

“智能天线技术”专题

TD-LTE 系统中的单双极化智能阵列天线性能分析

杨 晓, 彭岳星, 郑 侃, 王文博

(北京邮电大学 无线信号处理与系统实验室, 泛网教育部重点实验室, 北京 100876)

摘要:研究了TD-LTE系统中双极化技术对智能阵列天线性能的影响,理论分析了下行波束赋型算法中赋型增益与信道矩阵SVD分解后的奇异值的关系,并基于相关阵信道模型利用数值计算统计出单、双极化智能阵列天线的信道特征参数。然后,通过蒙特卡洛数值仿真方法对TD-LTE系统在单、双极化智能阵列天线配置下的误块率性能进行评估。理论分析和仿真结果都表明,双极化智能阵列天线在误块率性能损失较小情况下显著减小了阵列尺寸,具有实际应用价值。

关键词:智能阵列天线;波束赋型;信道相关性;双极化;TD-LTE

中图分类号:TN911.22 文献标识码:A 文章编号:1673-5692(2011)04-331-05

Performance Analysis of Smart Antenna Array with Mono-and Dual-polarization in TD-LTE System

YANG Xiao, PENG Yue-xing, ZHENG Kan, Wang Wen-bo

(Wireless Signal Processing and Network Lab, Key Laboratory of Universal Wireless Communication, Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: The performance of TD-LTE system with dual-polarized smart antenna array is investigated. Firstly the beamforming gain depending on the singular value of the channel matrix is analyzed and then calculated for the mono-and dual-polarized smart antenna systems. At last the performance of the TD-LTE systems with mono-and dual-polarized smart antenna is evaluated by Monte Carlo simulation method. Both the analysis and the simulation show that the dual-polarized smart antenna pays a little penalty of slight block error ratio (BLER) loss for great decrease of antenna size and facilitation of the application of antenna array.

Key words: smart antenna array; beamforming; channel correlation; dual-polarization; TD-LTE

0 引言

国际电信联盟(ITU)已于2005年10月将第四代移动通信技术(4G)正式命名为未来宽带无线通信技术(IMT-Advanced)。2009年10月,包括中国的TD-LTE-Advanced在内的总共6项技术成为IMT-Advanced的候选技术。TD-LTE是TD-SCDMA向TD-LTE-Advanced演进的重要阶段。

TD-SCDMA系统使用了多种独特的先进技术,其中智能阵列天线技术是TD-SCDMA区别于其他3G标准的一项关键技术。基于阵元间隔半波长的阵列天线配置,智能天线应用数字信号处理技术,产生空间定向波束,使天线主波束对准目标用户的来波方向,旁瓣或零陷对准干扰信号到达方向,实现了目标用户信号的充分利用与干扰信号的有效抑制,从而改善了传输质量并提高了系统的频谱效率^[1]。根据天线阵元的排列方式,智能阵列天线可分为均

收稿日期:2010-05-07 修订日期:2010-11-04

基金项目:中央高校基本科研业务费专项(2009RC0102);国家科技重大专项(2009ZX03005-003-02);国家自然科学基金(60976022)

匀线阵(ULA)和均匀圆阵(UCA)两种。本文研究均匀线阵结构的智能阵列天线。

在实际应用中,智能阵列天线存在尺寸偏大的问题。目前TD-SCDMA系统的基站端广泛采用八阵元的智能阵列天线,其横向尺寸约为650 mm,远远大于尺寸为200~300 mm的2G系统天线^[2]。天线阵列尺寸增大将增大风阻、增加天线成本与安装维护的难度。因此智能阵列天线的小型化技术是TD-LTE系统演进过程中的研究重点之一。双极化阵列天线代替传统的单极化阵列天线是目前天线阵列小型化研究的主流方向^[3]。采用双极化技术的智能阵列天线的八个阵元分为四组,组内两阵元的极化方向相互正交,由此可将阵列天线的尺寸减半。同时,由于极化相关性的存在,系统性能不可避免会有所下降。

