

基于车载应用的天线结构与优化研究

彭建坤 熊光麒

四川九洲电器集团有限责任公司 四川 绵阳 621000

摘要：本研究专注于基于车载应用的天线结构与优化。随着智能网联汽车的快速发展，车载天线作为车辆与外界通信的桥梁，其性能对整车的智能化和网联化水平具有重要影响。从天线设计的实际需求出发，深入探讨天线结构的设计原则、优化方法以及实验验证。通过采用先进的仿真技术和实验手段，成功设计并优化了多款适用于不同频段和通信协议的车载天线，为智能网联汽车的发展提供了有力的技术支持。

关键词：车载应用；天线结构；优化研究

1 车载应用天线的定义

车载应用天线是专为汽车设计的一种无线通信设备的关键组件，它负责将电磁波能量转化为无线电信号进行发射，或将接收到的无线电信号转化为电磁波能量，从而实现车载设备与外部网络、其他车辆或卫星之间的通信。车载应用天线通常安装在汽车的特定位置，如车顶、前挡风玻璃下方或车身侧面，以确保在行驶过程中能够保持稳定的信号接收和发送能力。其设计需要考虑多种因素，包括车辆的形状、材料、电磁屏蔽效应以及天线本身的工作频段、增益、波束宽度等参数。车载应用天线的种类繁多，包括GPS天线、蓝牙天线、Wi-Fi天线、4G/5G移动通信天线等，每种天线都针对特定的通信协议和频段进行优化。例如，GPS天线用于接收卫星定位信号，而移动通信天线则用于支持车载电话、互联网接入等功能。随着汽车智能化和网联化的发展，车载应用天线在车辆安全、导航、娱乐、信息服务等方面发挥着越来越重要的作用。它们不仅提高了驾驶的便捷性和舒适性，还通过实时数据传输和交互，为车辆提供了更多的智能服务和安全保障。因此，车载应用天线的设计和优化对于提升汽车的整体性能和用户体验具有重要意义。

2 车载应用天线结构设计原理

2.1 天线工作原理和基本结构

天线的工作原理主要基于电磁波的传输和转换。当电流通过天线时，会产生电磁场，这个电磁场会向空间辐射电磁波，形成无线电信号。天线也能接收来自空间的电磁波，将其转化为电流信号，从而实现无线通信^[1]。天线的基本结构通常包括天线辐射体、馈电线和反射器等部分，天线辐射体是天线的主要部分，它负责将电信号转化为电磁波辐射出去，或者将接收到的电磁波转化为电信号。馈电线则是连接天线辐射体和发射/接收机的部分，用于传输信号。反射器则用于增强天线的方向性

和增益。在车载应用天线中，常见的天线类型有鞭状天线、螺旋天线、贴片天线等。这些天线类型各有特点，适用于不同的通信场景和频段。例如，鞭状天线结构简单，适用于低频段通信；螺旋天线则具有较宽的工作频带和较高的增益，适用于高频段通信。

2.2 车载应用天线设计要素和技术要求

车载应用天线的设计需要考虑多个要素和技术要求，以确保其在各种复杂环境下都能稳定工作。天线的工作频段是设计的重要参数，不同的通信协议和应用场景需要使用不同的频段，因此天线需要具有覆盖这些频段的能力。随着通信技术的不断发展，新的频段和协议不断涌现，天线设计也需要不断更新和升级。天线的增益和方向性也是设计的重要考虑因素，增益决定了天线接收或发射信号的能力，而方向性则决定了天线辐射或接收电磁波的方向。在车载应用中，由于车辆的运动和周围环境的影响，天线需要具有足够的增益和方向性，以确保通信的稳定性和可靠性。天线还需要考虑阻抗匹配、极化方式、机械强度等要素，阻抗匹配可以确保天线与发射/接收机之间的信号传输效率；极化方式则决定了天线接收或发射电磁波的极化状态；机械强度则关系到天线在车辆行驶过程中的稳定性和可靠性。技术要求方面，车载应用天线需要具有宽频带、高增益、低噪声、高可靠性等特点，宽频带可以适应不同频段和协议的通信需求；高增益可以提高信号的接收和发射能力；低噪声则可以提高通信的清晰度和稳定性；高可靠性则可以确保天线在各种恶劣环境下的稳定工作。

2.3 天线结构设计的优化方法和策略

为了优化车载应用天线的结构设计，可以采用几种方法和策略：（1）精确建模和仿真分析：利用仿真软件对天线进行精确建模和仿真分析，可以预测天线的性能表现，并指导设计优化。通过不断调整天线的结构参

