

# TD-SCDMA 智能天线系统的特点及测试

摘自 2007-04-05 电信科学 作者：饶毅 李克

## 1、智能天线的原理

[智能天线](#)通常被定义为一种安装于移动无线接入系统基站侧的天线阵列，通过一组带有可编程电子相位关系的固定天线单元，获取基站和移动台之间各个链路的方向特性。其原理是将无线电信号导向具体的方向，产生空间定向波束，使天线主波束对准用户信号到达方向（direction of arrival, DOA），旁瓣或零陷对准干扰信号到达方向，达到高效利用移动用户信号并消除或抑制干扰信号的目的。同时，智能天线技术利用各个移动用户间信号空间特征差异，通过阵列天线技术在同一信道上接收和发射多个移动用户信号而不发生相互干扰，使无线电频谱的利用和信号的传输更为有效。

在 TD-SCDMA 系统中智能天线基本思想是：天线以多个高增益窄波束动态地跟踪多个期望用户，接收模式下，来自窄波束之外的信号被抑制，发射模式下，能使期望用户接收的信号功率最大，同时使窄波束照射范围以外的非期望用户受到的干扰最小。智能天线是利用用户空间位置的不同来区分用户，在相同时隙、相同频率或相同地址码的情况下。仍然可以根据信号不同的空间传播路径来区分。

[TD-SCDMA](#)由于上下行无线链路使用同一载频，无线传播特性近似相同，能够很好地支持智能天线技术，智能天线的使用增加了 TD-SCDMA 无线接口的容量。

TD-SCDMA 智能天线主要实现 2 种波束：广播波束和业务波束。广播波束是在广播时隙形成，实现对整个小区的广播，所以要求波束宽度很宽，尽量做到小区无缝隙覆盖。业务波束是在建立具体的通话链路后形成，也就是形成跟踪波束，它会针对每一个用户形成一个很窄的波束，这些波束会紧紧地跟踪用户。由于波束很窄，能量比较集中。在相同功率情况下，智能天线能将有用信号强度增加，同时减小对其他方向用户的干扰，由于智能天线能很好地集中信号，所以发射机可以适当地减小发射功率。

## 2、智能天线阵的物理特性和波束赋形

常见的智能天线阵列一般分为 360° 全向阵列和 120° 平面扇区阵列。全向天线阵主要适用于用户密度较低的农村地区和偏远山区，可作 360° 全向小区覆盖。平面天线阵主要覆盖 120° 的扇形区域。通常一个三扇区基站便可以覆盖 360° 范围。平面天线阵由于具有较好的波束赋形性能，能够形成更窄的波瓣宽度，具有更强的旁瓣抑制能力并提供更高的赋形增益，所以成为目前 TD-SCDMA 智能天线的主流，应用于用户密集的广大城区环境的覆盖。

智能天线阵的阵元个数通常为 4-16 个。目前系统中用得比较多的是 8 个阵元振子构成的天线阵。天线阵元数越多，其增益越高，波束赋形的能力亦越强，

但同时造价和实现的复杂度也会大大增加。在将来，估计 4 阵元的智能天线也会逐渐投入应用，可以在降低系统实现成本的基础上提供更为经济的选择。当然。具体应用需要同时考虑经济性与性能之间的平衡。

智能天线每个天线阵元物理特性完全一样，因而单天线波瓣图具有非常相似的特征。多个天线阵元以一定的间距（通常为  $1/2\lambda$ ）排列成天线阵列。再通过算法对各个天线阵元的信号（包括振幅和相位）进行控制，最终形成具有方向性的下行波束。

