

车载无线网络中基于冲突估计的多信道选择策略

赵鼎新, 谢显中, 王昭然

(重庆邮电大学 计算机科学与技术学院, 宽带接入网络研究所, 重庆 400065)

摘要: 通过分析 IEEE 802.11p/1609 的信道切换与数据传输机制, 采用 Markov 链和连续空闲时隙结合的方法, 给出了信道中各种不同类型业务的业务量与冲突概率的关系, 并提出了一种信道选择方法, 选出最佳的接入信道, 以平衡各信道中的业务量, 解决了原协议中无信道选择策略可能带来的信道拥塞问题. 仿真结果表明, 采用本文的信道选择策略, 可有效提高站点的平均吞吐率.

关键词: IEEE802.11p/1609; WAVE; 冲突估计; 信道选择

中图分类号: TN820 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5489(2012)03-0557-06

Multi-channel Choose Policy Based on Conflict Estimating in Wireless Vehicular Networks

ZHAO Ding-xin, XIE Xian-zhong, WANG Zhao-ran

(Institute of Broadband Access Technologies, College of Computer Science and Technology,
Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: The authors proposed a Markov chain model and a continuous idle slots model for the transmission mechanism of IEEE 802.11p/1609. Using these two models, we got the conflict probability of WAVE system, on the basis of which, a channel chose policy was presented to get the best access channel. This policy can balance the throughput of all the channels and solve the channel congestion problem in the basal protocol. The simulation results show that the average throughput rate was improved obviously.

Key words: IEEE802.11p/1609; WAVE; conflict estimating; channel chose

IEEE 802.11p/1609 协议是专为车载通信网络设计的无线接入标准^[1,2], 这种新的通信模式也被称为 WAVE(wireless access in vehicular environments), WAVE 系统使在高速环境下的车辆与车辆之间或车辆与路边基础设施之间的通信变为可能. MAC 协议在车载通信网络中至关重要, 与传统的 802.11 协议相比, WAVE 对 MAC 协议做了较大的修改^[3], 主要包括使用一种 FDMA/TDMA 结合的多信道操作模式、在信道的接入过程中采用严格区分 AIFS(arbitration inter-frame space) 的 EDCA(enhanced distributed channel access) 机制等.

EDCA 将业务按优先级分类, 不同类型的业务在不同的节点密度下争用信道时有不同的冲突概率, 冲突概率小即信道对此业务类型较空闲. 在传统无线网络中, 对 EDCA 的性能目前已有很多研究结果^[4-7]. 在 WAVE 中, 由于使用了 TDMA 和 AIFS 区分, 其性能和传统 EDCA 的性能有所不同, 目前对 WAVE 的 MAC 性能分析, 多数是将其视为普通的 EDCA 处理, 只有文献[8-9]考虑了 WAVE 的不同点. 在信道选择方面, WAVE 采用 FDMA 模式, 车载设备可在多个信道中选择一个进行通信, 但协议

收稿日期: 2011-08-22.

作者简介: 赵鼎新(1987—), 男, 汉族, 硕士研究生, 从事车载通信和计算机应用的研究, E-mail: zdx1314@163.com. 通讯作者: 谢显中(1966—), 男, 汉族, 博士, 教授, 从事无线移动通信技术、通信信号处理和计算机网络的研究, E-mail: xiexianzhong.cn@gmail.com.

基金项目: 国家自然科学基金(批准号: 60572089; 60872037)和重庆市自然科学基金(批准号: 2008BB2411).

中并没有规定如何去选择信道,文献[10]提出了一种根据各个通信站点的速率及相对接入点的位置选择信道的方法.本文在考虑 WAVE 特点的基础上,解决了 WAVE 网络中如何选择信道的问题.通过分析研究 IEEE 802.11p/1609 的信道切换与数据传输机制,采用 Markov 链和连续空闲时隙相结合的方法,给出了信道中各种不同类型的业务量与冲突概率的关系,并提出一种多信道选择方法,选出最佳接入信道以平衡各信道中的业务量.仿真结果表明,本文方法有效提高了站点的吞吐率.

