

多天线调度与波束成形技术在5G基站中的性能优化作用

姚竺君

(中国移动通信集团广西有限公司南宁分公司 南宁 30000)

摘要 为提高5G基站的信道宽带和传输速度,文中详细分析了多天线调度技术及波束成形技术的工作原理,通过对5G基站各项性能的有效评估,重点阐述了利用这两项技术优化5G基站性能的方法。研究表明,科学应用多天线调度与波束成形技术,有利于提高5G基站的运行能力,扩大网络覆盖范围,并增强网络的性能。5G移动通信领域在现代发展进程中,需积极应用高新技术手段,实现真正意义上的创新发展。

关键词: 多天线调度;波束成形技术;5G基站;性能优化

中图分类号 TN929.5

Performance Optimization of Multi Antenna Scheduling and Beamforming Technology in 5G Base Stations

YAO Zhujun

(China Mobile Guangxi Co.,Ltd.,Nanning Branch,Nanning 530000,China)

Abstract In order to improve the channel broadband and transmission speed of 5G base stations, the working principle of multi-antenna scheduling technology and beamforming technology is analyzed in detail. Through the effective evaluation of the performance of 5G base stations, the method of optimizing the performance of 5G base stations using these two technologies is emphasized. The research results show that the scientific application of multi-antenna scheduling and beamforming technology is conducive to improving the operation ability of 5G base stations, expanding the network coverage, and enhancing the performance of the network. In the process of modernization development of 5G mobile communication field, it is necessary to actively apply high-tech means to achieve true innovation and development.

Key words Multi antenna scheduling,Beamforming technology,5G base station,Performance optimization

0 引言

5G基站作为5G网络的关键设备,直接影响着5G网络的部署情况。随着5G网络传输频率的升高,在传输信息数据的过程中,信号衰减问题也随之增大,这使得5G基站的密度与日俱增。在5G基站运行过程中,功能的完善和性能优化对5G基站的高效、稳定运行至关重要。多天线调度技术与波束成形技术具有显著的优势,推动这两项技术在5G基站中的应用,有利于强化5G基站的性能,为我国5G移动通信领域的长效发展提供技术支持。

1 5G基站的移动通信需求与关键技术分析

1.1 移动通信需求

5G基站在5G网络中占据着重要的地位,其为有线通信网络与无线终端的信号传输搭建了桥梁和纽带。为满足用户对移动通信的多元化、个性化需求,5G网络技术应运

而生并快速发展,在我国实现了大范围的应用,商业化步伐明显加快。各大运营商对5G网络技术的频谱分配作出了明确的规定,如表1所列。

表1 国内四大运营商的5G频谱分配情况

序号	运营商	5G频谱/MHz	总带宽/MHz
1	中国联通	4 900~5 000	100
2	中国移动	4 800~4 900	200
3	中国电信	3 400~3 500	100
4	中国广电	4 900~5 000	100

在5G网络技术蓬勃发展的过程中,我国投入了更多的资金、资源,用于5G基站的建设。截至2023年11月,328万个5G基站已经顺利建成并投入运行,这使得5G移动电话的用户数量激增,总人数达到了4亿以上,超过25%的移动流量都来自于5G业务。现阶段,5G网络技术在社会多个重要领域中得到了应用,如电网、矿山、医疗等,这对5G基

作者简介:姚竺君(1993—),本科,研究方向为5G、无线通信系统。

站的运行能力提出了更高的要求,因此需要采用先进的技术手段,对5G基站的性能进行优化和升级,确保其能满足5G网络对高质量、高效率运行的需求^[1]。

1.2 关键技术

1.2.1 多天线调度

多天线调度技术指在多个天线的作用下实现信号的发送与接收,其运行原理为如下。将多个天线有机结合在一起,对单一的天线进行优化,组建成一个完整的天线阵列,为信号的传输提供渠道。多天线调度技术有利于提升信道的传输速度及带宽。

从用户感知吞吐量的角度分析能发现,多天线调度技术的功能较为强大,具体表现在3个方面,分别是提升频谱效率,强化终端用户体验,屏蔽多信号的干扰。在5G通信领域中,多天线调度技术的应用主要基于R15规范。在该规范中,LTE发挥着重要作用。为充分发挥出多天线技术的作用,还增设了信道状态信息(即CSI),这种框架结构不仅能为波束管理创造有利条件,还能为Type码本等技术手段的应用创设充足的空间,在最大程度上满足移动宽带的业务需求^[2]。