数和尺寸,可以实现最佳的性能表现。(2)宽带天线设计:采用宽带天线设计技术,可以扩展天线的工作频段,提高通信的灵活性和适应性。(3)阻抗匹配优化:通过优化天线的输入阻抗和馈电结构,可以实现更好的阻抗匹配和信号传输效率。(4)极化方式优化:选择合适的极化方式可以提高天线的接收和发射能力。(5)机械强度和稳定性优化:通过优化天线的结构和材料,可以提高其机械强度和稳定性^[2]。

3 车载应用天线结构与优化过程

3.1 天线设计需求分析与规格确定

在车载应用天线的结构与优化过程中,首要步骤是对天线的设计需求进行细致的分析,并明确天线的具体规格要求。这一环节对于整个设计流程至关重要,因为它直接决定了后续设计工作的方向和重点。在需求分析阶段,需要考虑到车载应用天线的特殊使用环境和功能要求。例如,天线需要适应汽车高速行驶时的空气动力学特性,同时确保在恶劣天气条件下也能保持稳定的通信性能。还需要考虑天线与车辆其他部件的兼容性和集成度,以及天线对于整车电磁兼容性的影响。在规格确定阶段,需要明确天线的具体参数和指标。这些参数包括天线的工作频段、增益、波束宽度、极化方式、阻抗匹配等。这些指标的确定需要综合考虑天线的通信需求、车辆的实际使用情况和成本等因素。还需要对市场上同类产品的性能进行比较和分析,以确保设计出的天线在性能上具有一定的竞争力。

3.2 天线结构设计和模拟分析

在明确了天线的设计需求和规格之后,就可以开始进行天线的结构设计工作。这一阶段需要综合考虑天线的性能要求和实际制造工艺,设计出既满足性能要求又便于制造的天线结构。在天线结构设计过程中,需要运用电磁场理论、天线设计原理等专业知识,对天线的各个部分进行精确计算和布局。同时还需要考虑到天线与车辆其他部件的相互影响,以及天线在整车电磁环境中的表现。完成天线结构设计后,需要进行模拟分析以验证设计的正确性。这一步骤通常使用电磁仿真软件来实现。通过仿真分析,可以预测天线在不同频段、不同环境下的性能表现,并发现设计中可能存在的问题和缺陷。在模拟分析过程中,需要关注天线的增益、方向性、阻抗匹配等关键指标。如果发现模拟结果与设计目标存在较大偏差,就需要对天线结构进行调整和优化。通过多次迭代和优化,可以逐步逼近设计目标并提高天线的性能。

3.3 天线优化及性能评估

在天线结构设计和模拟分析的基础上,需要进行天线优化工作以提高其性能。天线优化通常包括几个方面;尺寸优化:通过调整天线的尺寸和形状来改善其性能。例如,可以优化天线的辐射体长度、宽度和高度等参数以提高增益和降低噪声。材料优化:选择合适的材料以提高天线的导电性和机械强度。例如,可以使用轻质、高强度的材料来降低天线的重量并提高稳定性。结构布局优化:调整天线的各个部分之间的相对位置和布局以提高整体性能。例如,可以优化馈电线的位置和长度以改善阻抗匹配和降低反射系数。环境适应性优化:考虑天线在不同环境条件下的性能表现并进行优化。实际测试可以在实验室或实际车辆环境中进行,通过测量天线的增益、方向性、阻抗匹配等关键指标来评估其性能表现。数据分析则可以对测试数据进行统计和分析以发现潜在问题和改进方向。

4 车载天线优化技术

4.1 匹配网络优化

匹配网络优化是车载天线优化中的关键技术之一。天线与馈线之间的阻抗匹配对于天线性能有着直接影响。如果阻抗不匹配,将会导致信号的反射和能量损失,从而降低天线的效率。优化匹配网络对于提升天线性能至关重要。在匹配网络优化中,首先需要确定天线的阻抗特性。这通常需要通过实验测量或仿真分析来完成。一旦确定了天线的阻抗特性,就可以开始设计匹配网络。匹配网络的设计目标是使得天线与馈线之间的阻抗尽可能匹配,以减少反射和能量损失。匹配网络的设计可以采用多种方式,如L型、T型、 π 型等阻抗变换网络。这些网络通过调整元件的参数来改变阻抗值,从而实现阻抗匹配^[3]。在设计过程中,需要考虑到网络的带宽、插入损耗、稳定性等因素。通过优化这些参数,可以使得匹配网络在更宽的频带内实现良好的阻抗匹配。匹配网络优化不仅可以提升天线的效率,还可以改善天线的其他性能,如带宽、增益等。实验表明,通过优化匹配网络,车载天线的效率可以提升10%以上,带宽也可以得到显著改善。

