

文章编号: 1006-2467(2004)S1-0090-05

蜂窝 CDMA 系统多区基站天线倾斜方案

江 冉¹, 金荣洪¹, 范 瑜^{1,2}, 耿军平¹

(1. 上海交通大学 电子工程系, 上海 200030; 2. 常熟理工学院 物理系, 常熟 215500)

摘 要: 在综合考虑整个蜂窝系统的情况下, 结合环境阴影衰落深度等因素, 分析了地面基站天线倾斜对 CDMA 系统整体容量的影响后, 提出了一种 CDMA 系统多区基站的倾斜方案。该方案将基站天线倾斜技术应用于整个 CDMA 蜂窝系统。仿真结果表明, 利用本方法可将 CDMA 系统容量得到明显的提高。

关键词: 倾斜天线; 码分多址; 多区基站; 容量

中图分类号: TN 828.6

文献标识码: A

A Beam-Tilting Scheme for Multi-Cell Base Stations of Code Division Multiple Access (CDMA) Cell System

JIANG Ran¹, JIN Rong-hong¹, FAN Yu^{1,2}, GENG Jun-ping¹

(1. Dept. of Electronic Eng., Shanghai Jiaotong Univ., Shanghai 200030, China;

2. Dept. of Physics, Changshu Inst. of Technology, Changshu 215500)

Abstract: The capacity improvement mechanism with beam-tilting antennas for multi-cell base stations was studied under the consideration of the effect of log-normal shadowing, the height of antenna and the beam width. A beam-tilting scheme for multi-cell base stations of the CDMA cell system was proposed, in which beam-tilting technology for base stations is used in the whole CDMA cell system. The simulation results show that with the new scheme, the system capacity can be greatly improved.

Key words: beam-tilting antenna; code division multiple access (CDMA); multi-cell base station; capacity

提高系统容量和减少干扰是 CDMA 系统中一个十分重要的课题。CDMA 蜂窝系统的上行容量主要受到来自附近其他小区用户产生的干扰^[1], 而地面基站天线倾斜是减小这一干扰的有效措施之一。目前, 对于倾斜天线本身的增益、方向图等参数, 已经有不少文献提出了相应的计算方法^[2,3]。

Wu 等^[2]利用 CDMA 宏蜂窝/微蜂窝系统中微蜂窝基站的天线倾斜, 能够有效地抑制宏蜂窝对微蜂窝的上行信道干扰。但至今为止, 这类研究都是基

于单个基站天线波束倾斜技术达到抑制干扰来提高容量的目的, 对整个 CDMA 系统的基站天线并没有进行全面的考虑。无论 Wu 等^[2]还是 Kim 等^[4], 都是将倾斜天线技术应用于特定的小区基站。

本文直接利用倾斜基站天线可减小同信道干扰这一特点, 并结合环境阴影衰落深度等因素, 研究将基站天线倾斜技术应用于整个 CDMA 蜂窝系统的可行性, 通过倾斜一定区域内的小区基站天线, 提高 CDMA 整体系统容量。

收稿日期: 2003-09-30

基金项目: 电子科技集团总公司预研项目(41501110503); 教育部优秀青年教师计划资助项目(2000-1636)

作者简介: 江 冉(1978-), 男, 上海人, 硕士生, 主要从事移动通信方面的研究。金荣洪(联系人), 男, 教授, 博士生导师,

电话(Tel.): 021-62932376; E-mail: rhjin@sjtu.edu.cn.

1 系统模型

1.1 系统模型假设

模型假设:

(1) 系统模型建立在蜂窝 CDMA 系统上,每个小区为正六边形,如图 1 所示.

(2) 基站采用线天线,并且波束可倾斜^[2].

(3) 由于波束倾斜天线的要求,每个小区被分为 3 个扇区,故将研究对象转为相邻小区的 3 个相邻扇区(见图 1 中的扇区 1、2、3). 由于距离较远,其他小区用户对该区域基站的干扰可以忽略^[2,5].

(4) 仅对下行信道作分析,上行信道采用理想功率控制.

