



## 车联网中协作数据分发方案研究

林峰<sup>1</sup>, 丁鹏举<sup>2</sup>, 梁吉申<sup>3</sup>, 罗钺文<sup>2</sup>, 蒋建春<sup>1</sup>

(1.重庆邮电大学自动化学院,重庆400065; 2.重庆邮电大学通信与信息工程学院,重庆400065;

3.陆军工程大学通信士官学校,重庆400035)

**摘要:**在车联网中,车辆可通过无线通信从路侧单元(RSU)下载文件数据,但由于车辆移动性高、RSU部署间距大及传输范围有限,使得车辆可下载数据量受到较大影响。为此,提出一种协作数据分发方案。利用双向车辆和RSU的资源可用性对目标车辆进行辅助下载,使得目标车辆在未覆盖RSU的盲区(DA)内仍能获取所需文件数据,在此基础上,考虑资源节点的竞争接入与传输以及转发完成时间对数据传输的影响,建立理论分析框架来说明数据传输过程。仿真结果表明,相较于同向协助下载和反向协助下载机制,该方案能够提升目标车辆下载数据量,减少DA内数据传输中断的影响,提高DA利用率。

**关键词:**车联网;盲区;数据分发;竞争接入;竞争传输

开放科学(资源服务)标志码(OSID):



中文引用格式:林峰,丁鹏举,梁吉申,等.车联网中协作数据分发方案研究[J].计算机工程,2021,47(8):29-36,44.

英文引用格式:LIN F, DING P J, LIANG J S, et al. Research on collaborative data distribution scheme in Internet of vehicles[J]. Computer Engineering, 2021, 47(8): 29-36, 44.

## Research on Collaborative Data Distribution Scheme in Internet of Vehicles

LIN Feng<sup>1</sup>, DING Pengju<sup>2</sup>, LIANG Jishen<sup>3</sup>, LUO Chengwen<sup>2</sup>, JIANG Jianchun<sup>1</sup>

(1. Institute of Automation, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;

2. Institute of Communication and Information Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China; 3. Army Engineering University Communications Sergeant School, Chongqing 400035, China)

**[Abstract]** In the Internet of vehicles, vehicles can download file data from the Road Side Units (RSUs) through wireless communication. However, the volume of data that vehicles can download is significantly influenced by the high mobility of the vehicles, the large distance between deployed RSUs and the limited transmission range. In this regard, a collaborative data distribution scheme is proposed. This scheme makes full use of the resource availability of the two-way vehicles and RSUs to assist the target vehicle in downloading data, so that the target vehicles can still obtain the required file data in the Dark Areas (DAs) beyond the coverage of RSUs. Moreover, considering the impact of the competitive access and transmission of resource nodes, and forwarding completion time on data transmission, a theoretical analysis framework is established to illustrate the data transmission process. Simulation results show that compared with the same direction assisted download and reverse assisted download mechanism, this scheme can increase the volume of data that target vehicles can download, reduce the impact of data transmission interruption in DAs, and improve the utilization rate of DAs.

**[Key words]** Internet of vehicles; Dark Areas (DAs); data distribution; contention access; competitive transmission

DOI: 10.19678/j.issn.1000-3428.0058928

### 0 概述

智能网联汽车作为智能交通系统(Intelligent Traffic System, ITS)不可缺少的重要组成部分<sup>[1]</sup>,通

过配备无线通信设备,即车载单元(On Board Unit, OBU),可以完成交互通信、感应以及计算,同时将交通工具及路边设施通过V2V(Vehicle to Vehicle)、V2I(Vehicle to Infrastructure)等通信技术有机结合,

基金项目:国家科技重大专项“5G产品研发规模试验”(2018ZX03001023-006)。

作者简介:林峰(1978—),男,高级工程师,主研方向为车联网、4G/5G无线终端系统开发;丁鹏举,硕士研究生;梁吉申,副教授;罗钺文,硕士研究生;蒋建春,教授。

收稿日期:2020-07-13 修回日期:2020-08-13 E-mail: 926012254@qq.com

能够大幅改善出行安全性和效率<sup>[2]</sup>。网络中的车辆和路侧单元(RSU)等资源节点具有很好的数据文件存储和应用数据计算等能力,并且路侧单元相对于车辆节点,具有更广阔的通信范围和更大的通信带宽,可同时容纳覆盖范围内的多个资源节点接入其中进行信息数据的下载<sup>[3]</sup>。这些信息数据不仅包括天气、地图等应用信息,也有道路交通状况或警报等安全信息<sup>[4]</sup>。但是,由于RSU部署成本问题、车辆的高移动性及RSU通信范围有限,很难为所有车辆节点提供无缝覆盖<sup>[5]</sup>,对于过大的数据会发生传输中断的情况。为此,本文提出一种协作数据分发方案,利用网络中双向车辆和RSU等资源节点的传输能力,为目标车辆传输数据,并分析资源节点的竞争接入与传输以及转发完成时间等影响数据传输的因素,使得车辆行驶在盲区时能持续进行数据下载,减少盲区数据传输中断的影响。

