

李杏姣,赵毅峰,符琦,等. 基于公交车辅助的城市车载自组织网络数据分发策略[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2021, 36(3):82-87. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2021.03.012

LI X J, ZHAO Y F, FU Q, et al. Data Distribution Strategy of Urban Vehicle Ad Hoc Network Based on Bus Assistance [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2021, 36(3):82-87. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2021.03.012

# 基于公交车辅助的城市车载 自组织网络数据分发策略

李杏姣<sup>1</sup>, 赵毅峰<sup>2</sup>, 符琦<sup>2\*</sup>, 蒋云霞<sup>2</sup>

(1.广东第二师范学院 教师教学发展中心, 广东 广州 510303; 2.湖南科技大学 计算机科学与工程学院, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:**针对城市车载自组织网络传统路由协议网络开销增长过快的的问题,提出了一种基于深度学习的改进数据分发策略.该策略以DSDV路由协议为研究基础,引入具有固定行驶路线的公交车为辅助节点进行数据快速分发策略分析,同时通过梯度下降法对基于分簇的公交车辅助数据分发评价指标进行训练,以获取局部最优的数据分发路径选择策略,从而达到提升数据分发速度,减小网络开销的目的.实验数据表明:基于公交车辅助和节点分簇的DSDV数据分发策略数据路由开销和端到端平均时延等方面均比传统的DSDV协议具有更好的性能,以及道路环境的适应性.

**关键词:**车载自组织网络;路由协议;梯度下降法;DSDV

中图分类号:TN913 文献标志码:A 文章编号:1672-9102(2021)03-0082-06

## Data Distribution Strategy of Urban Vehicle Ad hoc Network Based on Bus Assistance

LI Xingjiao<sup>1</sup>, ZHAO Yifeng<sup>2</sup>, FU Qi<sup>2</sup>, JIANG Yunxia<sup>2</sup>

(1. Center of Teacher Teaching Development, Guangdong University of Education, Guangzhou 510303, China;

2. School of Computer Science and Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that the network overhead of traditional routing protocols in urban Vehicle Ad hoc Network (VANET) is growing too fast, an improved data distribution strategy based on deep learning was proposed. Based on the research of DSDV routing protocol, some bus nodes were introduced as the secondary nodes in the strategy, for fast data distribution policy analysis. At the same time, the gradient descent method was used for bus auxiliary data distribution based on clustering evaluation index for training, so as to obtain the local optimal data distribution path selection strategy, to promote the speed of data distribution and to reduce the network overhead. The experimental data showed that the DSDV data distribution strategy based on bus-assisted and node-clustered has better performance than the traditional DSDV protocol in terms of data routing overhead and end-to-end average delay, as well as adaptability to road environment.

**Keywords:** VANET; data distribution; gradient descent; DSDV

收稿日期:2021-01-28

基金项目:湖南省教育厅科技重点项目资助(19A174)

\*通信作者, E-mail: fuqi@hnust.edu.cn

城市车载自组织网络(Vehicular Adhoc Networks, VANET)是移动或静止车辆节点按自组织形式构成的一个新型移动无线网络,该网络利用4G/5G, WiMax 和 LTE 等无线网络通信技术,为智能交通指挥、安全驾驶辅助、紧急救援等多种智慧城市大数据应用、以及数据共享与交换等平台的建设提供了基础,受到了越来越多的学术界和工业界人士的重视和研究<sup>[1]</sup>.

在城市道路环境中,由于公交车携带了无线通信单元 OBU(On Board Unit),且公交车构成的移动无线通信网络具有节点移动轨迹固定、通信覆盖面广、起停时间间隔相对稳定等特点,使得通过公交车节点辅助 VANET 应用进行高效数据分发成为可能<sup>[2]</sup>.与此同时,公交车节点构成的移动网络同样也存在着通信质量受建筑物和公共设施等因素干扰,导致数据分发低效、链路质量不稳定性等情况.因此,如何挖掘公交车节点的移动模式来提高 VANET 数据分发质量,是基于公交车辅助的城市车载自组织网络数据分发策略研究的一个重要研究热点<sup>[3]</sup>.