在TD-LTE系统中科学应用多天线调度技术,既能增加收发天线的数量,还有利于提高MIMO的传输能力,丰富传输形式。在不同的链路中,多天线技术的作用和功能也存在一定的差异,如上行链路中多天线技术的存在形式为虚拟MIMO,这种链路结构由多个用户构建而成;在下行链路中,多天线技术的功能更加丰富,如发送分集、波束赋形等。以IoT-G230 MHz多天线技术为例,国家电网相关技术规范明确要求,各大基站的天线发射数量最少为1个,且接收天线的端口应与天线发射数量对应。在5G基站中也可应用IoT-G230 MHz多天线技术,其主要作业原理如图1所示。

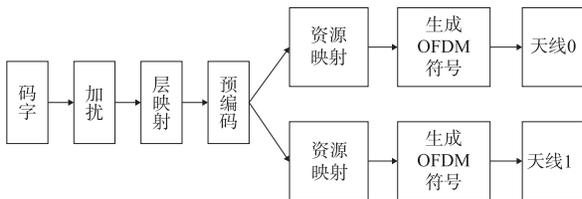


图1 在5G基站中应用IoT-G230 MHz多天线技术的作业原理

若想充分发挥出多天线技术的信道调度作用,则应根据下行共享信道的具体情况,科学选择调度形式,如表2所列^[3]。

表2 下行共享信道的调度形式

序号	物理信号	UE调度能力	调度形式
1	PDSCH	弱	QPSK
2		强	QPSK, 16QAM, 64QAM

结合上述内容可知,多天线调度技术的优势较多,在5G基站的性能优化中综合应用该技术,能实现理想的作业目标,提高5G基站的运行能力^[4]。

1.2.2 波束成形

波束成形技术是一种信号传输和接收技术,主要用于基站与用户之间的信息传输,在规模较大的天线系统中,该技术得到了有效的应用。波束成形技术可灵活调整接收天线单元及发送天线单元,有效控制和补偿相位对称信号中的相位差,进而为发射信号的定向输出奠定基础。现阶段,常见的波束成形技术主要有3类,分别是数字化、模拟化以及混合化波束成形,依次又可分为DBF,ABF以及HBF。

通过对DBF技术的综合分析可知,其各个天线单元由多个的射频链路连接到一起,当信号输出端与接收端同时应用DBF技术时,接收信号的表现形式如式(1)所示:

$$y = W_{BB}^H H F_{BB}^s + W_{BB}^H n \quad (1)$$

其中, s 代表基带信号的发送端; F_{BB} 代表信号发送端的数字域编码矩阵; W_{BB} 代表信号接收端数字域整合到一起后的矩阵。

在应用DBF技术时,需利用式(2)获得频率效率:

$$R = \log_2 \left(1 + \frac{P_0 |W_{BB}^H H F_{BB}^s|^2}{\sigma_n^2 |W_{BB}^H|^2} \right) \quad (2)$$

其中, P_0 代表信号的发射功率。

将该技术应用到5G基站中,有利于扩大网络吞吐量,并提高整体频率效率,但由于发射端对射频链路的要求较高,需要在多个链路的支持下,才能实现数字信号的高效发射。因此,应用DBF技术也会增加运行成本,还应综合考虑收益问题^[5]。

综合对比DBF技术与ABF技术可知,两者在硬件架构上存在较大的差异。后者主要利用RF链路进行连接,这种结构形式较简单,对硬件的要求较低。但由于链路为单一的连接形式,使数据流无法同时实现传输,这在一定程度上限制了频谱的利用效率。若在基站的信号输出端和接收端同时应用ABF技术,接收信号的表达形式应如式(3)所示:

$$y = W_{RF}^H H f_{RF}^s + W_{RF}^H n \quad (3)$$

其中, s 代表信号的输出; f_{RF} 代表信号输出端模拟域编码向量; W_{RF} 代表信号接收端模拟域整合后的向量。

综合分析ABF的架构可知,可以计算该技术的频谱效率,如式(4)所示:

$$R = \log_2 \left(1 + \frac{P_0 |W_{RF}^H H f_{RF}^s|^2}{\sigma_n^2 |W_{RF}^H|^2} \right) \quad (4)$$

利用式(4)计算出频率效率后,可有针对性地选择固定码本或自适应码本的波束成形方法,确保所选方式能在最大程度上提高波束主瓣的对准能力。

HBF技术是对上述两种波束成形技术的优化升级,其融合了ABF技术与DBF技术的优势,既能展现出DBF技术的补偿功能,还能利用ABF技术来控制射频的链路数量。

综上,波束成形技术的类型较多,不同技术的功能及优势有所差别。在5G基站的性能优化中,需联系基站的现实情况,科学选择波束成形技术,充分发挥出该技术的价值和作用,促进5G基站的高质量、高效率运行。

