

车载传感器网络的研究进展

余玲飞 宋超 王晓敏 龚海刚 余堃

(电子科技大学计算机科学与工程学院 成都 611731)

摘要 车载传感器网络是一种建立在车载自组织网络基础上的以数据为中心的新型移动传感器网络。与传统传感器网络不同的是,车载传感器网络中的节点是高速移动的,从而导致网络间歇连通、拓扑结构变化频繁,网络中数据的传输只能依靠节点间机会性的传递,严重影响了这种以数据为中心的网络中的数据传递的性能。对目前车载传感器网络的研究现状进行了分析讨论,同时结合延迟容忍网络和机会网络思想,给出了车载传感器网络的研究方向。

关键词 车载传感器网络,数据收集,间歇连通,延迟容忍

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Research on Data Gathering Protocols for Vehicle Sensor Networks

YU Ling-fei SONG Chao WANG Xiao-min GONG Hai-gang SHE Kun

(School of Computer Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract Vehicle Sensor Networks(VSNS) compose of many vehicles equipped with different types of sensors, which are data-centric mobile sensor networks. Compared with traditional wireless sensor networks, the nodes of VSNS move rapidly, leading to intermittent connectivity and frequent topology change, so that data transmissions in VSNS depend on opportunistic transmissions among nodes, which degrades the performance of data delivery. The state of the arts of the research on vehicle sensor networks was discussed. Introduced with the idea of delay tolerant networks and opportunistic networks into VSNS, the hot research issues on vehicle sensor networks were presented.

Keywords Vehicle sensor networks, Data gathering, Intermittent connectivity, Delay tolerant

1 引言

随着传感器技术和无线通信技术的迅速发展,越来越多的汽车制造商为汽车安装了智能计算和无线通信设备,以及GPS(Global Position System,全球定位系统)和GIS(Geographic Information System,地理信息系统),用于部署大规模的车载自组织网络,以提供安全、有效、方便的驾驶环境。车载自组织网络(Vehicular Ad Hoc Network, VANET)即是由道路上的汽车之间(vehicle-to-vehicle, V2V)以及汽车与基础设施间(vehicle-to-infrastructure, V2I)的无线通信组成的自组织网络。近年来,研究团体和汽车制造商通过给车辆装备大量不同类型的传感器,从而在车载自组织网络的基础上构建了一个移动的、基于车辆的新型传感器网络,称为车载传感器网络(Vehicular Sensor Network, VSNS)。

如图1所示,在车载传感器网络中,车辆都安装了无线的OBU(On-Board Unit),车辆通过这种设备采用短距离通信协议(DSRC)与其他车辆通信,也可以与路边单元(Road Side Unit, RSU)通信。不难发现,车载传感器网络与车载自组织网络(VANET)有很多相同的思想,即都是车辆间通信(Vehicle-to-Vehicle, V2V)或者车辆到路边单元间通信(Vehicle-to-RSU, V2R),但是数据收集、恢复和通告事件都是更倾向于传

统的传感器网络。

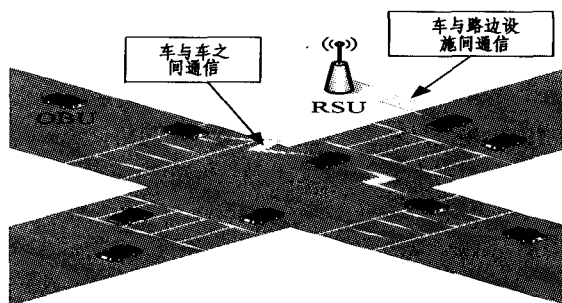


图1 车载传感器网络

车载传感器网络具有广阔的应用背景,这些应用包括交通和通信两个主要方面,交通方面主要是保证驾驶员行车安全和交通顺畅,而通信方面是满足城市或高速路通信需求提供服务支持,例如紧急的事故信息、救援信息以及普通的用户查询信息等等。具体应用类型包括:(1)路况信息收集;(2)交通安全;(3)追捕罪犯;(4)周边信息服务;(5)交通事故紧急处理;(6)互联网接入。

