

VANET 中数据传递的关键技术

张利锋^{1,2} 金蓓弘¹ 张扶桑^{1,2}

(中国科学院软件研究所 北京 100190)¹ (中国科学院大学 北京 100190)²

摘要 基于VANET的数据传递能为交通信息收集、城市生活服务、紧急告警、军事指挥等应用提供数据传输服务,但VANET数据传递面临诸多挑战,例如网络拓扑变化快、信道容量有限等。从VANET数据传递的关键挑战入手,指出了影响VANET数据传递的主要因素,对VANET数据传递的基本机制进行了分类,综述并分析了已有的实现方法。此外,还列举了提高数据传递能力的优化策略。最后对未来的研究趋势进行了展望。

关键词 数据传递, VANET, 实现方法, 性能优化

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Key Technologies of Data Delivery over VANETs

ZHANG Li-feng^{1,2} JIN Bei-hong¹ ZHANG Fu-sang^{1,2}

(Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)¹

(University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)²

Abstract Data delivery over VANETs can provide data transmission for various services including traffic information collecting, urban life services, emergency alarming, and military command. But there are many challenges in data delivery brought by the rapid changing of network topology, limited wireless channel capacity, and etc. The paper analyzed the key challenges, pointed out the main influencing factors, classified the essential mechanisms, and reviewed the existing implementation approaches of data delivery over VANETs. In addition, the paper also summarized the optimization strategies to improve capabilities of data delivery. The paper concluded the future research trends.

Keywords Data delivery, VANET, Implementation approaches, Performance optimization

1 引言

车载自组织网络(Vehicular Ad hoc Network, 简称 VANET)是一个以车载无线通信单元(On Board Unit, OBU)或路边单元(Road Side Unit, RSU)为节点、按自组织方式建立的无线移动通信网络。VANET是物联网的一种重要组成网络,有潜力成为智慧城市中开放的数据交换平台。

VANET中,节点通过WAVE(Wireless Access Vehicular Environment)协议栈实现与邻近节点间的数据交换,从而传递节点所拥有的信息,包括通过各种传感器获取的车辆及道路环境信息。VANET数据传递是指多个VANET节点通过协作将数据传递到一个或多个目的地。VANET数据传递除了用于车辆主动安全之外,还可以作为数据传输通道,为工作出行和休闲旅行提供交通信息。例如,车辆用户通过VANET数据传递,可以获得出行线路上的路况信息/交通临时管制信息,实现智能出行。不仅如此,车辆用户还可以通过VANET数据传递获取各类生活服务信息,如商场的打折信息、电影院的电影场次及票价信息、旅馆的剩余房间及价格信息,以及停车场的空闲停车位信息等。

值得一提的是, VANET数据传递可以为紧急救援提供

服务,为突发事件及时、有效的处理提供决策依据^[1,2],例如,在地震发生地,常规通信很可能中断,而通过VANET可以将受灾地区的人员伤亡、道路状况等信息传递到外界。利用VANET数据传递还可以获得救援物资的位置和数量的动态分布报告。另外, VANET还可用于传送军事情报及作战配合等。例如,军用车辆在行进过程中,可以通过VANET相互交换自身行进状况和后续行进计划等信息。

本文综述了VANET数据传递的实现方法。第2节给出了VANET数据传递的关键挑战;第3节按通信范型介绍了数据传递的基本策略;第4节从4个方面列出了VANET数据传递的优化策略;最后是全文总结。

2 VANET数据传递的挑战

VANET与已有无线自组织网络如MANET(Mobile Ad hoc Network)不同,其车辆节点的运动具有速度快且受限于道路拓扑结构的特点。车辆节点的高速移动会导致VANET拓扑变化快、网络分区频繁,从而严重影响节点间协作传递数据的性能。在VANET中部署相对静态的RSU节点可以改善VANET数据传递的性能,但RSU节点的部署(如位置分布和数量)仍然是一个待研究的课题。其次, VANET车流的

到稿日期:2012-10-29 返修日期:2013-02-02 本文受自然科学基金(60970027, 91124001)资助。

张利锋(1977-),男,博士生,CCF会员,主要研究领域为分布式计算、普适计算, E-mail: zhanglifeng10@otcaix.iscas.ac.cn; 金蓓弘(1967-),女,博士,研究员,博士生导师,主要研究领域为分布式计算、普适计算。

