应用场景的不同,信息应被分别语义化为车辆可理解的形式和人可理解的形式。



▲ 图 2 分布式的车联网群智感知与服务

• 信息传播。信息通过 V2V 及 V2I 的方式传播至有信息消费需求的车辆。信息的传播方法则根据传播的范围、时延,以及自组织网络的节点可达性等约束条件有不同选择,如单播、广播、地理广播、利用数据骡载运数据的延迟容忍传播等。

• 信息作用。信息以提示、通告或警告等形式出现,对驾驶员的行为或者自动驾驶车辆的行为产生反馈。信息作用与信息传播是密不可分的两个过程,信息通常是边传播边作用,而信息作用的有效性又为信息传播范围的确定提供了依据。

分布式的车联网群智感知依托车载自组网,适用于实时性要求高的局域感知任务,强调从数据采集到信息服务的快速实施,特别关注交通安全与效率相关事件的感知,如急刹车、碰撞告警,障碍、事故告警等。同时一些研究工作也在尝试扩展应用场景,如 TrafficView<sup>[12]</sup>以逐跳信息聚合的方式传输周围车辆的运动状态,从而扩大驾驶员的视野范围。MobEyes<sup>[13]</sup>提出了分布式感知、存储、检索的典型框架,它使用车载摄像机进行城市中异常事件的监控。Caliskan 等人<sup>[14]</sup>提出车辆可从停车场的基础设施获取停车位情况,并通过车辆协作形成某区域内停车位情况的综合描述。车载信息传输协议(VITP)<sup>[15]</sup>向下游车辆发送查询请求以获取前方交通状况,从而实施动态路径规划。StreetSmart<sup>[16]</sup>则研究交通拥堵的自动发现机制,有利于上游来

车的分流,缓解交通拥堵等。

在感知质量方面,车辆通过协作可以解决单一车辆感知不精确、不完整、不一致、不及时的问题,但是在多车协作过程中却引入新的信息效用问题。信息效用是信息对于其所有接收者有效性的综合评估,涉及信息的传播方式、传播区域、存活时间等。当信息的冗余量少且针对性强时,分布式车联网群智感知的信息效用高。提高信息效用不仅可以增强感知服务效果,也有助于避免信息过载,节约 V2V、V2I 的通信资源。在信息传播过程中,通过对信息的时空有效性实施动态评估,进而确定信息传播的时空范围<sup>[17-18]</sup>,可以有效提高信息效用。

分布式车联网群智感知与服务虽然保证了信息的实时性与针对性,但其对车联网的渗透率要求很高,当仅有少量车辆具备感知与通信能力时,无法在车辆间形成有效协作,感知和服务质量难以保证。数据采集与服务提供的局域化导致其难以以为大规模的城市感知服务提供支持。

### 3 混合式的车联网群智感知与服务

为了融合集中式在感知效率和分布式在信息效用方面的优势,可结合上述两种框架的特点并加以优化,形成混合式的车联网群智感知与服务框架,如图 3 所示。一方面,它建立了统一的感知中心提供公共感知服务,整合感知资源管理、任务调度

与数据收集功能。另一方面,它基于“去中心化”方式组织和执行感知任务。混合式车联网感知与服务打通了从感知到服务的全局循环与局域循环,对各种应用场景均有较好的适用性。混合式感知的具体过程如下:

• 注册。车辆通过向感知中心注册开放其感知能力,并通过周期性地向感知中心上报位置,支持统一的感知任务调配。

• 任务发布。任务发布机构根据监测需求,向感知中心提交感知任务,明确任务预算、监测时段和区域、数据精度和时空分辨率等指标。感知中心通过任务预算激励普通车辆贡献感知能力,并通过控制数据精度和时空分辨率达到特殊时段和区域重点监测的目的。

