

无间隙的车联网协助下载方法

谢永^{1,2}, 吴黎兵¹, 何炎祥^{1,3}, 范静¹, 刘冰艺¹

(1. 武汉大学计算机学院, 湖北 武汉 430072; 2. 景德镇陶瓷学院信息工程学院, 江西 景德镇 333403;

3. 武汉大学软件工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要: 车辆通过 AP(access points)接入 Internet 具有低费用、高带宽以及低时延等优点, 然而 AP 间的通信盲区 (DA, dark area)使车辆只能间歇式接入 Internet, 造成网络的 QoS 难以得到保障。为了解决这一问题, 提出一种面向高速公路场景的无间隙协助下载方法(NICDM, non-intermittent cooperative downloading method)。在 NICDM 中, 目标车辆未完成的下载任务依据车速、任务大小以及 DA 距离等信息进行分解, 并分别委托行驶方向上的最近 2 个 AP 协助下载; 一组经过优化选择的协助车辆从 AP 获得数据, 并在 DA 区转交给相遇的目标车辆; 同时针对传输冲突提出了 N -副本的冲突解决策略, 进一步提高协助下载的稳定性。仿真结果表明, NICDM 实现了目标车辆在整个 DA 区无间隙地获得数据, 与相类似的方法相比, 进一步提高了系统的 QoS 与吞吐量。

关键词: 车联网; 协助下载方法; 间歇式接入; 冲突处理; 车辆选择策略

中图分类号: TP393

文献标识码: A

Non-intermittent cooperative downloading approach for VANET

XIE Yong^{1,2}, WU Li-bing¹, HE Yan-xiang^{1,3}, FAN Jing¹, LIU Bing-yi¹

(1. School of Computer Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. School of Information and Engineering, Jingdezhen Ceramic Institute, Jingdezhen 333403, China;

3. State Key Laboratory of Software Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Internet access through access points (AP) for vehicles has the advantages of low cost, high-bandwidth and low latency. However, because of dark area (DA) around AP, vehicles have to take intermittent linking to Internet, resulting in the QoS of network is difficult to be guaranteed. A non-intermittent cooperative downloading method (NICDM) for highway was proposed. The unfinished download task of target vehicular in current AP was decomposed into several parts according to vehicle's speed, the size of unfinished task and distance of DA, then commissioned to two nearest APs. A group of cooperative vehicles selected under selection strategy would get data from the APs and forward it to the target vehicle when they meet in DA. And an N -replica conflict resolution strategy was used to improve the stability of cooperative downloading. Simulation results show that compared with similar cooperative methods, NICDM can uninterruptedly get cooperative download data through DAs and improve system's QoS and throughput.

Key words: vehicular network, cooperative downloading approach, intermittent access, conflict resolution, vehicle selection strategy

1 引言

车联网已被看成下一代移动互联网的重要组成部分^[1]。车联网中, V2I(vehicle-to-infrastructure)以及 V2V(vehicle-to-vehicle)通信已在一些重要应

用中发挥作用, 如交通拥塞避免与危险警告等^[2]。人们对 Internet 的依赖越来越高, 希望车辆(装配 WiMAX/LTE 或 WiFi 接口)能够如同在室内一样连接 Internet, 可随时随地通过 Internet 进行工作、学习或者娱乐。目前, 车辆与 Internet 连接的方法主

收稿日期: 2014-10-14; 修回日期: 2015-05-08

通信作者: 吴黎兵, wu@whu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61272112, No.61472287); 湖北省科技支撑计划基金资助项目 (No.2013BAA004)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61272112, No.61472287), Science and Technology Support Program of Hubei Province (No.2013BAA004)

要有 2 类，通过 3G/4G 基站和通过路边 WiFi 接入点(AP, access point)。与 3G/4G 接入相比，通过 AP 接入具有低费用、高带宽以及低时延的特点，因而 AP 接入网络更具有发展潜力。然而，AP 的通信范围与部署数量是有限的，同时车辆的高速运动使车辆在 AP 通信覆盖区的时间有限。车辆行驶在 AP 间的通信盲区(DA, dark area)时与网络失去了联系，造成了车辆只能间歇性接入网络。因而，车联网用户只能在 AP 通信范围内使用一些轻量级的网络服务，如浏览网页、电子邮件等，对于资源密集型服务，如大文件下载、视频服务等则受到很大限制。为了使车联网用户能够随时随地使用资源密集型服务，研究者开始深入研究车联网接入 Internet 的优化策略，提出了一些解决方案，如在车联网中建立 P2P 架构^[3]提供相似资源发现与共享机制来增加数据接收机会，通过多副本转发的时延容忍路由协议^[4]提高数据传输可靠性，以及建立车辆间的协助机制^[5-9]等。

文献[10]提出在双向高速场景下的 DSRelay 协助下载模型。在该模型中，一个有文件下载需求的目标车辆(target vehicle, 后文简称为“目标车辆”)进入 AP 通信范围内时，向 AP 请求数据下载。AP 计算出目标车辆通过时能下载的最大数据量，若大于需求量，则将数据直接下载到目标车辆；否则，将未能完成的部分交给行驶方向上最近的 AP 下载。AP 收到请求后，将数据下载到一组与目标车辆对向行驶的协助车辆(assistant vehicle)上。当协助车辆与目标车辆相遇时将协助下载的数据交付给目标车辆，实现了在 DA 区延伸用户下载区域，从而提高下载的吞吐量。针对因实际相遇时间与预测相遇时间产生偏差造成的通信冲突，作者提出了补偿模型^[11]，进一步提高了下载的吞吐量。

然而，经过深入研究 DSRelay 模型及补偿模型，发现该模型的目标车辆所得到的协助数据绝大部分是行驶在 DA 区的后半程才接收到的，而在 DA 前半程时却很少能接收到数据；文献[11]提出的补偿模型未涉及到协助车辆从高速出口驶出造成协助下载数据丢失等意外情况。针对这些不足，本文提出了无间隙协助下载方法(NICDM, non-intermittent cooperative downloading method)。在 NICDM 方法中，AP 协助请求策略是面向目标车辆行驶方向上的最近 2 个 AP。如图 1 所示，当目标车辆(图中标识“T”的车辆)进入 AP1 时，向 AP1 请求数据下载，AP2 与 AP3 参与协助下载。AP2 将协助下载的数据交付给一组由优选策略选出的对向行驶的协助车辆(图中标识“A”的车辆)，这些协助车辆将在 DA1 区的后半程(图中 LDA1 区)与目标车辆相遇，并将协助下载数据交付目标车辆。同理，AP3 协助下载数据将由协助车辆在 DA2 区的前半程(图中 FDA2 区)交付给目标车辆。而目标车辆在 DA1 区的前半程(图中 DA1 的 FDA 区)也可以获得数据，这些数据是目标车辆行驶到 AP1 的前一个 AP 请求协助下载时由 AP2 协助下载的数据。目标车辆在 DA2 区的后半程获得数据，是目标车辆行驶到 AP2 请求协助下载时由 AP3 协助下载的数据。这样，NICDM 方法可使目标车辆在整个 DA 区中都能够获取数据，有效地解决间歇式接入 AP 带来下载受限问题。NICDM 同时设计了冲突解决策略，进一步提高系统稳定性与吞吐量。

