

## 基于开源仿真器的蜂窝 V2X 的性能分析\*

谭安祖<sup>1</sup>, 余曼<sup>1</sup>, 翁文勇<sup>2</sup>, 戴美权<sup>1</sup>, 陈达<sup>1</sup>, 余泽<sup>1</sup>

(1.温州医科大学附属眼视光医院 信息管理处, 浙江 温州 325000;

2.浙江大学城市学院 计算机与计算科学学院, 浙江 杭州 310000)

**摘要:** 仅通过车辆传感器在高速公路上实现自动驾驶是可能的, 但是在复杂的城市环境中实现自动驾驶仍存在挑战。而蜂窝车联网(Cellular-Vehicle to Everything, C-V2X)是应对此挑战的有效技术, 其也引起了广泛关注。然而, 目前 C-V2X 模式 4 没有开源的仿真软件。为此, 基于离散事件网络仿真软件 NS-3, 提出开源的 C-V2X 模式 4 的仿真软件。构建了最拥堵的场景和基于微交通仿真器 SUMO 产生的城市 Manhattan 网格场景, 进而分析仿真器的性能。同时, 分析了资源分配间隔和资源重选率对数据包接收率的影响。

**关键词:** 蜂窝车联网; 5G; 车载通信; 仿真器; 开源

中图分类号: TN926

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200216

中文引用格式: 谭安祖, 余曼, 翁文勇, 等. 基于开源仿真器的蜂窝 V2X 的性能分析[J]. 电子技术应用, 2020, 46(6): 93-96.

英文引用格式: Tan Anzu, Yu Man, Weng Wenyong, et al. Performance analysis of cellular-V2X based on open source simulator[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(6): 93-96.

## Performance analysis of cellular-V2X based on open source simulator

Tan Anzu<sup>1</sup>, Yu Man<sup>1</sup>, Weng Wenyong<sup>2</sup>, Dai Meiquan<sup>1</sup>, Chen Da<sup>1</sup>, Yu Ze<sup>1</sup>

(1.Information Management Office, Eye Hospital, Wenzhou Medical University, Wenzhou 325000, China;

2.Computer Science and Engineering College, Zhejiang University City College, Hangzhou 310000, China)

**Abstract:** While autonomous driving in highway scenarios is already possible using only the vehicles sensors, auto nomous driving in the complex scenarios of big cities with all its different traffic participants is still a vision. Cellular vehicle-to-everything(C-V2X) communication is a necessary enabler of this vision and an emerging field of interest in today's research. However, to the best of our knowledge open source simulators essential for open research do not exist yet. In this work we present our open source C-V2X mode 4 simulator based on the discrete-event network simulator NS-3. To analyze the performance of C-V2X mode 4 using our simulator, we created a worst case scenario and the 3GPP reference Manhattan grid scenario using the microscopic traffic simulator SUMO. In addition, we investigated the impact of the resource reservation period and the resource reselection probability on the system's packet reception ratio.

**Key words:** cellular-V2X; 5G; vehicular communication; simulator; open source

## 0 引言

V2X (Vehicle-to-Everything) 已成为智能网联汽车实现与外界实体通信的关键技术<sup>[1]</sup>, 包括基础设施、行人以及外网。目前主要有专用短程通信(Dedicated Short-Range Communication, DSRC)<sup>[2]</sup>和基于蜂窝通信(Cellular V2X, C-V2X)两个标准。而 C-V2X 包括 LET-V2X 和 5G-V2X。

3GPP 给 C-V2X 定义了四类应用<sup>[3]</sup>: 车与行人(Vehicle-to-Pedestrian, V2P)、车与车(Vehicle-to-Vehicle, V2V)、车与网络(Vehicle-to-Network, V2N)和车与基础设施(Vehicle-to-Infrastructure, V2I), 如图 1 所示。