时空分布(例如车流密度和流量)以及环境因素(例如路边建筑物和障碍物的遮挡、交通信号灯等)会直接影响 VANET 节点的通信建立及通信质量。例如,车流稀疏时 VANET 节点间可能不能建立通信连接,而车流密集时又会引发 VANET 节点间对无线信道的剧烈竞争。另外,多跳无线网络的网络容量有限,根据文献[3],由平面上随机部署的 n 个节点组成的多跳无线网络的容量仅为 $\sqrt{\frac{1}{n}}$,交通流的不均匀分布会加剧容量的限制问题。因此,VANET 数据传递的性能受限于无线通信的服务质量(Quality of Services, QoS)。如何适应 VANET 节点及拓扑的变化,提供低延迟、高可靠、低开销、高可伸缩的数据传递,是 VANET 数据传递要面对的最大挑战。而 VANET 的节点组成(例如有无 RSU 节点)、车辆节点的运动特征、无线通信的 QoS 成为影响 VANET 数据传递的主要因素。

2.1 车辆的运动模型

车辆运动模型是对车辆运动特征的抽象,用于刻画车速、流量、密度、车辆间距离以及车辆在交叉口的行为,它是分析 VANET 连通度的基础,也是在评估 VANET 数据传递机制中生成模拟车流数据的依据。已有的模型可以分成如下几类:随机模型、交通流模型、跟驰模型、流交互模型。表 1 给出了不同模型的建模粒度、应用场景、模型特征等因素。

表 1 VANET 节点的运动模型

模型分类	随机模型	交通流模型	跟驰模型	流交互模型
建模粒度	微观	宏观	微观	微观
应用场景	高速公路	高速路/城市	高速路/城市	城市
考虑车车交互	否	否	是	是
交叉路口管理	不支持	不支持	不支持	支持
允许改变车道	未考虑	不支持	可支持	可支持
典型的例子	匀速运动模型 RealTrack 模型 Manhattan 模型	FTM 模型	安全距离模型 心理距离模型 智能驾驶员 模型	PTS 模型 AID 模型 IDM-IM 模型 IDM-LC 模型

2.1.1 随机模型

这类模型的特点是车辆仅受道路的约束,它们可以沿道路随机运动。随机模型中节点移动速度、方向、目的地等都是随机选择的,而且完全不考虑车辆间以及交叉口车流的交互作用。匀速运动模型、RealTrack 模型、Manhattan 模型均属于随机模型。

2.1.2 交通流模型

这类模型以流体动力学的观点看待车流运动,它使用车流速度 $v(x, t)$ (km/h)、车流密度 $\rho(x, t)$ (vehicle/km) 和流量 $q(x, t)$ (vehicle/h) 来刻画车辆的运动特征,而这些变量都是空间位置 x 和时间 t 的函数,模型通过统计车流整体的运动状况得出每辆车的运动情况,是一种从宏观入手进行微观行为建模的方法。流体流量运动(Fluid Traffic Motion, FTM)模型就是一种交通流模型,它通过一个以车辆密度为参数的单调递减函数来计算车速。在 FTM 中,为了产生更细粒度的车辆交通流,对道路进行了分段,并对每段道路独立计算车辆密度。

2.1.3 跟驰模型

这类模型将每辆车看成是一个独立的实体,并假设后车跟随前车的行驶状态,着重考察车辆在行驶过程中与邻居车

辆的相互关系。文献[4]将跟驰模型大致分为 5 类:GHR 模型及其扩展,此类模型根据前车的速度、加速度以刺激-反应的方式确定后车的速度;智能驾驶员模型(Intelligent Driver Model, IDM)属于 GHR 模型的扩展;安全距离(碰撞避免)模型,此类模型中后车根据与前车的安全距离确定运动参数,如 Gipps 模型;心理距离模型,此类模型在后车与前车距离小于特定阈值时才改变后车的速度参数,如 Wiedemann 模型;另外,还有线性模型和模糊逻辑模型。元胞自动机模型(Cellular Automaton)也可以看作是跟驰模型的一种,它的独特之处在于它将时间和道路离散化成一些元胞,在离散的时间点上,车辆的状态通过简单的规则控制在一些有限元胞内移动。该模型的计算开销较小,能通过有限的计算能力仿真较大数目车辆的运动。

2.1.4 流交互模型

前几类模型刻画的一般是单车道上车辆单向行驶的情景,车辆的交互也限于同向行驶车辆之间,这显然不足以反映现实场景,例如,高速路上可能出现超车,城市场景中道路交叉口和环形道路可能形成车流。流交互模型是构建在随机模型和跟驰模型基础上的,考虑了车流间的动态汇聚,例如,车流在道路交叉口的相互干扰问题。概率交通信号模型(Probabilistic Traffic Sign Model, PTSM)^[5] 和高级智能驾驶员模型(Advanced Intelligent Driver Model, AIDM)属于流交互模型。在 PTSM 中,车辆到达路口后如果没有等待车辆则以概率 p 通过路口,而以概率 $1-p$ 等待一个随机时间。如果路口有等待车辆,则等待时间为前车等待时间加上 1 秒。而 AIDM^[6] 可以实现驾驶员躲避障碍物、变速、变道等行为并支持交叉口管理。AIDM 实际上是跟驰模型和流交互模型的集成,能较好地重现城市交通流特征。另外, IDM-IM、IDM-LC 模型在智能驾驶员模型基础上分别增加了交叉口管理和变道能力,也可以看作是流交互模型的例子。