1 多信道与 EDCA 机制

多信道与 EDCA 机制如图 1 所示, WAVE 协议将 5.850 ~ 5.925 GHz 的频谱划分成 1 个中心控制信道 CCH(central control channel)和 6 个服务信道 SCH(service channel),其中 1 个 CCH 用于传输安全信息和公共服务广播,4 个 SCH 用于传输各种应用业务,另外 2 个 SCH 信道为备用信道,目前不推荐使用,故未在图 1 中表示.

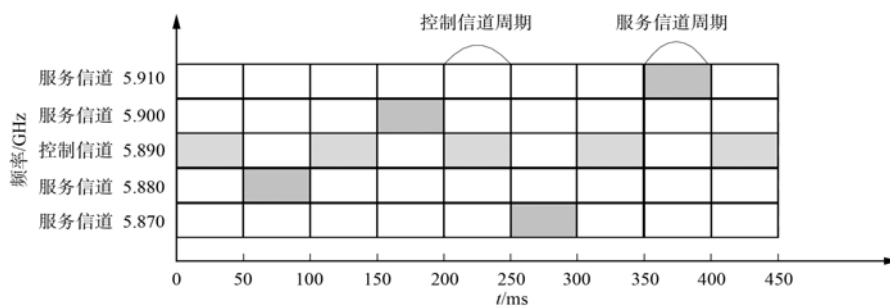


图 1 WAVE 的多信道模型

Fig.1 Multi-channel model in WAVE

WAVE 将无线设备分为路边单元 RSU(road side unit)和车载单元 OBU(on board unit),RSU 和一部分 OBU 作为服务提供者,提供如地图下载、Internet 连接、视频服务等业务.在通信过程中,站点会在 SCH 和 CCH 之间不停切换,WAVE 协议中规定默认的切换间隔为 50 ms.由图 1 可见,阴影部分表示所有的站点在 CCH 周期中必须全部切换到 CCH 信道中,此时相关安全信息及服务提供者广播的服务声明广播 WSA(wave service advertisements)会在 CCH 中传播,由于在此时隙中,所有设备都工作在 CCH,故所有设备均可接收到安全信息和服务提供信息.WSA 中包含了服务提供者的 ID、能提供的服务类型、传输要求、使用的信道等信息.在 SCH 周期,如果有站点需要某种服务,并且它在 CCH 中收到了该服务提供者广播的信息,则它将根据收到的信息,切换到对应的信道上,进行相应的业务传输.然而,WAVE 并未使用任何策略让服务提供者选择使用哪个 SCH 信道,这将导致当在某一区内,多个站点拥挤在同一个 SCH 中时,其他的 SCH 很可能会空闲;另一方面,WAVE 采用业务区分的 EDCA 机制,当多种高优先级的业务在同一 SCH 中传输时,会降低系统性能.

车载通信环境复杂,特别在城市交通中,大量车辆拥堵在一个较小的区域中,很容易出现节点爆发的现象.因此,为了保证高优先级业务的 QoS,WAVE 引入 802.11e 的 EDCA 机制,将业务分成不同的 AC(access category),其中 AC0 拥有最高权限,AC3 的权限最低.在数据传输过程中,每个数据包都会按各自的竞争参数争用信道,WAVE 中的信道竞争参数列于表 1,其中最小窗口 $aCW_{min} = 15$,最大窗口 $aCW_{max} = 1023$.

表 1 WAVE 中的信道竞争参数

Table 1 Parameters of EDCA in WAVE

AC 号	业务类型	最小窗口	最大窗口	仲裁时隙
1	背景业务	aCW_{min}	aCW_{max}	7
0	尽力而为业务	$(aCW_{min} + 1)/2 - 1$	aCW_{max}	3
2	视频业务	$(aCW_{min} + 1)/4 - 1$	$(aCW_{max} + 1)/2 - 1$	2
3	主意业务	$(aCW_{min} + 1)/4 - 1$	$(aCW_{max} + 1)/2 - 1$	2

2 EDCA 退避机制的 Markov 链模型

为方便, 本文约定如下: 1) 每个站点只有一个 AC, 且只发送一类业务; 2) 理想信道, 不存在丢包、误码; 3) 不存在隐藏终端的情况; 4) 所有站点的数据包大小、速率相同, 只存在优先级的区别; 5) 当一个帧发送完成后, 另一个帧立刻到达。

