

基于LTE-V2X的大规模通信场景网络层性能测试与分析

Performance Test and Analysis of Network Layer in Large-scale Communication Scenario Based on LTE-V2X

夏小涵¹,林晓伯¹,邱佳慧¹,蔡超¹,张澜²,霍思宇²(1. 中国联通智网创新中心,北京 100048;2. 中讯邮电咨询设计院有限公司,北京 100048)

Xia Xiaohan¹,Lin Xiaobo¹,Qiu Jiahui¹,Cai Chao¹,Zhang Lan²,Huo Siyu²(1. Intelligent Network & Innovation Center of China Unicom,Beijing 100048,China;2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.,Ltd.,Beijing 100048,China)

摘要:

随着车联网的大规模部署和商业化在即,LTE-V2X在实际场景中的通信性能将会直接影响到车联网产业发展以及交通安全。目前车联网通信性能测试主要是以小规模部署的通信环境为主,缺少在实际环境中对LTE-V2X通信系统的大规模流量的压力测试。基于“新四跨”标准环境,通过模拟车辆密集交通场景,对LTE-V2X终端网络层性能指标进行测量,验证其在负载压力下的通信性能,为LTE-V2X技术商用提供了可靠的试验数据。

关键词:

LTE-V2X;RSRP;RSSI;时延;高密度流量;路测
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2021.10.004
文章编号:1007-3043(2021)10-0020-05
中图分类号:TN929.5
文献标识码:A
开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

With the large-scale deployment and commercialization of the Internet of vehicles approaching, the communication performance of LTE-V2X in the actual scene will directly affect the development of the Internet of vehicles industry and traffic safety. At present, the communication performance test of Internet of vehicles is mainly based on the communication environment of small-scale deployment, and there is a lack of pressure test on the large-scale flow of LTE-V2X communication system in the actual environment. Based on the “New Four Together” standard environment, it measures the performance index of LTE-V2X terminal network layer by simulating the vehicle intensive traffic scene, verifies its communication performance under load pressure, and provides reliable test data for the commercial use of LTE-V2X technology.

Keywords:

LTE-V2X;RSRP;RSSI;Delay;High-density traffic flow;Road test

引用格式:夏小涵,林晓伯,邱佳慧,等. 基于LTE-V2X的大规模通信场景网络层性能测试与分析[J]. 邮电设计技术,2021(10):20-24.

0 引言

基于LTE-V2X的车联网技术已在全球布局。国内外大量技术验证结果表明,C-V2X的技术性能已超过基于IEEE 802.11p的DSRC,成为短距离直接通信的最佳技术^[1]。在5G和C-V2X技术发展的推动下,全球的车联网行业正迅速发展。

车联网产业在国家政策、标准化以及产业化等方面均突飞猛进。国内积极开展C-V2X车联网产业融合测试验证,IMT-2020(5G)推进组C-V2X工作组在2018年、2019年和2020年分别组织了“三跨”(跨整车、跨终端、跨通信模组)“四跨”(跨整车、跨终端、跨通信模组、跨安全平台)“新四跨”(在“四跨”基础上补充了更多细节)C-V2X产业互联网互通测试活动。“新四跨”面向更商业化的应用场景,采用更完善的数字证书体系,并增加了高精度地图和高精度定位。参加测试的厂家已经超过100家,涵盖车联网全产业链,促进了C-V2X技术的落地应用^[2]。

基金项目:国家重点研发计划(2018YFB1600600);安徽省新能源汽车暨智能网联汽车产业技术创新工程项目

收稿日期:2021-09-08

由于目前对LTE-V2X的测试主要是基于小规模试点的环境,RSU和OBU的设备数量与未来预计部署的数量相去甚远。车联网应用需要在大量通信流量的实际情况下保障LTE-V2X系统运行效率。因此,基于大规模设备的车联网通信测试具有重要意义。在“新四跨”期间,C-V2X工作组开展基于大规模LTE-V2X背景流量的一系列功能及性能测试(以下简称“大规模测试”),测试验证已有的标准体系及技术规范,并探究未定的技术参数对测试结果的影响。本文在“新四跨”大规模测试期间,采用网络层的测试方法,验证较高的空口忙率是否会影响OBU终端空口资源的选择,同时将车速、通信距离、数据包大小、发送间隔等因素考虑在内,并给出了初步结论,为后续更多的测试场景打下基础。

