

## 车载自组织网视频流媒体协助下载研究

陈亮<sup>1</sup>, 王军<sup>2</sup>, 陈蓉<sup>1</sup>, 顾翔<sup>1</sup>, 王进<sup>1</sup>, 万杰<sup>1</sup>

(1. 南通大学计算机科学与技术学院, 江苏 南通 226019;

2. 江苏工程职业技术学院图文信息中心, 江苏 南通 226007)

**摘要:** 针对车辆通信范围及转发状态下信道竞争问题, 建立了同向多跳下载流量模型。根据该模型与视频流媒体特点, 提出了一种基于服务质量的双向协助下载方案。首先, 同向车辆对目标车辆进行多跳协助下载, 减少目标车辆等待对向协助车辆到达所消耗的时间。其次, 后方基站根据时间优先或画质优先的选车策略, 向符合条件的对向车辆加载数据, 对向车辆与目标车辆相遇时进行一跳协助下载。NS 仿真表明, 所提方案在下载耗时方面优于 DSRelay 算法与 VCoDS 算法, 并能将画质参数 PSNR 值维持在较好水平。

**关键词:** 车联网; 视频流媒体; 协助下载; 服务质量

**中图分类号:** TN918

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.1000-436x.2019018

## Research on video streaming media cooperative downloading in vehicular ad hoc network

CHEN Liang<sup>1</sup>, WANG Jun<sup>2</sup>, CHEN Rong<sup>1</sup>, GU Xiang<sup>1</sup>, WANG Jin<sup>1</sup>, WAN Jie<sup>1</sup>

1. School of Computer Science and Technology, Nantong University, Nantong 226019, China

2. Library and Information Center, Jiangsu College of Engineering and Technology, Nantong 226007, China

**Abstract:** The same direction multi-hop downloading network flow model was proposed for vehicle communication range and channel competition under forwarding. According to the model and video streaming media characteristic, the same & opposite direction cooperative downloading quality of service (SODCD-QoS) scheme was presented. First, the same direction vehicles helped the target vehicle to achieve multi-hop cooperative downloading. It can reduce the waste of time which the target vehicle has to wait for opposite direction cooperative vehicle. Secondly, the next base stations loaded data into eligible opposite direction vehicles according to vehicles option strategy based on time first or picture quality first. Then the opposite direction vehicles helped the target vehicle to achieve one-hop cooperative downloading. NS simulations show that the SODCD-QoS scheme is better than DSRelay and VCoDS algorithm in terms of download time. Further, the new scheme can maintain good picture quality PSNR.

**Key words:** vehicular ad hoc network, video streaming media, cooperative downloading, QoS

收稿日期: 2018-05-08; 修回日期: 2018-12-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61602267); 江苏高校自然科学基金资助项目 (No.15KJB520029, No.16KJB520038); 江苏现代教育技术研究课题基金资助项目 (No.2017-R-53720); 江苏教育信息化研究课题基金资助项目 (No.20172168); 南通大学虚拟仿真基金资助项目 (No.13052001); 南通大学研究生案例库基金资助项目 (No.AL17010); 大学生创新训练计划基金资助项目 (No.2018117); 中天智能装备基金资助项目 (No.17ZH040)

**Foundation Items:** The National Natural Science Foundation of China (No.61602267), University Science Research Project of Jiangsu Province (No.15KJB520029, No.16KJB520038), Research on Modern Educational Technology of Jiangsu Province (No.2017-R-53720), Educational Information Research of Jiangsu Province (No.20172168), Virtual Reality of Nantong University (No.13052001), Postgraduate Case Library of Nantong University (No.AL17010), Training Program of Innovation for Undergraduate (No.2018117), Zhongtian Smart Equipment Project (No.17ZH040)

### 1 引言

车载自组织网 (VANET, vehicle ad-hoc network) 是指车辆之间、车辆与固定接入点之间为相互通信组成的移动 ad-hoc 网络。VANET 技术在事故报警、辅助驾驶、交通信息查询及 Internet 接入等领域具有广阔的应用前景<sup>[1]</sup>。VANET 通常由车辆单元 (OBU, on board unit) 及路边单元 (RSU, roadside unit) 构成, 车间通信可以不依赖 RSU, 使用自组织联网方式实现数据传输, 但当车辆与 Internet 互访时, 可通过 RSU 实现数据交换。

VANET 既具有自组织、多跳路由、网络容量有限等普通移动自组网特点, 还具备高密度节点分布与节点高速移动的特点<sup>[1]</sup>, 为此电气和电子工程师协会 (IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers) 发布了适用于车联网的 IEEE 802.11p 协议。但随着车联网应用的深入, 乘客观看互联网视频对 MAC(media access control) 传输机制与性能研究提出了新的挑战<sup>[2]</sup>。

由于基站 RSU 的通信范围与部署数量限制, 高速行驶的车辆在 RSU 覆盖范围内的通信时间较短, 一旦车辆行驶至通信盲区, 还会导致网络连接频繁断开, 产生车联网间歇性的接入问题<sup>[3]</sup>, 最终影响传输性能。

当目标车辆无法与基站一跳直接传输时, IEEE 802.11p 协助 (中继) 下载是一种有效增加吞吐量的技术方案<sup>[4-5]</sup>。在如图 1 所示的车联网拓扑中, 根据协作车辆的行驶方向, 协助下载方案分为同向协助<sup>[6]</sup>与对向协助<sup>[7-9]</sup>。针对不同的应用场景, 研究者设计了不同的选车策略<sup>[6-9]</sup>及协作车辆激励机制<sup>[10]</sup>, 据此建立相应的下载流量模型<sup>[6-7,9,11]</sup>。但是, 以上研究在改进车联网传输性能的同时, 也存在流量建模不精确与使用 CBR (constant bit rate) 协议传输视

频等问题。

针对以上问题, 本文开展了如下研究工作。

1) 分析 OBU 传输半径问题与同向转发下的信道竞争问题, 提出车联网同向多跳下载的流量改进模型。NS2 (network simulator version 2) 仿真显示, 相较文献[6]的流量模型, 改进模型可以更准确地描述同向协助下载流量。

2) 根据上述理论建模, 针对视频流媒体应用, 设计同向与对向协助下载方案, 同向车辆对目标车辆进行多跳协助下载, 对向车辆对目标车辆进行时间优先或画质优先的一跳协助下载。实验表明, 新方案的下载耗时少于 DSRelay 与 VCoDS (VANET cooperative downloading scheme) 算法, 且画质能维持较好水平。

### 2 相关研究及问题

为了研究车联网协助下载并改进网络性能, 研究人员开展了一系列工作。Zhao 等<sup>[12]</sup>较早提出了“车对车”中继机制, 有效扩展了 RSU 覆盖范围, 将吞吐量维持在较高水平, 算法仅依赖客户端, 不需要在基站上做修改。

同向协作的连接保持时间长、信道衰落慢, 而对向协作的车辆相遇条件好, 目标车辆前方的对向车辆均可能与其相遇, 因此通常从同向与对向两方面开展协助下载研究。

同向协助下载方面, 刘业等<sup>[6]</sup>分析车辆 OBU 利用 RSU 下载数据时的 MAC 层信道竞争情形, 提出了适用于高速公路场景的网络吞吐量模型。针对 RSU 单元之间存在的盲区问题, 设计了一种利用同向行驶车辆协助下载的 VCoDS 方案, 在同向一跳直接下载之外, 增加同向两跳协助下载。仿真表明, 新方案可有效提高 RSU 下行流量。

