

面向5G时代的轨道交通室分系统设计与挑战

竺伟文

中国铁塔股份有限公司上海市分公司 上海 201702

摘要: 随着5G技术的快速发展,轨道交通作为城市公共交通的重要组成部分,其室内分布系统(室分系统)的设计与优化面临着前所未有的挑战与机遇。本文旨在探讨面向5G时代的轨道交通室分系统设计的关键技术、设计方案及面临的挑战,并提出相应的应对策略,以期对轨道交通行业的5G网络部署提供参考。

关键词: 5G; 轨道交通; 室分系统; 设计; 挑战

引言

5G网络以其高速度、低时延、大连接数的特点,为轨道交通系统带来了全新的应用场景和服务模式。然而,5G频段高、传播和穿透损耗大,使得室内覆盖成为一大难题。轨道交通站点作为人流密集区域,对5G网络覆盖的需求尤为迫切。因此,研究面向5G时代的轨道交通室分系统设计与挑战具有重要意义。

1 5G时代轨道交通室分系统设计关键技术

1.1 高频段传播特性分析

5G频段相较于4G有着显著的提升,主要包括2.6GHz、3.5GHz、4.9GHz以及未来可能广泛应用的毫米波频段。这一频段的提升带来了更高的数据传输速率和更大的系统容量,但同时也带来了传播损耗和穿透损耗显著增加的问题。高频段信号在传播过程中,由于波长较短,更容易受到障碍物的影响,导致信号衰减和阴影效应。因此,在设计轨道交通室分系统时,必须充分考虑5G高频段的传播特性。这包括了解信号在不同材质和结构中的穿透能力,以及信号在复杂环境中的传播路径和衰减情况^[1]。基于这些分析,可以合理布局天线和馈线,确保信号覆盖的连续性和稳定性。例如,在站点内部,可能需要增加天线的数量或调整天线的位置,以确保信号能够均匀覆盖到每一个角落。同时,馈线的选择和布局也需要考虑信号的衰减和干扰问题,以确保信号的传输质量。

1.2 室内分布系统类型选择

轨道交通室分系统的设计涉及多种技术方案,主要包括无源室分系统、有源微站以及泄漏电缆。无源室分系统以其技术成熟、成本低的特点,在大部分普通场景中得到广泛应用。该系统主要由天线、馈线、功分器等无源器件组成,通过合理的布局和设计,能够实现室内信号的均匀覆盖。有源微站则是一种更为先进的室内分布系统方案,它支持MIMO、室内定位等新技术,能够提

供更高的数据传输速率和更好的用户体验。然而,有源微站的成本相对较高,通常适用于地标性建筑或高需求区域。泄漏电缆则是一种适用于狭长区域的室内分布系统方案,如隧道等。泄漏电缆通过特殊的设计,能够将信号沿着电缆传播,并通过泄漏口将信号辐射到室内空间中,从而实现室内信号的覆盖。在设计轨道交通室分系统时,需要根据具体场景和需求选择合适的方案。例如,在地铁站台等狭长区域,可以考虑采用泄漏电缆方案;而在候车大厅等开阔区域,则可以选择无源室分系统或有源微站方案。

1.3 无线接入方案

轨道交通站点作为城市公共交通的重要节点,通常需要支持多家运营商多制式多系统的信号接入覆盖系统,以满足不同用户的通信需求。为实现需求,无线接入方案基本可以分为“合路方案”和“分路方案”,其中POI技术是一种重要的合路接入实现方式。POI技术能够将多家运营商的信号融合到一起,通过同一天线进行收发,合路方案优点在于有效节约室内空间资源,降低建设成本。但是合路方案也存在劣势,问题在于POI设备对于过多的信号系统(一般大于8个)接入组合存在干扰不可控情况,理论上POI设备对信号的干扰抑制和滤波特性都有针对性的研制,但是往往在批量生产时,生产工艺不达标或老化验证不过关等情况,导致少量POI技术参数无法达到指定要求。另外,POI设备长期在潮湿、灰尘的环境下使用,也会使得原本达标的技术参数迅速恶化,恶化的指标也会使接入的无线信号之间引起干扰问题。因此介入上述两种情况,针对部分多系统(大于8个)或轨交隧道环境较差的情况下,无线接入方式可调整为“分路方案”,分路接入虽然系统效率相对较低,但是系统接入稳定,便于维护和升级。

2 轨道交通室分系统设计研究

2.1 系统架构设计

轨道交通室分系统的架构设计的原则主要围绕宏站与微站的结合、室外与室内的协同工作展开,旨在构建一个全面覆盖、高效稳定的无线通信环境。

2.1.1 宏站与微站的结合

(1) 宏站基础覆盖:宏站作为广域覆盖的基础,负责为轨道交通网络提供大面积、连续的信号覆盖。宏站的设计需考虑其覆盖范围、信号强度以及与相邻基站的切换机制,确保在轨道交通沿线及主要站点周边区域实现无缝覆盖。(2) 微站深度补充:微站则专注于深度覆盖和容量吸收,特别是在宏站信号难以穿透的室内区域或人流密集区域^[2]。微站通过灵活部署,可以有效补充宏站覆盖不足的问题,提高室内通信质量,并分担宏站的通信负荷。

