

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2020.06.016

车载自组织网络中 基于簇的协作传输机制

尤丽萍

(泉州信息工程学院 电子与通信工程学院,福建 泉州 362000)

摘要: 为提高公路车辆的数据服务效率和通信服务的能量利用率,将分簇算法应用于实际环境的数据传输,提出一种新的传输机制。针对公路环境,应用分簇和数据聚合,进行了实时的双向数据协作传输在公路上的应用设计。仿真结果表明:在公路环境中,整合了分簇和数据聚合的数据传输机制能有效提高服务率、减少服务时延、提高吞吐量并减少能耗。

关键词: 车载自组织网络;协作传输;分簇;能量消耗

中图分类号: TN918.1;U495 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-4348(2020)06-0598-06

Cluster-based cooperative transmission mechanism in vehicular ad hoc network

YOU Liping

(School of Electronic and Communication Engineering, Quanzhou College of Information Engineering,
Quanzhou 362000, China)

Abstract: In order to improve the data service efficiency of highway vehicles and the energy utilization of communication services, the clustering algorithm was applied to data transmission in practice, and a new transmission mechanism was proposed. Aiming at the highway environment, application clustering and data aggregation were employed in the application design of real-time two-way data cooperative transmission on the highway. Simulation results show that in the highway environment, the data transmission mechanism that integrates clustering and data aggregation can effectively improve service rate, reduce service delay, increase throughput and reduce energy consumption.

Keywords: vehicular ad hoc network; cooperative transmission; clustering; energy consumption

交通运输的发展为人们提供了便利,也带来了严峻的问题^[1-3]。车载自组织网络(vehicular ad-hoc networks, VANET)可以将交通及环境信息实时提供给车辆用户,是智能汽车、自动驾驶和智慧城市发展的关键技术^[4]。交通信息服务质量和用户体验是现有 VANET 研究需要解决的关键问题,而数据传输效率是决定服务质量和用户体验的核心因素之一。在 VANET 中,车与车通信(vehicle to vehicle communication, VVC)和车与基础设施通信(infrastructure communication of vehicles, ICV)在服务范围、时延和能耗等方面各有优势,通过协作数据交换为车辆提供交通信息服务,从而协助提高交通安全和效率,而分簇基于扩展性强、数据融合简单、能量利用高效等特点,可以有效实现数据融合,从而提高 VANET 数据传输性能并降低能耗^[5]。

在纯 ICV 服务模式中,只有沿公路部署的 RSU(路侧单元)能够直接为驾驶员提供数据服务,但服务过程因涉及大量 ICV 传输而影响传输效率^[6]。虽然分簇和数据聚合方法均各有相关

研究,但在 VANET 领域中,尚未有工作将这两种算法同时结合在一起应用^[7]。本研究结合分簇与数据聚合,通过将 VVC 和 ICV 结合在一起为车辆提供交通/环境信息服务,分簇路由结合数据融合技术可以大幅度的降低网络的数据冗余,分层路由使得数据转发有一定的方向性;二者相结合降低了网络能耗和延长网络生存周期。

1 车载自组织网络挑战

为提高公路车辆的数据服务效率和通信服务的能量利用率,J. Zhao 和 G. Cao 介绍了车辆辅助数据传输协议 VADD,考虑多节点参与传输的情况^[8],通过当前交通和道路网络预测车辆行驶,以扩大传输距离、优化传输效率。该协议适用于多跳数据传播,但高动态的交通拓扑结构会导致延迟并影响传输效率,因此,还需要考虑更加高效的远距离传输方案。

在 VANET 中,频繁改变的车辆速度、方向、相对位置会导致车辆之间的稳定连接时间较短,给消息传输时延、重传次数和传输效率带来消极的影响,对维持 VANET 的服务质量也带来极大挑战。合理规划传输功率有助于提高数据传输的吞吐量,提高能源利用率,但是传输功率与车辆数量及传输距离密切相关。虽然能耗在传统的燃油汽车领域中无需受限,但随着混合动力及纯电力驱动汽车的普及,车载通信单元的能耗也成为亟需考虑的问题。