对向协助下载方面, 刘建航等<sup>[7]</sup>针对 RSU 通信

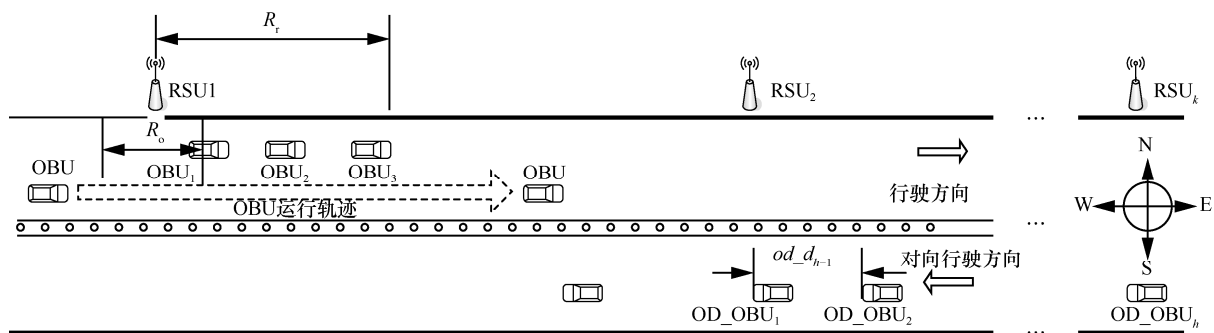


图 1 车联网拓扑示意

范围受限,提出了对向车辆协助下载 DSRelay 算法。当目标车辆在一个 RSU 区域内不能完成下载任务时,下一个 RSU 通过计算目标车辆与对向车辆在 RSU 盲区中的相遇时间和通信时长,选择一组对向协助车辆携带目标车辆所需的数据,协助车辆在盲区中不同时间段将数据一跳传输给目标车辆,从而实现盲区中扩展下载。实验表明,该方法提高了下载吞吐量,减少了间歇性连接问题。

刘建航等<sup>[8]</sup>在 DSRelay 算法基础上,进一步提出了近似全局最优的车联网协助下载选车策略 DSMOV (downloading scheme Markov optimization vehicle)。算法不仅提高了用户数据下载总量,而且各个目标车辆获取协助下载服务的次数更均衡,从而保证了系统的公平性。

谢永等<sup>[9]</sup>设计了一种高速公路的对向车辆无间隙协助下载方法,针对协助数据无法交付目标车辆问题,设计了在盲区创建数据副本的“N-副本”策略,提高了系统的 QoS (quality of service) 性能。

以上研究<sup>[6-7,9]</sup>在一跳直接流量的建模过程中,假定车辆在 RSU 通信范围内一跳直接可达,没有考虑车辆有效传输半径对下载的影响问题。另外,文献[6]把转发节点视作一个独立发送的源节点,以此进行吞吐量建模,但实际的转发节点并非时刻有数据待发,因此需要进一步研究转发状态下的信道竞争问题。以上 2 种问题都可能造成流量计算的误差。

此外,传输文件的流量特性也是协助下载需要重视的问题。文献[6]与文献[7]均以固定传输速率的应用层协议传输电影文件,本质上是将视频作为普通数据文件进行下载。其中,文献[6]未考虑数据丢失及重传问题,而文献[7]规定数据块丢失后需要后续 RSU 重传给目标车辆,研究如何将电影文件完整无误地下载到目标车辆。文献[9]没有指明传输的文件类型,但实验中也是以恒定速率发送数据。所以上述研究都没有考虑视频流的突发、非连续及低速特性。Huang 等<sup>[13]</sup>考虑目标车辆从 3G 公网下载视频流媒体,但同时利用 802.11p 协议进行车间协作下载,有效提高了视频流媒体传输画质,但没有考虑车流密度对协助下载的影响。Mohamed 等<sup>[14]</sup>利用硬件搭建了车联网视频传输系统,并在实验床中测试了视频传输质量,但研究仅完成了室内与室外的静态拓扑实验,没有考虑车辆移动对视频质量的影响。

本文 2.1 节~2.3 节,将对上述研究涉及的问题,

展开具体的分析。

## 2.1 车辆有效传输半径问题

由于发射功率、天线尺寸及安装位置等物理原因,基站 RSU 有效传输半径  $R_r$  通常大于车辆 OBU 有效传输半径  $R_o$ 。当车辆在公路上以车速  $v_i$  行驶, OBU 与 RSU 之间的距离  $d$  经过以下 3 种情况。

- 1) 基站在车辆通信范围内,即  $d < R_o$ 。
- 2) 车辆仍在基站通信范围内,但基站不在车辆通信范围内,即  $R_o < d < R_r$ 。
- 3) 车辆不在基站通信范围内,即  $d > R_r$ 。

文献[6-7,9]认为,对于情况 1)与情况 2),两节点均可直接通信;对于情况 3),两节点无法直接通信。当目标车辆完整地穿越某个 RSU 覆盖区域后,文献[6,9]推导出一跳直接传输的累计时长为  $\frac{2R_r}{v_i}$ ,并给

出了下载流量计算式。换言之,上述研究假设 OBU 只要在 RSU 的通信范围内,就可以实现一跳通信。

但本文认为,IEEE 802.11p 协议的 MAC 层是基于 data 帧与 ACK 帧的“二帧交换”。对情况 2), OBU 固然可以收到来自 RSU 的数据帧,但由于 RSU 不在 OBU 有效通信范围内, OBU 的 ACK 确认帧无法被 RSU 接收,从而导致二帧交换失败。因此,需要具体分析情况 2)的传输过程。

考虑车辆 OBU 和基站 RSU 构成的最小网络 (RSU→OBU),如图 2 所示。OBU 有效传输半径  $R_o=300$  m,初始坐标为(280,10)。RSU 有效传输半径  $R_r=1\ 000$  m,初始坐标为(1,10)。应用层传输视频,MAC 层为 IEEE 802.11p 协议。从 0 时刻起,RSU 向 OBU 发送视频,此时两者距离为  $d=279$  m。从第 10 s 开始, OBU 以车速  $v_i=30$  m/s 向目的坐标 (900,10)移动,此后 OBU 与 RSU 的距离  $d$  随时间逐渐增大。根据 NS2 仿真 trace 文件, OBU 和 RSU 之间的部分数据帧记录如表 1 所示。

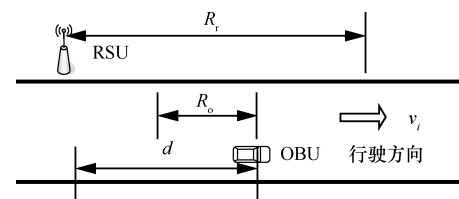


图 2 车辆 OBU 和基站 RSU 传输示意

表 1 中第二列为事件类型,“s”、“r”及“d”分别代表“发送”、“接收”及“丢弃”;第三列为事件发生的时刻,单位为 s;第四列为事件所在

节点代号，“0”代表 RSU 发送节点，“1”代表 OBU 接收节点；第五列为协议层，“RTR(router)”及“MAC”分别代表有关事件发生在“网络层”及“MAC 层”；第六至八列分别代表分组丢失原因、帧序号与帧类型。DUP、CBK 和 RET 分别代表 3 种不同的分组丢失原因 DROP\_MAC\_DUPLICATE、DROP\_RTR\_MAC\_CALLBACK 和 DROP\_MAC\_RETRY\_COUNT\_EXCEEDED。

表 1 显示，随着车辆 OBU 逐渐远离基站 RSU，传输过程经历了 3 个阶段。

第一阶段(记录号为 2~5)，当 RSU 在 OBU 的 300 m 有效传输半径内，273 号视频帧正常发送且被 OBU 接收，随后 RSU 也收到了来自 OBU 的 ACK 确认，二帧交换顺利完成。可以发现，当 ACK 确认帧在  $t=10.639\ 06\ s$  被收到时，两节点距离  $d=298.2\ m$ 。

第二阶段(记录号为 14~16)，RSU 发送的 274 号视频帧被 OBU 接收，随后 OBU 于  $t=10.736\ 504\ s$  发送了 ACK 确认帧，由于节点移动已达  $0.736\ 504\ s$ ，即 OBU 向东移动 22 m，此时两节点相距  $d=301\ m$ ，该距离小于 RSU 传输半径  $R_r$ ，却大于 OBU 传输半径  $R_o$ 。但 OBU 仅能在 300 m 内实现有效通信，所以 RSU 无法接收到该 ACK 帧。