2 相关工作

目前车联网的协助下载模型一般具有鲜明的场景特征。文献[5]提出了高速场景下车联网中协助下载(cooperative downloading)的概念，“协助下载”概念的提出为在车联网中实现数据高速下载开辟

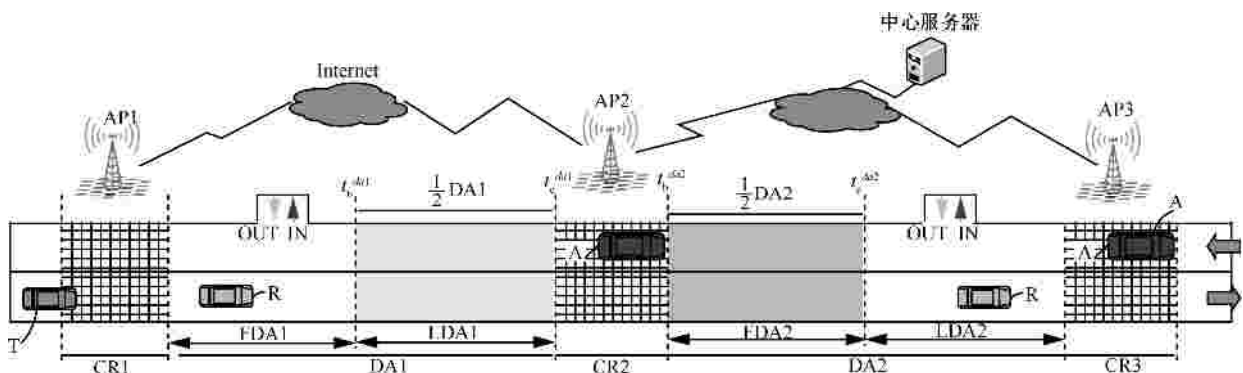


图 1 协助下载系统模型

了一个新的研究方向。该文献的 SPAWN 协议是假定了高速公路的 P2P 应用场景并且目标车辆与协助车辆都在下载同一资源,然而 2 辆下载同一资源的车辆相遇的概率较小。文献[6]针对车联网提出一种 MChord 方案,提高 P2P 下载效率。文献[7]提出一种高速公路的协助下载模型,主要分析同向车辆协助分组丢失的问题,通过对向车辆协助传输来提高系统总的吞吐量,但没有涉及协助规划方案,在稳定性方面没有保障。文献[10]依据高速场景下车辆的运行轨迹具有可预测性的特征,提出了 DSRelay 模型。该模型利用对向行驶的车辆在 AP 区为目标车辆协助下载来提高系统的吞吐量,后来作者在文献[11]中提出了 DSRelay 的补偿模型,进一步提高了系统的吞吐量。但目标车辆行驶在 DA 区过程中,只在部分时间内可以获得协助下载数据,同时补偿模型未涉及到协助车辆从高速出口驶出,造成协助下载数据丢失等意外情况。

在复杂的城市场景下,一些研究者提出新颖协助下载模型。文献[12]提出针对城市场景的车辆协助下载模型,该模型通过分析经过 AP 车辆的速度等相关信息来预测车辆的行驶路线以及与目标车辆相遇的时刻,并确定协助车辆与其所协助下载的数据。文献[1]通过对历史数据进行分析获得“相遇地图”来决策车辆选择与数据块调度。也有研究者采用辅助设备等方式来研究协助下载,如文献[8]提出了 WWAN 通知 AP 寻找协助下载车辆的方案,但条件是车辆都要安装 GPS 以及 WWAN 功能,因而该方案的实施受到较大的限制。文献[9]提出了一种间接扩展通信范围的方法,该方法将路边停靠的车辆与室内 AP 保持连接,并作为其他车辆与 AP 通信的中继器,间接扩展了 AP 的通信范围。文献[13]也提出了利用 V2V 通信方式延伸 AP 的通信范围,目标车辆能在更大范围内间接通过 AP 接入 Internet。文献[14]提出了 Cabernet 模型,该模型优化移动客户端到 WiFi 连接时间,并提出 CTP 的传输协议可大幅度提高传输效率。文献[15]提出了一种将视频内容进行优化分发到 AP 的策略,提高了用户下载视频的体验。文献[16]以最大流理论来研究车联网中内容下载性能的关键因素,指出 AP 部署密度是最大的影响因素,过多跳数(大于两跳)的 V2V 数据转发反而影响数据下载的性能。

3 无间隙协助下载方法

3.1 系统模型

本文提出的协助下载系统模型如图 1 所示。系统场景与文献[10]相似,设定在双向的高速公路场景中,在距离相隔大致相等的地方设置 AP 服务区⁰¹⁶⁰²²⁻³。为了符合高速公路实际情况,本文在 DA 区增加了高速公路出入口,如图 1 中的“OUT_IN”,协助车辆中途从出口驶出高速公路会对协助下载产生一定影响。每一个 AP 都通过高速有线网络接入 Internet,并与中心服务器(center server)相连接,AP 有固定的通信范围(CR, communication rang),在 AP 的通信范围内可与多辆车同时进行通信。每一辆车都配备有与 AP 通信以及与其他车辆通信的无线接口(WiFi),并且有唯一的 ID 标识。标识“T”的车辆为目标车辆,标识“A”的车辆为协助车辆,与目标车辆对向行驶,标识“R”的车辆为其他车辆,与目标车辆同向行驶。在本场景中,对向行驶的协助车辆与目标车辆相遇概率非常高,除非中途从高速路的出入口离开高速,因而是目标车辆最佳的协助下载车辆。

