

智慧高速公路雷达布设方案研究

马媛媛

中交第一公路勘察设计研究院有限公司 陕西 西安 710000

摘要: 随着智能交通系统的快速发展,智慧高速公路的建设成为提升道路安全、提高交通效率的重要手段。雷达作为智慧高速公路感知系统的核心设备之一,其布设方案的合理性与科学性直接关系到整个系统的运行效果。本文旨在探讨智慧高速公路雷达布设方案,从雷达选型、布设原则、系统架构及关键技术等方面进行详细阐述,以为智慧高速公路建设提供理论参考和技术支持。

关键词: 智慧高速公路; 雷达; 布设方案

引言

智慧高速公路通过集成先进的感知、通信、控制等技术,实现车辆与道路基础设施之间的全面互联,从而提升道路通行能力、保障行车安全、提高运输效率。雷达作为智慧高速公路感知系统的重要组成部分,具有全天候、全时段工作能力强、探测距离远、定位精度高等优点,对于实现车辆精准识别、轨迹跟踪、异常事件检测等功能具有不可替代的作用。

1 智慧高速公路雷达选型与特性分析

1.1 雷达类型选择

智慧高速公路雷达布设应优先考虑全向毫米波雷达。全向毫米波雷达因其独特的技术优势,成为智慧高速公路感知系统的理想选择。它具备广泛的可视范围,能够全方位地监测周围环境,确保无盲区覆盖。同时,高距离分辨率、角度分辨率和速度分辨率使得毫米波雷达能够同时捕获多项动态信息,包括车辆的位置、速度、加速度等,为智慧高速公路的精细化管理提供了有力支持^[1]。此外,毫米波雷达还具备抗干扰性强、质量轻、体积小等特点,使得其在高速公路复杂环境中的应用更加灵活便捷。

1.2 雷达特性分析

1.2.1 全天候工作能力

毫米波雷达在下雨、下雪等恶劣天气条件下仍能正常工作,其信号传输受天气影响较小,衰减作用极小。这一特性确保了智慧高速公路感知系统在恶劣天气下的稳定运行,提高了道路交通安全性和可靠性。

1.2.2 远距离探测能力

雷达的检测距离是衡量其性能的重要指标之一。对于智慧高速公路而言,雷达的检测距离需大于1km,以

确保对远距离目标的准确感知。同时,雷达还需保持近端、远端检测同一精度($\leq 0.5\text{m}$),以满足高速公路长距离监测的需求。这一特性使得毫米波雷达能够在广阔的高速公路上实现无缝隙的监测覆盖。

1.2.3 多目标跟踪能力

智慧高速公路上车辆众多,雷达需要具备高频次扫描能力,以实现多个目标的准确跟踪。毫米波雷达通过优化扫描算法和提高扫描频率,使得每次扫描间隔时间小于70ms,从而能够实时更新目标的位置和状态信息。这一特性为智慧高速公路的交通流量监测、车辆行为分析等功能提供了有力支持。

1.2.4 高精度覆盖

智慧高速公路需要实现10车道全路段高精度覆盖,以确保在弯道、匝道等复杂位置不丢失目标。毫米波雷达通过采用先进的波束形成技术和信号处理算法,能够实现目标的精确定位和跟踪。即使在弯道、匝道等位置,雷达也能够保持对目标的稳定感知和跟踪,为智慧高速公路的交通安全和交通管理提供了有力保障。

2 智慧高速公路雷达布设原则与方案

2.1 布设原则

2.1.1 定量与定性分析相结合

智慧高速公路雷达布设需融合定量与定性分析。定量分析基于交通流量、车速分布等具体数据,精确计算雷达布设的数量和位置,确保方案满足实际监测需求。而定性分析则综合考虑高速公路的几何特征、周边环境等因素,如在弯道、匝道等特殊路段增设雷达或调整布设角度。两者结合,全面评估方案的可行性和有效性,确保方案既实用又科学。

2.1.2 交通枢纽路段重点布设

交通枢纽路段作为高速公路网络的关键节点,承载着大量车流和交通转换任务。因此,在智慧高速公路雷

陕西省科协青年人才托举计划资助项目编号 gczz 20210212

达布设中,应重点布设这些路段,增加雷达数量和密度,实现高精度、高实时性的交通流监测。重点布设可精准识别车辆、跟踪轨迹、检测异常事件,及时处理交通拥堵、事故等突发情况,提升智慧高速公路系统的整体感知能力。

2.1.3 地区合理负担

在规划智慧高速公路雷达布设时,需遵循地区合理负担原则。即根据各地区的经济水平和财政状况,合理分担布设工程的成本,确保项目的可行性和可持续性。经济发达地区可适当增加资金分担比例,而经济落后地区则应给予政策支持和财政补贴。这一原则有助于促进地区均衡发展,提高项目可持续性,为公众创造更安全、便捷的出行环境。

