

基于 Veins 的 IEEE 802.11p 性能仿真分析

王润民, 刘丁贝, 胡锦超

(长安大学“车联网”教育部-中国移动联合实验室 陕西 西安 710064)

摘要: 作为一种典型的 VANETs (vehicular ad-hoc networks) 通信协议, IEEE 802.11p 采用为低移动性网络设计的 DCF 作为基本传输机制, 因此需要针对 IEEE 802.11p 协议对于节点具有高速移动性的 VANETs 通信场景的适应性进行评估分析。首先基于测试评估的需求, 构建了一种典型的 VANETs 通信场景; 其次, 考虑 VANETs 网络特点设定了场景中的信道模型和通信流量模型; 然后, 基于 Veins 平台搭建了仿真环境, 并对仿真参数进行了配置; 最后, 以端到端延迟、丢包率和吞吐量作为评价标准, 在 Veins 平台上仿真研究了传输频率、车流密度、车辆速度对 IEEE 802.11p 网络性能的影响。仿真结果表明, 网络因素和移动性因素共同影响 IEEE 802.11p 的延迟性和可靠性; 高传输频率不利于提高 IEEE 802.11p 的网络性能; 车辆速度对基于 IEEE 802.11p 性能影响较大, 而车流密度对其性能影响较小, 并且在低速情况下, 车流密度对 IEEE 802.11p 性能无显著影响。

关键词: 车辆自组织网络; IEEE 802.11p(协议); 传输频率; 车流密度; 车辆速度

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2018)12-0029-05

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2018.12.006

Performance Evaluation for IEEE 802.11p Based on Veins

WANG Run-min, LIU Ding-bei, HU Jin-chao

(The Joint Laboratory for Internet of Vehicles of Ministry of Education, China Mobile Communications Corporation, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: As a typical communication technology for VANETs, IEEE 802.11p uses DCF as the basic transport mechanism, which is designed for low-mobility networks. Therefore, it is necessary to evaluate and analyze the adaptability of the IEEE 802.11p to VANETs communication scenarios with high mobility. Firstly, we construct a typical communication scenario for VANETs based on the requirements of test and evaluation. Secondly, we set the channel model and traffic flow model based on the characteristics of VANETs. Thirdly, we build a simulation environment based on Veins platform and configure the simulation parameters. Finally, we take end-to-end delay, packet loss rate and throughput as the evaluation criteria and study the effects of transmission frequency, traffic density and vehicle speed on the performance of IEEE 802.11p on the Veins platform. The simulation shows that network and mobility impacts the delay and reliability of IEEE 802.11p. High transmission frequency do not help to improve the performance of IEEE 802.11p. Speed has a great influence on performance of the IEEE 802.11p, while traffic density has little impacts. Traffic density has no significant effect on networks performance of IEEE 802.11p in low speed environment.

Key words: vehicular ad-hoc networks; IEEE 802.11p; transmission frequency; traffic density; traffic speed

0 引言

由于 VANETs 技术在交通安全、交通效率等领域的潜在价值, 尤其是车路协同技术的飞速发展, 得到了业内人士的广泛关注^[1]。针对车辆自组织网络的使用需求, IEEE 提出了 IEEE 802.11p, 其采用分布式协调机制(DCF)作为信息传输的基础技术。不过该机制

是面向稳定性较强的网络构建的, 因此在车辆自组织网络这种高动态网络中, IEEE 802.11p 协议的有效性大大降低^[2-3]。在车辆自组织网络下, 网络的通信性能受车辆数目、通信模式、信道模型等网络因素影响外, 也受车辆节点移动性的影响, 具体指节点的加速度、所处位置、方向、速率等因素, 而在车辆自组织网络

收稿日期: 2018-01-08

修回日期: 2018-05-17

网络出版时间: 2018-07-04

基金项目: 国家自然科学基金(61703053); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(300102248105); 高等学校学科创新引智计划项目(B104043); 教育部联合实验室建设项目(教技司(2016)477号)

作者简介: 王润民(1989-), 男, 博士研究生, 工程师, 研究方向为车联网及智能汽车测试技术。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20180703.1511.030.html>