图 1、图 2 是 8 阵元全向智能天线单个阵元在垂直和水平方向的波瓣。

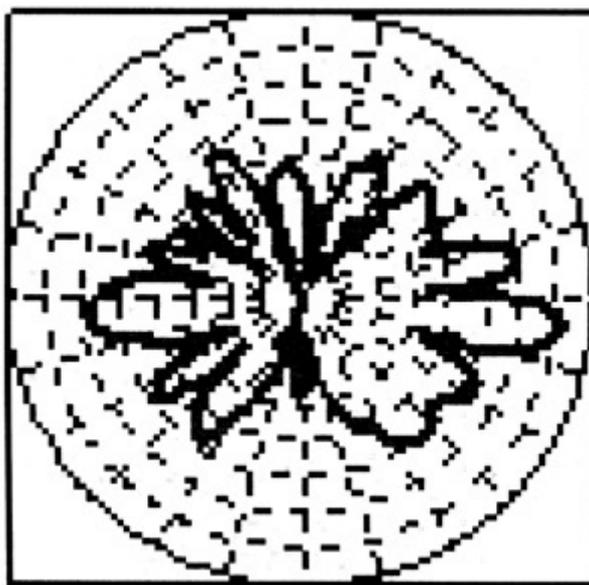


图 1 单天线垂直方向

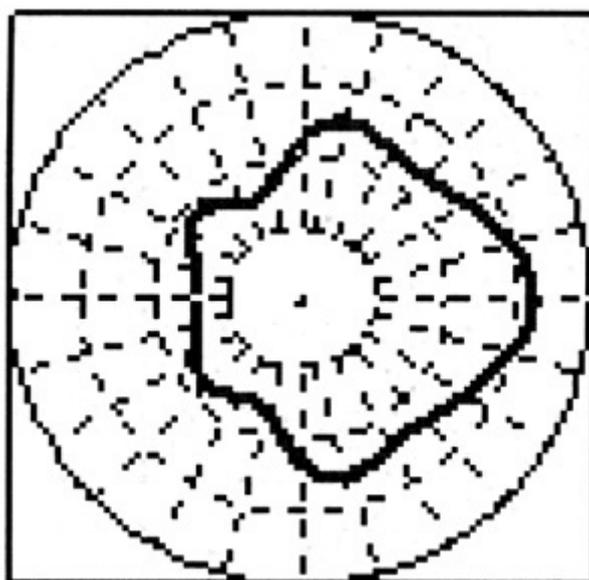


图 2 单天线水平方向

从图 1、图 2 可以看出。全向智能天线的单天线阵元不管是垂直方向还是水平方向，在基本物理特性上仍然有较为明显的方向特性。多个单天线阵元环形排列成圆阵后，其实际波束将由各天线阵元不同权重因子的激励信号来决定。

图 3、图 4 是 2 种典型的全向智能天线阵波束赋形。

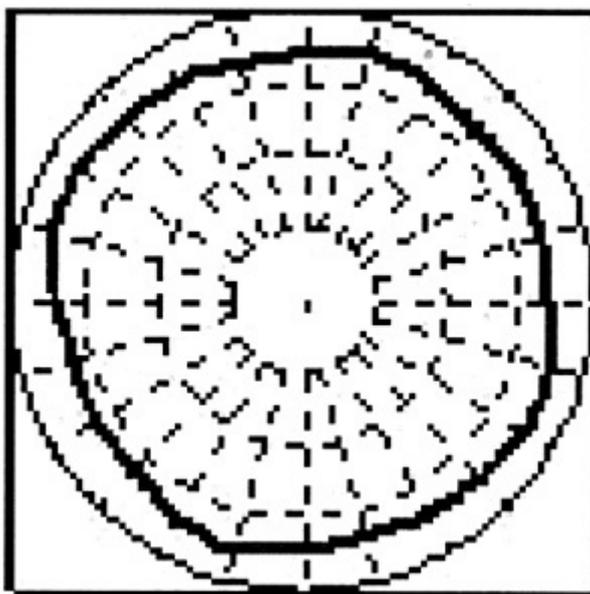


图 3 全向阵广播波束

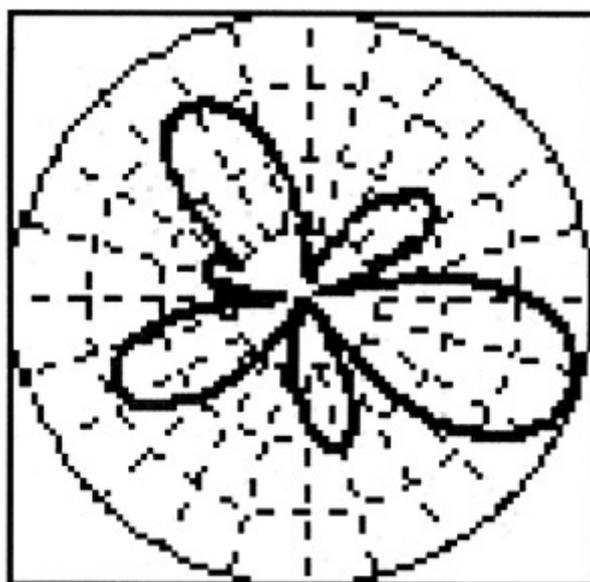


图 4 全向阵业务波束

从图 3、图 4 可以看出，一定方向性的单阵元天线在组成阵列后，可以形成类似于圆形的全向广播波束，也可以形成指向性很明显的业务波束。全向波束面向全小区所用用户，主要用于公用信道（PCCPCH，SCCPCH，PICH，FPACH 等）作系统广播。而指向性波束承载业务信道（DPCH）主要对指定用户方向进行业务波束赋形，减少对其他方向用户的干扰。