为了向用户提供实时的交通信息服务,并提高交通信息服务效率、降低传输能量消耗,需要建立有效的数据传输机制,本研究探讨在 VANET 环境下的数据传输机制。通过调查分析发现,当前 VANET 实时数据传输仍存在较大的系统开销,需要更加有效、节能的传输机制,以实现既保证服务质量又提高传输效率和能源效率的目标。

2 通信模式

VVC 通信通信模式中装载 OBU (车载单元)的车辆之间可以在网络覆盖范围内直接通信。VVC 通信可以随时实现,无需任何基础设施,可随时交换实时信息。在这种通信模式下,车辆之间的数据传输灵活并具有低时延的特点。大多数 VVC 应用是通过车辆网络与附近的其它车辆交换信息,然而,如果有车辆不能发送和接收消息

(例如,车辆没有 OBU 装置或其收发装置存在故障时),VVC 通信可能是非常不可靠的,尤其是在车辆的拓扑结构不稳定的时候。另外,单纯的 VVC 通信不能提供对用户的外部网络资源的访问。

ICV 通信是指车辆与道路附近的基础设施之间的数据交换。ICV 通信可通过整个车辆网络为远端车辆提供网络服务:车辆向路边单元发送信息或请求,并通过 ICV 接收从路边单元返回的信息服务。沿路部署的路边单元可以支持车辆的请求,如提供道路状况、其它区域的交通信息、停车场的可用性和收费站收费资讯等。另外,路边单元还可以充当外部网络的接入点,使车辆可以接触更丰富的网络资源。然而,ICV 需要比 VVC 消耗更多的功率和端到端时延才能实现对车辆信息的无缝传输,大量路边单元和其它基础设施的部署也会造成较高的代价。

3 分簇算法

分簇算法综合考虑移动性、传输功率和节点能量等因素进行簇头选举,各因素所占比重可以动态调整^[9]。网络路由协议中,分簇路由具有扩展性强、数据融合简单、能量利用高效等特点,分簇就是以簇为单位进行网络划分。相比于平面型路由协议,分簇路由与分层路由明显减少了网络能量消耗。然而,在分簇的条件下节点间的数据转发只在簇头节点间进行,分层的目的是使数据转发具有一定的方向性,所以只需对簇头节点进行分层处理即可。

每个节点具有不同数量的邻居节点,体现了一个节点的连接度。当一个簇头的邻居数量达到理想水平时,这个簇的整体性能可以达到预期的效果,而不会使簇头过载。这个理想邻居数与节点真实邻居数之间的差异 Δ_v 反映了节点在簇头接入中的潜在竞争力,可以用式(1)来表示:

$$\Delta_v = |d_v - \delta| \quad (1)$$

其中, δ 是簇头可以连接的理想邻居节点数量, d_v 是实际节点连接数。

节点 v 与其所有邻居 $v' (v' \in N(v))$ 之间的距离总和 Δ_v 体现了该节点为维持与其邻居的通信的发送功率代价,距离越远表示需要越高的发射功率。具体可由式(2)表示:

$$D_v = \sum \{\text{dist}(v, v')\} \quad (2)$$

移动性 M_v 由节点从开始到当前时刻的平均速度来说明,如式(3)所示。在一段持续时间 T 内,平均速度越低,节点移动性越稳定,因此更适合作为簇头。

$$M_v = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} \quad (3)$$

式中, x, y 代表位置坐标轴。

簇头是控制和传递消息的关键角色,而数据在车间传输过程需要电池供能支持,其中,簇头节点需要承担的负荷更大。在簇头节点处的传输过程越多,耗能就越多。随着电池功率消耗,作为簇头的节点的持续时间可由 P_v 表示。

结合所有这些因素,选择簇头的复合度量 W_v 如式(4)所示:

$$W_v = w_1 \Delta_v + w_2 D_v + w_3 \Delta_v + w_4 P_v \quad (4)$$

其中, $w_1, w_2, w_3, w_4 > 0$ 均可以调整,以决定上述讨论的每个因素影响比重。

分簇过程如下:

- (1) 统计各节点的连接度 d_v ;
- (2) 计算每个节点 v 的连接差异度 Δ_v ;
- (3) 计算每个节点与各个邻节点间的总间距 D_v ;
- (4) 计算每个节点在行驶时间内的平均速度 M_v ;
- (5) 计算节点的簇头身份持续时间 P_v , 这表示已消耗的电池电量;
- (6) 计算每个节点的复合权重 W_v ;
- (7) 选择 W_v 最小的节点作为簇头。簇头的

