

一种提高系统吞吐量的协助下载补偿模型

刘建航^{1),2)} 毕经平²⁾ 徐 鹏²⁾ 边永超²⁾ 李忠诚²⁾

¹⁾(中国石油大学(华东)计算机与通信工程学院 山东 青岛 266555)

²⁾(中国科学院计算技术研究所 北京 100190)

摘 要 随着人们对互联网依赖性的日益提高,人们希望随时随地能够接入 Internet,即使在行驶中的汽车里. 相比于 3G 或 4G 网络,通过路边接入点(AP)接入互联网具有高带宽低延迟的特点. 利用经过的车辆携带用户所需要的数据可以有效地减少由于 AP 分布稀疏所引起的间歇性连接的影响. 然而高速行驶的节点,快速的拓扑变化以及传输碰撞域的重叠将导致协助车所携带的数据不能完全地传递给用户,从而降低了系统的吞吐量. 文中在先前工作的基础上提出了一种提高系统吞吐量的协助下载补偿模型. 在高速公路场景下,协助车在与同向和对向的其它车辆相遇时根据速度和位置信息预测其与目标车相遇的概率,并选取满足条件的车辆备份携带的数据以弥补因传输碰撞域重叠等因素所引起的部分数据包传送失败的损失,从而达到有效地利用盲区(Dark Area)延伸用户下载区域的目的. 实验结果表明该方法显著地提高了下载的吞吐量,减少间歇性连接带来的影响.

关键词 协助下载;车联网;动态时槽;存储转发;DTN

中图法分类号 TP393

DOI 号: 10.3724/SP.J.1016.2012.01390

A Compensation Model of Cooperative Downloading Improving System Throughput

LIU Jian-Hang^{1),2)} BI Jing-Ping²⁾ XU Peng²⁾ BIAN Yong-Chao²⁾ LI Zhong-Cheng²⁾

¹⁾(College of Computer and Communication Engineering, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266555)

²⁾(Institute of Computing Technology, Chinese Academic of Sciences, Beijing 100190)

Abstract Internet is playing a more and more important role in shaping our lives, which raises the demand for being connected anytime and anywhere, even while on driving cars. Compared with 3G or 4G networks, roadside APs have the advantages of low cost and high bandwidth. Making use of passing vehicles to carry the requested data for the client can reduce the influence of intermittent connectivity due to APs' sparse distribution. High node mobility, fast topology changes and collision domain overlay those cause the data carried by cooperative vehicles cannot be received totally. Based on previous work, this paper proposes a compensation model of cooperative downloading improving system throughput. In highway scenarios, according to the information of speed and position, a cooperative vehicle estimates the probability of other vehicles encountering users while meeting, and chooses adapted vehicles to backup partial data aiming at compensation for possible collisions. Simulation results indicate the benefits of the proposed scheme in terms of increasing throughput and reducing delay.

Keywords cooperative downloading; VANET; dynamic slot; carry and forward; delay tolerant networks

收稿日期:2011-12-26;最终修改稿收到日期:2012-05-09. 本课题得到国家自然科学基金(60803138)、国家“九七三”重点基础研究发展规划项目前期研究专项(2011CB302505)资助. 刘建航,男,1978年生,博士研究生,讲师,主要研究方向为下一代互联网. E-mail: liujianhang@ict.ac.cn. 毕经平,女,1974年生,研究员,博士生导师,主要研究领域为下一代互联网和网络性能测试. 李忠诚,男,1962年生,研究员,博士生导师,主要研究领域为计算机网络. 边永超,男,1986年生,硕士研究生,主要研究方向为下一代互联网. 徐 鹏,男,1990年生,硕士研究生,主要研究方向为下一代互联网.

1 引言

随着对互联网依赖性的日益提高,人们希望能随时随地接入 Internet,即使在行驶的汽车里.利用 3G 通信网络可以达到此目的,但是昂贵的费用和较差的服务质量成为制约这种接入方式的障碍.近些年 WIFI 接入点(AP)的大规模部署为车载用户接入互联网提供了一条新的途径.然而,相比于其它类型的移动互联网,车联网本身具有节点移动速度快、拓扑变化频繁的特点,其运行路线具有一定的可知性.另一方面 AP 接入点覆盖范围有限,车辆运行在 AP 之间的 DA 盲区(Dark Area)时将与网络失去联系,从而导致间歇性连接.若车载用户在一个 AP 区不能完成下载,只能等到下一次接入 AP 再进行下载任务,这种延迟在 AP 节点部署比较稀疏的高速公路场景中尤为严重.其 AP 点通常设置在加油站或服务区内,距离分布较远,一般是在 $8\text{ km} \sim 16\text{ km}$ 以上.使用 IEEE802.11a/b/g/p 标准,AP 的通信范围在 $300\text{ m} \sim 1300\text{ m}$,其中 production phase 在 $1\text{ km}^{[1]}$,汽车使用 WLAN 接入 Internet,将有 $7\text{ km} \sim 15\text{ km}$ 与互联网失去联系,如果汽车行驶速度为 100 km/h ,则在 DA 中的运行时间为 $5\text{ min} \sim 10\text{ min}$,这种延迟是很难让人接受的.因此通过其它车辆携带用户所需数据来延伸 AP 下载区域的方法成为了近些年的研究热点.

