利用GaN实现6GHz以下的5G大规模MIMO

Realizing 5G Sub-6-GHz Massive MIMO Using GaN

David Schnaufer、Bror Peterson，Qorvo

据估计，到2021年，拥有移动电话的人数（55亿）将会超过自来水用户的数量（53亿）。极耗带宽的视频将进一步增加对移动网络的需求，占移动通信流量的78%。[1]使用大规模多路输入、多路输出（MIMO）技术的5G网络将成为能否支持这种增长的关键。根据Strategy Analytics预测，到2023年，5G移动连接预计将从2019年的500万增长到近5.77亿。[2]

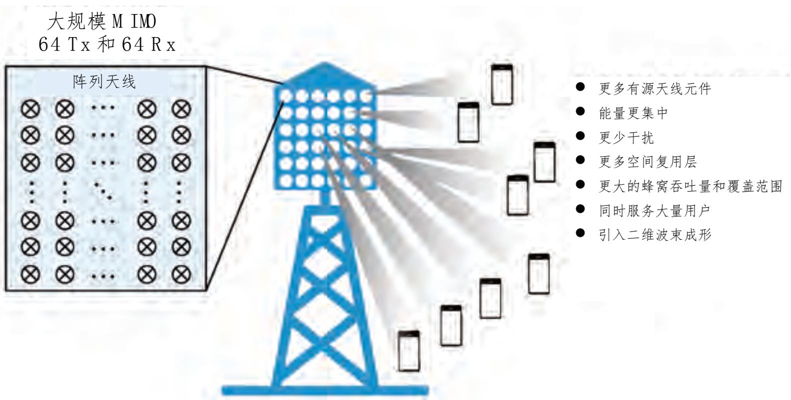


图1：大规模MIMO能带来多项优势，例如空间复用。

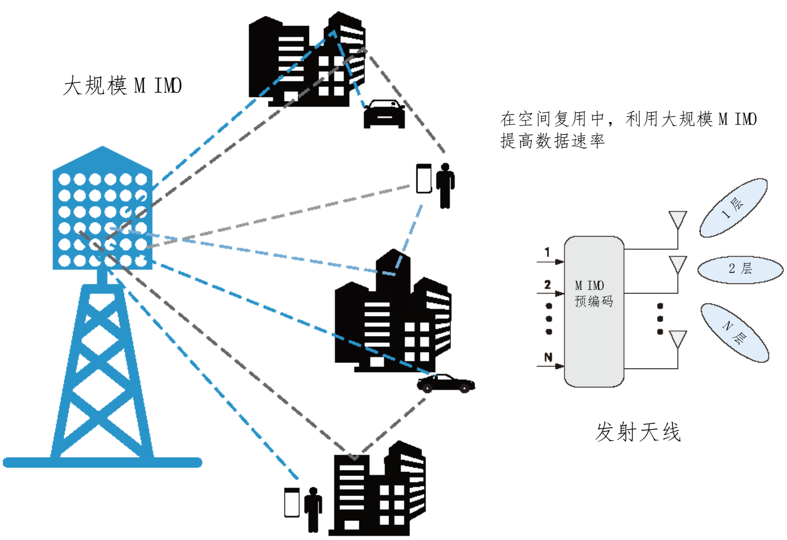


图2：采用大规模MIMO的空间复用中的每个信道都携带独立信息。

MIMO基础

每一代无线技术都利用天线技术的进步来提高网络速度。3G使用单用户MIMO，后者利用多个同步数据流将数据从基站传输给单个用户。4G系统中主要采用多用户MIMO技术，它为不同的用户分配不同的数据流，提供远优于3G的容量和性能。5G将引入大规模MIMO，进一步提高容量，并提供高达20Gb/s的数据速率。