## 1 相关研究工作

基于车辆移动进行的数据分发的基本思想为“存储—转发”,即移动节点存储待分发的数据前行,直到遇到可完成数据转发的中继节点,而其转发策略通常是利用历史交通数据、节点地理位置信息或最短传递延迟的贪心策略<sup>[4-5]</sup>.

在城市 VANET 数据分发策略中,车辆节点的相遇是数据分发成功与否的前提之一,因此节点空间分布、行驶速度和历史相遇间隔等相关因素被广泛应用于数据分发决策,例如,文献[6-8]分别利用车辆节点相遇图、车辆相遇间隔时间和相遇延迟估计等方法,对具有社会属性的车辆节点的移动性进行了性能挖掘,构造相关节点自我联系图,以确保在缺少相遇延迟预估时,能从节点自我联系图找到合适的车辆节点进行数据转发;文献[9]实现了一个真实的校园公交车数据分发网络,该网络通过对所携带数据包的优先级的评估来达到具有区分服务性质的数据分发策略.该策略评估了两车相遇的可能性,以及数据包到达目的节点的路由开销等信息来决定待分发数据的优先级,以满足不同 VANET 数据分发的应用需求;文献[10]构建了公交车路线图来表征公交车节点的相遇次数及对应公交线路的长度,并将该图用于计算数据分发的最大路径,以实现基于 ZigZag 模式的数据分发策略,即在目的路线上的公交车节点只对其反向公交车节点进行数据传输,直到数据到达目的节点;文献[11]在文献[10]的基础上,即以公交线路为图的顶点,边为路线间相遇关系,边权重为公交车平均相遇时间间隔的公交车路线图,并利用 Dijkstra 算法评估数据分发权重最小的路径来完成分发任务;文献[12]利用 GPS 对车辆节点进行实时定位,并结合车辆速度、车站停留时间与路线长度等因素构建了公交车运行时间预测模型,通过对节点到站时间的较准确预测获得了较好的数据分发性能,但所需要 GPS 信息和通信开销较大;文献[13]考量了公交车运行路长、交叉路口数量和乘客数量等因素,建立了多变量回归预测模型,对车辆的运行时间进行预测以实现有效数据转发等.

考虑到利用移动公交车节点进行数据辅助分发可以降低数据转发的随机性,减少因链路不稳带来的数据传递延迟抖动等问题,在上述研究工作的分析和作者前期研究<sup>[14]</sup>的基础上提出一种基于梯度下降法(Gradient Descent, GD)<sup>[15]</sup>优化和公交车辅助的分簇数据分发策略 GD-VANET,该策略在利用 GD 对车辆节点自身的性能指标(如速度、节点数量、速度变化、链路质量等)进行评估的同时,引入了具有固定行驶路线的公交车节点参与簇头的竞争与数据的协作分发,以期提高簇群节点间的数据分发能力和分发速度.

## 2 基于公交车辅助的策略研究

本文提出的基于梯度下降法优化和公交车辅助的分簇数据分发策略 GD-VANET 的基本思想:当车辆节点(公交车或普通车辆)行驶至没有簇的区域时,若其符合成为簇首的标准,便可申请成为簇头节点构建簇群进行数据分发;当有多个车辆节点均符合簇头申请条件时,则通过对比不同类型节点的性能评价指标来选取局部最优节点来担任簇头节点,并通告其他簇头节点其簇群信息,以期达到简化网络簇群结构,降低网络负载的目的.

