

# MIMO波束赋形及其对TD-LTE测试的影响

## MIMO Beamforming and Its Impact on Testing TD-LTE

作者：Kang Chen Spirent Communications 公司

**在**概念层面上，TD-LTE 很容易理解，它只是在时域而非频域中复用上行和下行链路的 LTE。其结果便是在单个频段中实现 LTE 系统，而非基于 FDD 的 LTE 所必须的双频段。TD-LTE 最直接，也是最明显的后果是，不具备双频段的 LTE 运营商也将能够部署 LTE。具体而言，它为 WiMAX 和 TD-SCDMA 牌照提供了一个开展 LTE 部署的途径。

另外一项无线领域的创新也解决了整个行业所面临的一项问题：多路输入多路输出 (MIMO) 天线技术提供了更快的数据速率和更大的系统容量，而且无需在时域或频域中投入任何资源。在一个  $m \times n$  MIMO 系统中 (即使用  $m$  个发射天线组件和  $n$  个接收天线组件)，理论最大数据速率只会受到  $\{m, n\}$  值中较小值的影响。然而，发射组件数量增大时可以改善系统信噪比，从而改善系统的覆盖范围和质量，因此对  $8 \times n$  MIMO 系统的研究也呈现出增长的趋势。在此类基站中，每个基站都配备有 8 个天线组件。

但多天线技术与基于时域的上行 / 下行链路复用技术的联姻产生了一种有趣而又有用的特性：由于上行和下行链路共用一个频段，对上行信道的估计可用于对下行信道特性进行合理的假设。TD-LTE 上行和下行链路被认为具有“特性相同”的特点。

这种信道互易性为改善覆盖能力和系统质量提供了一种途径：MIMO 波束赋形。尽管 MIMO 波束赋形并非 TD-LTE 所特有，但

单个上行 / 下行链路频率中的信道互易性带来了一系列的优势，使波束赋形在 TD-LTE 部署中变得极具吸引力。

### 波束赋形基础知识

“波束赋形”一词有时会被滥用，从而引起混淆。从技术上来说，波束赋形和波束导向一样简单，即两个或更多的天线以受控的延迟或相位偏移来发射信号，从而创造出定向的建设性干涉波瓣 (图 1 所示)。

TD-LTE 系统中所用的波束赋形是一个相对更加复杂的命题，部分原因是终端设备具有移动的特性。一种称为 Eigen 波束赋形的技术会使用关于 RF 信道的信息从统计上对发射天线组件的幅度和相位参数进行加权判断。虽然 Eigen 波束赋形并非计算最密集的波束赋形类型 (还有一种称为最大比率发送的方法也会执行相同类型的权重判断，但只针对每个子载波)，但当它被用于组件数较高的  $8 \times n$  MIMO 系统时，无论是在实施中，还是在系统开发的验证阶段中，都将是一个极具挑战性的命题。

### TD-LTE与 $8 \times n$ MIMO

多数计划中的 TD-LTE 部署都是围绕 8 个天线组件的发射天线而设计的。在这些系统中，四个有一定距离间隔的天线组件被物理指向某个角度。另外四个组件的布置方式是，每个都分别与前四个天线组件同轴，而且后四个天线组件中每一个都指向其各自的

