

车联网: 物联网在城市交通网络中的应用

刘小洋*, 伍民友

(上海交通大学 计算机科学与工程系, 上海 200240)

(* 通信作者电子邮箱 yanglet@sjtu.edu.cn)

摘要: 阐述了“物联网”和“车联网”这两个热门概念的内涵和外延。通过分析两者的发展历程、历史沿革和相互关系, 比较它们在实际生活中的应用, 认为车联网可以看作物联网在城市交通网络中的典型应用, 展望了车联网在服务与应用方面的美好愿景。以此为基础, 讨论了车联网实现的关键技术, 并介绍了一个过渡型构建方案。最后, 详细讨论了在物联网和车联网领域里国内外学术研究现状。

关键词: 车联网; 物联网; 网联城市智能交通

中图分类号: TN915.03 **文献标志码:** A

Vehicular CPS: an application of IoT in vehicular networks

LIU Xiao-yang*, WU Min-you

(Department of Computer Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: This paper discussed the connotation and extension of two hot concepts, namely, "The Internet of Things (IoT)" and "vehicular CPS (Cyber Physical System)". By analyzing their courses of development, history and interrelationship, and comparing their applications in daily life, the authors are in favor that vehicular CPS can be regarded as an application of IoT in vehicular networks. Furthermore, the authors look into the bright future of services and applications resulting from vehicular CPS. With this in mind, the authors discussed the key technologies of implementing vehicular CPS and introduced an initiative. The authors also discussed in detail the academic research at home and abroad in the area of the Internet of Things and vehicular CPS.

Key words: vehicular Cyber Physical System (CPS); Internet of Things (IoT); networking the intelligent transportation system

信息领域正发生着由互联网到物联网的新一轮技术革命。车联网是战略性新兴产业中物联网和智能化汽车两大领域的重要交集。2010年世界博览会上, 上汽集团—通用汽车馆展示了对车联网的远景展望并举行了“直达2030”可持续交通系列论坛“车联网——网联城市智能交通”。相关专家围绕着车联网这一全新概念, 深入分析并论证了车联网相关技术的发展及其对未来城市交通模式的改变。为人们呈现了一个崭新的城市、汽车和道路系统: 没有信号灯, 汽车高速行驶, 没有堵塞, 没有事故, 以及更环保、更安全、更智能、更人性化的汽车, 所有这些将颠覆人们对于“交通”的认识。本文从定义与发展历程、服务与典型应用、关键技术、学术研究等多个角度对车联网进行分析研究。藉此抛砖引玉, 共同探讨城市智能交通的发展前景。

1 物联网与车联网

从“互联网”到“物联网”, 世界正以不同的方式相互连接; 从“车载信息”到“车联网”, 车与车之间也将相互连接, 并成为人们相互交流的新途径。

1.1 定义

物联网是将所有物品通过射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)等信息传感设备与互联网连接起来, 进行信息交换, 实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理等应用^[1]。物联网不仅是一个网络, 更是一个系统。如图1^[1]所

示, 物联网把人们生活中的各类物品连到互联网中, 形成一张更大的网络。通过网络可以得到各类事物的信息, 对这些信息的处理、提取以及合理运用将为我们的生产和生活带来前所未有的便利。



图1 物联网示意图

所谓车联网, 是指通过装载在车辆上的电子设备通过无线技术, 实现在信息网络平台上对所有车辆的静、动态信息进行提取和有效利用。人们将根据不同的功能需求对所有车辆的运行状态进行有效的监管, 同时提供综合服务。如图2^[2]所示, 车联网将车与车相连, 车与路旁的基础设施相连, 实现实时信息交换, 服务于人们的交通出行。

车联网是一类物联网, 是物联网在城市交通网络中的具体应用。车联网通过车辆网络动态地收集、分发和处理数据, 使用无线通信方式共享信息, 实现汽车与汽车、汽车与建筑物, 以及汽车与其他基础设施之间的信息交换, 使汽车与城市网络相互连接。它甚至可以帮助实现汽车与路上的行人和自

