

5G NR信号监测与干扰分析系统设计与实现

郭勤博

石家庄诺通人力资源有限公司 河北 石家庄 050081

摘要: 5G NR (NewRadio) 技术作为第五代移动通信的核心标准,正推动着通信行业迈向全新高度。然而,其大规模部署带来的信号监测与干扰分析难题亟待解决。本文深入探讨5G NR信号监测与干扰分析系统的设计与实现。阐述系统总体架构设计,涵盖硬件平台与软件功能模块。在硬件方面,介绍关键信号采集设备参数;软件部分,深入探讨信号监测、干扰分析等核心功能模块的技术细节与算法实现。为5G NR网络优化与维护提供有力支撑。

关键词: 5G NR; 信号监测; 干扰分析; 系统设计; 技术细节

1 引言

5G NR凭借高速率、低时延、大容量等显著优势,成为推动各行业数字化转型的关键力量。随着5G NR网络在全球范围内的大规模建设,网络复杂度急剧增加,信号覆盖和质量问题日益凸显。5G NR工作于高频段,信号传播特性复杂,极易受到邻频干扰、杂散干扰、互调干扰等多种干扰的影响。这些干扰不仅会降低用户通信体验,还可能导致网络性能严重下降,甚至引发网络故障。因此,设计并实现一套高效、精准的5G NR信号监测与干扰分析系统具有重要的现实意义。该系统能够实时监测5G NR信号状态,快速定位干扰源,为网络优化人员提供科学依据,从而有效提升5G NR网络性能和质量。

2 系统总体架构设计

2.1 硬件平台设计

信号采集设备: 选用高性能的射频前端设备,具备宽频带(覆盖5G NR的主要工作频段,如n41(2496-2690MHz)、n78(3300-3800MHz)等)、高灵敏度(噪声系数小于2dB)、低噪声等特点。该设备通过天线接收5G NR信号,并进行初步的滤波、放大和下变频处理。例如,采用低噪声放大器(LNA)将接收到的微弱信号放大,其增益可达30-40dB,同时保持较低的噪声系数;带通滤波器的带宽可根据不同的5G NR频段进行精确调整,抑制带外干扰信号。将射频信号转换为中频信号(如几百MHz),以便后续的数字化处理。

数据采集卡: 采用高速、高精度的数据采集卡,将中频信号进行模数转换(ADC)。数据采集卡的采样率应达到1-2GSPS(每秒采样点数),分辨率不低于12位,以确保能够准确地采集到5G NR信号的细节信息。例如,对于带宽为100MHz的5G NR信号,根据奈奎斯特采样定理,采样率至少应为200MSPS,但考虑到实际信号处理中的抗混叠滤波等因素,选择更高的采样率可以提高信

号质量。同时,数据采集卡支持多通道采集(如4-8通道),以便同时监测多个频段或多个基站的信号。

服务器: 作为系统的核心处理单元,服务器需要具备强大的计算能力和存储能力。采用多核处理器(如Intel Xeon系列,核心数可达20-40个)和高速内存(如DDR4,容量可达256GB-512GB),以确保能够快速处理大量的信号数据^[1]。服务器还应配备大容量的存储设备(如固态硬盘阵列,容量可达几十TB),用于存储信号监测和干扰分析过程中产生的数据。服务器可以采用分布式架构,将不同的处理任务分配到多个节点上,提高系统的处理能力和可靠性。

2.2 软件功能模块设计

信号监测模块: 该模块负责对采集到的5G NR信号进行实时监测,包括信号强度、信噪比、误码率等关键指标的测量。通过对这些指标的实时监测,能够及时发现信号质量的变化情况。例如,当信号强度突然下降超过10dB,或信噪比低于15dB时,系统会发出警报。信号监测模块还应具备信号波形显示功能,直观地展示信号的时域和频域特征。时域波形可以显示信号的幅度随时间的变化,频域波形则通过快速傅里叶变换(FFT)得到,显示信号的频率成分和功率分布。

干扰分析模块: 干扰分析模块是系统的核心功能之一,它通过对信号监测模块采集到的数据进行分析,识别和定位干扰源。该模块采用多种干扰分析算法,如频谱分析、相关分析、时频分析等。例如,在频谱分析中,设置频率分辨率为100kHz,窗函数采用汉宁窗,以提高频谱分析的精度。通过观察频谱图,可以直观地发现是否存在异常的频谱峰值,判断是否存在邻频干扰或杂散干扰。相关分析中,计算不同信号之间的互相关函数,当互相关系数大于0.5时,认为两个信号之间存在较强的相关性,可能存在互调干扰或其他形式的干扰关