显然,车载传感器网络(VSNS)就是一种建立在车载自组织网络的通信基础上的以数据为中心的节点高速移动的无线传感器网络。它一方面要通过车载自组织网络实现数据的

本文受国家自然科学基金项目(61003229),中央高校基本科研业务费专项资金(ZYGX2009J063, ZYGX2010J074)资助。

余玲飞(1979-),女,博士生,主要研究方向为无线传感器网络、车载网络, E-mail: yulingfei123@hotmail.com; 宋超(1982-),男,博士,主要研究方向为车载自组织网络。

传输和节点之间的通信,另一方面它与 VANET 不同的是,VSNS 是以数据为中心的高速移动传感器网络,实现了数据的收集、处理和传输功能。传感器节点被部署在街道和车辆上,用于感应路段上的各种数据,并将数据发送给需要的用户。本文则针对车载传感器网络的特点,对车载传感器网络的研究现状进行了研究和分析,并提出了车载传感器网络的热点研究方向。

2 车载传感器网络的特点

由于车载传感器网络是基于车载自组织网络的一种新型的以数据为中心的无线传感器网络,因此,与传统传感器网络相比,它会面临一些新的挑战:

(1) 节点的高速移动性。传统无线传感器网络中的节点往往都是静止不动的,当然也有一些研究的传感器节点是移动的,但移动速度缓慢,速度范围在 $1\text{m/s} \sim 5\text{m/s}$ 。而在车载传感器网络中,节点是在城市或者高速公路上移动的车辆,其速度范围在 $10\text{m/s} \sim 30\text{m/s}$ 。在已有的传感器网络研究中,大多数都是假设传感器节点在部署之后,整个网络是连通的,任意网络节点都能在网络拓扑中找到一条通往数据汇集点(Sink)的路径。然而在车载传感器网络环境下,这种假设是不成立的。文献[1]中通过在 I-80 类型的高速公路上的实验结果可以看出,虽然网络连接的平均恢复时间(re-healing time)低于 30s,但是如此长的网络非连通时间会成为传统自组织网络协议(如 AODV, DSR)的首要问题,因为这些协议只能容忍网络非连通的时间不超过 $2 \sim 3\text{s}$ 。

显然,节点的快速移动性会造成网络的间歇连通性,即网络中节点间的通信不能够保证一段时间里稳定持续地连接,连接总是时断时续。而文献[2,3]讨论了在平均速度为 100 公里/每小时的道路上,如果节点的覆盖半径为 250 米,则链路存在 15 秒的概率仅为 57%。节点的高速移动性还会造成网络拓扑的快速变化。在车载网络中由于节点的高速移动性,其拓扑结构变化频繁。网络连通性对通信协议的影响非常大,但是车载网络是一种间歇连通性网络,所以很难建立端到端的可靠连接。

因此,不像传统的网络那样,如互联网(Internet)、MANET 中的节点,它们是静止不动或者移动速度很慢,这样使得节点间在一段时间内能够保持较为稳定的拓扑结构。在车载网络中,我们很难像传统网络那样管理节点间的拓扑结构,建立相对稳定的路由表,从而解决网络中路由问题。

(2) 基于机会性的数据传输。车载传感器网络是以数据为中心的网络,因此数据收集是车载传感器网络的基本功能。当车载传感器网络具有间歇连通的特性后,数据的传递不再是连续地通过多跳的中继节点转发到目的节点。由于 DTN 网络中各节点之间的连通性随着节点的移动而频繁的变化,节点转发数据发生在与其他节点相遇的时候(在彼此的通信半径范围内)。因此 DTN 网络通常采用存储转发(store-and-forward)的方式传送数据,当两个节点相遇时,两者建立无线连接,相互交换信息并将信息存储,随后将此信息转发至下一个遇到的节点,直至传送至目的节点。显然,在这个场景下,传统的信息收集协议已无法适应新的网络条件,必须结合 DTN 网络的特点,设计新的信息收集协议。因为车载传感器网络的节点高速移动性,导致了网络的间歇连通性,所以车载