所有邻节点确定自己身份为簇成员,不再进行选举;

(8) 对尚未被选为簇头或成为簇成员的其余节点重复步骤(2)-(7)至全部节点确定身份。

分簇算法在分簇过程中,会因实际多变的网络环境遇到许多不稳因素,结合遗传算法将分簇进行优化(GA-分簇)。父簇首和父簇成员信息将记录在由适应度函数定义的染色体中,这些染色体通过遗传算法被传递。每个簇头尽可能地覆盖附近的节点,使簇头总数保持在较低的水平。与原始的分簇算法相比,该算法在分簇中表现出更优的稳定性^[10]。

4 实时双向传输设计

4.1 上行链路

上行链路中各部分工作流程如图 1 所示。上行链路由簇成员收集本地交通/环境信息、产生服务请求开始,各簇成员节点生成的数据包包括:车辆 ID、服务请求 ID 和簇头 ID。簇成员将服务请求连同收集的信息一起发送到簇头后设置定时器等待服务响应。在收到成员发来的数据包后,簇头首先进行数据聚合处理,合并、归纳重复数据以减少数据量,将整合后的数据包发送到 RSU。当 RSU 接收到簇头发来的数据包时,便会用收集的信息来更新数据库中相关的服务信息,并根据所有的请求数据生成服务信息包。

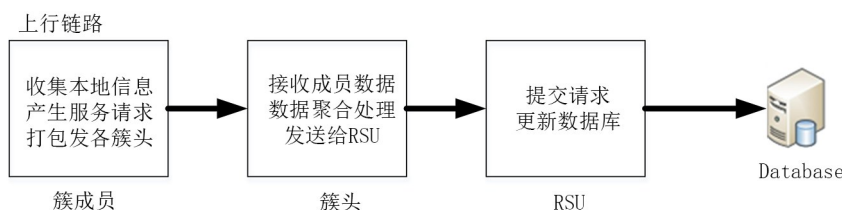


图 1 上行链路工作流程

Fig.1 Uplink workflow

4.2 下行链路

下行链路中各部分的工作流程如图 2 所示。首先,RSU 向数据库服务器更新信息,生成簇成员请求的服务数据。随后 RSU 将这些数据通过 ICV 发送给簇头。最后,由簇头通过 VVC 向其成员广播服务数据包。当对应簇头监听到相应的服务 ID 时,簇成员将存储这些数据包,并将接收到的服务请求标记为满足状态。如果簇成员的请求在等待期间不能满足(即簇成员在等待时间内没

有收到所请求的服务数据),则认为该请求失败,簇成员将生成新的请求并再次发送到对应簇头。

由于多个车辆可以请求同一个服务(例如,3 个车辆对同一区域的交通信息感兴趣),簇头通过广播向簇成员发布数据,从而降低传输成本。当簇头广播服务数据时,标记相同簇头 ID 和请求服务 ID 的簇成员将接收并保存服务信息。这种传输机制可以为车辆提供实时信息服务,使司机可以有效地管理他们的行程、合理安排时间,从而

减缓交通压力,提高出行效率。

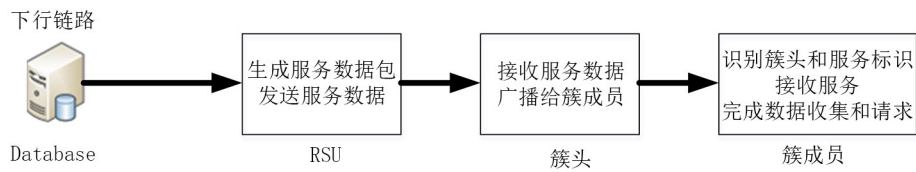


图 2 下行链路工作流程
Fig.2 Downlink workflow

5 实验与结果分析

5.1 仿真工具与环境搭建

目前,已有许多功能强大的仿真器可被用来评估 VANET 的性能。本研究通过将移动仿真和网络仿真结合在一起来模拟 VANET 性能,即将 OMNET++、SUMO 和 Veins 框架的组合^[11]。Veins 是一个为研究 VANET 建立的仿真框架,它可以在 OMNET++中运行,并和 SUMO 的流量控制接口结合。实验环境设定为一条三车道的单向直行公路,每条车道上一条车辆流。考虑到 VVC 的最大通信范围通常为 300 m,高速公路上每个簇中的车辆数目也与车速有关,为接近实际情况,根据公路法规中安全停车距离和速度的关系,定义了车流速度分别为 32、48、64、80、96、112 km/h 的环境下 6 个 V2X 模拟场景。

