

# MIMO技术的 3D化应用将成必然

我国 LTE 网络经过多期的建设，已经基本实现良好的广覆盖。未来网络的建设重点将向深度覆盖和热点容量吸收方向倾斜，相信 3D MIMO 技术必将发挥重要作用。

江苏省邮电规划设计院有限责任公司 | 朱晨鸣 王浩宇

随着无线通信技术的迅猛革新，相关应用不断丰富，移动数据业务及其需求快速增长，正愈发深刻地改变人们的生产与生活方式。与此同时，这种快速的发展将给无线接入网造成巨大的压力，如何满足人们日益增长的移动通信需求成为各大运营商重点关注的问题。在技术和市场的双重驱动下，大规模天线技术逐渐成熟起来，并为即将到来的5G时代提供了坚实的技术基础。

大规模天线技术能够显著提高网络覆盖和容量性能，被认为是5G技术中最重要的物理层技术之一。作为应对移动通信数据业务爆发式增长所带来的挑战的关键技术，3D MIMO (3-Dimension Multiple Input Multiple Output, 三维多输入多输出) 是大规模MIMO技术中发展及应用较为成熟的方向之一。当前阶段，在4G移动通信系统中的传输方案主要采用2D MIMO，即只在水平方向上实施波束成形、多径与分集传输等传输方式，而垂直方向的自由度没有得到充分开发和利用。随着大规模天线技术的不断发展，MIMO技术的3D化应用将是必然的发展方向。

## 大规模MIMO技术有效满足5G需求

2010年，贝尔实验室提出了大规模MIMO的概念。大规模MIMO技术具体是指在基站端使用具有大量小型化阵子的天线矩阵同时服务于多个用户，天线数目一般多达几十甚至上百，通过天线数目的增加带

来空间自由度的提升，进而提高系统覆盖性能和整体容量。3D MIMO和大规模MIMO同为MIMO技术演进趋势上最重要的候选技术，其原理是在原有2D水平维度基础上，引入垂直维度，增加其垂直维度的波束成形能力，实现信号的3D化传输。一般认为3D MIMO是大规模MIMO的特殊应用。

这两种MIMO技术具有传统MIMO系统所无法比拟的物理特性和性能优势。主要表现在如下。

随着天线数目的成倍增加，各个用户之间的信道呈现出渐进正交特性，从而有效抑制用户间干扰，通过更高的空间自由度

带来信道以及系统容量的提升；基站使用大规模天线阵列，对信道快衰落和热噪声进行平均，实现信道硬化，从而有效地避免了深衰落情况，减少空口延迟，简化系统调度策略；3D MIMO波束成形方式能够使波束能量聚焦于很窄的空间方向，信号的传输可以对准用户，大大提升了空间分辨率；额外增加的垂直方向空间自由度可用于发射信号波束成形，有效降低发射信号的峰均比，从而简化射频前端，大大降低系统部署成本；大规模天线阵列的使用增大了天线增益，有效地降低单个天线的发射功率，提升系统总能效，符合绿色通信的建设理念。

虽然大规模MIMO以及3D MIMO有可能使频谱效率和能耗效率在4G技术原有基础上再提升一个量级，从而有效满足5G通信对速率、容量等相关性能的要求，但是该类技术在应用落地的过程中仍需解决包括检测算法、信道估计、同步方式、预编码算

标准	MIMO技术	特点
Rel-8	发射分集	
	空间复用	最多支持4层传输
	波束赋形	仅支持单层传输
Rel-9	MU-MIMO	最多支持两个rank1 UESU/MU灵活切换
	双流波束赋形	最多支持4个数据流 采用非码本传输方式 支持基于互易性的反馈
Rel-10	高阶MIMO	最多支持8层传输
	上行MIMO	基于双级多颗粒度码本的高精度反馈
Rel-11	CoMP	最多支持4层传输 多小区协作MIMO
Rel-12	3D MIMO	拓展为三维天线阵列

表1 3GPP MIMO技术标准化进展

站点名称	3D MIMO开启前	3D MIMO开启后
某大学A西苑试扩L	26	4
某大学A教学楼三期LD	32	12
某大学B东二期LD	18	9
某大学B二试扩L	34	39
某大学B三试扩L	66	3
某大学C学院试扩L	11	5

表2 均衡优化前后高负荷情况统计

法、导频污染、互易校准等相关问题。

由于多天线技术能够很好地解决未来移动数据流量的需求问题，并对频谱利用率、能量效率、系统容量等提升具有重要意义，大规模MIMO和3D MIMO技术一经提出，学术界与产业界即对其进行了关注。针对大规模MIMO技术的信道容量、传输、检测等基本理论与技术的研究已经广泛地开展起来，并取得了许多关键成果，有些已在实际无线通信建设中得到了应用与检验。