传感器网络中的数据收集扩散协议和远程路由协议都是基于机会性的。然而,网络中车辆并不了解其周围邻居车辆未来的行驶路线,所以这种车辆移动的不确定性会导致基于存储转发方式利用移动节点传递数据也就不确定。一种解决方法就是复制数据并转发给更多的车辆以多路径的方式传递到目标点,虽然复制越多的数据到邻居车辆上会提高数据传递的效率,但是车载网络的资源是有限的,这种资源包括网络带宽和网络中移动节点的缓存空间,如果每辆车都复制了大量的数据,那么网络中这些有限的资源就会很快被耗尽,反而会影响数据传输的性能。

(3) 复杂多样的数据收集。传统的信息收集绝大多数都是针对单一信息的收集,如周边环境的温度、湿度等信息,这些信息经多跳传输到信息接收者进行统一处理,信息接收者一般是汇聚节点或基站,具有较强的信息处理能力。然而在车载传感器网络中,随着传感器节点的计算能力的进一步提高,传感器网络不再局限于收集局部的简单的物理环境数据,而是向用户提供更加多样化和复杂化的信息和知识。而这些复杂数据的传递也不再是面向单一的汇聚节点,而是面向更多的分布在网络不同地理位置的用户。同时,这些信息的接收者往往不需要获得整个网络收集到的所有信息,而可能只对其中一类或几类信息感兴趣。例如在 Geocast 应用中,数据被传递到指定区域内的所有节点。又如,某一区域内的数据需要被传递到分布在不同地方的节点。

车载传感器网络是一个以数据为中心的新型网络,网络中的节点需要负责收集、处理和传输各种数据。如图 2 所示,在车载传感器网络中,移动节点(即车辆)上的传感器收集感应的各种数据,如汽车速度、加速度、刹车情况、路面状况、网络环境等,然后车辆会将感应的各种数据存储起来。车辆会将这些收集到的数据扩散传播到指定的邻居车辆上,另一方面,车辆收集到来自各个邻居的数据后,会对数据进行聚合和处理,然后进行存储和转发。有一些数据需要传递到远程的汇聚节点上,就需要通过车载传感器网络进行远程路由传递。

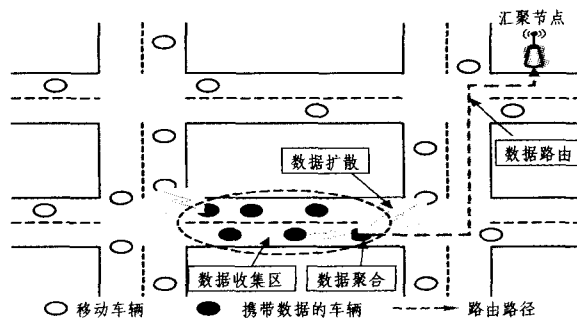


图2 以数据为中心的车载传感器网络

3 车载传感器网络的研究项目

3.1 CarTel

CarTel^[6]是一个分布式的、移动传感器网络和远程信息处理的系统。基于此系统建立的应用能够收集、处理、传递、分析来自传感器的数据。在 CarTel 中的节点里,是一个嵌入式的计算机,其连接着各种传感器,并能够处理收集的数据,然后传递数据到互联网中。

CarTel 系统中包括了用于收集来自于车辆上的传感器信息数据的软件和硬件部分、基于移动车辆上的 WiFi 方式的

网络传输(Cabernet)、间歇连通性的查询数据库(ICEDB)、用于基于位置服务的私有信息保护协议(VPriv)、智能交通拥塞缓解(包括延时预测模型和车流辅助的路由)、路况监测。

3.2 Maryland Traffic View

TrafficView^[7]是 e-Road 项目的一部分,定义了一种框架用于传播和收集关于路段上车辆的信息。有了这种系统,就能够提供给驾驶员各路段车流量信息,为用户提供最优的行驶路径,并在一些特定环境下帮助驾驶员行驶,例如雾天。