2.2 布设方案

2.2.1 全线覆盖与重点区域加密

在智慧高速公路雷达布设方案中,可以采用全线覆盖与重点区域加密的策略。这一策略旨在确保高速公路的每一个角落都能得到雷达的有效监测,同时对于交通状况复杂、事故易发的重点区域进行更为密集的雷达布设,以实现无盲区覆盖。全线覆盖意味着在高速公路的全程范围内,无论是直线段还是曲线段,都需要布设雷达设备。这样可以确保对整条高速公路的交通状况进行全面、实时的监测,为交通管理部门提供准确、及时的路况信息。为了实现全线覆盖,需要根据高速公路的长度、车道数量以及交通流量等因素,合理确定雷达的布设数量和位置。在全线覆盖的基础上,还需要对重点区域进行加密布设。重点区域包括弯道、匝道、应急车道等交通状况复杂、事故易发的路段。在这些区域,由于车辆行驶速度的变化、车道的合并与分流等因素,交通状况相对复杂,事故风险也较高^[2]。因此,需要在这些区域增加雷达的布设密度,以便更加精确地监测车辆的行驶状态,及时发现并处理潜在的交通安全隐患。为了实现重点区域的加密布设,可以采用多种手段。例如,在弯道和匝地处,我们可以增设雷达设备,以监测车辆的行驶轨迹和速度变化;在应急车道处,可以布设专门的雷达设备,以便在紧急情况下及时响应并处理。同时,还可以利用先进的信号处理技术和数据分析算法,对雷达监测到的数据进行深入挖掘和分析,以提取更多有用的交通信息,为智慧高速公路的管理和运营提供更加全面、准确的数据支持。

2.2.2 雷达组合与互补

(1) 雷达频段组合。不同频段的雷达具有不同的特性和优势。例如,毫米波雷达因其高频率特性,在近距

离探测中具有高精度和高分辨率,适合用于监测车辆的速度、距离等关键参数。而低频段雷达,如微波雷达,虽然分辨率相对较低,但其信号传播距离远,穿透力强,适合用于远距离探测和恶劣天气条件下的工作。因此,在布设时,可以综合考虑高速公路的实际需求,将毫米波雷达和微波雷达等不同频段的雷达进行组合使用。毫米波雷达主要负责近距离、高精度的车辆监测,而微波雷达则负责远距离的探测和预警,两者相辅相成,共同构成覆盖全路段的雷达监测网络。

(2) 波束宽度互补。波束宽度是雷达探测性能的重要指标之一。较窄的波束宽度可以提供更高的角度分辨率,适用于对特定区域或目标的精确探测;而较宽的波束宽度则可以覆盖更广阔的区域,适用于大范围的环境感知。在智慧高速公路雷达布设中,可以通过调整雷达的波束宽度,实现不同视场角的高精度探测与覆盖。具体来说,可以采用窄波束雷达对弯道、匝道等交通状况复杂的区域进行精确监测,以减少误报和漏报;同时,采用宽波束雷达对直线段等交通状况相对简单的区域进行大范围覆盖,以确保无盲区监测。

(3) 组合布设策略。在实际操作中,可以根据高速公路的具体情况和需求,制定详细的雷达组合布设策略。例如,在弯道和匝道等关键区域,可以加密布设毫米波雷达,并适当配置窄波束雷达以提高探测精度;在直线段等区域,则可以适当减少雷达数量,但确保每个雷达的波束宽度能够覆盖足够广的范围^[3]。此外,还可以考虑将不同类型的雷达进行组合安装,如将毫米波雷达与视频监控摄像头、红外线传感器等其他感知设备进行集成,形成多源数据融合的综合感知系统。这样可以进一步提高系统的感知能力和数据准确性,为智慧高速公路的管理和运营提供更加全面、可靠的信息支持。

2.2.3 虚拟化与智能化技术应用

在智慧高速公路雷达布设方案中,虚拟化与智能化技术的应用是提升系统性能、实现高效监测的关键。

2.2.4 雷达虚拟化技术

稀疏阵列:传统的雷达阵列布局往往较为密集,这不仅增加了设备成本,还可能因阵列元素间的互耦效应影响探测性能。稀疏阵列技术通过减少阵列元素的数量并优化其布局,可以在保持甚至提升探测性能的同时降低成本。在智慧高速公路雷达布设中,采用稀疏阵列可以有效减少雷达设备的数量,同时利用先进的信号处理技术弥补阵列稀疏带来的性能损失。

MIMO(多输入多输出)技术:MIMO雷达通过多个发射和接收天线同时工作,形成多个独立的探测通道,

从而扩展雷达的虚拟孔径。这种技术能够显著提高雷达的探测分辨率和覆盖范围，特别是在复杂环境中，如高速公路的弯道、匝道等区域。通过MIMO技术，智慧高速公路雷达系统可以实现对多个目标的精确跟踪和识别，提高交通监测的准确性和可靠性。

