

文章编号: 1007-5321(2014)06-0095-06

DOI: 10.13190/j.jbupt.2014.06.020

车联网体系结构及其关键技术

李静林, 刘志晗, 杨放春

(北京邮电大学 网络与交换技术国家重点实验室, 北京 100876)

摘要: 通过深入分析人车融合发展趋势及人、车、环境协同需求,提出了车联网的对象协同模型,建立了车联网对象个体与群体运行机制、交互方式与群体协同体制。进一步提出了车联网体系架构参考模型,通过协同计算控制层实现车联网对象、服务、通信的多维协同,并着重分析了其关键技术和要求。

关键词: 车联网; 物联网; 协同计算; 网络体系结构

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

Internet of Vehicles: The Framework and Key Technology

LI Jing-lin, LIU Zhi-han, YANG Fang-chun

(State Key Laboratory of Networking and Switching Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: Internet of vehicles (IoV) is an open converged network system supporting human-vehicles-environment cooperation. Based on in-depth analysis of the development trend of integration of people and vehicles, as well as the demand of human-vehicles-environment cooperation, an object cooperative model was proposed. This model established a new mechanism and an interactive mode of individual objects and group, meanwhile a group collaboration system was put forward. Furthermore, a general architectural reference model of IoV was presented. Utilizing the collaborative computing control layer, the multi-dimensional cooperation of objects-services-communications was performed. Also the key technical requirements for IoV were described.

Key words: internet of vehicles; internet of things; cooperative computing; network architecture

车联网 (IoV, Internet of vehicles) 是一种基于人、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问题,最终实现人、车、环境的深度融合,以丰富个人汽车生活,提高交通出行效率,改善城市服务水平,降低社会运行成本。

IoV 是物联网和移动互联网在交通运输领域应用后的衍生概念,融合了移动互联网、物联网、云计算、汽车电子、智能交通、地理信息系统等多领域技术,产业链横跨汽车制造与服务、通信与信息服务、金融保险服务和公共服务等领域。复杂的技术体系和超长的产业链使得产业界对 IoV 内涵、体系结构的理解不一致,阻碍了产业有序发展。针对这一问题,笔者根据人、车、环境协同需求,提出了 IoV 对象协同模型及 IoV 体系架构参考模型,并阐述了其关键技术要求。

收稿日期: 2014-01-01

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(863 计划) (2012AA111601)

作者简介: 李静林(1975—),男,副教授, E-mail: jlli@bupt.edu.cn.

1 IoV 的内涵

与 IoV 相近的专业领域概念较多,如车辆自组织网(VANET, vehicular ad-hoc network)、智能交通系统(ITS, intelligent transport system)和车载信息服务 Telematics 等。

VANET 源自 2003 年 ITU-T 的汽车通信标准化会议,目前国内外学术界已经做了大量相关研究,包括对传统数据业务和交通安全相关业务的传输。但 VANET 应用也有其天然局限,2012 年 1 月 IEEE Transactions on Vehicular Technology 的专刊编者按提到“使用 V2V 分享安全相关消息的前提是道路上有足够多的车辆安装了此类通信设备,也就是渗透率的问题”^[1]。

ITS 是交通行业面向交通管理者、驾驶员和行人等提供的交通运输服务,已提出多项国际规范,如 IEEE 802.11p/1609、ITU-T Y.2281 和 ETSI EN-302-665 等。ITS 结合了 V2V、V2I 和 V2H、V2G 等相关技术,弥补了单纯依赖 VANET 的不足。但 ITS 以交通管控为主要目标,从设计伊始就是一套封闭系统,依赖专网建设,无开放性和可扩展性考虑,因此其服务生态会受限。

Telematics 是汽车制造商与移动运营商产业链整合的产物,主要依赖公众移动通信网向车辆服务者、驾驶员和乘客提供车载信息服务。由于 Telematics 依赖公众移动通信网,响应实时性不足,服务的可持续性和服务能力受限。同时,Telematics 系统由于产业链限制,开放性不足,缺少跨域平台支撑,其体系的可扩展性亦受限。