第三阶段(记录号为 18~44)，由于收不到 ACK 确认，RSU 开启 MAC 层重传。但在第二阶段 OBU 已经正确接收了 274 号视频帧，因此 OBU 以

duplicate(DUP)重复，丢弃了重传的 274 号视频帧，并继续对 RSU 发送 ACK 确认帧，但因为两者距离进一步拉大，第二次 ACK 确认帧仍然无法被 RSU 接收。以上过程共计重复了 7 次，达到了 MAC 层规定的最大重传次数，RSU 最终放弃重传，并在 MAC 层以“重传次数超限 (RET, retry)”原因丢弃 274 号帧，同时在网络层以“链路层断开 (CBK, call back)”原因丢弃包含该视频帧的 IP 分组。此后，网络层开始重新路由，但 OBU 同样无法将 AODV 路由帧发送至 RSU，两者间仍然无法通信。

以上分析说明，当 OBU 与 RSU 的距离  $d$  大于  $R_o$ ，由于 ACK 帧传输失败，一跳通信将会中断。因此车辆移动过程中，MAC 层遵守如下通信规则。

- 1)  $d < R_o$ ，两者可以进行一跳直接通信。
- 2)  $d > R_o$ ，两者无法进行一跳直接通信。

而文献[6-9]的一跳直接传输的距离假设 ( $d < R_r$ )，会高估一跳传输的下载量。所以 OBU 传输半径  $R_o$  是流量建模必须考虑的因素。

## 2.2 同向转发的信道竞争问题

两跳转发 (RSU→OBU1→OBU) 的信道竞争过程为：1) RSU 占用信道将数据发往车辆 OBU<sub>1</sub>；2) OBU<sub>1</sub> 占用信道将数据转发至目标车辆 OBU。文献[6]假定上述 2 个过程互相独立，RSU 与 OBU<sub>1</sub> 作为 2 个独立的源节点公平地竞争信道。

但本文认为，OBU<sub>1</sub> 转发的数据帧来自源节点

表 1 NS2 仿真 IEEE802.11p 传输 Trace 记录

记录号	事件类型	事件发生时刻/s	节点代号	协议层	分组丢失原因	帧序号	帧类型
2	s	10.638 406	_0_	MAC	—	273	视频
3	r	10.638 999	_1_	MAC	—	273	视频
5	r	10.639 06	_0_	MAC	—	0	ACK
14	s	10.734 995	_0_	MAC	—	274	视频
15	r	10.736 488	_1_	MAC	—	274	视频
16	s	10.736 504	_1_	MAC	—	0	ACK
18	s	10.736 683	_0_	MAC	—	274	视频
19	d	10.738 176	_1_	MAC	DUP	274	视频
20	s	10.738 192	_1_	MAC	—	0	ACK
21	s	10.738 56	_0_	MAC	—	274	视频
22	d	10.740 053	_1_	MAC	DUP	274	视频
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
36	d	10.750 861	_0_	RTR	CBK	274	视频
43	d	10.750 861	_0_	MAC	RET	274	视频
44	s	10.750 886	_0_	MAC	---	0	AODV

RSU、 $OBU_1$  待发数据帧并争用信道的前提，是 RSU 成功地发送了数据帧。因此， $OBU_1$  并非独立的源节点。VCoDS 模型可能会低估转发状态的下载流量，因此流量模型也需要进一步改进。

### 2.3 视频流媒体下载问题

文献[6-7,9]均以固定传输速率传输电影文件，基于 CBR 协议的下载具有简单、易于实现的特点，但缺点是对文件传输的容错度较低，为保证文件下载的完整性，缺失或错误的数据块必须等待目标车辆进入下一个基站区域后重新下载<sup>[7]</sup>，这既不符合移动用户的观影习惯，也会增加文件传输时间。

相较 CBR 协议下载，“边下载边观看”的流媒体传输更适合移动客户端。流媒体的优点是发送速率并不恒定，占用带宽小，对丢帧的容错性更好，一般不需要考虑数据块重传问题。流媒体的传输经验表明，视频下载缓冲的时间要尽可能少，视频帧的少量丢失并不会对视频播放带来很大影响。相较某些画面的解码错误，用户对播放的卡顿更为敏感。所以，有必要针对视频流应用，研究车联网协助下载问题。

## 3 同向多跳下载流量的改进建模

由于建模结果要与 NS2 仿真值进行比较，为了避免转发车辆不存在造成 NS2 仿真流量为 0 的情况（概率上可能发生），本文先假定车辆密度足够大，即目标车辆在行驶中总能找到转发节点，这样建模得到的数值均为最大可达流量。

### 3.1 车联网一般吞吐量模型

考虑 RSU 在  $2R_0$  范围内有  $n$  个车辆节点，假设任一车辆节点  $i$  在某个随机时隙内发送一个数据帧的概率为  $\tau$ ，该数据帧与其他节点发出的数据帧发生碰撞的概率为  $\eta$ 。在  $n$  一定时，有如下关系。

$$\tau = 1 - (1 - \eta)^{n-1} \quad (1)$$

根据 Bianchi 利用马尔可夫链的建模， $m$  为最大重传次数， $CW_{\min}$  为最小竞争窗口值，令  $W = CW_{\min}$ ，有

$$\tau = \frac{2}{1 + W + \eta \sum_{i=0}^{m-1} (2\eta)^i} \quad (2)$$

通过联立式(1)与式(2)，可求解  $\tau$  的数值解。

$T_{\text{data}}$  为一帧中的数据传输时长， $T_\sigma$  为信道空闲的平均时间， $T_{\text{difs}}$ 、 $T_{\text{sifs}}$  及  $T_{\text{ACK}}$  分别为分布式帧间间隙、短帧间间隙及 ACK 帧传输时间。IEEE 802.11p 的 MAC 层数据传输效率<sup>[6]</sup>为

$$\psi(n) = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}T_{\text{data}}}{(1-\tau)^n T_\sigma + (1-(1-\tau)^n)(T_{\text{difs}} + T_{\text{data}} + T_{\text{sifs}} + T_{\text{ACK}})} \quad (3)$$

### 3.2 同向下载流量建模

#### 3.2.1 一跳下载流量

当目标车辆  $OBU$  进入 RSU 通信范围，根据 2.1 节的分析，此时  $OBU$  无法与 RSU 直接通信，直至 RSU 进入车辆  $OBU$  的通信范围，一跳的直接下载才能进行。因此车辆  $OBU$  的一跳直接下载时长为  $\frac{2R_0}{v_i}$ 。发送节点数  $n=1$ ，根据式(3)，有数据传

输效率  $\psi(n=1)$ 。IEEE 802.11p 协议标称的数据速率为  $\omega$  Mbit/s。由于车辆密度足够大，考虑目标车辆存在概率  $P_v=1$ ，则改进模型的一跳直接流量为

$$T_1 = P_v \psi(1) \omega \frac{2R_0}{v_i} = \frac{\tau T_{\text{data}} \omega}{(1-\tau)T_\sigma + \tau(T_{\text{difs}} + T_{\text{data}} + T_{\text{sifs}} + T_{\text{ACK}})} \frac{2R_0}{v_i} \quad (4)$$

#### 3.2.2 两跳下载流量

随着  $OBU$  与 RSU 距离增加，两者进入转发下载状态。在“两跳下载”( $RSU \rightarrow OBU_1 \rightarrow OBU$ )环境下，假设转发节点能迅速地转发数据帧，不会因带宽有限导致数据帧在转发节点处排队。在一个时隙中至少有一个帧在传输的概率为  $P_{tr}$ ，有且仅有一个帧传输成功的概率为  $P_s$ ，有

$$P_{tr}(n) = 1 - (1 - \tau)^n \quad (5)$$

$$P_s(n) = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{1 - (1 - \tau)^n} \quad (6)$$