收稿日期: 2011-11-24; 修回日期: 2012-2-23。

作者简介: 刘小洋(1988-), 男, 江西新余人, 博士研究生, 主要研究方向: 无线传感网、物联网; 伍民友(1954-), 男, 美籍华人, 教授, CCF和IEEE高级会员, 主要研究方向: 无线网络、高性能计算、物联网。

行车、汽车与非机动车之间的“对话”。

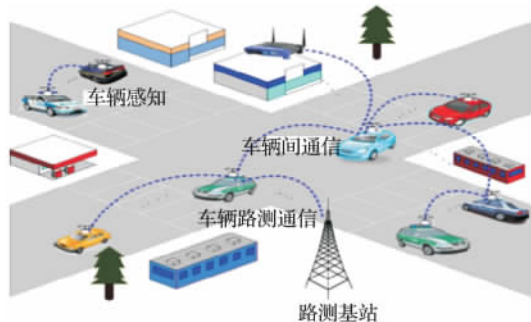


图2 车联网示意图

车联网技术是一种结合了全球卫星定位系统和无线通信技术的车载智能通信服务。驾驶员能通过无线信号,随时与呼叫中心进行联系,及时获得以下三大类服务:交通信息与实时导航服务、安全驾驶与车辆故障诊断服务、娱乐及通信服务。汽车在车联网的帮助下,将更加人性化。

1.2 发展历程

1.2.1 物联网方面

1) 2005年11月17日,在突尼斯举行的信息社会世界峰会上,国际电信联盟(ITU)发布了《ITU互联网报告2005:物联网》^[3],正式提出了“物联网”概念。

2) 第一届物联网世界学术会议 IoT 2008 于2008年3月26日在瑞士苏黎世召开。

3) 2009年1月28日,美国工商业领袖举行圆桌会议,IBM CEO 彭明盛向美国总统提出“智慧的地球”计划:将感应器嵌入和装备到电网、铁路、建筑、大坝、油气管道等各种现实物体中,形成物物相连,进一步通过超级计算机和云计算将其整合,实现社会与物理世界的融合。

4) 2009年8月7日下午,国务院总理温家宝来到中国科学院无锡高新微纳传感网工程技术研发中心考察,提出“感知中国”。随后,物联网发展列为我国信息产业三大发展目标之一。

1.2.2 车联网方面

1) 第四届无线射频识别(RFID)技术发展国际研讨会2009年11月在上海召开,其中分论坛包括RFID技术及智能交通信息技术与应用论坛。

2) 中国智能交通新技术及标准化发展高峰论坛于2010年9月在杭州举行。会议围绕着“创造低碳、安全、便利的感知交通新生活”,加深对智能交通新技术、新理念的认识,促进智能交通系统的标准化建设。

3) 通用汽车已经和中国电信达成合作协议,利用电信3G网络为用户提供车载信息服务,并逐步建设车联网。

4) IBM将部署交通预测系统^[4],声称可以预知一小时后的交通状况,从而留下充足的时间避免交通堵塞。

物联网概念在欧洲和亚洲得到了广泛的关注,受到国际电信联盟支持。与物联网相似的Cyber Physical System(CPS)概念在北美也得到了广泛认同,美国NSF给予了大量研究经费的支持,已先后资助超过100个CPS项目。随着物联网概念的提出和相关研究的开展,很多的研究机构和全球汽车厂商聚焦物联网技术在城市智能交通中的应用,提出了车联网概念,并进行了初步探索。例如:汽车巨头通用汽车公司为最新款凯迪拉克标配安吉星车载信息服务系统,IBM公司推出了交通预测模型,上海市进行了智能交通项目研发。

2 车联网服务与应用

车联网通过在车辆和道路之间建立有效的信息通道,实现智能交通的管理和信息服务。随着WiFi、RFID等无线技术近年来被运用于交通运输领域智能化管理,车联网将能够用于各个方面,例如智能公交定位、智能停车场管理、车辆类型及流量信息采集、不停车路桥电子收费、车辆速度计算分析等。现有的实际案例系统如下。

