

# 基于多分布式天线阵列的移动台定位算法

彭 静, 尹锁柱

(桂林电子科技大学 信息与通信学院, 广西 桂林 541004)

**摘 要:**在无线定位环境中尤其是闹市区, 为了减少非视距(NLOS)误差对定位精度的影响, 研究了一种基于多分布式天线阵列的移动台定位算法在不同基站数目下的性能。多分布式天线阵列定位算法是在散射体信道中, 利用NLOS附加误差的相关性分析, 提取散射体位置信息, 进而得到移动台坐标。利用计算机仿真, 改变参与定位的基站数目, 比较该算法在3~7个基站时的定位精度。结果表明, 该算法在基站数目为3时性能较好, 能有效抑制NLOS误差影响, 提高定位精度, 具有一定的实用性。

**关键词:**非视距; 天线阵列; 散射体; 附加误差

**中图分类号:** TN929.53

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-808X(2009)03-0217-05

## Positioning Algorithm for Mobile Station Based on Distributed Multi-Antenna

PENG Jing, YIN Suo-zhu

(School of Information and Communication Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** An important issue in wireless location systems, especially in urban environment, is the non-line-of-sight (NLOS) error. In this paper, we research the performance of the distributed multi-antenna algorithm under different number of base station (BS) in order to reduce the NLOS impact. With the additional NLOS errors correlation analysis, the scatter location information is extracted in channel. Then the coordinates of mobile station (MS) is gained. By computer simulation, changing the number of base stations involved in positioning, and comparing the positioning accuracy of various algorithms from three to seven base stations. The result shows the proposed algorithm can effectively inhibit the effects of NLOS errors and improve location's accuracy. Its performance is better when the number of BS is three, so this algorithm has practicality to some extent.

**Key words:** NLOS; antenna array; scatter; additional error

随着通信技术的发展, 定位服务将是今后各种蜂窝网, 特别是3G网络必备的基本功能。自从美国联邦通信委员会分布E-911定位需求后, 无线定位技术的飞速发展, 诸多学者已经研究并提出了一些有效减少非视距误差影响的定位算法<sup>[1-4]</sup>。其中利用散射体在非视距环境下对移动台(MS)进行定位是非直达波定位算法中重要的一种。在非视距环境中, 电波在基站(BS)与MS之间的传播被假设为经过不同的散射体反射到达接收方, 导致多径信号产生。因此首先要建立散射体信道模型, 在模型中提取出有用的散射体位置信息, 从而抑制NLOS误差, 提高定位精度。本文首先简单介绍了3种散射体模型, 然后定性的分析了不

同波束的NLOS误差之间的相关性<sup>[1]</sup>, 在不同基站数目下, 对文献[1]提出的多分布式天线阵列定位算法进行了研究。

### 1 散射体模型

散射体的分布特性主要是依靠小区所在的环境, 常用的三种散射体模型, 分别是单反射圆环(ROS)模型<sup>[5]</sup>、单反射圆盘(DOS)模型<sup>[6]</sup>和截短高斯分布(CGS)模型<sup>[7]</sup>。

如图1(a)所示, 在圆环(ROS)模型<sup>[5]</sup>中, 散射体被假设均匀分布在移动台周围半径为固定值 $R$ 的圆环上,  $\theta$ 角服从 $[0, 2\pi]$ 的均匀分布。NLOS误差 $\eta_i$ 的

概率密度函数<sup>[6]</sup>:

$$p_{ROS}(\eta_{ij}) = \frac{\eta_{ij} - R + r_i}{Rr_i\Psi_{ij}}, 0 \leq \eta_{ij} \leq 2R \quad (1)$$

$$\text{其中 } \Psi_{ij} = \sqrt{1 - \left[ \frac{\eta_{ij}(2(R - r_i) - \eta_{ij})}{2Rr_i} + 1 \right]^2},$$

$r_i$  为移动台MS与第*i*个基站BS的直线距离,  $l_{ij}$  是MS与BS之间第*j*条多径分量(即TOA测量值),

$$p_{DOS}(l_{ij}) = \frac{-\eta_{ij}(\eta_{ij} + 2r_i)(\eta_{ij} + r_i - 2R_d) \sqrt{(2R_d - \eta_{ij})(2r_i + \eta_{ij} - 2R_d) - 2(2(\eta_{ij} + r_i)^4 - 3(\eta_{ij} + r_i)^2 r_i^2 + r_i^4) \arctan(Q_{ij})}}{4\pi R_d^2 \eta_{ij}^{1.5} (\eta_{ij} + 2r_i)^{1.5}}, \quad (2)$$

$$\text{其中 } Q_{ij} = \frac{(\eta_{ij} + 2r_i) \tan \left[ \frac{1}{2} \arccos \frac{(\eta_{ij} + r_i)^2 + r_i^2 - 2(\eta_{ij} + r_i)R_d}{2r_i(\eta_{ij} + r_i - R_d)} \right]}{\sqrt{(\eta_{ij} + r_i)^2 - r_i^2}}, \quad r_i, l_{ij} \text{ 定义见式(1)}.$$

截短的高斯散射模型(CGS)如图1(c)所示, 散射体与MS的距离 $r_i$ 服从截短的高斯分布, NLOS附加误差的分布密度 $p_{CGS}(\eta_i)$ 没有显式解, 只能用数值方法计算<sup>[7]</sup>.