目前, 对 EDCA 类型系统的性能分析基本上都是由文献[4]扩展的, 本文也采用此模型. 文献[9]分析了 SCH 和 CCH 之前的切换对网络传输性能的影响, 如图 2 所示. 当站点竞争到信道时, 但剩余的信道时间不足以传输完整帧, 根据 1609.4 的建议, 此数据帧应放弃传输, 并重新进行信道竞争. 文献[10]在分析延迟性能时考虑到了该情况. 此外, 在数据进行退避的过程中, 如果遇到信道切换, 退避过程将在下一个时隙继续进行, 则退避过程可作为一般情况处理。

本文考虑信道剩余时间不够时, 数据不被发送的情况, 并据此改进文献[4]的模型, 当退避到 0 时, 可能会产生 3 种状态: 发送成功、冲突和剩余信道时间不够, 如图 3 所示。

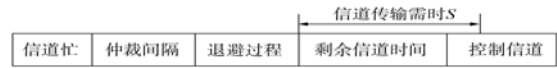


图 2 剩余信道时间不足情况
Fig. 2 No enough time to transmit

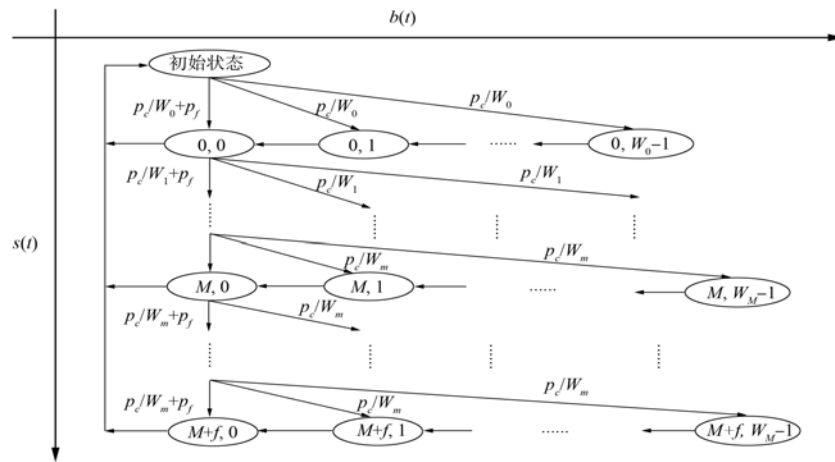


图 3 改进的 Markov 模型
Fig. 3 Modified Markov model

设 τ 为任一站点在任一时刻发送数据的概率, 设 p_c 为冲突概率、 p_f 为剩余信道时间不够的概率, 当在区域内退避到 0 时会产生剩余信道不够的情况, 故有 $p_f = \tau S_c / N_c$, 其中: S_c 为 S 区域的时隙数; N_c 为一个 SCH 的时隙数. 其他参数见表 1. 根据文献[4]的计算过程, 可得

$$\tau = \frac{2(1 - (p_c + p_f))}{(1 - (p_c + p_f))^{-1} + W_0 \sum_{i=0}^M (2(p_c + p_f))^i + W_M \sum_{i=M+1}^{M+f} (p_c + p_f)^i}, \quad (1)$$

式(1)中, 有冲突概率和发送概率两个未知参数, 需要另一个关系式才能得出解。

3 信道选择策略

文献[11-12]认为在任何一个阶段冲突的概率都相同, $p_c = 1 - (1 - \tau)^n$, 但 WAVE 中不同站点由于 AIFS 和退避窗口大小的不同而导致冲突概率也不同. 如图所 4 示, 在 L1, L2, L3 等各阶段, 系统中竞争信道的业务量不同, 因此各阶段的冲突概率也明显不同, 因此不能直接使用该关系式。

在发送数据前要等待不同的时隙数, 因此在每次信道完成一个数据包的发送后, 都会等待几个连续的时隙, 如图 4 所示. 设连续的时隙长度为 k , 由于竞争信道的激烈程度不同, 会使 k 的长度变化不同, 且每两次成功传输的过程中都会有一个 k 长的连续时隙, 设连续 k 个空闲时隙的概率为 $p_s(k)$,

第 k 个时隙为空闲状态的概率为 $p_{th}(k)$.

