

车联网中的V2X通信协议设计研究

杨另兵

日海恒联通信技术有限公司 河南 郑州 450048

摘要: 文章主要探讨了车联网(V2X)通信协议设计中的关键技术,分析并优化非平稳信道条件下的通信性能。通过对车与车(V2V)、车与基础设施(V2I)、车与行人(V2P)及车与网络(V2N)四种通信类型的详细研究,分析了基于物理不可克隆函数(PUF)的MI-PUF双向认证协议,以及可靠的双跳中继网络协作传输协议,MI-PUF认证协议能够有效抵抗多种攻击,保证通信安全;中继网络协作传输协议显著提升了系统的频谱效率和传输可靠性,为车联网通信系统的安全性和性能优化提供了重要的技术支持。

关键词: 车联网; V2X通信; PUF技术; 中继网络; 安全认证

引言

随着智能交通系统的发展,车联网(V2X)通信技术成为提升交通效率和行车安全的重要手段。V2X通信通过新一代无线通信技术,实现车辆与其他交通参与者及基础设施之间的高效信息交换,支持自动驾驶和高级驾驶辅助系统(ADAS)的应用。然而,车联网环境中存在的多径衰落、信道时变特性及安全隐患,对V2X通信的可靠性和安全性提出了严峻挑战。为了应对这些问题,本文对V2X通信协议的设计进行了深入探讨,分析了基于物理不可克隆函数(PUF)的MI-PUF双向认证协议及双跳中继网络协作传输协议,以期提高V2X通信的安全性和性能。

1 车联网中的V2X通信技术类型

车联网通信技术是智慧交通系统的核心组成部分,旨在通过新一代通信技术,实现车辆与其他交通参与者及基础设施之间的高效信息交换。V2X通信技术的应用可以显著提升交通效率、降低事故率,并为自动驾驶提供可靠的数据支持。V2X通信主要分为四类:车与车通信(V2V)、车与基础设施通信(V2I)、车与行人通信(V2P)以及车与网络通信(V2N)^[1]。

1.1 车与车通信(V2V)

V2V是V2X通信的重要组成部分,通过无线通信技术实现车辆之间的信息共享。V2V通信可以实时交换车辆的速度、位置、行驶方向等信息,从而预防碰撞、优化交通流量。V2V通信主要依赖于DSRC和C-V2X技术。DSRC技术基于IEEE 802.11p标准,工作在5.9GHz频段,具有低时延、高可靠性的特点,适用于高速移动的车辆通信。C-V2X技术是基于蜂窝网络的V2X通信方案,依托

现有的LTE和未来的5G网络,实现更广泛的通信覆盖和更高的通信容量。C-V2X分为直接通信模式(PC5接口)和蜂窝网络通信模式(Uu接口),前者用于车辆间的直接信息交换,后者通过蜂窝基站进行信息传递,适合大范围内的交通管理和控制。

1.2 车与基础设施通信(V2I)

通过车辆与路侧单元(RSU)的通信,实现交通信号、路况信息等基础设施数据的实时共享。V2I通信能够有效地优化交通信号控制,提高道路通行效率,减少交通拥堵。V2I通信可以为驾驶员提供实时的道路安全信息,例如前方施工、交通事故等,提高行车安全性。V2I通信同样可以利用DSRC和C-V2X技术。RSU作为V2I通信的关键节点,负责接收并转发来自车辆的信息,并将道路和交通管理信息广播给周围的车辆。通过V2I通信,交通管理部门可以实现对交通流量的动态监控和智能控制,从而优化整个交通系统的运行效率。

1.3 车与行人通信(V2P)

V2P通过无线通信技术,实现车辆与行人之间的信息交互,旨在提高行人安全。随着智能手机和可穿戴设备的普及,行人可以通过这些设备与周围的车辆进行通信,实时获取车辆的动态信息,并向车辆发送自己的位置和移动方向,从而预防交通事故。V2P通信通常依赖于蜂窝网络(如LTE、5G)和短距离无线通信技术(如蓝牙、Wi-Fi),可以在复杂的城市环境中提供高精度的行人定位服务。通过V2P通信,车辆可以提前获知潜在的行人冲突风险,并采取相应的预防措施,如减速、刹车等,确保行人安全。

1.4 车与网络通信(V2N)