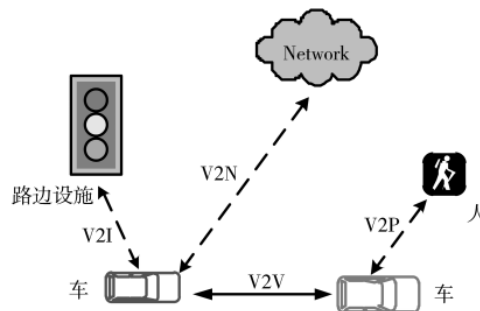


图 1 基于蜂窝的 C-V2X 通信

C-V2X 系统采用了四种模式, 其中模式 4 采用了基于感知的半持续性调度(Semi-Persistent Scheduling, SPS)进行资源分配<sup>[4]</sup>。依据感知的 SPS, 车载用户(Vehicle-

\* 基金项目: 浙江省科学技术厅 2017 年度省公益技术应用研究计划项目 (2017C31110)

# 信号处理

Signal Processing

User Equipment, V-UEs)设备可以在连续周期传输的频域内预置子信道。每子帧的预置子信道数取决于传输数据的尺寸。

图2显示了资源分配机制的示例。感知窗口为1 000 ms, V-UEs 依据上一个窗口1 000 ms 内所接收的数据进行资源分配。窗口的下沿取决于 V-UEs 所配置的参数,而上沿由允许的最大数据包接收间隔决定。一旦选择了资源, V-UE 就周期性地传输消息,并由资源配置时间控制传输间隔。

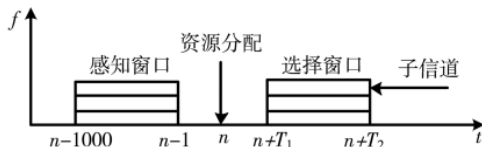


图2 基于感知的SPS

文献[5]分析了基于 C-V2X 模式4的开源模型。将通信节点间的距离作为可靠函数,并分析 C-V2X 模式4可能遭遇的传输误差。此外,文献[6]分析了由3GPP定义的高速场景下的 C-V2X 模式4的性能。而文献[7]依据城市场景下的真实交通流量数据,对 C-V2X 模式4的性能进行分析。

此外,文献[8]提出 C-V2X 仿真器,并分析资源池的传输参数对 C-V2X 模式4的影响,包括通信可靠性的分析。而文献[9]分析 C-V2X 多接入机制的资源分配性能。作者引用基于 NS-3 LTE 的仿真器,估计系统性能。

本文针对 C-V2X 的模式4,构建开源的仿真器,并分析它的性能。在仿真过程中,考虑了最拥堵的道路场景和城市 Manhattan 网格场景,并分析了在不同场景下,数据包接收率的性能。仿真结果表明, C-V2X 模式4具有高的扩展性。

## 1 C-V2X 的仿真器及场景

### 1.1 场景

引用基于 NS3 网络仿真软件的 LTE 设备间直接通信<sup>[10]</sup>,构建 C-V2X 仿真平台,其包含直接通信的模式1和模式2,也包含了 C-V2X 的模式4。

采用微交通仿真软件 SUMO 产生车流量。并考虑两个场景:静态最拥堵场景和城市 Manhattan 网格场景<sup>[11]</sup>。

在静态最拥堵场景中,所有车辆分布于100 m×100 m 交叉口,并且所有车辆都能接收到所有的数据包,如图3所示。

在城市 Manhattan 网格场景中,整个场景大小为1 299 m×750 m,如图4所示。车道宽为3.5 m,街道宽为20 m,边道的人行道宽为3 m。

### 1.2 信道模型

引用 WINNER+B1 的信道模型<sup>[11]</sup>,其是 WINNER II 信道模型的改进版<sup>[12]</sup>。对于 WINNER II 信道模型而言,只需改变参数,就可以对同一场景在不同参数下分析。图5给出信道参数过程。