$OBU_1$  “有帧待发”的前提是 RSU 成功发送一个帧。所以一个时隙中， $OBU_1$  有帧待发的概率为  $P_t = P_{tr}(2)P_s(2)$ ，则  $OBU_1$  节点无帧待发的概率为  $1 - P_{tr}(2)P_s(2)$ 。下面分 2 种情况，讨论转发过程中的信道竞争问题。

**情况 1** 当  $OBU_1$  有帧待发。由于 RSU 也处于有帧待发状态，相当于 RSU 与  $OBU_1$  公平竞争信道，则有发送节点数  $n=2$  及  $\tau(n=2)$ 。根据式(3)，可计算两节点争用信道的传输效率  $\psi(2)$ 。

**情况 2** 当  $OBU_1$  无帧待发。由于只有 RSU 处于有帧待发状态，相当于回到“一跳”状态，此时除了 RSU，没有其他节点发送，则有发送节点数  $n=1$  及  $\tau(n=1)$ 。根据式(3)，可计算一节点争用信道的传输效率  $\psi(1)$ 。

根据以上 2 种情况, 改进模型的两跳流量为

$$T_2 = P_{tr}(2)P_s(2)\psi(2)\frac{\omega R_o}{2 v_i} + [1 - P_{tr}(2)P_s(2)]\psi(1)\omega\frac{R_o}{v_i} =$$

$$[2\tau(1-\tau)]\frac{\tau(1-\tau)T_{data}\omega}{(1-\tau)^2T_\sigma + (1-(1-\tau)^2)(T_{difs} + T_{data} + T_{sifs} + T_{ACK})} \frac{R_o}{v_i} +$$

$$[1 - 2\tau(1-\tau)]\frac{\tau T_{data}\omega}{(1-\tau)T_\sigma + \tau(T_{difs} + T_{data} + T_{sifs} + T_{ACK})} \frac{R_o}{v_i} \quad (7)$$

### 3.2.3 三跳下载流量

与两跳流量类似, 三跳下载 (RSU→OBU<sub>1</sub>→OBU<sub>2</sub>→OBU) 的转发节点也不是独立地随机发送。同样假定转发不会出现排队, OBU<sub>1</sub> 有帧待发必须要 RSU 成功发送一个帧, 而 RSU 成功发送一个帧, 又需要与另外的 2 个节点竞争信道。所以一个时隙中, OBU<sub>1</sub> 有帧待发的概率为  $P_f=P_{tr}(3)P_s(3)$ , 则 OBU<sub>1</sub> 节点无帧待发的概率为  $1-P_{tr}(3)P_s(3)$ 。

**情况 1** 当 OBU<sub>1</sub> 有帧待发。RSU 与 OBU<sub>2</sub> 处于有帧待发状态, 相当于 3 个节点公平竞争信道, 则有发送节点数  $n=3$  及  $\tau(n=3)$ 。根据式(3), 可计算三节点争用信道的传输效率  $\psi(3)$ 。

**情况 2** 当 OBU<sub>1</sub> 无帧待发。即 RSU 与 OBU<sub>2</sub> 均可能发送, 有发送节点数  $n=2$  及  $\tau(n=2)$ 。根据式(3), 可计算两节点争用信道的传输效率  $\psi(2)$ 。

结合以上 2 种情况, 改进模型的三跳流量为

$$T_3 = P_{tr}(3)P_s(3)\psi(3)\frac{\omega R_o}{3 v_i} + [1 - P_{tr}(3)P_s(3)]\psi(2)\frac{\omega R_o}{2 v_i} \quad (8)$$

式(7)、式(8)也可根据式(3)或式(5)及式(6)的定义展开。

### 3.2.4 四跳及五跳下载流量

以上分析的两跳及三跳流量, 都假设转发节点能迅速地转发数据帧, 不会因带宽有限而造成数据帧在转发节点处排队。但随着跳数的增加, 可用带宽迅速下降, 转发节点处可能产生分组队列, 此时考虑排队因素, 会使流量建模更加复杂。另一方面, 第四、五跳在前五跳总流量中所占比重并不大。为了简化建模及计算, 以第三跳流量的一半作为第四跳流量, 以第四跳流量的一半作为第五跳流量, 近似有

$$T_4 \approx \frac{T_3}{2} \quad (9)$$

$$T_5 \approx \frac{T_4}{2} \quad (10)$$

### 3.3 仿真实验

车辆单元 OBU 有效传输半径  $R_o$  分别为 1 000 m、600 m、300 m 和 150 m, 路边单元 RSU 有效传输半径  $R_r=1$  000 m。目标车辆 OBU 以车速  $v_r=30$ m/s 穿越基站 RSU。为了尽可能达到流量上限, NS2 仿真设定车辆密度足够大, 应用层选用发送速率 3 Mbit/s 且分组长度 1 000 B 的 CBR 协议。IEEE 802.11p 协议 MAC 层参数设置如表 2 所示, 其中标称速率  $\omega$  为 3 Mbit/s, 保证实验流量处于满载状态。OBU 传输半径  $R_o$  分别在 4 种情况下, NS 仿真、改进模型与 VCoDS 模型的下载流量如表 3~表 6 所示。

表 2 IEEE802.11p 协议 MAC 层参数设置

NS2 参数	对应文中变量	参数值
BasicRate/ (Mbit·s <sup>-1</sup> )	—	1
DataRate/ (Mbit·s <sup>-1</sup> )	$\omega$	3
ACKTime/s	$T_{ACK}$	0.000 112
SlotTime/s	$T_\sigma$	0.000 013
DIFS/s	$T_{difs}$	0.000 058
SIFS/s	$T_{sifs}$	0.000 032
DataTime/s	$T_{data}$	0.002 949
$CW_{max\_}$	$CW_{max}$	1 024
$CW_{min\_}$	$CW_{min}$	32
RetryLimit_	$m$	7

分析表 3~表 6, 可以得到以下三点结论。

首先, 分析第一跳流量。在  $R_o$  的 4 种情况下, 改进模型的第一跳流量都较好地符合 NS 仿真。而 VCoDS 模型的一跳流量始终在 165 Mbit 附近, 而且随着  $R_o$  的减小, 其与 NS 仿真的误差逐渐增大。在车速条件相同时, 一跳传输的流量由通信双方中有效通信范围较小的一方决定。VCoDS 模型假定 RSU 通信覆盖范围内一跳直接可达, 所以会高估一跳传输的流量。数据显示, 一跳流量占总流量的比重最大, 一般达到 50%, 是值得重视的传输环节。

表 3 NS 仿真、改进模型及 VCoDS 模型各跳流量对比( $R_0=1\ 000\text{ m}$ )

模型	一跳/Mbit	二跳/Mbit	三跳/Mbit	四跳/Mbit	五跳/Mbit	合计/Mbit
NS 仿真	178.0	78.9	42.7	30.5	26.4	356.5
改进模型	175.8	78.6	41.8	20.9	10.4	327.6
VCoDS 模型	165.7	44.0	28.8	21.2	16.7	276.4

表 4 NS 仿真、改进模型及 VCoDS 模型各跳流量对比( $R_0=600\text{ m}$ )

模型	一跳/Mbit	二跳/Mbit	三跳/Mbit	四跳/Mbit	五跳/Mbit	合计/Mbit
NS 仿真	104.2	47.1	22.1	9.8	5.8	189.1
改进模型	105.5	47.2	25.1	12.5	6.3	196.5
VCoDS 模型	165.7	26.4	17.3	12.7	10.0	232.1

表 5 NS 仿真、改进模型及 VCoDS 模型各跳流量对比( $R_0=300\text{ m}$ )

模型	一跳/Mbit	二跳/Mbit	三跳/Mbit	四跳/Mbit	五跳/Mbit	合计/Mbit
NS 仿真	54.3	23.2	12.5	5.6	2.8	98.5
改进模型	52.7	23.6	12.5	6.3	3.1	98.3
VCoDS 模型	165.7	13.2	8.6	6.4	5.0	198.9