5G大规模MIMO说明

5G宣称能够提高网络容量和数据速率，同时尽可能降低运营费用。用户也更希望无线数据服务的质量能够达到有线水平。

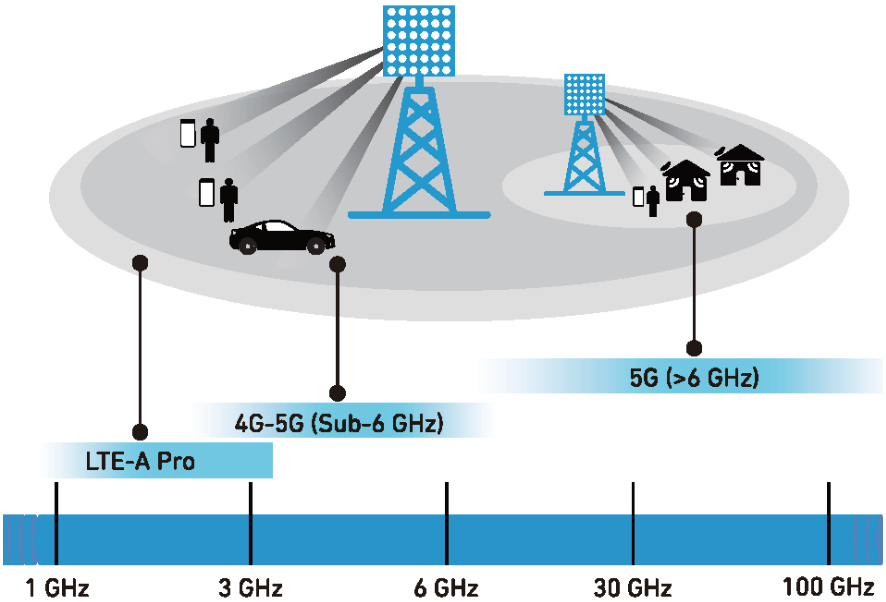
5G大规模MIMO可以帮助运营商实现这些目标。它将为许多用户提供高数据速率，帮助提高容量。它不需要额外的频谱，即可支持实时多媒体服务。此外，大规模MIMO利用波束赋形（将来自多个天线的信号聚合成单个强波束的技术），向单个用户定向发送信号，以此降低能耗。

空间复用和大规模MIMO的优势

大规模MIMO技术采用大型天线阵列（一般由64个双极化阵列组件组成，最少16个）来实现空间复用（图1）。空间复用在相同的资源模块中提供多个并行的数据流。通过扩展虚拟信道的总数，它可以在不额外增加塔站和频谱的情况下提升容量和数据速率。

在空间复用中，每个空间信道都携带独立信息（图2）。如果传播环境中散射足够丰富，在分配的相同带宽中会生成许多独立的子信道，从而在不需要额外的带宽或电力成本的情况下，实现多路复用增益。多路复用增益也指信号空间分布的自由度；在大规模MIMO配置中，自由度控制系统的整体容量。[3]

采用大规模MIMO之后，多个天线将传输和接收信号集中到较小的空间区域，从而大大提高吞吐量和能源效率。数据流越多、数据速率越高，辐射功率的使用效率也越高。这种方法也提高了链路的可靠性。天线的增加意味着在空间分集方面拥有更高的自由度。它可以提高



Standard	LTE-Advanced Pro	5G (Sub-6 GHz)	5G (>6 GHz)
Bandwidth*	Approx. 3x20 MHz	Approx. 3x100 MHz	Approx. 3x400 MHz
Downlink Speed*	1.2 Gbps	6.5 Gbps	18 Gpbs

*3 Carrier Aggregation and 80% downlink

图3：5G毫米波和6GHz以下频段的覆盖率和容量都存在显著差异。

传输和接收数据流的选择性，并增强消除干扰的能力。

大规模MIMO提供多项优势，包括：

- 防止在不必要的方向传播，减少干扰
- 减少延迟，获得更快的速度和更高的可靠性
- 减少衰减和下降，提高信噪比(SNR)
- 提高频谱效率和可靠性
- 更高能源效率