2.2.5 智能化技术

边缘计算：边缘计算是一种将计算和数据存储能力推向网络边缘的技术，它能够在数据源头附近进行实时处理和分析，减少数据传输延迟和带宽需求。在智慧高速公路雷达系统中，边缘计算平台可以实时获取雷达数据，并进行初步处理和分析，如目标检测、跟踪和分类等。这不仅可以减轻云端服务器的负担，还可以提高系统的响应速度和实时性。

人工智能：结合人工智能技术，智慧高速公路雷达系统可以实现对雷达数据的深度挖掘和分析。通过训练深度学习模型，系统可以自动识别交通异常事件（如车辆抛锚、行人闯入等），预测交通流量和拥堵情况，并提供相应的预警和决策支持。此外，人工智能技术还可以帮助雷达系统不断优化自身的探测性能，提高目标检测和识别的准确率。

2.2.6 综合应用

在实际应用中，虚拟化与智能化技术可以相互结合，共同提升智慧高速公路雷达系统的性能。例如，利用稀疏阵列和MIMO技术扩展雷达的虚拟孔径，提高探测分辨率和覆盖范围；同时，通过边缘计算和人工智能技术实现雷达数据的实时处理和分析，提高系统的响应速度和智能化水平。这种综合应用方案不仅可以满足智慧高速公路对高精度、实时性监测的需求，还可以为交通管理部门提供全面、准确的路况信息和决策支持。

3 系统架构与关键技术

3.1 系统架构

智慧高速公路雷达感知系统是一个高度集成且功能强大的系统，主要由雷达传感器、边缘计算服务器、雷达管理工作站以及高清卡口单元等核心组件构成。在这个架构中，雷达传感器扮演着至关重要的角色，它们被部署在高速公路的关键位置，负责实时跟踪和定位检测道路上的车辆、行人等目标，为系统提供准确、实时的交通流信息。边缘计算服务器则承担着雷达数据与高清卡口数据的同步触发抓拍、目标轨迹修正等重任。通过与雷达传感器的紧密配合，边缘计算服务器能够实现对雷达数据的快速处理与分析，确保数据的准确性和实时性^[4]。同时，它还能够与高清卡口单元进行联动，对目标进行精准的抓拍和识别，进一步提升系统的感知能力。

雷达管理工作站是整个系统的“大脑”，它负责雷达检测预警管理应用系统的运行与监控。通过雷达管理工作站，交通管理人员可以实时查看高速公路的交通状况，接收系统发出的预警信息，并及时做出相应的决策和应对措施。

3.2 关键技术

3.2.1 高频段雷达技术

高频段雷达技术是智慧高速公路雷达感知系统的核心技术之一。通过采用高频段（如80GHz）的雷达传感器，系统能够实现更高的定位精度和更远的探测距离。这是因为高频段雷达具有更短的波长和更窄的波束宽度，能够更精确地测量目标的距离、速度和角度等信息。同时，高频段雷达还具有更强的抗干扰能力和更高的分辨率，能够在复杂的环境中准确地检测和跟踪目标。

3.2.2 多雷达协同技术

为了实现更广泛、更准确的监测覆盖，智慧高速公路雷达感知系统采用了多雷达协同技术。这种技术通过时间捷变、频率捷变等手段，实现多个雷达之间的协同工作，减少目标漏报、虚报现象。具体来说，时间捷变技术可以使不同雷达在不同的时间段内工作，避免相互之间的干扰；而频率捷变技术则可以使雷达在不同的频率上工作，增加系统的多样性和灵活性。通过这些技术手段的应用，多雷达协同技术能够显著提高系统的整体性能和监测效果。

结语

智慧高速公路雷达布设方案是智慧高速公路建设的关键环节之一。通过科学合理的雷达选型、布设原则与方案设计以及先进系统架构与关键技术的应用，可以构建出高效、准确、可靠的智慧高速公路感知系统，为提升道路安全、提高交通效率提供有力保障。未来随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展，智慧高速公路雷达布设方案将持续优化和完善。

参考文献

- [1]杨东锋,戴杰,张玥妍,等.高速公路路侧雷达布设间距对交通事故风险评估精度的影响[J].交通信息与安全,2023,41(02):28-35.
- [2]王锐,高磊.智慧高速主动交通管控策略探究[J].中国交通信息化,2022,(S1):109-111.
- [3]方志苗,谢皓汛.道路交通状态指数的模型构建及应用[J].交通科技与管理,2023,4(18):25-27.
- [4]高航远.智慧高速公路设计架构及技术探究[J].科技创新与应用,2021,11(21):87-89.