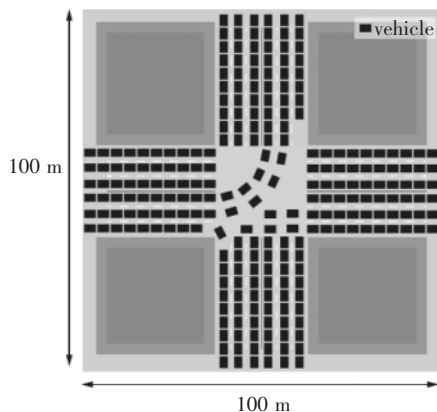


图3 250辆车的静态交叉口场景

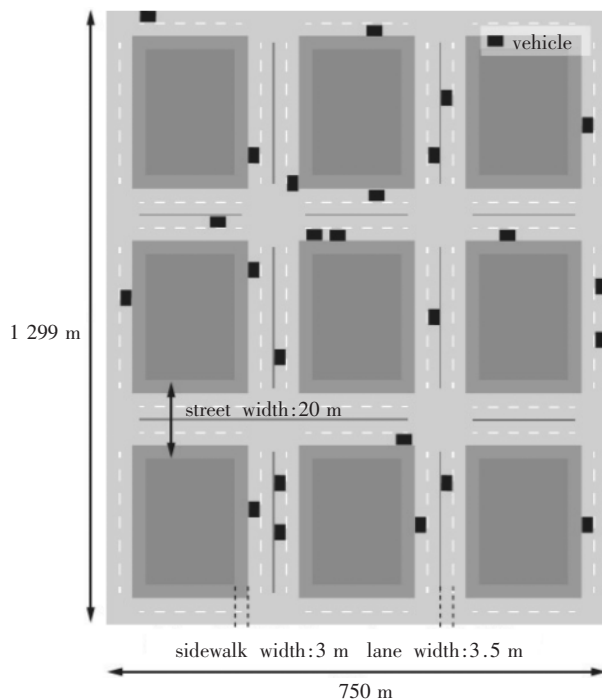


图4 城市 Manhattan 网格场景

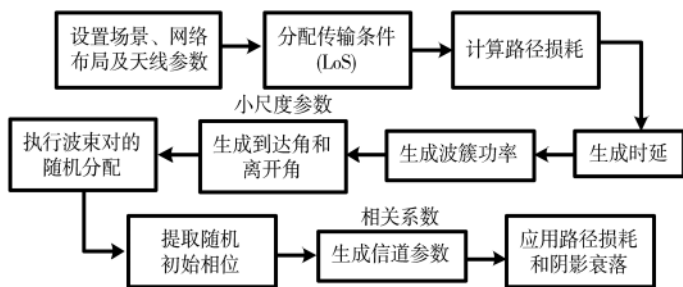


图5 信道参数的生成

接下来,分析视距和非视距下的路径损耗。在视距环境<sup>[13-14]</sup>,当收发距离满足  $d \in (30 \text{ m}, d_{\text{co}})$ ,则依式(1)计算路径损耗:

$$PL(\text{dB}) = 22.7 \lg d + 27.0 + 20 \lg f_c \quad (1)$$

其中  $f_c$  为信号频率。

若收发距离满足  $d \in (d_{\text{co}}, 5 \text{ km})$ ,就依式(2)计算路径

## 信号处理

Signal Processing

损耗:

$$PL(\text{dB}) = 40.0 \lg d + 9.0 - 16.2 \lg h_{\text{BS}} - 16.2 \lg h_{\text{MS}} + 3.8 \lg f_c \quad (2)$$

依据 V2V 通信标准,  $h_{\text{BS}}$ 、 $h_{\text{MS}}$  的天线高度均设置为  $1.5 \text{ m}^{[11]}$ 。而  $d_{\text{co}}$  表示距离阈值, 其定义如式(3)所示:

$$d_{\text{co}} = 4h_{\text{BS}} h_{\text{MS}} f_c / c \quad (3)$$

其中,  $h_{\text{BS}}$ 、 $h_{\text{MS}}$  为有效的天线高度, 且  $h_{\text{BS}} = h_{\text{BS}} - 1 \text{ m}$ 、 $h_{\text{MS}} = h_{\text{MS}} - 1 \text{ m}$ 。而  $c$  为光速, 且  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