表 6 NS 仿真、改进模型及 VCoDS 模型各跳流量对比( $R_0=150\text{ m}$ )

模型	一跳/Mbit	二跳/Mbit	三跳/Mbit	四跳/Mbit	五跳/Mbit	合计/Mbit
NS 仿真	25.1	11.7	7.1	3.6	2.3	49.8
改进模型	26.4	11.8	6.3	3.1	1.6	49.1
VCoDS 模型	165.7	6.6	4.3	3.2	2.5	182.3

其次,分析第二、三跳流量。在  $R_0$  的 4 种取值下, VCoDS 模型计算值都比 NS 仿真值低, 而改进模型则较好地符合 NS 仿真。这是由于 VCoDS 模型假设源节点与转发节点在持续而公平地竞争信道。而实际上, 一旦转发节点快速地将某帧转发完成, 此刻转发节点就不再争用信道, 源节点 RSU 可单独发送数据帧。由于高估了转发节点争用信道的程度, VCoDS 模型的计算值偏低。数据显示, 二跳至三跳合计流量占总流量的 35%。因此二至三跳的转发对提高下载性能是有益的。

再次,分析第四、五跳流量。由于第四、五跳的流量没有精确建模, 所以在  $R_0=1\ 000\text{ m}$  时, 相较 NS 仿真, 改进模型的第四、五跳流量的误差偏大, 但在其他 3 种  $R_0$  值时, 仍可较准确地预测流量。另外, 由于第四、五跳流量在总流量中所占份额比较小, 这种估算也未给下载总流量带来较大误差。数据显示, 四跳及五跳合计占比约 15%, 显示三跳以上的转发性能下降明显, 多跳传输仅对轻负载应用有一定程度的帮助。

## 4 同向与对向协助下载 QoS 方案

针对流媒体特性, 本文提出同向与对向协助下载 (SODCD-QoS, same and opposite direction cooperative downloading) 方案。一方面, RSU 利用同向协助车辆实现与目标车辆的多跳传输; 另一方面, 对向协助车辆将数据一跳直接传输至目标车辆。

### 4.1 视频流媒体特性

以本文传输的视频为例, MPEG(moving picture experts group)对 YUV(一种彩色电视编码方法)格式的原始视频进行压缩转码, 得到周期性图像组 (GOP, group of pictures)为单位的 mp4 文件, 再将 mp4 文件转换为视频 st 文件, 其视频帧编码信息如表 7 所示。表中第二列为视频帧类型, 根据不同的画面类型, GOP 可分为内部编码 I 帧、前向预测 P 帧及双向内插 B 帧。第三列为原始视频帧长度; 第四列的含义为原始视频帧以 1 024 B 长度切割后, 在传输层的分组数量; 第五列为原始视频帧发送时

刻。源端按照 st 文件设定的发送次序及发送时刻依次传输各视频帧。

表 7 视频 st 文件示例

视频帧号	视频帧类型	视频帧尺寸/B	UDP 分组数量	发送时刻/s
1	I	4 921	5	0.035
2	P	1 008	1	0.135
3	B	97	1	0.135
4	B	91	1	0.135
5	P	653	1	0.235

观察表 7 第一至四行记录, 在时间区间(0, 0.235) s, 视频流媒体的平均发送速率仅为 0.208 2 Mbit/s, 可见视频流媒体具有发送速率偏低、发送不连续且信道占用率不高的特性。

当目标车辆远离 RSU, 同向可用带宽随着传输跳数的增加而减小。对恒定速率发送的 CBR 应用而言, 多跳转发容易造成转发节点缓冲区排队, 进而导致数据帧延迟甚至丢失。但由于视频流媒体的轻负载特性, 多跳传输模式可以基本满足其传输要求。

#### 4.2 同向协助下载设计

由于 VCoDS 算法不支持两跳以上的协助下载, 算法从两跳协助下载结束到重新接近下一个 RSU 恢复两跳传输, 中间的传输“空白区”没有充分利用。

因此本文考虑, 一旦 RSU 不在 OBU 通信范围内( $d > R_0$ ), 只要有合适的同向协助车辆, 则进入多跳转发下载。直至 OBU 离开 RSU 通信范围( $d > R_r$ ), 进入“盲区”, 多跳的协助下载仍可继续。如果存在同向协助车辆, 盲区中的多跳协助下载, 理论上可以扩展到动态路由算法支持的最大转发跳数。

设某时刻目标车辆 OBU 与 RSU 之间距离的绝对值为  $d$ , 同向下载方案如下。

- 1)  $d \leq R_0$ , 执行同向一跳直接下载。
- 2)  $d > R_0$ , 执行同向多跳协助下载。
- 3) 当同向多跳协助节点不再存在, 同向协助下载终止。

同向协助下载伪代码如下。

```

if ( $d \leq R_0$ )
    1-hop direct communication
end
if ( $d > R_0$  && multi-hop cooperative nodes exist)
    multi-hop communication
end
    
```

#### 4.3 对向协助下载设计

对向协助下载分为 3 个步骤。1) 服务器将未能完成的下载任务委托后方 RSU; 2) 在对向车流中筛选出符合条件的对向协助节点; 3) 根据用户不同的 QoS 选车策略, 选择合适的对向协助节点完成数据协助传输任务。

##### 4.3.1 冗余任务分解

目标车辆终止同向多跳传输后, 服务器再分配后方 RSU 加载数据至对向车辆, 会导致等待时间增加。因此, 当目标车辆在第一个 RSU 注册时, 服务器就可与后方 RSU 协调分配任务。由于视频流媒体发送速率不恒定, 再加上同向协助下载的跳数存在不确定性, 文献[9]的精确任务分解策略不一定适用。所以, 本文基于流媒体特性, 提出一种冗余任务分解算法。

目标车辆在 RSU 注册时, 获取当前同向车流所能支持的最大转发跳数  $num$ , 对一跳传输不能完成的视频, 依次取同等时长的视频段  $segment[y], y=1, 2, 3, \dots$ 。每个  $segment[y]$  时间长度等于一跳对向协助的可传输时长  $t_v$ , 基站间距为  $D_{IB}$ , 规定  $y < \frac{D_{IB}}{v_t t_v}$ 。若经

上述分配后视频还未结束, 则将剩余视频内容分配于后方第二个 RSU。定义正整数  $L$ , 该参数可以根据应用的实际场景动态设置, 根据上文流量建模, 一般取  $L=5$ 。任务分解算法思路如下。

- 1) 当  $num < L$ , 则后方 RSU 从  $segment[num+1]$  开始分配对向数据。
- 2) 当  $num \geq L$ , 则后方 RSU 从  $segment[L+1]$  开始分配对向数据。

可见, 对低于  $L$  跳的同向多跳协助下载, 系统认为多跳转发均能顺利完成, 后方 RSU 从多跳转发结束后的视频  $segment[num+1]$  开始加载至对向车辆。

对高于  $L$  跳的同向多跳协助下载, 系统认为第  $(L+1)$  跳开始的多跳转发不可靠, 后方 RSU 从  $segment[L+1]$  开始向对向车辆加载的数据。所以, 对向加载的  $segment[L+1]$  至  $segment[num]$  视频均为冗余数据。如果同向协助传输由于跳数过多而丢失视频, 可利用上述对向车辆携带的冗余数据补充缺失的信息。

##### 4.3.2 对向协助的候选节点

并非所有的对向车辆都适合向目标车辆传输数据。要成为对向协助的候选节点, 对向 (OD, opposite direction) 车辆必须满足以下 2 个约束条件。