我们先前的研究中,提出了 DSRelay^[2],即针对 AP 通信范围有限的问题提出了一套适应于高速公路场景下,通过 AP 接入点以及其它车辆进行协助下载的方法.当移动用户在一个 AP 区内不能完成它的下载任务时,中心服务器计算用户和注册车辆在 AP 间的 DA 区中相遇时间和通信时长,在下一个 AP 通信区内选择一组协助车辆来携带用户所需数据.每辆协助车在 DA 中不同时间段内将数据传给用户,从而达到利用 DA 延伸移动用户的下载区域,提高用户下载吞吐量的目的.仿真结果显示,与 Greedy 选车算法比较,用户获取的数量提高了 40% 以上.协助车在预定的时间将所携带的数据传递给目标车,该转发过程发生的区域我们称为传输碰撞域.文献[2]中提出了根据协助车与目标车速的加权平均值和注册时间划分传输碰撞域的方法.然而研究中发现由车速变化所产生的碰撞域叠加仍然是一个影响系统的吞吐量的主要因素.尽管高速公路场景下车速变化率不大,但仍然存在着影响车速的

诸多因素,比如驾驶员的驾驶习惯,多变的路况条件等.DSRelay 规划了协助车在不同的时间和地点与目标车相遇,如果协助车都在预定的时间和地点与目标车相遇,系统将达到下载量的最大值.然而由于车速变化等方面因素的影响,目标车和协助车相遇的时间和地点可能与预计的时间产生偏差.因此协同车所携带的数据不可能百分之百地传递给用户.根据仿真实验结果车速变化率在 $20\% \sim 30\%$,用户只能获取 $75\% \sim 80\%$ 协助车所携带的数据.更重要的是虽然 DSRelay 能够使目标车下载吞吐量提高 40% 以上,但是如果目标车在下载数据文件时,即使 1% 的传输损失也将使用户无法获取整个文件,用户不得不等到下个 AP 接入点再获取数据.显然这种情况下吞吐量的提高并没有带来延迟的减少.解决这个问题的一种方式是通过 AP 下载冗余的数据给协助车,让不同的协助车携带部分相同的数据包以弥补因为车速变化产生冲突的传输损失.根据本文 3.1 节提出的式(1)可以推断出这种方式无疑会降低 AP 的有效传输率,在达到减少延迟的目的同时却降低了系统总的吞吐量.

根据高速公路的特点我们假设这样的场景:AP 的覆盖范围 $L=800\text{ m}$,AP 间的 DA 区在 $D=8\text{ km} \sim 16\text{ km}$,车辆之间的通信半径为 $r=200\text{ m}$.理论上 DA 中的碰撞域将有 $D/2r$ 个即(20 个~40 个),如果 AP 的下载带宽 W_{AP} 是车间下载带宽 W_v 的 2 倍^[1],那么即使在 AP 区内直接下载率(直接把数据下载给请求用户所占用的时间比率)为 30%,那么 DSRelay 方法中 DA 的利用率为 7%(DA 区域为 8 km ,即 20 个碰撞域).这意味着 DA 中大部分空间是空闲的.如果使用 DA 区来完成数据的备份以解决上文提到的“用不同的协助车携带部分相同的数据包以弥补因为车速变化产生冲突的传输损失”,这样可以在不占用 AP 下载时间的前提下有效地降低用户获取完整信息的延迟.

通过以上的分析,本文在 DSRelay 方法的基础上提出了一个高速公路场景下的协助下载补偿模型.该模型通过运行在 DA 中的与目标车同向和对向车辆,根据其运行速度和在 DA 中的位置计算与目标车相遇的概率,将协助车中携带的数据备份到能在 DA 区域内进入用户通信区的其它车辆上以弥补因为车速变化产生冲突的传输损失.仿真结果表明该模型有效地利用 Dark Area 盲区,DA 中的下载量达到 AP 有效下载量的 99% 以上,从根本上提高了系统吞吐量,降低了用户获取数据的延迟.

本文第 2 节介绍目前相关的研究工作;第 3 节详细阐述该模型的设计方案;第 4 节讨论模拟实验的结果,验证此模型的有效性;最后一节是结论和未来的工作。

2 相关工作

自从 Nandan 等人^[3]提出 SPAWN 协议,第一次将协助下载(Cooperative downloading)的概念引入到车联网,越来越多的研究者投入到协助下载方面的研究中. SPAWN 协议与本文所做的工作不同,其针对 P2P 的应用场景,假定目标车辆和协助车辆都下载同一资源,再通过其提出的方法寻找资源进行下载;而本文要解决的问题是用户下载不同的数据,利用 AP 间的 DA 由 AP 选择车辆,提供协助下载服务. 相似的研究^[4-5]重点集中在:P2P 汽车网络中在其它汽车里寻找所需要的资源进行协助下载.

Fiore 等人^[6]提出的协助下载方法主要考虑城市下载场景,通过以往经过 AP 的车辆的速度和相关数据来预测车辆的行驶路线与目标车辆相遇的时刻,选定协助车辆下载协助数据. 其工作主要集中在 AP 的部署、不同协助车辆选择算法的评估以及数据分块方案. Trullols-Cruces 等人^[7]提出了高速公路场景下的协助下载模式,主要讨论通过同向车辆协助传输解决无线下载过程中产生的丢包问题,以及通过对向车辆传输增加总的吞吐量. 但是文中没有对对向车辆协助下载进行具体的规划,也没有提到相邻 AP 点如何根据车辆的速度选择不同的车辆协助下载数据. MobTorrent^[8]提出了使用 WIFI 和 WWAN 相互补充、利用同向以及对向车辆协助下载的方案,但是前提是需要所有车辆安装 GPS 导航,以及 WIFI 接口和 WWAN 接口,当目标车辆提出下载请求时,通过 WWAN 提前通知 AP 站点, AP 站点根据 GPS 的行驶路线信息将数据下载到对向或同向的车辆上. 文中没有明确地给出 AP 的选车算法和协助车辆携带的数据量,没有考虑由于车速变化产生的协助车重叠问题.