2.1.2 室外与室内的协同

(1) 室外覆盖优化:在轨道交通室外区域,通过合理布局宏站和微站,利用天线方向性、功率调整等手段,优化信号覆盖效果,减少信号盲区。同时,考虑轨道交通沿线特殊地形、建筑物对信号传播的影响,采取相应措施确保信号覆盖的连续性和稳定性。(2) 室内深度覆盖:在轨道交通站点内部,采用室分系统(包括无源室分系统、有源微站、泄漏电缆等)实现深度覆盖。根据站点布局、建筑结构、人流分布等因素,合理规划天线位置、馈线走向及信号源配置,确保室内各个区域都能获得良好的信号覆盖。同时,利用多频多模共享技术(如POI技术),实现多家运营商信号的共同覆盖,降低建设和运营成本。

2.1.3 系统架构层次

(1) 信号源层:包括宏站基站、微站基站以及室分系统的信号源设备。这些设备负责产生和发射无线通信信号,是整个系统的基础。(2) 传输层:通过光纤、微波等传输介质,将信号源产生的信号传输到各个覆盖区域。传输层的设计需考虑传输容量、传输距离、传输质量等因素,确保信号传输的稳定性和可靠性。(3) 覆盖层:包括宏站天线、微站天线、室分系统天线等覆盖设备。这些设备负责将传输层传输来的信号辐射到空中或室内空间,形成有效的覆盖区域。覆盖层的设计需根据具体场景和需求进行合理规划布局。

2.1.4 系统安全与可靠性设计

在系统架构设计中,还需充分考虑系统的安全性和可靠性。通过采用冗余设计、备份机制、故障自动切换等手段,提高系统的容错能力和抗灾能力。同时,加强系统的安全防护措施,确保通信数据的安全传输和存储。

2.2 天线与馈线布局

2.2.1 天线布局

首先,需要根据轨道交通站点的具体情况进行需求分析,包括站点大小、人流分布、建筑结构等因素,以确定所需的天线类型和数量。根据需求,选择合适的天线类型。例如,在开阔区域或站台层,可以选择全向天线或定向天线来实现广泛覆盖;在隧道或狭长区域,泄漏电缆则是一种更为适合的选择。天线的位置规划需结合站点布局和建筑结构进行。通常,天线应安装在能够最大化信号覆盖效果且不影响美观和安全的位置。例如,在候车大厅的吊顶上方安装吸顶天线,或在隧道壁上安装泄漏电缆。为了支持多家运营商的信号覆盖并降低成本,可以采用多频多模共享技术(如POI技术)。这意味着多个运营商的信号可以通过同一套天线系统进行传输和接收。在天线布局完成后,还需要进行信号优化工作。这包括调整天线方向、功率等参数,以确保信号覆盖的连续性和稳定性,并减少信号干扰和盲区。

2.2.2 馈线布局

馈线的路由规划需遵循设计图纸的要求,并确保走线牢固、美观。馈线应尽可能远离强电高压管道和消防管道等潜在干扰源,以减少信号衰减和干扰。馈线的长度和损耗是布局时需要考虑的重要因素。过长的馈线会增加信号衰减,影响信号传输质量。因此,在规划馈线路径时,应尽量缩短馈线长度,并在必要时增加干线放大器来补偿信号损耗。馈线在布局过程中可能需要弯曲以适应建筑结构和布线需求。然而,馈线的弯曲半径应符合要求(一般不应小于馈线直径的10倍),以避免信号衰减和馈线损坏。同时,馈线应使用扎带或卡子等固定件牢固地固定在墙壁、天花板或线槽上,以防止馈线松动或下垂。在馈线进出口的墙孔处,应使用防水、阻燃的材料进行封堵,以防止雨水或潮气进入室内影响馈线性能。此外,对于需要进行防水处理的馈线段落,应使用专用的防水连接器和密封材料进行处理^[3]。馈线的接地是保障设备和人员安全的重要措施。馈线的接地线应连接到接地排或接地网上,并确保接地电阻符合设计要求(一般不大于10欧姆)。同时,在雷电多发地区或高层建筑中,还需考虑馈线的防雷措施以避免雷击损坏。

2.3 信号源配置与优化

2.3.1 信号源配置

根据轨道交通站点的具体需求,包括站点规模、人流密度、通信需求等,确定所需的信号源类型和数量。这通常涉及到对宏站、微站以及室分系统信号源的选择和配置。选择性能稳定、技术先进的信号源设备。这些设备应具备高可靠性、高容量、易维护等特点,以满足