V2N是指车辆通过蜂窝网络与云端服务器、交通管理中心等进行数据交换。V2N通信可以为车辆提供广泛

作者简介: 杨另兵(1989.03-),男,汉族,籍贯:河南省南乐县,本科,工程师,研究方向:通信工程

的网络服务,如导航、娱乐、信息查询等。V2N通信依赖于蜂窝网络的高带宽和低时延特性,特别是5G网络的普及,将显著提升V2N通信的性能。通过V2N通信,车辆可以实时获取交通管理中心发布的路况信息、交通指令等,同时将车辆的运行数据上传到云端,为交通管理和优化提供数据支持。

2 V2X 通信的主要技术与标准

V2X通信作为现代智能交通系统的核心技术,其实现依赖于多种通信标准和技术,主要包括IEEE 802.11p和3GPP C-V2X等,这些标准各具特点,分别在不同的应用场景中发挥作用^[2]。

(1) IEEE 802.11p是专门为车联网设计的无线通信标准,属于DSRC的一部分,工作在5.9GHz频段。IEEE 802.11p基于Wi-Fi技术,具有低时延和高可靠性的优点,适用于V2V和V2I通信,采用增强型媒体访问控制(MAC)和物理层(PHY)技术,能够在高速移动环境下实现稳定的通信连接。由于其低时延特性,IEEE 802.11p特别适合需要快速响应的安全应用,如碰撞预警和紧急制动等。然而,IEEE 802.11p的通信范围有限,通常在数百米内,且在网络覆盖和扩展性方面存在一定限制。

(2) 3GPP C-V2X是由第三代合作伙伴计划(3GPP)制定的基于蜂窝网络的V2X通信标准。C-V2X分为两种模式:直接通信模式(PC5接口)和基于蜂窝网络的通信模式(Uu接口)。直接通信模式无需依赖蜂窝基站,车辆之间可以直接进行信息交换,适用于低时延、高可靠性的应用场景,如V2V和V2I通信。基于蜂窝网络的通信模式则通过蜂窝基站实现V2N和V2P的广域通信,能够提供更大范围的网络覆盖和更高的通信容量。5G技术的广泛应用,进一步提升了C-V2X的性能,能够支持自动驾驶和高级驾驶辅助系统(ADAS)等高需求应用。

3 V2X 通信协议设计中的关键技术

3.1 可靠中继网络协作通信技术

中继节点通过接收和转发信号,可以有效地解决由于车辆高速移动和多径衰落等因素引起的信号衰减和通信中断问题。在车联网环境中,中继节点不仅可以部署在固定位置(如路侧单元),还可以动态地由车辆自身充当,形成灵活的移动中继网络^[3]。

3.1.1 双跳中继网络协作传输协议

双跳中继传输通过两次传输(源节点到中继节点,再从中继节点到目的节点)实现数据的可靠传输。双跳中继协议在V2X通信中具有显著优势,能够通过选择最佳中继节点来提高系统的频谱效率和传输可靠性。源

节点向中继节点发送数据;中继节点接收到数据后,通过信号处理和干扰抑制,将处理后的信号转发给目的节点,能够有效降低传输错误的累积,并通过中继节点的选择优化传输路径,提升整体通信性能。

3.1.2 中继信号检测与干扰抑制技术

信号检测技术通过分析接收到的信号,对传输数据进行准确还原,确保信息的可靠传输。干扰抑制技术则通过多天线协作、空时编码和滤波等手段,抑制多径干扰和其他无线干扰源的影响,提高信号的接收质量。例如,利用广义空移键控调制(GSSK)和Butson Hadamard矩阵,可以构建正交且可扩展的传输矢量,显著提升激活中继的通信质量。此外,通过中继节点的智能选择和联合信号检测算法(如中继中断概率排序检测算法),可以进一步优化系统性能,确保在复杂环境下的可靠通信。

3.2 物理不可克隆函数(PUF)技术在V2X中的应用

物理不可克隆函数(PUF)是一种基于硬件的安全技术,通过利用制造过程中产生的微小物理差异,为每个芯片生成唯一且不可复制的标识。

3.2.1 基于MI-PUF的安全认证协议设计

MI-PUF通过引入索引图和索引提示符,进一步增强了PUF的安全性和计算效率。在V2X通信中,基于MI-PUF的安全认证协议能够有效解决传统认证协议计算开销大、易受攻击等问题。该协议通过PUF的轻量级计算特性,降低了车辆的计算和通信开销,并利用PUF的不可克隆特性,防止身份假冒攻击。此外,采用哈希函数和索引图对PUF的输出信号进行处理,能够有效抵御机器学习攻击,确保通信的安全性。

