

车辆接入互联网基于机会链接的资源分配

陈 丽¹, 李治军¹, 姜守旭¹, 方文涛², 王 帅¹

(1. 哈尔滨工业大学 计算机科学与技术学院, 150001 哈尔滨; 2. 颐中烟草机械有限公司, 266000 青岛)

摘 要: 为提高车辆接入互联网的通信服务能力, 研究了无线网络接入点 (AP) 如何分配信道资源, 才能更为有效地利用车载节点间的机会通信扩展 AP 通信服务范围. 对基于机会链接的资源分配问题进行了形式化定义并证明该问题是 NP-难的. 为解决该问题又提出基于节点间链接预测的资源分配近似算法. 通过模拟实验分析了节点数量与节点请求下载量对传输率的影响, 并将基于链接预测的资源分配算法 (APL) 与现有的基于竞争及随机资源分配方法进行了对比实验分析, 实验结果表明: 该方法显著地提高了网络的通信服务能力.

关键词: 车载 Ad hoc 网络; 车辆接入互联网; 信道资源分配; 机会链接

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2013)05-0040-05

Optimal allocation of resource based on probabilistic link in drive-thru networks

CHEN Li¹, LI Zhijun¹, JIANG Shouxu¹, FANG Wentao², WANG Shuai¹

(1. School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, 150001 Harbin, China;

2. Etsong Tobacco Machinery Limited Company, 266000 Qingdao, China)

Abstract: To improve AP's capability of communication services, this paper addresses the problem of efficiently downloading content when vehicles go through the limited coverage range of roadside access point (AP) in drive-thru internet. How to allocate channel resource and effectively utilize vehicle-to-vehicle communication is focused on to improve AP's capability of service. An optimization selection problem of k forwarding nodes to maximize the number of completed file download jobs is formalized, and that it is NP-Hard is proved. Based on this, allocation of resource (APL) scheme based on the prediction of link durations of the different pair users, and the APL approximate algorithm based on greedy are proposed. Extensive simulation results show that the APL consistently outperforms competitive allocation schemes under varying workloads.

Key words: vehicular ad hoc networks (VANETs); drive-thru internet; resource allocation; probabilistic link

近年来,车辆的爆发式增长和无处不在的信息需求将通信网络和车辆紧密结合起来.公路网中稀疏部署无线网络接入点 (Access Point, AP), AP 节点有线接入互联网,可以为移动到该通信覆盖区域的车载节点提供数据 (如音乐、视频等) 下

载、资讯共享等服务^[1-3]. 车辆接入互联网就是指车载节点在移动过程中通过路边的 AP 节点接入互联网,获取通信服务的应用场景. 它是近年来迅速兴起的对车载 Ad hoc 网络 (VANETs) 通信进行研究的一个新兴研究领域^[4-8].

S. Annese 等^[9]尝试基于稠密部署的基础设施进行节点连接与路由的研究,但由于 AP 的部署成本及维护费用都较高,而且其部署还受 AP 间无线通信干扰等因素的局限,使得该类方法不适合应用于实际车载网络环境. 现有公路网 AP 节点的部署一般都较为稀疏;又由于 AP 通信半径有限,因此车辆节点在移动过程的大部分时间

收稿日期: 2012-08-10.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60803148, 60973124); 教育部高校博士点科研基金资助项目 (20102302110036); 山西省自然科学基金项目 (20110110142); 山西省科技基础条件平台建设项目 (20120910030105).

作者简介: 陈 丽 (1975—), 女, 讲师, 博士研究生;
姜守旭 (1968—), 男, 教授, 博士生导师.

通信作者: 陈 丽, chenli20040415@hit.edu.cn.

处于 Internet 链接空洞 (即 AP 通信覆盖范围外的区域),无法接入 Internet,导致车载节点在移动过程中的网络链接是间歇性的. 随着网络与信息技术的快速发展和日益普及,人们在车辆移动过程中的通信服务需求日益增大,这就使得爆发式增长的车辆接入互联网需求与稀缺 Internet 链接资源间矛盾的日益激化,势必造成大量用户的网络接入请求无法得到满足.

信道资源的分配策略直接影响链接空洞区域数据包的多源转发,从而对 AP 通信服务能力的提升至关重要,而节点间的链接情况又在很大程度上决定了资源分配策略的有效性. 但现有方法对 AP 信道资源的分配研究很少,并没有将链接空洞区域节点间的链接情况与信道资源的分配建立关联,不能有效地利用 Internet 链接空洞区域节点间的 V2V 通信,提高 AP 通信服务能力. 本文将基于节点间链接的 AP 信道资源分配问题进行了形式化并证明了该问题时 NP-难的. 为了解决该问题提出基于节点间链接预测的资源分配近似算法.