当目标车辆进入 AP 通信范围内时,向 AP 注册并提出下载请求。AP 收到下载请求后,将未能完成的下载任务由中心服务器委托其他 AP 协助下载。中心服务器依据任务分解策略将协助下载任务进行分解,分解后的子任务分别委托目标车辆行驶方向上的最近 2 个 AP 协助下载。协助 AP 从其通信范围内选择一组合适的协助车辆,并将数据传输给这些协助车辆,协助车辆将数据暂存在缓冲区中,当与目标车辆相遇时,再将携带数据交付给目标车辆。中心服务器为每一个 AP 建立 3 类列表:1) 任务列表(TL, task list),记录当前 AP 中已有的协助下载任务;2) 候选协助车辆列表(AL, assistant list),记录当前 AP 已注册的候选协助车辆;3) 已参与服务的车辆列表(SL, selected list),记录当前已参与服务与获得协助下载数据的车辆。这些列表是任务分配、协助车辆选择算法以及冲突解决策略的重要依据。

实际应用中,影响车联网协助下载的因素很多,为了使研究更有针对性,本文对部分过程与因素进行相应假设来简化模型,相关假设如下。

1) AP 在其通信范围内可以同时与多个车辆通信;车辆只有一个通信接口,在同一时刻只能与一个对象(车辆或 AP)进行通信^[17]。

2) 车辆都能自行计算出自身的平均速度,同时

有较大的存储空间，足够存储所有协助下载的数据分组。

3) 当目标车辆进入 AP 通信范围内时，向 AP 注册自身 ID、行驶方向、进入 AP 通信区的时间、平均速度以及所要下载的数据。

4) 一辆协助下载车辆进入 AP 通信范围时，立即向 AP 注册自身 ID、方向、进入 AP 通信区的时间以及自身平均速度。

3.2 任务动态分解策略

定义 1 下载周期。目标车辆向 AP 请求数据下载的起始时刻记为起始时刻，目标车辆进入下一个 AP 通信区的时刻记为结束时刻，此 2 个时刻同时也是离开下一个 DA 区的时刻，此 2 个时刻之间的时间段定义为一个下载周期。

每一个下载周期的开始时刻，目标车辆向当前 AP 进行注册并提出新的下载请求。为了便于理解，本文若无特别说明，文中的分析都以 AP1 为当前注册的 AP。同时目标车辆在 DA1 区前半程所接收的数据是在前一个下载周期中委托 AP2 协助下载的数据。因而，同一下载周期内的任务分解策略涉及到的下载数据分组包括车辆行驶在 DA1 区后半程、AP2 通信区以及 DA2 区的前半程所下载到的数据。

从文献[10]的 DSRelay 方案可看出，当仅有一个相邻的 AP 为目标车辆协助下载数据时，由车辆运动规律可计算出协助车辆与目标车辆相遇的位置大部分位于 DA 区的后半程。为了使目标车辆在整个 DA 区都能够接收到协助数据，本文将每一个 DA 区分为前半程与后半程，目标车辆在这 2 个半程所接收的协助数据是同一个 AP 分 2 次连续的协助任务下载的数据。如图 1 的 DA2 区，目标车辆在前半程(FDA2 区)接收的数据，是由目标车辆在 AP1 注册与下载请求过程中，AP3 依据分配的协助下载任务下载的数据；目标车辆在后半程(LDA2 区)接收的数据，是在下一个下载周期，即在 AP2 注册时的下载周期，由 AP3 依据新分配的协助下载任务所下载的数据。

每一次新下载请求中，协助下载的子任务分为 2 部分：DA1 区后半程协助下载任务与 DA2 区的前半程协助下载任务。在这 2 部分之间，目标车辆还可以从 AP2 直接下载数据。为了让下载数据满足服务需求的先后次序，提高用户的下载体验，本文依据车速、DA 距离和 AP 的 CR 等信息，将下载任务按照数据的时序分解成 4 部分：1)DA1 区后半程协助下载的子任务；2)AP2 直接下载的子任务；3)DA2

区前半程协助下载的子任务；4)剩余任务。然后将前 2 个子任务分配给 AP2，第 3 个子任务分配给 AP3，第 4 个剩余任务则由目标车辆在下一二次下载请求时，即行驶到 AP2 请求协助下载时，重新分配。

当目标车辆进入 AP1 通信区时，向 AP1 提交注册信息 $TM = (ID_{tar}, t_{tar}^{ap}, v_{tar}, \leftarrow)$ ，其中各参数依次表示目标车辆 ID、目标车辆注册时间、平均速度与行驶方向。目标车辆通过 DA1 区下半程的起止时间是 AP2 进行协助车辆选择的重要依据。设预计起始时刻为 t_b^{da1} ，结束时刻为 t_e^{da1} ，分别用以下 2 个公式计算

$$t_b^{da1} = t_{tar}^{ap} + \frac{CR_1 + \frac{DA_1}{2}}{v_{tar}} \quad (1)$$

$$t_e^{da1} = t_b^{da1} + \frac{DA_1}{2v_{tar}} \quad (2)$$

则目标车辆通过 DA2 区前半程的预计起始时间 t_b^{da2} 与结束时间 t_e^{da2} 为

$$t_b^{da2} = t_{tar}^{ap} + \frac{CR_1 + CR_2 + DA_1}{v_{tar}} \quad (3)$$

$$t_e^{da2} = t_b^{da2} + \frac{DA_2}{2v_{tar}} \quad (4)$$

目标车辆通过与对向行驶的协助车辆进行 V2V 通信来获得协助下载数据。设 V2V 通信半径为定值 R_c ，对向通信的数据交付速率为 W ，已选为目标车辆的协助车辆的集合为 Q ，第 k 辆协助车辆与目标车辆通信时间的起止区间为 $\bar{T}_k = [t_{a_k}^b, t_{a_k}^e]$ ，其中 $t_{a_k}^b$ 表示协助车辆 k 与目标车辆通信开始时刻， $t_{a_k}^e$ 为通信结束时刻， T_k 表示时长 $t_{a_k}^e - t_{a_k}^b$ 。则在区间内的最大数据交付量 D_{max} 满足

$$\max D_{max} = \sum_{k \in Q} (WT_k) \quad (5)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \bar{T}_i \cap \bar{T}_j = \emptyset, \forall i, j \in Q & 5(a) \\ \sum_{k \in \Phi} T_k \leq t_e^{da} - t_b^{da} & 5(b) \\ T_{min} \leq T \leq \frac{2R_c}{v_{tar} + v_a^k}, \forall v_{tar}, v_a^k \in v_{range} & 5(c) \end{cases}$$

