

TD-LTE 智能天线性能分析和应用研究

□ 王浩年 符新 周巍 姜文博 辽宁邮电规划设计有限公司

【摘要】 智能天线是一种安装在基站现场的双向天线，通过一组带有可编程电子相位关系的固定天线单元获取方向性，并可以同时获取基站和移动台之间各个链路的方向特性。TD-SCDMA最大的优势是把相控阵雷达天线的原理搬到蜂窝移动通信的智能天线上来，过去2G、3G天线大多采用单频道的天线，本文研究的LTE只能天线是一种多阵列、紧凑型、双极化的天线，因此，充分利用多阵列的特点就可以打造更好的网络。一个蜂窝电话有三个扇区，一个扇区覆盖120度，两个扇区之间重叠是弱信号区，要改善这一区域是非常困难的，作为2G或3G天线，不同的场合要用不同度数的天线，更换起来非常麻烦，但是智能天线则不同，它仅有一个天线，在不同的环境、不同的场景中，我们可以通过基站的软件设置、电场设置就可以改变。

【关键词】 智能天线 多阵列 双极化 扇区

一、概述

随着技术的发展，智能天线在TD-LTE系统中的应用得到了越来越多的关注^[1]。智能天线的性能和其他关键技术的结合、兼容性以及带来的问题等都成为研究热点。智能天线采用空分多址方式进行空间信号处理技术，利用在信号传播方向上的差别，将同频率、同时隙的用户区分开来，它的基础是用户信号的空间特征。将其和其他多址技术结合，可以最大限度地利用有限的频谱资源。另外在移动通信中，由于复杂的地形、建筑物结构对电波传播的影响，大量用户间的相互影响，产生时延扩散、衰落、多径、同信道干扰等，使通信质量受到严重的影响。

天线波束下倾是解决上述问题的主要方式，通过改变天线垂直方向图主瓣的指向，使其主瓣指向覆盖小区，零点或者副瓣对准受其干扰的同频小区，这样既改善了小区覆盖范围内的信号强度，又减小了对其他同频小区的干扰，提高了系统的频率复用能力，增加了系统的容量^[2]。智能天线的电调化使得无需机械调节即能达到直接波束下倾的效果，并使天线下倾角调节不仅可以在通信塔现场进行，也可以选择在机房中通过网络远程完成^[3]。因此，电调智能天线使TD-LTE网络优化工作更加快捷和便利。

二、相控阵天线理论

2.1 天线概论

天线的作用是将馈线（电缆、波导等）中的导波场转换成空间辐射场，并接收目标反射的空间回波，将回波能量转换成导波场，由馈线送入接收系统^[4]。评估天线性能的主要参数包括天线辐射方向图、增益、极化、带宽、扫描等。

天线方向图 $F(e, \theta)$ 给出了天线远场功率密度随角度的变化。天线方向图根据主瓣形状分为全向波束、笔形波束、扇形波束和赋形波束四大类。通信天线中圆阵天线所形成的即为全向波束，面阵天线业务波束为笔形波束，广播波束为扇形波束，俯仰面为上零点填充下副瓣抑制为赋形波束。从天线辐射方向图我们可以得到天线主瓣半功率波束宽度HPBW、副瓣SLL、波束指向等体现天线性能的几项主要参数^[5]。

天线增益 G 是天线最重要的参数，体现了天线将辐射能

量集中照射在某个方向的能力。增益与天线的口径面积成正比，与工作波长的平方成反比。在工作频率一定的情况下，天线的口径尺寸越大，天线的增益越高；同样，在口径尺寸一定时，工作频率越高，天线增益越高。

天线的极化方向定义为电场矢量的方向。如果电场矢量沿直线往返运动，就是线极化，线极化又分为水平线极化和垂直线极化。如果电场矢量的长度恒定而绕圆圈旋转，就是圆极化。如果波朝观察者方向行进且顺时针旋转，则为左旋圆极化；如果是逆时针旋转，则为右旋圆极化。椭圆极化可以看成不完全的圆极化，其电场矢量的运行轨迹是椭圆。根据互易定理，天线的发射和接收必须极化匹配。极化的纯度也是天线设计过程中必须考虑的，例如水平极化天线也会在某些方向产生少量与之正交的垂直极化，在此我们将所需要的水平极化称之为为主极化，不希望的垂直极化称之为交叉极化。交叉极化会引起杂波、干扰等问题，需要在设计过程中进行控制。