3.2.2 MI-PUF的抗攻击能力分析

基于MI-PUF的安全认证协议在抗攻击能力方面具有显著优势。首先,PUF的不可克隆性确保了攻击者无法通过复制硬件来伪造身份,从根本上杜绝了物理克隆攻击。其次,协议设计中通过索引图和哈希函数对PUF输出进行处理,使得相同挑战产生的响应在不同通信会话中具有不可预测性,提高了抵御机器学习攻击的能力。最后,利用形式化验证工具(如AVISPA)对协议进行安全性验证,结果表明,该协议能够有效抵抗中间人攻击、重放攻击和拒绝服务攻击等常见安全威胁,确保车联网环境下的V2X通信安全可靠^[4]。

4 非平稳信道条件下的V2X通信优化

4.1 非平稳信道特性分析

多径衰落是由于信号在传播过程中遇到各种障碍物,如建筑物、车辆等,导致信号通过多条路径到达接收端,信号经过反射、散射和衍射后,会在接收端产生

相互干涉,导致信号强度的快速波动,即多径衰落。时变性是指信道特性随时间的变化,特别是在高速移动的车联网环境中,车辆的高速运动会导致信道参数,如衰落、延迟等,快速变化,从而引起信道的不稳定性。这些非平稳特性对V2X通信的可靠性和性能提出了严峻挑战,需要通过有效的信道建模和优化策略来应对。

4.2 中继选择与传输优化

有效的中继选择方法能够显著提升系统的频谱效率和传输可靠性,常用方法包括基于信道状态信息(CSI)的选择和基于位置的选择。基于CSI的方法通过实时监测各中继节点的信道状态,选择信道条件最优的节点进行数据转发。这种方法能够动态适应信道变化,保证通信质量。基于位置的方法则根据中继节点的位置和相对距离,选择最适合的位置节点进行中继。

在多中继节点的V2X通信系统中,干扰抑制是保证通信质量的重要手段。干扰主要来自其他中继节点的信号和外部环境的电磁干扰,常用的干扰抑制策略包括空间分集和频率分集。空间分集通过部署多个天线,实现空间上的干扰隔离和信号增强。频率分集是通过在不同频段上进行信号传输,减少同频干扰的影响。

5 安全认证协议设计

5.1 V2X通信中的安全隐患与挑战

在V2X通信系统中,攻击者可以伪造合法用户的身份,以便在网络中进行非法操作,如发送虚假信息、控制车辆行为等。身份假冒不仅会导致通信系统的混乱,还会直接威胁到交通安全。V2X通信过程中传输的数据往往包含车辆位置、速度、方向等敏感信息,如果这些数据被窃取或篡改,将会对用户隐私和交通安全构成严重威胁。攻击者可以通过截获通信数据进行窃取,或者通过插入虚假数据进行篡改,从而误导车辆的决策系统^[5]。随着V2X通信技术的广泛应用,车辆和驾驶员的隐私保护也面临严峻挑战。攻击者可以通过分析V2X通信数据,获

取关于车辆行驶轨迹、驾驶习惯等隐私信息,进而进行非法追踪和监控。

5.2 MI-PUF双向认证协议设计

基于物理不可克隆函数(PUF)的MI-PUF双向认证协议通过引入PUF的轻量级计算和不可克隆特性,实现高效、安全的身份认证。协议的基本流程包括以下步骤:首先,车辆和路边单元(RSU)在通信前互相发送认证请求和挑战信息;接收到挑战信息后,双方通过各自的PUF生成响应信息,并将其发送给对方;然后,双方使用预先共享的密钥和PUF生成的响应信息进行验证,确认对方的身份。整个认证过程通过哈希函数和索引提示符对PUF的输出进行处理,确保认证数据的唯一性和安全性。

6 结语

综上,本研究围绕车联网(V2X)通信协议设计展开,重点分析了非平稳信道条件下的通信优化和安全认证问题,分析了物理不可克隆函数(PUF)技术及MI-PUF双向认证协议,同时,研究了双跳中继网络协作传输协议,通过中继节点的智能选择和干扰抑制技术,显著提升了系统的频谱效率和传输可靠性。本研究为未来V2X通信系统的进一步优化和应用提供了坚实的理论基础和技术支持。

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(6):100-108.
- [2]谭伟杰,杨雨婷,牛坤,等.基于MI-PUF的V2X车联网通信安全认证协议[J].信息安全,2023,23(12):38-48.
- [3]余锐.车联网高可靠中继网络协作通信技术研究[D].上海:东华大学,2023.
- [4]顾彬.智能反射面辅助的车联网通信系统性能研究[D].山西:太原科技大学,2023.
- [5]刘奕辰.面向车联网LTE-V2X协议的模糊测试技术研究[D].山东:山东大学,2022.