

# 基于仿真的 IEEE 802.11p 在车路协同中的适应性研究\*

黄罗毅 吴志周 杨晓光 王吟松

(同济大学道路与交通工程教育部重点实验室 上海 200092)

**摘 要** 基于 NCTUns 对 IEEE 802.11p 在车路协同系统中车路通信的适应性进行了仿真,分别构建了一个通用城市平面交叉路和一段快速路仿真环境,研究了车辆数与时延、车辆数与吞吐量、车速与时延、车速与吞吐量之间的关系。得出了在仿真环境下,IEEE 802.11p 在车辆数较大,特别是 40 辆以上时,其时延和吞吐量性能急剧变坏,而车速对时延和吞吐量影响很小的结论。

**关键词** IEEE 802.11p; 适应性; NCTUns; 车路协同

**中图分类号:** U491.2 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3963/j. ISSN 1674-4861. 2011. 03. 027

## 0 引 言

电子通信技术的不断发展,对以车车(vehicle to vehicle, V2V)、车路(vehicle to infrastructure, V2I)通信为基础的车路协同(IntelliDrive)系统的实现起了巨大的推动作用。为了确保车路协同系统的有效运行,对如何提高专用短程通信协议(dedicated short range communication, DSRC)的适应性显得极为重要。

常用的车路通信协议主要有:蓝牙、IEEE 802.11 a/b/g/n、WiMAX、IEEE 802.11p 等。其中蓝牙的传输距离短,较适合在车内进行使用,如车内信息的交互;IEEE 802.11a/b/g/n,俗称 Wi-Fi,主要用于将个人电脑、手持设备等终端以无线方式互相连接,构建成无线局域网;WiMAX 是一项新兴的宽带无线接入技术,能提供面向互联网的高速连接,只要少数基站建设就能实现全城覆盖,主要适用于宽带上网和移动数据业务;IEEE 802.11p,又称车载环境下无线接入(wireless access in vehicular environments, WAVE),802.11p 工作小组于 2010 年 7 月 15 日提出了修正案<sup>[1]</sup>,主要用于车用电子的无线通信上,被普遍认为是下一代车用电子通信的标准。

由于 IEEE 802.11p 修正案发布不久,现阶段基于 802.11p 的无线通信产品仍未正式上市,

进行实地的实验还存在一定困难,因此,本文通过 NCTUns 这种专门用于交通/网络的仿真软件对 IEEE 802.11p 在车路协同系统中车路通信的适应性进行了仿真研究。

## 1 车路协同通信需求分析

### 1.1 美国交通运输部对车路协同系统提出的通信需求<sup>[2]</sup>

①非常快的网络接入时间;②低时延;③高可靠性和高实用性;④高安全性和隐私保护;⑤在有限的范围内,使频谱再利用和低干扰;⑥足够的带宽。提出的具体需求有:①要求时延在 100 ms 左右;②距离:短距离,典型值为:50~500 m;③车车通信的数据包大小被限制在 100 Bytes 以内;④车路通信的数据包大小被限制在 340 Bytes 以内。

### 1.2 IEEE 802.11p 的官方描述特性<sup>[3]</sup>

①针对交通安全应用作特定地优化,预留专门信道给公共安全相关应用;②数据速率高,可以达到 3~27 Mb/s;③能够与传统 Internet 轻松融合,其网络层采用了 IP 协议;④低时延:100  $\mu$ s~50 ms;⑤传输距离范围:1~1 000 m;⑥支持近 120 km/h 的高速移动车辆。根据 IEEE 802.11p 的上述特性,可看出其理论上足以满足车路协同通信需求。下面将构建仿真环境对其在车路协同

收稿日期:2010-12-03 修回日期:2011-04-16

\* 国家自然科学基金资助项目(批准号:60974093/F030209)资助

第一作者简介:黄罗毅(1987),硕士生,研究方向:车路协同关键技术. E-mail:87luoyi@tongji.edu.cn

通信系统中的适应性进行分析。

## 2 仿真环境构建

NCTUns (National Chiao Tung University Network Simulator)是由台湾交通大学开发的一种高保真和可扩展的网络模拟仿真软件。可用于有线和无线网络中仿真多种设备和协议。NC-

TUns 提供了一个高度整合的图形用户界面 (graphical user interface, GUI) 程序, 以便于用户有效地进行仿真研究。如图 1 所示, NCTUns 的平台架构主要包括 4 个部分: GUI、仿真引擎 (simulation engine)、车辆模型 (car agent) 和信号模型 (signal agent)<sup>[4]</sup>。