其中，式 5(a)表示在已选协助车辆中，任意两协助车辆与目标车辆的通信时间不会相互冲突；式 5(b)表示协助车辆与目标车辆通信时间的总和不能大于目标车辆行驶在盲区的时间；式 5(c)表示两车数

据交付的时长小于或等于相遇的可通信时长, v_{range} 表示车辆速度范围, v_{tar} 表示目标车辆的速度, v_a^k 表示协助车辆 k 的速度, T_{min} 表示协助车辆与目标车辆进行数据交付最短时间的阈值。

在式(5)中, W 为定值, 因而有

$$D_{\text{max}} = \sum_{k \in Q} (WT_k) = W \sum_{k \in Q} T_k \quad (6)$$

因此, $\sum_{k \in Q} T_k$ 达到最大值时, 目标车辆可获得最大数据量, 又由约束条件 5(b)可知, 目标车辆可获最大数据量为 $W(t_e^{da} - t_b^{da})$ 。

假设目标车辆需要下载数据量为 D_{need} , 在 DA1 下半程目标车辆能接收的最大数据量为 D_{da1}^{max} , 在 DA2 上半程目标车辆能接收的最大数据量为 D_{da2}^{max} , 在 AP2 的 CR 区能直接下载的数据量为 $D_{\text{dir}} = a_{\text{dir}} \frac{CR_2}{v_{\text{tar}}}$, 其中, a_{dir} 是 AP 区直接下载

速率。为了让下载数据满足数据服务需求先后次序, 将 D_{need} 的数据按服务需求先后次序从高到低排序, D_{da1}^{max} 中的数据是服务需求级别最高的, D_{dir} 居其次, 接下来才是 D_{da2}^{max} 。任务动态分解策略算法伪代码如图 2 所示。

```

Input:  $D_{\text{need}}$ 
output:  $D_{da1}^{\text{max}}, D_{\text{dir}}, D_{da2}^{\text{max}}$ 

1)  $D_{\text{dir}} = a_{\text{dir}} \frac{CR_2}{v_{\text{tar}}}$ 
2) Compute  $D_{da1}^{\text{max}}, D_{da2}^{\text{max}}$  by 式(6)
3) If  $D_{\text{need}} < D_{da1}^{\text{max}}$  then
4)  $D_{da1}^{\text{max}} = D_{\text{need}}, D_{\text{dir}} = 0, D_{da2}^{\text{max}} = 0$ 
5) Assign Task(  $D_{da1}^{\text{max}}$  ) to AP2
6) Else If  $D_{\text{need}} > D_{da1}^{\text{max}} + D_{\text{dir}} + D_{da2}^{\text{max}}$ 
7) Assign Task(  $D_{da1}^{\text{max}}$  ) to AP2, Task(  $D_{da2}^{\text{max}}$  ) to AP3
8) Else if  $D_{\text{need}} > D_{da1}^{\text{max}} + D_{\text{dir}}$ 
9)  $D_{da2}^{\text{max}} = D_{\text{need}} - D_{da1}^{\text{max}} - D_{\text{dir}}$ 
10) Assign Task(  $D_{da1}^{\text{max}}$  ) to AP2, Task(  $D_{da2}^{\text{max}}$  ) to AP3
11) End if
12) Return  $D_{da1}^{\text{max}}, D_{\text{dir}}, D_{da2}^{\text{max}}$ 
    
```

图 2 任务动态分解策略

中心服务器将分解的新任务分配到对应 AP 的任务列表 TL 中, $TL = \{(ID_{\text{tar}}, AP_{\text{id}}, t_{\text{tar}}^{\text{ap}}, v_{\text{tar}}, \leftarrow, t_b^{da}, t_e^{da}, B_{S_1}, B_{S_n}, B_{S_n}), L\}$, 其中, 参数分别表示目标车辆 ID、AP 的 ID、注册时间、平均速度、方向、预交付的起止

时间段 $t_b^{da} \sim t_e^{da}$ 、数据块编号 $B_{S_1} \sim B_{S_n}$ 以及最小未完成协助下载的数据块序号 B_{S_n} 。协助下载的数据 $B_{S_1} \sim B_{S_n}$ 时, 从当前序号最小数据块开始, 依据序号从小到大进行下载, 并在任务列表中记录当前未完成协助下载的最小编号 B_{S_u} , 初始状态时 $B_{S_u} = B_{S_1}$, 协作下载任务完成时 $B_{S_u} = B_{S_n}$ 。

3.3 协作车辆选择策略

协助车辆进入 AP 通信范围内时, 向 AP 提交注册信息 $AM = (ID_a, t_a^{\text{ap}}, v_a, \leftarrow)$ 并发送至中心服务器。中心服务器为 AP 建立候选协助车辆列表(AL, assistant list), $AL = \{(ID_a, t_a^{\text{ap}}, v_a, \leftarrow), L\}$, 其中, ID_a 表示协助车辆 ID, t_a^{ap} 表示协助车辆在当前 AP 的注册时间, v_a 是平均车速。候选协助车辆列表以注册时间升序进行排列, 当有新的协助车辆进入 AP 通信范围内时, AP 则将该信息报告中心服务器, 中心服务器将该车辆按注册时间插入在候选协助车辆列表中。

当 AL 中的协作车辆被选为某一任务的协作车辆时, 从 AP 下载到相应数据, 并记录车辆信息 $SM = (ID_{\text{tar}}, t_a^b, t_a^c, B_{S_b}, B_{S_c})$, 其中, t_a^b 与 t_a^c 分别为预计的通信开始时间与结束时间, B_{S_b} 与 B_{S_c} 分别为协助下载的起止序号。中心服务器将车辆信息 SM 加入到已选车辆列表(SL, selected list)中, 其中, SL 以 t_a^b 的升序排列, 并从 AL 中删除该车辆。当未得到协助下载任务的协助车辆离开 AP 通信区时, AP 通知服务器从列表 AL 中删除该车辆。

AP 任务列表 TL 有多个任务时, 注册时间 $t_{\text{tar}}^{\text{ap}}$ 在先的任务具有优先选择协助车辆的权力。一个任务 TL_s 的起止时间 $T_s (T_s = [t_b^{da}, t_e^{da}])$ 由 3.2 节任务分解时获得。同一个下载任务一般需要多个协助车辆来完成, 所选择的协助车辆需要满足目标函数式(5)的约束条件。