GD-VANET 策略主要包括簇头选举和簇维护 2 个算法,在具体描述该策略之前,为使研究具有一定的适用性,本文特做如下假设:(1)所有类型车辆节点均配备采用了 802.11p 协议的通信设备,其工作频率在 5.8~5.9 GHz 之间,即智能交通应用的专许通信频率;(2)为了体现公交车性能的优越性,公交车节点的通信半径设为 200 m,其他类型车辆节点的通信半径为 150 m;(3)假定所有类型车辆节点均配备有 GPS 和电子地图,且能实时获取速度与位置信息,节点用于存储和计算的能量充足。

## 2.1 簇头选举算法

城市 VANET 网络数据分发受车流密度和城市道路环境的影响较大,而车流量密度会因道路分布和时间的变化而动态变化。一般而言,车辆密度较大的道路数据分发成功率相对也较大,但无线通信信道的冲突也相应增加,在一定程度上也会增加数据包的丢失;反之,车辆节点携带的待分发数据会因找不到合适的中继节点而导致端到端时延增加而失去时效性,加之节点缓冲空间开销的增加而导致被随机或有选择地丢弃,亦会增加整个网络的丢包率。

为此,在不同类型车辆节点中选择具有高性能节点(如公交车节点)作为簇头节点,进行簇群的构建与维护,以及簇群间的数据共享是提高城市车载网络数据传输的有效途径之一。公交车节点通常具有更大的通信半径、较稳定的行驶速度,这些特性均使得其具有较稳定和高效的数据通信能力。在本文所提簇头节点选举算法中,为了维护簇头节点的稳定,只考量自身性能指标排名前 80% 的公交车节点作为簇头节点的可能性。同时,若其他普通车辆节点自身性能指标若达标,也可以参与簇头节点的选择。基本思想为:在所有类型车辆节点中计算各自的性能指标值  $N_e = [v, N_{\text{num}}, V_r, N_s, L_r]$  (其中,  $v$  为当前节点的速度;  $N_{\text{num}}$  为邻居节点数;  $V_r$  为节点的车速变化;  $N_s$  为一段时间周期内的网络稳定性;  $L_r$  为节点周边通信链路的变化),并依据公交车节点的  $N_e$  来确定簇头节点选择的评分标准并广播。若有车辆节点达到簇头评分标准,则向邻居节点广播自身评分及簇头申请,在规定时间内,若没收到其他节点的簇头申请,则该节点成功申请为簇头,并广播申请成功消息,以构建簇群;若收到其他节点的簇头申请,则依据参与簇头竞争,  $N_e$  值最高者当选簇头,并通告周边节点。具体算法描述如表 1 所示。

表 1 簇头节点选举算法

输入: $V_D$ 为车辆节点集合; $\text{Score}(vc_i)$ 为车辆节点的性能评分; $\text{min\_score}(N_e)$ 为评分竞选
输出: $C_h$ 为性能达标的簇头节点
<pre> vc_i_select_C_h() {   for each <math>vc_i \in V_D</math>:     <math>N_e = \text{score}(vc_i)</math>; // 评估每辆节点的性能指标     While(True) {       <math>vc_i = \text{broadcast}()</math> // 接收评分广播       if (<math>\text{min\_score}(vc_i, N_e) = \text{True}</math>)         if (<math>T_0 \leq vc_i.\text{time} \ \&amp;\&amp; \ vc_i.\text{broadcast} = 0</math>)           { <math>C_h = vc_i</math>; <math>C_h.\text{broadcast}()</math> } // 通告自身成为簇头节点的消息         else://选择性能评分最高的节点作为簇头节点           { <math>C_h = \max \text{Car}(N_e, vc_i, N_e)</math>; <math>C_h.\text{broadcast}()</math> }     } } </pre>

## 2.2 簇成员维护算法

为了确保数据分发的有效性,簇头节点需要在簇成员较少时,动态增加簇成员,同时减少网络中簇的数量;反之,应减少性能评估较低或失去连通性的成员节点,以减轻簇头节点的开销。在基于公交车辅助的分簇方案中,公交车自身网络性能、普通节点与簇头节点间的链路质量等指标都应作为成员节点进出簇群的评分标准。为此,本节考虑将簇头节点的性能指标  $N_e$ , 簇规模  $n_c$ , 簇头节点与拟入簇节点之间的路由评价指标  $L_e$  等参数进行综合考量,如式(1)所示,综合考量结果  $R_{ic}$  将用于节点入簇指标,其中,  $K_1, K_2, K_3$  由