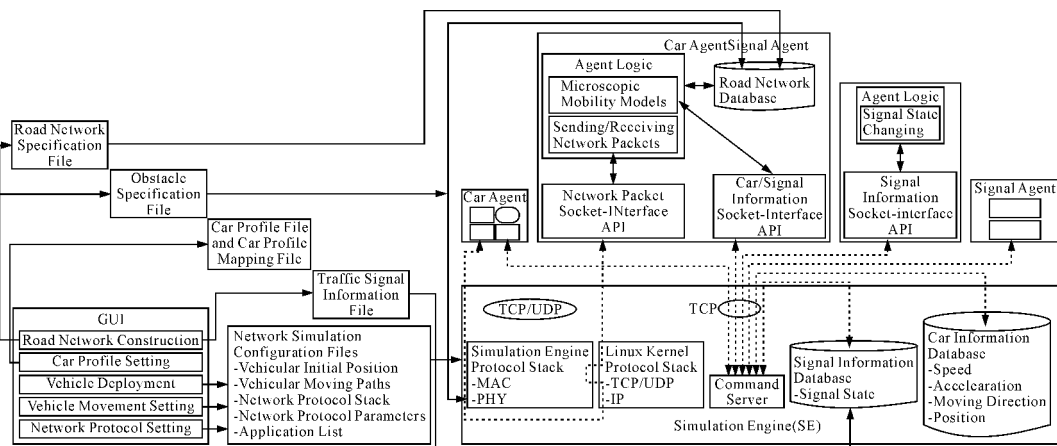


图 1 NCTUns 平台架构

Fig. 1 Platform Architecture of NCTUns

NCTUns 的仿真方法采用了一个创新的内核, 相比于传统的网络仿真软件, NCTUns 提供了许多独特和重要的优点。例如, NCTUns 在 Linux 内核中直接采用了现实的 TCP/IP 协议栈执行仿真。照此, 更多真实, 高精度的仿真结果便产生了。另外, 任意现实的应用程序能添加到正在仿真的 NCTUns 设备中<sup>[5]</sup>。

本文选择 NCTUns 5.0 仿真软件, 基于 Fedora 10 操作系统, 使用 6 Mb/s 的传输速率, 28.8 dBm 传输功率, 包大小分布范围 400~500 b<sup>[6]</sup>, 使用 NCTUns 自带的 CarAgent 模型, 为车路相互通信, 仿真时间设置为 300 s。设定了 2 种仿真环境: 一个通用城市平面交叉口; 一段快速路。性能指标中的时延(delay)表示数据或分组从链路的一端传送到另一端所消耗的时间, 包括了发送时延、传播时延、处理时延和排队时延; 吞吐量(throughput)表示在单位时间内通过信道的数据量。

### 2.1 通用城市平面交叉口建模

参数设置如下:

- 1) 双向 2 车道, 交叉口设计车速为 40 km/h (11 m/s)。
- 2) 信号周期为 100 s, 2 相位控制, 黄灯时间为 3 s, 全红时间为 2 s, 红灯时间为 45 s。
- 3) 信号控制模型采用 NCTUns 自带的 Sig-

nall 模型。

为了研究交叉口环境下车辆数-时延/吞吐量的关系, 整个交叉口车辆数分别设置为<sup>[7]</sup>: 1、2、4、20、30、40、50、60、70、80、90、100、120、140、150、160、180、200、210、220、230、240、250、260 辆。选择通过交叉口的车速为 25 km/h (7 m/s), 根据车辆数不同, 分别进行仿真。

为了研究交叉口环境下车速-时延/吞吐量的关系, 车辆速度使用 NCTUns 中的车速定义模块, 分别设置为: 10 (3)、14 (4)、18 (5)、20 (6)、25 (7)、30 (8)、32 (9)、36 (10)、40 km/h (11 m/s)。选择交叉口的车辆数为 80 辆, 根据车速不同, 分别进行仿真。

### 2.2 快速路段建模

双向 4 车道, 长度为 3 km, 车速限制范围为 60~180 km/h。

为了得出快速路环境下车辆数-时延/吞吐量的关系, 整个路段车辆数分别设置为: 1、2、4、5、6、10、15、20、40、60、80、100、120、140、160、180、200、220、240、250、260 辆。设定外侧车道车速为 60 km/h (16 m/s)、内侧车道车速为 80 km/h (22 m/s), 根据车辆数的不同, 分别进行仿真。