在非视距环境下, 就依据式(4)计算路径损耗:

$$PL(\text{dB}) = (44.9 - 6.55 \lg h_{\text{BS}}) \lg d + 5.83 \lg h_{\text{BS}} + 15.38 + 23 \lg f_c \quad (4)$$

## 2 性能分析

本节依据上节所建立的仿真平台, 分析 C-V2X 性能。表 1 给出仿真的网络参数, 包括 V-UEs 数、信道模型以及仿真时间。

在仿真过程中, 主要分析数据包接收率

(Packet Reception Ratio, PRR) 和接收数据包间隔(Packet Inter-Reception, PIR)<sup>[11]</sup>。其中 PRR 的定义如式(5)所示:

$$PRR = X/Y \quad (5)$$

其中  $Y$  表示离发射器  $150 \text{ m}$  以内的 V-UEs 数; 而  $X$  表示  $Y$  中能够成功从发射器接收数据包的个数。而 PIR 表示从节点 A 传输至节点 B 过程中, 成功接收数据包的间隔。此外, 表 2、表 3 分别给出 V-UE 参数和资源池参数。

表 2 V-UE 的仿真参数

V-UE 参数	值
消息大小/B	190
传输功率/dBm	23
天线高度/m	1.5
资源预留期/ms	100
时间 1, 时间 2	4 ms, 100 ms
资源重选概率/%	50
调制与编码方式	20

表 3 资源池的仿真参数

资源池参数	值
信道带宽/MHz	10, 20
单个子信道资源块数量	10
子信道数量	5, 10
子帧位图	0xFFFFF
子信道分配方案	相邻
最低资源块子信道指数	0

## 2.1 车辆数对 PRR 和 PIR 的性能影响

首先, 分析车辆数对 PRR 的性能影响, 且在静态最拥塞场景和城市 Manhattan 网格场景中部署 0 至 250 辆车。同时, 考虑了两类带宽: 10 MHz 和 20 MHz。为了简化描述, 在仿真图中, “s” 表示静态最拥塞场景; “u” 表示城市 Manhattan 网格场景。

图 6 显示了 PRR 性能随车辆用户数的变化情况。从图可知, 在 250 辆车的拥塞环境下, 即使带宽翻倍, 在静态最拥塞场景, PRR 的性能也只能达到 98%。

而在城市 Manhattan 网格场景中, 即使 250 辆车的拥塞环境下, 当带宽提升为 20 MHz 时, PRR 的性能达到 99%。

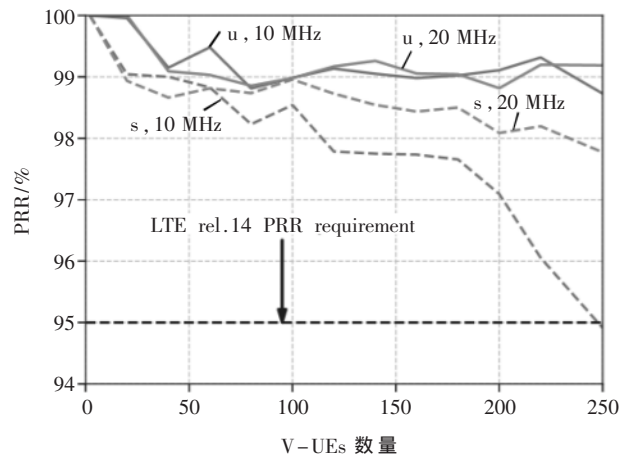
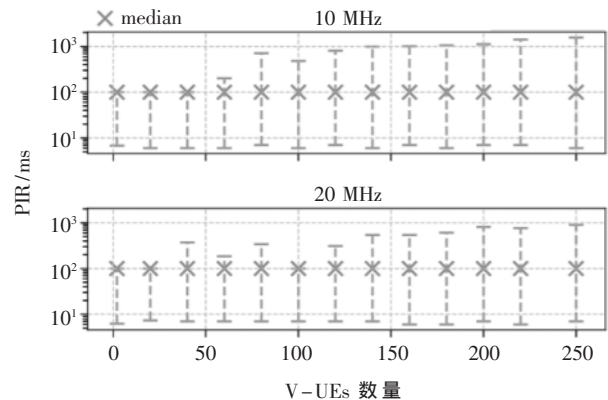
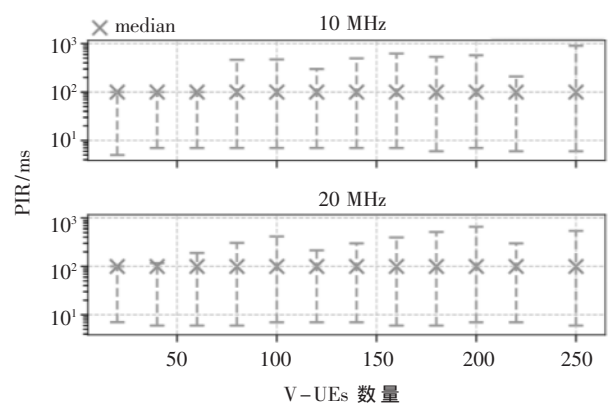