2.2 无线通信的 QoS

无线通信的 QoS 涉及到的内容很广泛。对 VANET 数据传递性能产生重要影响的因素有无线通信的连通性和通信信道的利用率。

VANET 的无线连通度与车流密度、无线传输范围紧密相关。文献[7]研究了城市场景下 VANET 通信的连通性问题,根据其仿真实验,当车辆密度为 4vehicle/250m 时,在 1000 米路段内无线网络连通的概率为 68%,而 2000 米内无线网络连通的概率仅为 42%。当车辆密度为 2vehicle/250m 时,对应的概率仅为 21% 和 7%。实验数据表明,形成连续的多跳通信链路的概率随道路长度的增加呈指数下降,同时,车流密度与 VANET 的无线连通度紧密相关。这说明,如果能根据车流密度自适应地改变无线传输范围,比如在车流密度低时,增大无线传输范围,那么能增强网络连通性。基于连通度的数据传递策略能有效提高数据传递的性能,这是当前研究工作的热点,4.1 节将介绍这方面的已有工作。

在 WAVE 协议栈中,IEEE 1609.4 协议定义了信道分配与多信道协作机制,它将 VANET 工作频段划分为 7 个信道,其中一个信道通过 WSM(WAVE Short Message)传输控制参数和车辆安全相关的数据,故称为控制信道(CCH),其他 6 个信道用于服务数据的传输,故称为服务信道(SCH)。按照 IEEE 1609.4 协议,多个 WAVE 设备是通过同步过程来协调

对信道的使用,其同步区间由一个 CCH 区间(固定为 50ms)和一个 SCH 区间(固定为 50ms)组成,在 CCH 区间内,所有的 WAVE 设备必须工作在 CCH 信道,而在 SCH 区间内,WAVE 设备工作在通过 CCH 协商而确定的服务信道。这种交替访问模式可以保证及时监听到 CCH 信道上的高优先级消息并加以处理,但它也存在以下不足:(1)同步操作导致 CCH、SCH 利用率不高,最高为 50%;(2)固定的 SCH、CCH 区间时长导致其无法很好适应通信负载的变化;(3)各个节点为了发送在 SCH 间隔内产生的 WSM,在切换到 CCH 信道后会集中竞争 CCH 信道,导致节点可能需要多轮退让才能获得信道使用机会,降低了信道利用率。通过改进信道工作方式,能有效提高信道利用率,从而提高 VANET 数据传递的性能。4.4 节将介绍这方面的已有工作。

3 数据传递的基本策略

VANET 数据传递从通信范型上可分为四类:第一类为广播,即将数据发送到整个网络中的所有节点;第二类为多播,即将数据发送到一组节点;第三类为选播,即将数据发送到目的节点组中的任意一个节点;第四类为单播,即将数据发送到一个目的节点。上述节点的位置可以是(通过位置服务)精确给出的,也可以是仅指定一个区域范围。从数据接收节点的数目上看,VANET 数据传递又可以分为多目标型和单目标型,广播和多播属于前者,而选播和单播属于后者,下面介绍各种通信范型中有代表性的工作。

3.1 广播与多播

广播是 VANET 通信的基本机制,因此,VANET 下实现数据传递的基本方法是泛洪(flooding),也就是说,收到广播消息的节点如果是第一次收到该消息就再次进行广播,否则就丢弃该消息。泛洪策略能实现最大无线覆盖和数据的快速传播,但它存在广播风暴、吞吐率低等问题。

文献[11]提出了 3 种用于 VANET 环境的广播抑制技术,分别称为带权重 p 概率持久化(weighted p -persistence)机制、分时段全概率持久化(slotted 1-persistence)机制和分时段 p 概率持久化(slotted p -persistence)机制,在这些机制中,接收节点是根据它与发送数据的节点的距离来计算转发概率,或者是根据当前所处的时段来设置转发等待时间,所以,节点的广播次数受到了限制。同时,若发送节点在给定的时间内收不到数据副本,则重新对消息进行广播。上述广播抑制技术能减少冗余的广播,提高广播机制的数据到达率,降低链路负载。另外,邻居消除规则也被用于减少冗余广播。例如,文献[12]让接受者节点 R 在收到发送者节点 S 的数据后,检查自己的邻居(记为 N_R)和发送者邻居(记为 N_S)是否满足“责任条件”(该责任条件是指接收者 R 到其邻居 N_R 的距离小于发送者邻居 N_S 与 N_R 的距离),如满足该责任条件,则节点 R 成为候选转发节点,否则,丢弃该数据。