随着物联网和移动互联网的发展,个人信息终端与车载终端开始加速融合。特别是智能车和智能辅助驾驶技术的发展,使人和车通过多手段协同紧密耦合在一起,车成为人的感知能力延伸,人成为车的智能扩展。人和车的融合趋势,使得 IoV 的核心服务对象不只具有车的运动特征,还将具有人的认知特征、社交特征。人车融合对象不仅不能被 ITS 感知与控制,而且能作为参与者主动与环境元素协同,进而实现整体交通环境的最优化协调。因此, IoV 的内涵不仅是一个车车通信或车载终端使用服务的网络,而应是一个人-车-环境紧密协同的高度交互、动态演化的复杂系统。在这一系统的人、车、环境协同过程中所依赖的社会网络化大数据关联和处理、车联社交网络等新概念和新应用形式,要求信息通

信网络支撑普适计算、认知计算和社交计算等新型信息计算处理方式,对信息通信网络的体系结构和能力提供与交换方式都提出了新的需求。这就要求从相关对象的协同需求出发,通过层次化方法重新构建 IoV 的网络体系。

2 IoV 面临的挑战

基于 IoV 中人、车、环境的深度融合, IoV 技术研究存在以下严峻挑战。

1) IoV 中,人、车、环境协同业务冲击网络通信能力。人、车、环境协同的 IoV 服务需要全局环境信息的感知,具有位置相关性、实时性、交互信息量大、频率高、持续时间长,以离散事件为主等业务特征。文献[2]详细论述了第五代移动通信的技术途径,以应对移动互联网应用与服务增长所导致的 1 000 倍以上的网络容量需求,而人、车、环境协同服务必然会加剧这一通信瓶颈。

2) IoV 中,人车协同行为复杂。由于车的智能化不能取代人的决策,因此车的运动行为体现的是人的行为决策特征。人车协同行为导致 IoV 的应用场景具有时空多样性,虽然已有一些研究在基于人、车的移动轨迹结合社交网络进行时空分布的预测^[3],但仍不足以支撑对 IoV 通信资源的灵活调配以应对具有时空多样性的通信需求。

3) 人、车、环境协同计算的智力非对称性制约服务提供。由于乘用车的淘汰周期达 10 年以上,信息技术在车辆中的引入和应用不可能一蹴而就,智能化车辆与非智能化车辆将长期共存。但 IoV 服务需要满足服务能力的一致性、可扩展性和可持续性要求,这对 IoV 服务的全局环境信息的感知与处理能力提出更高的要求。

3 IoV 对象协同模型

根据 IoV 人、车、环境协同需求,可从宏观和微观 2 个角度,将 IoV 对象协同模型划分为群体模型和个体模型,如图 1 所示。

个体模型是微观模型,以人车融合为视角,解决 IoV 中的人、车协同问题及人车协同个体与 IoV 环境对象群体协同的问题。个体模型中,人车协同个体由狭义上的人(驾驶人)和其驾驶的车组成, IoV 环境对象群体是除该人车协同个体之外的其他 IoV 对象组成的广义上的环境元素。人车协同个体中的人和车通过车内网提供的人-车交互手段实现紧密

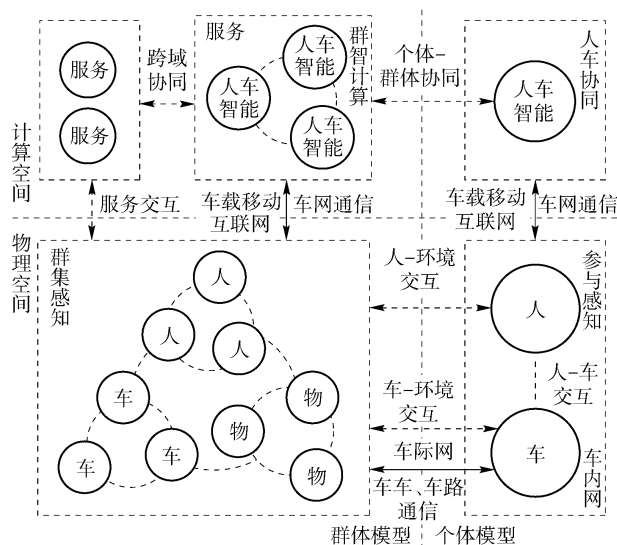


图1 IoV 对象协同模型

耦合,通过车际网提供的人-环境、车-环境直接交互和车载移动互联网提供的间接交互完成与IoV环境元素之间的信息感知、控制与反馈。为了应对人车协同行为的复杂性,需要车具备参与感知能力,以对车内和车外状况进行感知。为了应对车网通信瓶颈,需要计算空间提供智能映像代理人车智能,通过参与感知数据分析并反映人车协同个体行为,代理人、车完成与IoV环境对象群体的协同。