任务 TL_s 选择协助车辆的算法如图 3 所示。首先, 依据注册时间先后顺序从 AL 中选取协助车辆 ID_a , 若 ID_a 与目标车辆预计最早通信时间 t_m 先于 SL 中车辆 SL_k 的通信开始时间 $SL_k t_a^b$, 且 SL 中车辆 SL_k 与 SL_{k-1} 之间存在通信空余时间(图 3 第 4)行) 则在此通信空白时间中选取一个满足目标函数式(5)约束条件的最长连续时间 $[t_a^c, t_a^b]$, 作为 ID_a 与目标车辆的预计可通信时间的起止时间区间 T_a (图 3 第 5)行)。计算此段时间内

可下载的最大数据量 s (图 3 第 6)行), 并下载相应大小的协助数据给 ID_a (图 3 第 7)行), 并将 ID_a 从 AL 中删除并加入到 SL 中(图 3 第 8)行)。否则, 该车不能作为当前任务的协作车辆, 继续从 AL 中查看其他的协助车辆是否符合约束条件, 直到无协助车辆可选择。

3.4 冲突解决策略

协作车辆从 AP 下载数据到把数据交付给目标车辆过程中, 受到众多因素影响, 可能造成数据无法按照预期成功交付给目标车辆, 如因非预期相遇造成通信冲突或者因协助车辆从中途离开高速造成下载数据丢失。传统的解决方法是通过 AP 下载同一数据传给多辆协助车辆来建立多个副本, 增加该数据交付给目标车辆的机会, 减少通信冲突对数据交付的影响。然而, 在 AP 下载多次下载同一数据来创建副本, 一方面会占用本来有限的 AP 资源, 另一方面造成系统吞吐量下降^[10]。文献[11]提出一种下载补偿模型, 该模型通过车辆间广播的方式来告知即将发生或已发生的冲突, 然后再从周边车辆选择其一作为副本的载体, 以弥补此次冲突造成数据接收机会的损失。但该副本创建方法在很大程度上依赖冲突时刻的周边场景, 如正好周边有无协助任务且无通信冲突的协助车辆。该方法也无法预测协助车辆中途从出站口离开高速事件, 无法补救因此造成的协助数据丢失。

```

Input: AL,SL
output: SL
1) If AL is not empty then
2) for each  $ID_a$  in AL do
3) for each  $SL_k$  in SL do
4) If  $t_m < SL_k t_a^b$  and  $SL_k t_a^b - SL_{k-1} t_a^c > 0$  then
5)  $T_a \leftarrow [t_a^c, t_a^b]$ 
6)  $s \leftarrow W(t_a^c - t_a^b)$ 
7) download data  $(B_{s_x}, B_{s_x} + s)$  to  $ID_a$ 
8) delete  $ID_a$  from AL and add  $ID_a$  to SL
9)end if
10) end for
11) end for
12)end if
    
```

图 3 协助车辆选取算法

为了解决因通信冲突或数据丢失等造成协助数据无法交付到目标车辆的问题, 本文提出了一种在 DA 区创建数据副本的“ N -副本”解决策略。 N 表示同一协助数据所创建的副本的总个数, 是一个动态值, 可依据实际应用场景动态设置, 如依据系统中协

助下载数据的交付成功率及其相关参数的历史数据进行动态调整, 也可以依据用户需求级别进行设置。

设 TL 为当前 AP 协助任务集合, $TL_i, TL_j \in TL$, TL_i, TL_j 的目标车辆分别为 i 与 j ; AL 为协助车辆集合, $x, y \in AL$ 。

定义 2 拥有关系: $E(x, i)$ 表示 x 已拥有 i 的协助下载数据。

2016022-6

定义 3 相遇关系: $H(x, i)$ 表示 x 与 i 之间的相遇机率。

定义 4 冲突关系: $F(x, i, j)$ 表示若 x 同时为任务 TL_i 与 TL_j 携带数据, 则会产生数据交付时间冲突。

定义 5 委托关系: $G(x, y, i)$ 表示 x 委托 y 备份 x 的 TL_i 的协助数据, 并在与 i 相遇时完成交付。

为了更有效地提高副本的交付成功率与增强协助下载的稳定性, 副本载体, 即协助车辆应满足如下规则。

规则 1 若副本备选载体中已有目标车辆的协助数据, 则不再作为该目标车辆的数据备份载体, 即

$$\text{Oy}E(y, i) \rightarrow G(x, y, i)$$

规则 2 若副本备选载体中已有协助数据的预测交付时间与目标车辆的协助数据交付时间有交集, 则不再作为该目标车辆的数据备份载体, 即

$$\text{Oy}E(y, i, j) \rightarrow G(x, y, i)$$

规则 3 若副本备选载体与目标车辆的相遇机率小于阈值 d_c , 则不再作为该目标车辆的数据备份载体, 即

$$\text{Oy}H(y, i) < d_c \rightarrow G(x, y, i)$$

在高速公路场景中, 对向行驶的车辆与目标车辆相遇的机率很大, 同向车辆与目标车辆相遇的机率较小, 因此, 对向行驶车辆是副本的主要载体。同向行驶的车辆虽然不被选为直接交付给目标车辆的副本载体, 但可以作为副本创建时的过渡载体。副本载体选择分为 2 类: 1)数据的初始携带车辆 A_i (从 AP 接收数据的车辆)向通信范围内的与目标车辆对向行驶的协助车辆请求创建数据副本, 如图 4(a)所示, A_i 向其周边通信范围内的协助车辆 A_{j+x} 请求创建副本; 2)初始携带车辆 A_i 将数据传递给与目标车辆同向行驶的车辆 R , 由 R 再寻找合适的协助车辆做副本载体, 如图 4(b)所示的 2 个阶段。阶段 1 中 A_i 向 R 传递副本数据, 阶段 2 中 R 向通信范围内对向行驶的 A_j 请求创建副本。

当一个协助车辆 A_i 下载协助数据离开 AP 通信

概率为 3%，车辆速度变化率为 p ，且变化过程符合正态分布。车流密度 l 满足泊松分布 $P(x = k) = e^{-l} \frac{l^k}{k!}$ 。