为更好分析设计的传输机制的性能,设置一组对照组进行比较。对照组设置来自文献^[12],是一种无车辆间协作过程的纯 ICV 传输机制,如图 3 所示。一旦车辆进入 RSU 的通信范围,他们便会将收集的数据和产生的服务请求直接上传到 RSU,RSU 解析数据后直接通过 ICV 将请求的服务传送回车辆。在这个无协作组中,每个场景都和 V2X 组设定相同的参数。

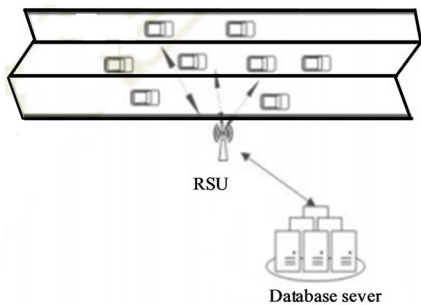


图 3 无协作纯 ICV 传输
Fig.3 Pure ICV transmission without cooperation

网络环境基于 DSRC 中 IEEE802.11p 和 IEEE1609 系列进行配置,其中包括 PHY 层和 MAC 层的参数。VVC 的发射功率取决于簇头与最远端成员之间的距离,其它仿真参数如表 1 所示,使用 Two-ray 模型用作信号传输模型。

表 1 仿真参数设置	
Tab.1 Simulation parameter setting	
参数	取值
频带	5.850~9.925
信道	10 MHz
接收功率阈值	-89 dBm
传播模型	Two-ray 模型
发送速率	6 Mbps, 12 Mbps
请求数量	20~25
数据大小	100 bits
车道数	3
仿真时间	300 s

5.2 实验结果分析

为对仿真结果进行更好的分析,定义了如下 4 种性能评价参数,以评估服务机制在仿真中的性能表现。

服务率是成功完成的请求数量 n_s 与所请求的服务的总量 n 的比值,这是评估 V2X 系统有效性的一个重要度量标准。服务率(γ)可通过以下公式衡量:

$$\gamma = \frac{n_s}{n}$$

(5)

平均服务时延被定义为从提交请求到最终接收到服务数据的平均使用时间,包括服务传输时间和因失败重传等原因的等待时间,该时延(τ)可以表达为:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} t_{si} + n_{us} \cdot t_p}{n_s} \quad (6)$$

其中, t_{si} 是第 i 个成功的服务传输的时间持续时间, n_{us} 是失败的服务请求的数量, 而 t_p 是车辆在传输失败的服务中消耗的等待时间。

对等待请求服务的计时器设定要确保系统平均服务时延不会过高从而会影响系统服务质量, 由于 1 s 完全足够进行一次数据请求和发放过程, 而超过 1 s 服务质量会明显受到影响, 因此 t_p 最大边界值由 $\tau = 1$ s 时的状态决定:

$$t_p = \frac{n_s \cdot \tau - \sum_{i=1}^{n_s} t_{si}}{n_{us}} \Big|_{\tau=1} = \frac{n_s - \sum_{i=1}^{n_s} t_{si}}{n_{us}} \quad (7)$$