3.3 ITS(Intelligent Transportation Systems)

美国交通部于 1996 年成立了 ITS 标准计划^[8],以鼓励智能交通技术在国家交通运输系统里的广泛使用。ITS 标准是国家智能交通体系框架中的一部分,它定义了系统中各部件之间的连接和交互。因为 ITS 标准是基于开放的、非专有的技术,它们的使用可以促进智能交通系统的部署,并方便国家和地方人员进行开发和部署区域综合运输系统。ITS 标准正在与标准发展组织(standards development organizations, SDOs)合作,以加快发展,并进行了近 100 个基于一致性预测的测试。ITS 标准是由技术顾问和 SDO 标准运输工作组的公共部门共同开发的。迄今为止,92 标准已经出版或批准,并准备投入使用。已经发表的一些标准,如 NTCIP 1203,都在他们的第二个版本中。

3.4 VII(Vehicle Infrastructure Integration Program)

VII(Vehicle Infrastructure Integration)计划^[9]是研究公路车辆与它们周围的环境连接的一系列技术,其中首要的也是最重要的就是要提高道路的安全性。该技术涉及了几个学科,包括交通工程、电气工程、汽车工程和计算机科学。VII 具体包括公路运输,虽然类似的技术已应用到其他的交通工具,如飞机,它使用地面标来进行自动化引导,并在飞行中实现了自动驾驶。在公路工程中,改善道路安全会减低整体的效率。而 VII 的目标就是既要提高安全性和又要提高效率。

3.5 CarTALK 2000

CarTALK 2000^[10]是一个欧洲的项目,用于辅助驾驶,它是基于车辆间通信的。其主要目标是开发协作性的驾驶辅助系统,包括获得前方路况信息、车流信息、前方车辆的异常信息(如紧急刹车)。

3.6 NOW(Network-on-Wheels)

德国的 NoW(Network on Wheels)项目^[11]是从 2004 年 6 月开始的,有来自不同公司和研究机构的专家,致力于通过车载自组织网络寻找潜在的危险或攻击,并制定专门的办法和机制进行保护。

4 车载传感器网络的研究热点

4.1 车载传感器网络模型的建立

车载传感器网络是一种特殊的移动自组织网络,其独有的特点包括:驾驶员行为、移动受道路限制和高速移动。有效路由是车载传感器网络无线通信中一个基本的重要问题。车载传感器网络中的路由包括以下几点特征:

(1)路由由尽可能选择高车流量密度的路段。如图 3 所示的道路情况中,汽车 A 要发送一条消息到停车场 P,比如查询或预定车位,假设 A 通过定位服务知道目标停车场 P 的位置。图中该汽车有两条路径可以选择,即路径 1 和路径 2。如果采用基于地理位置的路由协议(如 GPSR),就会选择路

径 1 上的汽车转发消息,因为该路径上的汽车更接近于目标点 P。但是路径 1 车辆密度很低,消息在该路径传递的过程中更多地是存储在汽车上,当然汽车移动的速度远远比不上无线通信,因此消息在路径 1 中传递延时较长。相比而言,路径 2 中车辆密度大,消息可以通过汽车间的无线通信方式多跳地传递到目标停车场 P,因此消息在该路径传递延时最短。可以看出,在间歇连通性网络中,为了能够缩短数据传递延时,应当尽可能地利用车辆间无线通信采用转发的方式传递数据,减少数据存储的时间。所以,车辆选择路由路径应当尽可能地考虑车辆密度大、数据传递延时短的路径。

(2)各路段稳定的宏观状态。从宏观的角度来看,很多研究表明,经过一段时间以后,路段内车流量密度会趋于稳定。在车载传感器网络中,车辆是网络通信的媒介,路段内车流量密度稳定,那么路段能够提供的网络通信能力也就稳定。