## 1 相关研究

对于V2I通信的协作数据分发即通过协调多个路侧单元对用户进行协助下载,而对于V2V通信的协作数据分发则是通过多个协助车辆为节点提供协助数据下载。2种协作方式对用户下载数据量确有提升,但由于2种通信方式连接的间歇性,一些资源密集型应用的数据分发仍有很大限制。因此,许多研究将重点转移到V2I和V2V协作通信中,通过多个路侧与车辆的协作,从而提升协作数据分发的性能<sup>[6]</sup>。

在协作数据传输和下载方面,文献[7]提出车辆存储-携带-转发机制,通过选取同向及反向车辆进行辅助目标车辆的数据传输,但是同向和反向只选取了2个中继辅助接点,没有充分利用V2V通信资源。文献[8]考虑具有延迟容忍的应用场景,提出一种协作通信策略,提升了具有有限流量密度的车载网络的吞吐量,并对车载网络基础架构的最佳部署以及协作通信策略的设计有指导作用。文献[9]为减少间歇性车辆网络中的数据下载延迟和回程链路流量,提出一种车辆与RSU合作的内容中继和预取方案,根据车辆的移动性信息,通过下载和中继时间选择中继车辆,以在RSU覆盖范围内实现内容转发,并对下一个到达的RSU进行数据预取,以实现即时数据下载。文献[10]为了满足在车载网络中需要高吞吐量和低延迟的服务和应用,提出一种在同类车辆网络中的V2V、V2I协作下载机制,并基于车辆移动性预测和节点间吞吐量估计,构造了存储时间聚合图计划传输方案,然后设计一个迭代贪婪驱动算法以导出次优解决方案,从而以近似最佳的方式分发给车辆。文献[11]针对大文件的下载和传输,提出

一种车载网络协作通信策略,通过协调反向协助车辆和相邻RSU进行数据下载,从而最大化目标车辆的吞吐量。文献[12]为了减少高清地图传输时的网络功耗,同时考虑到功率效率和通信效率,提出一种协作的V2I、V2V传输方案,以实现低功耗的高速高清地图传输,并在RSU和车辆之间自适应分配功率,同时为减小解码错误概率的影响,采用了更接近现实的传输速率的估计式。在协作内容分发与缓存方面,针对时延敏感型任务,文献[13]提出一种预测性缓存数据分发策略,基于接收信噪比门限及相对速度距离等参数对RSU和周边车辆的文件传输时延进行预测,并选取时延最小的节点作为数据传输源。为减少通信开销,提高系统吞吐量,文献[14]在协作数据分发调度策略中考虑了信道预测,同时利用递归最小二乘算法降低了计算复杂性,提高了数据分发效率,有效地减少了数据分发的延迟。

## 2 协作数据分发方案

目前多数研究关注于吞吐量和时延,但忽略了对双向节点资源的充分利用,以及数据转发过程中目标车辆集群内部的车辆之间的数据流动问题。因此,对于资源节点,本文考虑选取多个双向车辆节点,分析车辆与目标车辆之间速度等参数对数据传输量的影响,使资源节点得到充分利用,同时增加目标车辆盲区数据下载量。对于数据转发过程中集群车辆之间的数据流动问题,分析同向协助车辆及目标车辆的竞争传输对数据转发带来的影响,使之更加合理。并且,当前协助下载根据应用场景大致分为高速公路场景和城市道路场景<sup>[15]</sup>。城市道路结构复杂,车辆行驶速度不一,轨迹多变,车流密度大,在这种情况下的研究一般围绕车辆行驶轨迹和路侧单元RSU的部署展开。在高速环境中,由于RSU部署稀疏,车辆行驶速度较为稳定,车流密度不大,车辆轨迹易预测,因此该场景中的协助下载主要是研究如何提升相邻RSU之间的盲区利用率以及协助车辆的选择。

本文针对高速公路场景,结合V2I、V2V通信,提出一种两者协作进行数据分发的机制,建立理论分析框架,推导目标车辆可获得的数据量,从而提升盲区利用率,减少盲区数据传输中断的影响。其主要思路是:当目标车辆进入RSU覆盖范围时,通过竞争接入的方式,与RSU进行V2I通信从而获得所需文件的部分数据,若在目标车辆驶出RSU覆盖范围时还未完成文件下载,则通过同向协助车辆进行V2V通信进行辅助下载,其中协助车辆经过RSU时为目标车辆下载部分数据,并且愿意为目标车辆提供帮助的一个集群,在经过盲区时将所下载数据竞

争性地转发给目标车辆。同时,充分利用反向行驶车辆的资源可用性,由目标车辆行驶方向的下一个RSU选定反向协助车辆,并下载部分数据,在盲区与目标车辆相遇时通过转发的方式传输给目标车辆,进一步增加目标车辆下载数据量。