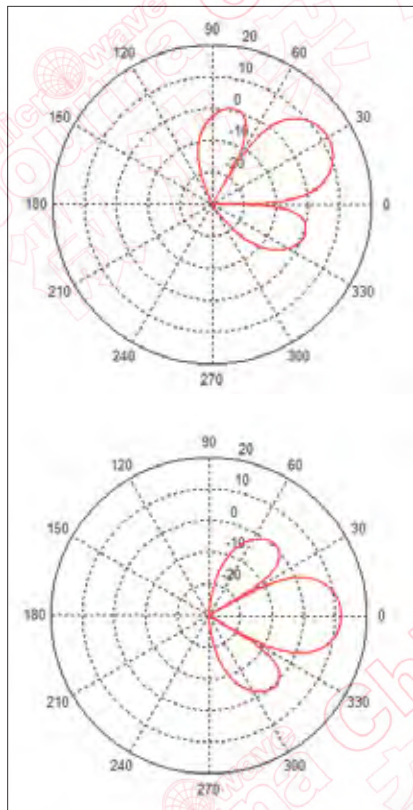


图 1. 简单波束导向创建的波瓣。

配对组件 (图 2 所示)。

由四个方向类似的组件组成的每一组都形成了一个可以瞄准某个特定方向的波束。这四个无线电链路之间的关联程度很高，而两个垂直极化波束则显示出较低程度的相互关联，形成类似  $2 \times n$  MIMO 的系统，因此也就可以发射多层或多个数据流。因此，这样的系统在实现 MIMO 系统数据速率最大化优势的同时，还可充分发挥波束赋形优化特定方向信号强度。这种系统通常被称为双层波束赋形系统，其中的每一层都可以代表一个独立的数据流。

双层 MIMO 波束赋形系统既可用于单用户 MIMO 系统 (SU-MIMO)，即两个数据流都被分配给单个用户终端，也可以用作多用户 (MU-MIMO) 系统，即个数据流均被分配给不同的用户终端。这样为网络运营商提供巨

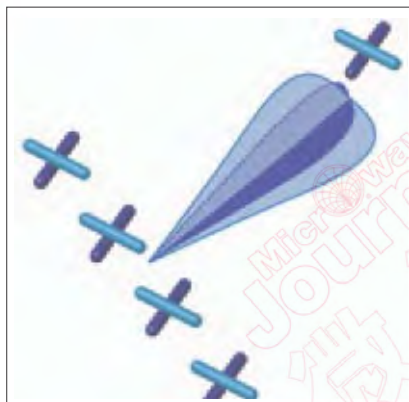


图 2. 一个  $8 \times 2$  波束赋形系统创造出的垂直极化波束。

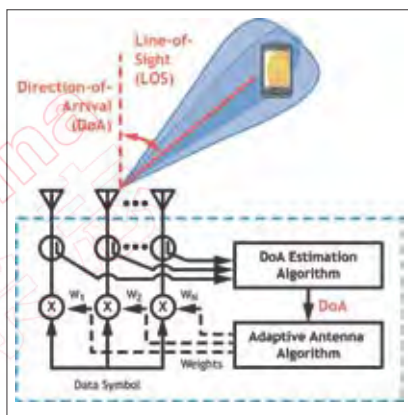


图 3. 自适应式波束赋形系统。

大的灵活性，使之能够选择性地部署覆盖能力最大的系统，或者是单个用户数据吞吐量最大的系统。

### 波束赋形工作原理

在任何一种波束赋形系统中，系统都必须能够估计目标用户终端的方向。在 FDD 系统中，这是用户终端以预编码矩阵指标 (PMI) 的形式进行反馈的功能，而 TD-LTE 的信道互易性取消了这一要求。在 TD-LTE 系统中，用户终端会向基站发送一个信道报告信号，基站通过检查相同极化天线之间的相对相位差，能估计出用户终端的到达方向 (DoA)。需要注意的是，尽管这种估计是在上行链路中执行的，基站仍可利用信道互易性，根据对上行链路的估计在下行链路中

执行发送任务。

接下来，根据估计出的 DoA，基站会动态调整天线阵列中每个组件的“天线权重” (相对幅度和相位)，将波束引向所期望的用户，并且 / 或者将零信号引导至不需要干涉所在的方向。图 3 显示的便是这一基本概念。

上面的场景事实上只是简单的波束导向。Eigen 波束赋形会加入一些智能处理，但其期望的基本效果是相同的：系统会利用互易性对下行信道的参数做出估计并据此调整天线权重。

### 测试波束赋形

在实验室中创建真实 MIMO 测试平台时可能遇到各种挑战，而其中很多都已在过去被人们发现并得到了解决。由于波束和 MIMO 链路组件的空间特性，在实验室中进行的测试必须实施正确的极化和真实的天线方向图才能创造出有效的测试环境。