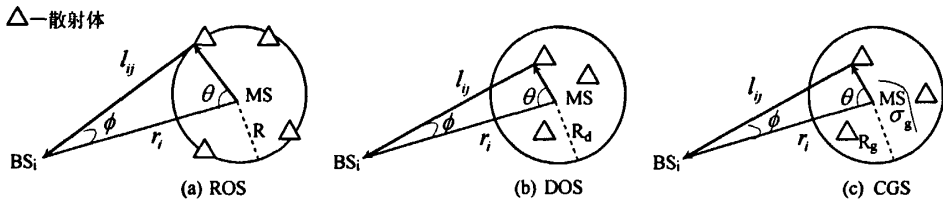


图1 三种散射体模型

## 2 NLOS 附加误差的相关研究

为了研究不同的BS对同一个MS进行距离测量时遇到的NLOS附加误差之间的关系, 文献[4]将2个测量天线阵的几何中心关于MS的张角 $\alpha$ 定义为测量角跨度, 当 $\alpha=180^\circ$ 时, 两天线阵测得的名义距离也是所包含的NLOS附加误差的相关性最差。当 $\alpha$ 趋近于0时, 两天线接收到的来自同一个MS的波束将变为同一个波束, 此时NLOS附加误差完全相等。已有的测量结果表明, 通常先到的波束比迟到的波束具有更大的功率<sup>[5]</sup>。因此, 在实际的TOA估计中, 可以只使用最先到达的波束。本节将利用仿真方法定量分析NLOS附加误差与接收天线位置的关系<sup>[1]</sup>, 步骤如下。

(1) 固定一个MS和距离该MS均是1 km的同一个BS上的两个接收天线*i*和*j*的位置, 且这两接收天线的距离用*d*表示。

(2) 按照上述3种散射模型的约束条件, 随机地分布一定数量的散射体。

(3) 选取接收天线*i*、*j*和MS构成最短折射路径的散射体判断两天线选择的散射体是否为同一个, 如

万方数据

$$\eta_{ij} = l_{ij} - r_i.$$

在DOS模型<sup>[6]</sup>中, 散射体被假设均匀分布在移动站周围半径为固定值 $R_d$ 的圆盘上, 由此得散射体到基站的距离 $r_{DOS}$ 服从 $[0, R_d]$ 的均匀分布,  $\theta$ 角服从 $[0, 2\pi]$ 的均匀分布, 如图1(b)所示, 其TOA测量值的概率密度函数<sup>[6]</sup>为

果是则利用NLOS误差 $\eta_{ij} = l_{ij} - r_i$ 来计算此时的NLOS误差并记为 $N_i(n), N_j(n), n=1, 2, \dots$ , 若不是则不计算。

(4) 重复步骤(2)和步骤(3), 记到达天线*i*和*j*的路径是来自同一个散射体的次数 $n_i$ , 计算概率

$$p(i, j) = \frac{n_i}{M}, \quad (3)$$

其中*M*是试验的次数。计算 $N_i(n)$ 和 $N_j(n)$ 的相关系数:

$$c(i, j) = \frac{\frac{1}{M} \sum_{n=1}^M (N_i(n) - \bar{\mu}_i)(N_j(n) - \bar{\mu}_j)}{\sqrt{\left[ \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M (N_i(n) - \bar{\mu}_i)^2 \right] \left[ \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M (N_j(n) - \bar{\mu}_j)^2 \right]}} \quad (4)$$

$$\text{其中 } \bar{\mu}_i = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M N_i(n), \quad \bar{\mu}_j = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M N_j(n).$$

(5) 改变两个接收天线的距离*d*, 重复步骤(2)~(4)。

图2和图3为依次采用上述3种散射模型的仿真结果<sup>[1]</sup>, 3种模型半径均分别为200 m和800 m, 两天线距离*d*从5 m增加到150 m。这里可以看出, 3种散

射模型在NLOS附加误差的相关性变化趋势上表现出很好的一致性。当两天线距离很近时,NLOS附加误差具有很强的相关性,在30 m以内其相关系数近似为1,而当模型半径增加后,最短路径同时来自同一个散射体的概率明显下降。随着距离 $d$ 的增加,相关性和概率 $p(i,j)$ 也逐渐降低。仿真结果表明,当两天线距离很近(相对于MS与BS距离而言)时,来自不同天线的电波是同一个散射体反射的概率很大,且两天线阵的NLOS附加误差的相关性最强。所以假设在分布式多天线阵列中,第一个到达天线的路径是来自同一散射体的<sup>[1]</sup>。