## 2.1 模型建立

### 2.1.1 系统模型

本文系统模型考虑双向高速公路,如图1所示,RSU部署在路侧,并具有相同间隔 $d$ ,2个RSU之间盲区距离为 $U$ ,且RSU可以通过无线或者有线连接到核心网。每个车辆进入到RSU覆盖范围内时将向RSU注册自身信息,包括ID、车速以及进入该RSU的时间,则RSU中应有注册信息维护列表 $List = \langle (id_k, v_k, t_k) \rangle$ ,并能实时进行更新。当目标车辆在RSU $i$ 覆盖范围内发起下载请求后,RSU $i$ 根据同向车辆数量与车辆停留时间计算同向协助车辆以及目标车辆可下载的总数据量,将同向车辆未下载完的部分数据文件分发给RSU $i+1$ ,然后再由预取到剩余数据文件的RSU $i+1$ 根据车辆注册参数选定合适的反向协助车辆进行目标文件的片段下载,在经过盲区时对目标车辆进行辅助转发。本文主要关注目标车辆在1个下载周期(从驶入第1个RSU到驶出第2个RSU的覆盖范围)内的各个阶段所获取数据量大小以及转发时间,并给出具体分析。

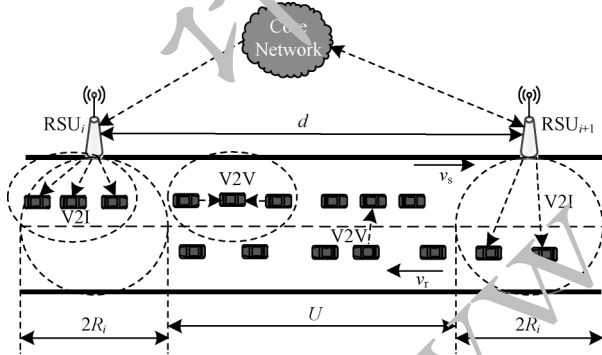


图1 本文系统模型

Fig.1 System model in this paper

### 2.1.2 移动模型

本文假设目标车辆行驶方向车流密度为 $\rho_s$  veh/m,反向车流密度为 $\rho_r$  veh/m,车辆到达近似服从参数为 $\lambda_s$ 和 $\lambda_r$ 的泊松分布<sup>[16]</sup>,与目标车辆同向车辆车速为 $v_s$ ,反向车辆车速为 $v_r$ 。根据Greenshield宏观交通流模型<sup>[17]</sup>,可知到达率与速度存在如下线性关系:

$$\lambda = \rho v \quad (1)$$

并且基于上述关系,有:

$$v = v_f \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_{jam}} \right) \quad (2)$$

其中: $v_f$ 表示道路畅通时车辆速度; $\rho_{jam}$ 表示交通堵塞时车辆密度。为避免干扰其他车道交通流行驶,将低速车道作为协助下载车道,同向及反向车辆可共同参与协助下载及转发,同时设RSU覆盖半径为 $R_i$ ,车辆通信半径为 $R_v$ ,相邻RSU间隔为 $d$ ,间隔中无法被RSU覆盖到的区域称为盲区,用 $U$ 表示,则 $U = d - 2R_i$ 。

### 2.1.3 通信模型

对于V2I通信,参考IEEE 802.11b协议,通信过程采用自适应的V2I传输速率模型<sup>[5]</sup>,其中在车辆经过路侧覆盖范围时,考虑RSU和车辆之间的距离对传输速率的影响,即传输速率随距离增大而减小,并呈对称的阶梯状。如图2所示,即划分为左右对称的7个区域,则各个区域相对应的传输速率集合 $B = \{B_1, B_2, \dots, B_7\}$ 。具体区域的长度及其对应的传输速率数值在后续参数中给出。并且考虑理想的MAC协议,RSU的空时资源平均分配给覆盖区域内的车辆<sup>[16]</sup>。

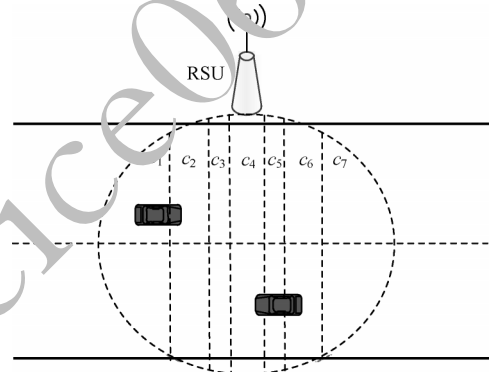


图2 自适应传输速率的区域划分

Fig.2 Regional division of adaptive transmission rate

对于V2V通信,考虑恒定的数据传输速率,主要关注于交互时间对传输数据量的影响。车辆之间通过配备车载传感器可以进行距离感知,以及与其他车辆进行车速、位置等信息的交换,因此,车辆节点之间的欧式距离只要不大于通信半径 $R_v$ 即可进行通信<sup>[18]</sup>。并且车辆为单天线模式,不能同时进行信号的收发工作,因此车辆在同一时刻仅能与单个通信设备进行数据交换,而且由于RSU连接至核心网可进行网络资源下载,因此目标车辆在RSU覆盖范围内将优先与RSU建立通信连接,并进行数据下载,在驶出RSU覆盖范围时才与协助车辆建立V2V通信。