为了研究快速路环境下车速-时延/吞吐量的关系, 选择《公路通行能力手册》服务水平等级为

二级时的密度(18 pcu/(km·ln))为典型值<sup>[8]</sup>,车速选择如下 60(16)、72(20)、80(22)、86(24)、94(26)、100(28)、108(30)、115(32)、122(34)、130(36)、137(38)、144(40)、151(42)、158(44)、166(46)、173(48)、175(49)、180 km/h(50 m/s)设置,分别进行仿真。

下面给出了 2 种仿真环境构建的截图,见图 1、图 2。图中有数字的车辆代表仿真中运行的车辆,车-路、车-车之间的直线表示车-路、车-车之间形成了相互通信。

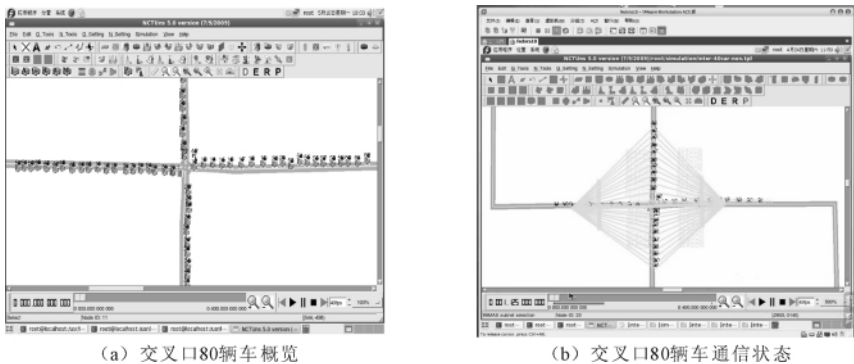


图 2 交叉口 80 辆车时的仿真环境  
Fig. 2 Simulation environment of 80 vehicles in intersection

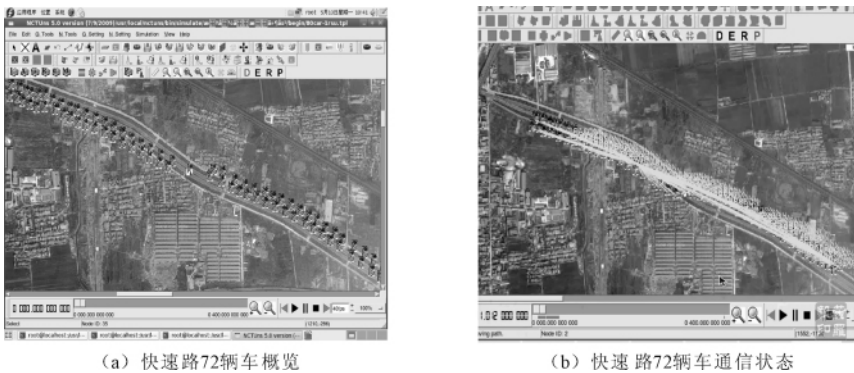


图 3 快速路 72 辆车时的仿真环境  
Fig. 3 Simulation environment of 72 vehicles in highway

3 仿真结果分析

对上述的各种环境分别进行仿真,使用 Matlab 对各种仿真环境下的有效数据进行提取,绘制得出下列二维图形:

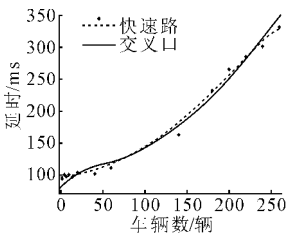


图 4 车辆数-时延关系  
Fig. 4 Relationship between the number of vehicles and delay

从仿真结果可以看出,在通用城市平面交叉口仿真环境中,随着车辆数的增加,时延总体呈现上升的趋势,吞吐量总体呈现下降的趋势;随着车速的增加,时延在 100~120 ms 小范围之内变化,

吞吐量在 9~11kb/s 小范围之内变化;在快速路仿真环境中,随着车辆数的增加,时延总体呈现上升的趋势,吞吐量总体呈现下降的趋势;随着车速的增加,时延在 110~120 ms 小范围之内变化,吞吐量在 8~11kb/s 小范围之内变化。即在通用城市平面交叉口和快速路段两种仿真环境下,车辆数与时延/吞吐量的关系基本相似,车速对时延/吞吐量都几乎不产生影响,将两者结合,得出 IEEE 802.11p 在车路协同系统中适应性的一般结论见表 1。

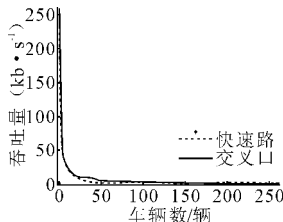


图 5 车辆数-吞吐量关系  
Fig. 5 Relationship between the number of vehicles and throughput