为研究双极化技术对智能阵列天线性能的影响,本文首先通过理论分析TD-LTE下行波束赋型算法中赋型增益与信道矩阵SVD分解后的奇异值的关系,然后基于相关阵信道模型采用数值计算方法计算智能阵列天线下的信道矩阵的奇异值,从而定性分析单、双极化智能天线性能对比,最后通过蒙特卡洛方法仿真TD-LTE系统在单、双极化阵列天线配置下的误块率性能。理论分析与数值仿真结果表明:双极化技术能成倍减少阵列天线的尺寸,同时引起的信噪比损失小于1 dB。

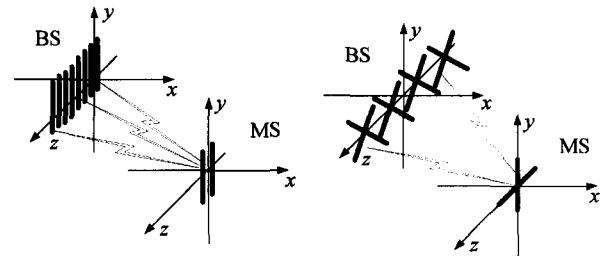
本文结构如下:第1节分析智能天线阵列的信道特征参数与波束赋型增益的关系;第2节给出了基于相关阵信道模型的智能阵列天线的信道特征参数分析;第3节给出TD-LTE系统在不同极化阵列天线配置下的性能结果仿真;最后在第4节总结全文。

1 TD-LTE系统的智能阵列天线

智能阵列天线通过调整各天线阵元的加权幅值与相位从而改变阵列的方向图形状,即自适应地或以预置方式控制幅度、指向和零点位置,使波束总是指向期望方向,而零点指向干扰方向,从而提高天线增益和信干噪比(SINR)。智能阵列天线主要由天线阵列、自适应处理器及波束赋型网络组成^[4,5]。其中,天线阵元数量及其配置方式直接影响智能天线的性能;自适应处理器根据无线信道状态自适应地调整权值系数;波束赋型网络合并信号与调整后的权值,形成合适的波束方向。

TD-LTE系统将延用TD-SCDMA的智能阵列天

线,为此本文研究基站(BS)采用八阵元智能阵列天线、用户端(MS)采用二天线的天线配置系统。当采用单极化天线时,收发两端的天线阵列中的相邻阵元间隔都是0.5倍载波波长,如图1(a)所示;当采用双极化天线中,基站端的8根天线分为四组,组内两天线采用±45°交叉极化,组间间距仍为0.5倍载波波长,用户端天线采用0°/90°交叉极化,如图1(b)所示。



(a) 8×2单极化智能阵列天线 (b) 8×2双极化智能阵列天线

图1 单、双极化天线配置方案

1.1 TD-LTE中的下行波束赋型算法

TD-LTE上、下行系统使用相同的频域资源但各占不同的时域资源,智能阵列天线可以充分利用上下行信道的互易性。基于上行接收到的信号,基站估计当前的信道状态信息,并用于下行链路波束赋型。

考虑由 M 根发射天线、 N 根接收天线构成的TD-LTE下行系统。设第 m 根发射天线到第 n 根接收天线之间的信道冲激响应为

$$h_{n,m}(t) = [h_{n,m,1}(t), h_{n,m,2}(t), \dots, h_{n,m,L}(t)]^T \quad (1)$$

式中, L 为信道的多径数; $h_{n,m,l}(t)$ 是第 m 根发射天线到第 n 根接收天线之间信道的第 l 条子径。

TD-LTE下行多址方式为正交频分多址接入(OFDMA),相应的下行波束赋形利用的是信道频域响应(CFR)。式(1)对应的CFR为

$$H_{n,m} = \mathbf{F} \cdot h_{n,m}(t) \quad (2)$$

式中, $H_{n,m} \in \mathbb{C}^{K \times 1}$, K 为FFT变换的长度; $\mathbf{F} \in \mathbb{C}^{K \times K}$,为离散傅里叶变换(DFT)矩阵。OFDM符号上第 k 个子载波的信道频域响应矩阵 $H(k)$ 是将所有 $H_{n,m}, n=1, \dots, N, m=1, \dots, M$ 在第 k 个子载波上的信道频率响应 $H_{n,m}(k)$ 按接收天线次序构成的 $M \times N$ 矩阵。对 $H(k)$ 进行奇异值分解(SVD)可得

$$H(k) = \mathbf{U} \Sigma \mathbf{V}^H \quad (3)$$

式中, \mathbf{U}, \mathbf{V} 分别为 N 阶与 M 阶酉阵; Σ 为 $N \times M$ 阶对角阵,其对角元素为信道矩阵的特征值。在波束赋形算法中,选取 \mathbf{V} 阵中对应于 Σ 阵中最大奇异值的特征向量作为波束赋形的权值向量。