1) 在智能交通应用中,上海交通大学的TIG项目^[5]在2006年就开始运作,采集了上海市4000多辆出租车的实时信息。

2) MIT CarTel^[6]项目部署了一个分布式的移动传感网和通信网结合的系统。建立在该系统中的上层应用可以利用移动车辆和手机上的传感器搜集数据,通过无线通信模块传输数据,通过计算单元实现对数据的处理、分析和可视化。

3) 旧金山湾区开展了Cabspotting项目^[7]于2006年启动,通过在出租车上安装GPS跟踪设备,记录车辆移动轨迹。

4) IBM基于交通预测模型^[4]在新加坡进行的初步测试中,可以提前一小时预测车流量和车速,精度高达90%。

车联网不仅是汽车行业对于未来“互联的汽车”的美好愿景,也将是城市居民的共同愿望之一。就像20世纪80年代互联网的出现将独立的台式电脑互相联系在一起,车联网将车辆联系在一起也将改变人们未来的生活、工作方式。车联网的典型应用包括如下。

1) 紧急救援系统。当紧急情况发生,车主按动车上安装的紧急按钮,通过无线通信接通客服中心。客服人员能够通过GPS技术精确定位,将救援送达车主。在救援过程中,客服人员不仅能一直与车主进行在线交流,而且能实时调度救援资源,最小化车主的生命财产损失。

2) 智能导航系统。现行试用的路线推荐系统能够根据司机需求和实时交通信息,推荐最短路径、时间最优路径,甚至为出租车司机推荐最有可能搭载乘客的路线。2009年日本丰田第一个引入G-Book智能副驾系统。同年通用汽车将On Star(安吉星)技术装配在凯迪拉克和别克等车型上。福特、日产等企业相继发布了车载网络平台。在未来的车联网时代,老人、小孩,甚至残疾人(包括盲人)都可拥有自己的汽车,借助于自动驾驶系统,人们的出行将变得更加轻松。

3) 智能交通系统(Intelligent Transport System, ITS)。将先进的信息技术、通讯技术、传感技术、控制技术以及计算机技术等有效地集成运用于整个交通运输管理体系,从而建立起在大范围内、全方位发挥作用的,实时、准确、高效的综合的运输和管理系统。

4) 车载社交网络。实现车联网技术的未来城市交通将告别红绿灯、减轻拥堵、交通事故和停车难等一系列问题。此外,自动驾驶的实现将驾驶者从紧张、劳累中解脱出来,进而享受路途中的社交无线网络^[8]。

3 关键技术

由于车联网是一类物联网,所以物联网中的很多关键技术是部署车联网的技术基础。而车联网应用同时也要求有别于其他物联网应用的技术支持。

随着传感网、RFID、普适计算、云计算、实时系统等信息科技的飞速发展,在它们的技术支撑下物联网得以提出和发展。物联网关键技术包括(详见文献[1]):

- 1) RFID 技术与无线传感网络技术;
- 2) 通信与网络技术;
- 3) 软件技术;
- 4) 硬件技术;
- 5) 数据处理技术;
- 6) 安全隐私。

RFID 技术与无线传感网络技术是物联网最基本的技术之一,用于标识物体和对客观环境的物理属性的感知。RFID 技术首先要解决的技术难题是全局标识。现有的 RFID 标识标准并不统一,如果要全部接入因特网则需有统一的标准。传感网同样面临大规模应用的问题,异构传感网的整合使用还有许多实际问题需要解决。

物联网中单个标识或传感器设备的工作是没有意义的,只有通过相互协同工作才能完成有实际意义的任务,所以通信与网络技术也是必不可少的关键技术,它解决如何将标识和传感信息接入 Ad Hoc 网络或因特网。有针对性的传输协议以及更灵活的频谱分配是需要研究的课题。