图 6 PRR 随车辆数变化情况

图 7 分析了车辆数对 PIR 的性能影响, 其中图 7(a) 表示静态最拥塞场景, 图 7(b) 表示城市 Manhattan 网格场景。



(a) 静态最拥塞场景



(b) 城市 Manhattan 网格场景

图 7 PIR 随车辆数变化情况

PIR 的值取决于资源分配窗口, 其中窗口时间设为  $100 \text{ ms}$ 。从图 7 可知, 当有车辆分配了新的资源, PIR 值就下降。由于碰撞或者半双式, PIR 值会超过  $100 \text{ ms}$ 。

## 2.2 资源分配窗口对 PRR 性能影响

图 8 显示了资源分配窗口对 PRR 的性能影响。从图

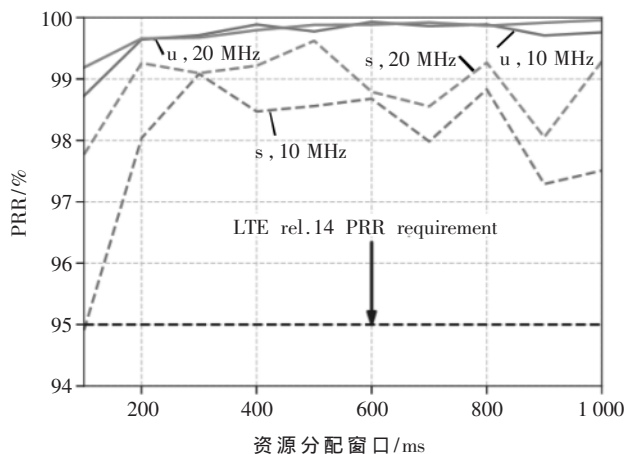


图8 资源分配窗口对 PRR 的性能影响

可知,当窗口为100 ms时,10 MHz蜂窝带宽下的 PRR 低至95%。若窗口提升到200 ms时,PRR 提升到了98%,达到预期。而在城市 Manhattan 网格场景中,PRR 从99%增加至近100%。

图9显示了数据包接收率随资源重选率的变化情况。从图可知,资源重选率对数据包接收率有消极影响。原因在于:资源重选率越高,被分配的资源就越多,传输数据包的可靠性就下降。反之,资源重选率越低,可用的信道资源就越多,通信的可靠性就越高,进而就提升了数据包接收率。

