

文章编号:1673-5439(2007)03-0001-05

TD-SCDMA 智能天线发信波束形成实现方案研究

傅海阳,高鹏,江燕,张青

(南京邮电大学 通信与信息工程学院,江苏南京 210003)

摘要:证明了现有 TD-SCDMA 智能天线系统的发信部分只能用于基带波形的预均衡,根本不具备信号来波方向(DOA)检测、波束形成、空分多址这些智能天线系统应具备的基本功能,将形成一个上行容量大于下行容量的特殊系统,不能达到 3G 移动通信系统的基本要求。给出一种在 TD-SCDMA 系统中实现 DOA 检测,波束形成的基本方法,可以起到空分多址的作用。若使用该技术改造现有的 TD-SCDMA 系统,可以大幅度提高 TD-SCDMA 系统的性价比。

关键词:智能天线;DOA 估计;波束形成;预均衡

中图分类号:TN914.5;TN821+.91 **文献标识码:**A

Research on the Implementation of Transmitting Signal Beamforming of TD-SCDMA Smart Antenna

FU Hai-yang, GAO Peng, JIANG Yan, ZHANG Qing

(College of Communication and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: This paper has proved that the existing TD-SCDMA smart antenna system can be used only for base-band waveform pre-equalization, with no basic functions needed for smart antenna system at all such as DOA (direction of antenna) detection, beamforming, and space division multiple access. It will lead to a special system whose uplink capacity is larger than the downlink one. Unable to meet the basic requirements of 3G mobile communication system. This paper proposes a basic method which can realize the DOA detection and beamforming in the TD-SCDMA system to provide the capability of space division multiple access. The ratio of performance over cost of TD-SCDMA system can be greatly improved

Key words: smart antenna; direction of antenna estimation; beamforming; pre-equalizing

1 引言

TD-SCDMA 智能天线(SA)是8天线阵元组成的圆阵或线阵,天线阵元间的间隔约为 $\lambda/2$, λ 为载波波长。在基站发信中应提供空分多址的作用,此处空分多址的含义是智能天线能按照移动台(MS)所处的位置定向发信,因此空分多址可以减少 TD-

SCDMA 标准一个时隙中多个码道间的多重接入干扰(MAI),其前提是多个码道的 MS 处于不同的方位角。TD-SCDMA 智能天线利用所判定的收信号来波方向(DOA)确定信号发送方向,DOA 的检测原理较为复杂。文献[1-2]称 TD-SCDMA 使用最大功率合成算法估计 DOA,而大唐移动的内部资料^[3]则称采用谱搜索 DOA 估计方法。文献[1-2]将 DOA 检测电路即“空间参数提取”安排在解扩电路之后,文献[3]也将 DOA 估计算法安排的多用户多径信号的多用户分离、信道估计方框之后。多用户分离

收稿日期:2007-04-20

通讯作者:傅海阳 电话:(025)85697770

E-mail:fuhy@njupt.edu.cn

必须采取解扩的方法实现,因此上述资料中,都将 DOA 检测放在解扩之后。根据谱搜索 DOA 估计方法的原理^[4],需要将由 8 个天线阵元收到的期望用户信号载波分别移相迭加以取得期望用户信号的最大收功率,设当各路信号载波移相 $\alpha(\theta) = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_8]$ 时,8 路信号载波的迭加信号取得最大功率,则这时可由 $\alpha(\theta)$ 判定来波方向。这样多个信号载波移相、迭加过程就是智能天线中常说的波束形成过程,也是实现波束形成的唯一方法。若将 DOA 检测电路或算法放在解扩电路之后,解扩以后的信号为基带信号,是速率很低的一类眼图信号,很难将它与载波相位相联系。此时也无载波存在,载波相位信息已基本丧失殆尽,不可能再利用谱搜索 DOA 估计方法。由于在 TD-SCDMA 系统一个时隙中的 8 个用户采用 CDMA 方式共用一个信号载波,因此利用谱搜索 DOA 估计方法的一个难点是如何在收信端得到期望用户的信号载波,本文将给出一种可应用的取出期望用户信号载波的基本方法。