### 1) 数据加载时间条件

设目标车辆的速度  $v_i$ ，对向车辆  $j$  的速度  $v_j$ 。高速公路上依次分布的后方基站为  $RSU_k, k=2,3,\dots$ 。基站位置坐标为  $RSU_k_x$ ，目标车辆的注册位置坐标为  $target_x$ ，对向车辆  $j$  的注册位置坐标为  $OD_j_x$ ， $j=1,2,3,\dots$ 。通过车辆定期发送的广播消息，基站  $RSU_k$  可获取附近对向车辆的相关行驶信息，所有车辆 OBU 传输半径均为  $R_0$ 。

对向协助车辆  $j$  与目标车辆可传输时长为

$$t_v = \frac{2R_0}{v_i + v_j} \quad (11)$$

对向车辆  $j$  与基站  $RSU_k$  间距离为

$$D_j = OD_j_x - RSU_k_x \quad (12)$$

$D_j$  值可为负数或零，后方  $RSU_k$  与对向车辆  $j$  传输数据的预估时长为

$$t_e = \frac{D_j + R_0}{v_j} \quad (13)$$

为了最大限度利用协助车辆传输数据，保证对向车辆能从后方  $RSU$  加载到合适大小的协助数据，对向协助的候选节点应满足以下时间条件

$$t_e \geq t_v \quad (14)$$

对于后方  $RSU$ ，如果  $t_e < t_v$ ，表示该对向节点没有足够时间从  $RSU$  处下载到合适的协助数据，为避免  $RSU$  频繁向某些对向车辆加载少量数据，则基站放弃这类节点。如果  $t_e \geq t_v$ ，表示该对向节点具备充足的时间从后方  $RSU$  处下载到数据，则该对向车辆  $j$  可作为协作候选节点。

### 2) 对向协助位置条件

同向一跳下载的流量占比高，所以对向协助传输不能干扰目标车辆与基站  $RSU$  的一跳下载。本文考虑以两车相遇的位置信息，判断是否会发生冲突。

基站估计的对向车辆  $j$  开始对向协助传输的位置为

$$s_e = OD_j_x - v_j \frac{(OD_j_x - target_x - R_0)}{v_i + v_j} \quad (15)$$

为了保证对向传输不干扰同向的一跳传输，对向协助的候选节点还应满足以下位置条件

$$s_e > RSU_k_x + R_0 \text{ 或 } s_e < RSU_k_x - R_0 \quad (16)$$

如满足式(16)，对向车辆  $j$  可作为协作候选节点。否则，表示对向车辆将在基站附近的位置区间  $(RSU_k_x - R_0, RSU_k_x + R_0)$  内与目标车辆相遇并通

信，则后方基站放弃该节点。

### 4.3.3 QoS 选车策略

将同时满足式(14)与式(16)的候选车辆，按注册位置坐标自小到大顺序排列，组成一个候选协作车辆集合  $Q$ ，定义  $Q$  集合中相邻车辆之间的距离为  $od_{d_h}, h=1,2,3,\dots$ 。根据不同的 QoS 选车策略，可从  $Q$  中选择适合的协作车辆加载数据，每车的数据加载时长仍为  $t_v$ 。

#### 1) 时间优先(time first) QoS 策略

为了尽量减少视频传输时间，候选车辆集合  $Q$  中的所有车辆皆可顺序加载协作数据，如图 1 所示，策略要求选择的相邻协作车辆间距满足  $od_{d_h} \geq 0$ 。后方  $RSU$  尽可能快地在集合  $Q$  中的对向车辆上加载视频，再由以上车辆转发至目标车辆，以节约相邻对向下载之间的等待时间。但该策略下，相邻协作节点因为距离过近，增加了传输冲突的概率。

#### 2) 画质优先 (picture quality first) QoS 策略

在不增加过多传输时间的前提下，尽量保证视频的画质。如图 1 所示，在候选车辆集合  $Q$  中，策略要求选择的相邻协作车辆间距满足  $od_{d_h} \geq R_0$ 。车速一定时，相邻对向协助节点之间距离越大，冲突的概率越小。所以该策略选择的相邻对向节点间距  $od_{d_h}$  至少为  $R_0$ ，既可以减少传输冲突带来的画质损失，又不会造成太长的等待延时。

对向协助下载伪代码如下。

#### ① 冗余任务分解

input:  $L$

target vehicle gets same-direction cooperation

max number-hop: num

if (num <  $L$ )

    next RSU assign video Segment[num+1]

end

if (num  $\geq L$ )

    next RSU assign video Segment[ $L+1$ ]

end

#### ② 对向协助的候选节点

$$t_v = \frac{2R_0}{v_i + v_j}$$

$$t_e = \frac{D_j + R_0}{v_j}$$

$$s_e = OD_j_x - v_j \frac{(OD_j_x - target_x - R_0)}{v_i + v_j}$$

```

If ( $t_e \geq t_v$  && ( $s_e > RSU_{k_x} + R_0 \parallel s_e < RSU_{k_x} - R_0$ ))
  set Q {select  $j$  as carrier}
end

```

③ QoS 选车策略。定义相邻的对向协助节点间距为  $od_{d_h}$ ,  $h=1,2,3\cdots$

```

if (time first)
  Q && ( $od_{d_h} \geq 0$ )
end
if (picture quality first)
  Q && ( $od_{d_h} \geq R_0$ )
end

```

### 5 算法仿真对比

下面对 SODCD-QoS(简称 QoS)、VCoDS 及 DSRelay 算法进行 NS 仿真。实验均满足以下条件：所有 RSU 有效传输半径  $R_r=1\ 000\text{ m}$ ，所有车辆 OBU 有效传输半径  $R_o=300\text{ m}$ 。基站  $RSU_1$  坐标为(2 000,0)， $RSU_2$  坐标为(7 000,0)，相邻 RSU 间距 5 000 m，后续 RSU 坐标依次类推。同向与对向车流的车辆密度为  $\rho$ ，长度为  $x\text{ m}$  的某路段上，同向与对向车辆数目均满足  $\lambda=\rho x$  的泊松分布<sup>[15]</sup>，则该路段存在  $n$  辆车的概率密度函数为  $p(n)=\frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!}$ 。MAC 层参数设置如表 2 所示。NS2 视频流媒体仿真平台使用 myEvalvid-NT<sup>[16]</sup>。

本文使用峰值信噪比 PSNR (peak signal to noise ratio)作为视频质量评价指标<sup>[17]</sup>。PSNR 单位为 dB，其值越大，表示画质越好。为了直观比较算法的视频传输结果，表 8 给出了视频质量平均主观评分对应表。另外，图 4 与图 8 中的每个 PSNR “离散点”代表某一段视频成功传输后统计的画质结果，连接离散点的折线没有画质意义。

表 8 视频质量平均主观评分与等级的对应关系

PSNR/dB	等级
>37	优
31~37	良
25~31	中
20~25	较差
<20	差

**实验 1** 车辆密度  $\rho=0.025$  时，各算法下载过程对比

同向及对向车流的车辆密度  $\rho=0.025$ ，视频 mp4

文件 6.66 MB (YUV 文件 216 MB)。车辆速度均为 30 m/s。目标车辆初始坐标(1 600,10)。目标车辆的数据下载量及画质参数 PSNR 分别如图 3 和图 4 所示。

图 3 可见，下载最快的是 QoS(time first)算法，其后依次为 QoS(picture quality first)、DSRelay 及 VCoDS 算法。QoS 算法使用同向多跳协助下载，其下载曲线在 72 s 处才停滞，此后在 85 s 处就迎来对向协助传输，由于存在同向多跳协助传输，减少了等待对向协助车辆抵达所需的时间，其空窗期仅为 13 s，所以能较快地完成下载。而 DSRelay 算法只支持与基站一跳直接下载，没有同向车辆协助，下载量曲线在 21 s 处停滞，此后在传输空窗约 64 s 后，迎来对向协助车辆的数据传输。VCoDS 算法只能依靠同向一跳直接与同向两跳协助下载，所以下载量曲线在 26.6 s 处出现停滞，较 DSRelay 晚了近 6 s，此后在盲区内完全没有数据流量，两基站间的空窗期达 135 s，所以下载耗时最长。