硬件技术的支持是所有传感设备、计算设备、通信设备和控制设备的基本。基于物联网的特点,在硬件方面要求终端设备为嵌入式集成系统,要求在低功耗、低延迟、小型化、易安置、低成本等方面继续开发;而在服务器方面则要求逐步向高性能的集群机、云计算过渡;控制设备需要满足高精度、易操作、无差错等方面的要求。

软件与算法基于硬件之上,涉及到嵌入式操作系统和各类应用软件、控制软件。统一的语义体系是达到大规模实际应用的首要任务。良好的用户体验则要求有更身临其境的虚拟现实技术、可分布式可集中式的运作方式、延迟小的实时系统、可靠性高自适应调整能力强的软件。

物联网的应用带来大规模的数据,如果地球上所有的物体都被标识,它们的所有属性信息都转变为数据在因特网中流通,那将给现有的网络在数据的管理与处理上带来许多新的挑战。比如大规模数据中心必须建立,数据在市场上的运行模式需要数据运营商来运作,针对物联网的搜索引擎将被开发。

物联网还未普及应用的一大原因还在于安全隐私保障。可以看到因特网上病毒肆虐,如果在涉及面更广的物联网上,在涉及利益更高的 CPS 上,安全保障就显得更加紧迫了。另一道普及的屏障是个人隐私问题。谁也不愿意把自身行为完全暴露出去,而物联网的目的又是把所有事物及其属性连入网中。这两点存在明显的矛盾,需要找到一个平衡点才能让物联网可以实际普及开来。

以上关键技术需要相关研究和管理部门统一标准化,才能推动物联网真正发展和实际应用。而未来的车联网要大规模部署,实现网连城市智能交通的目的,还需要以下两类关键技术的保证。

- 1) DSRC 和 VPS 技术。

目前在汽车定位、通信及收费领域应用较多的是 DSRC (Dedicated Short Range Communication) 以及 VPS (Vehicle Positioning System) 技术。DSRC 是一种微波技术,主要应用在电子道路收费方面;而 VPS 则是一种 GPS + GSM 技术,在汽车导航、求助及语音通信方面有着较广泛的应用。以上两种技术已经使用,较为成熟。

- 2) 适合车联网应用的无线通信技术。

车联网的关键技术是如何实现车与路、车与车之间的信

息交换与互动,而在其中扮演主要角色的是无线通信技术。需要研究现有的多种无线技术中哪一种符合实时互动,以及兼容传统与未来车联网应用的要求。

4 构建车联网方案

如何构建车联网,对于这个问题,不同的人可能给出不同的答案。下面介绍 IT 商业新闻网提出的一个过渡型方案^[9],通过分析这一个方案展示车联网部署中可能要面临的问题。

实现车联网,可以分两步走。

- 1) 实现车辆与道路基础设施之间的信息交换。

这是一个过渡型方案,需要兼容传统车辆,现有的交通信号(行车线、红绿灯、指示牌、速度限制等)都应该被保留,因为这是新旧交通系统兼容所需要的基础和保障。将无线数字传输模块植入到当前的道路交通信号系统中去,数字模块可向路经的汽车发放数字化交通灯号信息、指示信息、路况信息,并接受联网汽车的信息查询及导航请求,然后可将有关信息反馈给相关的联网汽车。将无线数字传输模块植入到联网汽车中去,令联网汽车可接收来自交通信号系统的数字化信息,并将信息于联网汽车内显示,同时还将信息与车内的自动/半自动驾驶系统相连接,作为汽车自动驾驶的控制信号。联网汽车的显示终端同时作为城市道路交通导航系统来使用,在这个车联网系统中,卫星导航将不再需要,因为导航信息直接来自具有更快、更新、更全面导航功能的数字化交通系统;联网汽车的数字传输模块包含有联网汽车的身份代码(ID)信息,即“数字车牌”信息,这是车联网对汽车进行通信、监测、收费及管理的依据。