中,因车辆移动性,上述因素均存在较强的变化频率且难以预测。因此,文中从网络因素和移动性因素对 IEEE 802.11p 的性能进行了仿真测试,以评价其基本性能。

当前对车辆自组织网络协议的测评方法一般有两种,一是在封闭测试场地或公开测试道路内构建测试环境,另一种是利用软件仿真技术搭建虚拟测试平台开展测试。然而受经费和场地限制,基于第一方法无法开展大规模的实验,仅能开展小规模实验测试,如文献[4]基于 LTE 和 IEEE 802.11p 协议构建了一种 VANETs 测试平台,并对两种通信网络的性能进行了实地测试分析。这种方法的优点在于测试考虑的因素更加全面。但由于实验成本过大,无法模拟真实的 VANETs 环境。而仿真测试方法可以通过较低的成本构建大规模的车辆节点,而且可以快速设置不同的信息传播模型和交通模型,进而实现对车辆自组织网络环境的逼近仿真。基于仿真测试方法,文献[5]从连通性的角度研究了 802.11p 协议,但并没有涉及车联网的引入导致的车辆间的关联。文献[6]讨论了 802.11p 标准原型,并对其进行了仿真测试,其优点在于:根据其自身需要完善了 802.11p 协议,但在测试过程中车辆的移动模型和仿真网络参数配置简单,模型存在局限性。

针对上述问题,文中搭建了一种基于 IEEE 802.11p 协议的 VANETs 通信场景,利用符合 VANETs 环境的 Nakagami-m 模型描述无线信道衰落,使高速移动的节点之间符合自组织关系,同时利用泊松过程描述网络中的通信流量^[7]。然后基于 Veins 仿真平台构建了仿真测试环境,并且在全面配置仿真环境的交通参数和网络参数后,以端到端延迟、丢包率、吞吐量等三种参数为评价标准,分别从 beacon 的传输频率、车流密度、车辆速度三方面仿真研究网络因素和移动性因素对于 IEEE 802.11p 协议性能的影响。

1 VANETs 场景的构建及通信建模

1.1 基于 IEEE 802.11p 协议的 VANETs 通信场景

基于仿真评价的需求,构建了一种车辆自组织网络应用场景,具体如图 1 所示。场景道路两侧布设路侧单元 RSU(road side unit),场景中的车辆中部署了车载单元 OBU(on board unit),RSU 与 OBU 间采用分层路由协议^[8],即将车辆节点通过分层协议划分为父母和子女节点两个层次,由路侧单元向其覆盖范围内的父母节点广播消息,收到广播消息的父母节点再向其下一层的子女节点广播消息,由分层路由协议负责父母节点和子女节点的更新。各路侧单元经 AR 连入网络。

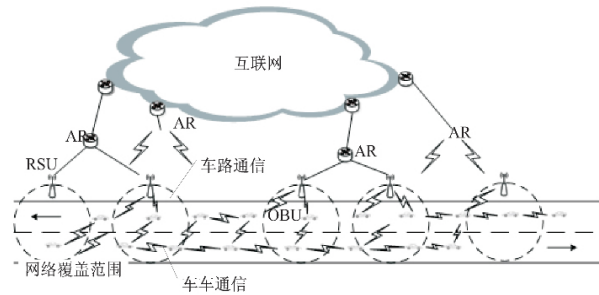


图 1 VANETs 通信场景

1.2 信道模型

考虑实际道路及车辆间的自组织关系,即节点高速的移动对无线信道的影响,文中采用 Nakagami-m 作为车辆自组织网络应用场景。该模型对构建的车辆自组织网络建模。假定信息接收车辆与发送车辆间的距离为 x ,信息接收功率 P 服从 Gamma 分布^[9]:

$$P(x) = \left(\frac{m}{\Omega(x)}\right)^m \frac{x^{m-1}}{\Gamma(m)} \exp\left[-\left(\frac{m}{\Omega(x)}\right)x\right] \quad x \geq 0 \quad (1)$$

对于 Nakagami-m 信道模型中的平均功率 $\Omega(x)$,利用 Friis 自由空间模型估算短距离平均功率 $\Omega(x)$,利用双径地面反射模型估算中长距离平均功率 $\Omega(x)$,计算式为^[10]:

$$\begin{cases} \Omega(x) = \frac{P_t \times G_t \times G_r \times \lambda^2}{(4\pi)^2 \times x^2 \times L} & x \leq 0 \\ \Omega(x) = \frac{P_t \times G_t \times G_r \times h_t^2 \times h_r^2}{x^4 \times L} & x > 0 \\ x_0 = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda} \end{cases} \quad (2)$$