1 LTE-V2X 技术背景

1.1 LTE-V2X 物理信道

LTE-V2X的PC5接口一共涉及3类物理信道,包括控制信道(Physical Sidelink Control Channel, PSCCH),用于通信过程中控制信息的传输;共享信道(Physical Sidelink Shared Channel, PSSCH),用于数据负载的传输;广播信道(Physical Sidelink Broadcast Channel, PSBCH),用于同步信令等的传输^[3]。

1.2 网络质量参数

本次测试涉及的网络质量参数包括共享信道参考信号接收功率(Physical Sidelink Control Channel Reference Signal Received Power, PSSCH-RSRP)和直连链路接收信号强度指示(Sidelink-Received Signal Strength Indication, S-RSSI)。上述2个指标分别用于观察RSRP与RSSI上RE的功率平均值,一般情况下两者差距不大。

信道忙率(Channel Busy Ratio, CBR)用于观察当前空口资源占用情况。LTE-V2X在mode4模式下采用终端间自协商式通信方式,因此终端需要实时探测当前信道忙率,并选择空闲资源进行数据发送^[4]。高密度流量测试可以人为制造较高的空口忙率,验证在空口繁忙情况下,整个LTE-V2X通信系统运行效率,并测量终端的通信指标。

收包率(Package Reception Rate, PRR)与时延(Delay)是在网络测试中常见的指标,用于衡量通信的质量及可靠性。

本文重点关注的是LTE-V2X网络层传输时延。

网络层传输时延主要包括空口对于可以发送资源的选择时间,而不包含应用层对于LTE-V2X消息的编译和解译时间,网络层时延排除设备性能可能造成的应用层时延,主要用于考察较多用户场景对数据包传输时延的影响^[5]。

2 大规模测试

2.1 测试环境

本次大规模测试场地位于上海市嘉定区的国家智能网联汽车(上海)试点示范区封闭测试区,实际测试道路为一段十字路口。十字路口南北方向道路总长约270 m,东西向道路总长约130 m。测试场地周围环境开阔,无遮挡。

2.2 背景流量部署

本次大规模测试中,在整个测试路段共部署200台左右OBU设备作为背景流量,6台设备为一组,装载设备可以通过4G信号连接云端控制平台,由规模化测试系统监控设备运行状态,并远程下发测试命令。测试结束后,通过装载设备上的管理终端在本地回收测试日志^[5]。

OBU设备主体在装载设备下方的机箱中,发射功率为23 dBm,天线增益3 dBi。设备连接四合一组合天线,支持LTE-V2X全频段发送,相邻2个天线之间间隔至少1 m,由此使用1个OBU装载设备模拟道路上的6辆安装了OBU终端的车辆。在大规模外场测试中,在直行道路摆放全部静止OBU装载设备作为背景车,形成LTE-V2X通信流量拥挤区域,测试车辆在行驶经过拥挤路段的时候进行消息的接收和发送。

测试共使用2台RSU设备。RSU设备部署在路测设施的顶端,每台设备连接全向玻璃钢天线,RSU发射功率为23 dBm,天线增益为6 dBi。

2.3 测试参数配置

本次测试遵循“新四跨”测试参数^[8],配置OBU和RSU的频段为5 905~5 925 MHz^[9,11],背景OBU与RSU按照标准格式发送大规模测试消息。其中,OBU发送2种字节长度固定的消息,模拟真实场景下的BSM发送过程。RSU发送4种不同字节长度的消息,模拟真实场景下RSU发送RSM、RSI、SPAT、MAP 4种消息的过程。其中背景OBU发送的数据包大小与频率如下。