4.1 影响系统性能的因素分析

4.1.1 协助车辆密度 l 对吞吐量的影响

为了研究车流密度对系统的吞吐量影响的情况，设定了一组实验：车辆初始速度为 90 km/h，在 $p=0.1$ 的情况下，取车流密度 $l=20、16、12、8$ 分别进行实验，并在相同的条件下也采用无协助下载方法(简称 no-co)进行了对比实验。实验中记录系统在一个下载周期内目标车辆所获得的数据量，实验结果如图 6 所示。在前 30 多秒内，目标车辆还在 AP 通信范围内，从 AP 直接下载数据，5 种方法所接收的数据量是相等的。到盲区后无协助下载方法将不再收到数据，只能到下一个 AP 时才能下载到数据； $l=20$ 时，目标车辆能够获得一些协助下载的数据，但由于可选择的协助车辆较少，所能协助下载的数据量较少，在一个下载周期内总共可获得的数据量为 9 740 KB； $l=16$ 时，协助 AP 可选的协助车辆增多，目标车辆能够获得更多的协助下载的数据；当 $l=12$ 时，协助 AP 可选的协助车辆增多可选择最佳的协助车辆队列，因而目标车辆所得到的数据量明显增多，总量达到 15 050 KB；当 $l=8$ 时，目标车辆则能获得更多的数据。从这一组实验可以看出，当协助车辆密度越大时，AP 有更多可选择的协助车辆来协助下载，因而目标车辆获得更多下载数据，进一步提高系统吞吐量。

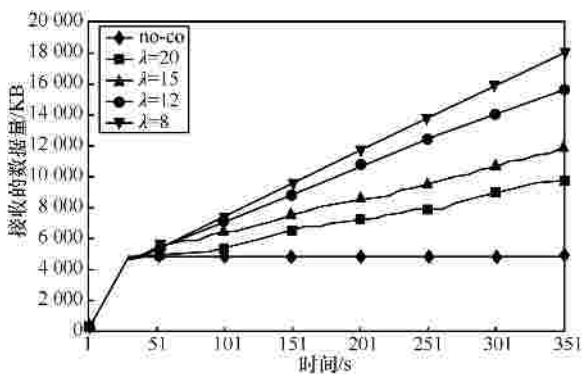


图 6 不同车辆密度对下载量的影响

4.1.2 不同车辆速度变化率 p 对吞吐量影响

车辆平均速度是预测协助车辆与目标车辆相遇时间的重要依据，是协助车辆队列的选择基础。

实际生活中，车辆的速度不变是几乎不可能的，因而车辆相遇的位置与时间就可能与预测的有所不同，从而影响了协助数据的交付成功率。在协助下载模型设计时，必须考虑车速变化造成的影响。为了研究车辆速度的变化率对协助下载的影响，设计了一组实验：车流密度 $l=8$ ，车辆初始速度为 90 km/h，在车辆的变化率 p 分别为 0.1、0.2 与 0.4 这 3 种情况下进行仿真实验。实验中记录目标车辆在一个下载周期所接收到的数据，最终的实验结果如图 7 所示。从图 7 中可以看出，当 $p=0.4$ ，由于车辆速度变化较大，协助车辆与目标车辆实际相遇时间与预测的相遇时间相同的概率较低，因而造成通信冲突较多，目标车辆所接收到的数据量受到较大影响，下载的总量仅有 12 412 KB。当车速变化率为 0.2 时，实际相遇时间与预测的相遇时间相同的概率提高了，通信冲突减少，目标车辆接收到的数据有明显提高，达到了 15 597 KB。当车速变化率为 0.1 时，目标车辆接收到的协助下载数据进一步增多。

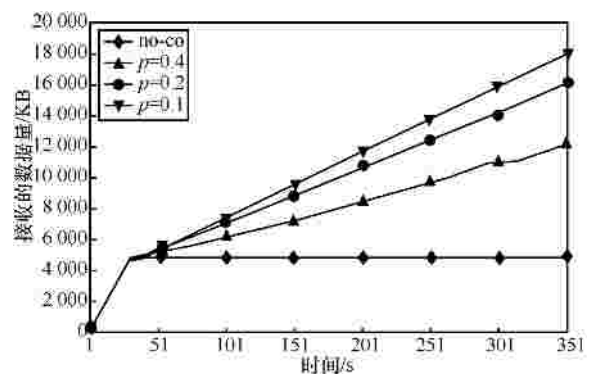


图 7 不同车速变化率对下载量的影响

4.1.3 N -副本的 N 值对吞吐量的影响

车辆在行驶过程中，受到众多因素影响，因而协助下载数据不可能完全按照预期方式交付给目标车辆。为数据创建副本可提高数据交付的机率，提高数据交付的可靠性。本文设计了“ N -副本”策略。为了验证副本的 N 值对下载量的影响，分别设置 N 为 0、1、2、4 进行对比实验，副本数量与目标车辆的数据下载量的关系如图 8 所示。

当 $N=0$ 时，由于车辆速度变化等因素引起数据交付冲突或数据丢失，因而目标车辆所接收数据量并不高，而当 $N=1$ 时，接收的数据量有所提升，当 N 为 2、4 时进一步的提升。副本数量越大就可以更

2016022-8

有效提高目标车辆接收协助下载数据的机会，提高目标车辆的下载量与系统吞吐量，但是，从另一方面也增加了通信开销，同时也会增加车间的其他通信冲突，因此， N 值可依据应用的实际场景进行动态设置。

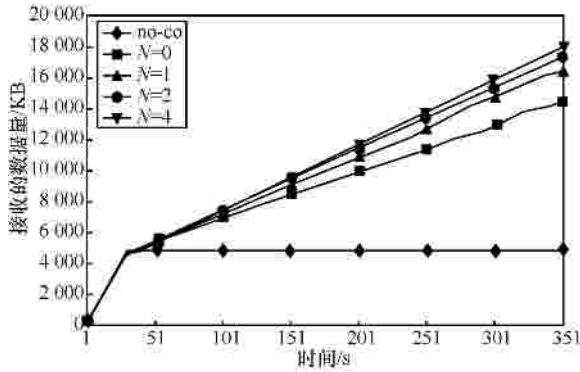


图 8 N-副本中的 N 值对下载量的影响

4.1.4 不同 AP 密度对吞吐量的影响

AP 的密度是影响协助下载的另一重要因素，稀疏的 AP 造成的更大长度的 DA 区间，影响了系统的吞吐量。为了验证 AP 密度对下载量的影响，将 DA 长度分别设置为 8 km、12 km 以及 16 km。目标车辆在 DA 区前后半程所得到的数据量与 DA 长度的关系如表 1 所示。

表 1 目标车辆在不同长度 DA 区的数据下载量

DA 区	DA 长度					
	8 km		12 km		16 km	
	D	P	D	P	D	P
FDA	6 281	785.06	9 239	769.92	11 382	711.35
LDA	6 534	816.75	9 540	795.00	12 647	790.43