其它相关工作还有 Cabernet^[9]通过优化建立连接的过程和传输层协议来提高传输性能, Balasubramanian 等人^[10]提出了利用 AP 点分布的差异来减少冲突的一种支持车内用户使用交互式应用程序的方法. Zhang 等人^[11]提出了汽车从路边基础设施上传和下载的方案. Mahajan 等人^[12]提出了一种测量 WIFI 连通性的方法. DTcoop^[13]解决的是

单向的信息广播分发问题,通过协助下载的方式减少高速情况下丢包率较高的问题. 在文献[14]中作者提出了一种通过车间中继延伸 AP 通信范围的方法以便于车辆有更大的机会通过 AP 接入 Internet.

3 多任务协助下载模型的设计与实现

为了清楚地阐述本文提出的模型,本文假定 AP 通过有线网络可以直接与中心服务器通信. 每辆车都装有可用于车与 AP 通信和车车通信的 WIFI 接口. 中心服务器维护两个列表,一个是车辆列表,记录车辆进入 AP 通信区向其注册的 ID(首次进入系统的车辆由 AP 服务器分配 ID)、速度和注册时间等信息. 另一个是任务列表,记录着有下载请求的用户进入 AP 区后通过 AP 向中心服务器提出下载请求信息. 车辆运行在 DA 盲区中时每隔 1 s 要广播一次自己的 ID、速度、运行方向以及携带的数据信息. 根据该信息每辆车维护一个一跳内的邻居列表. 带有协助下载任务的协助车辆的广播信息中还要额外包括下载发生的时间和位置. 图 1 展示了该模型的基本结构.

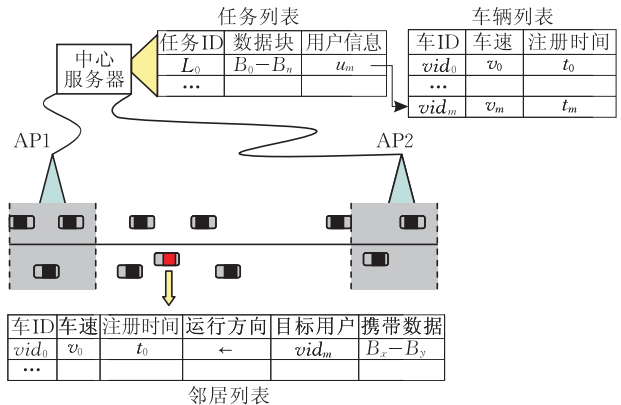


图 1 协助下载补偿模型

多用户情况下中心服务器需要维护一个任务列表而不是在文献[2]中讨论的单个任务项,选择协助车辆的时候要根据任务列表中任务的优先级确定什么时刻为哪辆车提供协助下载的服务. 任务优先级定义不是本文讨论的重点. 模型中要用到的参数见表 1.

表 1 参数表

参数	标签	参数	标签
AP 通信范围	L	DA 的长度	D
车辆通信半径	d	选择第 n 辆的时刻	T_n
AP 区内的下载带宽	W_{AP}	车间下载带宽	W_v
第 x 辆选中车辆的注册时间	t_x	第 x 辆选中车辆车速	v_x
第 n 个请求用户注册时间	t_n^u	第 n 个请求用户车速	v_n^u

3.1 模型运行机制

实际上用户在 DA 盲区中获取的所有数据都来自 AP,因此系统的吞吐量是由 AP 的有效下载量决定的,设包长为 pl ,第 i 个包被目标车利用次数为 k_i ,则 AP 有效带宽为

$$\omega_e = \sum_{i=0}^n pl \times k_i / s \tag{1}$$

其中 $n=W_{AP}/pl$,如果协助车辆携带的数据能够全部传递给目标车辆,那么系统理想吞吐量为

$$Ts = \omega_e \times \text{AP 工作时间} \tag{2}$$

因此影响系统总的吞吐量的因素除了包被利用的次数(多个用户下载相同的数据)以外,还有一个重要的因素就是协助车辆携带的数据是否能够百分百地传递给目标车辆.引言中提到的通过 AP 下载给协助车冗余数据来弥补 DA 转发过程中的 20% 左右碰撞损失的方法,其代价是使部分数据包的 $k_i=0$,根据式(2),将导致系统的吞吐量减少,因此利用 AP 下载冗余数据的方法不是一个理想的解决方案.在保持 $k_i \geq 1$ 的前提下,我们将用冗余数据提高系统吞吐量的工作放在 DA 中来完成,对于 AP 通信区内任意协助车辆 $c_x:(v_x, t_x)$ 和中心服务器列表中当前区域的第 n 个下载请求的用户 $u_n:(v_s^n, t_s^n)$, c_x 和 u_n 相遇的开始时间 B_x^n 和地点 PB_x^n ,以及通信结束的时间 E_x^n 和地点 PE_x^n 可以通过式(3)、(4)计算出.

$$B_x^n = \frac{D+2L-d+v_s^n t_s^n + v_x t_x}{v_s^n + v_x}, PB_x^n = (B_x^n - t_s^n) \cdot v_s^n \tag{3}$$

$$E_x^n = \frac{D+2L+d+v_s^n t_s^n + v_x t_x}{v_s^n + v_x}, PE_x^n = (E_x^n - t_s^n) \cdot v_s^n \tag{4}$$

根据高速公路环境的特点,一般情况下,相邻两个 AP 区中对向行驶的车辆一定会在两个 AP 通信范围之外的盲区相遇(两条高速线路相交时会出现车辆驶向第 3 个 AP 通信区,这种情况不在本文讨论范围之内).而同向行驶的车辆,存在距离和车速差,快车有超越慢车的可能.根据这两个特点,该补偿模型是基于车辆相遇,超越和被超越的前提下,我们将其具体化以下 4 种情况.