a) 300 B(10 Hz):模拟OBU周期发送BSM消息。

b) 450 B(触发式):模拟OBU发送关键事件BSM消息。

背景RSU发送的数据包大小如下。

- a) 350 B(2 Hz):模拟RSU周期发送SPAT消息。
- b) 600 B(10 Hz):模拟RSU周期发送RSM消息。
- c) 1 000 B(2 Hz):模拟RSU周期发送半静态RSI消息。
- d) 1 300 B(1 Hz):模拟RSU周期发送MAP消息。

背景RSU和OBU消息发送方式遵循标准的最新版本要求^[10]。背景OBU采用SPS方式周期发送300 B消息,优先级为5;采用event方式发送关键事件消息,优先级为2。背景RSU采用event方式周期发送4种消息,350 B消息的优先级为3,600 B消息的优先级为5,1 000 B消息的优先级为6,1 300 B消息的优先级为8。

测试的拥塞控制遵循《基于LTE-V2X直连通信的车载信息交互系统技术要求》附录E.3基于车辆密度的拥塞控制方法。

2.4 V2X测试设备

V2X测试设备是一种支持LTE-V2X直连通信的终端设备,符合《基于LTE的车联网无线通信技术支持直连通信的终端设备技术要求》(2018-0176T-YD)中的相关技术要求。测试设备配置发射功率为23 dBm,天线增益为3 dBi,工作频段为5 905~5 925 MHz,其他配置参数与“新四跨”一致,保证能够接收到背景OBU发出的流量。

本次测试使用2台V2X测试设备,配置发送网络层数据包,一台作为发端,一台作为收端。V2X测试设备支持通过PC5口发送LTE-V2X测试数据包,其中数据包中包含特殊字段标识此数据包为测试包,此外还包括测试需要的重要信息如时间戳、包的编号,分别用于统计时延和丢包率。在测试过程中,接收端V2X测试设备通过提取测试包中的对应字段获得丢包率和时延的统计结果。

V2X测试终端均可以接收背景OBU的V2X消息进行后台分析,测试设备部署在车辆内,2根V2X天线以及GPS天线部署在车顶位置附近。

2.5 测试用例

根据实际交通情况,文中模拟直行路段和交叉路口的交通总量,通过视距、最高车速、多普勒效应、多径效应分别对场景进行分析,设计以下5个大规模交通测试场景^[12]:单车行驶通信场景、车辆同向行驶场景、低速会车场景、高速会车场景和十字路口静止通信场景。

本次测试过程中涉及到的参数主要分为接入层

参数、网络层参数、应用层参数等。其中已有标准明确规范的参数,遵循标准的规定进行配置,其余参数按照具体需求进行配置。

2.6 测试结果

2.6.1 单车行驶通信场景1

A车从起点向终点行驶,B车在起点静止。A车发,B车收,并统计网络层丢包率和平均时延,车速为30 km/h。测试场景如图1所示。

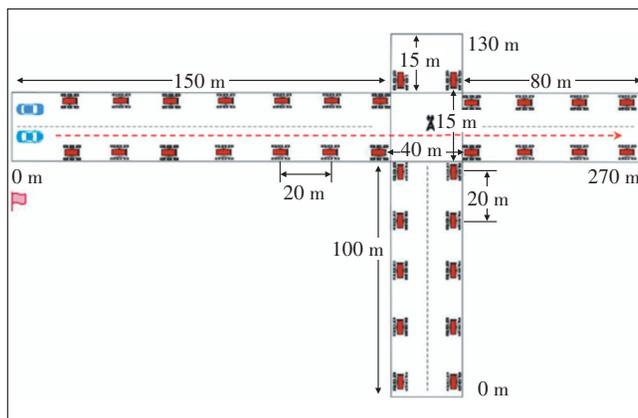


图1 单车行驶通信场景1示意图

测试结果如表1所示。由于天气、遮挡等引起的信道衰落,在一定程度上会影响车车之间的通信质量。由表1可以看出同类型包发送,收包率误差约在5%。而发包间隔对时延会有明显的影响。

