

# TD-SCDMA

## 智能天线系统原理、实现 及现场测试方案浅析（上）

鼎桥通信技术有限公司 李克 饶毅

### 摘要

简要介绍了智能天线原理在 TD-SCDMA 系统中的实现情况，并结合智能天线物理特性，TD-SCDMA 智能天线相关仿真数据和几个典型现场测试用例，对 TD-SCDMA 系统智能天线技术的原理、实现及功能验证进行了分析。

## 0 引言

随着 TD-SCDMA 产业化进程的深入发展，不论是网络系统还是终端设备，TD-SCDMA 各项技术正在经历着从实验室的功能验证到大规模现场网络性能验证的新阶段。作为我国自主知识产权的 3G 系统，TD-SCDMA 各项系统性能指标目前已经达到或者正在逐步达到真实商用 3G 网络的要求。而 TD-SCDMA 作为唯一的一种采用 TDD（时分双工）模式和智能天线技术的公众陆地移动通信系统，其关键技术包括联合检测、智能天线、上行同步、动态信道分配等，也已经完成了从功能到性能的飞跃，并开始在现场网络运行中得到越来越充分的验证。

TD-SCDMA 智能天线技术，最初应用于雷达、声纳等军事通信领域，主要实现空间滤波和定位。短短几年时间，智能天线已经完成了从军用到民用的转变，并成为 TD-SCDMA 最为核心的关键技术之一。智能天线的产业

化进程，实际也可以看成是 TD-SCDMA 产业化进程的一个缩影。可以预见，智能天线技术将持续成为 TD-SCDMA 的热点技术，对于智能天线的进一步设计优化与大规模现场功能验证，将会越来越得到加强。

## 1 智能天线原理简介

### 1.1 TD-SCDMA 系统中智能天线的原理

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，可以获取基站和移动台之间各个链路的方向特性。其原理是将无线电的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 DOA(Direction of Arrival)，旁瓣或零陷对准干扰信号到达方向，达到充分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

征的差异，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不同用户，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而区分。

TD-SCDMA 目前已实现的智能天线系统采用了现代数字信号处理技术，并选择合适的自适应算法，动态形成空间定向波束，使天线阵列方向图主瓣对准用户信号到达方向，旁瓣或零陷对准干扰信号到达方向，从而达到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的目的。基站会在整个小区内跟踪终端的移动，这样终端得到的信噪比可有极大的改善，从而优化了链路预算，干扰减小后频谱利用率也就提高了。

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。TDD（时分双工）技术中智能天线的使用增加了 TD-SCDMA 无线接口的容量。

TD-SCDMA 智能天线要实现两种波束，一种是广播波束，一种是业务波束。广播波束是在广播时隙形成，要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，此时它会针对每一个用户形成一个很窄的波束，而且这些波束会紧紧地跟踪用户。由于波束很窄，能量比较集中，在相同的功率的情况下，智能天线能将有用信号强度增加，同时减小对其它方向用户的干扰，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。可见智能天线是名副其实的“绿色天线”。

## 1.2 TD-SCDMA 系统中采用智能天线的目的

在 TD-SCDMA 中采用智能天线主要有以下目的：

(1) 干扰抑制，采用数字信号处理技术判断用户信号到达方向并在此方向形成主波束，根据用户信号不同空间传输方向提供不同波束，从而有效地抑制干扰。

(2) 提高频谱效率，使主瓣自适应地指向移动台，可提高信号的载干比、降低发射功率，这种特性允许更密集的频率复用，使频谱效率得以显著的提高。

(3) 减少基站数量，增加无线覆盖范围。通过智能天线获得较高的频谱利用率，使得高业务密度城市和城区所要求的基站数量变得较低，在业务量稀少的乡村，智能天线的方向性可使无线覆盖范围增加。

(4) 提高定位精度，每一个移动用户都有自己的波束，使得系统可以估计出用户方位，并结合 TA 进行更精确的定位。

## 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度全向阵列和120度平面扇区阵列。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度全向小区覆盖。平面天线阵主要覆盖120度的扇形区域，通常一个三扇区基站便可以覆盖360度范围。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，所以将成为目前 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。

智能天线阵不管是圆阵还是扇区阵，其天线阵元通常可以有4到16个。目前在各系统中用得比较多的是八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使用，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表示某型八阵元全向智能天线单个阵元在垂直和水平方向的波瓣示意图。

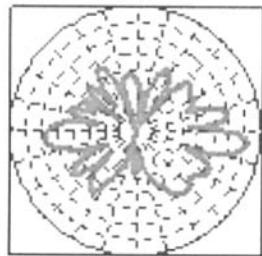


图1 单天线垂直向

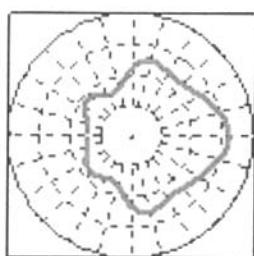


图2 单天线水平向

从图例可以看出，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具有不同权重因子的激励信号来决定。图3、图4是两种典型的全向智能天线阵波束赋形图。