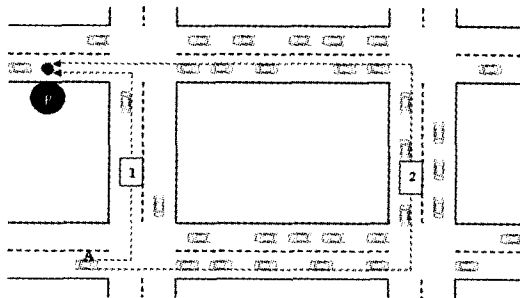


图 3 寻找一条到停车场的路由路径

因此研究适合于车载传感器网络的网络模型,用于分析和解决车载传感器网络中的数据收集协议和路由算法具有重要的意义。

4.2 机会性的数据收集协议

数据收集是车载传感器网络中的一个重要的研究问题。数据收集技术是指在车载传感器网络中,传感器创建能够归纳出数据特征的元数据(meta-data),并将它发送到请求车辆。然而,VSNS 具有其独有的特点,例如节点移动速度快,不稳定的网络拓扑结构,以及传感器节点充足的能量,这些都与传统的传感器网络完全不同。例如,车辆的高速移动性会给保持路由和邻居表带来很多问题。这是因为车辆移动的速度非常快,以至于节点间的连接很容易被破坏。而且,在一公里的路段上,车辆的数量可能从 1 变化到近 500,因此就需要应对动态变化的网络拓扑结构带来的问题。最后,与传统传感器网络不同的是,VSNS 中的传感器节点能够从车辆蓄电池、建筑物和路灯上获得持续的能量。因此,传统传感器网络主要针对有效节能提出的协议,就不能够应用在 VSNS 中。这就需要研发新的数据收集协议以适应 VSNS 的这些特点。

4.3 机会性的高效路由算法

高效的路由算法在车载传感器网络的无线通信中是非常重要的问题,几乎所有的车载传感器网络应用都需要有路由协议的支持。作为一种新型的移动自组织网络,既具有分布式和自组织的共性,又具有高速移动性和拓扑结构变化频繁等特性。所以车载传感器网络的路由算法设计必须要适应这些特点。

一种解决路由问题的有效方法是为传输数据建立稳定的端到端的路径。与传统的移动自组织网络不同的是,车载传感器网络中节点的间歇连通性会严重影响这些协议的性能。

采用延迟容忍网络(DTN)和机会网络来分析移动节点间难以建立稳定端到端路由的间歇连通网络的问题。节点在延迟容忍网络中采用存储转发(store and forward)的方式,节点存储(store)数据包移动,直到遇到比自己更有机会可以帮助数据包传递至目标的移动节点时,将数据包转发(forward)至该节点。

因此,针对车载传感器网络的特性,解决诸如节点快速移动性、拓扑变化频繁和资源有限等因素,是设计和开发路由算法的关键。

4.4 基于真实环境的仿真平台

如何在真实的环境中测试及评估通信协议(protocol implementation)却是一项艰巨的任务,在VSNS的研究中“网络模拟”仍是最常被用来作为通信协议发展的第一步。现今已有数项通信网络模拟工具提供了一个可供测试评估的网络通信平台,例如NS-2,OPNET以及Qualnet。然而,这些工具通常用来提供一般状况的网络模拟而缺乏应用于为交通运输环境特别设计的模拟工具。另一方面,在交通运输上,模拟也同时扮演了另一个重要的角色。不同种类的交通模拟工具,例如:PARAMICS, CORSIM以及VISSIM,已经被广泛发展用来分析宏观和微观的交通状况模拟。然而,在过去却很少研究着力将交通模拟和网络模拟整合起来去创造一个适合VSNS研究的模拟环境。因此,建立一个基于真实环境的仿真平台对于VSNS而言具有重要的现实意义。

结束语 车载传感器网络是建立在车载自组织网络基础上的无线传感器网络,其特点是节点具有高速移动性,网络呈现间歇连通性以及网络拓扑变化频繁等,因此传统的无线传感器网络的研究无法直接应用在VSNS中,必须结合VSNSs的特点设计新的协议。目前VSNS的研究才刚刚起步,研究