表1 单车行驶通信场景1测试结果

测试例	发送配置			测试结果			
	发包间隔/ms	发包数量	包大小/B	收包率/%	最小时延/ms	最大时延/ms	平均时延/ms
A车从起点向终点行驶,B车在起点静止	100	300	300	97.67	10	44	22.6
	100	300	300	92.33	10	44	21.6
	400	80	300	98.75	18	77	43.8
	400	80	300	97.50	10	66	36.6

2.6.2 单车行驶通信场景2

A车从起点向终点行驶,B车在路口中央静止。A车发,B车收,统计网络层丢包率和平均时延,车速为30 km/h。测试结果如表2所示。

表2 单车行驶通信场景2测试结果

测试例	发送配置			测试结果			
	发包间隔/ms	发包数量	包大小/B	收包率/%	最小时延/ms	最大时延/ms	平均时延/ms
A车从起点向终点行驶,B车在十字路口	400	80	300	95.55	6	96	45.0

比较单车行驶通信场景1和单车行驶通信场景2可以得出,车辆B静止在起始点和静止在十字路口,两车通信性能基本一致,大背景流量对车辆影响不大。

2.6.3 车辆同向行驶

A车在前,B车在后,相距20m,从起点向终点行驶。在此过程中,A车发,B车收,统计网络层丢包率和平均时延,车速均为30 km/h。测试场景如图2所示。

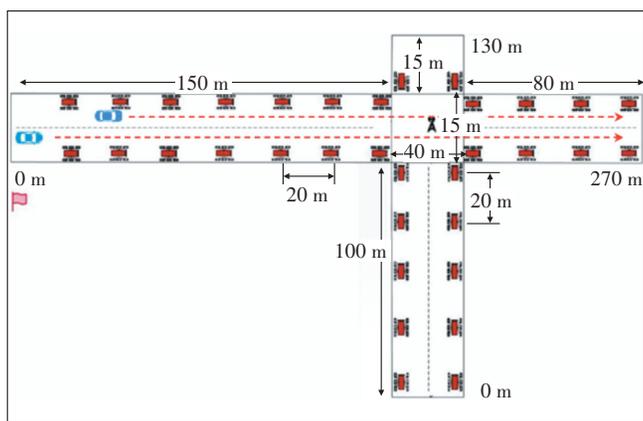


图2 车辆同向行驶场景示意图

测试结果如表3所示。在相对速度为极小值的情况下,通信质量可以维持较好的状态。

表3 车辆同向行驶测试结果

测试例	发送配置			测试结果			
	发包间隔/ms	发包数量	包大小/B	收包率/%	最小时延/ms	最大时延/ms	平均时延/ms
A车在前,B车在后,相距20m	400	80	300	100.00	13	46	26.8
	400	80	300	100.00	14	65	37.7

2.6.4 低速会车场景

A车在起点,B车在终点,对向行驶。A车发,B车收,统计网络层丢包率和平均时延。车速均为30 km/h,相对速度为60 km/h。测试场景如图3所示。测试结果如表4所示。

2.6.5 高速会车场景

本文定义车辆相对速度高于100 km/h的会车为高速会车。A车在起点,B车在终点,对向行驶。A车发,B车收,统计网络层丢包率和平均时延,车速均为60 km/h,相对速度为120 km/h。