2.2 阵列天线

阵列天线是一类由不少于两个天线单元规则或随机排列并通过适当激励获得预定辐射特性的特殊天线。组成阵列的可以是线元、口径面元、微带贴片等各种形式的辐射单元。阵列规模可以是几个甚至几十万个辐射单元。人们可以通过选择和优化辐射单元的结构形状、排列方式和馈电幅相得到单个天线难以提供的优异辐射特性。阵列天线是相控阵天线的基础^[6]。

图2.1给出两个间距为 s ，等幅同相激励的各向同性单元。输入单位功率时，它们的电场矢量作为 e 的函数在远区相加。其矢量和即是辐射方向图。

$$E_a(\theta) = \frac{1}{\sqrt{2}} [e^{j(\frac{2\pi}{\lambda})\frac{s}{2} \sin \theta} + e^{-j(\frac{2\pi}{\lambda})\frac{s}{2} \sin \theta}] \quad (2.1)$$

式中， θ 是从法线方向算起的角度。按 $\theta = 0^\circ$ 所给定的幅度将上式归一化和简化可得：

$$E_a(\theta) = \cos(\pi \frac{s}{\lambda} \sin \theta) \quad (2.2)$$

图2.2中 $\|$ 是作为的函数绘制而成的。若按的变化而绘制，波瓣将会随 $\|$ 的增加而加宽。主瓣出现在 $\sin \theta = 0$ 处。其

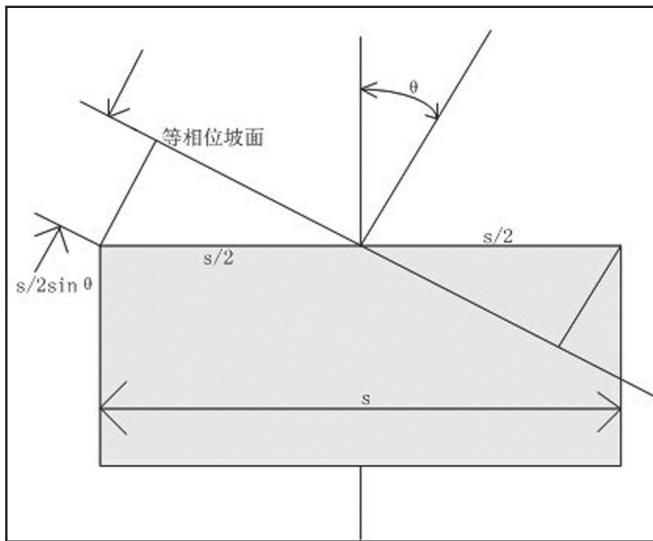


图 2.1 辐射方向图

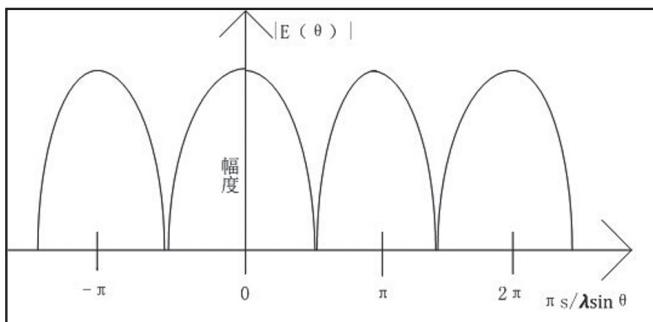


图 2.2 两个各向同性辐射元的辐射波瓣图

他的波瓣具有与主瓣相同的幅度，并且通常称做栅瓣。栅瓣出现的角度由 $\sin \theta$ 决定，其中 m 是整数。对于由 $-90^\circ << +90^\circ$ 给定的半空间，共有个栅瓣，其中 m' 是小于的最大整数。如果，则不会出现栅瓣最大值，在 $\theta = m\pi$ 时的数值为 $\cos(m\pi)$ 。这个数值是对各向同性的辐射元而言的，如果辐射元具有方向性，这个数值将会降低。