一些应用(如车辆安全应用)需要可靠的数据传递,但由于节点运动及环境对无线信号的干扰,VANET 节点之间的通信是不可靠的。确认消息是提高广播可靠性的基本手段。文献[14]通过改造 MAC 层协议,在 RTS/CTS 握手和确认基础上,只允许距离发送者最远的节点转发该消息并发送确认消息,从而解决隐藏节点的问题并提高可靠性,但此方案在节点密度高时可能需要进行多轮的碰撞解决过程,从而会导致

较长的数据延迟和较大的通信开销。文献[13]提出了利用局部周期性的心跳消息构造节点的连支支配集,并对在支配集内的节点设置较短的定时器用于广播数据,定时器结束时,如果该节点发现有邻居未收到数据,那么它将再次广播数据。该方法能有效提高广播的可靠性,但它不适合节点拓扑变化剧烈的场景,同时构造连支支配集的开销较大。

基于传染病的数据传递协议是较广播机制更为高效的方式。文献[15]对中国上海市区车载网络(SUVnet)进行了研究,分析了其拓扑和间断连通性,并且基于延迟容忍网络提出了 DAER(Distance Aware Epidemic Routing)协议,用于提高消息传递的到达率。文献[16]则针对 VANET 环境下车流的特点对传染病算法进行了改进,文章利用车流的特性对车流进行聚类,然后通过各车辆簇的边界车辆实现消息的广播,从而把消息的扩散限制在不同车流簇之间,降低了网络的通信负载。

组播与广播有类似之处,车辆节点都是将数据发送到多个目的地节点。文献[17]提出了 MDDV(Mobility-centric Data Dissemination algorithm for Vehicular networks)算法,该算法利用街道地图计算数据传递的路径,并利用称为消息持有者的车辆携带数据到目标区域。在目标区域内,消息被进一步地扩散并传播到所有节点,从而完成一对多的通信。

3.2 单播和选播

单播是 VANET 下广泛使用的一类通信范型。VANET 单播经常采用下面的策略:(1)贪心转发机制,即将数据转发给在预定方向上距离最远的邻居;(2)存储转发机制,即车辆节点发现周围没有合适的转发数据的节点时,将携带该数据继续前行;(3)利用环境信息,如节点的位置信息、计划的出行线路、街道地图、交通流量信息等。

文献[18]介绍了一种地理源路由 GSR(Geographical Source Routing)策略,它利用城市街道地图和每个节点的位置信息,根据 Dijkstra 最短路径算法计算转发数据到目的地的沿街路径,并将该路径上的路口序列放置在数据包的头部。GSR 按贪心方式将数据包传递给离下一个路口最近的 1 跳邻居。GSR 利用城市地图来避免贪心工作方式带来的通信环路。作为对文献[18]的改进,文献[19]提出了 GPCR(Greedy Perimeter Coordinator Routing),消除了对街道地图的依赖,它根据车辆的位置来确定哪些车辆是同一段路上同向行驶的、哪些车辆是在路口(称为协调者)的。在 GPCR 中,车辆节点按贪心策略传递数据,具体而言,在与该车辆同向行驶的车辆节点中,如果没有协调者,那么选择最远的车辆作为下一跳节点,如果有协调者,那么将数据传递到协调者,由它继续按贪心方式选择下一跳节点。GPCR 提出了一个修复策略,也就是,协调者在检测到出现通信环路时,将使用右手法则即选择沿着数据来的街道的逆时针方向的街道传递数据。

VADD 机制^[20]允许双向传递数据,在路段之间的车辆节点采用存储和贪心转发策略,在路口附近的节点使用预先标记在电子地图上的历史交通流信息为数据选择路由路径。由于每个路段的车辆密度是随时间变化的,因此,这种基于预载历史统计数据来计算最短延时路径的方法,不能够反映出真实的最优路径。文献[39]则使用实时收集的路段间的数据传递延迟作为数据到达路口时选择转发路径的依据,但该协

议需要在车辆间广播各个路段的延迟数据,广播的开销较大。

考虑到公交车运动拓扑和相遇机会的规律性,文献[21, 40]研究了以公交车为 VANET 节点进行数据传递的问题。文献[21]使用了存储转发以及数据包优先级技术来传递数据包,其中,数据包的优先级是由传递数据到目的地的开销来决定的,而开销又是通过记录两个节点相遇的概率来估计的。其研究成果已部署在以公交车为网络节点的称为 UMass DieselNet 的真实网络中。而文献[40]假设公交车路线及发车时间间隔等信息已知,各线路公交车相互通信的概率可以基于历史统计信息来获得,它研究了使用马尔可夫决策过程来从相遇节点中选择转发节点及数据到达路口后选择转发路段来最小化数据转发延迟的问题。