## 2.2 阶段分析

图3所示为1个下载周期内协助下载流程。





长度, 并且  $\sum_{i=1}^7 T_i = T = \frac{2R_i}{v_s}$  是车辆在 RSU 内停留的总时间, 即每辆车在 RSU 覆盖范围内所得到的服务时间有  $\frac{T_i}{T}$  的部分是以速率  $B_i$  进行数据传输的。每个车辆经过 RSU 时可下载的平均数据量为:

$$E[D_{\sin}^{\text{same}}] = \frac{(1-f(0))}{\lambda_s(1-f(c))} \cdot \sum_{i=1}^7 B_i \frac{T_i}{T} \quad (9)$$

### 2.3.2 同向协助下载数据的转发时间

反向协助车辆数的计算与同向协助车辆转发结束时间有关, 因为考虑反向协助车辆转发数据发生在同向协助车辆完成转发之后, 会减少传输冲突。因此, 要先计算同向协助车辆的转发时间, 可表示为:

$$T_{\text{same}} = \frac{D_{\text{same}} - E[D_{\sin}^{\text{same}}]}{\Gamma_{i,j}} \quad (10)$$

其中:  $\Gamma_{i,j}$  为集群内除目标车辆外任意 2 个节点传输的吞吐量, 即每次传输中单个节点发送的有效载流量。由于进入盲区时协助车辆将争抢向目标车辆转发数据, 在协助车辆间势必会引起传输碰撞。因此本文考虑将 IEEE 802.11b DCF (分布式协调功能) 协议应用于 MAC 层竞争转发过程, 并采用 RTS/CTS 机制消除传输的隐藏终端<sup>[20]</sup>。令  $W$  表示车辆节点指数退避过程中最小竞争窗口大小,  $\tau$  表示每个车辆节点的平均传输概率, 则有:

$$\tau = \frac{1}{W/2 + 1} \quad (11)$$

因此, 数据包传输引起信道忙的概率为参与竞争的节点中至少有 1 个节点传输数据的概率, 可表示为:

$$P_{\text{tran}} = 1 - (1 - \tau)^{N_{\text{same}} - 1} \quad (12)$$

某一车辆节点在某一时刻内成功传输数据包的概率为:

$$P_{\text{suc}} = (N_{\text{same}} - 1) \cdot \tau \cdot (1 - \tau)^{N_{\text{same}} - 2} \quad (13)$$

集群内部某一车辆节点向目标车辆发送数据的 MAC 层吞吐量为:

$$\Gamma_{i,j} = P_{\text{suc}} \times \frac{L}{E[T_{\text{slot}}]} \quad (14)$$

其中:  $L$  为有效负载即数据包长度;  $E[T_{\text{slot}}]$  为 1 个时隙的平均长度。式 (14) 表示在 1 个时隙的持续时间内, 集群内部某一节点以概率  $P_{\text{suc}}$  传输数据成功, 并将传递有效负载  $L$ , 对于  $E[T_{\text{slot}}]$  有:

$$E[T_{\text{slot}}] = (1 - P_{\text{col}})T_{\text{slot}} + (P_{\text{col}} - P_{\text{suc}})T_{\text{col}} + P_{\text{suc}}T_{\text{suc}} \quad (15)$$

其中:  $T_{\text{slot}}$  为 DCF 协议中单位时隙的持续时间;  $T_{\text{col}}$  为传输冲突的平均时间长度;  $T_{\text{suc}}$  为传输成功的平均时

间长度, 而:

$$T_{\text{col}} = R_{\text{RTS}} + D_{\text{DIFS}} + T_{\text{slot}} \quad (16)$$

$$T_{\text{suc}} = R_{\text{RTS}} + 3 \times S_{\text{SIFS}} + 4 \times T_{\text{slot}} + C_{\text{CTS}} + A_{\text{ACK}} + D_{\text{DIFS}} + \frac{L}{B_v} \quad (17)$$

其中: SIFS 和 DIFS 是为 DCF 信令和操作保留的预定义时间间隔; SIFS 是短帧间间隔; DIFS 是分布式帧间间隔; RTS、CTS、ACK 分别表示 RTS、CTS、ACK 帧传输的时间间隔, 具体数值将在后续给出。所以, 经上述分析可得最终的同向协助车辆的转发时间  $T_{\text{same}}$ 。因此, 同向协助方式获得的吞吐量为:

$$\Gamma_{\text{same}} = \frac{D_{\text{same}} - E[D_{\sin}^{\text{same}}]}{T_{\text{same}}} \quad (18)$$

