

TD-LTE 网络中的多天线技术

在无线通信领域，对多天线技术的研究由来已久。其中天线分集、波束赋形、空分复用(MIMO)等技术已在 3G 和 LTE 网络中得到广泛应用。

多天线技术简介

根据不同的天线应用方式，常用的多天线技术简述如下。

技术	描述
天线分集	天线分集是指利用多天线间较低的无线信道的相关性，提供额外（发射或接收）的分集增益来对抗无线信道的衰落。可分为空间分集或极化分集。
波束赋形	波束赋形是指利用发射端或接收端的多组天线单元高相关性，通过一定的相位叠加形成特定波束，使目标方向上的天线增益最大，从而有效提高发射/接收的信噪比。
空分复用 (MIMO)	空分复用技术利用无线信道在多维空间的正交特性，在空口创建多条并行的信道，实现多数据流的同时传输。从而使空口的传输速率成倍提高。

上述多天线技术给网络带来的增益大致分为：更好的覆盖(如波束赋形)和更高的速率(如空分复用)。

3GPP 规范中定义的传输模式

3GPP 规范中 Rel-9 版本中规定了 8 种传输模式，见下表。其中模式 3 和 4 为 MIMO 技术，且支持模式内(发送分集和 MIMO)自适应。模式 7、8 是单/双流波束赋形。原则上，3GPP 对天线数目与所采用的传输模式没有特别的搭配要求。但在实际应用中 2 天线系统常用模式为模式 2、3；而 8 天线系统常用模式为模式 2、3、7 或模式 2、3、8。

下行传输模式	说明
模式 1	Single-antenna port, port 0 单天线端口 (端口 0)
模式 2	Transmit diversity 发送分集
模式 3	Large delay CDD or Transmit diversity ; 开环空分复用或发送分集 (可支持模式内流间自适应)
模式 4	Closed-loop spatial multiplexing, or Transmit diversity 闭环空分复用或发送分集 (可支持模式内流间自适应)
模式 5	Multi-user MIMO; 多用户 MIMO
模式 6	Closed-loop spatial multiplexing using a single transmission layer; 闭环空分复用 (单流)
模式 7	Single-antenna port; port 5; 单天线端口 (端口 5), 可支持单流波束赋形
模式 8	Dual layer transmission; port 7 and 8 or single-antenna port; port 7 or 8; 双流波束赋形 (端口 7 和 8, 或端口 7 或 8), 可支持模式内流间自适应

在实际应用中，不同的天线技术互为补充，应当根据实际信道的变化灵活运用。在 TD-LTE 系统中，这种发射技术的转换可以通过传输模式(内/间)切换组合实现。

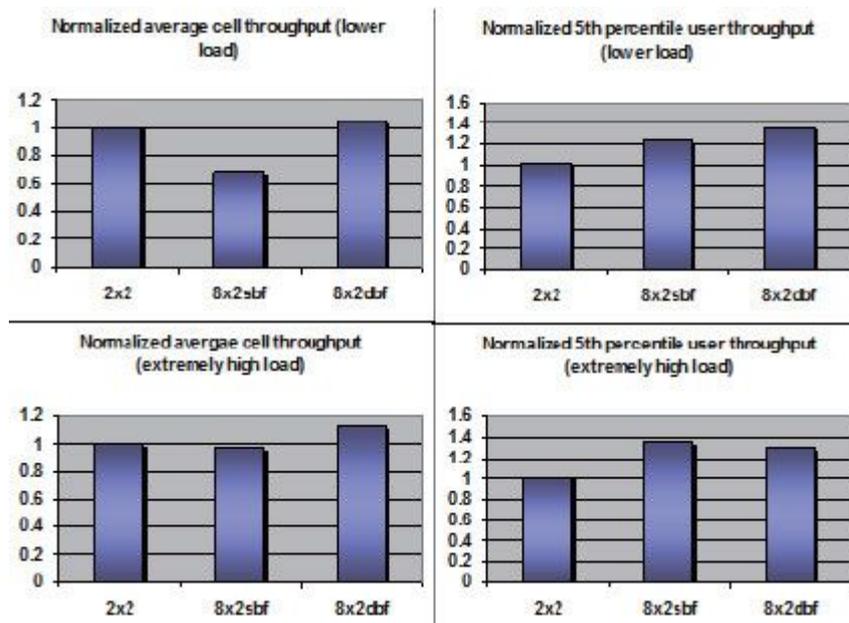
上行目前主流终端芯片设计仍然以单天线发射为主，对 eNB 多天线接收方式 3GPP 标准没有明确要求。

多天线性能分析

针对以上多天线技术的特点及适用场景，目前中国市场 TD-LTE 主要考虑两种天线配置：8 天线波束赋形(单流/双流)和 2 天线 MIMO(空分复用/发送分集)。

下行业务信道性能

下图是爱立信对上述传输模式的前期仿真结果：



在下行链路中，2、8 天线的业务信道在特定传输模式下性能比较归纳如下：

- 8X2 单流波束赋型(sbf)在小区边缘的覆盖效果(边缘用户速率)好于 2X2 空分复用，但小区平均吞吐速率要低于 2X2 MIMO 场景。

- 8X2 双流波束赋型(dbf)的边界速率要略好于 2X2 天线空分复用。对于小区平均吞吐速率，在正常负荷条件下，二者性能相当。在高系统负荷条件下，8X2 双流波束赋型(dbf)增益较为明显。