还有一些研究关注车辆与路边的网关之间的数据传递,如文献[22]提出了一种连通度感知的最小延迟地理路由协议 CMGR(Connectivity-aware Minimum-delay Geographic Routing)。在 CMGR 中,数据发送方需要发起路由发现过程,即,广播路由发现消息,收到路由发现消息的车辆节点将自己的位置、速度信息填入该消息并再次广播,当该消息到达部署在路边的网关时,由该网关选择最佳中继车辆并发送回复消息给请求者。请求者使用回复消息中的路由路径来传递数据,因此,CMGR 本质上是一个选播的过程。但 CMGR 中,车辆运动导致该方法需要不断重复路由发现过程,车辆密集时会产生严重的广播风暴,故伸缩性差。

4 数据传递的优化策略

针对 VANET 数据传递,本文给出了 4 大类优化策略:基于连通度的优化策略;基于 RSU 辅助的优化策略;基于网内数据聚合的优化策略;基于改进信道工作方式的优化策略。

4.1 基于连通度的优化策略

考虑到 VANET 连通度是影响 VANET 数据传递性能的关键因素,文献[23]针对城市和高速路环境下的车辆间通信,提出了一种连通性感知的路由协议 CAR(Connectivity-Aware Routing)。在 CAR 中,节点记录并缓存从一个节点到另一个节点的路径,并将这些路径在节点间扩散。收集到的路径信息通过贪心路由的方式传递回源节点。源节点基于收集的路径信息,将数据以每次距离下一跳路口最近的贪心方式,从源节点传递到目的节点。

文献[24]提出的分布式车辆广播协议则根据不同的网络连通度条件,动态选择不同的工作模式:在连通度良好的场景下采用文献[11]中的方法;在车辆稀疏的场景下,车辆节点接收到消息后立即广播给相反方向的车辆,相反方向的车辆如果找不到周围一跳可到达的车辆则传回原方向的车辆;否则车辆节点将工作在全不连通的状态,此时它将携带数据直到找到邻居节点。该方法利用了反方向车辆来中继消息,但它未能解决文献[11]中存在的问题。

在 VANET 连通度建模方面,已有的工作可以分为两类:一类假定车流分布,另一类不假定车流分布。

目前研究主要集中在第一类,该类模型通常假定车辆间距或车头时距所服从的分布,然后使用特定的车辆运动模型(比如随机模型),根据条件概率推导连通度分析模型,这类模型主要适用于高速路场景。文献[25,26]研究了具有多入口、多出口且允许超车的多车道高速公路连通度的统计属性。文

章假定车辆在入口处泊松分布到达,然后,将高速路划分为长度为 R (R 为无线传输距离)的路段单元,并使用概率的方法推导 R 内车辆的数目分布、位置分布以及相邻单元车辆的连通条件概率和整条道路的连通概率。

第二类研究通常使用元胞自动机模型作为车辆运动模型来限定车速和位置的变化,然后,根据车辆的几何位置分布来推导连通性分析模型。文献[27]基于元胞自动机模型,使用离散空间的马尔可夫链来估计车辆速度变化,即,首先建立 t_0 时刻车辆速度变化的状态转移概率矩阵,进而推算 t_0+k 时刻的速度分布,并据此估算网络是否会发生分区。此方法计算过程复杂,计算开销大,严重影响了它的伸缩性。

4.2 基于 RSU 辅助的优化策略

在 VANET 中,节点沿道路高速运动,网络拓扑变化频繁,节点的连通性无法保证。因此,可以考虑部署路边基础设施,即沿路部署一系列的 RSU。它们可改善 VANET 的连通度,提高网络通信的覆盖率,还能缓存到达路口却找不到最优转发路径的数据,降低数据的丢包率和数据传递的延迟。目前,已有不少研究关注通过部署 RSU 提高网络连通概率,进而提高数据传递性能。文献[8]研究了在高速路场景下车流稀疏时通过部署 RSU(不连接骨干网)来中继数据、减少传输延迟的效果。在 RSU 部署间隔为 750~1000 米、车流量为 200~700 辆/小时的情况下,其模拟实验表明数据传输延迟减小了约 15~30%。文献[9]在高速路中部署 RSU,用于缓存并周期性广播安全警告消息,实验结果表明这可以提高消息可达性,减少广播消息开销。文献[10]认为在车流稀疏的高速路上车辆间距服从指数分布,建议部署固定的 RSU 来提高长距离数据传递的性能。文献[28]通过在交叉路口设置的 RSU,提出了 VANET 下数据倾倒(Data Pouring)和缓存模式,即,数据从源节点发出并沿主要干道上的车流进行扩散,到达路口后由 RSU 将数据包传递给来自其他道路的车辆。在 SADV 机制^[29]中,为了能够度量相邻静态节点间路段数据传递的延时,静止节点通过途经车辆节点相互传递心跳消息,该消息记录了相邻静态节点间数据的传递延迟,静态节点基于路段间延迟对数据包进行转发,为了避免环路,静态节点保存一段时间内发送过的消息,从而丢弃一段时间内重复达到的消息。