1 网络模型

公路网中稀疏部署多个 AP 节点,AP 有线接入 Internet,其通信半径内的车载节点可通过它无线接入 Internet 进行数据下载,以满足车辆接入互联网通信需求. 假设车载节点的通信半径及传输速率都相同.

车辆接入互联网的网络架构图如图 1 所示,图 1 中的灰色区域为 AP 的通信覆盖范围,移动到该区域的车载节点可以通过 AP 接入 Internet,其他区域为 Internet 链接空洞区域,该区域中的车载节点只能通过 Ad hoc 链接与通信半径内的其他节点通信.

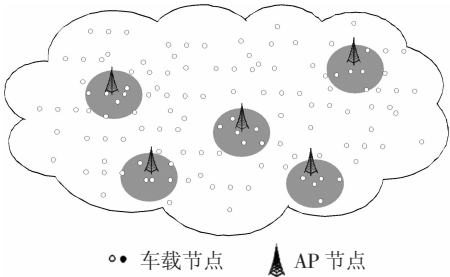


图 1 Drive-thru Internet 的网络架构

如图 2 所示,将公路网模型化为图 $G = (V, E, P)$, $n_i \in V$ 为车载节点集, $i = 1, 2, \dots, N$; $e_{ij} \in E$ 为节点间边的集合, e_{ij} 为节点 n_i 与 n_j 间的链接, $p_{ij} \in P$ 为边上权值的集合, 节点间链接时长 T 服从对数正态分布^[10], $p_{ij} = F(T_{ij} \geq T_{ij}^{(0)})$ 为节点

n_i 与 n_j 链接时长 T_{ij} 大于等于阈值 $T_{ij}^{(0)}$ 的概率,其中 $T_{ij}^{(0)}$ 的值由节点 n_i 与 n_j 请求下载文件的大小决定.

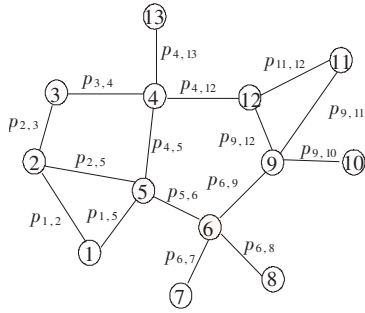


图 2 Drive-thru Internet 网络模型

车辆接入互联网资源分配实例如图 3 所示. 当一组节点进入 AP 无线通信覆盖区域时,AP 将信道资源分配给优化转发节点 (即图 3 中的黑色节点),这些获得信道资源的节点通过 AP 接入 Internet 进行数据下载,如图 3(a) 所示;当该组节点移出 AP 通信覆盖区域后,这些节点再将其下载到的数据通过节点间的 V2V 通信转发给其他节点,如图 3(b) 所示.

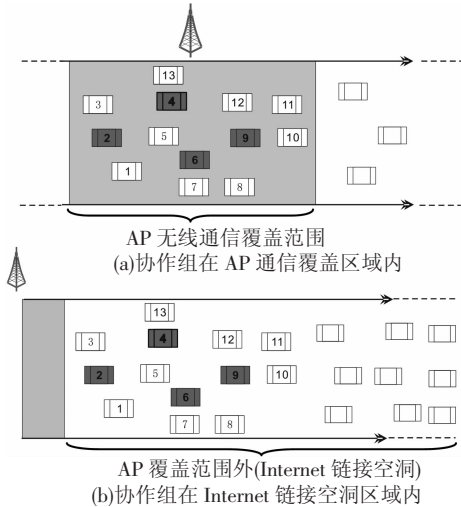


图 3 Drive-thru Internet 传输实例

2 问题的形式化

2.1 问题的形式化描述

给定公路网 G , co_group_r 为 $t = 0$ 时刻即将通过 AP 通信覆盖区域相互连通且请求接入下载同一文件的节点集形成的协作组, $G_{co_group_r} \subseteq G$ 且 $G_{co_group_r} = (V_{co_group_r}, E_{co_group_r})$, 其中 $V_{co_group_r} = \{n_1, n_2, \dots, n_N\}$ 为协作组中的车载节点集; $E_{co_group_r}$ 为协作组中车载节点间链接的集合, 如节点 $p_{ij} > 0$, 则 $e_{ij} \in E_{co_group_r}$.