### 2.3.3 反向协助车辆下载数据量

同向协助车辆转发完成之后, 目标车辆将陆续与反向车辆相遇, 从而进行交互通信。转发反向协助车辆下载总数据量为:

$$D_{\text{rev}} = N_{\text{rev}} \cdot D_{\sin}^{\text{rev}} \quad (19)$$

其中:  $N_{\text{rev}}$  为反向协助车辆数;  $D_{\sin}^{\text{rev}}$  为单个反向车辆节点下载的数据量。

而对于  $\text{RSU}_{i+1}$  给每个反向协助车辆分发的数据量, 应该足够反向协助车辆在与目标车辆相遇的时间内转发, 即:

$$\frac{2R_v}{v_s + v_r} \cdot B_v \leq B_i \left[ \frac{2R_i}{v_r} - (T_i - t_i) \right] \quad (20)$$

其中:  $\frac{2R_v}{v_s + v_r}$  为两车相会可用于通信的时间, 因此根据交互通信的数据转发量和时间又可以指导  $\text{RSU}_{i+1}$  用于协调反向协助车辆, 主要体现在分发给单个反向车辆的数据量和反向车辆的选择。为最大限度地利用盲区资源,  $\text{RSU}_{i+1}$  分发给每个反向车辆的数据量应该足够反向车辆和目标车辆相遇时进行传输。

并且为避免无效的数据下载, 浪费网络资源, 每个反向协助车辆从  $\text{RSU}_{i+1}$  下载到的数据不能多于与目标车辆交互时可转发的数据量, 即目标车辆可接收到的单个反向协助车辆传输的数据量为:

$$D_{\sin}^{\text{rev}} = \frac{2R_v}{v_s + v_r} \cdot B_v \quad (21)$$

对于反向协助车辆的选择, 当同向集群协助车辆向目标车辆转发完毕时, 目标车辆即开始接收所相遇的反向协助车辆的数据转发。当  $\text{RSU}_{i+1}$  收到  $\text{RSU}_i$  发来的数据即收到协助下载请求时, 计算其 List 列表中每辆车与目标车辆的相遇时间等信息, 并存入集合  $M = \langle (\text{id}_n, v_n, t_n, S_n, E_n, T_n) \rangle$  中, 其中:  $S_n$ 、 $E_n$  分别表示反向第  $n$  辆车与目标车辆开始通信和结束通信的时间;  $T_n$  表示第  $n$  辆车在  $\text{RSU}_{i+1}$  中被选为协助车辆的时间<sup>[21]</sup>。根据注册表中的车辆信息, 可得:

$$S_n = T_n + \frac{U + 4R_i - (T_n - t_s) \times v_s - (T_n - t_n) \times v_r - R_v}{v_s + v_r} = \frac{U + 4R_i - R_v + v_s t_s + v_r t_n}{v_s + v_r} \quad (22)$$

$$E_n = S_n + \frac{2R_v}{v_s + v_r} = \frac{U + 4R_i + R_v + v_s t_s + v_r t_n}{v_s + v_r} \quad (23)$$

其中:  $t_s$  是目标车辆进入 RSU<sub>i</sub> 的时间。

为避免传输冲突,造成数据转发失败,在协助车辆节点转发数据时,应该在前一节点转发完成之后进行,所以对于反向协助车辆  $i$  和其后车辆  $j$ ,有:

$$T_i + E_i \leq T_j + S_j \quad (24)$$

而对于反向协助车辆与目标车辆通信,应该发生在同向协助车辆给目标车辆转发完毕之后,所以应满足:

$$S_i \geq T_{\text{same}} + \frac{2R_i}{v_s} \quad (25)$$

对于反向协助的最后一个车辆节点,应该在目标车辆驶入 RSU<sub>i+1</sub> 之前就转发数据结束,因为目标车辆一旦进入 RSU<sub>i+1</sub> 的覆盖范围,则可以从 RSU<sub>i+1</sub> 直接下载未完成的数据量,享受更大带宽,所以得出:

$$E_n \leq t_s + \frac{U + 2R_i}{v_s} \quad (26)$$

因此,对于 RSU<sub>i+1</sub> 选择的反向协助车辆数  $N_{\text{rev}}$ ,通过式(19)即可得出反向协助车辆下载总数据量  $D_{\text{rev}}$ 。因此,在反向协助方式下可获取的吞吐量为:

$$\Gamma_{\text{rev}} = \frac{D_{\text{rev}}}{U/v_s - T_{\text{same}}} \quad (27)$$

综上,目标车辆可获得的总体吞吐量为:

$$\Gamma = \frac{D}{(U + 2R_i)/v_s} \quad (28)$$

### 3 仿真结果与分析

本节将对所提方案进行实验仿真,以验证所提方案的性能以及理论分析的准确性。仿真工作基于 MATLAB 进行,仿真场景为双向高速公路场景。相邻 RSU 之间的间距范围为 2~16 km,取定值时设定为 8 km,则中间盲区距离为 7 200 m。RSU 覆盖半径取值范围为 300~500 m,取定值时为 400 m,低速单车道拥塞状态下车流密度为 0.071 vehicle/m,维持顺畅行驶时车辆速度为 108 km/h<sup>[17]</sup>。V2I 自适应通信速率及区域划分如表 1 所示,具体场景参数设置如表 2 所示,