(1) 因为运行在 DA 中的车辆每秒钟都要广播自己的 ID、车速和当前位置,所以每辆车都可以知道所在通信范围内其它车辆的速度和位置信息.携带用户数据的协助车 A 在与目标车 D 相遇之前如果检测到与 D 同向的车辆 S 能够在 D 到达下个

AP 之前被 D 赶超(图 2(a)),那么 A 就将所携带的 D 所需的部分数据包传递给 S.由于车辆间每秒交互一次信息,因此每辆车都维护一个邻居列表(见图 1).图 2(a)中,在 A 的邻居列表中车速 v_y 满足式(5)的协助车即为所选车辆 S_y .

$$\frac{L'+d}{v_y} - \frac{(B_x^n - T)(v_s^n + v_x) + L' + d}{v_s^n} \geq \frac{data}{\omega_v} \tag{5}$$

其中, T 为 A 检测到的 S_y 时间; L' 为 A 离开 AP 的距离; $data$ 是 A 所携带的数据长度.这里规定 A 给 S 传递数据包的顺序是按逆序传递, A 给 D 传输数据包按顺序传递,这样保证 D 接收数据的最大化.如果 A 在与 D 相遇时传递数据给 D 的过程中,由于速度变化的原因与另一组下载过程 $A'-D'$ 产生碰撞(图 2(b)), A 所携带的数据就不能全部传递给 D.那么当 D 在赶超 S 的时候(图 2(c)),由 S 将剩余部分数据传递给 D 以弥补碰撞带来的损失.该协助下载过程简称为 USP(User Surpass Process).

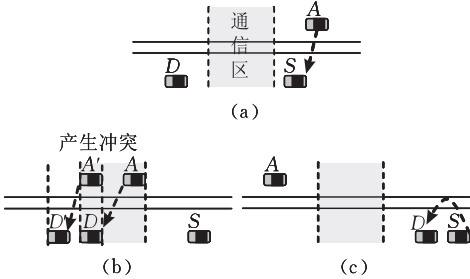


图 2 USP 协助下载过程

(2) 如果 A 在与 D 相遇时传递数据给 D 的过程中,由于速度变化的原因与另一组下载过程 $A'-D'$ 产生碰撞(图 3(a)),那么 A 所携带的数据就不能全部传递给 D.当 A 离开 D 的通信区后,检测到与 D 同向行驶的车辆 F,根据 F 提供的速度和位置信息,如果 F 能够在到达下个 AP 之前赶超 D, A 将携带的未能传递给 D 的数据包传递给 F(图 3(b)).当 F 赶超 D 时(图 3(c)),将其携带的数据包传递给 D 以弥补碰撞带来的损失.图 3(c)中在 A 的邻居列表中车速 v_y 满足式(6)的协助车即为所选车辆 F_y .该过程简称为 SUP(Surpass User Process).

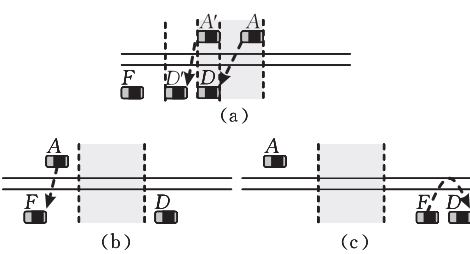


图 3 SUP 协助下载过程

$$\frac{(B_x^n - T)(v_s^n + v_x) + L' + d}{v_s^n} - \frac{L' + d}{v_y} \geq \frac{data}{w_v} \quad (6)$$

(3) 上文提到带有协助下载任务的协助车辆的广播信息中包括下载发生的时间和位置, 下载的时间和位置是根据协助车和用户车速和注册时间等信息确定的^[2]. 因此当 A 在与 D 相遇之前, 如果检测到 A' 发生下载的区域与自己的相叠加, 这表明发生碰撞的概率非常大, 这时 A 将随机找到一个与目标车同向的车辆 R, 将可能由于冲突而未能传输的数据包下载到 R 上(图 4(a)). 其发生的条件满足式(7).

$$(B_{A'}^n \leq B_A^m \leq E_{A'}^n) \cup (B_{A'}^n \leq E_A^m \leq E_{A'}^n) \cup (PB_{A'}^n \leq PB_A^m \leq PE_{A'}^n) \cup (PB_{A'}^n \leq PE_A^m \leq PE_{A'}^n) \quad (7)$$

需要注意的是 R 是一辆与 D 同向的随机车辆, 该车辆不一定会在当前 DA 区内被 D 赶超. 如果其不能被 D 赶超, R 在离开 A 的传输区域后遇到与 A 同向的车辆 C, 将所携带的 D 所需数据传至 C 上(图 4(b)). 当 D 在与 C 相遇时下载未能获取的相应的数据(图 4(c)). 该过程简称为 CAP(Collision Avoided Process). 如果 R 可以在该 DA 区内被 D 赶超就不必将数据传至 C, 而是执行 USP 过程.