1.2 信道特性与系统性能分析

考虑 $M=8, N=2$ 的均匀线阵。由式(3)可得第 k 个子载波的信道矩阵为

$$\mathbf{H}(k) = \mathbf{U}_{2 \times 2} \begin{bmatrix} \sqrt{\lambda_1} & 0 & \cdots \\ 0 & \sqrt{\lambda_2} & \cdots \end{bmatrix}_{2 \times 8} \mathbf{V}_{8 \times 8}^H \quad (4)$$

式中, λ_1 和 λ_2 为 $\mathbf{H}(k)$ 的特征值。不失一般性假设 $\lambda_1 > \lambda_2$; 选取 λ_1 对应的特征矢量 \mathbf{V}_1 作为波束赋形矢量, 则期望用户的第 k 个子载波上的接收信号为

$$\mathbf{Y}(k) = \mathbf{H}(k) \mathbf{V}_1 \mathbf{X}(k) + \mathbf{W}(k) \quad (5)$$

式中, $\mathbf{Y}(k) \in \mathbb{C}^{2 \times 1}$ 为接收信号矢量; $\mathbf{W}(k) \in \mathbb{C}^{2 \times 1}$ 为噪声矢量。将式(4)代入式(5)可得

$$\mathbf{Y}(k) = \mathbf{U}_{2 \times 2} \begin{pmatrix} \sqrt{\lambda_1} \\ 0 \end{pmatrix} \mathbf{X}(k) + \mathbf{W}(k) \quad (6)$$

智能阵列天线的赋型增益表现为波束赋型后用户信号的功率提升。由式(6)可见, λ_1 决定了用户的赋型增益。因此下节针对 TD-LTE 的智能阵列天线在不同极化方案下的信道矩阵特征参数 λ_1 进行分析。

2 信道特征参数分析

2.1 阵列天线信道模型

为分析信道矩阵的特征参数, 首先需建立合理的信道模型。对于所研究的智能阵列天线, 本文采用基于相关阵的信道建模方式^[6], 此模型能很好刻画信道的时间相关性、频率相关性、空间相关性, 以及极化相关性。在所研究的 TD-LTE 下行系统中, 假设多普勒频率很低, 且在子载波上信道无频选衰落, 因而后文仅分析天线阵列的空间相关性与极化相关性。

2.1.1 空间相关性

空间相关性是同一时刻从同一个天线发射的、由两个空间分离的天线接收的信号之间的互相关^[7]。两个天线阵元间的相关系数是阵元间距、角度功率谱(PAS)和天线增益图的函数。假设天线阵元具有相同的天线增益图, 空间相关系数可表示为

$$\rho = \frac{\int_{-\pi}^{\pi} G(\theta) P_A(\theta) e^{-j2\pi d \sin(\theta)/\lambda} d\theta}{\int_{-\pi}^{\pi} G(\theta) P_A(\theta) d\theta} \quad (7)$$

式中, $G(\theta)$ 为阵元天线增益图样; d 是阵元间距; $P_A(\theta)$ 为角度功率谱, 它在不同的无线传播环境下具有不同的统计分布, 典型的统计分布为拉普拉斯

分布、高斯分布及均匀分布。TD-LTE 主要应用于密集城区及热点场景, 在所考虑的城区室外传播环境下, 角度功率谱的分布为拉普拉斯分布^[8]

$$P_A(\theta) = \frac{1}{\sqrt{2} \sigma_{AS}} \cdot e^{-\frac{\sqrt{2}}{\sigma_{AS}} |\theta - \bar{\theta}|} \quad (8)$$