同向车辆转发数据过程中的相关 MAC 层参数设置如表 3 所示。

表 1 V2I 通信区域长度和数据传输速率

Table 1 V2I communication area length and data transmission rate

区域	长度/m	传输速率/(Mb·s <sup>-1</sup> )
$c_1$	200	1.0
$c_2$	100	2.0
$c_3$	50	5.5
$c_4$	100	11.0
$c_5$	50	5.5
$c_6$	100	2.0
$c_7$	200	1.0

表 2 仿真参数设置

Table 2 Simulation parameters setting

参数	取值
相邻 RSU 间隔/km	2~16
RSU 覆盖半径/m	300~500
车辆通信半径/m	250
车辆传输速率/(Mb·s <sup>-1</sup> )	1.5
车辆行驶速度/(km·h <sup>-1</sup> )	60~100

表 3 MAC 层参数设置

Table 3 MAC layer parameters setting

参数	取值
$W$	32
$T_{\text{slot}}/\mu\text{s}$	13
SIFS/ $\mu\text{s}$	32
DIFS/ $\mu\text{s}$	32
RTS/ $\mu\text{s}$	53
ACK/ $\mu\text{s}$	37
CTS/ $\mu\text{s}$	37
$L/\text{bit}$	1 024

图 4 所示为不同速度下单个协助车辆的数据下载量随 RSU 内停留时间的变化情况。其中 RSU 覆盖半径固定为 400 m。可以看出,随着车辆速度的增大,单个车辆下载数据量在不断减少,当速度分别为 60 km/h、80 km/h、100 km/h 时,所下载数据量大约为 15 MB、11.5 MB、9 MB。主要原因在于:随着车辆速度的增大,车辆在 RSU 内停留时间减少。并且,由于考虑了车辆移动性对数据传输速率的影响,车辆行驶在 RSU 覆盖范围时采用自适应通信速率,因此在 RSU 覆盖范围的中部比两边下载数据量多。因此,为最大限度地提升数据下载量,可对车辆行驶速度进行相应控制。



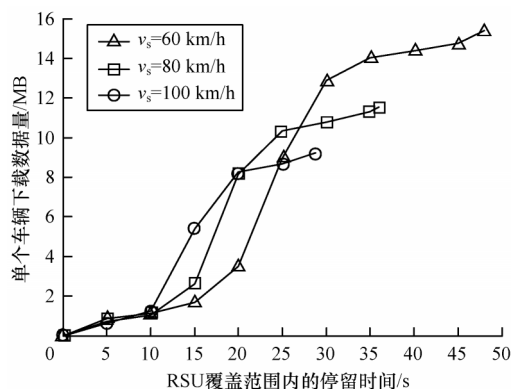


图4 不同速度下单个车辆数据下载量的变化情况

Fig.4 Changes in data downloads of single vehicle at different speeds

图5所示为固定车辆行驶速度为90 km/h时,单个车辆数据下载量随RSU覆盖范围的变化情况。可以看出,RSU的覆盖范围变化对单个车辆数据下载量影响不大。当RSU通信半径从300 m增加到500 m时,数据下载量最大值均在10.3 MB左右。主要原因在于:随着RSU通信半径的扩大,车辆停留时间增大,本应下载更多的数据量,但覆盖范围内竞争接入RSU的车辆也增多,导致单个车辆被服务时间减少,并且竞争接入带来的数据传输碰撞可能性增大,影响数据下载量。

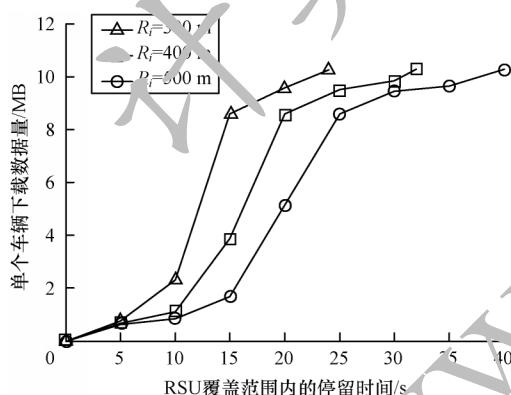


图5 不同RSU下单个车辆数据下载量的变化情况

Fig.5 Changes in data download volume of single vehicle under different RSU

图6所示为盲区间隔对目标车辆总数据吞吐量的影响,而盲区间隔又与RSU部署间距相关。当盲区间隔为0时,目标车辆仅从RSU内下载数据;当盲区间隔较小时,由于未与反向车辆相遇,数据下载量主要来自于目标车辆自身和同向协助车辆,虽然盲区间隔的增大使得目标车辆接收同向转发数据量增多,但也造成了停留时间的增长,因此对吞吐量影响不大。而目标车辆能够接收反向转发数据得益于间隔的持续增大,并且由于反向协助方式不存在竞争