TD-LTE 则增加了超出简单 MIMO 测试的更多要求：上行和下行链路必须在衰退和传输功能特性方面表现出互易性。在测试实验室中，这并不像看起来那么简单。现代信道仿真器必须由单向 RF 信道组成。要想精确仿真互易信道，就需要在产生同步的、精确重复衰退方面下大量的功夫。在多数测试中表现良好的信道仿真器并不一定适用于 TD-LTE 测试，除非它能够在上行和下行链路中生成几乎完全相同的信道条件。

另外一个关键的关注领域就是相位精度和校准。近几个月中，人们在这个看似神秘的话题方面做了很多的工作，在基于实验室的最新型 RF 信道仿真技术取得了新的进展。在实践中，相位校准会受下列因素的影响：

- 调整信道功率水平
- 调整信噪比

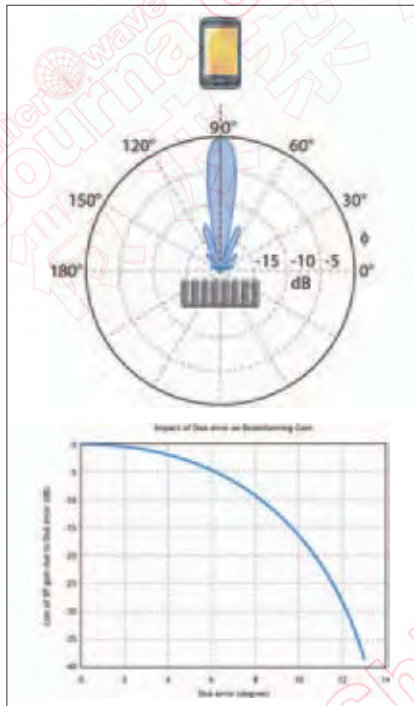


图 4. 相位错误及其对波束赋形增益的影响 (8 天线线性阵列)。

- 改变信道模型
- 调整频率
- 断电重启

尽管 SISO 和非波束赋形 MIMO 系统对于这些过程造成的轻微相位偏移并不敏感，但 MIMO 波束赋形对与相位有关的精度不良现象尤为敏感。

图 4 显示的是一个 DoA 错误为  $\epsilon$  度的典型 8 天线统一线性阵列的辐射模式。8 度的错误会导致波束赋形增益出现 10 dB 的损失，而当错误达到 14 度时，整个链路都将损失殆尽。

因此，要想对 MIMO 波束赋形进行精确的测试，就必须对系统执行定期的相位校准。虽然也可对用于测试 MIMO 波束赋形的信道仿真系统进行手动相位校准，但用户在

这种校准中所花的时间可能为测试所需时间的 5~8 倍。更重要的是，手动相位校准需要断开并重新连接多个 RF 连接器，这将会对系统的长期稳定性产生不利影响。

解决的办法就是自动化相位校准，将该能力和动态环境以及几何信道模型作为现代信道仿真器的“必备”能力。先进的信道仿真系统现在已经能够提供自动化的相位校准而无需手动干预，这在很大程度应归功于原型  $8 \times n$  MIMO 波束赋形系统基础研究方面的进步。在一个自动化相位校准系统中，只需一个按键或轻点鼠标，就可以准确地调整系统所用每个无线电链路的相位精度，而且无需断开电缆。更重要的是，这种作法将有效确保测试结果的有效性和精确度。

# 庆祝罗杰斯苏州先进线路板材料工厂开工一周年

## RO4000®系列高频线路板材料

实现卓越高频性能，  
并同时降低加工成本。

- 易于加工
- 无铅工艺
- 无起泡、无分层
- 低损耗

若需了解更多信息，请访问我们的官方网站。  
[www.rogerscorp.cn.com](http://www.rogerscorp.cn.com)



观看开工典礼视频，敬请访问：  
[www.rogerscorp.com/acm/suzhou](http://www.rogerscorp.com/acm/suzhou)

电话: +86-21-62176599  
传真: +86-21-62677913