式中, σ_{AS} 为角度扩展; $\bar{\theta}$ 为到达角或离开角的均值。假设天线增益 $G(\theta) = 1$, 将式(8)代入式(7)得到阵元天线间的相关性为

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{2} \sigma_{AS}} \cdot \int_{-\pi}^{\pi} e^{-\frac{\sqrt{2}}{\sigma_{AS}} |\theta - \bar{\theta}|} e^{-j2\pi d \sin(\theta)/\lambda} d\theta \quad (9)$$

发射天线阵的空间相关性矩阵为

$$\mathbf{R}_{BS} = \begin{bmatrix} \rho_{11}^{BS} & \cdots & \rho_{1M}^{BS} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{M1}^{BS} & \cdots & \rho_{MM}^{BS} \end{bmatrix} \quad (10)$$

接收天线的空间相关性矩阵为

$$\mathbf{R}_{MS} = \begin{bmatrix} \rho_{11}^{MS} & \cdots & \rho_{1N}^{MS} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{N1}^{MS} & \cdots & \rho_{NN}^{MS} \end{bmatrix} \quad (11)$$

下行信道的总空间相关性为

$$\mathbf{R}_S = \mathbf{R}_{BS} \otimes \mathbf{R}_{MS} \quad (12)$$

其中 \otimes 为 Kronecker 运算。

2.1.2 极化相关性

极化天线间的相关性可以用交叉极化比(XPR)描述。天线极化阵可以表示为

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} s_{vv} & s_{vh} \\ s_{hv} & s_{hh} \end{bmatrix} \quad (13)$$

交叉极化比为

$$XPR = \frac{|s_{vh}|^2}{|s_{vv}|^2} = \frac{|s_{hv}|^2}{|s_{hh}|^2} \quad (14)$$

式中, v 表示垂直极化; h 表示水平极化。发射天线阵元的极化矩阵为

$$\mathbf{P}_{BS} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha_1) & \cdots & \cos(\alpha_M) \\ \sin(\alpha_1) & \cdots & \sin(\alpha_M) \end{bmatrix} \quad (15)$$

其中 $\alpha_1 \cdots \alpha_M$ 为发射端各天线的极化角。

接收天线阵元的极化矩阵为

$$\mathbf{P}_{MS} = \begin{bmatrix} \cos(\beta_1) & \cdots & \cos(\beta_N) \\ \sin(\beta_1) & \cdots & \sin(\beta_N) \end{bmatrix} \quad (16)$$

其中 $\beta_1 \cdots \beta_N$ 为接收端各天线的极化角。

下行信道的总极化矩阵为

$$\mathbf{Q} = \mathbf{P}_{MS}^T \mathbf{S} \mathbf{P}_{BS} \quad (17)$$

则极化相关阵为

$$\Gamma = E \{ \text{vec}(\mathbf{Q}) \text{vec}(\mathbf{Q})^H \} \quad (18)$$

对 Γ 进行归一化, 有

$$\tilde{\Gamma} = \frac{K}{\sum_{i=1}^K \Gamma_{i,i}} \Gamma \quad (19)$$

空间相关性和极化相关性相互独立, 因此信道的总体相关矩阵可由空间相关阵和极化相关阵点乘获得, 即

$$R = R_s \cdot \tilde{\Gamma} \quad (20)$$

2.2 信道矩阵特征参数分析

信道矩阵 H 的模型是通过理想信道矩阵 H_{iid} 与信道相关矩阵的乘积而获得, 即

$$\text{vec}(H) = R^{1/2} \text{vec}(H_{iid}) \quad (21)$$

对 H 进行 SVD 分解后得到奇异值就可分析不同极化方式对阵列天线性能的影响。

通过数值计算可获得分别采用图 1(a) 和 (b) 两种方案的信道矩阵 H 的特征值, 结果见表 1。由表 1 的结果可见, 采用双极化智能阵列天线后, 信道的最大特征值略小于采用单极化智能阵列天线的信道最大特征值, 相应的赋型增益也将稍有减小。