轨道交通网络对无线通信的高要求。根据预测的用户数量和通信需求,合理规划信号源的容量。确保在高峰时段,信号源仍能提供足够的带宽和信道资源,以满足用户的通信需求。为提高系统的可靠性和稳定性,信号源配置应采用冗余设计。即配备备份信号源设备,在主设备出现故障时,能够迅速切换至备份设备,确保通信服务的连续性。为支持多家运营商的信号覆盖,信号源设备应具备多频多模支持能力。这有助于实现资源共享、降低成本,并提高系统的灵活性和可扩展性。

2.3.2 信号源优化

根据信号覆盖的实际效果,对信号源的发射功率进行调整。通过合理的功率分配,确保信号能够覆盖到所需区域,同时避免信号过强导致的干扰问题。天线参数(如方向角、下倾角等)的调整对信号覆盖效果具有重要影响。通过调整天线参数,可以优化信号的覆盖范围和覆盖质量,提高系统的整体性能。在多频多模环境下,合理的频率规划是避免信号干扰、提高频谱利用率的关键。通过科学的频率分配和复用技术,确保不同运营商、不同频段之间的信号能够和谐共存。定期对信号源设备进行软件升级和维护,以确保设备始终处于最佳工作状态。软件升级可以带来性能提升、功能增强等好处,而维护则有助于及时发现并解决问题,提高系统的可靠性和稳定性。建立完善性能监测体系,对信号源设备的运行状态和性能指标进行实时监测。通过数据分析,发现潜在的问题和优化空间,并采取相应的优化措施,以提高系统的整体性能和用户体验。

3 面临的挑战与应对策略

3.1 建设规模大、成本高

轨道交通站点数量众多且分布广泛,导致室分系统的建设规模庞大。同时,5G技术的频段较高,所需设备成本也相对较高,这使得整体建设成本显著增加。为了应对这一挑战,可以通过采用POI(多运营商共享接入)技术,实现多家运营商信号的共享,从而避免重复建设,降低整体成本。鼓励和支持研发低成本、高效率的5G设备,通过技术创新来降低设备成本。在可能的情况下,利用现有的4G室分系统进行升级改造,以支持5G网络,从而减少新建成本^[4]。通过精细化设计,优化建设方案,减少不必要的设备投入和工程开销,进一步控制成本。

3.2 落地实施难

轨道交通站点的建筑结构复杂且空间有限,这给室

分系统的落地实施带来了一定的困难。为了克服这一挑战,可以在轨道交通站点的设计阶段,就充分考虑5G室分系统的需求,确保有足够的空间和资源用于系统的建设和实施。加强与业主单位、施工单位的沟通协调,确保各方对5G室分系统的建设需求和实施计划有充分的理解和支持。根据现场实际情况,灵活调整天线和馈线的布局,确保在有限的空间内实现最佳的信号覆盖效果。探索和应用新的技术和材料,如小型化天线、隐蔽式馈线等,以适应复杂的建筑结构和空间限制。

3.3 网络性能要求高

轨道交通站点对5G网络性能的要求较高,包括高速率、低时延、大连接数等方面。为了满足这些要求,可以引入MIMO(多输入多输出)等先进技术,提高5G网络的传输速率和容量。通过优化信道规划、功率控制等手段,减少网络干扰,提高信号质量和稳定性。建立完善的网络监控和运维管理体系,及时发现并解决网络中的问题,确保5G网络的稳定运行。关注5G技术的最新发展动态,及时将新技术、新标准应用于轨道交通室分系统中,以保持网络的先进性和竞争力。

结语

面向5G时代的轨道交通室分系统设计是一个复杂而系统的工程,需要综合考虑高频段传播特性、室内分布系统类型选择、多频多模共享技术等多方面因素。尽管面临建设规模大、成本高、落地实施难等挑战,但通过加强资源共享、推动技术创新、优化网络配置等措施,可以有效提升轨道交通站点的5G网络覆盖质量和用户体验。未来,随着5G技术的不断发展和应用场景的不断拓展,轨道交通室分系统将迎来更加广阔的发展前景。

参考文献

- [1]雷小燕.5G数字化室分系统的仿真实现[J].长江通信,2023,36(11):204-206+209.
- [2]胡煜华,王群青,李贝,等.5G室分系统多通道联合收发技术应用研究[J].邮电设计技术,2022,(10):19-22.
- [3]张路.基于数字化室分系统的5G高精度室内定位[C]//TD产业联盟,中国电子科技集团公司第七研究所《移动通信》杂志社.5G网络创新研讨会(2022)论文集.爱立信中国通信有限公司,2022:4.
- [4]李锐.室分系统互调干扰解决方案探讨[J].科技与创新,2024,(01):134-136.