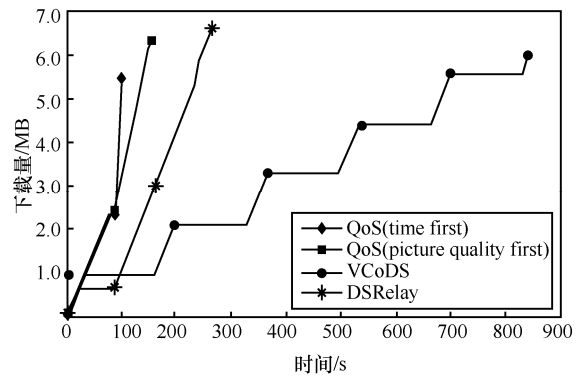


图 3 车辆密度 ( $\rho=0.025$ ) 数据下载对比

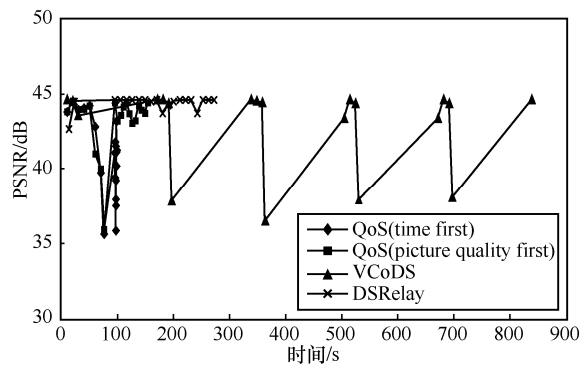


图 4 车辆密度 ( $\rho=0.025$ ) PSNR 对比

图 4 可见，由于 DSRelay 算法的协作车辆间距设为  $2R_0$ ，可以尽量避免传输冲突，其视频质量最好，所有 20 个视频片段的主观评价均为“优”等级。QoS (picture quality) 算法的画质较好，主观

评价为“优”与“良”的视频数分别是 19 和 1。自 76 s 起, QoS (picture quality first) 算法的传输画质明显高于 QoS (time first), 说明其选车策略能减少传输冲突, 实现画质优先的设计。QoS (time first) 算法画质一般, 主观评价为“优”与“良”的视频数分别是 18 和 2, 由于挑选的对向协助节点之间距离较小, 传输冲突增加, 在 100 s 附近的画质“点”近似垂直下降。最后, VCoDS 算法主观评价为“优”与“良”的视频数量分别是 19 与 1, 但曲线的锯齿状振荡显示视频下载出现了周期性卡顿, 用户体验难以保证。

另外, QoS 算法的 PSNR 值在 50 s 至 76 s 间下降明显, 而 DSRelay 及 VCoDS 算法在上述区间附近的连线则较为平稳。这是因为后两者在区间的两端只有 2 个离散数据点, 区间内没有任何视频成功传输, 而基于多跳协助的 QoS 算法则可用较低画质的视频填补上述时段, 从而有效减少了用户下载视频的等待时间。

### 实验 2 车辆密度对算法性能的影响

双向车流的车辆密度  $\rho$  分别取 0.006、0.012、0.025、0.05 及 0.08, 视频 mp4 文件 3.33 MB (YUV 文件 108 MB)。所有车辆速度均为 30 m/s。目标车辆均位于坐标(1 600,10)附近。在 5 种车辆密度条件下, 目标车辆的下载时间及平均画质 PSNR 分别如图 5 和图 6 所示。

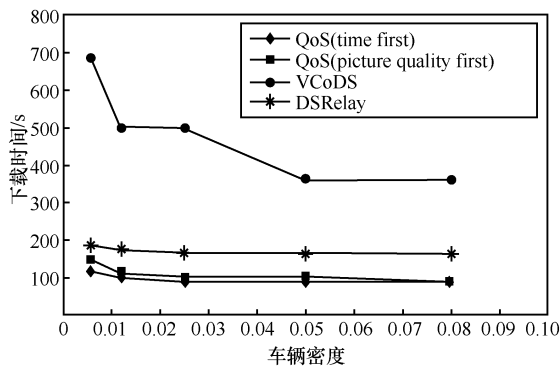


图 5 不同车辆密度下的算法下载时间对比

图 5 可见, 在 5 种车流密度条件下, 文件下载任务最快的是 QoS(time first)算法, 其后依次为 QoS(picture quality first)、DSRelay 及 VCoDS 算法。但图 5 也显示, 随着车流密度的上升, 各算法的下载耗时都出现下降, 且车辆密度在大于 0.025 之后, 下载耗时开始趋于各自的稳定值。以上现象表明, 车辆密度的增加, 能够有效减少协

助下载时间, 但随着车流密度继续增加, 对协助下载性能的影响变得越来越小。此外, 过大的车流密度还会影响高速公路行车安全, 所以车流密度并非越大越好。

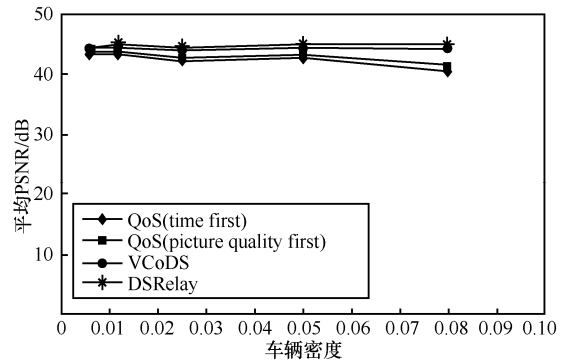


图 6 不同车辆密度下的算法平均画质 PSNR 对比

图 6 可见, 在 5 种车流密度条件下, DSRelay 算法的画质最佳, 其后依次为 VCoDS 算法、QoS(picture quality first)与 QoS(time first)算法。这符合 QoS 双向协助算法牺牲画质以换取下载时间的策略。但 QoS 算法的平均 PSNR 仍然维持在 40 dB 以上, 并未比前两种算法低很多。

另外, DSRelay 与 VCoDS 算法的平均画质 PSNR 值并未随着车辆密度的改变而出现较大的波动。而双向 QoS 算法的 PSNR 却在车流密度增加时, 出现一定程度的下降。这是由于车辆密度上升, 同向转发可以支持更高的跳数, 但端到端跨度的增加使多跳链路更为脆弱。一旦有同向节点出现转发问题, 就会造成通信中断, 重新路由并恢复传输将更加耗时, 传输丢失的数据也更多, 所以跳数过多的转发会对画质产生不利影响。

### 实验 3 协助车辆速度正态分布, 各算法下载过程对比

双向车流的车辆密度  $\rho=0.025$ , 视频 mp4 文件 4.995 MB (YUV 文件 162 MB)。目标车辆初始坐标(1 600,10)。目标车辆速度 30 m/s。其他车辆的速度满足均值为 25, 标准差为 5 的正态分布<sup>[6]</sup>。按照高速公路限速规定, 车速低于 16 m/s 则记作 16 m/s, 高于 33 m/s 记作 33 m/s。协助车辆速度正态分布时, 目标车辆的下载量及画质 PSNR 值分别如图 7 和图 8 所示。

图 7 可见, 协助车辆的车速正态分布时, QoS 算法的下载耗时较短, 其性能优于 VCoDS 与 DSRelay 算法。但相较恒定车速情况, 正态分布的

车速导致 QoS 的 2 种算法的性能差距缩小, 显示下载时间也受到车速的影响。DSRelay 算法的下载耗时显著增加, 对向下载流量出现较多的小停滞, 表明因为选车条件变严苛, 相邻对向协助下载之间容易出现较短的传输空窗。VCoDS 算法的基站间盲区时间仍然较大, 下载也最耗时。