注 D 表示数据下载量，单位为 KB；P 表示平均每公里下载量，单位为 KB/km。

由表 1 可以看出，目标车辆在同一长度的 DA 区时，在 FDA 区所获得的数据量略少于 LDA 区，主要是由于协助车辆的运载协助数据时间要长于 LDA 区的时间，因而增加了数据交付的冲突机率；目标车辆在不同长度的 DA 区时，平均每千米下载的数据量随着 DA 长度的增大而较小幅度的减小，这说明 DA 的长度对系统的吞吐量的影响还是存在，即 DA 距离越小，单位距离协助下载的数据量越多。

4.2 性能对比

4.2.1 协助下载方法的对比分析

为了验证 NICDM 优缺点，本文采用类似的协助下载方法进行对比实验。设置 DA 距离为 8 km，采用了 no-co 方法、随机选车算法(简称 ra-co，该下载方法随机选择车辆来参与协助下载)、DSRelay 模型以及 NICDM 进行对比实验。实验中记录一个下载周期内目标车辆所接收到的下载数据，实验结果如图 9 和图 10 所示。

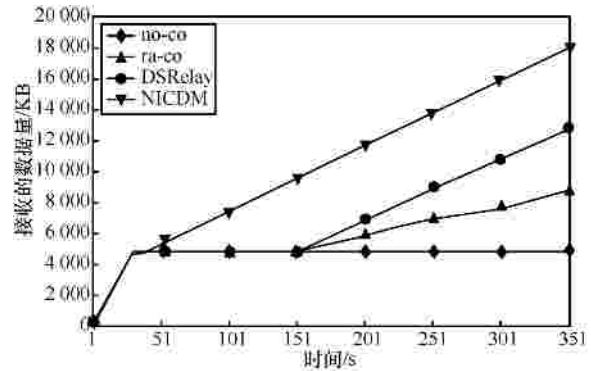


图 9 4 种下载方法的下载量

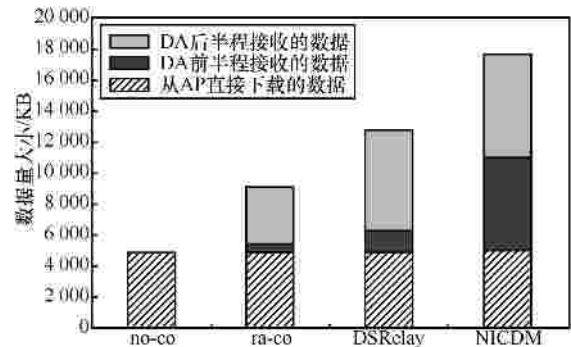


图 10 4 种下载方法的各阶段下载量

在图 9 可以看出目标车辆进入 AP 时到离开 AP 通信范围内的 30 多秒的时间内，目标车辆所接收到的数据是由 AP 下载的数据直接交付给目标车辆，4 种方案的下载时长与下载速率相等，因而目标车辆获得了相等的数据量。在离开通信区，无协助下载方法中的目标车辆在 DA 不能收到其他车辆协助 16022-9 下载数据，在整个 DA 区都接收到数据量为 0 KB，最后整个下载周期内所接收的数据就只有在 AP 区直接下载的数据。随机选车算法中，当目标车辆进入 AP 时会向下一个 AP 请求协助下载，协助 AP 随机选择协助车辆，因而造成较多的协助车辆通信冲突，导致数据交付失败率高，但在盲区还是能够接收到一些协助下载数据，因而整个下载周期内得到

的数据相比无协助方法有所提升，达到了 7 900 KB。在 DSRelay 模型中，协助 AP 的车辆选择过程是依据策略进行地，并在 DA 区采用防碰撞补偿算法，因而系统的吞吐量有较大幅度地提升，目标车辆在整个下载周期内所接收到的数据平均达到 12 360 KB。在 NICDM 中，采用了 DA 区的分段协助下载策略，目标车辆可以在整个 DA 接收协助车辆下载的数据，因而 NICDM 的一个周期内的总吞吐量可达到 17 810 KB，与 DSRelay 模型相比有显著提高。

图 10 表示 4 种下载方法在 3 个阶段所接收的数据量情况。3 个阶段分别为：1) 在 AP 通信范围内直接下载数据；2) 在 DA 前半程所接收到的协助下载数据；3) 在 DA 后半程所接收到的数据。由图 10 可看出，直接下载的数据量相等，说明 4 种下载方法在 AP 区所接收数据相等。由前面分析可知，no-co 方法在整个 DA 区不会再接收数据，ra-co 算法与 DSRelay 采用单一 AP 协助下载思路，下载到的大部分数据是目标车辆行驶到 DA 的后半程接收到的，前半程能够接收到少量的数据是由部分速度较高的协助车辆所交付的。在图 10 中 ra-co 与 DSRelay 只有少量的前半程接收的数据验证了这一分析正确性。本文的 NICDM 方法采用了 DA 区的分段协助下载策略，目标车辆在 DA 的前半程与后半程所接收协助下载的数据大致相等，图中的 NICDM 中的前半程接收的数据量与后半程接收的数据量大致相等，进一步验证了 NICDM 有效地消除了 DA 的前后半程对协助下载的影响。

4.2.2 协助下载方法的用户体验分析

用户在使用网络服务过程中，处于通信暂盲或通信中断的时间

越长，用户体验则越不好。协助下载过程中，目标车辆在 DA 区处于数据等待(WFD, waiting for data)状态的时间长短是直接影响用户体验的重要指标。本文设计一组实验，DA 长度分别为 8 km、12 km 与 16 km，采用随机选车算法(ra-co)、DSRelay 模型以及 NICDM 方法。实验中统计了目标车辆在不同长度的 DA 区中的平均带宽(AB, average bandwidth)以及处于 WFD 状态的时长，用来分析在

DA 区下载时的用户体验。

图 11 表示了采用 3 种协助下载方法过程中，目标车辆在 DA 区获得的平均带宽。通过任务分解策略，NICDM 实现了目标车辆在 DA 区前后半程都可获得大致相等的数据，因而 DA 区的平均带宽最高，达到 40 KB/s。在 DSRelay 方法中，虽然目标车辆在 DA 后半程接收到的数据量与 NICDM 相近，但其前半程接收到的数据量很少，因而整个 DA 区的平均带宽受到影响，只有 NICDM 的 60%。随机选择算法接收到的数据量更少，在 DA 区的平均带宽则更低。本实验结果可以证实，通过 NICDM 方法，用户能够获得更高的下载速度，提高下载时的用户体验。