群体模型是宏观模型,以群体协同服务为视角,解决人、车、环境如何共同实现IoV群体协同的问题。群体模型中,“人”即与车或环境元素产生协同关系的人,包括车上的人(如驾驶员、乘客)和环境中的(如自行车骑行者、行人、尚未乘车的乘客等);“车”即与人或环境元素产生协同关系的车,包括路网中正在行驶的车、人要寻找的停靠的车等;“环境”即人与车之外的环境中的“物”,环境元素包括交通相关的“物”,如道路及路边基础设施(测速点、红绿灯、路边单元等),还包括需要与车辆直接或间接协同的相关“物”,如加油站/充电桩、环境监测点、信息服务接入点等。由于人、车、环境协同计算的智力非对称性,对IoV环境的全景感知无法单纯依赖智能化车辆,需要通过群集感知获得,如人可通过手机、车机主动参与协同计算,也可通过智能电子站牌等被动参与协同计算;车可通过车机主动参与协同计算,也可由ITS部署的路边基础设施感知,被动参与协同计算;环境中的各种物可通过各自的智能控制系统主动或通过信息服务系统被动参与协同计算。因此,IoV对象协同群体模型需要由参与协

同计算的人、车、物,以及支持人、车协同的智能映像与参与协同计算的服务,多方协同组成。为了应对IoV带来的挑战,需在计算空间中建立人车智能的群体模型,以支持对群体人车协同行为的刻画和分析。同时,通过将人车智能的群体演化封装为服务,与支持人、车、物主动或被动参与计算的服务进行跨域协同。

个体模型中的人车协同个体在通过人-环境和车-环境交互获得环境整体认知和协调请求后,会通过个体的智能决策调整个体行为,并由计算空间中的人车智能映像实现与各方服务的跨域协同交互,最终通过群智计算进行智能决策。个体的智能决策和群体的多方协同共同作用,实现IoV人-车-环境的动态群体协同,协调人流、车流、物品流,并最终实现IoV服务的和谐统一。

4 IoV 体系结构模型

IoV体系结构模型需重点厘清IoV对象协同个体模型与群体模型、计算空间与物理空间的关系。IoV体系结构模型划分为感知执行层、接入与传控层、协同计算控制层、应用层,如图2所示。

1) 感知执行层:感知执行层用于提供对物理世界的感知与控制。感知执行层中的IoV服务端系统可通过感知技术实现对人、车、环境的各种静态信息(标识、属性等)和动态信息(各种事件、服务请求等)的监测、提取,并通过接收和执行协同控制指令,反馈协同控制结果,进而实现IoV对象协同模型中个体模型的参与感知和群体模型的群集感知能力。

从IoV对象协同个体模型角度,感知执行层中的IoV服务端系统的核心是由车内网所连接的各种车载设备所形成的车载系统。通过车载设备支持对车内的人、车辆本身、车外环境元素的参与感知能力,并通过车内网提供人-车交互,通过车际网与车载移动互联网实现与其他IoV对象的交互(人-环境、车-环境交互)。

从IoV对象协同群体模型角度,感知执行层中的IoV服务端系统可以由任何能参与IoV群智计算的端系统提供,如人使用的移动终端、路边基础设施等。这些端系统可通过或开放或封闭的服务系统感知或控制,通过服务协同共同实现IoV服务端系统的群集感知能力。