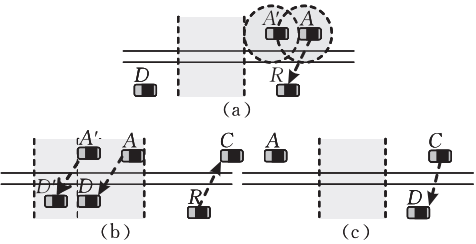


图 4 CAP 协助下载过程

(4) 以上 3 种情况讨论的是当协助车 A 为单个任务服务, 也就是说 A 的数据是被一辆目标车下载. 然而很多情况许多用户会请求相同的数据, 比如下载热点视频. 在这种情况下, 如果 AP 将多个任务所需要的相同数据包下载到一辆用户车, 那么意味着式(1)中的 $k_i > 1$, 这将提高系统的吞吐量. 事实上这种方案是可行的, 因为 AP 任务列表中的任务所对应的用户车一定是正在向当前 AP 行驶的车辆, 这样对向行驶的协助车 A 一定会在 DA 区域中与这些用户车 $\{D_n\}$ 相遇. 然而 AP 不能预测 A 能够在指定的时间和地点将所携带的数据传递给 $\{D_n\}$ 中的所有车辆. 根据文献[2]中提出的算法, AP 可以至少预测 A 与其中一辆用户车 D_1 在无冲突的情况下完成下载, 如(图 5(a)). 在第一辆用户车 D_1 收到数据后, 因为不确定 A 是否能将数据包完整的传递

给 D_2, D_1 在离开 A 的通信区域后将数据转发给与 A 同向的车辆 C(图 5(b)). 如果在 D_2 与 A 相遇过程中与其它下载过程产生冲突, 那么在与 C 相遇时将可以下载剩余的数据包(图 5(c)). 该过程被简称为 MTBP(Multi-Task Backup Process).

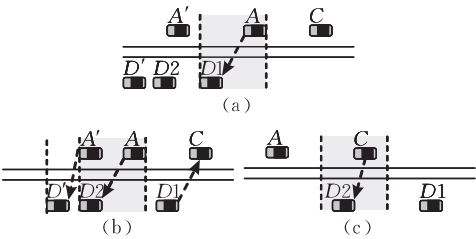


图 5 MTBP 协助下载过程

3.2 数据流图

根据上述 4 种协助下载过程中数据在协助车中的流动方向, 我们将其抽象成数据流图的形式如图 6 所示. 图中的椭圆中的字母表示不同协助车所处的角色, 单个字母表示单个车辆, 花括号表示符合条件的车辆的集合. 字母上方的箭头表示车辆运行的方向. 线是数据流动的方向. 实线表示只要符合条件就一定发生的事件, 虚线则表示如果协助车已经将所携带的数据全部转发给目标车了, 则即使遇到满足条件的车辆也不会发生的事件. 下面从几个方面介绍该模型.

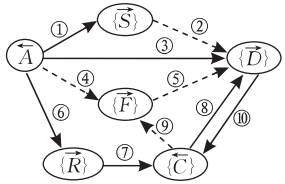


图 6 协助下载数据流图

(1) 角色

A 表示从 AP 获取原始数据的协助车.

$\{D\}$ 表示请求 A 所携带数据的用户的集合, 由于 A 所携带的数据可能是多个用户共同请求的数据, 所以用户可能多于一个, 这里用集合 $\{D\}$ 表示.

$\{S\}$ 表示在当前 DA 中, A 在与 $\{D\}$ 相遇前所遇到的可以被 $\{D\}$ 赶超的车辆的集合.

$\{F\}$ 表示在当前 DA 中, A 在与 $\{D\}$ 相遇后所遇到的可以赶超 $\{D\}$ 的车辆的集合.

$\{R\}$ 是 A 在与 $\{D\}$ 相遇前所遇到的与 $\{D\}$ 同向行驶的任意车辆的集合. 很明显 $\{S\}$ 是 $\{R\}$ 的一个子集.

$\{C\}$ 表示在当前 DA 中, 行驶在 A 后面的任意同向车辆集合.

显然 A 和 C 是同向的,因此 A 和 C 上方的箭头方向相同.它们与 S, D, F, R 是对向行驶的.

(2) 数据流向

图中线上的数字表示数据流向过程.

过程①表示当 A 遇到可被用户 $\{D\}$ 赶超的车辆 S_n ,将数据在不影响其它目标车下载数据的前提下,按所携带数据包倒序传送给 S_n .

过程②表示当在 $\{D\}$ 中的车辆赶超集合 $\{S\}$ 中的车辆的过程中,下载 S 中所携带的并且未能在 A 中获取的数据.

过程③表示 A 与 $\{D\}$ 相遇时,将所携带的 $\{D\}$ 需要的数据转发给的 $\{D\}$ 过程.

过程④表示如果 A 在与 $\{D\}$ 相遇过程中未能将数据传递给用户,在离开 $\{D\}$ 通信区后找到可以在当前 DA 中赶超 $\{D\}$ 的车辆在 $\{F\}$ 中,将未转发的数据传递给 $\{F\}$.