系。时频分析采用短时傅里叶变换，时间窗长度设置为10-20ms，以观察信号在不同时间和频率上的变化情况，有助于发现一些隐藏的干扰信号。

数据存储与管理模块：该模块负责将信号监测和干扰分析过程中产生的数据进行存储和管理。采用数据库技术，如MySQL或Oracle，对数据进行高效存储和快速检索。数据存储内容包括原始信号数据（采样点数据）、分析结果数据（干扰类型、干扰源位置等）、干扰事件记录（发生时间、地点、影响范围等）^[2]。例如，原始信号数据按照时间和频段进行分区存储，每个分区存储一定时间范围内的信号数据，以提高查询效率。同时，数据存储与管理模块还应具备数据备份和恢复功能，定期将数据备份到外部存储设备（如磁带库），确保数据的安全性和完整性。

用户界面模块：用户界面模块为用户提供友好的操作界面，方便用户对系统进行配置、监控和查询。通过该界面，用户可以实时查看信号监测数据、干扰分析结果，设置监测参数（如监测频段、采样率等），生成报告（如每日干扰分析报告、网络质量评估报告等）。用户界面采用直观的图形化设计，如使用柱状图、折线图展示信号指标的变化趋势，使用地图显示干扰源的位置分布，降低用户的使用难度。

3 系统关键技术实现

3.1 信号采集与预处理技术

射频前端设计：为了实现对5G NR信号的高效采集，射频前端需要采用低噪声放大器（LNA）、带通滤波器等关键器件。低噪声放大器选用具有极低噪声系数（小于1.5dB）和高增益（35-45dB）的型号，以提高信号的信噪比，减少噪声对信号的影响。带通滤波器采用高品质因数（Q值大于100）的腔体滤波器，以选择所需的频段，抑制带外干扰信号。例如，对于n78频段（3300-3800MHz），带通滤波器的插入损耗小于1dB，带外抑制大于60dB。同时，射频前端还应具备良好的阻抗匹配特性，使用阻抗匹配网络将天线、LNA和滤波器之间的阻抗匹配到50Ω，以确保信号能够高效地传输到后续的电路中。

信号数字化处理：数据采集卡在进行模数转换时，选择合适的采样率和量化位数。采样率根据5G NR信号的最高频率成分确定，以满足奈奎斯特采样定理。例如，对于带宽为100MHz的5G NR信号，采样率设置为2.5GSPS，以确保能够准确采集到信号的细节。量化位数选择14位，提供足够的动态范围（约86dB）和精度。在数字化处理过程中，还需要对信号进行数字滤波、增益控制等操作。

数字滤波采用有限冲激响应（FIR）滤波器，其阶数根据滤波要求确定，如对于抗混叠滤波，阶数可达100-200阶。增益控制根据信号强度自动调整放大倍数，使信号幅度保持在合适的范围内，避免信号过载或失真。

3.2 干扰分析算法实现

频谱分析算法：频谱分析是干扰分析的基础方法之一。通过对信号进行快速傅里叶变换（FFT），将时域信号转换为频域信号，从而得到信号的频谱特性。在频谱分析中，设置合适的频率分辨率和窗函数，以提高频谱分析的精度。例如，对于5G NR信号的频谱分析，频率分辨率设置为50kHz，窗函数采用布莱克曼窗，以减少频谱泄漏。通过观察频谱图，可以直观地发现是否存在异常的频谱峰值。当频谱图中出现高于正常信号功率10dB以上的峰值时，判断可能存在干扰信号^[3]。进一步分析峰值的频率位置和带宽，确定干扰类型，如邻频干扰的峰值通常出现在相邻频段，杂散干扰的峰值则可能出现在多个不相关的频段。

相关分析算法：相关分析用于研究两个信号之间的相似性。在干扰分析中，可以通过计算不同信号之间的互相关函数，确定它们之间的相关性。互相关函数的计算公式为，其中 $x(t)$ 和 $y(t)$ 为两个信号， τ 为时延。当两个信号之间存在较强的相关性时，互相关函数会在某个时延处出现明显的峰值。例如，若两个信号的互相关系数大于0.6，认为它们之间存在较强的相关性，可能意味着它们之间存在互调干扰或其他形式的干扰关系。通过分析互相关函数的峰值位置和幅度，可以辅助定位干扰源。