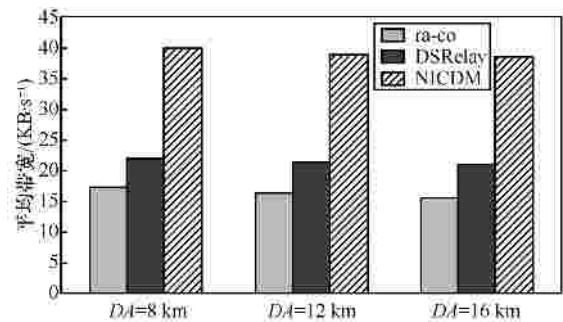


图 11 3 种下载方法在 DA 区的平均带宽

表 2 表示的是目标车辆在经过 DA 区前半程与后半程时处于 WFD 状态的时间统计结果。从表 2 结果可以看出：1) DA 的后半程，DSRelay 与 NICDM 的空闲时间总长基本相等，ra-co 算法中目标车辆的 WFD 状态时间较多，是 NICDM 的 16 倍以上，DA

表 2 目标车辆在 DA 区的 WFD 状态总时长 (单位：s)

阶段	目标车辆在 DA 区的 WFD 状态总时长 (单位：s)								
	DA =8 km			DA =12 km			DA =16 km		
	ra-co	DSRelay	NICDM	ra-co	DSRelay	NICDM	ra-co	DSRelay	NICDM
DA 的前半程	144.0	132.1	5.7	219.1	200.8	10.1	293.5	269.2	21.2
DA 的后半程	38.5	2.5	2.3	62.6	3.7	3.8	96.4	5.3	4.7

区越长，ra-co 算法中目标车辆的 WFD 时间相比其他 2 种方法增长地更快；2) 在 DA 的前半程，ra-co 算法与 DSRelay 中目标所处于 WFD 状态的时间很长，所占目标车辆通过 DA 区时间的 82%，结合图 10 可分析出，这些 WFD 状态基本上是属于连续时间，这对于下载时的用户体验可是致命的。NICDM 方法中产生 WFD 状态的主要原因是车速变化引起通信冲突，但这些 WFD 状态是离散不连续，且时

间较短, 仅占目标车辆通过 DA 区时间的 3%~6%, 用户在下载过程中基本上感觉不出来, 获得了较好的用户体验。

5 结束语

高速公路 2 个相邻 AP 区有一段较长的通信盲区, 造成了车辆较长时间的通信间歇期, 在通信间歇期可通过车辆的协助下载, 间接增加目标车辆的下载时间, 从而提高车辆的下载吞吐量。为了更充分利用通信间歇期, 本文采用了将目标车辆的下载任务委托其行驶方向上最近 2 个 AP 协助下载, 实现目标车辆在整个通信盲区可接收到协助车辆的下载数据。同时本文针对因通信冲突或车辆中途离开高速等影响数据无法正常交付的因素, 设计了 N -副本策略来提高数据交付的成功率。通过仿真实验, 论证参数对系统性能的影响, 同时也表明了 NICDM 实现的目标车辆在整个 DA 区无间隙获得协助下载数据, 与相似下载方法相比显著地提高了系统吞吐量。下一步研究工作的重点将针对不同场景下协作车辆的利用率进行定量分析。

参考文献:

- [1] TRULLOLS-CRUCES O, FIORE M, BARCELO-ORDINAS J M. Cooperative download in vehicular environments[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2012, 11(4): 663-678.
- [2] JOERER S, SEGATAM, BLOESSLB, et al. A vehicular networking perspective on estimating vehicle collision probability at intersections[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2014, 63(4): 1802-1812.
- [3] LIN SH, HU J Y, CHOU C F, et al. A novel social cluster-based p2p framework for integrating VANETs with the Internet[C]//Wireless Communications and Networking Conference, WCNC 2009. Budapest, Hungary, c2009: 1-6.
- [4] 姜海涛, 张宏, 李千目. 车载时延容忍网络路由协议研究[J]. 通信学报, 2013, 34(3): 76-84.
JIANG H T, ZHANG H, LI Q M. Research on routing protocol of vehicular delay-tolerant networks[J]. Journal on Communications, 2013, 34(3): 76-84.
- [5] NANDAN A, DAS S, PAU G, et al. Co-operative downloading in vehicular ad-hoc wireless networks[C]//Wireless On-demand Network Systems and Services, 2005. St. Moritz, Switzerland. c2005: 32-41.
- [6] LIU C L, WANG C Y, WEI H Y. Mobile chord: enhancing P2P application performance over vehicular ad hoc network[C]//IEEE GLOBECOM 2008. New Orleans, USA, c2008: 1-8.
- [7] TRULLOLS-CRUCES O, MORILLO-POZO J, BARCELO J M, et al. A cooperative vehicular network framework[C]//Communications, IEEE International Conference on 2009. Dresden, Germany, c2009: 1-6.
- [8] CHEN B B, CHAN M C. MobTorrent: a framework for mobile Internet access from vehicles[C]//IEEE INFOCOM 2009. Rio de Janeiro, Brazil, c2009: 1404-1412.
- [9] CREPALDI R, BEAVERS R, EHRAT B, et al. Loading zones: leveraging street parking to enable vehicular internet access[C]//The Seventh ACM International Workshop on Challenged Networks. Istanbul, Turkey, c2012: 23-30.
- [10] 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, BE J P, et al. VANET cooperative downloading approach study based on dynamic slot[J]. Chinese Journal of Computers, 2011, 34(8): 1378-1386.
- [11] 刘建航, 毕经平, 徐鹏, 等. 一种提高系统吞吐量的协助下载补偿模型[J]. 计算机学报, 2012, 35(7): 1390-1398.
LIU J H, BE J P, XU P, et al. A compensation model of cooperative downloading improving system throughput[J]. Chinese Journal of Computers, 2012, 35(7): 1390-1398.
- [12] FIORE M, BARCELO-ORDINAS J M. Cooperative download in urban vehicular networks[C]//Mobile Adhoc and Sensor Systems, IEEE 6th International Conference. Macau, China, c2009: 20-29.
- [13] ZHAO J, ARNOLD T, ZHANG Y, et al. Extending drive-thru data access by vehicle-to-vehicle relay[C]//The Fifth ACM International Workshop on Vehicular Inter-Networking. San Francisco, USA, c2008: 66-75.
- [14] ERIKSSON J, BALAKRISHNAN H, MADDEN S. Cabernet: vehicular content delivery using WiFi[C]//The 14th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking. San