2 5G 基站的性能评估标准

某省采用了双天线 5G 基站,为更好地利用多天线调度技术与波束成形技术来完善和优化基站的性能,需要对 5G 基站的性能进行评估,在获取到有价值的信息数据后,再制定优化方案,确保优化升级后的 5G 基站的各方面能力均能有所增强。

2.1 电磁辐射

在 5G 网络技术深入应用的背景下,对于 MIMO 基站系统的优化和改良,需将重点放在电磁辐射的安全设计中。可以计算基站的电磁辐射,如式(5)所示:

$$P_d = \frac{P \times G}{4 \times \pi \times r^2} \quad (5)$$

其中, P 代表天线辐射率/W; G 代表天线增益; r 代表检测区域与天线的间距。

不同运营商的常用基站站型有所不同,因此取值范围存在一定的差异,电磁辐射也各不相同。以中国电信为例,该运营商下的 5G 基站常用站型为 3.5 GHz 宏基站、2.4 GHz 宏基站与微基站。通过对中国电信移动网络系统的观察和分析可知,受电磁辐射等因素的影响,在部署天线设备的过程中,应严格控制设备与人流密集场所之间的距离,并适当降低发射功率^[6]。

2.2 网络性能

通过对 5G 基站各系统网络性能的综合评估,能获得上行时延、下行时延、用户面时延等信息,具体内容如表 3 所列。

表 3 5G 基站的网络性能评估

序号	检测内容	检测结果
1	FTP 发送速率	1 062 KBps
2	FTP 接收速率	311.94 KBps
3	控制面时延	238 ms
4	用户面时延	上行 108 ms;下行 140 ms
5	切换成功率	100%
6	上行时延	最低 49 ms;最高 82 ms
7	下行时延	最低 54 ms;最高 68 ms

3 多天线调度技术与波束成形技术在 5G 基站性能优化中的应用要点

传统基站由于天线数量较少,限制了信号的传输质量

和传输效率,而基于多天线调度与波束成形技术,形成大规模的天线阵列,能实现对各个天线单元相位的有效调节,达成信号叠加的目标,从而强化信号增益,提高对路损的控制能力,为无线信号的高效、稳定传输奠定良好的基础。

在应用多天线调度技术时,若想进一步扩大 5G 基站中的天线规模,则需在现有天线数量的基础上,对天线阵列的尺寸进行优化处理,促使频段升高,以拓宽天线规模,以便设备的部署和维护。

在应用波束成形技术时,需要注意两点。(1)由于该技术的特殊性,会给无线信号带来不同程度的影响,产生聚焦效应,因此若想扩大 5G 基站的信号增益,则需要对波束进行调整(波束越窄,增益越大)。(2)波束成形技术存在指向偏离的情况,如用户接收无线信号的效率变慢、时延变高等,因此还应结合基站的天线通道数、通道最大功率值等,统筹应用波束成形技术。

4 结语

随着科学技术的不断发展,我国 5G 基站的数量也在不断增多,为满足移动通信业务的需求,需做好 5G 基站性能的优化和完善。多天线调度与波束成形技术的功能较为强大,将这两项技术与 5G 基站紧密结合在一起,有利于提高无线信号的质量,更好地对抗路损,缓解信号衰减问题,为无线信号的高效传输提供保障,并获得更强的信号增益,促进我国 5G 基站工程的可持续发展。

参考文献

- [1] 陈晨钜.5G/B5G 系统级仿真平台搭建及调度算法研究[D].北京:北京邮电大学,2022.
- [2] 吴园君.移动场景下毫米波 MISO 系统基于 DQN 的下行链路波束成形研究[D].武汉:中南民族大学,2021.
- [3] 李静.分布式毫米波大规模 MIMO 混合预编码技术研究[D].大连:大连海事大学,2021.
- [4] 杜艳军,赵剑锴,李小燕,等.校园 5G 移动通信基站电磁辐射监测实验平台开发与应用[J].科技风,2023(33):5-7.
- [5] 汪宏艳.基于迫零波束成形技术的大规模 MIMO 混合中继系统性能分析[J].现代信息科技,2023,7(22):57-62.
- [6] 唐胜华.基于波束成形的低轨卫星物联网活跃用户辨识与容量提升技术研究[D].南京:南京邮电大学,2023.