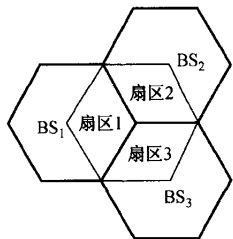


图 1 扇区结构

Fig. 1 Sector structure

1.2 天线方向图

对每个扇区,使用一个单独的波束倾斜天线阵列(或一个独立的倾斜波束). 与文献[2]相同,本文采用线性阵列,垂直方向上的归一化方向图为

$$G(\varphi, \gamma) = \begin{cases} 1 - (\varphi/Bw)^2 & 0 \leq \varphi \leq Bw \\ \gamma & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中: Bw 为倾斜天线的波束宽度,取 10° ; γ 取 0.1; 由于波束倾斜后,水平方向的方向图会产生一定变化,故变量 φ 是由天线倾斜角度、水平方向和垂直向来波角度共同决定的,即

$$\varphi = \beta - \arccos[1 - \cos^2 \phi (1 - \cos \theta)] \quad (2)$$

式中: β 为用户到基站的倾角; ϕ 为水平来波角度; θ 为天线的倾斜角度. 由式(2)代入式(1),即可求出波束衰减.

1.3 传播模型

采用理论计算中被广泛应用的传播损耗模型^[1,2,5],传播损耗是距离的 n 次幂和表示阴影衰落的指数归一化值的乘积,在本文中, n 取 4.0^[1,2]. 这样,当用户离基站距离为 r 时,损耗为

$$L(r, \xi) = r^{-n} 10^{\xi/10} \quad (3)$$

式中, ξ 为阴影衰落的分贝损耗,是均值为 0、标准方差为 σ 的正态分布随机变量.

1.4 接入方案

每个用户挑选一个基站进行通信,各个基站发射相同功率的导频信号,用户在 BS_1 、 BS_2 和 BS_3 (见图 1)中挑选接收到导频信号功率最强的一个基站进行通信^[1,2]. 影响用户接收到的导频信号功率的主要因素有路径衰减、基站天线增益和基站发送导频信号功率强度^[2],计算公式为

$$P = P_p G_b G L(r) \quad (4)$$

式中: P_p 为基站发送的导频信号功率; G_b 为基站天线增益; G 为用户接收天线增益,假设每个用户的天线增益相等; $L(r)$ 表示用户到基站的传播损耗. 由于每个基站发射的导频信号功率相等,故用户接入基站主要取决于基站天线增益和传播损耗.

1.5 信干比(SIR)估计

假设用户为均匀分布,每扇区用户数为 N_s ,则每小区的平均用户数为 $N = N_s$,用户密度为

$$\rho = 2N_s / (\sqrt{3} R^2) \quad (5)$$

式中, R 为蜂窝小区半径. 不失一般性,以 BS_1 为例,其接收 SIR 的计算公式为^[1]

$$SIR_1 = 1 / \left(\sum_{i=1}^{N_1} \lambda_i + \frac{I}{S} \right) \quad (6)$$

式中: $\lambda_i \in (0, \nu)$ 为均匀分布的随机数, ν 为语音激活因子^[1]; 分母中第 1 项表示接入 BS_1 的用户之间的干扰; 第 2 项表示接入其他基站用户对 BS_1 用户的干扰. 考虑基站天线波束衰减,修正文献[1]中的干扰计算方法,给出接入其他基站的单个用户对 BS_1 用户的干扰计算公式为

$$\frac{I(r_1, r_m)}{S} = \frac{r_1^{-n} G_1(\beta, \theta)}{r_m^{-n} G_m(\beta, \theta)} 10^{\frac{\xi_1 - \xi_m}{10}} \leq 1 \quad (7)$$

式中: r_1 、 r_m 为该用户距离 BS_1 和其接入基站的距离; $G_1(\beta, \theta)$ 、 $G_m(\beta, \theta)$ 分别为用户到 BS_1 和其接入基站的天线增益; ξ_1 、 ξ_m 分别为用户和其接入基站的独立正态分布随机变量,它们的差值数学期望和方差分别为 0 和 $2\sigma^2$; 路径衰减指数 n 取值 4.0^[1,2]. 由于基站发送的导频信号功率相等,且接入其他基站的单个用户到其接入基站的传播衰减和天线增益的乘积必然大于到 BS_1 的传播衰减和天线增益的乘积,因此单个接入其他基站用户对 BS_1 的干扰信号功率比总小于 1.