IoV服务端系统可以通过接入与传控层提供的

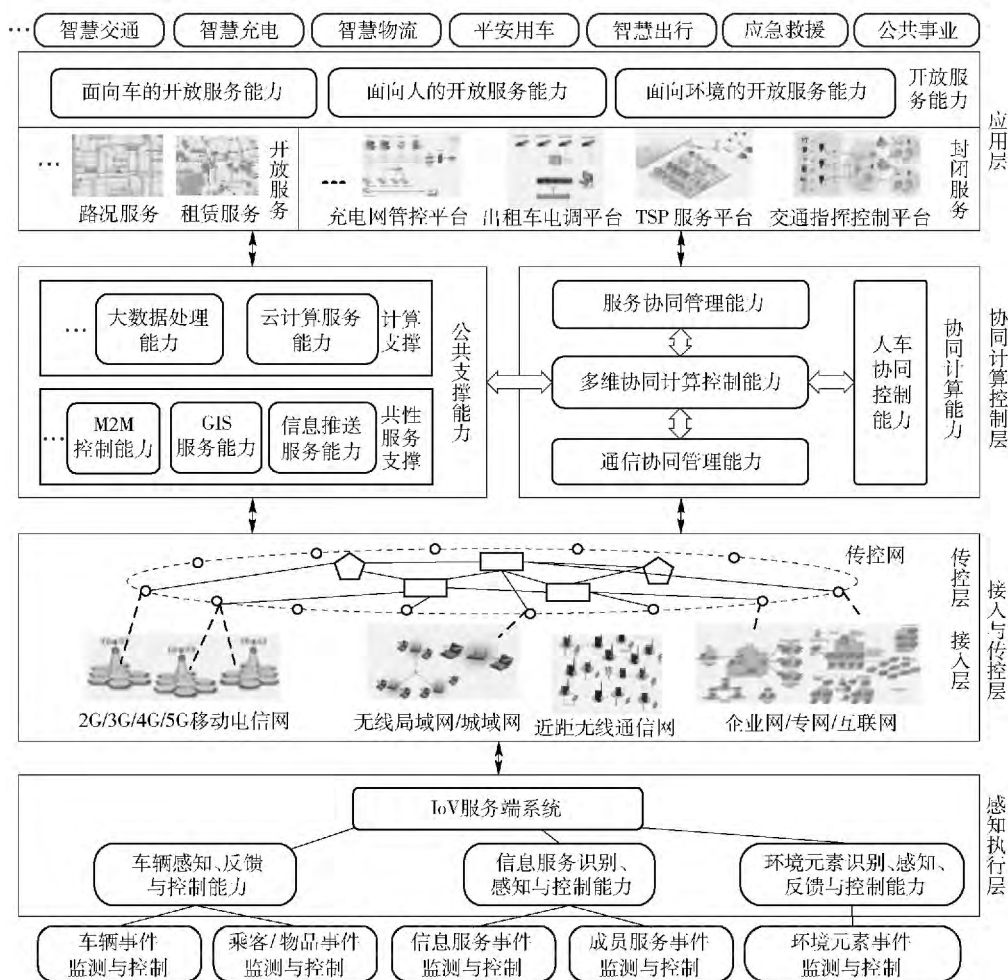


图 2 IoV 体系结构参考模型

近距无线通信技术实现不依赖中心网络的无中心化本地协同控制,也可以在协同计算控制层的控制下,实现全网范围的“人-车-环境”协同。

2) 接入与传控层: 接入与传控层基于信息通信网络技术实现 IoV 各个元素之间的组网与信息交互,包括接入层和传控层。

从 IoV 对象协同个体模型角度,接入层可通过多种近距无线通信技术实现车际网,还可通过移动通信网等技术实现车载移动互联网,为“人-车-环境”协同提供车-车、车-路和车-网通信控制。从 IoV 对象协同群体模型角度,接入层可通过企业网/专网、无线局域网/城域网等技术实现 IoV 环境元素与服务的交互。

由于车辆的快速移动, IoV 服务端系统面临复杂的接入网络环境,单纯依赖接入层无法满足服务可持续性,需在接入层之上叠加传控层,基于虚拟化等技术建立传控网,以根据协同计算控制需求综合

调度接入资源,平衡信息通信要求、网络负载状况和接入资源局限,建立稳定的、有服务质量保障的信息通信传送通道。传控网屏蔽不同接入网技术差异和信息传输保障技术差异,同时向协同计算控制层开放通信协同管理能力,供协同计算控制层按需调配使用。