此外从文献[1-3]亦可以看到下行波束形成电路都在下行数据生成之后,即在基带信号处理电路中,在这个部位是不可能实现波束形成的,此处的信号相位与信号载波相位差别极大,在实际电路中欲利用基带信号的相位控制射频载波相位几乎是不可能的。因此,本文还应解决的一个问题是既然现有 TD-SCDMA 智能天线系统 DOA 估计算法和波束形成电路的位置均存在问题,那么他们可能采用哪种方法实现他们定义的“DOA 检测”和“波束形成”呢?文献[5]也许能够解决这个问题,作者在文中称他们在城市应用环境下,“提出了存在大量的 DOA 信道下不需 DOA 估计,不需知道天线阵的结构,只需信道空间相关矩阵信息的低价的计算波束加权矢量的方法”。一般而言,在不知道 DOA 的情况下无法给出波束加权矢量,也无法实现波束形成,更不可能实现空分多址。因此文献[5]的结论令人惊讶。若事实如此的话,它将否定 TD-SCDMA 中存在空分多址。或许是因为智能天线收发信机关键部分的设计制造是由美国 Array Comm 公司和国内相关公司联合研制完成的^[6],所以国人也很难讲清它们关键部分的工作原理。但是根据文献[5]的内容及文献[1-3]中给定的波束形成器的位置及文献[3,7]所给定智能天线的校准和补偿方法可以基本判定,TD-SCDMA 智能天线发信系统的波束形成电路,即“下行波束赋形”电路应该是一种基带波形预均衡电路,并不具有波束形成作用。这种预均衡电路的主要作用或许是可以减少 MS 接收信

号中多径传播的影响。但绝不可能起到空分多址的作用。预均衡的主要问题是它用 MS 发信基带滤波器至基站收信基带滤波器间的传输特性来估计基站发信基带滤波器至 MS 收信基带滤波器间的传输特性,其估计值的可用性值得研究。

2 空分多址智能天线的工作原理和 DOA 检测^[4]

图 1 给出 SA 经典波束形成器的结构, w_1^* 是 w_1 的共轭。它的输出信号:

$$y(t) = \mathbf{w}^H \mathbf{x}(n), \quad (1)$$

其中, $\mathbf{x}(n) = [x_1, x_2, \dots, x_8]^T$, $\mathbf{w} = [w_1, w_2, \dots, w_8]^T$ 。则该波束形成器的输出功率为

$$P_{bf} = E\{|y(n)|^2\} = E\{|\mathbf{w}^H \mathbf{x}(n)|^2\} = \mathbf{w}^H E\{\mathbf{x}(n)\mathbf{x}^H(n)\} \mathbf{w} = \mathbf{w}^H \mathbf{R}_{xx} \mathbf{w}. \quad (2)$$

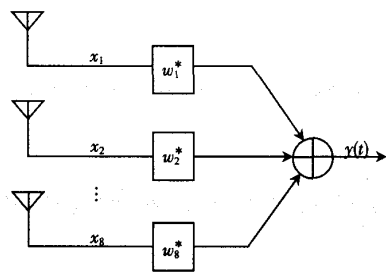


图 1 经典波束形成器结构

对于一个 M 阵元等距直线阵 SA, 一个平面波信号 $s(n)$ 以角度 θ_0 入射到阵列, 可得波束形成器的输出功率为

$$P_{bf} = E\{|\mathbf{w}^H \mathbf{x}(n)|^2\} = E\{|\mathbf{w}^H [s(n)\mathbf{a}(\theta_0) + \mathbf{n}(n)]|^2\} = |\mathbf{w}^H \mathbf{a}(\theta_0)|^2 \sigma_s^2 + \|\mathbf{w}\|^2 \sigma_n^2, \quad (3)$$