同理,给出所有接入其他基站的用户对 BS_1 干扰的总和引入波束衰减后的表达式为

$$\frac{I}{S} = \iint \nu \left(\frac{r_m}{r_1} \right)^4 \frac{G_1(\beta, \theta)}{G_m(\beta, \theta)} 10^{\frac{\xi_1 - \xi_m}{10}} \Omega_{1m} \rho dA \quad (8)$$

式中:

$$\Omega_{1m} = \begin{cases} 1 & \left(\frac{r_m}{r}\right)^4 \frac{G_1}{G_m} 10^{\frac{\xi_1 - \xi_m}{10}} \leq 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

m 为满足以下条件的基站序号:

$$r_m = \min_{k \neq 0} r_k \quad (10)$$

区域为图1中3个扇区组成的区域。

经过推导,可得式(8)的期望和方差分别为

$$E\left[\frac{I}{S}\right] = \iint v \left(\frac{r_m}{r_1}\right)^4 \frac{G_1}{G_m} f\left(\frac{r_1}{r_m}, \frac{G_m}{G_1}\right) \rho dA \quad (11)$$

$$\text{var}\left(\frac{I}{S}\right) \leq \iint \left(\frac{r_m}{r_1}\right)^8 \left(\frac{G_1}{G_m}\right)^2 \times \left[v \cdot g\left(\frac{r_1}{r_m}, \frac{G_m}{G_1}\right) - v^2 f\left(\frac{r_1}{r_m}, \frac{G_m}{G_1}\right) \right] \rho dA \quad (12)$$

式中:

$$f\left(\frac{r_1}{r_m}, \frac{G_m}{G_1}\right) = \exp\left(\sigma \frac{\ln 10}{10}\right)^2 \left\{ 1 - Q\left[\frac{40}{\sqrt{2}\sigma^2} \times \lg \frac{r_1}{r_m} + \frac{10}{\sqrt{2}\sigma^2} \lg \frac{G_m}{G_1} - \sqrt{2}\sigma^2 \frac{\ln 10}{10}\right] \right\} \quad (13)$$

$$g\left(\frac{r_1}{r_m}, \frac{G_m}{G_1}\right) = \exp\left(\frac{\sigma \ln 10}{5}\right)^2 \left\{ 1 - Q\left[\frac{40}{\sqrt{2}\sigma^2} \times \lg \frac{r_1}{r_m} + \frac{10}{\sqrt{2}\sigma^2} \lg \frac{G_m}{G_1} - \sqrt{2}\sigma^2 \frac{\ln 10}{5}\right] \right\} \quad (14)$$

若基站接收 SIR 低于预定值时,基站就处于阻塞状态^[1]。由式(6)可得基站阻塞概率为^[1]

$$P(\text{SIR}_1 < \text{SIR}_{\text{req}}) = P\left(\sum_{i=1}^{N_s} \lambda_i + \frac{I}{S} > \frac{1}{\text{SIR}_{\text{req}}}\right) \quad (15)$$

I/S 可近似为高斯分布^[1],其期望和方差分别由式(11)、(12)计算得到,因此,由式(15)可得^[1]

$$P(\text{SIR}_1 < \text{SIR}_{\text{req}}) = P\left(\sum_{i=1}^{N_s} \lambda_i + \frac{I}{S} > \frac{1}{\text{SIR}_{\text{req}}}\right) = \sum_{k=0}^{N_s-1} \binom{N_s-1}{k} v^k (1-v)^{N_s-1-k} \times Q\left[\left[\frac{1}{\text{SIR}_{\text{req}}} - k - E\left(\frac{I}{S}\right)\right] / \sqrt{\text{var}\left(\frac{I}{S}\right)}\right] \quad (16)$$

通过上式可以计算基站接入阻塞概率与小区内用户数的函数关系,又由于考虑到系统性能,因此设置基站阻塞概率的最低限值为 0.01^[2],即

$$P(\text{SIR}_1 < \text{SIR}_{\text{req}}) < 0.01 \quad (17)$$

由于 $P(\text{SIR}_1 < \text{SIR}_{\text{req}})$ 是小区用户数 N 的函数,故由式(17)可得小区用户数的上限,即容量 C 。