过程⑤表示当集合 $\{F\}$ 中的车辆赶超集合 $\{D\}$ 中的车辆时,将从 A 下载的 $\{D\}$ 所需数据转发给 $\{D\}$.

过程⑥表示当 A 检测到以当前的速度行驶会在与 $\{D\}$ 相遇过程中与其它下载过程发生冲突,提前将部分数据传递给最先接触的对行车辆 $\{R\}$.

过程⑦表示如果集合 $\{R\}$ 中的车辆携带的数据所对应的 $\{D\}$ 不能在当前 DA 中赶超自己,该车就将从 A 下载到的数据传递给与 A 同向的车辆 $\{C\}$,因为过程⑦发生在过程⑥之后,所以 $\{C\}$ 中的车辆一定晚于 A 与 $\{D\}$ 相遇.

过程⑧表示当集合 $\{C\}$ 中车辆与 $\{D\}$ 相遇时将从 $\{R\}$ 下载到的 $\{D\}$ 所需数据传递给 $\{D\}$.

过程⑨表示如果集合 $\{C\}$ 中车辆所携带的数据未能全部传递给 $\{D\}$,但在离开 $\{D\}$ 的通信区后遇到能够在当前 DA 中赶超 $\{D\}$ 的车辆 $\{F\}$, $\{C\}$ 将未完成数据传递给 $\{F\}$.

过程⑩表示因为由于预测到与当前用户车 D_n 请求相同数据的后续用户车 D_{n+k} 可能不能完全下载数据, D_n 将数据传递给对行的车辆 $\{C\}$,以便 $\{C\}$ 中车辆在与 D_{n+k} 相遇时完成数据转发.

(3) 传输优先级

传输过程中,当不同的下载请求传输中出现碰撞域叠加,根据各过程的优先级确定传输顺序.

②③⑤⑧过程中,都是协助车向用户转发数据,因此优先级最高.

④⑨发生在已经确认目标车未下载所有数据,处于第二优先级.

⑥⑦发生在协助车已经预测到会发生碰撞,需要进行备份措施.相似的,⑩也是因为由于预测到与 D_n 请求相同数据的 D_{n+k} 可能不能完全下载数据的一种数据备份方式.因此都处于第三优先级.

①的优先级最低,因为其发生在并不确定是否发生碰撞的一种预防措施.

4 性能评价

本文通过仿真实验对该模型的性能进行评估.实验场景:高速公路的 AP 点通信范围设为 $800\text{ m}^{[15]}$,两个 AP 间相距 8 km ,符合高速公路上 AP 点设置在加油站或服务区的实际情况.车辆的通信半径设为 250 m .协助下载过程中取 1 s 作为用户与协助车辆建立连接所用的时间(信道争用与接入方法作为未来的研究工作). AP 区下载速率设为 150 KB/s ,同向车辆协助下载速率设为 200 KB/s ,对向车辆协助下载速率设为 $50\text{ KB/s}^{[15]}$.车速在 90 km/h 到 150 km/h 之间随机产生,在车速变化上,假定车速变化的概率为 p ,变化的范围在 $90\text{ km/h} \sim 150\text{ km/h}$,并且符合对数正态分布^[16],假定用户车速为 100 km/h .

为了验证上文提出的 4 种协助下载过程的可行性,我们先测试在车速变化率在 30% 、车流密度 $\lambda = 10$ 的情况下,在距离 AP 3 km , 4 km , 5 km ,具有不同车速的用户能够在 DA 区中超越前车和被前车超越的概率.图 7 中 3 条实线分别表示用户车距离 AP 5 km , 4 km , 3 km 时超越前车的概率.即 USP 过程,3 条虚线表示用户的 SUP 过程概率.从图 7 的测试结果可以看出,在 USP 过程中,当用户车速在 90 km/h 的情况下,用户车在距离 AP 的 3 个测试点的超越率几乎为 0.距离 AP 5 km 时,当车速上升到 100 km/h ,超越率为 80% ,当车速超过 110 km/h 时,用户能够超越前车的概率就达到 100% .距离 AP 3 km 时,用户车速达到 120 km/h 才会一定超越前车. SUP 过程正相反,用户车速在低于 120 km/h 时,用户一定会被同向行驶的车辆超越.在距离 AP 3 km ,用户车速在 140 km/h 时,基本上不会有车超越用户车.测试结果表明,无论用户车速为多少, USP 过程和 SUP 过程中至少有一个过程会发生的概率是 100% .这就证明了本文提出模型的可行性.图 8 中比较了无协助下载时,使用贪心选车法(每次中心服务器选择 AP 通信区域内最先与用户相遇的车辆作为协助车辆),随机选车法和之前提出的 $DSRelay$ 协助下载方法以及本文在 $DSRelay$ 提出的协助下载补偿模型,这 5 种下载方法在两个 AP 区以及之间的盲区的下载数据量.