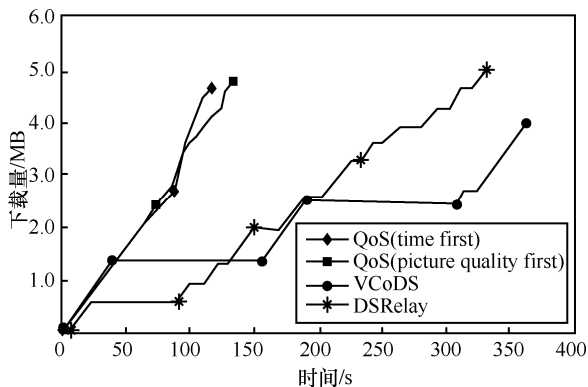


图 7 车速正态分布情况下数据下载对比

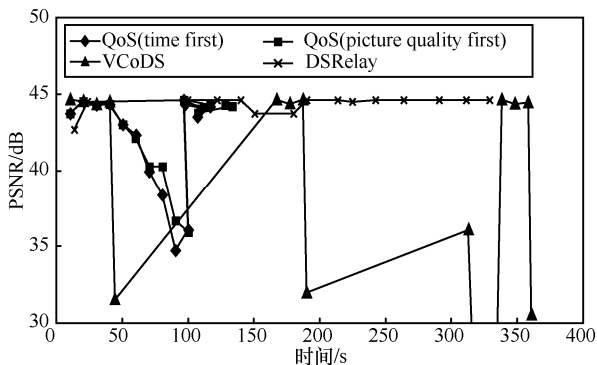


图 8 车速正态分布情况下 PSNR 对比

图 8 显示, QoS(picture quality first)图像质量的画质仍略优于 QoS(time first), 但画质性能也趋于接近。2 种算法传输的 15 个视频片段, 其主观评价为“优”与“良”的数量均分别是 13 与 2。这是由于实验加入车速条件, 车间距离的设置不再是决定协作车辆互相干扰的唯一因素, 正态分布的车速, 增加了对向协助之间发生冲突的可能性, 所以画质优先的 QoS 算法改善画质作用有限。此外, 在对向协助下载阶段, 即 100~120 s 时间段, QoS 算法出现车序靠后的车辆早于靠前车辆完成视频协助传输的现象, 显示车速随机分布给协助传输带来的数据乱序问题, 因此目标车辆需要对乱序的视频进行重排。尽管 DSRelay 算法的所有视频片段主观评价均为“优”, 但其在 50~100 s 时间区间仍然有较长的传输空白。车速正态分布也使 VCoDS 算法的画质

性能出现明显下降, 其主观评价为“优”的视频仅有 10 个。

## 6 结束语

本文首先研究了车辆通信范围及转发状态下信道竞争问题, 建立了同向多跳下载流量改进模型。NS 仿真显示, 相较以往建模, 改进模型可以更准确地估计车联网同向下载流量。其次, 根据流量模型与视频流媒体特点, 设计了一种基于服务质量的双向协助下载方案。最后, 通过 NS 实验对比, 说明新方案能较好地满足视频流媒体 QoS 要求。

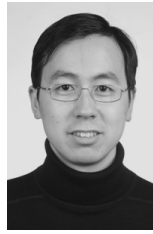
随着用户对观影品质要求的提高, 后续工作将研究同向协助跳数对视频传输质量的影响以及设计合理的冗余备份机制以应对协助车辆驶离公路的问题。

## 参考文献:

- [1] 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  
CHEN L J, JIANG H, WU J, et al. Research on transmission control on vehicle ad-hoc network[J]. Journal of Software, 2007, 18(6): 1477-1490.
- [2] WALEED A. The mobility impact in IEEE 802.11p infrastructureless vehicular networks[D]. Ontario: The University of Waterloo, 2010: 1-2.
- [3] KAORU OTA, MIANXIONG DONG, SHAN CHANG, et al. MMCD: cooperative downloading for highway VANETs[C]//IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing, 2015, 3(1): 34-43.
- [4] 贾建斌, 陈颖文, 徐明. 基于预测的机会车载网络中继选择策略研究[J]. 软件学报, 2015, 26(7): 1730-1741  
JIA J B, CHEN Y W, XU M. Prediction based relay selection method in opportunistic vehicular networks[J]. Journal of Software, 2015, 26(7): 1730-1741.
- [5] ZHAO W C, QIN Y J, CHENG Y J. An efficient downloading service of large popular files in vanet based on 802.11p protocol [J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2015, 11(8):1-10.
- [6] 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. Study on the downlink performance of roadside unit in vehicular ad-hoc networks[J]. Journal of Software, 2015, 26(7): 1700-1710.
- [7] 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. VANET cooperative downloading approach study based on dynamic slot[J]. Chinese Journal of Computers, 2011, 34(8): 1378-1386.
- [8] 刘建航, 毕经平, 葛雨明, 等. 一种基于协助下载方法的车联网选车策略[J]. 计算机学报, 2016, 39(5): 919-930.

- LIU J H, BI J P, GE Y M, et al. A strategy of selecting cooperative vehicle in VANET[J]. Chinese Journal of Computers, 2016, 39(5): 919-930.
- [9] 谢永, 吴黎兵, 何炎祥, 等. 无缝隙的车联网协助下载方法[J]. 通信学报, 2016, 37(1): 180-190.
- XIE Y, WU L B, HE Y X, et al. Non-intermittent cooperative downloading approach for VANET[J]. Journal on Communications, 2016, 37(1):180-190.
- [10] TAO J, CHENG Z, JIN Q, et al. An optimal multiple stopping rule-based cooperative downloading scheme in vehicular cyber-physical systems [J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2017, 13(3):1-12.
- [11] CHEN J Q, MAO G Q, LI C L, et al. Capacity of cooperative vehicular networks with infrastructure support: multiuser case[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2018, 67(2):1546-1560.
- [12] ZHAO J, ARNOLD T, ZHANG Y, et al. Extending drive-thru data access by vehicle-to-vehicle relay[C]//The ACM VANET 2008 in Conjunction with Mobicom 2008. 2008: 66-75.
- [13] HUANG C M, YANG C C, LIN Y C. An adaptive video streaming system over a cooperative fleet of vehicles using the mobile bandwidth aggregation approach[J]. IEEE Systems Journal, 2016,10(2): 568-579.
- [14] MOHAMED M, XU K K, LIU C Y, et al. Design and implementation of multi-hop video transmission experiment system in VANET[J]. Journal of Southeast University, 2014, 30(4): 403-410.
- [15] NG S C, ZHANG W X, ZHANG Y, et al. Analysis of access and connectivity probabilities in vehicular relay networks[J].IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2011, 29(1):140-150.
- [16] KE C H. myEvalSVC: an integrated simulation framework for evaluation of H.264/SVC transmission[J].KSII Transactions on Internet and Information Systems, 2012, 6(1): 378-393.
- [17] 柯志亨, 程容祥, 邓德隽. NS2 仿真实验[M].北京:电子工业出版社,2009: 268-270.
- KE Z H, CHEN R X, DENG D J. NS2 simulation experiment[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2009: 268-270.

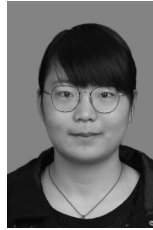
## [作者简介]



陈亮（1982-），男，江苏南通人，博士，南通大学副教授，主要研究方向为 ad hoc 网络、网络拥塞控制、网络性能分析及优化。



王军（1981-），男，江苏南通人，江苏工程职业技术学院高级工程师，主要研究方向为大数据、网络。



陈蓉（1997-），女，江苏泰兴人，主要研究方向为物联网技术。

顾翔（1973-），男，江苏南通人，博士，南通大学教授，主要研究方向为网络协议、无线传感器网络、车联网。

王进（1981-），男，江苏海安人，博士，南通大学副教授，主要研究方向为 Web 智能、推荐系统、不确定性推理。

万杰（1982-），女，山东青岛人，博士，南通大学讲师，主要研究方向为物联网。