4.3 基于网内数据聚合的优化策略

数据聚合是指通过将节点收集的数据按照一定的规则抽取或合并,提取其有效特征,去除冗余数据。使用聚合后的数据代替原始数据,可减少网络中传输的数据量,增强 VANET 的数据传递能力。

VANET 中的数据聚合方法需要解决 3 方面的问题,聚合的对象、时机和方法。目前的很多研究集中在基于地理位置分段的数据聚合方法。在这种方法中,预先将路段划分为若干个子区域,然后对相同区域内的数据进行聚合(见文献[30]),但这些方法存在子区域粒度难以设定的问题,粒度设置得过大则会损失聚合后结果的精度,而粒度过小则会导致聚合后数据量较大。

在聚合时机的选择上,数据到达节点后不立即转发,而是等待一小段时间,这可增加可聚合的数据在同一节点相遇的概率。文献[31]提出了一种追赶(Catch-up)机制,它使用马尔可夫决策过程建立节点转发延迟模型,节点根据自己的局

部视图并通过向发送者节点学习数据转发获益来分布式地决策当前的延迟时长。但是应该看到,这种机制是对数据聚合成功率与数据传递延迟两方面的一种折衷,上层应用程序对延迟的容忍程度会影响数据聚合的成功率。

数据聚合方法需要考虑收集到的数据在经过聚合操作后表意的准确性、完整性,即聚合后数据的质量。聚合质量是由应用程序的需求决定的,不同的应用有不同的质量要求。层次聚合^[32]、基于模糊推理的聚合^[33]都是考虑聚合质量的数据聚合方法的例子。

4.4 基于改进信道工作方式的优化策略

信道访问控制是影响 MAC 层数据传输效率的重要因素,通过改进 MAC 信道访问机制,能提高 VANET 数据传递的 QoS。

文献[36]提议将 CCH 信道的使用时间划分为信标消息使用时间和安全类消息使用时间,这样可以避免信标消息和安全类消息对信道的竞争。同时通过 WSA 消息(WAVE Service Advertisement)为使用 SCH 信道的应用协商预留信道号,从而避免了应用对 SCH 信道的竞争,提高了 SCH 信道的利用率。文献[38]提出了一种动态调整 CCH 和 SCH 时长比率的方法,其工作模式为:先由 RSU 或特定节点(例如,1 跳邻居内编号最小的节点)根据网络条件对 CCH 所需的时间进行概率分析,然后,通过广播发送该时长信息,而车辆节点从收到的所有广播消息中选取最长的 CCH 时长。

文献[34]为有 RSU 支持的 VANET 环境设计了一种新的 MAC 协议,它让 RSU 充当协调者的角色,为距离该 RSU 远的和运行实时类应用的车辆节点设置高的信道访问优先级,并根据应用所需的吞吐量来计算 SCH 区间中超级帧和无竞争时段的时长,从而使得车辆节点能按照优先级依次无竞争地访问信道。无竞争的信道访问机制能大幅度提高信道利用率,进而提高数据传输的吞吐率,并能保证高优先级消息的 QoS,但该机制必须在 RSU 支持下工作。文献[35]提出在邻居车辆节点中维护信道访问令牌,获得令牌的节点可获得信道访问权限。这种方法不依赖 RSU,但维护令牌的代价不容忽视。

为了提高信道的利用率,文献[37]提出一种异步信道协作协议。按照该协议,节点不需要每隔 50 毫秒就进行一次 CCH 和 SCH 的切换,所有不使用 SCH 信道传输数据的节点将一直监听 CCH 信道。当节点需要传输数据时,首先在 CCH 上广播 RTS 消息,其中包含节点可用的 SCH 信道列表,目标节点收到数据包后根据自己 SCH 信道的可用性回复 CTS 消息,达成协议后,需要传输数据的节点切换到 SCH 信道开始传输数据。特别地,在此协议中,CCH 被划分成多个时间槽,每个节点可以使用其中的一个或多个时间槽,这种工作方式可以减少 CCH 上的数据包冲突率,提高信道协商的成功率。

结束语 本文对 VANET 下数据传递的关键技术进行了调研。首先指出了 VANET 数据传递的关键挑战。在此基础上,对 VANET 下数据传递的通信范型进行了分类,归纳总结了已有的实现方法,分析了这些工作的优点和不足。本文还专门介绍了多种提高数据传递能力的优化策略。随着汽车数量的不断增加,交通安全形势和交通管理困局日益严峻,这些迫切的应用需求将推动 VANET 技术的快速发展。