其中, $\mathbf{a}(\theta_0)$ 是 θ_0 的导引向量,

$$\mathbf{a}(\theta) = [1, \exp[-j\frac{2\pi d \sin\theta}{\lambda}], \exp[-j2\frac{2\pi d \sin\theta}{\lambda}], \dots, \exp[-j(M-1)\frac{2\pi d \sin\theta}{\lambda}]]^T,$$

$\mathbf{n}(n)$ 为阵列输入端的噪声向量, $\sigma_s^2 = E\{|s(n)|^2\}$ 和 $\sigma_n^2 = E\{|\mathbf{n}(n)|^2\}$ 分别为信号和噪声功率。

从式(2)可见, 当 $\mathbf{w} = \mathbf{a}(\theta_0)$ 时, 取得最大输出功率, 这是因为天线阵的加权矢量 $\mathbf{w} = \mathbf{a}(\theta_0)$ 使各个天线阵元输出的来自 θ_0 方向的信号被移相, 使各天线阵元来自 θ_0 方向的信号相位对齐, 使其同相迭加, 完成波束形成作用, 使信号增强。在信号发送时, 若使 $\mathbf{w} = \mathbf{a}(\theta_0)$, 则使 θ_0 方向的发信号最强。

在经典波束形成法中,改变 θ 使波束在感兴趣的范围内搜索,对不同 θ 形成不同的权矢量 $w = a(\theta)$,并测量 $y(t)$ 的功率,则 $y(t)$ 的输出功率与波达角之间的关系为

$$P_{yf}(\theta) = w^H R_{xx} w = a^H(\theta) R_{xx} a(\theta). \quad (4)$$

输出功率是波达角的函数,被称为空间谱,通过搜索空间谱(谱搜索)的峰值可以估计出 MS 的 DOA。谱搜索过程即为取得最大输出功率,而改变 $w = a(\theta)$ 的搜索过程。

谱搜索是 DOA 估计方法中最简单,实用的方法,其它还有 Capon 最小方差法, MUSIC 算法等,它们的 DOA 估计精度较高,实现难度更大。

3 TD-SCDMA 系统中用于 DOA 估计的新方法

TD-SCDMA 标准中无线突发的结构见图 2。突发中含有的 144 个码片长度的中置也称为训练序列,它的实际长度为 128 码片,由一类专用的中置码序列构成。它主要用于无线信道传播特性的测量。应该指出的一点是既然 TD-SCDMA 智能天线系统是利用上行信道特性估计下行信道特性,则完全没有必要安排下行中置,这样会造成约 16% 的无线资源的浪费。每个小区将使用一组中置码序列,每组中置码由 4 个中置码组成。同一小区同一时隙上的不同用户所采用的中置码由同一个基本中置码经循环移位后产生。中置是一类特殊的 PN 序列,有类似地址码的作用,时隙中不同的 MS 将使用相对应的中置码。中置码在 MS 发信中的处理过程见图 3。

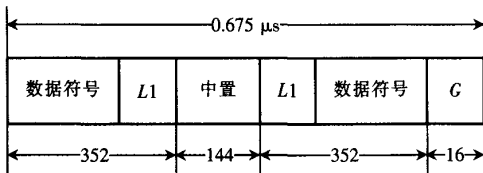


图 2 无线突发结构

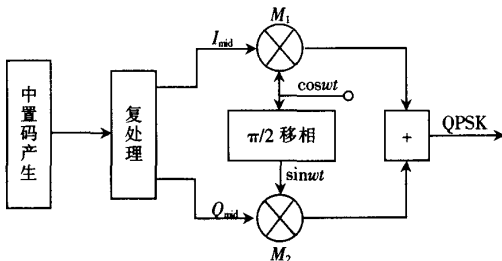


图 3 中置码在 MS 发信中的处理过程

在图 2 所定义无线突发的“中置”发送时间内,中置码经过图 3 中的处理过程和一些后续射频处理发往基站。图中的复处理用于产生分别送至 I, Q 两路调制乘法器 M_1, M_2 的两路不同的中置序列 I_{mid} 和 Q_{mid} 。