- 2) 令行驶中的车辆互联互通。

联结路面行驶中的汽车是实现车联网的第二步。为了使联网汽车与传统汽车兼容,现有的汽车灯号系统(刹车灯、转向灯、危险信号灯)都会获得保留,这也是新旧系统兼容的基础及保障。将无线数字传输模块植入到联网汽车中去,数字模块可以向周边联网汽车提供数字化灯号信息及状态信息,并且数字化信息与其传统灯号信息是同步发送的。联网汽车中的无线数字传输模块可同步接收来自其他联网汽车的数字化信息并在汽车内进行显示,同时将信息与车内的自动/半自动驾驶系统相连及互动,为联网汽车的安全行驶提供依据。根据接收到的由其他联网汽车发送的数字信息,联网汽车便会知道周边联网汽车的状况,包括位置、距离、相对速度及加速度等,并在紧急刹车情况下,可令随后的联网汽车同步减速,有效防止汽车追尾事故的发生。联网汽车还可随时通过数字化网络与周边任意联网汽车进行通话。在有需要时,还可向附近的联网汽车进行广播,告知有关紧急情况。

5 学术研究

关于物联网的国际学术会议影响力正逐渐增强,各国研究基金的支持规模不断加大。然而处于探索的初期,现已发布的学术成果还不多,发表的论文比较多的还是指出研究方向的前瞻性研究。下面对现有的比较有影响力的学术成果进行简述和加以分类。

5.1 物联网方面

物联网的研究普遍基于应用。我们从以下方面分别选择具有代表性的论文加以讨论。

- 1) RFID 与传感器研究。

RFID 是物联网最基本的关键技术,得到了广泛研究。

Liu 等^[10]主要研究了在物联网中如何同时读取多个被动 RFID 标签,使得读取的标签之间冲突减少,从而实现加快辨识物品的目的。

传感器节点已经广泛应用到人们平时的生活和工作之中。不同于传统的传感器组网方式,文献[11]提出了一种基于周围情况而自发分簇组成动态传感网的方式。这样的组网形式在物流运输中,在 BSN(Body Sensor Network) 这些动态性较高的场景中将有比较好的应用前景。文中设计了名为 Tandem 的算法,用于移动传感器节点可以根据情景感知的内容自发的分簇的组成网络,并且 Tandem 可以实现重新分簇组网的功能,如果情景感知内容不变,则保持网络的连通。

2) 模型研究。

物联网最直接的应用就是在供应链和物流上。文献[12]针对物联网中的供应链,提出一个计算其效能的数学模型。通过这个数学模型,可以估计在使用不同的供应链系统设计策略的情况下所达到的效果和投入的成本,从而为用户提供选择策略的依据。在建立数学模型的过程中,作者将检测设备分为条形码、RFID、无线传感器,将供应链分成了供应商、运输商、消费者,以这六项要素为基础建立了数学模型。

3) 数据处理研究。

如前文所述,数据处理在物联网中的研究也是有其重要价值的。ONS(Object Naming Service) 服务是一种集中式的查找服务,类似于因特网中的 DNS 服务。通过 ONS,人们可以通过货品上的电子产品号来查找这件货品的制造商。但是文献[13]作者发现,现在的 ONS 服务中有一个不足,即由于 ONS 服务的根节点不止一个,每个国家都可以有自己的 ONS 服务根节点,这就使得在多个 ONS 服务之间查找货品信息变得不方便。作为改进,论文提出了 MONS(Multipolarity for the ONS) 服务,这是在 ONS 服务的基础上通过增加基础设施,使得人们可以通过一次在 ONS 服务中的查询就能找到相应货品的信息,即使这条信息在其他的 ONS 服务中。

4) 信息安全研究。

文献[14]研究了信息安全的问题。在供应链系统中,组织之间需要交换货品的信息,比如一批货品从供应商手上交到运输商手上,供应商会将货品的 RFID 信息一起转发。EPCIS 协议是用来规定这些信息的交换的。作者提出 EPCIS 协议在访问权限控制上存在不足,使得协议无法限制哪些人可以访问哪些信息。作者在 EPCIS 协议的基础上提出了一种新的基于规则的协议,通过定义访问规则来限制用户访问,保证信息的安全。