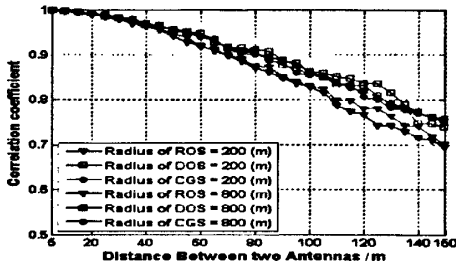


图2 NLOS附加误差的相关性

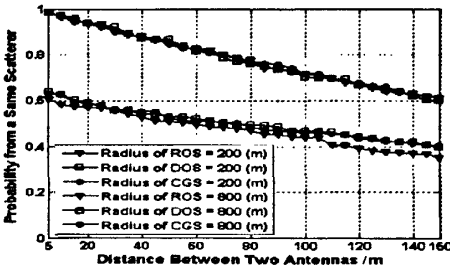


图3 到达天线最短反射路径来自同一散射体的概率

### 3 基于天线阵列的MS定位方法

根据前文对散射体信道模型中NLOS误差的分析和结论<sup>[1]</sup>,将扇区天线分为5个子阵,通过测量各个天线子阵关于MS的TDOA参数,来估计MS的位置坐标。由于基站与MS的距离远远大于两天线子阵的距离,因此,利用天线子阵测量TDOA参数可以更好地抵消NLOS附加误差,从而获得较高的定位精度。

该算法模型<sup>[1]</sup>如图4所示,一个基站控制由 $A_1, A_2, \dots, A_5$ 组成的天线阵列,位置分别是 $(x_1, y_1)$ 到 $(x_5, y_5)$ 。设在同一列的3个天线阵列中两两相邻的天线距离为 $l$ ,并且 $x_1 = x_2 = x_3, y_2 = y_4 = y_5$ 。所有5个天线阵均同时进行TOA测量,MS的位置为 $(x, y)$ ,散射体的位置假设为 $(x_s, y_s)$ 。在NLOS环境下,天线

阵列到达MS的视距路径被阻碍,假设 $A_i$ 测得的TOA值为 $R'_i$ ,且 $R'_i = a_i + b + n_i$ ,其中 $n_i$ 是热噪声, $b$ 是散射体与MS的实际距离值, $a_i$ 是散射体与天线 $A_i$ 的距离值。由此可得天线 $A_i$ 与天线 $A_j$ 的TDOA值为

$$R'_{i,j} = a_i - a_j + n_i - n_j.$$

因为天线 $A_1, A_2$ 和 $A_3$ 位于同一水平直线上,与 $x$ 轴平行,天线 $A_2, A_4$ 和 $A_5$ 也同在同一条直线上且与 $y$ 轴平行。所以通过天线 $A_1, A_2$ 和 $A_3$ 的TDOA值就可以计算出散射体的 $y_s$ 。

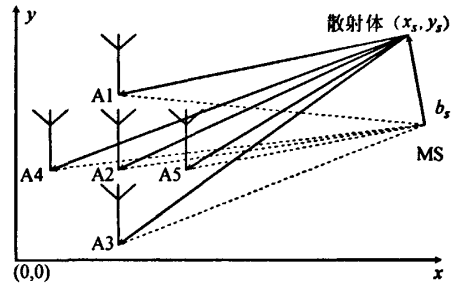


图4 基于分布式多天线抑制NLOS算法模型

假设热噪声 $n_i$ 太小而忽略不计,分析 $A_1, A_2$ 和 $A_3$ 的TDOA值可以得

$$\begin{aligned} R'_{1,2} &= \sqrt{(x_s - x_1)^2 + (y_s - y_1)^2} - \sqrt{(x_s - x_2)^2 + (y_s - y_2)^2}, \\ R'_{3,2} &= \sqrt{(x_s - x_3)^2 + (y_s - y_3)^2} - \sqrt{(x_s - x_2)^2 + (y_s - y_2)^2}. \end{aligned}$$

因此可以计算得到 $y_s$ :

$$y_s = \frac{R'_{1,2}R'_{3,2}(R'_{1,2} - R'_{3,2} + (y_2^2 - y_1^2)R'_{3,2} - (y_2^2 - y_3^2)R'_{1,2})}{2(R'_{3,2}(y_2 - y_1) - R'_{1,2} - (y_2 - y_3))} \quad (5)$$