对于车辆接入互联网应用场景,AP 响应其通信覆盖范围内车载节点接入互联网的通信请求,进行信道资源分配. AP 如何分配其信道资源,才

能最为有效地利用 V2V 数据传输,使得满足接入互联网需求的用户个数最大化.即在时间段内,在满足约束的条件下,使得下载到所需文件的用户数量最大.车辆接入互联网基于链接资源分配问题相当于转发节点集的优化选择问题,本文将形式化为最大化满足通信请求用户数的 k 个节点的优化选择问题,即该 AP 根据对下一阶段节点间链接的预测,将其信道资源分配给哪 k 个节点,使得满足通信需求用户数量最大的优化问题.

定义 1 (优化转发节点集问题 (Optimization selection of Forwarding node Set problem, OFS)) 给定一个协作组 $G_{\text{co_group}_r} = (V_{\text{co_group}_r}, E_{\text{co_group}_r})$, 求满足节点支配度总和最大的转发节点集 V^* .

2.2 问题分析

对该问题进行分析不难看出,车载节点接入 Internet 的通信需求,其实质可归结为不同数据量的下载任务,如请求下载文件 f_j , 其通信时间 t_{f_j} 的值只取决于文件的大小. 设 AP 信道资源最多可以分配给该协作组中 $K' \leq |V_{\text{co_group}_r}|$ 个节点. 为了最大化吞吐量,关键要解决将该协作组与 AP 总的链接时间分配给哪 K' 个节点. 即 AP 信道资源优化分配问题相当于转发节点集的优化选择问题. 目标函数形式化如下

$$V^* \leftarrow \arg \max_{V_i \subseteq V_{\text{co_group}_r}} = \left\{ \sum_{n_j \in V_i} |D_{(n_j)}| \right\},$$
$$\text{s. t. } |V_i| \leq K'. \quad (1)$$

得证转发节点集的优化选择问题是 NP-难的.

定理 1 OFS 问题是 NP-难的.

证明 设图 $G = (V, E)$, 正整数 $K \leq |V|$ 是最小支配集问题的一个实例,构造 $V_{\text{co_group}_r} = V$, $E_{\text{co_group}_r} = E$, $K' = K$ 是 OFS 问题的一个实例. 将最小支配集问题的解作为 OFS 问题的解. 从而,最小支配集问题可多项式时间归约到优化转发节点集问题而图的最小支配集问题已被证明是 NP-完全问题. 所以, OFS 问题是 NP-难的. 定理得证.

3 基于链接的资源分配算法

车辆接入互联网的数据传输过程分为两个阶段: 1) AP 通信覆盖区域. AP 将其信道资源分配给优化选择出来的车载节点,即优化转发节点集中的节点. 因此只有转发节点才可以获得 AP 的信道资源,接入 Internet 进行文件下载. 2) 链接空洞区域. 转发节点间通过 V2V 自组织通信,将其下载的文件转发给通信半径内其他节点,再进行下一轮转发节点集的选择,与阶段 1) 相似.

车辆接入互联网数据传输过程中信道资源分

配的关键在于转发节点的选择. 而如前所述,优化转发节点集问题是 NP-难问题,从而无法直接求解. 因此,本文给出求解该问题的近似算法.

3.1 基于当前链接的资源分配

本文以传输率作为衡量网络通信服务能力的指标. 为了实现最大化传输率的研究目标,本文利用车载节点移出 AP 通信覆盖区域后的 V2V 通信,提出基于节点间当前链接的资源分配策略 (Resource Allocation based on the Current Link between nodes, ACL).

定义 2 (节点的支配度) 将 $|D_{(n_i)}| = \sum_{n_j \in N_{(n_i)}} I_{ij}$ 定义为节点 n_i 的支配度,其中布尔变量为

$$I_{ij} = \begin{cases} 1, & n_j \in N_{(n_i)} \text{ 或 } n_i \in N_{(n_j)}; \\ 0, & \text{否则.} \end{cases}$$

式中: I_{ij} 为节点 n_i 与节点 n_j 间是否存在链接. 其中: 1 为存在链接, 0 为不存在链接; $N_{(n_i)} = \{n_j | n_i, n_j \in V_{\text{co_group}_r}\}$ 为节点 n_i 当前时刻的邻居节点集.