5) 标准化研究。

Rellermeier 等^[15]针对物联网中多种多样的软件以及硬件设施,提出要将软件模块化,并且设定一种标准,来规范物联网系统中软硬件的接口。文中使用 OSGi 模型作为软件接口的标准,并且在这基础上建立了一个实验系统名为 BUG。在 BUG 系统中,物联网系统中的各个模块实现了很好的融合。

5.2 车联网方面

车联网领域相关的论文一般是基于大规模的城市交通网络,利用已经收集的数据集和城市电子地图进行分析和建模的。针对以下方面分别介绍。

1) 车辆轨迹 GPS 数据处理。

在车辆上安装 GPS 设备获得车辆的实时位置信息,车辆之间通过无线通信将搜集到的数据汇报给数据中心。Li

等^[16]研究如何实现 GPS 数据与电子地图之间的精确匹配,文章中基于距离和角度分别提出了两个地图匹配算法(NMA 和 EMA),并且给出了真实场景中的测试结果。

2) 延迟容忍网络(Delay Tolerant Network,DTN) 协议设计与测试。

车联网是一类典型的 DTN 网络,通过搜集大规模车辆网络的 GPS 数据,可以为 DTN 网络的协议设计提供真实的测试环境。这一方面所取得的研究成果相对来说较多。例如,文献[17-18]研究 SUVnet(Shanghai Urban Vehicular Network) 网络的移动模型、拓扑结构和联通性,测试了已有路由协议在实时数据上的性能,并基于距离向量设计了 DEAR 路由协议以提高数据包传输成功率。文献[19]利用公共汽车在城市网络中的独特性,设计了 BLER 路由协议。

3) DTN 网络中的资源分配策略。

Lee^[20]综合考虑了 DTN 网络中链路调度、路由协议与数据副本分发,抽象为多目标优化问题。基于局部信息和瞬时信息,作者用贪心的思想设计了分布式的 DMC 算法,并且给出了真实 GPS 数据上的测试结果。

4) 交通状况的智能感知。

文献[21]利用车辆网络监控交通状况,利用 SUVnet 网络的 GPS 数据对基于连接和基于车辆的两种算法进行性能测试和分析;文献[22]基于统计方法设计了感知交通状况的预测模型,该模型利用单信道单频谱,基于历史信息迭代地估计路面上的实时交通状况。除此之外,IBM 公司推出商业的交通预测模型,已经在新加坡等地进行了部署和应用,实测过程取得了较好的估计、预测、感知精度。

5) 车联网运动模型分析。

文献[23]基于马尔可夫模型对车辆网络进行数据挖掘,找到车辆的移动模式,为车辆之间的通信协议设计提供依据。文献[24]考察和分析了城市内部任意两辆车之间相遇时间间隔的分布,发现其很好地符合幂指数曲线。城市交通中存在聚簇现象,车辆的运动有围绕交通热点的趋势,作者认为这是造成车辆相遇间隔呈现指数分布的原因。文献[25]进一步研究了城区车辆分布,假设车辆装备传感器用于感知邻居车辆,作者利用聚簇算法挖掘城市交通中的热点区域。

文献[26]在很多类数据集上研究了人的、车的移动轨迹,通过深入分析和挖掘,发现其中包含两大特性:时序稳定性和存在低级结构。由此,为移动网络设计了有效的定位算法。

6) 智能导航系统。

出租车司机如何最短时间内到达目的地?如何为道路上的乘客找到最近的出租车?出租车选择什么样的行驶路线,能够在最短的距离内最有机会搭到乘客?这些问题分别由文献[27-29]给予了回答。

7) 智能车场管理系统。

众多的商城、购物中心、工业园区和写字楼群等都建有相应的停车场,管理数量庞大的车位是一个重要挑战。停车场通过在每个车位安装传感器,可以实现对车位使用情况的实时监控,进行自动化管理。Lin 等^[30]利用调和函数构造了车位信息场,司机通过势场梯度可以方便地停车。