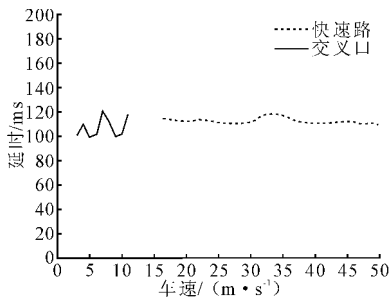


图 6 车速-时延关系

Fig. 6 Relationship between the speed of vehicles and delay

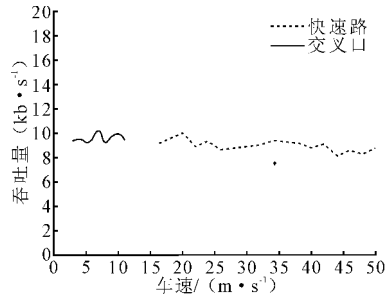


图 7 车速-吞吐量关系

Fig. 7 Relationship between the speed of vehicles and throughput

表 1 IEEE 802. 11p 在车路协同系统中的适应性分析  
Tab. 1 Adaptability of IEEE 802. 11p in IntelliDrive System

	时延性 /ms	吞吐量/ (kb · s <sup>-1</sup> )	传输距 离/m	支持车速/ (km · h <sup>-1</sup> )
车路协同系统 的通信需求	100 左右		50~500	高速
IEEE 802. 11 p 仿真结果	100~120	8~11	1~1 000	200

## 4 结束语

根据美国交通运输部对车路协同系统提出的通信需求,要求时延在 100 ms 左右,传输距离典型值为 50~500 m。本文采用了 NCTUns 现实的 TCP/IP 协议栈执行仿真,得出了如下结论: IEEE 802. 11p 在车辆数较大,特别是 40 辆以上时,其时延和吞吐量性能急剧变坏,理论上已无法

满足车路协同的通信需求,而车速对时延/吞吐量都几乎不产生影响,在支持车速方面,IEEE 802. 11p 已完全满足车路协同通信系统的需求。

## 参考文献

- [1] IEEE 802. 11 WORKING GROUP. IEEE 802. 11 Official Timelines [EB/OL]. (2004-09-23) [2010-11-21]. [http://www.ieee802.org/11/Reports/802.11\\_Timelines.htm](http://www.ieee802.org/11/Reports/802.11_Timelines.htm).
- [2] NHTSA. Vehicle safety communications project task 3 final report; Identify intelligent vehicle safety applications enabled by DSRC [R]. Washington, D. C. : U. S. Department of Transportation, 2005.
- [3] WG802. 11-Wireless LAN Working Group. 802. 11p-2010-IEEE standard for local and metropolitan area networks [EB/OL]. (2010-07-15) [2010-11-23]. <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.11p-2010.html>.
- [4] Wang S Y, Chou C L. NCTUns tool for wireless vehicular communication network researches [J]. Simulation Modelling Practice and Theory, 2009, 17(7): 1211-1226.
- [5] Wang S Y, Chou C L. The design and implementation of the NCTUns network simulation engine [J]. Simulation Modelling Practice and Theory, 2007, 15(1): 57-81.
- [6] Katrin B, Elisabeth U. On the ability of the 802. 11p MAC method and STDMA to support real-time vehicle-to-vehicle communication [J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. 2009, 2009(5): 1-13.
- [7] Kajackas A. Inter-vehicle communication: emergency message delay distributions [J]. Electronics and Electrical Engineering. 2009, 96(8): 33-38.
- [8] 交通部公路科学研究院. 公路通行能力手册 [M]. 北京: 交通部公路科学研究院, 2006.

## Simulation of the Adaptability of IEEE 802. 11p in IntelliDrive System

HUANG Luoyi WU Zhizhou YANG Xiaoguang WANG Yinsong

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** In this paper, NCTUns is used to study the adaptability of IEEE 802. 11p in vehicle infrastructure communication of IntelliDrive system. First, an at-grade urban intersection and a highway environment are designed. Then, the relationships between the number of vehicles and delay, between the number of vehicles and the throughput, between the speed of vehicles and delay, and between the speed of vehicles and the throughput are analyzed. Finally, the conclusion is drawn that the performance of delay and throughput deteriorate rapidly when the number of vehicles is large, in particular, over 40, and that the speed almost has no effect on delay and throughput.

**Key words:** IEEE 802. 11p; adaptability; NCTUns; IntelliDrive