5G大规模MIMO和6GHz以下部署

很明显，要实现5G 20Gb/s的数据速率目标，就需要使用毫米波频谱。然而，在真正将毫米波用于移动通信之前，必须先解决几个关键挑战。

虽然运营商和原始设备制造商还在继续努力完善毫米波技术，但在短期内，6GHz以下频率将会是5G网络技术的首选。6GHz以下频率既适用于农村，也适合城市，因为该技术支持远距离高速数据传输（图3）。运营商最初打算在3,300至4,200MHz和4,400至5,000MHz频率范围内部署5G，该频率支持最高100MHz的信道带宽。

6GHz以下的大规模MIMO通过在基站使用大量天线来解决干扰问题，使基站能够为城市地区的大量用户提供服务。大规模MIMO还可以提高峰值、平均和边缘吞吐量，通过在用户覆盖范围和容量之间实现最佳平衡来最大限度提高成本效率。

如果没有系统设计方面的挑战，就不会出现这些技术进步。6GHz以下大规模MIMO波束赋形技术将会推动在大规模MIMO阵列中运用小尺寸、高性能、经济高效的功率放大器（PA）的需求。此外，因为5G调制机制日渐复杂（例如256-QAM），无线基础设施PA在深度功率输出回退条件（高达或超过8dB）下需要非常高效，以达到所需的线性度。

利用GaN实现6GHz以下5G大规模MIMO

高输出功率、线性度和功耗要求正促使基站和网络OEM从使用LDMOS技术转向氮化镓技术（GaN）。GaN为6GHz以下5G大规模MIMO基站应用提供诸多优势：

- GaN技术在3.5GHz及以上频率应用中表现出色，LDMOS在这些高频率下则面临挑战。
- GaN具有高击穿电压、高电流密度、高转换频率、低通态电阻和低寄生电容。这些特性可转化为高输出功率、宽带宽和高效率。
- Doherty PA配置中采用GaN在输出功率为100W时，平均效率在50%到60%之间，大大降低了发射功耗。
- GaN PA的高功率密度使其可以采用小尺寸，因而减少了PCB空间需求。
- 在Doherty PA配置中使用GaN技术，就可以使用四边扁平无引脚（QFN）塑料封装，而不是价格高昂的陶瓷封装。
- GaN在高频率和宽带宽条件下具备高效率，这意味着大规模MIMO系统可以更加紧凑。GaN在更高工作温度下能够可靠运行，因而可以使用尺寸更小的散热器；实现更紧凑的尺寸。

实现6GHz以下RFFE设计目标

构建RF前端（RFFE）以支持这些新的6GHz以下5G应用将是一项挑战。RFFE对系统的功率输出、选择性和功耗都至关重要。设计复杂性和更高的频率范围也带来RFFE集成、缩小尺寸、降低功耗、高输出功率、更宽的带宽、改进的线性度以及提高接收器灵敏度等需求。此外，收发器、RFFE和天线之间也有更严格的耦合要求。

6GHz以下5G系统RFFE需要达成一些目标，而GaN PA有助于达成这些目标，具体包括：

- 更高频率和更高带宽：5G使用的频率比4G更高，并且需要更宽的载波带宽（高达100MHz）。在这些频率下，碳化硅基氮化镓（GaN-on-SiC）Doherty PA能够实现比LDMOS更宽的带宽和更高的功率附加效率（PAE）。GaN设备具备更高效率、更高输出阻抗和更低的寄生电容，因此更容易实现宽带匹配并扩展到更高的输出功率。