2.3 相控阵天线

相控阵天线是由许多辐射单元排列成阵所构成的阵列天线，各单元的幅度激励和相位关系可控。在一维直线上排列若干辐射单元形成的阵列即为线阵；在二维平面上排列若干辐射单元称为平面阵；辐射单元排列在曲线或者曲面上，则构成共形阵。共形阵则可以突破一般线阵和平面阵扫描范围的限制，实现更大空域电扫。典型的相控阵天线利用数字控制移相器改变天线阵元相位分布来实现波束的快速扫描^[7]。

相控阵天线的主要技术特点和优势在于：

(1) 天线波束的快速扫描能力

相控阵天线的快速扫描能力是促使相控阵雷达推广应用和高速发展的基本原因。这一能力基于阵列天线及阵列中各天线单元通道之间的信号传输相位快速变化能力，对于采用数字移相器的相控阵天线，一般可以在几个微秒内实现雷达波束形成和波束位置转换。

(2) 天线波束形状的捷变能力

天线方向图函数是口径照射函数的傅立叶变换，通过改变阵列各单元通道内的信号幅度和相位，即可改变天线波束形状。天线波束形状的捷变能力使得相控阵天线快速实现波束赋形，从而具有快速自适应空间滤波的功能。

(3) 空间功率合成能力

用相控阵天线，可在每一单元通道或每个天线子阵上设置一个发射功率放大器，依靠移相器的相位变化，使发射天线波束定向照射，即发射信号聚焦于空间某一方向。这一特点为雷达系统的设计带来了极大的方便和灵活性，解决了超远程微波及毫米波雷达所需超高功率的实现问题。

(4) 天线与雷达平台共形能力

阵列天线将整个天线分为许多各天线单元，如果将其与雷达平台表明共形，可以减少或消除天线对雷达平台空气动力学性能的影响。相控阵天线为共形阵各项功能的实现提供了技术保证。采用先进信号处理的有源共形相控阵天线在雷达和通信领域具有广阔的应用前景^[8]。

(5) 多波束形成能力

相控阵天线通过转换波控信号，可以很方便的在一个重复周期内形成指向不同的多个发射波束。形成多个接收波束则可以通过将通道内信号经低噪放放大后分别送入多个波束形成网络来实现。多波束以及波束形状捷变，为相控阵雷达系统性能提升增加了新的潜力。

(6) 相控阵雷达的分散布置能力

将相控阵天线的概念加以引申，一步相控阵雷达有多部分散布置的子雷达构成，在各子雷达天线之间采用相应的时间、相位和幅度补偿，依靠先进的信号处理办法，获得更有利的抗干扰能力、角度分辨力等，是今后相控阵雷达发展的一个重要方向^[9]。

三、误差分析

当相位或幅度存在误差时，会对天线的副瓣电平、波束指向、增益等产生影响。误差通常有两类：随机误差和相关误差。随机误差通常是受元器件极限精度限制而产生的非相关的幅相误差，如因移相器、馈电网络、辐射单元和机械结构而引起误差。建造低副瓣天线的任务要求把每一种幅度误差和相位误差尽量减小。天线阵列的单元数目越少，误差对天线性能的影响就越大，因此误差容限就越严格。相关误差会造成高电平的峰值副瓣，对天线性能的影响程度更大。有移相器引起的周期性相位误差就是典型的相关误差。相控阵天线因为阵列规模大，成本高，常采用子阵形式，子阵结构的周期性会导致较高电平的周期性栅瓣，是我们在设计过程中必须尽量避免的。

面向 3G/LTE 的 IPRAN 组网应用

□ 鲍飞翔 中国电信股份有限公司永泰分公司

随着 3G 和 LTE 等业务的发展，数据业务已成为承载主体，其对带宽的需求迅猛增长。SDH 传统独享管道的网络模式难以支撑，分组化的承载网建设成为一种不可逆转的趋势。但 IPRAN 技术可很好解决这些问题。因此本文以面向 3G/LTE 的 IPRAN 组网应用为题具有一定借鉴意义。

一、IPRAN 基本技术

IPRAN 指的是 IP Radio Access Network，意思为无线接入网 IP 化，其核心是采用 IP/MPLS 路由协议、信令协议，路由器架构，动态建立转发路径、执行故障检测和保护，兼顾静态方式。有以下关键技术：