目前主要的5G技术研究和标准化组织，如3GPP、ITU、欧盟的METIS等都将大规模MIMO技术作为未来5G通信的重要物理层技术，并且已积极开展相关研究和标准化工作。我国对大规模MIMO技术领域也非常重视，5G研究与标准化组织IMT-2020 (5G)成立了针对该技术的专题与研究组，启动了面向5G的技术研究与标准化工作，具体情况见表1。

### 3D MIMO技术特点

空间自由度是MIMO多天线技术的关键所在。有源天线系统技术的出现于发展，使垂直维度的空间自由度应用条件逐渐成熟起来。有源天线系统中，基站设备可通过光纤直接连接至天线系统，而不再需要例如射频电缆、塔放或RRU等中间环节。在以往条件下，射频电缆的部署是开放物理天线垂直维度的重大障碍，如今这一问题得到了良好的解决。有源天线系统中部署3D MIMO不需要改变现有天线尺寸，即可将每个垂直的天线阵子分割成多个阵子，从而开放天线在垂直方向上的空间自由度。这一技术的实现大大推动了3D MIMO技术的研究，同时其应用显著提升了LTE传输技

术的性能，降低了小小区间干扰，并提高了系统吞吐量和频谱效率。

目前3D MIMO技术主要有空间复用、传输分集和波束成形3种模式。

空间复用技术是指无线基站使用多根天线发射相互独立的多路信号，并在接收端采用干扰抑制技

术对接收信号进行解码组合，恢复原信号数据。系统的空口容量理论上将随着收发端天线对数量的增加而线性增大，而不需要占用额外的频谱资源，能够有效提升系统性能。使用空间复用技术将多路数据发送给同一用户时，可有效提高该用户的峰值速率，增强用户体验；发送给不同用户时，可有效提高系统整体的吞吐量，满足更高的容量需求。

传输分集技术与空间复用技术相反，其原理也是在无线基站处使用多根天线，但其发送的信号完全相同。由于这些相同的信号通过不同的路径传输至用户，其也经历了不同的衰落过程。接收端将采用信号合并技术，对接收到的来自不同天线的信号进行合并，从而恢复原始数据。由于合并信号相对于单天线信号在强度上有所加强，且由于不同的衰落过程不易受深衰落影响，可以看作是对多径效应的正面应用，因此信号在接收端可获得分集增益，从而提高链路可靠性。

波束成形技术在4G TD-LTE系统中已经有着非常成熟的应用，并有效地提升

了LTE系统的相关性能。其基本原理是在基站处采用相关天线阵列的信号预处理技术，通过调整天线阵列中每个阵元的加权系数，增强某些方向上的信号能量，同时削弱其他方向信号强度，使多天线发射的波束能量能够对准用户进行信号发射。由于波束具有指向性，在其特定方向上的辐射能量更集中，信号强度更高，即获得多天线的阵列增益。多天线的波束成形技术，在获得阵列增益的同时，也可以降低对其它方向的干扰，从而带来系统容量的提升。

通过对空间特性的充分利用，3D MIMO技术显著提高了数据传输的峰值速率，大大增加了无线网络扩展覆盖范围，有效抑制了小小区间干扰，提升了系统容量以及系统吞吐量，已经成为下一代通信中的关键技术。

### 3D MIMO工程实施方案

实践证明，采用3D MIMO技术可大幅度提升单站的容量和覆盖能力，可解决运营商在同城竞争中面临的站址紧张、建站难、深度覆盖难等痛点，同时大幅提升单用户流量满足终端用户对不同业务极致体验的诉求。根据运营商实际应用情况，对3D MIMO工程实施方案进行了分析并给出部署配置建议。

#### 上行特性部署参数——VMIMO

上行调度开关中（参数ID CellAlgoSwitch.UISchSwitch），具体配置建议如下：该参数中的上行虚拟MIMO开关

日期	3D MIMO开启前	3D MIMO 开启后 (8T)	3D MIMO开启后 (3D MIMO)
星期一	3.91	4.4	5.73
星期二	4.11	4.39	5.99
星期三	4.24	4.28	5.36
星期四	4.39	4.62	5.87
星期五	4.21	4.46	5.77
星期六	3.83	4.35	5.48
星期日	4.07	4.19	5.35

表3 均衡优化前后下行感知速率统计表(单位: Mbit/s)

(参数ID UIVmimoSwitch)用于开启/关闭多用户虚拟MIMO功能,建议开启;该参数中的VoLTE用户VMIMO配对开关(参数ID VoLTEUeVmimoSwitch)用于开启/关闭VoLTE用户多用户虚拟MIMO功能,建议开启;上述两个参数逻辑关系为:在上行虚拟MIMO开关为开的前提下,打开VoLTE用户VMIMO配对开关才会有效。