下转第62页

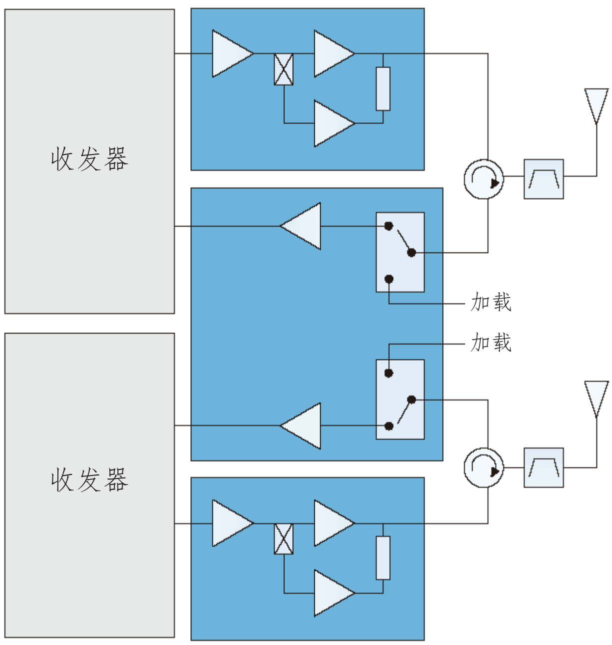


图4：这种6GHz以下大规模MIMO RFFE含有一个Doherty PA。

面或者断开，要产生一个定向性的辐射方向图并在地平面内旋转，从而控制天线峰值增益的方向。中央驱动天线和其中一个带可调器件的偏移原件的组合就是一种八木天线，如图2b所示。

为了完成SDA系统，需要一种算法，该算法使用来自无线电基带芯片组的度量来确定最佳波束的选择。图4给出了由该算法控制的无线电调制解调器和SDA。该算法将调制解调器和SDA连接在一起，这在图4中被重点突出，其中规定调制解调器和SDA的虚线框在该算法处重叠。

这个对于天线系统结构的讨论仅设计单端口天线，2*2的LTE MIMO系统将需要两个天线。

系统增益

具有波束控制的SDA可以提供3到6dB以上的额外天线增益。额外增益等同于相同等级的系统增益，因此可以得到更高的数据速率。图5给出了数据吞吐量和SINR之间的关系。当信号电平高于噪声并干扰信号水平时，随着天线系统增益的提高，SINR将逐步增加。图5给出了额外的天线系统改进对于系统指标的好处，如吞吐量。

对于低SINR值，LTE网络将使用正交相移键控（QPSK），基本上与4-QAM相同。随着QAM指数的增加，数据速率增加，支持调制所需的SINR也增加。当SINR超过7dB时，具有QPSK吞吐量2倍的16-QAM可用于传输。SINR为13dB时，最佳调制变为64-QAM，其吞吐量为16-QAM的2倍、QPSK吞吐量的4倍。在较低的SINR下，从SDA获得的天线系统改进将是最明显的。

随着智能手机的广泛使用和蜂窝网络向5G的发展，客户端设备中的天线设计方法是设计低定向性的全向天线或尽可能接近全向辐射的天线，以确保客户端能够在最宽的球形几何范围内接收信号。由于具有无源天线的设备无法得知基站的位置或到达角度，因此这种宽波束宽度方法提供了让系统工作的最佳方法，并且考虑了设备的移动性以及设备在小区内的方向和位置的变化。不幸的是，从系统链路预算的角度来看，这不能有效地从客户端设备中的天线发送功率，因为尽管辐射信号的预期方向指向链路的基站，功率依然会朝各个方向辐射。接收时，无源宽波束宽度天线的峰值增益低于更具定向性的天线。如果天线“知道”需要指向哪个方向，则可以使用定向天线。

总结

当辐射单元的动态优化与来自基带调制解调器的信号相结合时，SDA系统可以增加多个dB的系统增益，并使用优化天线的算法。除了在预期方向上提供更大的增益之外，SDA还将减少从预期基站以外的方向接收干扰信号。其基本原理是，天线的增益和波束宽度之间有如下关系：在辐射方向图中产生更高的增益峰值，其他角度区域将被电磁波覆盖的更少，即在辐射方向图主瓣以外的方向上增益较低。