同时,VANET 的许多独特性质还有待进一步发掘,未来的研究工作将是丰富而有广阔前景的。

参考文献

- [1] Pazzi R W, et al. Service Discovery Protocols for VANET Based Emergency Preparedness Class of Applications: A Necessity Public Safety and Security[C]//Information Systems, Technology and Management. 2010;1-7
- [2] Abusch-Magder D, et al. 911-NOW: A network on wheels for emergency response and disaster recovery operations [J]. Bell Labs Technical Journal, 2007, 11(4): 113-133
- [3] Gupta P, Kumar P R. The capacity of wireless networks [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2000, 46(2): 388-404
- [4] Panwai S, Dia H. Comparative evaluation of microscopic car-following behavior [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2005, 6(3): 314-325
- [5] Mahajan A, et al. Urban mobility models for vanets [M]. 2006
- [6] Filali F, Bonnet C. Mobility Models for Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey and Taxonomy[R]. RR-06-168. 2006
- [7] Lochert C, et al. The feasibility of information dissemination in vehicular ad-hoc networks[C]// Proceedings of Wireless on Demand Network Systems and Services. 2007
- [8] Reis A B, Sargento S, Tonguz O K. On the Performance of Sparse Vehicular Networks with Road Side Units[C]// Proceedings of Vehicular Technology Conference (VTC Spring). 2011
- [9] Sok-Ian S, Tonguz O K. Enhancing VANET Connectivity Through Roadside Units on Highways [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(8): 3586-3602
- [10] Yousefi S, et al. Improving connectivity in vehicular ad hoc networks: An analytical study [J]. Computer Communications, 2008, 31(9): 1653-1659
- [11] Wisitpongphan N, Tonguz O K, Parikh J S, et al. Broadcast storm mitigation techniques in vehicular ad hoc networks[J]. IEEE Wireless Communications, 2007, 14(6): 84-94
- [12] Khabbazian M, Bhargava V K. Localized Broadcasting with Guaranteed Delivery and Bounded Transmission Redundancy [J]. IEEE Transactions on Computers, 2008, 57(8): 1072-1086
- [13] Ros F, Ruiz P, Stojmenovic. Acknowledgment-Based Broadcast Protocol for Reliable and Efficient Data Dissemination in Vehicular Ad-hoc Networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2012, 11(1): 33-46
- [14] Korkmaz G, Ekici Eylem, et al. Urban multi-hop broadcast protocol for inter-vehicle communication systems[C]// Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Vehicular Ad hoc Networks. ACM, Philadelphia, PA, USA, 2004: 76-85
- [15] Huang Hong-yu, Luo Pei-en, Li Ming-lu, et al. Performance evaluation of SUVnet with real-time traffic data [J]. IEEE Trans. on Vehicular Technology, 2007, 56(6): 3381-3396
- [16] Nekovee M. Epidemic algorithms for reliable and efficient information dissemination in vehicular Ad hoc networks[J]. IET Intelligent Transport Systems, 2009, 3(2): 104-110
- [17] Wu Hao, Fujimoto R M, Guensler R, et al. MDDV: A mobility-centric data dissemination algorithm for vehicular networks[C]// Proceedings of the 1st ACM Int'l Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks. New York: ACM Press, 2004: 47-56

- fusion of CT-MRI images for head-neck cancer with new antenna frame[J]. *Radiotherapy and Oncology*, 2011, 98(Sup. 1): S41
- [69] Ozonoff A, Cuzzolin F, Snow P. Special Issue on Information Fusion Applications to Human Health and Safety[J]. *Information Fusion*, 2012, 13(2): 102-104
- [70] Masulli F, Mitra S. Natural computing methods in bioinformatics; a survey[J]. *Information Fusion*, 2009, 10(3): 211-216
- [71] 徐璘, 王忆勤, 邓峰, 等. 中医四诊多源信息融合分析方法的研究进展[J]. *中华中医药学刊*, 2010, 28(6): 1203-1205
- [72] Marhic B, Delahoche L, Solau C, et al. An evidential approach for detection of abnormal behaviour in the presence of unreliable sensors[J]. *Information Fusion*, 2012, 13(2): 146-160
- [73] Tapia D I, Fraile J A, Luis A, et al. Healthcare Information Fusion Using Context-Aware Agents[C]// 5th International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems(HAIS 2010). San Sebastian, Spain, 2010; 96-103
- [74] Corona I, Giacinto G, Mazzariello C, et al. Information fusion for computer security; State of the art and open issues[J]. *Information Fusion*, 2009, 10(4): 274-284
- [75] Wu Sheng-li. Applying the data fusion technique to blog opinion retrieval[J]. *Expert Systems with Applications*, 2012, 39(1): 1346-1353
- [76] Yao Jing-tao. An introduction to Web-based support systems [J]. *Journal of Intelligent Systems*, 2008, 17(1-3): 267-281
- [77] Navarro-Arribas G, Torra V. Information fusion in data privacy: A survey[J]. *Information Fusion*, 2012, 13(4): 235-244
- [78] Yan Xiao-jun, Wang Wei-rui, Liang Jian-ping. How to design and apply a decision support system based on multi-source heterogeneous data fusion(MSHDF) technology for the site selection of green food production base(GFPB)[C]// 2010 Second IITA International Conference on Geoscience and Remote Sensing(IITA-GRS 2010). Qingdao, China, 2010; 627-33