因此基站接收机可以利用图 4 的处理过程恢复所对应 MS 的收信载波 x_1 。图 2 送至中置码产生的同步信号用于控制在突发信号中置的位置产生中置码。相位调整框用于调整本地中置序列 I_{mid} 和 Q_{mid} 的相位,使其与收 QPSK 信号中的 I_{mid} 和 Q_{mid} 的相位对齐,使逆调制乘法器 M_1 和 M_2 能完成逆调制功能,恢复 $\cos\omega_c t$ 和 $-\sin\omega_c t$ 两路收信号正交载波,恢复的两路正交载波相加后得收信号载波 x_1 , x_1 带有无线信道的影响。同理可以得到另外 7 根天线阵元的收信号载波 x_2, x_3, \dots, x_8 。它们可作为图 1 中的 x_1, x_2, \dots, x_8 使用,此时若调整加权系数 $w_1^*, w_2^*, \dots, w_8^*$,即加权矢量 $w = a(\theta_0)$,则可使各路收信号载波 x_1, x_2, \dots, x_8 同相迭加,使 $y(t)$ 取得最大收信号功率,由此可以判定 MS 的 DOA,即 MS 的方位。由 MS 的 DOA 可以确定发信方向,达到定向发射的目的,形成空分多址,以减少 MAI。据谱搜索原理,MS 的 DOA 扫描过程也可以用查表法实现,假定存在 50 个 DOA,则可将 50 套 DOA 的加权系数分别与 x_1, x_2, \dots, x_8 相乘,取其中功率最大的 $y(t)$ 所具有的 DOA 作为发信方向,这样可以加快谱搜索过程。

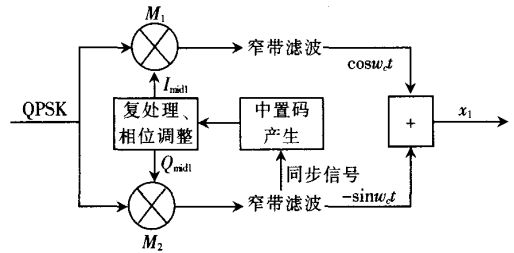


图 4 恢复 MS 收信载波的逆调制过程

4 现用 TD-SCDMA 系统 SA 在发信中的作用

前面已经指出 SA 若工作在空分多址状态时,必须有波束形成电路,才能定向发信。因此 SA 系统必须配有相应的 DOA 检测电路。文献[1-3]均将 DOA 检测电路放在解扩电路之后,在节 1 中已说明,解扩以后的信号基本不带有载波相位信息,从上节所给出的利用谱搜索方式检出 DOA 的方法可以判定,放置在该位置的 DOA 检测电路很难利用相应信号实现谱搜索过程。然而文献[3]称采用“谱搜

索 DOA 估计方法”。因此至少可以判定文献[3]提供的 DOA 估计电路位置存在错误。

文献[1-2]称采用“最大功率合成算法”估计“空间参数” w_m^i , m 为天线阵元号, 然后得到上行波束成型后的第 i 个 MS 信号:

$$s_i(k) = \sum_{m=1}^8 w_m^i x_m^i(k), \quad (5)$$

其中, $x_m^i(k)$ 为解扩后的第 k 个码元。文献[1]接着称“通过下行波束成型发射信号”为

$$y_m(k, n) = \sum_{i=1}^p w_m^i s_i(k) p_i(k, n), \quad (6)$$

其中, p 为同时工作的 MS 个数, $s_i(k)$ 为发送给第 i 个 MS 的第 k 个符号, $p_i(k, n)$ ($n=1, 2, \dots, L$) 为第 k 个符号的扩频 PN 码。