4.2 抗干扰能力优化

在车载通信系统中,天线常常会受到来自各种干扰源的影响,如其他无线电设备、电气设备及自然界的电磁现象等。这些干扰可能会导致信号失真、传输错误等问题,从而影响通信质量。优化车载天线的抗干扰能力对于提升系统性能具有重要意义。在抗干扰能力优化中,可以采用多种技术手段,可以通过优化天线的方向性和极化特性来减少来自非目标方向的干扰信号的影

响。还可以采用多频段天线技术来降低不同频段之间的干扰。可以采用滤波技术来消除或抑制不需要的频率成分,通过在天线系统中引入滤波器,可以有效地减少干扰信号对通信系统的影响。常见的滤波器类型有LC滤波器、RC滤波器、声表面波滤波器等。这些滤波器可以根据实际需要选择不同的类型和参数来实现最佳的滤波效果。还可以采用屏蔽技术和接地技术来降低外部电磁场对天线的影响,通过在天线周围设置屏蔽层或使用导电涂料等方法,可以有效地减少外部电磁场的干扰。良好的接地处理也可以降低共模干扰,提高差模信号的接收质量。抗干扰能力优化是一个复杂的过程,需要综合考虑多种因素和技术手段。

4.3 电磁兼容性优化

电磁兼容性(EMC)是指设备或系统在电磁环境中既不对环境产生不可接受的电磁干扰,也能承受环境中存在的电磁干扰的能力。在电磁兼容性优化中,首先需要分析车载天线所处的电磁环境。这包括了解周围环境中其他电子设备的工作频段、功率等参数,以及可能产生的电磁干扰类型和强度。通过分析这些信息,可以明确天线需要满足的电磁兼容性要求。可以通过优化天线的设计和布局来降低电磁干扰。还可以采用一些先进的电磁兼容性优化技术,如自适应调零技术和空间分集技术等。自适应调零技术通过实时检测干扰源的方向并调整天线的辐射模式来抑制干扰;空间分集技术则通过在空间上布置多个天线来实现对信号的多路径接收从而提高抗干扰能力。电磁兼容性优化是一个系统工程,需要从多个方面入手进行综合优化。

5 车载应用天线技术的发展趋势

车载应用天线技术的发展趋势可以归纳为几个主要方向;集成化与多功能化:随着智能网联汽车的普及,车载天线需要支持更多的通信协议和功能,如V2X(车对一切)通信、Wi-Fi、蓝牙、5G等。未来的车载天线将朝着集成更多通信功能的方向发展,以满足智能驾驶和网联汽车的需求^[4]。根据市场预测,如百谏方略(DIResaerch)的研究,全球乘用车天线规模预计将持续

增长,反映出市场对多功能天线的需求。小型化与隐形化:为了适应汽车设计的轻量化和美观化趋势,车载天线将逐渐变得更加小型化,甚至隐形化。未来,透明天线等创新设计将进一步推动天线的小型化和隐形化。高效率与低能耗:随着无线通信技术的发展,特别是5G技术的部署,车载天线需要更高的效率和更低的能耗来支持高速、低延迟的数据通信。未来,车载天线将采用更先进的材料和设计,以提高通信效率并降低能耗。智能化:车载天线将集成更多的智能功能,如自动调节信号强度、智能故障诊断等。通过集成先进的传感器和电子控制技术,车载天线将能够更智能地适应不同的通信环境和需求。电磁兼容性优化:电磁兼容性(EMC)对于车载天线来说至关重要,因为它涉及到天线在复杂电磁环境中的稳定工作。未来,车载天线将更加注重电磁兼容性的优化,以确保在各种环境下都能稳定、可靠地工作。

结束语

随着汽车产业的不断升级和智能化水平的持续提高,车载天线作为实现车辆与外界通信的关键部件,其结构与优化研究显得尤为重要。本研究通过深入探索和实践,取得一系列有价值的研究成果,为车载天线技术的发展和應用提供了有益的参考。未来,将继续致力于车载天线技术的创新与发展,为智能网联汽车的普及和应用做出更大的贡献。

参考文献

- [1]苏善通.基于模块化设计的雷达发射机可靠性提升研究[J].数字通信世界,2019,000(008):101-102.
- [2]姜海涛,白杰.数字波束成形在车载毫米波雷达中的应用[J].佳木斯大学学报(自然科学版).2018,(1).DOI:10.3969/j.issn.1008-1402.2018.01.030.
- [3]刘玉超,梅亨利,王景.车载毫米波雷达频率划分和产品现状分析[J].科技与创新.2017,(11).DOI:10.15913/j.cnki.kjycx.2017.11.070.
- [4]马立强.智能网联汽车发展现状和建议[J].汽车维修.2022,(4).14-16.Doi:10.3969/j.issn.1009-2625.2022.04.005.