转发,因此吞吐量略高于同向协助。而当间距继续增大,同向转发完成,还未与反向车辆相遇时,则会造成吞吐量的持续下降。

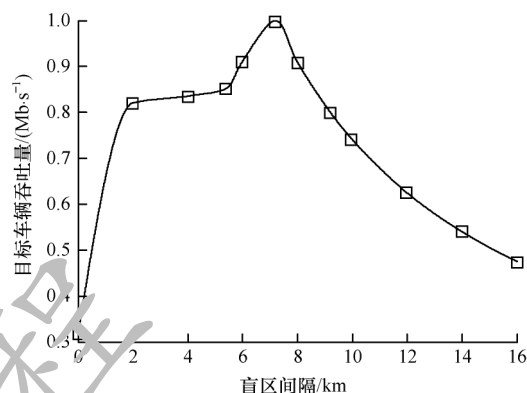


图6 目标车辆吞吐量随DA间距的变化情况

Fig.6 Change of target vehicle throughput with distance between DA

图7所示为在1个下载周期内下载数据总量在不同协助下载策略下的比较。车速设定为25 m/s,整个下载周期为320 s,目标车辆在RSU内停留时间为32 s。因此,在无协助方式下,车辆仅能依靠所处RSU进行数据下载。在初始32 s之内,可下载数据量为10 MB左右,之后便无法进行数据下载,只能等待进入下一个下载周期。由于目标车辆可获得的数据总量受同向协助和反向协助的影响,而盲区前程由同向协助方式占主导,反向协助在同向转发完成后才开始。因此,虽然两者单独作用时下载数据量分别可达209 MB和178 MB左右,但总的协助数据下载量约为302 MB左右,略低于同向与反向单独作用之和。可以看出,本文所提方案相较于已有的同向协助下载和反向协助下载数据下载量提升均在40%以上。

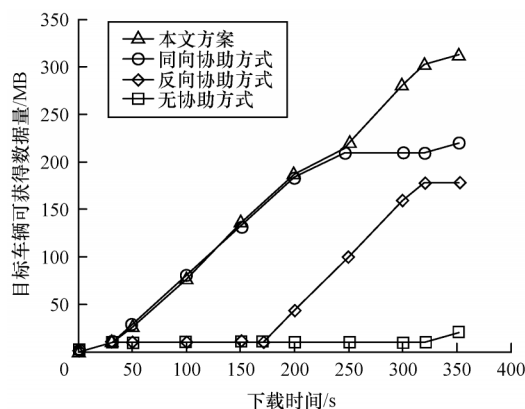


图7 目标车辆获得数据总量随时间的变化曲线

Fig.7 Curve of total amount of data obtained by target vehicle over time

图8所示为目标车辆与反向车辆进行通信时,数据吞吐量随时间的变化情况。在同向车流速度设定为90 km/h时,整个下载周期为320 s,由图7可知,同向转发完成时间在246 s左右,因此,目标车辆与反向车辆有效通信时间为74 s左右。由于车流密度的存在,反向车辆节点与目标车辆相遇进行数据转发的连续性会受到影响,即反向车辆节点之间会出现间隔,因此数据吞吐量随时间增长略有下降。当反向车流速度降为72 km/h时,虽然两者通信时间变长,但是由于相应的车流密度有所增大,反向车辆与目标车辆相遇连续性受影响较小,因此数据吞吐量较速度大时略有增长。

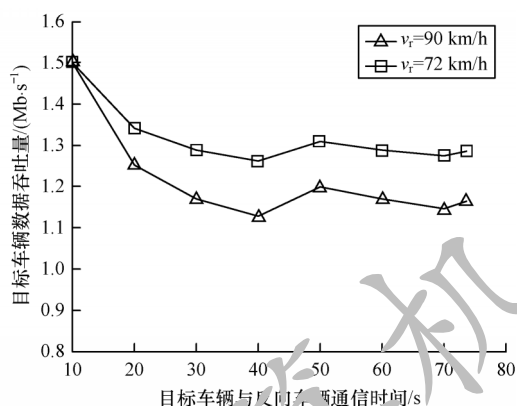


图8 目标车辆与反向车辆通信时吞吐量随时间的变化曲线

Fig.8 Throughput curve of the target vehicle communicating with the reverse vehicle over time

#### 4 结束语

为减少车辆在RSU部署稀疏区域的盲区数据传输中断的影响,本文提出一种协作数据分发方案。结合同向协助下载和反向协助下载,与目标车辆同向的车辆形成协助集群,反向协助车辆利用转发的方式为目标车辆提供协助下载,并考虑车辆与路侧单元之间的竞争接入与传输速率、车辆间传输的竞争转发、同向转发完成时间等对数据传输的影响。仿真结果表明,该方案相较于同向协助下载和反向协助下载机制,可有效提升目标车辆在1个下载周期内的数据下载量,提高了盲区利用率,减少了盲区中数据传输中断的影响。本文考虑的是移动稳定性较高的高速公路场景,下一步将研究更结合实际的城市道路场景,对复杂的交通状况加以分析,并考虑多普勒频移对数据传输的影响。