根据式(5)及文献[1]中所提供的“TD-SCDMA 系统的智能天线”实现框图可以判定在基站接收中采用了简单的 8 根天线阵元分集接收电路, 各天线单元接收信号的加权系数 w_m^i 具有基带波形的均衡作用, 和波束成型无关。据式(6)和相关框图也可以判定在基站发信中使用的是某种发基带波形均衡器, 或许可以用于消除同一时隙内其它多个用户干扰和本用户码间干扰, 但是完全和波束成型无关, 不可能具有空分多址的作用。对 MS 而言, 此时若将 $\sum_{m=1}^8 y_m(k, n)$ 加到一个天线阵元上发出, 会与将 $y_m(k, n)$ ($m=1, 2, \dots, 8$) 分别加至 8 个天线阵元上发出具有类似的效果。

在 TD-SCDMA 的基站设备中是没有上行波束形成的, 这在文献[3]中也可以得到确认。此外根据波束成型必须是多路载波信号迭加的结果。可以判定文献[1]给出的上/下行波束成型表达式(5)、(6)均是错误的。此外, 所谓利用“最大功率合成算法”估计“空间参数” w_m^i , 即加权函数 w 的方法也未见报道, 而且在推导过程中曾假设“第 n 个天线接收单元的功率最大”, 这种假设也是不成立的。因为 8 天线阵元收到的是相关信号, 它们的差别只是载波相位的不同。

文献[2]的叙述、智能天线实现框图和表达式与文献[1]中的内容雷同, 还声称“空间特性估值器提供如 DOA、多径反射的数目等空间参数, …”。因此文献[2]也从一个侧面证明了本节关于 TD-SCDMA 智能天线的的应用方式与空分多址无关的相关结论。

文献[3]给出的“DOA 计算过程”见图 5。图 5

中的多用户分离、信道估计框的输出信号或信道响应应该是式(5)中的 $x_m^i(k)$, 即解扩频的输出, 从中不可能取得 MS 的 DOA。图 5 虽然标记采用了谱搜索 DOA 估计方法, 但它给出的流程图不可能实现节 3 所给出的 DOA 估计方法。文献[3]中还给出“DOT 赋形过程”见图 6, 对照式(6)不难发现该图的最后输出信号, 即多用户的混合下行信号的表达式与式(6)完全相同。

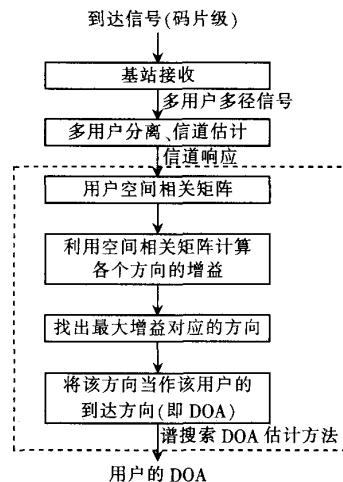


图 5 DOA 计算过程

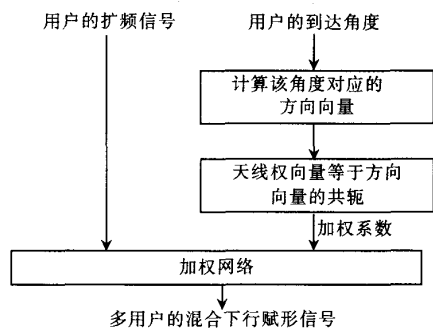


图 6 DOT 赋形过程

图 6 中用户的扩频信号就是 $\sum_{i=1}^p s_i(k) p_i(k, n)$, 加权系数就是 w_m^i 。所以文献[3]的相关内容也证明了本节所给出的现有 TD-SCDMA 系统的智能天线与空分多址无关的基本结论。

文献[7]给出“一种校准智能天线阵的方法和装置”的国家专利, 在“进行发射校准”一节中称“由基站的基带处理器对检测到的结果进行处理, 并计算各链路在发射时的传输系数与参考链路的传输系数之比; 通过控制各链路模拟发信机中的可变增益放大器来控制各发射链路的输出, 使各链路在发射时的传输系数与参考链路的传输系数的幅度之比等