在实际深圳外场测试中，测试场景为典型公路环境。虽然站间距与城区环境相同，但无线传播条件更接近于郊区的特点，即空旷环境较多，信道相关性较强，有利于 8 天线波束赋形技术。对固定模式的测试结果与上述仿真结果基本一致；引入模式内/间切换后 8 天线在小区中心采用模式 3，边缘则为模式 7，因此在小区边缘优于 2 天线，小区中心相当，小区平均速率较好于 2 天线。值得注意的是，采用模式 7 的比例仅有 20%左右，大多数场景采用的是模式 3，即与 2 天线差别不大。

下行控制信道及覆盖能力

对于 8 天线广播信道，由于要实现全小区覆盖，波束赋形技术在业务信道的增益不复存在。通常采用引入广播权值静态赋形 (65o) 的方式发送。根据不同天线厂家提供的广播信道的赋形权值，其广播信道的发射功率只有总的可用功率的 60%左右。因此，静态赋形的方式将导致广播信道覆盖比 2 天线方案差，特别是在小区边缘广播信道功率有很大损失。

针对这些问题，爱立信提出了无功率损失的增强型公共信道发送方案，有效克服了静态赋形的功率损失问题，提升广播信道的覆盖。使得 8 天线公共信道获得与 2 天线相当的覆盖能力。在深圳外场测试中，我们看到类似的现象。下图是用扫频仪在相同环境中测得的结果。从图中可以看到，2 天线系统中的 RSRP 覆盖效果与 8 天线的覆盖相比主瓣方向略强，但基本相当。



(8天线RSRP覆盖效果)



(2天线RSRP覆盖效果)

上行天线接收分集增益

上行接收方面，理论上当8天线的单元天线增益与2天线的增益相同时，会有6dB 的接收分集增益。而实际系统中，在天线长度相当时，2天线的增益往往高于相同高度的8天线的单元天线增益1.5-2.5dB左右。

例如，在进行中的TD-LTE 试验网中，选用了2天线和8天线(FAD)天线方案。在同为140cm 长度的条件下，8天线(FAD)的单元天线的增益为16-17dBi，而国际上在LTE-FDD/TD-LTE 广泛应用的凯士林(Kathrein)和安德鲁(Andrew)的2天线增益均可以达到18.5dB 以上。

这一差异也反映在目前的一些工程设计实践中，例如在网络设计中将2天线的增益设定为18dBi，而8天线的单元有效增益设定为14.5 dBi。因此，实际网络中的8天线接收和2天线接收的差异应当为3dB左右。

多天线应用场景

波束赋型在业务信道功率受限时，可以提高网络边界的下行和上行速率，适用于有视距传输 (LOS)、强相关的环境，例如郊区、乡村等以覆盖为目的的环境。在城区和密集城区 (站间距大约 200 到 500 米左右时)，无线传播环境复杂，杂散严重，以 NLOS 为主，信道相关性大大降低，此时下行波束赋型的效果大打折扣，而空分复用在该场景下有很大优势 (2、8 天线的空分复用无大差异)。

在规划网络覆盖时，往往以小区边界速率为设计目标。在上行边缘速率要求较高时，网络中通常是上行业务信道受限。然而在实际网络中，小区覆盖半径由终端最终是否移出服务区来判定，此时的决定因素并非是业务信道的速率而是广播信道的覆盖。具体来看：

- 当上行业务信道为受限因素 (例如边缘速率要求很高) 时，8 天线方案的覆盖范围要大于 2 天线

- 当上行业务信道不构成限制而以终端是否出服务区作为覆盖范围的判决依据时 (这往往是更为常见的情况)，由于前面提到的 8 天线在广播信道的短板，使得 8 天线的覆盖范围有可能小于 2 天线。

由此可知，8 天线方案虽然能够提升上下行的业务信道性能，但固有的广播信道的短板使得工程实践中可能无法达到扩大覆盖，减少站点的目的。

国际商用情况及未来的演进

8 天线虽然在边缘速率等方面性能优于 2 天线，但在实际应用中，具体效果还受天线的校准精度、天线性能 (随时间) 恶化等因素影响有所缩小。工程安装实施方面，8 天线的天面要求较高，建站方案更为复杂，需兼顾承重、风荷、共天线等因素。这将导致站点成本显著增加。另外故障隐患的激增，以及耗电的增加 (如采用 8 通道 RRU)，都将直接提升 OPEX。

迄今为止，全球已商用的 LTE 网络多采用 2 天线部署 (空分复用/发送分集)，主要原因是 2 天线方案技术和产业链更为成熟，运维成本低。其稳定优良的性能在广泛的商用中得到验证。而 8 天线方案目前商用 LTE 网络中还没有可借鉴的成功经验。

小结

综上所述，技术上波束赋形和空分复用各有所长。8 天线由于采用了模式 3/7 自适应，相对 2 天线业务信道主要在小区边缘更有优势。由于 8 天线传输控制信道的短板，使得 8 天线的控制信道覆盖略逊于 2 天线，由此可能导致 8 天线覆盖增益的不确定性。

在城区及密集城区等典型 LTE 覆盖场景中，2、8 天线的性能差异并不明显；而 2 天线天面要求低，馈线少，易于安装，因此建议采用 2 天线的方案。在郊区等以覆盖为主要目的的场景，8 天线在业务信道的优势得以发挥。因此针对不同场景，可对 2、8 天线进行灵活部署，互相补充。

受天面制约(在相同天线长度的条件下)，8 天线的单元天线的增益较 2 天线增益低 1.5-2.5dB。工程实践中，通常将 8 天线单元增益设为 14.5dBi，而 2 天线增益设为 18dBi。因此，8 天线相对于 2 天线的实际增益优势约为 3dB，而非 6dB。

考虑到站点方案、运维复杂度，产业链成熟度以及 CAPEX/OPEX 等因素，全球 LTE 商用网络目前广泛采用 2 天线方案。