1.3 通信模型

为了解决 VANETs 通信场景中的通信流量是固定速率流与实际数据流不符的问题,采用泊松过程描述 VANETs 通信场景中的通信流量。

假设 VANETs 网络中的通信流量是 $\{N(t) \mid t \geq 0\}$,则 $N(t)$ 满足泊松过程:

(1) $N(0) = 0$,即系统初始时刻通信数据流为 0;

(2) $N(t)$ 是 additive 过程;

(3) 在任一长度为 t 的区间中,事件 A 发生次数服从泊松分布(参数为 λ)。因此即对任意的 $s, t \geq 0$,存在:

$$P\{N(t+s) - N(s) = n\} = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^n}{n!} \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

其中, n 表示为事件 A 在区间间隔 t 内产生的通信流量。

2 仿真平台搭建及参数设置

Veins 耦合了 OMNeT++ 和 SUMO,其中前者为网

络仿真器,后者为交通仿真器,是一种典型的车联网仿真平台^[11]。对 Veins 仿真平台进行参数及设置重配,作为评估 IEEE 802.11p 协议的工具。

Veins 基本交通参数设置如表 1 所示。其中 a、b、c、d、e 分别表示五类速度, A_{accel} 表示加速时加速度, A_{decel} 表示减速时加速度, V_m 为最大速度。

表 1 交通基本参数设置

参数	数值
车辆数量	20 ~ 500
车道数量	6
车辆速度(类)	a、b、c、d、e
驾驶员操作合理性系数	0.5
仿真持续时间/s	1 000
路网面积/km	2.5×2.5

a: $A_{\text{accel}} = 10.0$, $A_{\text{decel}} = 6.0$, $V_m = 40$ km/h;

b: $A_{\text{accel}} = 8.0$, $A_{\text{decel}} = 6.0$, $V_m = 60$ km/h;

c: $A_{\text{accel}} = 6.0$, $A_{\text{decel}} = 4.0$, $V_m = 80$ km/h;

d: $A_{\text{accel}} = 4.0$, $A_{\text{decel}} = 3.0$, $V_m = 100$ km/h;

e: $A_{\text{accel}} = 2.6$, $A_{\text{decel}} = 4.5$, $V_m = 120$ km/h。

在 OMNeT++ 中实现通信模型,包括信道模型和通信流模型,具体参数如表 2 所示。

表 2 IEEE 802.11p 协议基本参数

参数	数值
最大功率/mW	20
传输频率 / Hz	5.890e9
介质访问控制层发射功率/mW	20
介质访问控制层 BPS/Mbps	19
物理层 BPS/mW	11
灵敏度/dBm	-90
Thermal Noise/dBm	-110
信标优先级	3
数据优先级	2
最大退避时间/s	0.005

3 测试及分析

为研究 IEEE 802.11p 协议的延迟性和可靠性等受网络因素和移动性因素的影响,选取了三个评价参数^[12],即端到端的延迟 EED(end to end delay)^[13]、丢包率 PLR(packet loss rate)、吞吐量 T (throughput)^[14],分别研究 beacon 的传输频率、车流密度、车辆速度对 IEEE 802.11p 协议的性能影响。

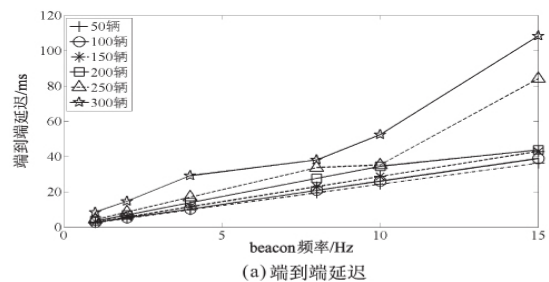
3.1 传输频率的影响

beacon 频率对于网络端到端延迟影响的仿真测试结果如图 2(a) 所示,当传输频率与车辆数目增加时,延迟随之增加。在拥有 50 ~ 150 辆车的稀疏网络中,端到端的延迟在所有的传输频率下都低于 40 ms,整个网络延迟较小;随着车辆数量的增加,传输频率在 10 ~ 15 Hz 时,网络的端到端延迟急剧增大。其原因