于1;将每条发射链路与参考链路的相位差 ψ 记录在基带处理器中。”从这一段叙述中可以看,出将由基带处理器给出发信机的传输系数和相位差值,节1中已经说明这是行不通的;还可以看出他们所给的波束形成器应处在基带处理部分,否则就不应该由基带处理器给出所需参数。

文献[5]给出的 TD-SCDMA 系统的下行传输模型见图7,图7中 k 为用户数, k_a 为天线阵元数,此处应取8。

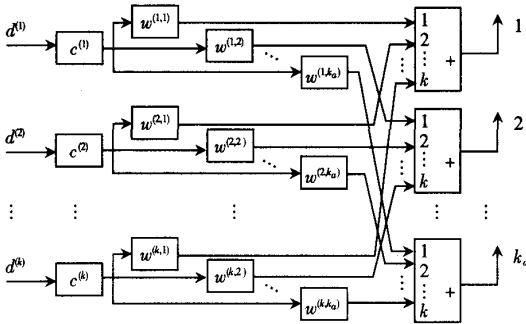


图7 TD-SCDMA 系统下行传输模型

文献[5]中称“各用户的扩频信号 $d(k)$ 被用户的扩频码 $c(k)$ 扩频,然后经波束加权矢量 $w(k)$ 加权。”由此可以证明式(6)将适用图7中的输出表达式。而且该论文称可以用文献[8]中给出的利用中置估计空时信道响应 $H(k)$ 的方法估计波束加权矢量 $w(k)$ 。应该指出的是文献[8]给出的方法只用于估计信道冲激响应,并不能用于 DOA 估计。所以根据前面的论述还可以判定文献[5]给出的“波束形成”方法应该称为基带波形预均衡。

5 结束语

根据前面给出的论述已经清楚证明现有 TD-SCDMA 智能天线系统在发信中仅用于发信基带波形的预均衡。因而将会导致系统的下行容量根本无法满足系统的设计指标,即满码道工作的要求。文献[9]已经证明 TD-SCDMA 智能天线系统在收信中用作简单的分集接收,也可以达到满码道工作的要求,可以判定现有的 TD-SCDMA 系统是一个上行容量大于下行容量的特殊系统,显然不符合 3G 移动通信系统下行容量应远大于上行容量的基本要求。

参考文献:

[1] 谢显中. TD-SCDMA 第三代移动通信系统技术与实现[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
 [2] 汤中生. TD-SCDMA 系统中的智能天线技术[J]. 无线电工程, 2002,32(7):9-13.
 [3] 康绍莉. 智能天线和联合检测技术建议书[Z]. 大唐移动通信设备有限公司资料,2005.
 [4] 谢显中. 基于 TDD 的第四代移动通信技术[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
 [5] 吴群英,肖先赐,李世鹤. 时延角度扩散信道中 TD-SCDMA 系统的下行波束技术[J]. 信号处理,2002,18(5):427-430.
 [6] 刘鸣,袁超伟. 智能天线技术与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
 [7] 李世鹤. 一种校准智能天线阵的方法和装置:中国, CN99111350.0[P]. 2001-02-14.
 [8] STEMER B,BAIER P W. Low Cost Channel Estimation in the Up-link Receiver of CDMA Mobile Radio Systems[J]. FREQUENZ, 1993,47:11-12.
 [9] 傅海阳. 智能天线在 TD-SCDMA 基站收信中的作用研究[J]. 南京邮电大学学报:自然科学版,2007,(待发表).

作者简介:

傅海阳(1951-),男,浙江义乌人。南京邮电大学通信与信息工程学院教授,博士生导师。(见本刊2007年第2期第33页)



高鹏(1982-),男,江苏南通人。南京邮电大学通信与信息工程学院硕士研究生。研究方向为无线通信。



江燕(1982-),女,江苏苏州人。南京邮电大学通信与信息工程学院硕士研究生。研究方向为无线通信。

张青(1984-),男,江苏南京人。南京邮电大学通信与信息工程学院硕士研究生。研究方向为无线通信。(见本刊2007年第2期第33页)

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>