表 1 单双极化方案下的特征值对比

天线方案	λ_1	λ_2
单极化	15.568	0.477
双极化	13.285	2.742

3 仿真结果与分析

为评估极化方案对阵列天线系统的影响并验证前 2 节理论分析的正确性, 本节对采用阵列天线的 TD-LTE 下行系统进行误块率性能仿真。仿真系统参数见 2。

表 2 仿真参数

仿真项目	参数
天线配置方案 (BS \times MS)	8×2
FFT 大小	2048
保护间隔	146
用户所用 RB 数	10
带宽	20 M
采样率	30.72 MHz
子载波间隔	15 kHz
信道模型	ITU-UMI ^[9]
信道估计方法	理想信道估计
接收检测算法	最小均方误差算法 (MMSE) ^[10]
调制编码方式	QPSK, Turbo 编码 ^[11] , 码率 1/2

首先仿真对比单、双极化对阵列天线系统的性能影响。系统配置如图 1 所示, 天线阵的阵元间距为 0.5 倍载波波长, 仿真结果如图 2 所示。

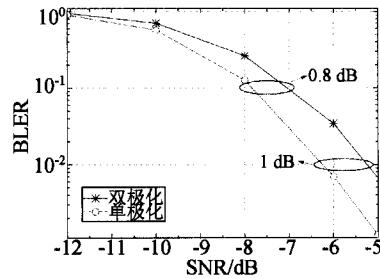


图 2 单、双极化智能阵列天线的误块率性能对比

从图 2 的仿真结果可以看出, 双极化智能阵列天线的误块率性能相比单极化智能阵列天线略有下降, 例如在误块率为 0.1 和 0.01 处的性能损失分别为 0.8 dB 和 1 dB。仿真结果与第 2 节表 1 所示的两种阵列天线配置下信道矩阵的最大特征值计算结果一致。另一方面, 由表 1 的结果可计算信道条件数, 即最大奇异值 $\sqrt{\lambda_1}$ 和最小奇异值 $\sqrt{\lambda_2}$ 的比值。信道条件数表征了信道的空间相关性, 条件数越大, 信道相关性越大, 可获得的分集增益越小; 条件数越小, 信道相关性越小, 可获得的分集增益就越大。由表 1 结果可知单、双极化下的信道条件数分别为 5.71 和 2.2, 即双极化下信道条件数较小, 因而可以获得更大的分集增益, 这在一定程度上补偿了赋型增益减小带来的性能损失。

为了全面比较单、双极化阵列天线配置下的系统性能, 进一步仿真了阵列天线阵元间距不相同时的性能对比。具体而言, 用户端天线间距保持 0.5 倍波长不变, 而对比基站端阵列天线的 8 个阵元间距分别为 4 倍波长与 0.5 倍波长时的系统性能, 仿真结果如图 3 所示。

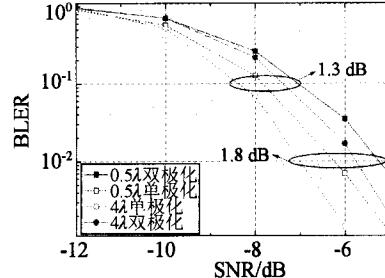


图 3 四种天线方案的误块率性能对比

由图 3 的仿真结果可见, 4 倍波长间距的阵列天线相比于相同极化配置的半波长间距的阵列天线系统有性能增益: 单极化时在误块率为 0.1 和 0.01 时增益分

别约为 0.5 dB 和 0.8 dB, 双极化时在误块率为 0.1 和 0.01 时增益分别约为 0.4 dB 和 0.6 dB。在误块率为 0.01 时 0.5 倍载波波长的双极化智能阵列天线相比 4 倍载波波长的单极化智能阵列天线, SNR 的损失只有 1.8 dB, 但却可以大大减少阵列天线的尺寸。

最后分析双极化技术对阵列天线尺寸带来的影响。假设 TD-LTE 系统的载频为 2 GHz, 则载波波长为

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 10^9} = 0.15 \quad (22)$$

不考虑天线阵元的大小, 可以用天线间距粗略估计出阵列天线的大小, 不同极化方案下的阵列天线尺寸见表 3。由表 3 可以看出, 基站采用 0.5 倍载波波长的双极化智能阵列天线的尺寸与 2G 系统的天线尺寸相差不多, 而其他三种方案的天线尺寸都要大得多。由于智能阵列天线的风阻和阵列天线尺寸的平方成正比, 所以 0.5 倍载波波长的双极化智能阵列天线有更好的稳定性。