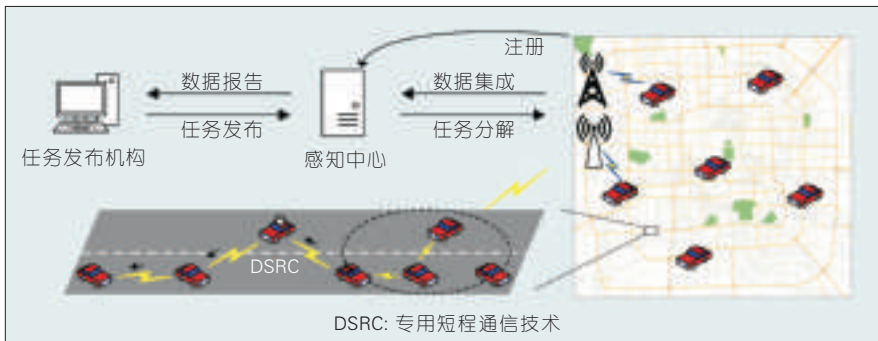
• 任务分解。感知中心根据感知任务需求和感知资源分布情况,将感知任务分解并派发给相应车辆或车辆“社区”,以使用尽可能少的感知资源实现符合要求的感知质量,提高感知效率。感知中心的顶层调度有利于解决感知数据的冗余和感知效率问题。

• 任务执行。车辆和车辆“社区”在感知中心的顶层调度下完成感知任务,并上传感知数据。车辆“社区”的加入有利于提高感知数据的价值密度,解决感知数据信息效用问题,并通过车辆协作提高信息与服务实时性。

• 数据集成。感知中心收集感知数据,并进行融合和增强,以保证感知质量。

• 数据报告。感知中心将具有质量保证的感知数据返回给任务发布机构,最终完成从感知到服务的全局循环。

混合式的车联网群智感知更符合感知即服务的理念,公共的感知中心避免了感知资源的重复建设,能够通过多源群智感知数据融合,有效降低感知数据冗余,提高全局感知数据质量及重用能力。同时,车辆群智协



▲图3 混合式的车联网群智感知与服务

同过程中的语义化信息(如交通拥堵情况)既可用于车辆协同,又可作为高质量感知数据源,进一步提高感知效率。

混合式的车联网群智感知与服务使得感知中心专职完成感知资源的顶层调度,而感知任务的执行细节则由车辆“社区”内自适应地协商。这种全局调度与局部自组织的方式,需要综合考虑车辆分布、车辆各自的感知与计算能力、车辆历史声誉和可获收益等诸多因素。如何寻求这些因素平衡,不管是对宏观车辆协作关系的建立方法、任务分配方法和资源调度方法,还是对微观的车辆间协作与任务分担方法,都是极具挑战的工作。

## 4 结束语

车联网群智感知与服务是车联网与移动群智感知这两个新兴技术碰撞的产物。一方面车联网为移动群智感知提供了新的终端类型、网络载体、应用场景、感知与服务模式,是对其感知、认知、传输和计算能力的一次全面升级;另一方面,移动群智感知为车联网中人、车和环境的深度融合提供了感知数据计算方法支撑,是车联网服务基础。文章讨论了车联网群智感知与服务的框架和特点,介绍了典型应用及关键问题,为移动群智感知和协同计算拓展了新的研究领域。