如前所述,由定理 1 得证,对于 K' 个转发节点的优化选择问题本身是 NP-难的,从而无法在多项式时间求解出该问题. 因此,本文根据节点间当前的链接情况,即节点的支配度 $|D_{(n_i)}|$, 提出 ACL 算法进行 AP 信道资源分配. 为了最大化传输率,将其形式化为支配度总和最大的转发节点集问题,见式 (1). ACL 算法基于贪心思想进行转发节点的优化选择,求优化的转发节点集.

3.2 基于链接预测的资源分配

ACL 算法基于节点间的当前链接进行资源分配,无法适应车辆接入互联网中由于节点快速移动引起的节点间链接频繁变化,从而达不到理想的传输性能. 因此,本文又提出了基于链接预测的资源分配算法 (Resource Allocation based on the Prediction of Link, APL) 以便更好地适应节点间链接的动态变化.

3.2.1 APL 策略的基本思想

APL 策略的基本思想为:

1) 当协作组 co_group_r 处于 AP 的通信区域时,首先根据节点间相对距离、速度及加速度,预测该组节点移出 AP 无线通信区域后节点间链接的概率^[10].

2) 为了最大化传输率,根据式 (1) 预测出来的节点间的 Ad hoc 链接情况,优化选择转发节点集.

APL 策略的关键是要解决如何选择以及选择哪个指标来优化选择转发节点集. 本文提出以节

点的机会支配度作为新的指标来进行转发节点的选取,其定义如下。

定义 3(节点的机会支配度) 将 $|D_{(n_i)}^p| =$

$\sum_{n_j \in N(n_i)} p_{ij} \cdot I_{ij}$ 定义为节点 n_i 的机会支配度,其中 $N(n_i) = \{n_j | n_i, n_j \in V_{\text{co_group}}, p_{ij} > 0\}$ 为节点 n_i 的邻居节点集,布尔变量为

$$I_{ij} = \begin{cases} 1, & p_{ij} > 0; \\ 0, & p_{ij} = 0. \end{cases}$$

式中: I_{ij} 表示节点间是否存在链接。

3.2.2 APL 策略的具体实现

本文将基于链接预测的资源分配问题形式化为转发节点集的优化选择问题,其目标函数如下

$$V^* \leftarrow \arg \max_{V_i \subseteq V_{\text{co_group}}} = \left\{ \sum_{n_j \in V_i} |D_{(n_j)}^p| \right\},$$

$$\text{s. t. } |V_i| \leq K'. \quad (2)$$

如前所述,近似算法 ACL 无法适应节点间链接的频繁变化,传输性能不理想. 因此,本文又提出了基于对协作组中节点间的未来链接情况的预测的 APL 算法对该问题进行求解. APL 算法基于贪心思想每次选择当前机会支配度最大的节点作为转发节点,加入转发节点集,并将该节点及其所邻接的边从图 $G_{\text{co_group}}$ 中删除,然后更新 $G_{\text{co_group}}$, 中重复上述过程,直至转发节点集中节点个数为 K' 或 $V_{\text{co_group}} = \Phi$ 时结束. APL 算法伪代码见图 4.

APL 算法: 基于链接预测进行资源的优化分配

输入: 图 $G = (V, E, P)$

$/ * V = S_N = \{n_1, n_2, \dots, n_N\}$ 为通过 AP 通信区域的一组节点集 $*/$

$n_i = \langle v_i, a_i, l_i \rangle, i = 1, 2, \dots, N / * v_i, a_i$ 和 l_i 分别为节点 $n_i \in V$ 的速度、加速度及 X, Y 坐标 $*/$

输出: S_k^* // 优化转发节点集

初始化: $S_k^* = \Phi$

for i from 1 to k do

for j from 1 to N do

if $|D_{(n_j)}^p| > |D_{(n^*)}^p|$ then

$n^* = n_j;$

$|D_{(n^*)}^p| = |D_{(n_j)}^p|;$

endif

endfor

$G' = (V', E', P') / * V' = V - N_{(n^*)}, E'$ 和 P' 分别为节点更新后的边集及边权集 $*/$

$n_i^* = n^*;$

$S_k^* = S_k^* \cup \{n_i^*\};$

endfor

图 4 APL 算法伪代码

4 模拟实验与性能分析

4.1 模拟实验

通过车载节点个数及请求下载文件大小对其传输率影响的模拟实验,以及 APL 与其他方法的对比实验,对本文提出的 APL 算法的有效性进行验证,如图 5 和图 6 所示。