梯度下降法进行优化,而  $R_{rc}$  是否为正值将决定节点能否入簇,且当簇内成员节点的  $R_{rc} \leq 0$  时,将被簇头节点移动簇群,以确保簇内和簇间的数据分发,同时缓解簇头的管理开销。

$$R_{rc} = [\log_2(N_e), \log_2(L_e)] \cdot \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \end{bmatrix} - n_c K_3. \quad (1)$$

在基于分簇的数据分发策略中,簇头车辆节点周期性进行簇状态信息的广播,其他车辆节点依据此信息和  $R_{rc}$  等信息提出入簇或退簇申请,从而参与或退出数据的数据分发过程.具体入簇算法如表 2 所示。

表 2 簇成员节点入簇算法

输入: $vc_o$ 为待入簇节点	
输出: $C_h$ 为已入簇的簇头节点	
Request = $vc_o$ .Request( )	// 车辆 $vc_o$ 入簇请求时间
Response = $C_h$ .response( )	// 簇头响应时间
if ( Request.t > T && $C_h$ .response( ) = None) // T 个时间单位的簇头响应周期	
$vc_o$ _select_ $C_h$ ( )	// 触发簇头选举过程
else If ( $C_h$ .response.num == 1)	
if $R_{rc} > 0$ $vc_o$ _join_ $C_h$ ( ) && UpdateCluster( $vc_o$ )	// 成功入簇,更新成员信息
else $vc_o$ _select_ $C_h$ ( )	// 触发簇头选举法过程
else // 选择 $R_{rc}$ 大值最大的簇头节点所在簇入群	
{ $C_h$ = search_ $C_h$ _max( $R_{rc}$ ); $vc_o$ _join_ $C_h$ ( $C_h$ ) }	

随着车辆移动轨迹和道路环境的变化,簇群节点数量和自身性能也随之变化,簇头节点必须要定期对成员进行主动退簇、被动退簇及强制退簇 3 种不同性质的退簇管理.其中,主动退簇主要指成员节点因为移动轨迹变化等原因及时提出退簇申请;被动退簇主要指簇头节点在收集簇成员信息的时间周期内未收到已有成员响应广播状态信息,导致簇头主动删除已失联成员节点信息;强制退簇则是指簇头节点在周期性评估阈值  $R_{rc}$  时,对  $R_{rc} \leq 0$  的节点进行删除及簇更新操作,以确保簇群信息的有效性,具体算法描述如表 3 所示。

表 3 簇成员节点退簇算法

输入: $v_{c_{in-c}}$ 为待评估的簇成员节点	
输出: $C'_h$ 为更新后的簇头节点及簇群信息	
for each $v_{c_{in-c}}$ :	
Pkt <sub>quit</sub> = $v_{c_{in-c}}$ _get_PktQuit( )	// 车辆 $v_{c_{in-c}}$ 生成退簇请求数据包
t = getResponse_time( $v_{c_{in-c}}$ )	// 簇成员回应簇头周期性广播时间
If ( Pktquit ! = Null) // 簇成员节点主动退簇	
$C'_h$ = $C_h$ _Delete( $v_{c_{in-c}}$ )	
If ( t > $T_w$ ) // 簇成员节点被动退簇	
$C'_h$ = $C_h$ _Delete( $v_{c_{in-c}}$ )	
If ( t <= $T_w$ ) && ( $v_{c_{in-c}}$ . $R_{rc}$ - $C_h$ . $R_{rc}$ >= 0 ) // 簇成员节点被强制退簇	
$C'_h$ = $C_h$ _Delete( $v_{c_{in-c}}$ )	
UpdateAndBroadcast( $C'_h$ ); // 更新并返回新的簇头节点及相关信息	

### 3 性能仿真与分析

#### 3.1 仿真场景与参数设置

为了测试具有公交车辅助的车载自组织网络数据分发的性能变化,作者在前期工作<sup>[4]</sup>的基础上,利用 C++语言和 Qt 开发软件实现了相关协议代码的设计与仿真评测相关工作,并构建了一个具有凸

多边形的公交车行驶路线的城市交通仿真环境(如图1所示).与此同时,仿真环境为不同的公交车随机生成相互不重叠的行驶路线,且规定各公交车节点在指定路线中做循环运动.公交车行驶速度变化所遵循的正态分布标准差、期望等参数,依据公交车长度与其他普通车辆对应参数有所不同,以模拟实际道路中不同车辆的行驶速度对数据分发的影响,具体仿真参数如表4所示.