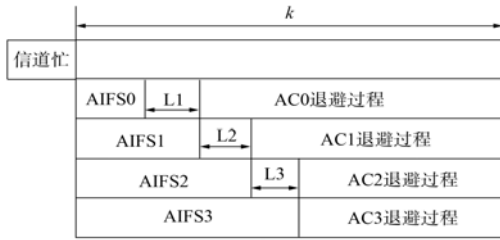


图4 退避过程

Fig.4 Backoff process

当确定连续空闲的第 k 个时隙时, 根据 AIFS 值的不同, 只有当 $AIFS < k$ 时, 即可能进行退避过程的业务才有可能进行传输. 当 $AIFS_i \geq k$ 时, 业务还没有进行退避, 则有 $\tau_i = 0$, 故有

$$p_{th}(k) = \prod_{i=0}^{AIFS_i \leq k} (1 - \tau_i)^{n_i}. \quad (3)$$

另一方面, 从某个 i 站点的某个业务角度考虑, 当自己不发送数据(概率为 $1 - \tau_i$), 且其他站点也不发送数据(概率为 $1 - p_{ci}$)时, 当前时隙空闲的概率为 $(1 - \tau_i)(1 - p_{ci})$.

由图4可见, 在 L1 时间段, 只有 AC0 一种业务进行退避, 则在该时段内竞争信道的只有 AC0 一种业务, 在 L2 时段有两种业务竞争信道, L3 时有 3 种, L3 以后有 4 种, 故在每个阶段的冲突概率各不相同, 设第 i 类业务在第 k 个时隙的冲突概率为 $p_{ci}(k)$, 则有 $p_{ci}(k) = 1 - p_{th}(k)/(1 - \tau_i)$, 从而任意一个时隙期望的冲突概率

$$p_{ci} = \sum_{k=0}^{\max s} p_s(k) p_{ci}(k). \quad (4)$$

一个包完成传输后, 立即有新的包到来, 则连续空闲的时间不可能无限长. 当空闲了 $AIFS_i$ 个时隙后, 如果接续的 CW_{max_i} 个时隙依然空闲, 则在 $AIFS_i + CW_{max_i} + 1$ 个时隙后, 第 i 类业务将开始传输. 则最大的连续空闲时隙 $\max s = \min \{ AIFS_i + CW_{max_i} \}$.

对于所有的连续空闲情况, 有 $\sum_{k=0}^{\max s} p_s(k) = 1$, 从而

$$p_s(0) + p_s(0) \sum_{i=1}^{\max s} \prod_{k=1}^i p_{th}(k) = 1. \quad (5)$$

将式(2), (3)分别代入式(4), (5)中, 则方程(4), (5)包含未知数 $\tau_i, p_{ci}, p_s(0)$, 根据 4 种不同的业务类型, 总的未知数为 9 个, 而式(1), (4)根据不同的业务类型可分别扩展为 4 个方程, 加上式(5), 共 9 个方程含有 9 个未知数, 即可解出一定业务量 (n_0, n_1, n_2, n_3) 条件下, 各种业务的发送概率和冲突概率 $p_i(n_0, n_1, n_2, n_3)$.

假设每个服务提供者只与一个服务接收者进行一类业务的通信, 且他们之间是单跳的, 不存在中继节点. 则可将所有的服务提供都分成两类: 正在进行通信的和可提供服务但没有开始通信的. 根据协议的规定, 服务提供者在 CCH 中广播的 WSA 中的 PSI(provider service info)可根据情况进行修改, 在此可向正在通信的服务提供站点加入自己正在传输的业务类型、使用的信道和自己的 ID.

每个服务提供者在每个 CCH 周期都会重复广播 WSA, 其他该区域的站点即可收到此消息, 并计算此区域中的数据传输情况, 即在每个 SCH 中正在发送第 i 类业务站点的个数 n_i . 如果自己将要发送第 i 类业务, 如 $i=2$ 时, 则计算每个 SCH 中的 $p_2(n_0, n_1, n_2 + 2, n_3)$, 选择冲突最小的 SCH, 并对外广播下一次通信使用的 SCH, 如图5所示.

显然有

$$p_s(k + 1) = p_s(k) p_{th}(k + 1),$$

进一步有

$$p_s(k) = p_s(0) \prod_{i=1}^k p_{th}(i). \quad (2)$$

从系统的整体角度考虑, 在任何时隙中, 当所有站点都不发送数据时, 此时隙空闲. 假设第 i 类

业务的个数分别为 n_i , 则空闲概率为 $\prod_{i=0}^3 (1 - \tau_i)^{n_i}$.