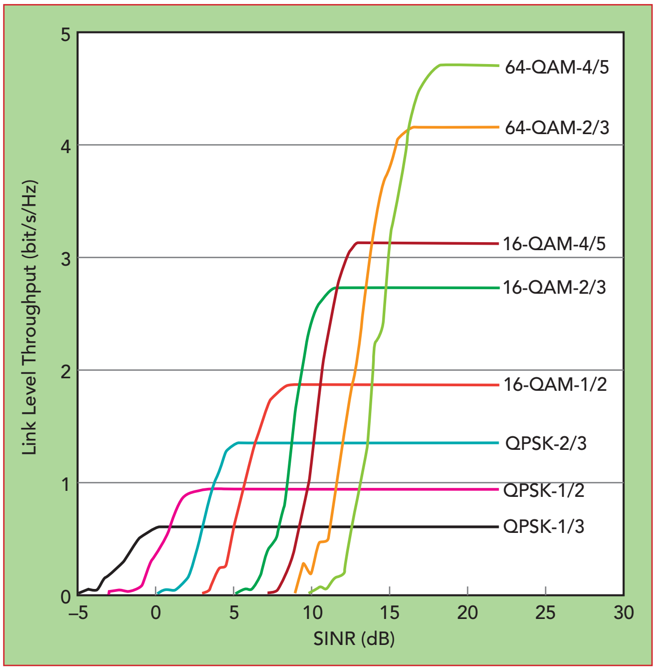


图5：链路数据吞吐量与SINR。

如果基带调制解调器芯片组中的SINR度量可用于优化SDA的算法，则将考虑传播信道中的干扰，因为辐射模式特性将需要被研究和优化。为了满足容量需求，基站部署越来越密集，信道干扰问题将变得越来越重要。随着基站密度的增加，干扰成为吞吐量的限制因素，而不是信号强度在影响吞吐量。

目前的天线工程师可以利用无线调制解调器中不断发展的功能，如低延迟SINR指标和可调器件技术，将无源天线重构为动态优化的SDA系统。如果选择辐射模式进行动态优化，与低方向性的无源天线相比，辐射方向图扇形化将提供3到6dB的系统增益改进。随着蜂窝网络的基站密度不断增加，优化辐射方向图将变得更加重要，这将使得链路能够针对信号电平和传播信道中的干扰进行优化。■

参考文献

1. J. J. O. Bonafé, A. S. Pagès, S. R. Boqué, M. Garcia-Lozano and D. Gonzalez Gonzalez, “Link Level Simulator for LTE Downlink,” 2009, www.researchgate.net/publication/47330409_Link_level_simulator_for_LTE_downlink.

上接第57页

- 更高数据速率，更高功效：GaN具备软压缩特性，更易于预失真和线性化。因此，更易于在数字预失真（9DPD）高效率应用中使用。GaN能够跨多个蜂窝频段使用，帮助网络运营商部署载波聚合，以增加频谱，并创建更大的数据管道，以提高网络容量。
- 最大限度降低系统功耗：我们如何满足5G的高数据要求？我们将需要更多的基础设施，如数据中心、服务器和小基站。这意味着会增加网络总功耗，因而需要提高系统效率，节省总能耗。最终，运营商会要求以更低的成本实现更大收益，这看起来相当困难。而GaN可以提供高输出功率（同时提高基站效率）来解决这一难题。

图4显示了6GHz以下RFFE示例的高级框图，它使用Qorvo Doherty PA设计来获得高效率。

总结

5G大规模MIMO 6GHz以下基础设施设计已经推出和部署。这意味着，为了支持全球运营商的扩展，必须推出能够满足更高频率、更高功率输出和更低能耗要求的技术和系统设计。GaN技术能帮助运营商和基站OEM实现其6GHz以下和毫米波5G大规模MIMO的目标。■

参考文献

1. Cisco Systems, “Mobile Visual Networking Index (VNI) Forecast Projects 7-Fold Increase in Global Mobile Data Traffic from 2016-2021.” https://newsroom.cisco.com/press-release-content?articleId=1819296
2. Strategy Analytics, “Strategy Analytics Forecasts Nearly 600 Million 5G Users by 2023.” https://www.strategyanalytics.com/strategy-analytics/news/strategy-analytics-press-releases/2018/03/27/strategy-analytics-forecasts-nearly-600-million-5g-users-by-2023
3. Gaussianwaves.com, “MIMO – Diversity and Spatial Multiplexing.” https://www.gaussianwaves.com/2014/08/mimo-diversity-and-spatial-multiplexing/