VMIMO优化算法开关(参数ID CellUlschAlgo.VmimoOptAlgoSwitch),具体配置建议如下:该参数中的重传用户配对开关(参数ID HarqVmimoSwitch)用于开启/关闭重传用户配对功能,建议开启;该参数中的预调度用户配对开关(参数ID PreSchVmimoSwitch)用于开启/关闭预调度用户配对功能,建议开启;该参数中的VMIMO干扰随机化功能开关(参数ID VmimoResRandomSwitch)用于开启/关闭VMIMO干扰随机化功能,建议开启;上述参数逻辑关系为:在上行虚拟MIMO开关为开的前提下,打开重传用户配对开关预调度用户配对开关以及VMIMO干扰随机化功能开关才会有效。

VMIMO最大配对层数(参数ID CellUlschAlgo.MaxLayerMMVmimo),具体配置建议如下:该参数用于控制Massive MIMO下行VMIMO最大配对层数,建议配置8层。

### 下行特性部署参数——MUBF

MUBF算法开关(参数ID CELLALGOSWITCH.MuBfAlgoSwitch),具体配置建议如下:如需开启MU-BF功能,将本参数配置为“MuBfSwitch1”;

参数名称	修改量
参考信号功率	19
服务小区偏置	5
服小区偏置	10
基于A4A5异频A1 RSRP触发门限(毫瓦分贝)	10
基于A4A5异频A2 RSRP触发门限(毫瓦分贝)	10
基于负载的异频RSRP触发门限(毫瓦分贝)	5
基于频率优先级的异频A1 RSRP触发门限(毫瓦分贝)	5
基于频率优先级的异频A2 RSRP触发门限(毫瓦分贝)	5
小区偏移量	2460
小区偏置	2440
异频切换A5 RSRP门限1(毫瓦分贝)	10

表5 均衡优化参数修改情况

日期	3D MIMO开启前	3D MIMO 开启后 (8T)	3D MIMO开启后 (3D MIMO)
星期一	360	397	435
星期二	363	406	463
星期三	368	415	430
星期四	371	407	402
星期五	380	411	427
星期六	371	422	411
星期日	393	401	412

表4 均衡优化前后上行感知速率统计表(单位: kbit/s)

如重传需MU-BF配对,将本参数配置为“HarqRetranPairSwitch-1”。

高阶MUBF最大层数(参数ID CELLBF.HighOrderMubfMaxLayer),具体配置建议如下:该参数用于控制高阶MUBF允许的最大配对层数,可以配置为TWO\_LAYERS, FOUR\_LAYERS, EIGHT\_LAYERS, SIXTEEN\_LAYERS或TWENTYFOUR\_LAYERS。建议配置为SIXTEEN\_LAYERS。

## 3D MIMO工程实施效果

在某大学城区域开启6个3D MIMO站点进行网络优化,总体效果良好,用户上/下行感知速率提升,感知高负荷频次明显降低。

### 均衡优化前现状

3D MIMO开启前,出现感知高负荷的小区数为22个;3D MIMO开启后,感知高负荷的小区数为14个;总感知高负荷次数由187降低到72次,具体情况见表2。

3D MIMO开启前,一周时间内平均每小区下行感知速率为4.11Mbit/s,针对原有8T站点,3D MIMO开启后为4.38Mbit/s,增长比例为6.7%。针对3D MIMO

站点,一周时间内平均每小区下行感知速率为5.65Mbit/s,相比3D MIMO开启前,增长比例为37.5%,具体情况见表3。

3D MIMO开启前,一周时间内平均每小区

上行感知速率为372.2kbit/s,针对原有8T站点,3D MIMO开启后为408.3kbit/s,增长比例为9.7%。针对3D MIMO站点,一周时间内平均每小区上行感知速率为425.8kbit/s,相比3D MIMO开启前,增长比例为14.4%,见表4。

原有8T站点,上下行PRB利用率相比3D MIMO开启前有所下降。其中下行PRB利用率下降5.35%,上行PRB利用率下降1.96%。3D MIMO站点上下行PRB利用率相比3D MIMO开启前有所上升。其中下行PRB利用率上升4.4%,上行PRB利用率上升5.0%。

### 均衡优化效果评估

3D MIMO开启后,由于3D MIMO小区和原有8T小区业务量(用户数)导致部分小区仍存在感知高负荷的问题,进行了相关均衡优化,优化内容见表5。

原有22个感知高负荷小区,通过初步均衡优化,已解决存在高负荷的问题小区16个,还有6个小区有待于进一步参数调整解决。

优化后,3D MIMO小区上下行感知速率相比优化前略有下降,8T小区上下行感知速率略有提升,但均比3D MIMO开通前增益明显。

大规模MIMO技术伴随着网络建设中遇到的覆盖和容量需求而不断发展与进步。我国LTE网络经过多期的建设,已经基本实现良好的广覆盖。未来网络的建设重点将向深度覆盖和热点容量吸收方向倾斜,相信3D MIMO技术必将发挥重要作用。