2 多区基站天线倾斜方案及容量分析

2.1 多区基站天线倾斜方案

若单独倾斜单个基站天线,从反向链路角度看,

增大了邻区用户到本基站(天线倾斜的基站)的波束衰减,但是天线倾斜后,本区的远端用户到基站的波束衰减增大,这些用户必须增大他们的发射功率才能满足功率控制的要求,造成对邻近小区基站干扰的增大,导致邻区容量下降。虽然基站天线倾斜的小区容量随倾斜角度增大而上升,但是邻区的容量却大幅度地下降,如图2所示。

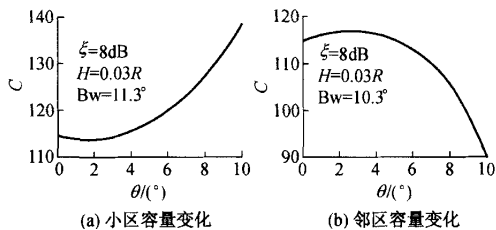


图2 单区基站天线倾斜的容量与倾角变化

Fig. 2 Capacity vs tilting angle for single base station with beam-tilting

从系统整体看,倾斜单个小区基站显然并不理想。本文提出通过倾斜一定范围内的小区基站天线以提高整体系统容量。

2.2 天线倾斜对容量影响分析

由式(6)可见,系统容量主要由本基站用户之间的干扰和其他基站用户产生的干扰共同决定,显然天线倾斜主要引起后者的变化。为了说明问题,将图3、4中系统简化成两个相邻小区,不失一般性,始终考虑 BS_1 受到来自其他基站(BS_2)用户(MS)的同信道干扰。

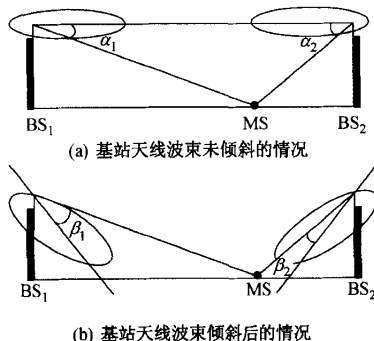


图3 基站天线波束倾斜减小同信道干扰示意图(用户处于其他小区)

Fig. 3 Illustration for the relief of CCI by the base station antenna with beam-tilting (Users are in other sectors)

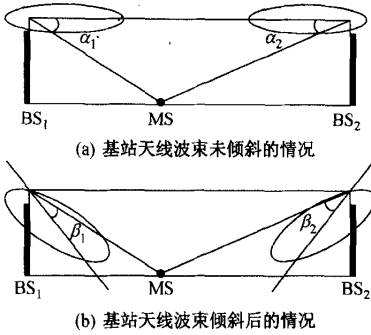


图 4 基站天线波束倾斜减小同信道干扰的示意图
(用户处于本小区)

Fig. 4 Illustration for the relief of CCI by the base station antenna with beam-tilting
(Users are in own sectors)

如图 3、4 所示, BS_2 用户将对 BS_1 产生干扰,

$$I = S_1 \frac{L_1}{L_2} \frac{G_1}{G_2} \quad (18)$$

式中: S_1 表示用户信号到达 BS_1 时的基站接收功率, 并受到基站功率控制的限制; L_1 、 L_2 分别表示用户到 BS_1 、 BS_2 的传播损耗; G_1 、 G_2 分别表示用户到 BS_1 、 BS_2 的天线增益。

(1) 用户位于小区 2 的影响. 当天线波束未倾斜时, 由于用户距离 BS_2 更近些, 用户信号到达 BS_1 的方向与基站天线主波束夹角小于其到达 BS_2 时与 BS_2 天线主波束的夹角, 如图 3(a) 中 $\alpha_1 < \alpha_2$. 因此, 小区 2 内用户到 BS_2 的波束衰减要比到 BS_1 的波束衰减大. 当两边的天线同时倾斜相同角度后, 如图 3(b) 中用户信号到达方向与主波束方向的夹角 $\beta_1 > \beta_2$, 用户到 BS_1 的波束衰减大于到 BS_2 的波束衰减. 由图 3(a)、(b) 可见, 波束衰减比 G_1/G_2 减小, 小区 2 内用户对 BS_1 的干扰将减小, 从而导致系统容量的上升, 显然天线高度越高或波束宽度越窄, 效果将越明显.