为了评估所提出的 GD-VANET 协议的性能,在仿真软件中实现了文献[16]提出的 BCCR(Based on Bus Node Clustering Routing)协议,以及有公交车节点辅助的 GD-DSDV 协议(GD-DSDV-Bus),并与这些已有成果进行了对比分析,以验证公交车系统对城市车载自组织网络的影响.

表4 性能仿真参数

仿真参数		设置值
场景区域		5 000 m×3 000 m
网络层排队模型		FIFO
数据包大小		512 bytes
信道速率		2 Mbps
仿真时间		600 s
节点个数	普通车	20~120个
	公交车线路	10条
节点速度	普通车	36~72 km/h
	公交车	48~60 km/h
节点速度变化	普通车	1~2 m/s <sup>2</sup>
	公交车	0.5~1.0 m/s <sup>2</sup>
通信范围	普通车	140~150 m
	公交车	180~220 m

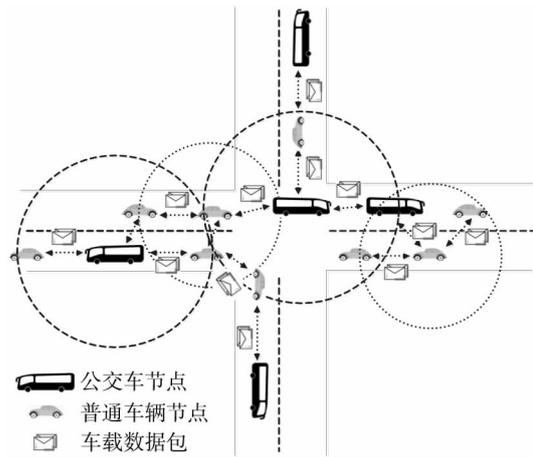


图1 基于公交车辅助的数据分发示意图

### 3.2 仿真结果及分析

本文所提策略与其他2种车载自组织网络数据分发策略的对比结果如图2和图3所示.其中,图2显示了3种数据分发策略在不同车辆节点数目下的端到端平均分时延性能.由图2可知:在端到端平均时延均随着车辆节点数目的增加而递增时,本文所提策略 GD-VANET 数据分组的端到端传输时延相对递增缓慢,这主要是因为 GD-VANET 通过实时计算簇首与成员节点间通信的代价,及时地过滤掉了数据通信代价较高的成员节点信息,使得所选参与数据分发的节点可以在一定时长内确保簇内通信质量的稳定,从而减轻了簇首节点对簇群的维护,减少了网络负载的增量.

图3对比分析了3种策略的网络开销,由图3可知:由于 GD-VANET 策略既利用了公交车节点作为簇头节点进行簇群的维护,也充分考量了网络中性能较好的普通车辆节点作为为簇头节点进行簇构建与管理的情况,从而有效地简化了网络分簇的结构,减少了参与通信节点的数量,在提高网络整体通信质量的同时,保证了较低的网络开销.