8 阵元智能天线平面阵是由 8 个相隔一定间距的天线阵元依次排列而形成的直线阵列。通常天线校准口位于阵列正中，即第 4 和第 5 个阵元之间。各单天线阵元除位置不同外，仍和全向天线一样，具有完全相同的物理特性。平面智能天线阵列的赋形特性较全向天线阵有较大不同。

对于广播波束，需要考虑对于整个  $120^\circ$  小区的均匀覆盖。在实际布网时。小区的覆盖范围将主要取决于广播波束的覆盖，所以对于广播波束的设计可以接近小区理想的蜂窝六边形。

对于业务波束，虽然在不同角度上智能天线物理赋形特性不尽相同，但总体上看，赋形增益将高于广播波束增益。更为重要的是波束宽度大大减小，从而抑制了对其他用户的干扰。在业务波束中，通常与法线夹角为  $0^\circ$  方向的波束具有最大的赋形增益和最窄的波瓣宽度。

### 3、智能天线算法的实现

智能天线算法主要分为切换波束算法和自适应算法。在 TD-SCDMA 系统中，2 种算法都有应用。TD-SCDMA 通过采用波束赋形算法，形成空间定向波束，使天线阵列方向图主瓣对准用户信号 DOA，旁瓣或零陷对准干扰信号 DOA，因此能充分利用移动用户信号并抵消或最大程度地抑制干扰信号，从而能更有效地增加系统容量和提高频谱利用率。

目前比较常用的波束赋形算法有 2 种：GOB 算法和 EBB 算法。GOB 算法是一种固定波束扫描的方法，对于固定位置的用户，其波束指向是固定的，波束宽度也随天线阵元数目而确定。当用户在小区中移动时，它通过测向确定用户信号 DOA，然后根据信号 DOA 选取预先设定的波束赋形系数进行加权，将方向图的主瓣指向用户方向，从而提高用户的信噪比。EBB 算法是一种自适应的波束赋形算法，方向图没有固定的形状，随着信号及干扰而变化。其原则是使期望用户接收功率最大的同时，还要满足对其他用户干扰最小。

自适应算法与切换波束算法相比较，在很多方面诸如：最大化期望用户接收功率、减少对非期望用户的发射功率以及灵活适应各种不同天线阵列类型更有优势。同时，自适应算法在波束产生上并不拘于固定方向和形状，因而更加灵活并且可以更准确地对用户所在实际位置进行赋形。在多径环境下，指向用户的波束也可能会有多个，其根本目标是提高期望用户的载干比并避免对其他用户形成干扰。综合来看，自适应算法将会是智能天线波束赋形算法发展的方向。

### 4、TD-SCDMA 智能天线的现场测试要点

对于智能天线的性能测试，首先需要对智能天线阵物理性能进行测试。这类测试需要建立专门的电磁测试环境，在暗室（anechoic chamber）内进行。智能天线的物理性能测试一般会由专业的智能天线制造厂家在专门的测试平台上进行，其相关技术测试数据对智能天线在 TD-SCDMA 系统中的设计与实现非常重要。

对于智能天线在 TD-SCDMA 系统中的测试流程，在室内部分通常分为在实验室的白箱测试、黑箱测试以及系统集成测试，其主要目的是对算法实现与软硬件集成进行功能性验证。而对智能天线在 TD-SCDMA 系统中综合性能的评判，最后还需在外场实际网络中进行。TD-SCDMA 智能天线外场测试主要目的是通过外场实际网络环境，验证智能天线技术在链路性能和网络性能上对 TD-SCDMA 整体网络性能的提升。

从前面理论分析中可以看出，尽管存在不同算法和实现上的差异，但各类智能天线从总体上都具有良好的赋形增益和干扰消除性能。因而在实际的现场测试中，也可以通过合理的测试用例进一步验证智能天线在实际系统中的性能。

一般来讲，现场对智能天线的测试可分为：智能天线通信链路性能测试和智能天线网络性能测试。通信链路性能测试主要关注在单小区情况下，智能天线在 DOA 跟踪、天线上下行增益、干扰消除方面的性能。智能天线网络性能验证，一般需要在 TD-SCDMA 组网的条件下进行。尤其在同频组网条件下，可以充分验证智能天线技术、动态信道分配技术等对于同频网络邻区干扰的抑制作用，并可验证智能天线技术最终转化为对系统的覆盖、容量以及网络质量的提升作用。必须指出，在实际测试中，对于特定的站点环境，并不是所有的测试用例都能够完全适用。这是由于在实际外场情况下，站点周围并不是理想的传播环境。建筑物的阻挡，多径传播与干扰，实际信道环境与理想信道模型的差别，具体站点配置和测试业务配置等，都可能引入一些不确定因素，进而对测试结果造成影响。因此选择合适的测试站点、尽量简化测试配置以及排除不确定的干扰因素可以进一步提高测试的准确性。