1. 网络保护技术：从 IPRAN 技术发展看，在其技术体系中，网络保护的相关手段的发展比较全面。如用于资源高度与重选路的 TE 技术，可对二层或三层的全链路进行维护与检测的 BFD 技术等，其中以太网保护、核心层或汇聚层的高速重路等是其用的较多。实践中有接入到网络的前提下，可设置 LSPI：1 加 5 伪线的方式来实现保护倒换功能。

2. 分区域与多进程技术：在 IPRAN 网络的内部网关协议当中，区域和多进程技术是 IGP 的两个方面，分区域和

多进程技术是为解决规模组网问题的一种实用技术，在解决规模组网的过程中还可解决网络规模大对路由设备造成的新标准严要求，在一定程度上可大大提升路由器性能。分区域技术的优势是：在对网络进行分区域管理后，不一样的区域之间可应用不同的 IGP 协议，相互运用静态路由注入的手段可解决规模组网的问题，动态路由与静态路由的结合，可实现网络路由收敛与故障自愈。

二、IPRAN 组网应用

IPRAN 网络在结构上分为三层，分别是核心层、汇聚层与接入层。

1. 核心层：核心层与 BSC 或 IP 骨干网相连，采用大容量路由器，具有高密度端口和大流量汇聚能力的核心路由器 RAN ER。3G 中的 ER 汇聚基站至 BSC 的流量，LTE 中的 ER 汇聚 ENodeB 至 PGW/SGW 的流量。各本地网 ER 设备采用异局址成对设置。ER 设备应选择本地网 BSC 或 CN2PE 设备所在机楼进行安装，即与 BSC 或 CN2 PE 设备共址。

2. 汇聚层

四、总结

从继承和发展体现 TDD 技术优势的多天线波束赋形技术、充分优化 LTE 性能并有效控制干扰以及工程建设需求的三重驱动下，在 TD-LTE 中如何发展和用好智能天线技术将成为未来技术发展的热点。目前，对于智能多天线技术在

LTE 中应用的研究仍处于初期，后续在推广及应用过程中还有很多具体问题需要克服和解决，包括标准化的完善、关键性能测试及验证等。总的来看，智能天线技术在 TD-LTE 中的研究和应用必将为未来 TDD 技术在 LTE 制式的竞争和发展中发挥重要而独特的作用。

参 考 文 献

- [1] 马颖 .TD-LTE 基站智能天线性能分析 [J]. 电信科学 ,2012,11.
- [2] 尹文彬 .TD-LTE 室外天馈系统解决方案探究 [J]. 2013 年信息通信网络技术委员会年会论文集 ,2013
- [3] 蒲晓维 , 刘旭 , 白昱 , 宋林所 .TD-LTE 天线 HBW 在典型场景下的仿真评估 [J]. 电信工程技术与标准化 ,2013,7
- [4] 董炎杰 .A STUDY OF BS ANTENNA CONFIGURATION IN TD-LTE SYSTEMV [J]. 2011 年 IEEE 通信技术与应用国际大会 (IEEE ICCTA2009),2011
- [5] 熊兵 . 自适应天线在移动通信中的应用研究 , 西安电子科技大学硕士论文 ,2002
- [6] 李世鹤 .TD-SCDMA 第三代移动通信系统标准 [M]. 第 2 版 . 北京 : 人民邮电出版社 ,2003
- [7] 吴津钟 , 郑智 , 陈明 . 智能天线技术对 TD-SCDMA 系统容量的影响 [J]. 通信工程 ,2006(1):11-13
- [8] 张兴华 , 郭俊能 .TD-SCDMA 中的智能天线技术 [J]. 移动通信 ,2003,27(12):32-33
- [9] 刘明罡 , 冯正和 , 电下倾天线改善蜂窝系统性能的研究 [J]. 电波科学学报 ,2005,20(3):316-320

作者简介

王浩年，男，汉，1987 年 7 月，2011 年毕业于东北大学，学士学位，现就职于辽宁邮电规划设计院有限公司，通信地址：沈阳市浑南新区金科街 7 号，110179，

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)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)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)，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>