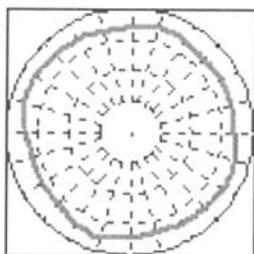


图3 全向阵广播波束

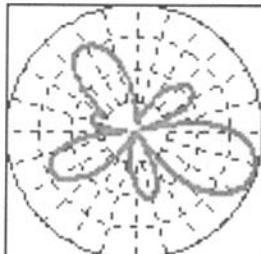


图4 全向阵业务波束

从上面图例可以看出，具有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有用户，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，同时减少对其他方向用户的干扰。

八阵元智能天线平面阵是由八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，即第四和第五个阵元之间。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。图5、图6是某型号平面智能天线单阵元的垂直和平面波瓣示意图。



图5 单阵元垂直波瓣

图6 单阵元水平波瓣

从图例中可以看出，平面智能天线单阵元的水平波瓣在120度的范围内覆盖较为均匀。平面智能天线阵的赋形特性较全向天线阵有较大不同。这里需要注意的是，对于平面阵，由天线阵列物理特性决定在不同法线夹角方向上，波束赋形在增益、主波瓣形状及宽度、旁瓣个数等方面可能并不相同。同时，还需考虑用作广播信道波束的特殊赋形。图7、图8、图9分别是平面智能天线阵广播波束和不同角度业务波束的赋形示意图。

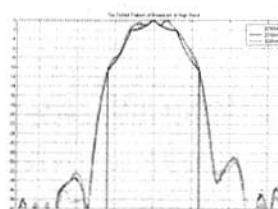


图7 广播波束赋形

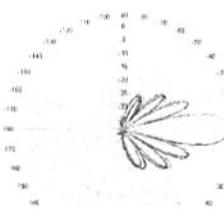


图8 0度业务波束赋形

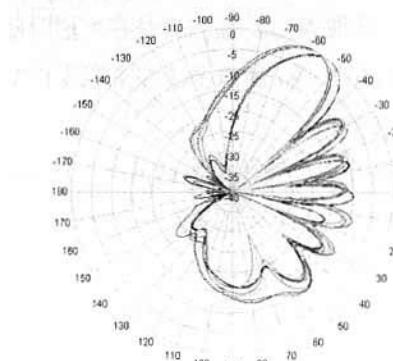


图9 60度业务波束赋形

对于广播波束，需要考虑对于整个120度小区的均匀覆盖。在实际布网时，小区的覆盖范围将主要决定于广播

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形六边形状。

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，从而抑制了对于其它用户的干扰。在业务波束中，通常与法线夹角为0度方向的波束具有最大的赋形增益和最窄的波瓣宽度。

### 3 智能天线算法实现简介

智能天线算法主要分为切换波束算法和自适应算法两大类。在TD-SCDMA系统当中，两种算法都有应用。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到达方向，旁瓣或零陷对准干扰信号到达方向，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。

不同用户信号经过不同的空间信道到达基站天线阵列，基站对每根天线的信号进行信道估计，各个天线的信道估计值构成信道估计矩阵：

$$\mathbf{H}^{(k)}(n) = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_1^{(k)} \\ \mathbf{h}_2^{(k)} \\ \vdots \\ \mathbf{h}_M^{(k)} \end{bmatrix},$$

其中， $\mathbf{h}_j^{(k)}$ 表示第k用户在第j个天线上的信道估计。

通过各用户的信道估计矩阵，可以计算出该用户的空间相关矩阵：

$$\mathbf{R}_{HH}^{(k)} = E\{\mathbf{H}^{(k)}(n)\mathbf{H}^{(k)}(n)^T\}.$$

该空间相关矩阵中包含了用户的空间位置等信息，因此可以通过波束赋形算法，从中计算出对该用户的下行波束赋形系数。目前比较常用的波束赋形算法有两种：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，其波束的指向是固定的，波束宽度也随天线元数目而确定。当用户在小区中移动时，它通过测向确定用户信号的到达方向(DOA)，然后根据信号的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，其方向图没有固定的形状，随着信号及干扰而变化。其原则是在使期望用户接收功率最大的同时，还要满足对其他用户的干扰最小。

自适应算法与切换波束算法比较，在很多方面，诸如在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等方面更有优势。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，其根本目标仍是提高期望用户的载干比并避免对其它用户形成干扰。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。

(未完待续)

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>

---



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>