#### 参考文献

- [1] 《中国公路学报》编辑部. 中国汽车工程学术研究综述2017[J]. 中国公路学报, 2017, 30(6): 1-197. Editorial Department of China Journal of Highway Engineering. A summary of academic research on china auto-motive engineering 2017 [J]. China Journal of Highway and Transport, 2017, 30(6): 1-197. (in Chinese)
- [2] SIEGEL J E, ERB D C, SARMA S E. A survey of the connected vehicle landscape-architectures, enabling technologies, applications, and development areas[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2018, 19(8): 2391-2406.
- [3] TRULLOLS O, FIORE M, CASETTI C, et al. Planning roadside infrastructure for information dissemination in intelligent transportation systems[J]. Computer Communications, 2010, 33(4): 432-442.
- [4] 汪淑娟, 尹娇. 基于网络编码的VANETs高效数据分发策略[J]. 计算机工程, 2016, 42(5): 118-122, 129. WANG S J, YIN J. Efficient data distribution strategy for VANETs based on network coding [J]. Computer Engineering, 2016, 42(5): 118-122, 129. (in Chinese)
- [5] ZHOU H, LIU B, LUAN T H, et al. ChainCluster: engineering a cooperative content dissemination framework for highway vehicular communications[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2014, 15(6): 2654-2657.
- [6] ZHU W, LI D, SAAD W. Multiple vehicles collaborative data download protocol via network coding [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2015, 64(4): 1607-1619.
- [7] WANG Y, LIU Y, ZHANG J. Cooperative store-carry-forward scheme for intermittently connected vehicular networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2017, 66(1): 777-784.
- [8] CHEN J, MAO G, LI C, et al. Capacity of cooperative vehicular networks with infrastructure support: multi-user case[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2018, 67(2): 1546-1560.
- [9] BANG J, NAM Y, CHOI H, et al. Cooperative content downloading protocol based on the mobility information of vehicles in intermittently connected vehicular networks[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Information Networking. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2020: 273-277.
- [10] SUN Y, XU L, TANG Y. Cooperative downloading in vehicular networks: a graph-based approach[C]//Proceedings of the 87th IEEE Vehicular Technology Conference. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2018: 1-5.
- [11] CHEN J, ZAFAR A, MAO G, et al. On the achievable throughput of cooperative vehicular networks[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Communications. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2016: 1-7.
- [12] WANG F, GUAN D, ZHAO L, et al. Cooperative V2X for high definition map transmission based on vehicle mobility [C]//Proceedings of the 89th IEEE Vehicular Technology Conference. Kuala Lumpur, Malaysia: [s. n.], 2019: 1-5.
- [13] 石蕊. 车联网中基于时延最小化的缓存数据分发机制研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2019. SHI R. Research on the cache data distribution mechanism based on the minimization of time delay in the Internet of Vehicles [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2019. (in Chinese)
- [14] ZENG F, ZHANG R, CHENG X, et al. Channel prediction based scheduling for data dissemination in VANETs[J]. IEEE Communications Letters, 2017, 21(6): 1409-1412.

(下转第44页)



(上接第 36 页)

- [15] 薛平. 高速公路场景中的车联网协助下载方法研究[J]. 合肥:合肥工业大学, 2016.  
XUE P. Research on downloading method of Internet of vehicles assisted in highway scene [J]. Hefei: Hefei University of Technology, 2016. (in Chinese)
- [16] 刘业, 刘林峰, 郑隆, 等. 车联网 RSU 单元下行流量的性能研究[J]. 软件学报, 2015, 26(7): 1700-1710.  
LIU Y, LIU L F, ZHENG L, et al. Research on the performance of the downstream traffic of the RSU unit in Internet of vehicles[J]. Journal of Software, 2015, 26(7): 1700-1710. (in Chinese)
- [17] TAN W L, LAU W C, YUE O C, et al. Analytical models and performance evaluation of Drive-Thru Internet systems[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2011, 29(1): 207-222.
- [18] CHEN J, MAO G, LI C, et al. Throughput of infrastructure-based cooperative vehicular networks[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2017, 18(11): 2964-2979.
- [19] WISITPONGPHAN N, BAI F, MUDALIGE P, et al. Routing in sparse vehicular ad hoc wireless networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007, 25(8): 1538-1556.
- [20] LUAN T H, SHEN X S, BAI F. Integrity-oriented content transmission in highway vehicular ad hoc networks[C]// Proceedings of INFOCOM'13. Turin, Italy: [s. n.], 2013: 2562-2570.
- [21] 刘建航, 孙江明, 毕经平, 等. 基于动态时槽的车联网协助下载方法研究[J]. 计算机学报, 2011, 34(8): 1378-1386.  
LIU J H, SUN J M, BI J P, et al. Research on assisted downloading method of Internet of vehicles based on dynamic time slot [J]. Chinese Journal of Computers, 2011, 34(8): 1378-1386. (in Chinese)

编辑 索书志