其中, t_{si} 、 n_s 和 n_{us} 由数据大小、传输速率和链路质量决定。

吞吐量是一种被广泛应用的度量传输效率的指标, 在此定义为在一个时间单位中实际传输的数据的平均大小:

$$\eta = \frac{P_s}{T} \quad (8)$$

其中 P_s 是成功传输的服务数据的总大小, T 是总传输时间。

能耗效率是传输 1 比特数据所需要消耗的能量(焦耳/比特), 综合考虑上下链路传输能耗, 整个系统的综合能耗效率 E_c 如下所示:

$$E_c = E_{Ub} + E_{Db} \quad (9)$$

$$E_{Ub} = \frac{E_U}{B_U} \quad (10)$$

$$E_{Db} = \frac{E_D}{B_D} \quad (11)$$

其中, E_U 和 E_D 分别是上、下行链路的总能耗, B_U 和 B_D 分别是上、下行链路总传输数据大小。

图 4 显示了在不同的车流速度和车辆密度的情况下, V2X 组和 ICV 组的服务率。在 6、12 Mbps 的数据速率下, V2X 组在所有场景中都比 ICV 组表现出了更高、更稳定的服务率。随着车速的不断增加, ICV 组服务率呈上升趋势, 这是由于车辆密度的降低减少了数据传输需求, 从而减少了信道中的传输冲突和拥塞。而当车速较低时车辆之间的距离相对较短, 在相同的范围内参与传输的车辆较多, 因此需要满足更多的服务请求。

在这种情况下, 通过将车辆分成簇, 可减少车辆和 RSU 之间的传输负载, 故 V2X 组中有比 ICV 组更少的冲突。另外, 不在 RSU 的通信范围中的车辆不能直接收到服务数据, 但是在簇中, 由于簇头已经存储了来自 RSU 的服务数据, 所以只要簇成员和簇头在同一个簇中, 离开 RSU 覆盖范围后的簇成员仍然可以从簇头获取服务。

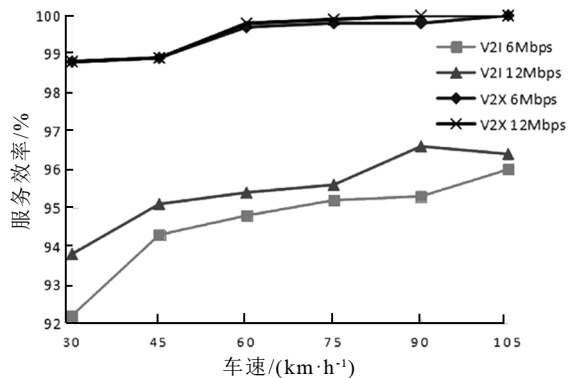


图 4 不同场景下服务率

Fig.4 Service rates in different scenarios

平均服务时延如图 5 所示, 其中包括花费在传输服务数据上的时间以及当服务失败时等待重传的时间。在 ICV 组中, 每个车辆必须等待来自 RSU 依次提供服务数据。在相同数据发送速率下的平均服务时延在 V2X 组中比 ICV 组均有所减少, 最多一组减少了 130 ms。在 V2X 组中只有簇头参与了耗时更多的 ICV 过程, 另外, 簇头将前面的服务请求聚合在一起, 有相同请求的车辆可以在簇头广播服务数据时一起接收到请求的服务数据, 这也减少了成员的等待时间。由图 5 中 ICV 组较低的服务率可以看出, 在 ICV 组中重新传输服务数据的次数也多于 V2X 组。当车速增加时, 随着道路上车辆密度的减少, 通信碰撞和拥塞将减少, 进行 V2X 协作通信的车辆在平均服务时延上表现出的时延优点不像在大密度车流下时明显。实际上, 当传输负载较小时, 簇对服务延迟贡献不明显是因为簇中的数据聚合和重新分配也是花费时间资源的。从整体来说, V2X 组中所有车辆的平均服务时延比 ICV 组短。

如图 6 所示, 在所有 6 种不同场景下, V2X 组的吞吐量明显优于 ICV 组, V2X 组的吞吐量比 ICV 组保持在更高、更稳定的水平上。发送速率在 6 Mbps 时, V2X 组的吞吐量比 ICV 组普遍高出 2 倍以上, 而使用 12 Mbps 数据速率发送时, 这种

