 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i5.5681

Optimized design of LTE-V automated test tool for intelligent and connected vehicle scenarios

Qiaoling Shen Xun Zhao

National Radio Monitoring Center Testing Center, Beijing, 100041, China

Abstract

Against the backdrop of the rapid rise of intelligent connected vehicle industry, LTE-V, as the core communication technology supporting vehicle networking functions, has seen its stability and reliability become a focal point of industry attention. Optimizing LTE-V automated testing tools to enhance their performance has become an urgent issue to address. This study thoroughly analyzes the limitations faced by existing LTE-V testing tools in complex connected vehicle application scenarios, such as difficulties in dynamic topology adaptation and imprecise simulation of V2X communication scenarios. It proposes a series of targeted optimization measures, including flexible topology construction based on Software-Defined Networking (SDN) and integration of high-precision V2X simulators. Practical validation through connected vehicle testing has shown that the optimized tool significantly improves testing efficiency and quality, effectively promoting the development of the intelligent connected vehicle industry.

Keywords

LTE-V; automated test tool; intelligent connected vehicle; SDN; V2X simulation

面向智能网联汽车场景的 LTE–V 自动化测试工具优化设计

沈巧玲 赵寻

国家无线电监测中心检测中心，中国 · 北京 100041

摘 要

在智能网联汽车行业迅速崛起的大背景下，LTE-V作为支撑车联网功能实现的核心通信技术手段，其稳定性与可靠性成为行业关注的焦点。针对LTE-V自动化测试工具进行优化，以提升其性能，已成为当前亟待解决的问题。本研究深入分析了现有LTE-V测试工具在车联网复杂应用场景中所面临的局限性，如动态拓扑适配困难、V2X通信场景模拟不精准等，针对性地提出了一系列优化措施，包括基于软件定义网络（SDN）的拓扑灵活构建、高精度 V2X 模拟器集成等。经实际车联网测试验证，该工具经过优化后能显著提高测试的效率和质量，有效促进了智能网联汽车行业的发展。

关键词

LTE-V；自动化测试工具；智能网联汽车；SDN；V2X模拟

1 引言

随着城市化的快速发展和公众对交通安全及效率要求的提高，智能网联汽车逐渐成为转型汽车行业和交通领域的关键力量。据统计，预计到 2025 年末，全球智能网联汽车的市场规模将超过一万亿美元 [1]。通过利用先进的传感器、通信技术和智能算法，智能网联汽车能够实现车与车（V2V）、车与基础设施（V2I），以及车与行人（V2P）之间的全面信息互通，期望至少减少 50% 的交通事故发生率，并显著增加道路运行效率，减少因交通拥堵造成的能源及时间损失。

在当前这股技术革新的洪流之中，专为车辆间通信网络设计的 LTE-V（Long Term Evolution-Vehicle）技术标准发挥着重要作用。该技术以其卓越的低延迟性能、高度的可靠性以及宽泛的带宽容量等特性，全面适配了智能网联汽车在不同应用场景下的通信需求。例如在车辆高速行驶的情境下，LTE-V 能够确保车辆间信息交互的实时性，将时延严格控制在 20 毫秒的阈值之内，可以即时传递关键安全信息。然而，为了充分释放 LTE-V 技术在复杂多变的智能网联汽车环境中的潜力，开发一套可靠的自动化测试工具尤为重要 [2]。目前，已有的测试工具在处理智能网联汽车的复杂环境时展示了多个问题，这些问题极大地限制了产业的进步。因此，针对 LTE-V 自动化测试工具进行的优化研究显得尤为重要，其研究成果将有效推动智能网联汽车产业的规模化实施及其持续的优化升级。

2 LTE–V 在智能网联汽车中的应用场景

2.1 车车协同驾驶场景

在车车协同驾驶场景中， TE-V 技术主要负责在车辆之

【作者简介】沈巧玲（1991–），女，中国安徽人，本科，工程师，从事无线通信技术研究与自动化测试工具研发研究。

间进行实时且高精确度的信息交换，极大地提升了驾驶的安全性 [3]。通过 LTE-V 的高效数据传输，车辆能够迅速且准确地共享关键驾驶信息，如紧急制动预警信号，这不仅为驾驶员创造了更安全的驾驶环境，还显著减少了交通事故的风险。例如，在紧急制动的应用场景下，LTE-V 使得车辆在 10 毫秒内向周围车辆广播紧急信号，使得其他车辆能迅速响应并启动辅助制动系统，从而大幅提高反应时间并预防事故。实际路测数据表明，应用此技术的道路上，追尾事故的发生率已经降低了约 60%。

在变道辅助场景中，LTE-V 技术通过使车辆能实时交换车速、车距和驾驶意图等关键信息，显著提高了变道操作的安全性。此技术确保了变道是在完全了解周边环境的情况下进行的。研究显示，在城市快速路等复杂交通环境中，约 30% 的潜在刮擦事故可通过此种精准通信避免 [4]。为保障功能有效，LTE-V 的通信成功率需保持在 95% 以上，以确保信息传递的可靠性。