(上接第 5 页)

- [18] Lochert C, Hartenstein H, et al. A routing strategy for vehicular ad hoc networks in city environments[C]// Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium. 2003
- [19] Lochert C, Mauve M, et al. Geographic routing in city scenarios [J]. *ACM Sigmoble Mobile Computing and Communications Review*, 2005, 9(1): 69-72
- [20] Zhao J, Cao G. VADD: Vehicle-Assisted data delivery in vehicular ad hoc networks[C]// Proceedings of the INFOCOM 2006. New York, 2006; 1-12
- [21] Burgess J, Gallagher B, Jensen D, et al. MaxProp: Routing for vehicle-based disruption-tolerant networks[C]// Proceedings of the 25th International Conference on Computer Communications, INFOCOM 2006. IEEE, 2006
- [22] Shafiee K, Leung V C M. Connectivity-aware minimum-delay geographic routing with vehicle tracking in VANETs[J]. *Ad Hoc Networks*, 2011, 9(2): 131-141
- [23] Naumov V, Gross T R. Connectivity-Aware routing(CAR) in vehicular ad-hoc networks [C]// Proceedings of the 26th IEEE Int'l Conf. on Computer Communications (INFOCOM 2007). New York, 2007; 1919-1927
- [24] Tonguz O, Wisitpongphan N, Bai F, et al. Broadcasting in VANET[C]// Proceedings of 2007 Mobile Networking for Vehicular Environments. 2007
- [25] Khabazian M, Ali M. A Performance Modeling of Connectivity in Vehicular Ad Hoc Networks [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2008, 57(4): 2440-2450
- [26] Khabazian M, Ali M M. A Continuous Communication Path Availability Analysis in Vehicular Ad Hoc Networks[C]// Vehicular Technology Conference. VTC Spring 2009. IEEE 69th. 2009
- [27] Nzouonta J, Nakayama M K, Borcea C. On deriving and incorporating multihop path duration estimates in VANET protocols [J]. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, 2011, 21(2): 1-23
- [28] Zhao Jing, Zhang Yang, Cao Guo-hong. Data pouring and buffering on the road; A new data dissemination paradigm for vehicular ad hoc networks[J]. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 2007, 56(6): 3266-3277
- [29] Ding Yong, Xiao Li. SADV: Static-node-assisted adaptive data dissemination in vehicular networks [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2010, 59(5): 2445-2455
- [30] Wischoff L, et al. SOTIS-a self-organizing traffic information system. in *Vehicular Technology Conference*[C]// Proceedings of VTC. 2003
- [31] Yu B, Xu C, Guo M. Adaptive Forwarding Delay Control for VANET Data Aggregation[J]. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2011(99)
- [32] Lochert C, Bjrn S, Martin M. A probabilistic method for cooperative hierarchical aggregation of data in VANETs[J]. *Ad hoc Networks*, 2010, 8(5): 518-530
- [33] Dietzel S, Boto B, et al. A fuzzy logic based approach for structure-free aggregation in vehicular ad-hoc networks[C]// Proceedings of the sixth ACM international workshop on Vehicular Inter Networking. ACM, Beijing, China, 2009; 79-88
- [34] Jong-moon C, Kim M, et al. Time Coordinated V2I Communications and Handover for WAVE Networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2011, 29(3): 545-558
- [35] Bi Yuan-guo, Liu Kuang-hao, Cai Lin X, et al. A Multi-Channel Token Ring Protocol for QoS Provisioning in Inter-Vehicle Communications [J]. *IEEE Trans. Wireless Communication*, 2009, 8(11)
- [36] Zang Yun-peng, Stibor L, et al. A Novel MAC Protocol for Throughput Sensitive Applications in Vehicular Environments [C]// Proceedings of Vehicular Technology Conference. 2007
- [37] Han Chong, Dianati D, Tafazolli R, et al. A Novel Distributed Asynchronous Multi-Channel MAC Scheme for Large-Scale Vehicular Ad Hoc Networks [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2012(99)
- [38] Wang Qing, Leng Su-peng, Fu Hui-rong, et al. An IEEE 802. 11p-Based Multichannel MAC Scheme With Channel Coordination for Vehicular Ad Hoc Networks [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2012, 13(2): 449-458
- [39] 宋超, 刘明, 龚海刚, 等. 基于分布式实时信息的车载网络路由协议[J]. *软件学报*, 2011(03): 466-480
- [40] 陈丽, 李治军, 姜守旭, 等. 车载 Ad hoc 网络中基于移动网关的数据传输[J]. *计算机学报*, 2012(03): 454-463