3) 协同计算控制层: 协同计算控制层用以实现全网范围内的“人-车-环境”协同计算与控制。

从 IoV 对象协同个体模型角度,协同计算控制层需提供人车协同控制能力,以支撑人车智能映像,通过对人车协同个体参与感知获得的各种静、动态信息进行协同计算,实现对人车协同个体行为的感知、认知和控制。

从 IoV 对象协同群体模型角度,协同计算控制层需提供多人车协同个体的协同计算控制能力和服务协同管理能力,一方面支持多人车智能映像的群智计算,另一方面支持与各种或封闭或开放的服务

系统协同,实现对IoV全网状态的全面感知、正确认知。为满足协同控制要求,协同计算控制层还需提供通信协同管理能力,协调传控网实现按需通信资源调配,以满足服务的可持续性要求。这种人-车协同、服务协同、通信协同的协调与控制机制由协同计算控制层多维协同计算控制能力提供。

协同计算控制层还需提供公共支撑能力,用于支撑人-车协同控制和多维协同计算控制所需的大规模计算和信息感知、认知、控制处理。公共支撑能力包括计算支撑能力和共性服务支撑能力。计算支撑能力提供通用计算能力,如云计算服务能力、大数据处理能力等,以实现计算的弹性和可扩展性。共性服务支撑能力需提供应用相关服务能力,如M2M控制、信息推送、GIS服务能力等,以支持复杂人、车、环境元素的感知与控制。

4) 应用层:应用层提供多种不同类型服务,以实现人、车、环境协同服务需求,同时还需支持能力开放与共享,以支持新型服务形态和商业运营模式。

针对行业应用的封闭现状,应用层可分为封闭服务和开放服务。封闭服务与具体的行业应用紧密相关,如ITS指挥控制平台等。开放服务涵盖当前各种开放服务,如各种互联网提供商的实时路况服务等。应用层还将提供开放服务能力,将协同计算控制层所整合的IoV全面感知、认知与控制能力封装为面向人、车、环境的开放服务支撑能力,并向第三方服务提供者开放。

5 IoV体系结构关键技术问题

5.1 人-车协同行为认知技术

智能交通主要将车作为被感知的对象,通过分析宏观车流,解决交通出行过程中的交通控制与服务问题。但由于车的运动行为根本上是车的动力特性与人的生物反射行为和宏观模糊决策行为的综合体现,因此传统智能交通分析方法无法体现微观的车辆个体行为,并无法为之提供服务。虽然经过多年研究,自动驾驶技术已经得到长足发展,但鉴于自动驾驶车辆和有人驾驶车辆的长期共存,不能将IoV服务简单构建于自动驾驶车辆基础上。

从IoV对象协同个体模型中人-车协同需求出发,有人驾驶车辆的运动行为是人的行为决策结果,因此需深入研究人在驾车过程中的行为特征,构建IoV人-车协同行为认知模型。该模型的主要目的不仅是对人的驾驶行为进行评判,而且是通过参与

感知获得的信息,对人在使用车辆过程中的差异性和行为规律进行认知,并构建人车的个性行为特征,为个性化的IoV信息服务和群体协同控制提供依据。虽然已经有研究通过层次分析法和人工神经网络等对人的驾驶行为进行探讨^[4-5],但这些研究主要为驾驶能力评估等场合使用,并不适合作为IoV协同控制和服务的依据。因此,对人-车协同行为的认知,需结合认知学习、深度学习等方法,逐步认知,逐层抽象。

5.2 多元异构融合动态组网技术

由于车的高速移动性和IoV关键服务对通信链路的吞吐量、实时性、可靠性等性能要求,单纯依赖某一种网络通信技术不足以支撑未来的IoV服务。目前,已有大量针对无线异构网络的多路传输认知与调度方案^[6]展开的研究,以期适应在不同网络条件下的通信行为特性和质量要求。但IoV面临的不仅是传输性能问题,还有自适应动态网络环境变化的问题。