2.2 车路协同场景

车路协同场景中，LTE-V 技术有效地连接车辆与智能路侧单元（RSU），构建了一个高效智能的信息交互网络。这个网络能够动态优化交通信号灯配时，实时推送路况信息，极大提升了交通效率和驾驶安全性。车辆通过 LTE-V 不断向路侧单元传输速度和流量等关键数据，让路侧单元可以快速、准确地将信息传给交通管理中心。管理中心则利用大数据分析这些信息，智能调整信号灯时长，应对实时交通变化。实际案例显示，在实施车路协同信号灯优化后，某商业区路口的车辆平均等待时间减少了约 30%，通行能力提升了 25%，从而有效缓解了交通拥堵。

在路况信息推送方面， LTE-V 能够及时捕捉如道路施工、积水等突发情况，并迅速准确地通过网络推送至过往车辆。这使得驾驶员能在第一时间获取路况信息，有效规划行程路线，避免拥堵，行程延误因此平均减少了 40%。此外，LTE-V 的高速数据传输率达到每秒 10 兆比特，确保了信息的实时更新及系统的稳定运行，极大提升了出行效率及驾驶体验 [5]。

3 现有 LTE–V 自动化测试工具的问题剖析

一是传统的 LTE-V 自动化测试工具主要采用静态网络拓扑结构进行设计和实施，这种方法理论上能验证一些基本通信功能与性能，但难以真实模拟智能网联汽车在实际道路中的通信状态。实际上，智能网联汽车的运行环境复杂且不断变化，尤其是在高速道路等典型场景中，车辆高速行驶并且频繁建立或断开通信连接。这要求网络拓扑结构能实时调整适应这种高速与高密度的变化。然而，传统静态拓扑的测试工具无法有效反映这种动态变化，通常只能模拟固定和预定义的网络结构，导致测试结果与智能网联汽车在实际运行环境下的表现严重脱节，难以揭示实际应用中的潜在风险。

二是现有测试工具在模拟 V2X（车联万物）场景时取得了一些进展，但仍存在不足。多数工具只能实现基本的车对车（V2V）和车对基础设施（V2I）的通信模拟，这虽能验证通信功能，却难以应对复杂多变的实际交通环境。实际交通场景的复杂性，如城市高楼与电磁干扰等，可显著影响 LTE-V 的性能。如果测试工具不能精确重现这些环境，对 LTE-V 的性能评估将不准确，可能在实际应用中引起性能偏差，严重影响智能网联汽车的安全与可靠性。例如，多车紧急制动预警的模拟测试忽略了信号遮挡，可能导致实际通信成功率远低于测试结果，从而增加误判风险和安全隐患 [6]。

4 LTE–V 自动化测试工具优化设计

4.1 基于 SDN 的测试网络拓扑优化策略

软件定义网络（SDN）的核心特点是实现了控制平面与数据平面的分离。在传统网络架构下，诸如路由器、交换机等网络设备的控制逻辑与数据转发功能紧密交织，这极大地限制了网络配置的灵活性。相比之下，SDN 架构通过部署集中式的控制器，实现了对测试网络全局性、统一性的管理与控制。

如表 1 所示，对比传统测试架构与基于 SDN 的测试架构，在网络配置灵活性方面，传统网络架构存在显著的局限性，需要人员手动配置多个设备，这一过程既复杂又耗时，对快速变化的网络环境反应迟缓，通常需要几小时来完成调整，而 SDN 架构允许通过强大的控制器和编程接口快速、灵活地调整网络拓扑，即便面对复杂变化也能在几分钟内完成配置。SDN 架构的优越性在应对网络突发变化的能力上尤为明显，能实时监测并迅速应对网络状态变化。一旦检测到车辆组网关系发生变化，SDN 架构会立即触发控制器重新规划网络路由，确保测试网络能够始终贴近实际场景，保持高效稳定的运行状态。

表 1 传统测试架构与基于 SDN 的测试架构对比

对比项	传统测试架构	基于 SDN 的测试架构
网络配置灵活性	人工手动配置，耗时久	通过控制器编程接口，快速灵活配置
应对突发网络变化能力	配置繁琐，响应迟缓	实时监测，快速重新规划路由

为确保测试网络拓扑的精准动态优化，必须关注车辆位置、速度及通信链路质量等关键参数。利用高精度定位系统可以实时获得车辆的精确位置信息，配合车速传感器数据，进一步预测短期内的移动轨迹，从而有效支持网络拓扑的动态调整。同时，通过监测 LTE-V 通信链路的信噪比和丢包率等指标，可以评估链路质量，及时调整以维护通信的连续性和稳定性。例如，当车辆即将离开通信范围或链路质量下降，算法将自动触发拓扑调整，迅速通知 SDN 控制器重新分配网络资源，确保通信效率和网络拓扑适应性。