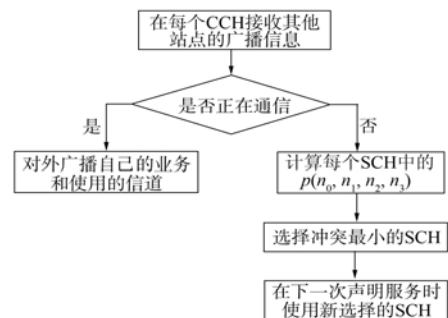


图5 信道选择策略

Fig.5 Channel choose policy

4 仿真与分析

4.1 仿真环境与参数

本文主要采用台湾交通大学的 NCTUns6.0^[13-14]进行仿真. 为方便计算, 只对 AC1 和 AC2 两种业务进行仿真. 分为两种场景: 1) 区域中只有 AC1 一种业务; 2) 区域中有 AC1 和 AC2 两种业务混合. 首先采用 maple 解出这两种业务数量分别取 0~20 时的冲突概率, 共 441 种情况, 并制成表; 然后对 NCTUns 进行相应扩展, 需要进行冲突概率计算时, 直接从表中取值.

仿真采用两种策略, 一种站点随机接入信道(以下简称随机选择), 即随机从 4 个服务信道中选择一个进行通信, 不进行任何的策略选择, 另一种采用本文的信道选择方法.

单种业务时 AC1 的业务量取值为 2, 4, 6, ..., 20, 其他业务量都为 0. 混合业务情况下, 业务总量分别取值为 4, 8, 12, ..., 40, AC1 和 AC2 两种业务比为 1. 每种业务的开始时间随机地从 0~100 s 中选取, 仿真时间为 400 s, 每种业务都一直持续到仿真结束, 仿真区域为 100 m × 100 m. 所有的速率都为 3 Mb/s, 所有的业务均使用 1 400 字节的 UPD 包, $S_c/N_c = 7.3\%$, 其他的参数均采用 NCTUns 802.11p 模型的默认参数. 每组业务均记录吞吐率, 并在仿真结束后计算每种业务的平均吞吐率.

4.2 结果与分析

单种业务和混合业务的仿真结果分别如图 6 和图 7 所示. 由图 6 可见, 采用本文策略进行信道选择对平均吞吐率的改进较大, 这是因为接入的随机性, 可能导致同一信道中业务量过大, 而采用本文策略可以平均信道中的业务数量, 从整体上提高传输效率.

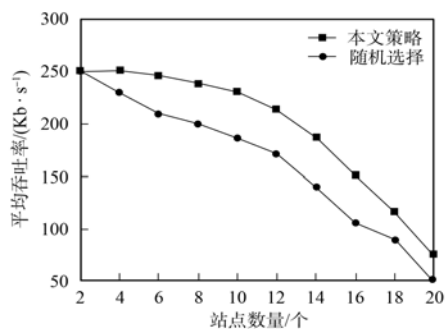


图 6 单种业务仿真结果

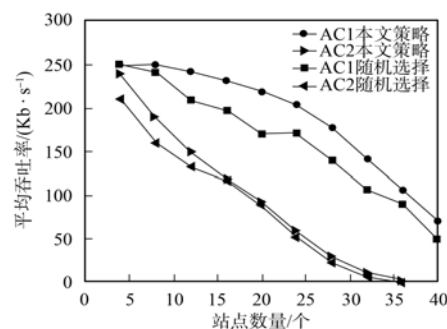


图 7 混合业务仿真结果

Fig. 6 Simulation results of one transmission type

Fig. 7 Simulation results of mixed transmission types

由图 7 可见, 高优先级业务改进较大, 低优先级业务改进较小, 这主要是由于多业务混合时, 高优先级业务有更多的机会竞争到信道, 系统的吞吐率主要由高优先级业务决定. 在站点密度较小时, 采用本文策略时低优先级业务吞吐率有少量提高, 主要是因为这时业务密度较小, 经过信道选择后可进入压力较小的信道, 所以在这种情况下, 低优先级业务仍然比随机选择时吞吐率高. 随着站点的增多, 低优先级业务竞争到信道的难度增加, 此时即使选择冲突概率最小的信道也无法保证低优先级业务能及时竞争到信道.