### 参考文献

[1] 李静林, 刘志瞻, 杨放春. 车联网体系结构及其

- 关键技术[J]. 北京邮电大学学报, 2014, 37(6): 95-100
- [2] YANG F, WANG S, LI J, et al. An Overview of Internet of Vehicles[J]. Communications, China, 2014, 11(10): 1-15
- [3] 陈荟慧, 郭斌, 於志文. 移动群智感知应用[J]. 中兴通讯技术, 2014, 20(1): 35-37. doi: 10.3939/j.issn. 1009-6868.2014.01.008
- [4] HULL B, BYCHKOVSKY V, ZHANG Y, et al. CarTel: A Distributed Mobile Sensor Computing System[C]//Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Boulder, Colorado, USA, 2006: 125-138
- [5] ERIKSSON J, GIROD L, HULL B, et al. The Pothole Patrol: Using a Mobile Sensor Network for Road Surface Monitoring[C]// Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, Breckenridge, CO, USA, 2008: 29-39
- [6] HU S C, WANG Y C, HUANG C Y, et al. A Vehicular Wireless Sensor Network for CO<sub>2</sub> Monitoring[C]//Sensors, 2009 IEEE, 2009: 1498-1501
- [7] ZHU Y, LIU X, and WANG Y. Pervasive Urban Sensing with Large-Scale Mobile Probe Vehicles[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2013:7-13
- [8] HAMID S A, TAKAHARA G, and HASSANEIN H S. On the Recruitment of Smart Vehicles for Urban Sensing[C]//Global Communications Conference (GLOBECOM), 2013 IEEE, 2013: 36-41
- [9] MENDEZ D, LABRADOR M, and RAMACHANDRAN K. Data Interpolation for Participatory Sensing Systems[J]. Pervasive and Mobile Computing, 2013, 9(1): 132-148
- [10] LI Z, ZHU Y, ZHU H, et al. Compressive Sensing Approach to Urban Traffic Sensing[C]// 2011 31st International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), 2011: 889-898
- [11] JAIMES L G, VERGARA-LAURENS I, and LABRADOR M A. A Location-Based Incentive Mechanism for Participatory Sensing Systems with Budget constraints[C]// 2012 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), 2012: 103-108
- [12] NADEEM T, DASHTINEZHAD S, LIAO C, et al. TrafficView: A Scalable Traffic Monitoring System[C]// 2004 Proceedings 2004 IEEE International Conference on Mobile Data Management, 2004: 13-26

- [13] LEE U, ZHOU B, GERLA M, et al. Mobeyes: Smart Mobs for Urban Monitoring with a Vehicular Sensor Network[J]. Wireless Communications, IEEE, 2006, 13(5): 52-57
- [14] CALISKAN M, GRAUPNER D, and MAUVE M. Decentralized Discovery of Free Parking Places[C]//Proceedings of the 3rd International Workshop on Vehicular Ad-Hoc Networks, Los Angeles, CA, USA, 2006: 30-39
- [15] DIKAIKOS M D, FLORIDES A, NADEEM T, et al. Location-Aware Services over Vehicular Ad-Hoc Networks Using Car-to-Car Communication[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007, 25(8): 1590-1602
- [16] DORNBUSH S, and JOSHI A. StreetSmart Traffic: Discovering and Disseminating Automobile Congestion Using VANET'S[C]// Vehicular Technology Conference, 2007 VTC2007-Spring IEEE 65th, 2007: 11-15
- [17] REZAEI F, NAIK K, NAYAK A, et al. Effective Warning Data Dissemination Scheme in Vehicular Networks for Intelligent Transportation System Applications[C]// 2013 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems - (ITSC), 2013: 1071-1076
- [18] YUAN Q, LIU Z, LI J, et al. A Traffic Congestion Detection and Information Dissemination Scheme for Urban Expressways Using Vehicular Networks[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2014, 47(P2): 114-127

## 作者简介



**李静林**, 北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室副教授、硕士生导师; 主要研究方向为移动互联网、物联网、车联网等融合网络业务与服务支撑环境; 先后主持或参加国家和省部级科研项目10余项; 获得3项科研成果奖; 发表SCI/EI论文30余篇。



**袁泉**, 北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室在读博士研究生; 主要研究方向为车联网、移动计算与群智感知。



**杨放春**, 北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室教授、博士生导师, 国家级有突出贡献的中青年专家, 国家杰出青年科学基金获得者, 计算机通信国家级教学团队负责人, IET Fellow; 主要研究方向为融合网络、云计算、车联网、服务计算与大数据技术; 发表SCI/EI论文200余篇。