4.2 高精度 V2X 模拟器集成方案

构建精准的 V2X 模拟器是至关重要的，需详细反映真实交通动态并适应复杂场景。通过多种手段广泛收集涵盖不

同城市、区域、时间段的交通流数据，包括城市主干道、高速公路和郊区小路等。然后利用机器学习算法对数据进行深度挖掘与建模，这些算法能自动从数据中提取特征与规律，以构建符合实际的交通模型，提升模型的预测准确性。例如，在模拟一线城市早高峰的主干道拥堵，车速平均 15 公里 / 小时，车距 2~5 米，通过相关数据精确重现该场景以测试 V2X 通信性能。对于高速行驶场景，设置车辆以 120 公里 / 小时速度行驶，车间距超过 50 米，并考虑地形等因素来模拟信号的多径效应，增强模拟的真实性 [7]。如表 2 所示，对比简单模拟与复杂交通模型下的 V2X 通信测试结果，在城市拥堵场景中，简单模拟的误码率高达 10%，而基于复杂模型模拟时，误码率可控制在 3% 以下，显著提高了测试的准确性。

表 2 简单模拟与复杂交通模型模拟下的 V2X 通信测试结果对比

场景	简单模拟	复杂交通模型模拟
城市拥堵场景误码率	10%	3% 以内
高速行驶场景通信时延波动	±5 毫秒	±2 毫秒

5 优化后工具的实践验证

为了直观评估优化后的 LTE-V 自动化测试工具的性能，本文选取相同的智能网联汽车测试场景，分别使用原测试工具与优化后的工具进行对比测试，重点对测试完成时间、故障发现率、误报率等关键性能指标进行了对比分析。

如表 3 所示，在测试完成时间上，先前的工具因其固定的网络架构调整速度缓慢以及 V2X 场景的粗略模拟，平均需要 8 小时来完成一轮测试；经过改良，采用 SDN 技术实现快速网络架构调整和更高精度的 V2X 场景仿真，这使得测试周期缩短至不超过 3 小时，效率提高超过 150%。在故障发现率方面，由于原工具的模拟精度不足，大约只能检测出 60% 的潜在故障。使用改进后的工具，得益于对复杂情景的精确再现，故障检测率显著提升，达到了 90% 以上，从而揭示了更多潜在问题。在误报率指标上，原工具由于模拟环境与实际环境的较大偏差，误报率达到 20%，这严重影响了故障排查的效率。相对的改进工具通过更精确的模拟将误报率控制在 5% 以内，从而显著增强了故障排查的效率。

表 3 原测试工具与优化后测试工具关键指标对比

对比指标	原测试工具	优化后测试工具
测试完成时间	8 小时	3 小时以内
故障发现率	60%	90% 以上
误报率	20%	5% 以内

6 结论与展望

通过对 LTE-V 自动化测试工具采取一系列系统性改进，包括采用 SDN 技术优化网络拓扑结构和整合高精度 V2X 模拟器，有效提升了工具的测试效率、故障检测能力和结果精确度。这些改进显著增强了工具的性能，为 LTE-V 通信技术在智能网联汽车领域的应用提供了坚实支持。

未来发展中，随着车联网络技术逐步升级至 5G-V2X 和车与云的深度整合，对应的 LTE-V 测试工具必须与时俱进，持续进行创新。关键要点包括进一步利用 SDN 技术，开发更加智能的网络切片测试策略，以满足车联网在网络资源需求上的多样化。此外，还需探讨将人工智能与 V2X 模拟器融合，提升模拟器的自主决策能力，自动化地构建与优化测试场景。这些措施将为智能网联汽车产业的快速成长提供强大的技术支持。

参考文献

[1] 郭星,刘建蓓,张志伟,等. LTE-V2X协议栈开发及通信测试 [J]. 计算机系统应用, 2022, 31 (06): 100-108.

[2] 胡鑫,姜君,苑寿同. 基于LTE-V2X车路协同技术仿真验证方法的研究 [J]. 汽车与新动力, 2021, 4 (06): 62-64.

[3] 惠飞,唐书宇,邢美华,等. 基于LTE-V车辆密集场景的车联网资源分配算法 [J]. 计算机系统应用, 2021, 30 (02): 132-139.

[4] 李新洲. 车联网LTE-V2X与5G-V2X(NR)对比分析 [J]. 信息通信技术与政策, 2020, (07): 93-96.

[5] 余翔,陈晓东,王政,等. 基于LTE-V2X的车联网资源分配算法 [J]. 计算机工程, 2021, 47 (02): 188-193.

[6] 李华,杨燕玲. 基于LTE-V2X的车联网关键技术研究 [J]. 广东通信技术, 2019, 39 (11): 61-63.

[7] 延凯悦. 基于LTE-V城市道路场景的资源分配算法改进 [J]. 邮电设计技术, 2019, (06): 36-41.