综上所述, 本文根据 WAVE 网络 MAC 协议的特点, 通过 Markov 链和连续空闲时隙结合的方法, 得出了 WVAE 系统的冲突概率. 通过计算各个信道的冲突概率, 提出选择最小冲突概率的信道策略, 仿真结果表明本文方法有效提高了站点的吞吐率.

参 考 文 献

- [1] Kreamer B P, Rosdahl J W, Stephens A P, et al. 5514475-2010 IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and Information Exchange between Systems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) And Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments [S]. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010.
- [2] Grow R W, Mills S M. 5712769-2011 IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)-Multi-

- channel Operation [S]. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011.
- [3] LI Jing-min. New Trusted Routing Protocol in Vehicular Ad Hoc Network [J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2011, 41(1): 198-202. (李景民. 一种新的车辆自组网可信路由协议 [J]. 吉林大学学报: 工学版, 2011, 41(1): 198-202.)
- [4] Bianchi G. Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(3): 535-547.
- [5] XIAO Yang. Performance Analysis of Priority Schemes for IEEE802.11 and IEEE802.11e Wireless LANs [J]. IEEE Trans on Wireless Communication, 2005, 4(4): 1506-1515.
- [6] ZHOU Xin-yun, HUANG Fu-wei, SUN Li-min, et al. MAC Access Delay Analysis of EDCA Mechanism of Wireless LANs [J]. Journal of Software, 2008, 19(8): 2127-2139. (周新运, 皇甫伟, 孙利民, 等. 无线局域网 EDCA 机制 MAC 接入延时分析 [J]. 软件学报, 2008, 19(8): 2127-2139.)
- [7] MAO Jian-bing, MAO Yu-ming, LENG Peng, et al. Research of the QoS-Supporting IEEE 802.11 EDCA Performance [J]. Journal of Software, 2010, 21(4): 750-770. (毛建兵, 毛玉明, 冷鹏, 等. 支持 QoS 的 IEEE 802.11 EDCA 性能研究 [J]. 软件学报, 2010, 21(4): 750-770.)
- [8] WANG Shie-yuan, CHAO Hsi-lu, LIU Kuang-che. Evaluating and Improving the TCP/UDP Performances of IEEE 802.11(p)/1609 Networks [C]//IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC) 2008. Washington DC: IEEE Computer Society, 2008: 163-168.
- [9] Mišić J, Badawy G, Mišić V B. Performance Characterization for IEEE 802.11p Network with Single Channel Devices [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(4): 1775-1787.
- [10] SHEN Shiann-tsong, CHEN Yen-chiei. A Channel Access Scheme to Compromise Throughput and Fairness in IEEE 802.11p Multi-rate/Multi-channel Wireless Vehicular Networks [C]//IEEE Vehicular Technology Conference (VTC) 2010. Washington DC: IEEE Computer Society, 2010: 1-5.
- [11] Gallardo J R, Makrakis D, Mouftah H T. Performance Analysis of the EDCA Medium Access Mechanism over the Control Channel of an IEEE 802.11p WAVE Vehicular Network [C]//IEEE International Conference on Communications (ICC) 2009. Piscataway: IEEE Press, 2009: 5063-5268.
- [12] WANG Qing, LENG Su-peng. An Enhanced Multi-channel MAC for the IEEE 1609.4 Based Vehicular Ad Hoc Networks [C]//IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM) 2010. Piscataway: IEEE Press, 2010: 1-2.
- [13] WANG Shie-yuan, LIN Chi-che. NCTUns 5.0: A Network Simulator for IEEE 802.11(p) and 1609 Wireless Vehicular Network Researches [C]//IEEE Vehicular Technology Conference (VTC) 2008. Piscataway: IEEE Press, 2008: 1-2.
- [14] MA Zhi-xin, ZHAO Ding-xin, XIE Xian-zhong, et al. Research and Simulation of Topology Discovery Strategy for Vehicular Communication Network [J]. Journal of Jilin University: Science Edition, 2011, 49(4): 723-732. (马志欣, 赵鼎新, 谢显中, 等. 车载通信网中拓扑发现策略的研究与仿真 [J]. 吉林大学学报: 理学版, 2011, 49(4): 723-732.)

(责任编辑: 韩 啸)