测试结果如表5所示。对比发包间隔和包大小,可以看出在相对速度为120 km/h时,通信质量与低速车辆相差不大,也验证了LTE-V2X对于高速行驶车辆具有适配性。

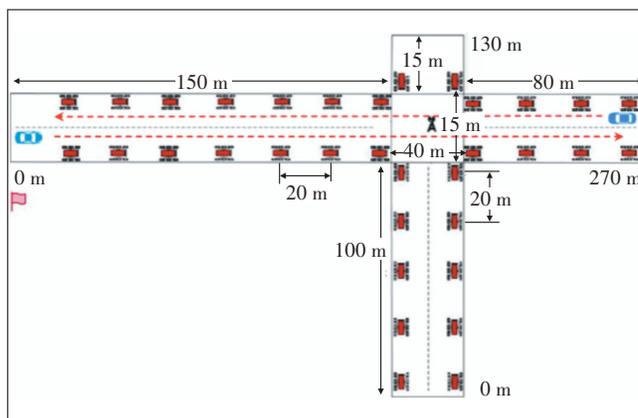


图3 会车场景示意图

表4 低速会车场景测试结果

测试例	发送配置			测试结果			
	发包间隔/ms	发包数量	包大小/B	收包率/%	最小时延/ms	最大时延/ms	平均时延/ms
A在起点,B在终点,对向行驶,车速30 km/h	400	80	300	100.00	9	51	27.8
	400	80	300	97.50	11	60	32.6

表5 高速会车场景测试结果

测试例	发送配置			测试结果			
	发包间隔/ms	发包数量	包大小/B	收包率/%	最小时延/ms	最大时延/ms	平均时延/ms
A在起点,B在终点,对向行驶,车速60 km/h	400	45	300	100.00	13	59	31.8
	100	160	300	96.88	10	47	24.0
	100	160	300	94.38	9	38	19.3

2.6.6 十字路口静止通信场景

本次测试,A车与B车静止于流量最密集路口对角线。A车发,B车收,统计网络层丢包率和平均时延。测试场景如图4所示。测试结果如表6所示。

静止情况下的通信质量证明发包间隔和大小,对

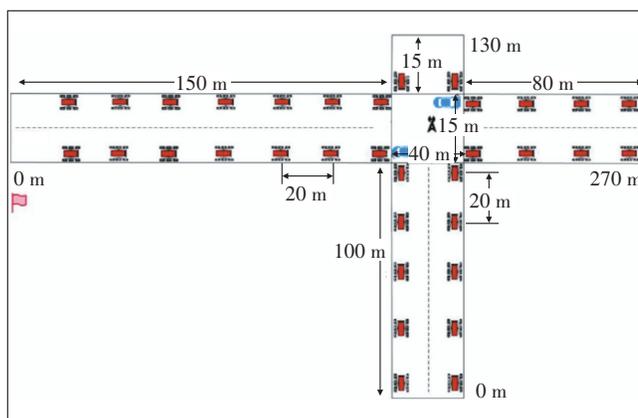


图4 十字路口静止通信场景

表6 十字路口静止通信场景测试结果

测试例	发送配置			测试结果			
	发包间隔/ms	发包数量	包大小/B	收包率/%	最小时延/ms	最大时延/ms	平均时延/ms
两车处于流量最密集路口对角线, 静止	400	100	100	100.00	10	92	41.2
	400	100	100	100.00	9	67	31.6
	400	100	300	100.00	11	63	29.9
	400	100	300	100.00	11	71	36.5
	400	100	500	100.00	13	58	30.2
	400	100	800	100.00	11	88	39.4
	400	100	1 000	96.00	12	54	29.7
	400	100	1 200	99.00	12	62	31.6
	400	100	1 200	95.00	16	60	36.2
	100	400	1 200	87.75	14	49	23.5
	100	400	1 200	90.25	12	50	24.4
	100	400	1 000	95.25	13	49	26.4
	100	400	1 000	99.00	12	41	23.8
	100	400	800	98.75	10	51	26.0
	100	400	500	95.75	11	49	24.7
100	400	500	100.00	12	50	27.7	