(2) 用户位于小区 1 的影响. 由图 4(a)、(b) 可见(分析方法与上面相同, 而情况恰好相反), 天线倾斜后 G_1/G_2 将变大, 干扰加强, 导致系统容量下降.

总结以上两点, 随着多区基站天线倾斜, 本区用户接入本区基站的情况将对系统容量起积极作用; 本区却接入其他基站的情况将对容量起消极作用. 以下分析随着天线倾斜, 哪种情况会增多并起主导作用. 如图 3、4 所示, 用户接收到 BS_1 和 BS_2 的导频信号功率之比为

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{L_1 G_1}{L_2 G_2} = \frac{r_1^{-n} 10^{\xi_1/10} G_1}{r_2^{-n} 10^{\xi_2/10} G_2} \quad (19)$$

则有小区 1 内用户接入 BS_2 的概率为

$$p\left(\xi_1 - \xi_2 < 10 \lg \left(\frac{r_2^{-n} G_2}{r_1^{-n} G_1} \right)\right) = 1 - Q\left[10 \lg \left(\frac{r_2^{-n} G_2}{r_1^{-n} G_1} \right) / \sqrt{2\sigma^2}\right] \quad (20)$$

由于用户距离 BS_1 更近(见图 3), 天线倾斜后 G_1/G_2 将变小, p 将变小, 即小区内用户接入其他基站的概率变小, 各个用户都更倾向于接入自己所在小区的基站, 即 A (接入本区基站) 的概率增大, B (接入临区基站) 的概率下降. 由式(20)可知, A 、 B 情况概率增大(或减小)的程度受阴影衰落深度的影响.

2.3 系统容量综合分析

本文采用 CDMA IS-95 协议的语音传输部分作为数值分析的应用背景. 小区半径为 R ; 语音激活因子 $\nu=3/8$; 扩频带宽取 1.228 8 MHz; 信息速率取 9.6 kbit/s; 系统允许最低反向、前向 $SIR_{\text{reverse-req}} = -13.6$ dB; 路径衰减指数 $n=4.0$.

如上所述, 两种情况共同作用于系统容量, 作用大小受阴影衰落程度的影响. 当倾斜角度增大时, 情况 A 、 B 分别导致容量不断上升和下降, A 、 B 发生的概率也分别上升和下降. 由式(20)发现, 当阴影衰落方差较小、倾斜角度增大时, A 的发生概率上升幅度较大(B 的发生概率下降幅度也较大). 由于 A 是导致容量随天线倾斜而上升的因素, 当天线倾斜角度增大时, A 与 B 比较中 A 占主导地位, 导致系统容量随天线倾斜而上升. 反之, 当阴影衰落方差较大时, A 的发生概率随天线倾斜而上升的幅度较小(B 的发生概率随天线倾斜而下降的幅度也较小). 此时, B 与 A 比较中 B 可能占主导地位, 且由于 B 是导致容量随天线倾斜而下降的因素, 导致容量随天线倾斜而下降.

由图 5 可见, 当阴影衰落深度较小时, 天线倾斜可以有效地提高系统容量, 而随着阴影衰落深度的变大, 天线的倾斜角度将受到一定限制. 由图 6、7 可见, 当天线高度升高和波束变窄时, 天线倾斜可提高容量. 其原因是 A 的情况明显, 占据了主导作用; 当倾斜角度过大(超过波束宽度)时, 来自小区远端用户信号将处于波束旁瓣, 这是不合理的. 图 6 中波束宽度为 5.7° 时、倾斜角度超过 8° 后, 容量的下降正是由于以上原因引起的.

多区基站天线倾斜对系统容量提高的影响如表 1 所示. 由表可见, 第 6、7 列为仅倾斜单区基站天线后的天线倾斜小区容量与其相邻小区容量. 比较第 6、7 列与第 4 列在倾斜单个基站的天线, 虽然对提高天线倾斜小区的容量有相当的作用, 但却造成了

其邻近小区的容量相当幅度的下降;而采用多区基站天线倾斜后,一定区域内的小区容量都得到了相同幅度的提高,这就是多区基站天线倾斜的优势所在.同时发现,随天线高度的增大或波束宽度的减小,多区基站天线倾斜方案对容量的提高作用将更加显著.