时频分析算法：由于5G NR信号具有时变特性，单一的频谱分析或时域分析可能无法全面反映信号的特征。时频分析算法（如短时傅里叶变换、小波变换等）能够将信号在时间和频率两个维度上进行联合分析，提供更丰富的信号信息。短时傅里叶变换的计算公式为，其中 $w()$ 为窗函数。通过时频分析，可以观察到信号在不同时间和频率上的变化情况。例如，当信号在某个时间段内出现频率偏移或新的频率成分时，可能意味着存在干扰信号。小波变换则具有多分辨率分析的特点，能够更好地适应信号的局部特性，对于检测瞬态干扰信号具有优势。

3.3 数据存储与管理技术

数据库设计：为了高效地存储和管理大量的信号监测和干扰分析数据，需要设计合理的数据库结构。数据库应包含多个数据表，如信号数据表、干扰事件表、基站信息表等。信号数据表包含字段如采集时间、频段、信号强度、信噪比等；干扰事件表包含字段如事件编

号、发生时间、干扰类型、干扰源位置等；基站信息表包含字段如基站编号、位置、频段配置等^[4]。每个数据表应定义合适的字段类型和长度，以满足数据的存储和查询需求。同时，为了提高数据库的性能，可以采用索引、分区等技术对数据库进行优化。例如，在信号数据表的采集时间和频段字段上建立索引，加快数据查询速度；按照时间对信号数据表进行分区，便于数据管理和维护。

数据存储策略：考虑到5G NR信号监测产生的数据量巨大，需要制定合理的数据存储策略。可以采用分级存储的方式，将近期的重要数据（如最近一个月的数据）存储在高性能的存储设备（如固态硬盘阵列）上，以便快速查询；将历史数据（如超过一个月的数据）存储在成本较低的存储设备（如磁带库）上。同时，还可以采用数据压缩技术，减少数据存储空间。例如，采用无损压缩算法（如LZW算法）对原始信号数据进行压缩，压缩比可达2-3倍，在保证数据完整性的前提下，降低存储成本。

4 系统应用与展望

4.1 系统应用

5G NR信号监测与干扰分析系统在实际的5G NR网络建设和维护中具有重要的应用价值。在网络建设阶段，该系统可以用于基站选址和覆盖规划。通过在不同地点监测信号强度和质量，确定最佳的基站位置和天线参数，如天线的下倾角、方位角等，以实现最佳的信号覆盖。在网络运营阶段，系统能够实时监测网络状态，及时发现并解决干扰问题。当检测到干扰信号时，系统可以快速定位干扰源，通知维护人员进行排查和处理，保障网络的稳定运行。同时，系统还可以为网络优化提供数据支持，帮助运营商合理调整网络参数，如功率控制参数、调度算法等，提高网络性能和用户体验。

4.2 展望

随着5G技术的不断发展，5G NR网络将面临更多的挑战和机遇。未来的5G NR信号监测与干扰分析系统可以进一步拓展功能。结合人工智能和机器学习技术，实现干扰的智能预测和自动优化。例如，通过对历史干扰数据的分析和学习，建立干扰预测模型，提前预测可能出现的干扰情况，并自动调整网络参数进行优化。支持更多频段和更多制式的信号监测，以适应5G网络的融合发展趋势。随着5G与其他通信技术（如Wi-Fi6、蓝牙等）的融合，系统需要能够同时监测和分析多种制式的信号，实现多网协同优化。加强与其他网络管理系统的集成，实现更高效的网络运维管理。例如，与网络性能管理系统、故障管理系统等进行集成，实现数据的共享和交互，提高网络运维的效率和准确性。

结语

本文成功设计并实现了一套5G NR信号监测与干扰分析系统，涵盖硬件平台与软件功能模块。硬件选用高性能信号采集设备及服务器，保障信号采集处理精准；软件深入剖析信号监测、干扰分析等核心模块的技术与算法，运用多种先进信号处理分析方法。随着5G技术持续进步，该系统将不断完善，助力5G网络高质量运行。未来，我们会紧跟5G NR技术发展，优化系统性能、拓展功能，满足5G网络日益增长的需求。同时，期望该系统成果能为相关领域人员提供参考，携手推动5G技术发展应用。

参考文献

- [1]程远杰,姜雪松,唐本亭,等.5G NR物理层信号模拟架构的设计与算法实现[J].电子技术,2025,54(02):26-27.
- [2]邵羽含.基于5G NR定位参考信号的高精度DL-TDOA技术研究[D].北京交通大学,2024.
- [3]陆奕臣.5G NR下行链路信号检测技术研究[D].西安电子科技大学,2023.
- [4]黄宏.一种5G NR大动态范围基带信号回传方法[J].电声技术,2022,46(08):129-131.