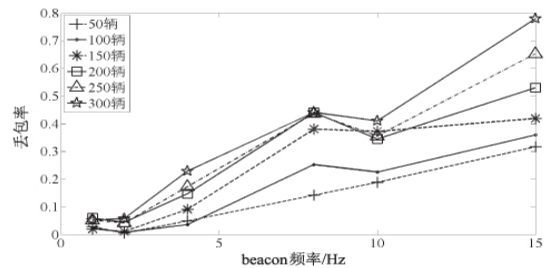
是随着网络负载的增加,信道发生冲突的概率增大,导致端到端延迟增大。

beacon 频率对于丢包率影响的仿真测试结果如图 2(b) 所示,即使在稀疏网络(每平方公里内车辆数为 50 ~ 150 辆)拓扑和较低传输频率的情况下,丢包率也达到 3% ~ 5%,原因是网络频繁断开导致数据包的丢失。随着传输频率和车流密度的增大,丢包率依然在上升,原因是网络体积的增加,以及单位时间内大量的数据包传输,会造成网络连通性增强,但缺少关于竞争车辆间共同信道的集中协调机制,也会造成数据包传输率下降。当传输频率增大到 15 Hz 时,丢包率在稀疏网络拓扑和密集网络拓扑都超过 30%。因此在高传输频率下,网络不可靠。

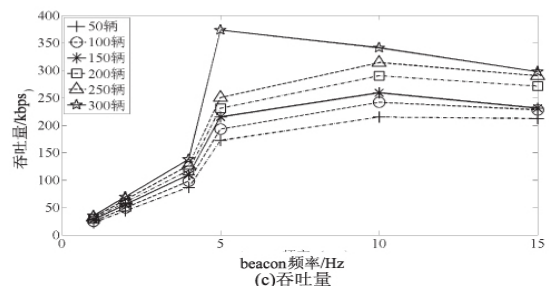
beacon 频率对于网络吞吐量影响的仿真测试结果如图 2(c) 所示,稀疏网络下,即车辆数为 50 ~ 100 辆时,传输频率在 10 ~ 15 Hz 时,网络的吞吐量达到最大值,因此高的数据包传输率能够实现合理的吞吐量,即随着传输频率的增大,系统吞吐量上升。在车辆数为 300,传输频率在 5 Hz 时,网络的吞吐量达到最大值,此时增大传输频率,网络的吞吐量急剧下降。因此网络体积和传输频率的共同增加会造成吞吐量严重下降,原因是网络拥塞量急剧增大,造成更多的数据包丢失。



(a) 端到端延迟



(b) 丢包率



(c) 吞吐量

图 2 beacon 频率与端到端延迟、丢包率及吞吐量的关系

3.2 车流密度的影响

车流密度对于网络端到端延迟影响的仿真测试结果如图 3(a) 所示。当车流密度低于 350 辆/平方公里时,端到端延迟都低于 30 ms;当车流密度高于 350 辆/平方公里时,延迟开始上升;当车流密度高于 450 辆/平方公里时,端到端延迟开始急剧上升。原因是当前车辆节点密度下,网络连接性好,端到端延迟较小;当车辆节点密度过大时,导致网络拥塞,端到端延迟急剧增加。

车流密度对于丢包率影响的仿真测试结果如图 3(b) 所示。当传输频率在 1~2 Hz 之间,车流密度在 50~150 辆之间时,丢包率都为 4%,即此时丢包率受车流密度的影响较小,随着车流密度的增加,丢包率基本稳定。当传输频率在 4~10 Hz 之间时,丢包率随着车流密度的增加而缓慢增加;当传输频率为 15 Hz,车辆密度在 50~350 辆之间时,丢包率随着车流密度的增加显著上升。