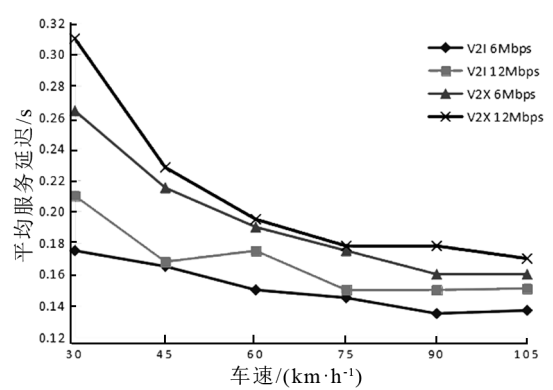


图 5 不同场景下平均服务时延

Fig.5 Average service delay in different scenarios

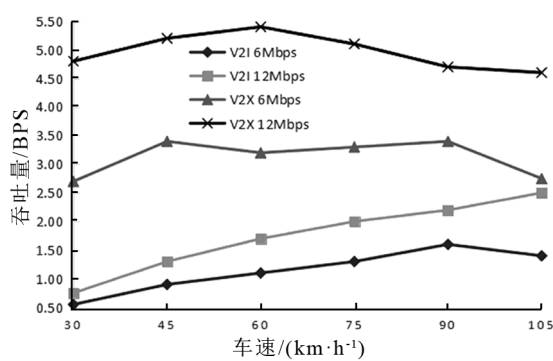


图 6 不同场景下的吞吐量

Fig.6 Throughput in different scenarios

参考文献：

[1] LIU G, YANG H. Self-organizing network for variable clustering[J]. Annals of Operations Research, 2018, 263(1/2): 119–140.

[2] 唐伦, 王晨梦, 陈前斌. 车载自组织网络中基于时分复用的异步多信道 MAC 协议[J]. 计算机学报, 2015, 38(3): 673–684.

[3] JYOTHIRMAI P, RAJ J, SMYS S. Secured self organizing network architecture in wireless personal networks[J]. Wireless Personal Communications, 2017, 96(10): 1–18.

[4] 侯显晖. 计算机网络传输的效率影响因素研究[J]. 中国科技博览, 2015(9): 144.

[5] WANG N, ER M J, SUN J, et al. Adaptive robust online constructive fuzzy control of a complex surface vehicle system[J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2016, 46(7): 1511–1523.

[6] 吴海. 通信信道的媒介对传输效率的影响分析[J]. 信息通信, 2014, 27(5): 224.

[7] 陈振, 翟琰, 胡松华, 等. 基于网络划分的 VANET 路由构建及数据传输方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(8): 836–842.

[8] 刘新, 常英贤, 刘冬兰, 等. 基于移动网关选择的数据传输策略[J]. 中国电子科学研究院学报, 2019, 14(12): 1286–1290.

[9] 董柏宏, 邓健, 张定杰, 等. 软件定义车联网的数据转发策略和路由选择技术[J]. 计算机应用, 2018, 38(1): 26–30, 49.

[10] 周治平, 王亭, 张明亮. 传感器网络中一种能量有效的簇头选择机制[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(8): 105–108.

[11] 熊彪, 朱卓尔. 基于 OMNET++ 的 VANET 无线链路性能仿真[J]. 通信技术, 2011, 44(9): 54–55, 58.

[12] 曾鹏, 万华森, 王一霖. 基于 Vanet 的无人驾驶动态路径规划算法研究[J]. 计算机工程与科学, 2019, 41(11): 2055–2062.

(责任编辑：方素华)

差异增大到 ICV 组的 2 到 4 倍以上。在速度较快的场景下,当服务请求数量较少时,ICV 组可以在相同的传输时间单元内完成更多的数据传输。在车速超过 80 km/h 的场景中,数据传输需求较少,而分簇和数据聚合对系统开销的占用相对增加,因此吞吐量反而产生了小幅下降。但在总体上,V2X 组仍有更高的吞吐量。

6 结语

针对公路环境,应用分簇和数据聚合,进行了实时的双向数据协作传输在公路上的应用设计,将本地信息上传服务器进行信息更新,为公路上行驶的车辆提供实时有效的交通服务信息,同时兼顾了传输效率和能耗效率优化。分别从交通和通信两方面搭建 VANET 仿真环境,并进行实验。通过建立一系列评估指标分析这种基于簇的协作传输机制性能,实验结果表明,将结合了分簇和数据聚合的协作传输机制应用在公路上能有效实现高效而节能的实时数据传输服务。这种混合机制的有效实现,既实现了大数据的清洗、分析、挖掘与服务,也展现出扩展性好、控制负载低、网络拓扑稳定的优势。