热点也非常丰富。随着智能交通技术的发展,车载传感器网络必将得到广泛的应用。

参考文献

- [1] Wisitpongphan N, Bai F, Mudalige P, et al. On the routing problem in disconnected vehicular ad hoc networks[C]// Proc. of 26th IEEE International Conference on Computer Communications. New York: IEEE Communications Society, 2007: 2291-2295
- [2] Rudack M, Meincke M, Lott M. On the dynamics of ad hoc networks for inter vehicle communication(IVC)[C]// Proceedings of the ICWN. 2002
- [3] 陈立家, 江昊, 吴静, 等. 车用自组织网络传输控制研究[J]. 软件学报, 2007, 18(6): 1477-1490
- [4] 熊永平, 孙利民, 牛建伟, 等. 机会网络[J]. 软件学报, 2009, 20(1): 124-137
- [5] Guizzo E. Network of Traffic Spies Built Into Cars in Atlanta[J]. IEEE Spectrum, April 2004
- [6] CarTel[EB/OL]. <http://cartel.csail.mit.edu/doku.php>
- [7] Nadeem T, Dashtinezhad S, et al. TrafficView: Traffic data dissemination using car-to-car communication[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2004, 8(3): 6-19
- [8] ITS Standards[EB/OL]. <http://www.standards.its.dot.gov>
- [9] <http://www.omniar.org/vii/>
- [10] Reichardt D, Miglietta M, et al. Cartalk 2000-safe and comfortable driving based upon inter-vehicle communication[C]// Proceedings of IEEE IV'02. June 2002: 545-550
- [11] NoW: Network on wheels[EB/OL]. <http://www.network-on-wheels.de>, 2006

(上接第318页)

洪泛算法的信息分发协议的性能。从仿真结果可以得出,基于RS纠错码的信息分发协议在原始数据包较少的情况下,能以拉伸系数1.5的编码比率超过基于两次洪泛算法的信息分发协议。该协议在降低了网络负载的同时,也降低了对网络传输可靠性的要求。由于RS纠错码的编解码复杂度较高,因此需要对数据分块编码发送。为了提高编码的速度,我们将研究使用线性时间内编译码的纠错码的信息分发协议,这是我们下一步的研究方向。

参考文献

- [1] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(07)
- [2] 崔莉, 鞠海玲, 苗勇, 等. 无线传感器网络研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(01)
- [3] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005
- [4] Li Mo, Liu Yun-hao. Underground Coal Mine Monitoring with Wireless Sensor Networks[J]. ACM Transactions on Sensor Networks(TOSN), 2009, 5(2)
- [5] Mo Lu-feng, He Yuan, Liu Yun-hao, et al. Canopy Closure Estimates with GreenOrbs: Sustainable Sensing in the Forest[C]// ACM SenSys 2009. Berkeley, California, USA, November 2009

- [6] 杜军朝, 刘惠, 陈平, 等. 无线传感器网络中基于链路层服务的可靠路由建立算法[J]. 自动化学报, 2007, 12(33)
- [7] Levis P, Madden S, Gay D, et al. The emergence of networking abstractions and techniques in Tinyos[C]// Proceedings of the First USENIX/ACM Networked System Design and Implementation. 2004: 1-14
- [8] Levis P, Lee N, Welsh M, et al. TOSSIM: Accurate and scalable simulation of entire Tinyos applications[C]// Proceedings of the 1st international conference on embedded networked sensor system. 2003: 126-137
- [9] MacWilliams F J, Sloane N J A. The Theory of Error-Correcting Codes[M]. Part I. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, New York, Oxford, 1977
- [10] 王新梅, 肖国镇. 纠错码-原理与方法[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001
- [11] Plank J S. A Tutorial on Reed-Solomon Coding for Fault-Tolerance in RAID-like Systems[J]. Software-Practice & Experience, 1997, 27(9): 995-1012
- [12] Lacan J, Fimes J. Systematic MDS Erasure Codes Based on Vandermonde Matrices[J]. IEEE Communications Letters, 2004, 8(9)
- [13] Plank J S, Ding Y. Note: Correction to the 1997 tutorial on Reed-Solomon coding[J]. Software-Practice & Experience, 2005, 35(2): 189-194