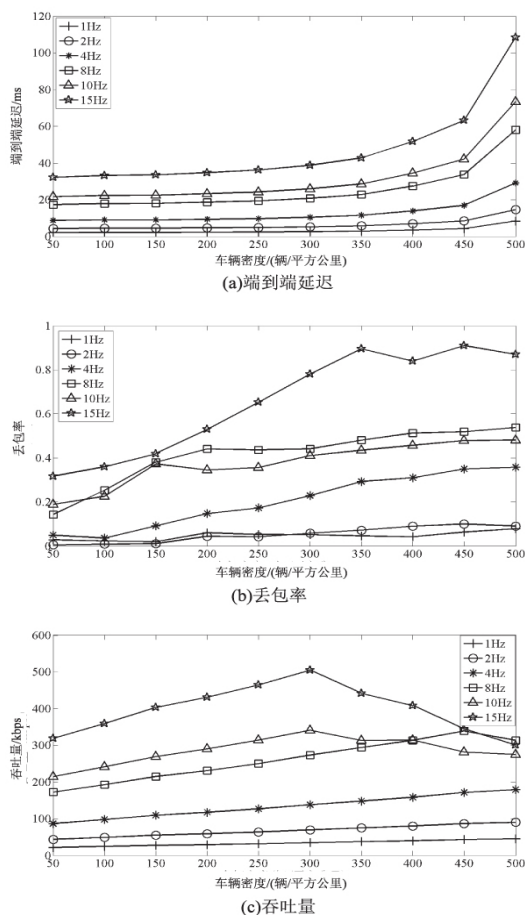


图 3 车流密度与端到端延迟、丢包率及吞吐量的关系

车流密度对于网络吞吐量影响的仿真测试结果如图 3(c) 所示。在传输频率为 1~4 Hz 之间,网络吞吐量随着车流密度的增加而线性增加,且频率越大,增加的速度越快;在传输频率为 8~15 Hz 之间,只有在车流密度低于 300 辆/平方公里时,网络吞吐量随着车流

密度的增加而线性增加,车流密度达到 300 辆/平方公里时,网络吞吐量达到最大值,车流密度超过 300 辆/平方公里时,网络吞吐量开始下降,并且传输频率越高,下降越快。

3.3 速度的影响

车辆速度 v 对于 EED 影响的仿真结果如图 4(a) 所示。车辆密度相同时,随着 v 提高,EED 显著增加。其原因在于: v 增加时,车辆节点的位置信息更新频率提高,车辆节点向路侧单元数据上传频率和路侧单元向其余车辆节点发送消息的频率随之增加,使得网络冲突概率增加;除此之外, v 增加时,会频繁发生网络断开,使得网络水平切换频率增加,进而使得 EED 增加。但在速度类型 c 到速度 d 范围内,EED 随 v 增加而减小,这是因为道路上车辆速度受实际交通状况的制约,速度类型 a 到类型 e 的实际值与理论值不完全吻合。

车辆速度 v 对于丢包率 PLR 影响的仿真结果如图 4(b) 所示。车辆密度相同时,随着 v 的增加,丢包率 PLR 提高。其原因主要是随着车辆速度的增加,车辆自组织网络环境下会频繁地发生网络内的水平切换,增加了传输的延迟时间;当延迟时间超过阈值时,导致数据包的丢失。

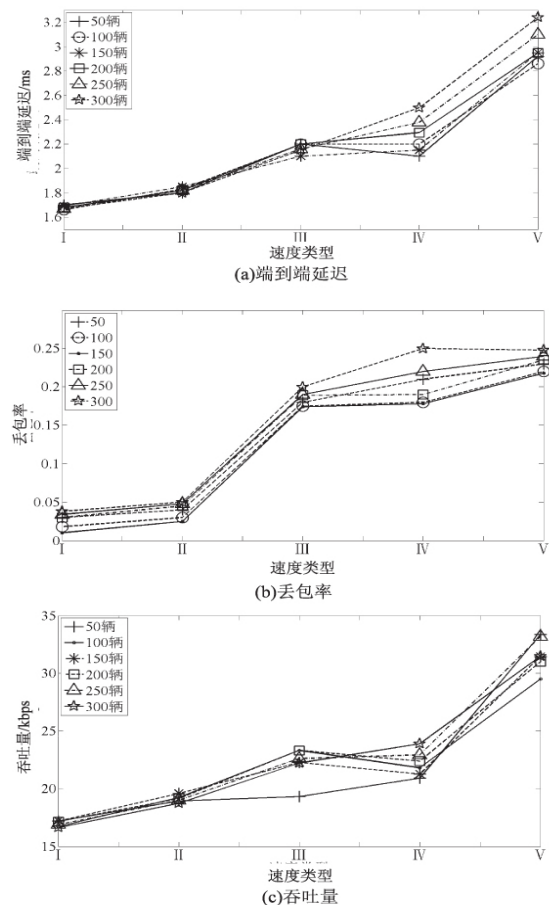


图 4 速度类型与端到端延迟、丢包率及吞吐量的关系

车辆速度 v 对于网络吞吐量 T 影响的仿真结果如图 4(c) 所示。车辆密度相同时, 吞吐量 T 随着 v 的增加而提高, 且当 v 在速度 d 和速度 e 间时, 吞吐量 T 提高的最快。但在速度 c 到速度 d 时, 对于车流密度在 100~250 辆时, 网络吞吐量 T 出现下降的情况, 其原因是文中选取的速度是最大允许行驶速度。