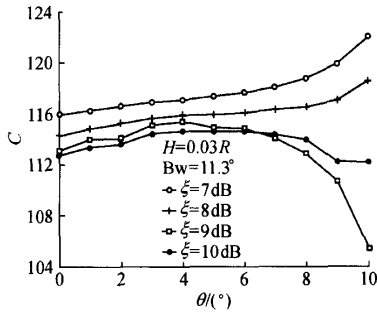


图 5 容量与倾斜角度关系受阴影衰落影响
Fig. 5 Capacity vs tilting angle with ξ

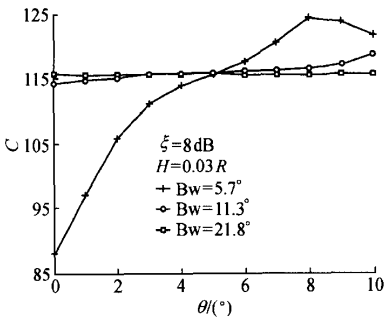


图 6 容量与倾斜角度关系受主波束宽度影响
Fig. 6 Capacity vs tilting angle with Bw

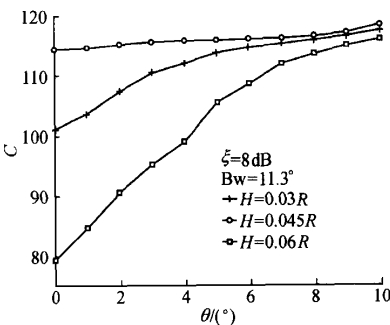


图 7 容量与倾斜角度关系受天线高度影响
Fig. 7 Capacity vs tilting angle with H

表 1 多区基站天线倾斜对容量提高作用的比较 ($\xi=8\text{ dB}$)

Tab. 1 Comparison of the capacities for multi-cell base stations with and without beam-tilting ($\xi=8\text{ dB}$)

Bw/(°)	H	$\theta/$ (°)	本小区用户数			单区倾斜邻近 小区用户数
			未倾斜	多区倾斜	单区倾斜	
5.7	0.03R	5	87	116	135	72
	0.045R	5	60	106	129	41
	0.06R	5	52	85	102	35
11.3	0.03R	10	114	119	138	90
	0.045R	10	101	118	132	87
	0.06R	10	79	116	121	51
21.8	0.03R	20	116	119	139	107
	0.045R	20	113	118	133	95
	0.06R	20	99	117	125	64

3 结 语

本文提出了 CDMA 系统的多区基站天线倾斜方案. 研究表明, 基站天线倾斜对提高系统容量的贡献受到环境衰落深度、天线高度、基站天线波束宽度等因素的影响. 结合这些因素, 分析了多区基站天线倾斜时蜂窝 CDMA 系统的容量. 针对不同的信道, 合理选择基站天线高度、波束宽度和倾斜角度, 系统容量可以得到明显的改善.

参考文献:

[1] Gilhousen K S, Jacobs I M, Padovani R, *et al.* On the capacity of a cellular CDMA system[J]. **IEEE Trans on Veh Tech**, 1991, 40(5): 303—312.

[2] Wu J S, Chung J K, Wen C C. Hot-spot traffic relief with a tilted antenna in CDMA cellular networks[J]. **IEEE Trans on Veh Tech**, 1998, 47(1): 1—9.

[3] Benner E, Sesay A B. Effect of antenna height, antenna gain, and pattern downtilting for cellular mobile radio[J]. **IEEE Trans on Veh Tech**, 1996, 45(2): 217—224.

[4] Kim D H, Lee D D, Kim H J, *et al.* Capacity analysis of macro/microcell CDMA with power ratio control and tilted antenna [J]. **IEEE Trans on Veh Tech**, 2000, 49(1): 34—42.

[5] Kim J Y, Gordon L S. CDMA soft handoff analysis in the presence of power control error and shadowing correlation[J]. **IEEE Trans on Wireless Communication**, 2002, 1(2): 245—255.

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,一直致力和专注于微波、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>