6 结语

依照通用汽车公司的预测,未来汽车会实现电气化、智能化与无人驾驶,车与道路、车与车之间会具有交流互动,交通

堵塞、空气污染、交通事故将成为历史。随着通用、荣威、丰田等汽车厂商的智能网络系统的部署,车联网已经开始为汽车消费者们所了解。

我国的科研工作者已经在物联网和车联网方面累积了许多工作:973项目“无线传感网关键技术研究”已开展了5年;以无锡为中心的“感知中国”物联网产业研究院在2010年正式启动;手机交通卡智能交通系统已经在多个城市普及;智能交通项目已经在上海、武汉等地开展和部署。然而要大规模地应用车联网技术,其实现还有一段成熟期。正如文中所述,还有概念和统一标准等问题存在,安全和可靠等实际问题有待研究。市场与应用模式必须结合实际摸索,最终才能达到网连城市智能交通的目标。

车联网将彻底改变人类出行模式,重新给出汽车的定义。实现车联网的未来城市交通将告别红绿灯、拥堵、交通事故和停车难等一系列问题,并实现驾驶自动化。

参考文献:

- [1] 孔令和, 伍民友. 信息产业新革命之争: 是物联网还是 CPS? [J]. 中国计算机学会通讯, 2010, 6(4): 8 - 15.
- [2] 朱燕民, 李明禄, 倪明选. 车辆传感器网络研究 [J]. 中兴通讯技术, 2009, 15(5): 28 - 32.
- [3] ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things [R]. Geneva, Switzerland: ITU, 2005.
- [4] FISCHETTI M. Predictive modeling warns drivers one hour before jams occur [J/OL]. [2011 - 10 - 01]. <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=traffic-avoided>.
- [5] TIG 项目 [EB/OL]. [2011 - 10 - 01]. <http://wirelesslab.sjtu.edu.cn:8080/viewer.htm>.
- [6] HULL B, BYCHKOVSKY V, ZHANG Y, *et al.* CarTel: A distributed mobile sensor computing system [C]// SenSys06: Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems. New York: ACM, 2006: 125 - 138.
- [7] Cabspotting 项目 [EB/OL]. [2011 - 07 - 01]. <http://cabspotting.org/>.
- [8] 普鲁斯. 车联网与安吉星的去、现在和未来 [EB/OL]. [2011 - 07 - 01]. <http://hao.cngold.org/c525097.html0>.
- [9] 未来车联网的技术挑战与机遇 [EB/OL]. [2011 - 06 - 01]. <http://www.internetofthings.net.cn/>.
- [10] LIU H, GUO X. A passive UHF RFID system with Huffman sequence spreading backscatter signals [C]// IOT08: Proceedings of the 1st International Conference on The Internet of Things. Berlin: Springer-Verlag, 2008: 184 - 195.
- [11] MARIN-PERIANU R, LOMBRISER C, HAVINGA P, *et al.* Tandem: A context-aware method for spontaneous clustering of dynamic wireless sensor nodes [C]// IOT08: Proceedings of the 1st International Conference on The Internet of Things. Berlin: Springer-Verlag, 2008: 341 - 359.
- [12] DECKER C, BERCHTOLD M, WERSS L, *et al.* Cost-benefit model for smart items in the supply chain [C]// IOT08: Proceedings of the 1st International Conference on The Internet of Things. Berlin: Springer-Verlag, 2008: 155 - 172.
- [13] EVDOKIMOV S, FABIAN B, GUNTHER O. Multipolarity for the object naming service [C]// IOT08: Proceedings of the 1st International Conference on The Internet of Things. Berlin: Springer-Verlag, 2008: 1 - 18.
- [14] GRUMMT E, MULLER M. Fine-grained access control for EPC information services [C]// IOT08: Proceedings of the 1st International Conference on The Internet of Things. Berlin: Springer-Verlag, 2008: 35 - 49.
- [15] RELLERMEYER J, DULLER M, GILMER K, *et al.* The software fabric for the Internet of things [C]// IOT08: Proceedings of the 1st International Conference on The Internet of Things. Berlin: Springer-Verlag, 2008: 87 - 104.
- [16] LI XU, LI MING-LU, SHU WEI, *et al.* A practical map-matching algorithm for GPS-based vehicular networks in Shanghai urban area [C]// IET Conference on Wireless, Mobile and Sensor Networks, 2007 [S. l.]: IEEE, 2007: 454 - 457.