从IoV对象协同模型的协同交互要求出发,IoV的通信网络需针对人、车、环境的协同需求及人车协同行为动态实时变化引起的复杂通信资源调控要求,探索支持多人、多车、多网的IoV多元异构融合组网与数据传输机制,研究可重构的网络通信资源虚拟化方法,及基于IoV业务特征、人车行为特征的通信资源按需保障机制与调度策略,建立满足IoV传控需求的多元异构融合动态组网技术。

5.3 多维群体协同计算与评估技术

“人-车-环境”协同的IoV是一个以人为中心的融合开放网络系统,具有移动互联网类似的智能性、自适应性用户主体,但由于IoV环境对象元素复杂,大量IoV元素需要被动参与协同计算,因此IoV所面临的场景更复杂,规模巨大,是典型的复杂系统。由于IoV这种复杂系统具有多源异构、时空变化复杂等特性,导致人、车、环境感知能力各异,感知能力时空分布不均匀,传统的模型和分析方法难以描述和分析这种不确定性。虽然文献[7]提出的商空间模型提供了一种不确定性求解方法的途径,但传统的建模方法只能静态描述复杂系统中的普遍现象,难以刻画由于个体差异引起的复杂系统的动态变化过程,因此仍需要研究新的理论与模型来加以解决。

从IoV对象协同模型的协同控制需求出发,需研究IoV多元协同计算对象的群体感知与群体协同

方法,建立人、车、环境多元计算协同的个体模型、群体模型和协同模型,研究多元计算协同的个体与群体协同机制,建立群体协同稳定性表征与评估体系,通过群体协同实现全局感知与认知,以辅助智能决策实现 IoV 全网范围的动态和谐统一。

6 结束语

通过 IoV 对象协同模型中个体模型和群体模型分析,提出了通过群体感知与认知、群体智能与个体智能决策相结合,实现“人-车-环境”协同的方法,并设计了 IoV 体系结构参考模型。该参考模型通过引入协同计算控制层实现 IoV 对象、服务、通信的多维协同,从而满足了 IoV 服务全局信息感知、控制,以及可持续性、可扩展性、开放性等要求。最后讨论了该模型的关键技术问题,提出了相关技术需求及发展方向。

参考文献:

- [1] Lin Jiachin, Mecklenbrauker C, Vinel A, et al. Special section on telematics advances for vehicular communication networks[J]. Vehicular Technology, IEEE Transactions on. 2012, 61(1): 1-2.
- [2] Li Qiang, Niu Huaning, Papathanassiou A T, et al. 5G network capacity: key elements and technologies[J]. Vehicular Technology Magazine, IEEE. 2014, 9(1): 71-78.
- [3] Pan Bei, Zheng Yu, Wilkie D, et al. Crowd sensing of traffic anomalies based on human mobility and social media[C]//GIS, ACM SIGSPATIAL. Proceedings of the 21st ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems (ACM SIGSPATIAL GIS 2013). Orlando, Florida: ACM, 2013: 344-353.
- [4] 李力,王飞跃,郑南宁,等. 驾驶行为智能分析的研究与发展[J]. 自动化学报, 2007, 33(10): 1014-1022.
Li Li, Wang Feiyue, Zheng Nanning, et al. Research and developments of intelligent driving behavior analysis[J]. Acta Automatica Sinica, 2007, 33(10): 1014-1022.
- [5] Ning Fuxuan, Li Jinglin, Sun Qibo. A study on driving behavior risk assessment method with multi-sensor information[C]//ICTIS 2013: Improving Multimodal Transportation Systems - Information, Safety, and Integration. Proceedings of the 2nd International Conference on Transportation Information and Safety. Wuhan, China: American Society of Civil Engineers (ASCE), 2013: 1428-1433.
- [6] Xu Changqiao, Liu Tianjiao, Guan Jianfeng, et al. CMT-QA: quality-aware adaptive concurrent multipath data transfer in heterogeneous wireless networks[J]. Mobile Computing, IEEE Transactions on, 2013, 12(11): 2193-2205.
- [7] 张铃,张钹. 模糊商空间理论(模糊粒度计算方法)[J]. 软件学报, 2003, 14(4): 770-776.
Zhang Ling, Zhang Bo. Theory of fuzzy quotient space (methods of fuzzy granular computing) [J]. Journal of Software, 2003, 14(4): 770-776.