于时延以及收包率都有一定影响。相比 100 ms 发包间隔, 400 ms 间隔会使得平均收包时延增加 10~20 ms。这是由于底层选择 period 方式发包时, 由于上层应用会通知发包间隔周期, 底层会预先按间隔分配好发送资源。当上层应用数据包时延抖动较大时, 一旦错过了一个发送时机, 400 ms 间隔的数据包就需要等待更多时间来搭乘“下一辆班车”, 这会导致平均时延变大。另外, “新四跨”资源配置引入了 reserve 帧, 间隔 256 ms 且不能用于数据发送。这样 400 ms 间隔中间会有 1~2 个 reserve 帧, 实际间隔为 401 ms 或者 402 ms, 同样会增加发送时延。

同时, 当数据包大小超过 800 B 时, 丢包率开始提升, 包大小提升至 1 200 B 时, 发包间隔的丢包率约提高 5%。

3 结束语

本次 C-V2X 大规模测试对真实道路拥挤场景下 OBU 设备间的通信进行了模拟, 重点关注交叉路口和直行道路 2 种典型交通场景下的通信性能。RSU 的通信覆盖也是测试的关注点, 此外本次测试也收集和验证了移动车辆的通信性能指标。这些参数将为后续阶段的车联网部署应用打好基础。

外场测试得到的平均时延为 30 ms, 实验室内平均时延为 15 ms, 可见背景流量与距离对网络时延有

一定影响, 符合预期。由于 LTE-V2X 技术特性以及实际部署方式等原因, 周围环境和天气都对信号质量影响较大, 极端情况影响超过 50%。发包间隔 400 ms 时的平均时延为 34.5 ms, 发包间隔 100 ms 的平均时延为 23.5 ms, 证明发包间隔对时延有一定影响。数据包大小超过 800 B 时, 高密度道路静止车辆通信的网络层开始出现丢包, 包大小为 1 200 B 时丢包率为 5% 左右, 说明数据包大小也会影响通信质量。而网络层时延在覆盖范围内、大背景流量和低速情况下, 整体波动不大。当相对速度提升到一定阈值时, 多普勒效应开始导致丢包率和时延增加。

本次外场测试的结果与所在测试场地环境、测试终端摆放、设备型号和通信参数等均密切相关。测试获得了一些数据, 也遗留了不少亟待验证的问题, 后续测试中将研究这些问题。希望本文可以为后续车联网商业落地提供一些可用依据。

参考文献:

- [1] 陈山枝, 时岩, 胡金玲. 蜂窝车联网(C-V2X)综述[J]. 中国科学基金, 2020, 34(2): 179-185.
- [2] IMT-2020(5G)推进组C-V2X工作组. C-V2X“四跨”互联互通应用示范活动总结[Z]. 2019.
- [3] 3GPP. Technical specification group radio access network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer; Measurements; 3GPP TS 36.214[S/OL]. [2021-08-24]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [4] 3GPP. Technical specification group radio access network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures; 3GPP TS 36.213[S/OL]. [2021-08-24]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [5] 星云互联. C-V2X大规模终端通信外场测试报告[R/OL]. [2021-08-26]. <https://www.jujing.com.cn/27915.html#group=no-group&photo=1>.
- [6] 工业和信息化部. 基于LTE的车联网无线通信技术空中接口技术要求: YD/T 3340-2018[S]. 北京: 人民邮电出版社, 2018.
- [7] 工业和信息化部. 基于LTE的车联网无线通信技术消息层技术要求: YD/T 3709-2020[S]. 北京: 人民邮电出版社, 2020.

作者简介:

夏小涵, 工程师, 硕士, 主要研究方向为高精度定位、RSU、车路协同等; 林晓伯, 工程师, 硕士, 主要研究方向为车联网仿真、5G通信、IP网络等; 邱佳慧, 高级工程师, 博士, 主要研究方向为车联网、5G通信、高精度定位等; 蔡超, 高级工程师, 硕士, 主要研究内容为无线移动通信、核心网架构、数据网、安全网等; 张澜, 高级工程师, 硕士, 主要从事智慧交通类创新项目支撑及项目交付工作; 霍思宇, 助理工程师, 硕士, 主要从事智慧交通类创新项目的项目管理和支撑工作。