- [17] HUANG HONG-YU, LUO PEI-EN, LI MING-LU, *et al.* Performance evaluation of SUVnet with real-time traffic data [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 56(6): 3381 - 3396.
- [18] LUO PEI-EN, HUANG HONG-YU, SHU WEI, *et al.* Performance evaluation of vehicular DTN routing under realistic mobility models [C]// Wireless Communications and Networking Conference. [S. l.]: IEEE, 2008: 2206 - 2211.
- [19] SEDE M, LI XU, LI DA, *et al.* Routing in large-scale buses Ad Hoc networks [C]. Wireless Communications and Networking Conference. [S. l.]: IEEE, 2008: 2711 - 2716.
- [20] LEE K, YI Y, JEONG J, *et al.* Max-contribution: On optimal resource allocation in delay tolerant networks [C]// INFOCOM10: Proceedings of the 29th Conference on Information Communications. Piscataway: IEEE Press, 2010: 1 - 9.
- [21] LI XU, SHU WEI, LI MING-LU, *et al.* Performance evaluation of vehicle-based mobile sensor networks for traffic monitoring [EB/OL]. [2011 - 09 - 01]. <http://wiki.epfl.ch/lca2/documents/papers/traffic%20monitoring.pdf>.
- [22] ZHU HONG-ZI, ZHU YAN-MIN, LI MING-LU. SEER: Metropolitan-scale traffic perception based on lossy sensory data [C] // Proceedings of the 8th IEEE Conference on Computer Communications. [S. l.]: IEEE, 2009: 217 - 225.
- [23] XUE GUANG-FAO, LI ZHONG-WEI, ZHU HONG-ZI, *et al.* Traffic-known urban vehicular route prediction based on partial mobility patterns [C]// ICPADS09: Proceedings of the 15th International Conference on Parallel and Distributed Systems. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 369 - 375.
- [24] ZHU HONG-ZI, LI MING-LU, FU LUO-YI, *et al.* Impact of traffic influxes: Revealing exponential inter-contact time in urban VANETs [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2010, 22(8): 1258 - 1266.
- [25] LIU SI-YUAN, LIU YUN-HUAI, NI L M, *et al.* Towards mobility-based clustering [C]// KDD10: Proceedings of the 16th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York: ACM, 2010: 919 - 928.
- [26] RALLAPORAL S, QIU L, ZHANG Y, *et al.* Exploiting temporal stability and low-rank structure for localization in mobile networks [C]// MobiCom10: Proceedings of the Sixteenth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM, 2010: 167 - 172.
- [27] YANG YANG, LI XU, SHU WEI, *et al.* Quality evaluation of vehicle navigation with CPS [C]// IEEE Global Communications Conference Exhibition & Industry Forum. [S. l.]: IEEE, 2010: 1 - 5.
- [28] ZHU HONG-ZI, ZHU YAN-MIN, LI MING-LU, *et al.* ANTS: Efficient vehicle locating based on ant search in ShanghaiGrid [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 58(8): 4088 - 4097.
- [29] GE YONG, XIONG HUI, TUZHILIN A, *et al.* An energy-efficient mobile recommender system [C]// KDD10: Proceedings of the 16th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York: ACM, 2010: 899 - 908.
- [30] LIN HUI-JIA, LU MAO-HUA, MILOSAVLJEVIC N, *et al.* Composable information gradients in wireless sensor networks [C]// IPSN08: Proceedings of the 7th International Conference on Information Processing in Sensor Networks. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2008: 121 - 132.