由上述测试及结果分析可知: 数据的传输频率、车流密度和车辆速度均对 IEEE 802. 11p 的端到端延迟和可靠性产生影响。其中网络的可靠性表现在丢包率和吞吐量两个方面。数据的传输频率、车辆速度对网络的端到端延迟和丢包率成正相关。当数据传输频率较低时, 其与系统的吞吐量成正相关, 当数据传输频率较高时, 系统的吞吐量会急剧下降。稀疏网络拓扑下的车辆速度对系统的吞吐量无明显影响。稀疏的网络拓扑不利于网络的连接, 即车流密度增加有助于减少端到端的延迟和丢包率, 但高度饱和的车流密度会导致端到端的延迟和丢包率的增加, 同时系统的吞吐量下降。

4 结束语

为了测试评估 IEEE 802. 11p 协议对于节点具有高速移动特点的 VANETs 通信场景的适用性, 基于 IEEE 802. 11p 协议构建了高速公路的 VANETs 通信场景。在设定该场景中信道模型为 Nakagami-m 信道衰落模型, 通信流量模型为泊松过程的前提下, 通过搭建基于 Veins 的仿真平台, 重点评估分析了 IEEE 802. 11p 协议中数据包传输频率、车流密度和车辆速度对网络的延迟、可靠性的影响。仿真结果表明, 网络因素和移动性因素共同影响 IEEE 802. 11p 的延迟性和可靠性, 车辆速度和传输频率对于基于 IEEE 802. 11p 的车联网性能影响较大, 而车流密度对其性能影响较小, 且在低速情况下, 车流密度对 IEEE 802. 11p 的车联网性能无显著影响。针对上述研究结果, 下一步应重点在长安大学车联网与智能汽车试验场开展关于 IEEE 802. 11p 协议的实际测试印证, 进而研究 IEEE 802. 11p 协议针对节点高速移动性相适应的改进方法。

参考文献:

- [1] 徐会彬, 夏超. VANETs 路由综述[J]. 计算机应用研究 2013, 30(1): 1-6.
- [2] XIAO Yang. Performance analysis of priority schemes for IEEE 802. 11 and IEEE 802. 11e wireless LANs[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications 2005, 4(4): 1506-1515.
- [3] DENG D J, KE C H, CHEN H H, et al. Contention window optimization for IEEE 802. 11 DCF access control[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications 2008, 7(12): 5129-5135.
- [4] 李骁驰. 基于 4G-LTE 与 WAVE 的车联网无线通信平台构建与性能测试[D]. 西安: 长安大学 2015.
- [5] 刘业, 吴国新. 基于 802. 11p/WAVE 的车联网连通性模型及其应用研究[J]. 通信学报 2013, 34(6): 85-91.
- [6] 步俊凌. 车联网 WAVE 标准的原型及仿真研究[D]. 大连: 大连理工大学 2014.
- [7] 李冉, 贺体刚, 赵明. 移动通信网络的流量监测仿真研究[J]. 计算机仿真 2016, 33(10): 153-156.
- [8] QUADROS C, SANTOS A, GERLA M, et al. QoE-driven dissemination of real-time videos over vehicular networks[J]. Computer Communications 2016, 91-92: 133-147.
- [9] 赵睿, 李春国, 王海荣, 等. Nakagami-m 衰落信道下固定增益中继系统性能分析[J]. 电子学报 2011, 39(1): 162-167.
- [10] 王代华, 宋林丽, 王宇龙, 等. 平坦地面无线信道的大尺度衰落特性[J]. 计算机工程与设计 2012, 33(6): 2141-2145.
- [11] 马佳荣, 赵祥模, 马峻岩, 等. 基于 VANET 的高速公路事故消息快速广播机制[J]. 计算机工程 2015, 41(11): 8-12.
- [12] 江涌, 谷建华, 杜鹏雷, 等. 无线传感器网络测试平台研究[J]. 计算机技术与发展 2010, 20(9): 188-192.
- [13] 杨玲, 陈其松, 吴茂念. 无线 Mesh 网络中路由与信道联合分配研究[J]. 计算机技术与发展 2014, 24(7): 110-115.
- [14] 陈立家, 高伟. 一种 VANET 信道丢包率模型[J]. 计算机工程与应用 2011, 47(25): 116-120.