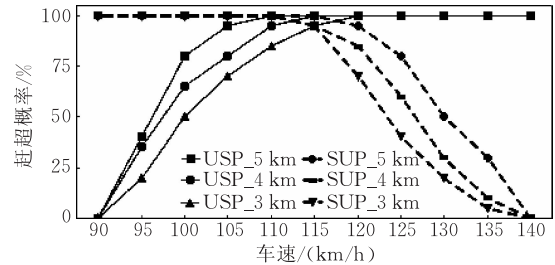


图 7 不同车速下的 USP 和 SUP 概率

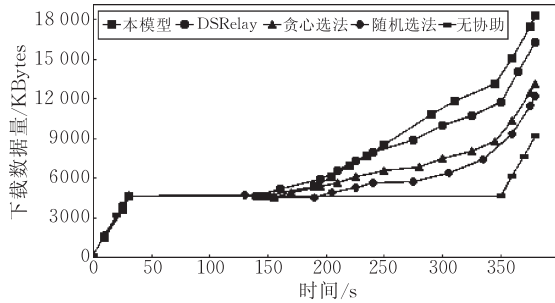


图 8 5 种下载方法比较

如图所示,开始的 30 s 左右的时间,用户车辆进入 AP 区,提出下载请求后直接在 AP 区下载数据,下载速率设为 150 KB/s,用户能获得约 4.5 MB 的数据后即离开 AP 通信区.用户提出下载请求后下中心服务器根据选车算法在下一个 AP 区内选择协助车辆携带用户不能下载完成的数据.在 30 s~140 s 的时间,用户车还没有遇到从下个 AP 对向行驶的并携带其所需数据的车辆,所以这段时间下载总量一直保持在 4.5 MB.大约 140 s 后用户开始遇到对向协助车辆并下载数据.由于随机选车法和贪心选车法没有规划协助车与用户的相遇时间,所以会频繁出现车辆的碰撞域重叠,因此在这个区间(两个 AP 区和一个 DA 区)中用户只能下载到约 12 MB 的数据.相比之下使用 DSRelay 规划了 DA 中的下载区间,减少了碰撞重叠的时间和区域,下载量提高到 16 MB.然而即便是进行了规划,由于车速的变换,碰撞域叠加是不可避免的.因此仅使用 DSRelay 方法利用 DA 区完成协助下载并未达到下载的最大值.使用本文提出的补偿模型解决了由于车速变化而产生的碰撞域叠加的问题,实验结果显示下载总量可以达到 18 MB 以上,基本接近使用对向车辆协

助下载方法中的理想值.图 8 中 250 s 之前使用补偿模型下载量会稍有下降,这是由于上文提出的 4 种过程对信道的争用频繁所产生一些影响.250 s 后下载量明显提高,这是由于 USP 和 SUP 以及 CAP 过程都是发生在 DA 的后半段.

图 9 显示了使用补偿模型在 DA 区中各个过程的下载量.该实验验证了不同车速下直接下载,USP、SUP 和 SUP 过程用户获取的数据比例.车速在 100 km/h 时,用户赶超概率比较低,所以 USP 过程平均仅能获取 0.3 MB 的数据,而被赶超的概率较高,SUP 能获取 1.4 MB 的数据,CAP 获取的数据为 0.9 MB.相比之下,车速在 115 km/h 时各个过程获取的数据量相差不多.车速高达 130 km/h,能够被赶超的概率很低,SUP 过程只能获取 0.2 MB 数据.用户获取的数据总量随车速提高而减少,原因是车速越快在 DA 内停留的时间越短.从测试结果中可以算出,3 个补偿下载过程所获取的数据量占用户获取数据总量的 20% 左右,因此可以得出这种补偿模型可以将数据下载总量提高 20% 以上.

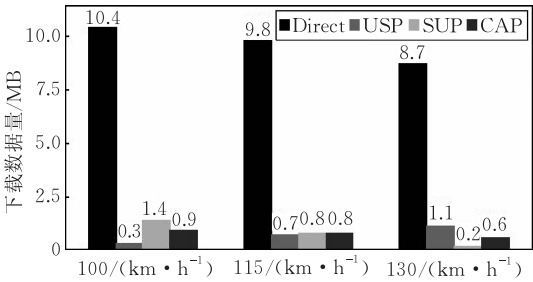


图 9 不同车速下用户在各过程中获取的数据量

为了比较本文提出的补偿模型在下载实际数据文件时的优势,我们使用了在文献[2]研究中使用的 3 个不同大小的测试文件.表 2 统计了测试结果.可以明显地看出,相比较 DSRelay,使用补偿模型,平均带宽得到进一步提高.尤其在下载比较大的文件时,比如一个时长为 120 min,大小为 379.8 MB 的 rmvb 电影文件,用户只需要约 1 小时 45 分钟即可获取所有数据,平均带宽达到 60 KB/s,下载时间要低于视频时长.因此该模型在高速公路场景下的视频观看方面具有一定的应用前景.

表 2 下载不同大小文件的延迟(D)和平均带宽比较(AB)

文件长度/MB	未协助下载的结果		DSRelay 的结果		补偿模型的结果	
	D/s	AB/(KB·s ⁻¹)	D/s	AB/(KB·s ⁻¹)	D/s	AB/(KB·s ⁻¹)
27.0	1773	15.2	683	39.5	569	47.4
55.3	3880	14.2	1284	42.8	1030	53.7
379.8	27812	13.7	7908	48.0	6314	60.1

5 结束语

针对高速公路场景下车速变化产生碰撞域叠加的问题,本文在前期工作 DSRelay 方法的基础上提出了利用行驶在 DA 中无任务的车辆去备份协助车携带数据的一种数据补偿模型.通过该模型,协助车可以预测可能发生或是已经发生的碰撞域重叠.将在与用户相遇时未能传递给用户的数据提前或者延后备份到可以在 DA 区内的其它时间和地点与用户相遇的其它车辆上.从而减少了由于碰撞域重叠产生的冲突对 DSRelay 协助下载方法的影响,有效地利用了 DA 区,从根本上提高了系统的整体吞吐量.