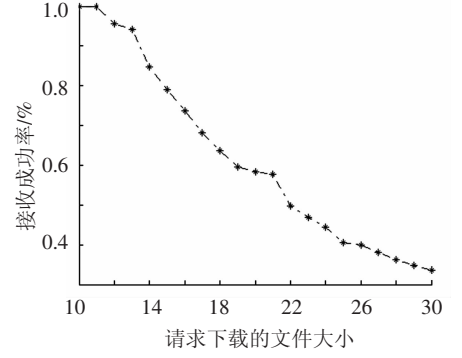


图 5 车载节点请求文件大小对传输率的影响

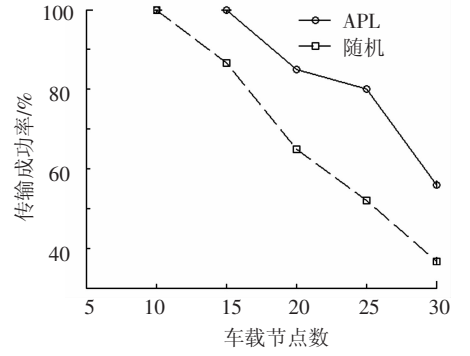


图 6 协作组中车载节点数量对传输率的影响

4.2 性能分析

本文通过模拟实验分析了车载用户请求文件大小、车载用户个数对其传输率的影响. 车载用户请求文件大小对传输率的影响如图 5 所示. 实验结果表明车载节点个数及 AP 通信能力不变的情况下,传输率随请求下载文件增大而下降. 如图 6 所示,APL 方法与随机资源分配方法的传输率实验结果的比较,可以看出 APL 方法在超载情况下比随机资源分配方法的传输率高近 20%,模拟实验结果充分说明了本文提出的 APL 方法在传输性能方面的有效性。

5 结 论

1) 将 AP 信道资源的优化分配形式化定义为基于机会链接的资源分配问题并证明该问题是 NP-难的。

2) 为解决该问题,提出基于节点间链接预测的 APL 资源分配近似算法. 本文提出的 APL 算法基于链接空洞区域节点间链接的预测,对 AP

信道进行优化分配. 通过信道资源的优化分配, 达到充分利用 AP 覆盖范围之外节点间的链接续传, 扩展 AP 通信覆盖范围, 填补链接空洞的目的.

3) 对本文提出的 APL 算法进行模拟实验及性能分析. 实验结果表明, APL 与现有的基于竞争及随机资源分配方法相比显著地提高了网络的通信服务能力. 本文提出的近似算法给出了近似优化转发节点集合, 模拟实验结果也表明了本文提出的 APL 方法的有效性.

参考文献

- [1] OTT J, KUTSCHER D. Drive-thru Internet: IEEE 802.11b for automobile users[C]//Proceedings of the 23rd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Hongkong: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2004: 362 – 373.
- [2] OTT J, KUTSCHER D. A disconnection-tolerant transport for drive-thru Internet environments [C]//Proceedings of the 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Miami: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2005: 1849 – 1862.
- [3] TAN W L, LAU W C, YUE O, *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.
- [4] NAUMOV V, GROSS T R. Connectivity-aware routing (CAR) in vehicular ad hoc networks [C]//Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Computer Communications. Anchorage, AK: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2007: 1919 – 1927.
- [5] ZHAO J, CAO G. VADD: vehicle-assisted data delivery in vehicular ad hoc networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(3): 1910 – 1922.
- [6] SKORDYLIS A, TRIGONI N. Delay-bounded routing in vehicular ad hoc networks [C]//Proceedings of the 9th ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking and Computing. New York, NY: ACM, 2008: 341 – 350.
- [7] ERIKSSON J, BALAKRISHNAN H, MADDEN S. Cabernet: vehicular content delivery using wifi [C]//Proceedings of the 14th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking. New York, NY: ACM, 2008: 199 – 210.
- [8] BYCHKOVSKY V, HULL B, MIU A, *et al.* A measurement study of vehicular internet access using in situ wifi networks [C]//Proceedings of the Twelfth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York, NY: ACM, 2006: 50 – 61.
- [9] ANNESE S, CASETTI C, CHIASSERINI C, *et al.* Seamless connectivity and routing in vehicular networks with infrastructure [J]. Vehicular Communications and Networks, 2011, 29(3): 501 – 514.
- [10] YAN Gongjun, OLARIU S. A probabilistic analysis of link duration in vehicular Ad hoc networks [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011, 12(4): 1227 – 1236.

(编辑 张 红)