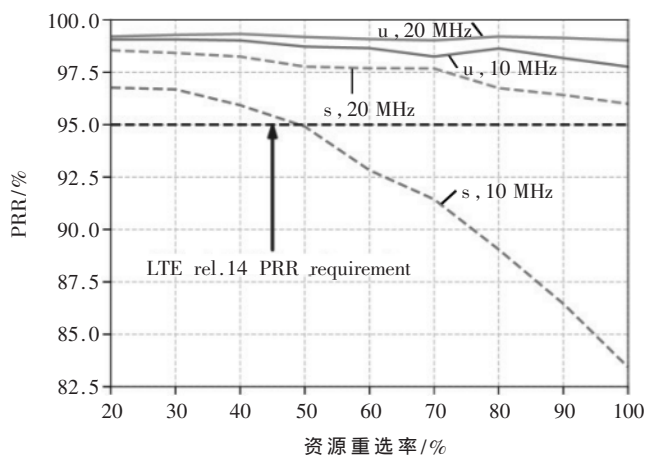


图9 PRR 随资源重选率的变化情况

### 3 结论

本文针对 C-V2X 模式4,提出基于 NS-3 的仿真器,并分析数据包接收率和数据包接收间隔性能。仿真结果表明,C-V2X 模式4具有高的扩展性。此外,分析了资源分配间隔和资源重选率对通信性能的影响。

#### 参考文献

- [1] 陈山枝,胡金玲,时岩,等.LTE-V2X 车联网技术、标准与应用[J].电信科学,34(4):1-11.
- [2] 田晓庄.基于 ETC 应用的 DSRC 空口数据监听分析仪的

设计与实现[D].北京:中国科学院大学,2016.

- [3] 邵雯娟,沈庆国.软件定义的 D2D 和 V2X 通信研究综述[J].通信学报,2016,40(4):183-198.
- [4] 刘源.宽带无线多媒体集群的下行控制信道研究及实现[D].成都:电子科技大学,2017.
- [5] GONZALEZ-MARTIN M, SEPULCRE M, MOLINA-MASEGOSA R, et al. Analytical models of the performance of C-V2X mode 4 vehicular communications[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2018, 5(7): 45-52.
- [6] MOLINA-MASEGOSA R, GOZALVEZ J. LTE-V for sidelink 5G V2X vehicular communications: a new 5G technology for short-range vehicle-to-everything communications[J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2017, 6(8): 32-40.
- [7] MOLINA-MASEGOSA R, GOZALVEZ J. System level evaluation of LTEV2V mode 4 communications and its distributed scheduling[C]. 2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2017: 67-75.
- [8] NABIL A, MAROJEVIC V, KAUR K, et al. Performance analysis of sensing-based semi-persistent scheduling in C-V2X networks[C]. 2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2018: 65-71.
- [9] TOGHI B, SAIFUDDIN M, MAHJOUB H N, et al. Multiple access in cellular V2X: Performance analysis in highly congested vehicular networks[C]. 2018 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), 2018: 78-83.
- [10] ROUIL R, CINTRON F J, BEN MOSBAH A, et al. Implementation and validation of an LTE D2D model for NS-3[C]. Proceedings of the Workshop on NS-3, 2017: 102-106.
- [11] 3GPP. Study on LTE-based V2X services[Z]. 3GPP, TR 36.885 V14.0.0, 2016.
- [12] 庄雯.基于 LTE/LTE-A 系统下的近距离业务的架构及解决方案的研究[D].北京:北京邮电大学,2015.
- [13] 杨丽花,杨龙祥,朱洪波. LTE 上行多用户 SC-FDMA 系统中时变信道估计方法[J].通信学报,2014,35(9):91-98.
- [14] 刘婉妮. TD-LTE 系统中随机接入协议仿真与分析[J].电子设计工程,2019,27(12):103-107.

(收稿日期:2020-03-22)

#### 作者简介:

谭安祖(1989-),男,硕士,工程师,主要研究方向:网络安全、安全信息网络构建。

余曼(1992-),女,硕士,工程师,主要研究方向:深度学习、网络攻防。

余泽(1987-),通信作者,男,本科,助理工程师,主要研究方向:软件工程、5G 移动通信技术。



## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所