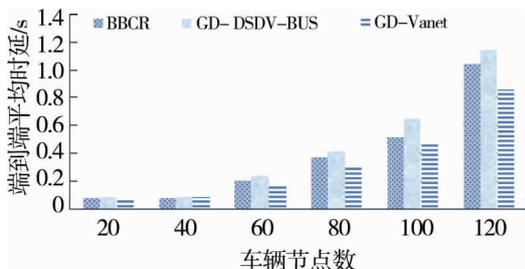


图2 端到端平均时延 vs. 车辆节点数

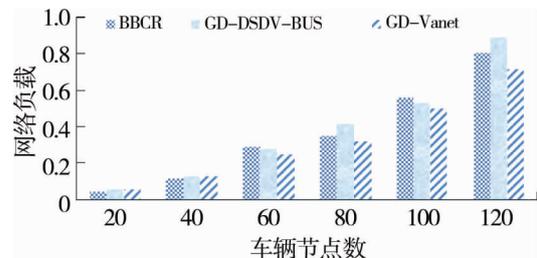


图3 归一化路由开销 vs. 车辆节点数

## 4 结论

1)通过批梯度下降法能有效优化车载网络节点规模相关矩阵系数,并能进一步估算出数据分发所需要的链路质量相关评估指标.

2) 基于固定路线公交车辆点的辅助数据分发,能有效提升数据分发的速度,降低网络的路由开销和平均时延.

3) 基于已有路由协议开源代码,设计并实现了基于公交车辅助的城市车载自组织网络数据分发仿真软件.

### 参考文献:

- [1] 张扶桑,金蓓弘,汪兆洋,等. 基于轨迹挖掘的公交车自组织网络路由机制[J]. 计算机学报, 2015, 38(3):648-662.
- [2] 陶冰. 基于公交车运行信息的自组织网络路由协议研究[D]. 上海: 东华大学,2016.
- [3] 李世宝,肖雪松,刘建航,等. 基于道路分段的车载自组织网络路由协议[J]. 计算机工程, 2019, 45(2):32-37.
- [4] Zhang L, Jin B. Dubhe: A reliable and low-latency data dissemination mechanism for VANETs[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2013(3):1-16.
- [5] 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,2011,22(3):466-480.
- [6] Xu F, Guo S, Jeong J, et al. Utilizing shared vehicle trajectories for data forwarding in vehicular networks[C]// Infocom, IEEE. IEEE, 2011:441-445.
- [7] Zhu H, Chang S, Li M, et al. Exploiting temporal dependency for opportunistic forwarding in urban vehicular networks[C]// Infocom, IEEE. IEEE, 2011: 2192-2200.
- [8] Zhu H, Dong M, Chang S, et al. ZOOM: Scaling the mobility for fast opportunistic forwarding in vehicular networks[C]// INFOCOM 2013. IEEE, 2013: 6567093.
- [9] Burgess J, Gallagher B, Jensen D, et al. MaxProp: Routing for vehicle-based disruption-tolerant networks[C]// INFOCOM 2006. 25th IEEE International Conference on Computer Communications, Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, 23-29 April 2006, Barcelona, Catalunya, Spain. IEEE, 2006: 228.
- [10] Sede M, Li X, Li D, et al. Routing in large-scale buses ad hoc networks[C]// Wireless Communications & Networking Conference. IEEE, 2008: 475.
- [11] Li L, Liu Y, Li Z, et al. R2R: Data forwarding in large-scale bus-based delay tolerant sensor networks[C]// Wireless Sensor Network, 2010. IET-WSN. IET International Conference on. IET, 2010: 27-31.
- [12] Zhu T, Ma F, Tao M, et al. The prediction of bus arrival time using global positioning system data and dynamic traffic information[C]// Wireless & Mobile Networking Conference. IEEE, 2011: 6097232.
- [13] Feng L, Yuan Y, Lin H B, et al. Public bus arrival time prediction based on traffic information management system[C]// Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics. IEEE, 2011: 5986581.
- [14] 赵毅峰,符琦,孙庞博,等.基于深度学习的VANET网络DSDV路由协议改进[J].湖南科技大学学报(自然科学版), 2020,35(1):83-89.
- [15] 孙娅楠,林文斌. 梯度下降法在机器学习中的应用[J]. 苏州科技大学学报(自然科学版), 2018, 35(2):26-31.
- [16] 王永福. 城市场景中基于公交节点的VANET路由算法研究[D]. 镇江: 江苏大学,2017.