在覆盖测试中还需要注意，对于不同的业务，首先必须从链路预算及实测结果中判断业务是受限于上行还是下行，因为这也会影响到最终结论。下面通过几个测试用例及实际测试结果来说明智能天线在现场测试的情况。

#### 4.1 DOA 的跟踪

测试终端在基站周围的移动过程中，智能天线可通过对测试终端上行信号的估计，产生相应的下行波束指向被测用户。在基站侧，专用的监测工具软件可以根据智能天线不同天线单元工作时的权重因子，计算出实际天线生成的波束指向。在终端围绕基站天线移动的情况下，由于权重因子的不断调整 and 变化，波束指向也会随着变化。而实际终端相对于基站在某一时刻的具体位置亦可在测试过程中得知，从而能够判断波束赋形 DOA 跟踪的有效性，

对于多测试终端的情况，基站将分别对每一用户的上行进行估计，并对每一用户产生特定波束。

在某些 DOA 测试用例中，对于基站的 DOA 定位精度可以做更为精确的测试，其思想是通过限定测试终端移动的范围，在移动路线中进行若干定点测试，并提取该时刻对应的基站侧实时天线权重因子，再由该权重因子所激励的天线波束指向与实际终端相对基站位置进行比较。由于扇区天线具有很强的波束赋形效果，包括较窄的主波束宽度和明显的旁瓣抑制能力，所以其 DOA 定位精度更高。

#### 4.2 智能天线波束赋形增益的验证

在业务为下行受限的情况下，通过在基站一侧打开和关闭波束赋形，可以很容易通过测试进一步验证波束赋形增益对业务覆盖的影响。

在基站的上行方向。智能天线自身的增益（多天线接收）并不通过软件开关控制。所以对上行受限的业务测试，可以采用其他方式进行。如通过固定上行的信噪比来比较单天线和 8 天线情况下测试终端发射功率的不同，得出上行接收链路智能天线的增益。这里主要介绍下行受限条件下的测试。由于测试中一般采用单用户语音业务，无论从链路预算结果还是实测结果，在城区环境下都是上行受限。所以在测试开始前，为了简化测试条件，必须通过 OAM 设置，降低基站发射功率，使上行受限转化为下行受限。实际上，也可以通过增加小区用户数和对下行加扰的方式，使上行受限转变成下行受限。

在测试中，系统功率控制会大大影响智能天线测试结果，应该关闭。测试过程选取与线阵天线  $0^\circ$  主波束 ( $-90^\circ \sim +90^\circ$ ) 方向大致相同的路线进行。利用路测工具分别记录在同一路线上测试终端在波束赋形开启和关闭情况下的下行码功率和掉话点，并进行对比。

实测路测数据显示，波束赋形开启业务覆盖可达 1.7km，波束赋形关闭覆盖仅 1km。这说明在同等条件下，波束赋形开启比波信道赋形增益。

#### 4.3 智能天线容错性能测试

不管是全向智能天线还是平面扇区智能天线，由于阵元数量较多，对天线上下行通路性能的实时状态及天线校准（初始校准及周期性校准）指标有严格要求。在实际网络运行中，有可能发生个别天线通路由于硬件或天馈系统损坏而发生故障的情况，所以有必要考虑 8 阵元天线阵工作在少于额定数量阵元时的性能。智能天线必须保证在只有部分通路工作时的性能仍能达到现网运行基本要求，至少不能因为个别天线通路出现故障而严重降低整体系统性能。

对于广播波束来讲，其波束赋形在整个网络运行期间要求保持稳定，因为广播波束覆盖实际反映了整个小区形状与大小。根据网络规划原则，小区的覆盖必须在网络运行中保持稳定。在个别天线通路发生故障时，智能天线系统需要根据故障情况动态调整各工作天线的广播权重因子。保证小区形状和大小不发生过度畸变并对故障通路做定期检测。在广播波束的系统设计中，需要根据具体的某个天线通路发生的问题进行实时检测，设计并存储用于容错判决的相关数据并能根据情况正确做出应对。

对业务波束来讲，如果采用自适应的 EBB 算法，智能天线能够最大限度根据算法来自动优化下行波束赋形。不受限于天线数目。但由于阵元数量的减少，天线的赋形性能会不同程度地降低。所以在实际运行中，保持天线系统的运行稳定性尤为重要。