表 3 四种天线方案的尺寸及性能对比

天线方案	总阵元间距	尺寸	BLER(10%)
0.5λ, 双极化	1.5λ	0.225 m	-7.1 dB
0.5λ, 单极化	3.5λ	0.525 m	-7.8 dB
4λ, 双极化	12λ	1.8 m	-7.4 dB
4λ, 单极化	28λ	4.2 m	-8.4 dB

综合考虑天线尺寸及误块率性能, 双极化智能阵列天线是 TD-LTE 及其进一步演化系统(TD-LTE-Advanced)天线配置的一种理想方案。

4 结语

本文研究了 TD-LTE 系统中双极化技术对智能阵列天线性能的影响。根据下行波束赋型算法中赋型增益与信道矩阵 SVD 分解后的奇异值的关系, 通过计算单、双极化智能阵列天线的信道矩阵特征参数, 定性地对比分析了不同极化方案下阵列天线系统的性能, 分析表明: 双极化智能阵列天线损失了赋型增益, 但获得了更多的分集增益。采用蒙特卡洛数值仿真评估了 TD-LTE 系统在单、双极化智能阵列天线配置下的误块率性能, 仿真结果表明, 双极化智能阵列天线在损失较小的性能代价下显著减小了阵列天线尺寸, 从而大大提高了阵列天线的可操作性, 因而双极化智能阵列天线是 TD-LTE 系统中一种理想的天线小型化方案。

参考文献:

- [1] WINTERS J H. Smart Antennas for Wireless Systems[J]. IEEE Personal Com. Magazine, 1998, 5(1): 23-27.
- [2] 刘龙山. 智能天线小型化发展[J]. TD-SCDMA 产业联盟专刊, 2008, 4(3): 43, 44.
- [3] 杨雅娟, 廖镭鸣. TD-SCDMA 与 TD-LTE 平滑共平台方案浅析[J]. 移动通信, 2009, 33(9): 67-69.
- [4] 刘鸣, 袁超伟, 贾宁, 等. 智能天线技术与应用[M]. 第 1 版. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [5] BHOBE A U, PERINI P L. An Overview of Smart Antenna Technology for Wireless Communication [C]// IEEE Aerospace Conference Proceedings, Montana, 2001: 875-883.
- [6] STEGE M, JELITTO J, STEGE M, et al. A Multiple Input-Multiple Output Channel Model For Simulation of TX-And RX-Diversity Wireless System [C]// IEEE VTC2000-fall, Boston, USA, 2000: 833-839.
- [7] Spatial Channel Model AHG (Combined Ad-hoc from 3GPP&3GPP2). Correlation Properties of SCM [S]. SCM-127, 2003.
- [8] SCHUMACHER L, RAGHOTHAMAN B. Closed-form Expressions for the Correlation Coefficient of Directive Antennas Impinged by a Multimodal Truncated Laplacian PAS [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2005, 4(4): 1351-1359.
- [9] ITU-R M 2135. Guidelines for Evaluation of Radio Interface Technologies for IMT-Advanced [R]. 2008.
- [10] TSE D, VISWANATH P. Fundamentals of Wireless Communication [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- [11] 3GPP TS 36.212 V8.7.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and Channel Coding (Release 8) [S]. 2009.

作者简介



杨 晓(1987—), 女, 山东德州人, 硕士研究生, 研究方向为 LTE-Advanced 关键技术;

E-mail: yangxiao@soar@gmail.com

彭岳星(1973—), 男, 湖南衡山人, 博士, 副教授, 研究方向为无线通信中的信号处理技术及协同通信;

郑 侃(1974—), 男, 浙江金华人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为无线通信中的信号处理技术及协同通信;

王文博(1965—), 男, 河北安国人, 教授, 博士生导师, 研究方向为移动通信。

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>