下一步的研究工作包括研究符合高速公路特点的接入控制方法,主要工作是信道的分配和接入方法.另一方面是激励机制和信息安全研究,通过完善的经济模型鼓励更多的车辆参与该模型中.

参 考 文 献

- [1] Ott J, Kutscher D. A Disconnection-tolerant transport for drive-thru Internet environments//Proceedings of the IEEE INFOCOM. Miami, USA, 2005, 3: 1849-1862
- [2] Liu Jian-Hang, Sun Jiang-Ming, Bi Jing-Ping et al. VANET cooperative downloading approach study based on dynamic slot. Chinese Journal of Computers, 2011, 34(8): 1378-1386(in Chinese)
(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. 计算机学报, 2011, 34(8): 1378-1386)
- [3] Nandan A, Das S, Pau G, Sanadidi M, Gerla M. Cooperative downloading in vehicular adhoc wireless networks//Proceedings of the International Conference on Wireless on demand Network Systems and Services. St. Moritz, Switzerland, 2005: 32-41
- [4] Liu Che-Liang, Wang Chih-Yu, Wei Hung-Yu. Mobile chord: Enhancing P2P application performance over vehicular Ad Hoc network//Proceedings of the IEEE GLOBECOM.

- New Orleans, USA, 2008: 241-247
- [5] Lin Sung-Han, Hu Junn-Yen, Chou Cheng-Fu, Chang Ing-Chau, Hung Chien-Chun. A novel social cluster-based P2P framework for integrating VANETs with the Internet//Proceedings of the IEEE WCNC. Budapest Hungary, 2009: 1-6
- [6] Fiore M, Barcelo-Ordinas J M. Cooperative download in urban vehicular networks//Proceedings of the IEEE MASS. Lyon, France, 2009: 20-29
- [7] Trullols-Cruces O, Morillo-Pozo J, Barcelo Jose M, Garcia-Vidal J. A cooperative vehicular network framework//Proceedings of the IEEE ICC. Dresden, Germany, 2009
- [8] Chen Bin Bin, Chan Mun Choon. MobTorrent: A framework for mobile Internet access from vehicles//Proceedings of the IEEE INFOCOM. Barcelona, Spain, 2009
- [9] Eriksson J, Balakrishnan H, Madden S. Cabernet: Vehicular content delivery using WiFi//Proceedings of the MobiCom. San Francisco, CA, USA, 2008: 199-210
- [10] Balasubramanian A, Mahajan R, Venkataramani A, Levine B, Zahorjan J. Interactive WiFi connectivity for moving vehicles//Proceedings of the SIGCOMM. Seattle, WA, USA, 2008: 427-438
- [11] Zhang Y, Zhao J, Cao G. On scheduling vehicle-roadside data access//Proceedings of the VANET. Montreal, QC, Canada, 2007: 10-19
- [12] Mahajan R, Zahorjan J, Zill B. Understanding WiFi-based connectivity from moving vehicles//Proceedings of the IMC. San Diego, CA, USA, 2007
- [13] Liang Hao, Zhuang Weihua. DTcoop: Delay tolerant cooperative communications in DTN/WLAN integrated networks//Proceedings of the Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2010-Fall). Taipei, Taiwan, China, 2010
- [14] Zhao Jing, Arnold Todd, Zhang Yang, Cao Guohong. Extending drive-thru data access by vehicle-to-vehicle relay//Proceedings of the VANET'08. San Francisco, California, USA, 2008: 66-75
- [15] Ott Jorg, Kutscher Dirk. Drive-thru Internet: IEEE 802.11b for "Automobile" users//Proceedings of the IEEE INFOCOM. Hong Kong, China, 2004: 362-373
- [16] Gerlough D L. Poisson and traffic: Use of Poisson distribution in highway traffic. Eno Foundation for Highway Traffic Control, 1955



LIU Jian-Hang, born in 1978, Ph.D. candidate, lecturer. His research interest is next generation Internet.

BI Jing-Ping, born in 1974, Ph.D., professor, Ph.D. supervisor. Her research interest is next generation Internet and network test.

LI Zhong-Cheng, born in 1962, Ph.D., professor. His research interest is computer networks.

BIAN Yong-Chao, born in 1986, M.S. candidate. His research interest is next generation Internet.

XU Peng, born in 1990, M.S. candidate. Her research interest is next generation Internet.

Background

This paper focuses on the research of compensation model of cooperative downloading on highway scenarios against intermittent connectivity. Cooperative downloading in vehicular networks is first introduced by Nandan et al. as a part of the protocol SPAWN for cooperative content retrieval and sharing among users aboard vehicles in 2005. From then on, researchers propose successively some schemes of cooperative downloading to help the users access the Internet via APs, which include MobTorrent, Cabernet, VADD and so on. However, these schemes do not give a definite solution when cooperative vehicles cannot forward all data to users. Making use of passing vehicles to carry the requested data for the client can reduce the influence of intermittent connectivity

due to APs’ sparse distribution. High node mobility, fast topology changes and collision domain overlay those cause the data carried by cooperative vehicles cannot be received totally. Based on previous work, this paper proposes a compensation model of cooperative downloading which cooperative vehicles estimates the probability of other vehicles encountering users while meeting, and chooses adapted vehicles to backup partial data aiming at compensation for possible collisions. This research work is supported by the National Basic Research Program (973 Program) of China under Grant No. 2011CB302505 and the National Natural Science Foundation of China under Grant No. 60803138.