同理可以由 $A_2, A_4$ 和 $A_5$ 的TDOA值算出 $x_s$ :

$$x_s = \frac{R'_{4,2}R'_{5,2}(R'_{4,2} - R'_{5,2} + (x_2^2 - x_4^2)R'_{5,2} - (x_2^2 - x_5^2)R'_{4,2})}{2(R'_{5,2}(x_2 - x_4) - R'_{4,2} - (x_2 - x_5))} \quad (6)$$

由此就得到了散射体的坐标值 $(x_s, y_s)$ ,所以散射体距MS的值 $b_i$ <sup>[1]</sup>:

$$b_i = R'_2 - \sqrt{(x_2 - x_s)^2 + (y_2 - y_s)^2} \quad (7)$$

设置 $N(N \geq 3)$ 个服务基站,每个基站都由如图4的天线阵列组成,根据式(5)~式(7)可以计算出每个基站中散射体的坐标 $(x_u, y_u)$ 和到移动台MS的距离 $b_u$ 。利用在LOS环境中具有优良定位性能的Chan算法计算出MS的位置,将每个基站中散射体的坐标 $(x_u, y_u)$ 作为新的基站坐标,散射体到移动台MS的

距离 $b_u$ 作为新的基站到移动台的距离,可以得到:

$$b_u^2 = (x_u - x)^2 + (y_u - y)^2 =$$

$$K_i - 2x_u x - 2y_u y + x^2 + y^2, \quad (8)$$

其中 $k_i = x_u^2 + y_u^2$ ,当有效测量基站数为3时,可由式(8)按以下形式解出:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} x_{2,1} & y_{2,1} \\ x_{3,1} & y_{3,1} \end{bmatrix}^{-1} \times \left\{ \begin{bmatrix} b_{2,1} \\ b_{3,1} \end{bmatrix} b_{1,1} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} b_{2,1}^2 - K_2 + K_1 \\ b_{3,1}^2 - K_3 + K_1 \end{bmatrix} \right\} \quad (9)$$

式中 $x_{i,1} = x_u - x_{i,1}, y_{i,1} = y_u - y_{i,1}, b_{i,1} = b_u - b_{i,1}, K_1 = x_{1,1}^2 + y_{1,1}^2, K_2 = x_{2,1}^2 + y_{2,1}^2, K_3 = x_{3,1}^2 + y_{3,1}^2$ ,将式(9)代入(8),令 $i=1$ ,得到一个关于 $b_{1,1}$ 的二次方程,将其正根带回式(9)就得到移动台的估计位置。在某些情况下可能有两个正根,这种模糊性可由有关先验信息进行选择。当基站数目大于3时,详细步骤参考文献[8]中Chan算法的相关内容。

#### 4 仿真试验及性能分析

仿真试验用于检验算法在实际蜂窝网信道环境中的定位性能,试验中所有结果都是利用Matlab软件做1000次Monte-Carlo独立试验得到的均值。基站分布如图5所示,移动台在图中所示的1/12区域内且所有基站处于DOS模型<sup>[6]</sup>中,参与比较的算法为结合了Chan算法的多分布式天线阵列算法和Chan算法<sup>[8]</sup>。

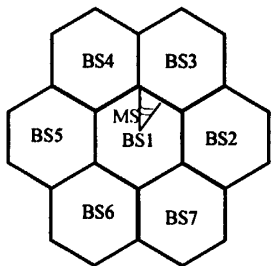


图5 基站分布图

##### 4.1 DOS半径对定位精度的影响

假设MS是静止的,每个小区半径 $R$ 为2000 m,MS在距离服务小区基站BS1为1000 m的圆上均匀分布,测量误差服从 $N(0, 30 \text{ m})$ 的高斯分布。仿真时DOS模型半径从 $R_D = 100 \text{ m}$ 增至 $400 \text{ m}$ 。当基站数目BSN为3时,不同DOS模型半径下的定位误差如图6所示,基站数目为4~7时,定位误差如图7(a)~(d)所示。

从图6可以得到,在3个基站都处于DOS环境中,两种定位算法的定位误差都随着DOS模型半径 $R_D$ 的增加而加大,但是本算法性能较好。结合图7(a)~(d)可以看出,在基站数目为7时,本节算法并不优于Chan算法,而且在基站数目为4、5和6时,本节算法的稳定性不高,定位误差随着DOS半径的增加出现明显的波动。

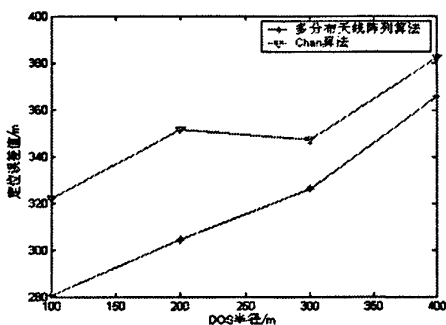


图6 BSN=3时DOS半径对定位精度的影响

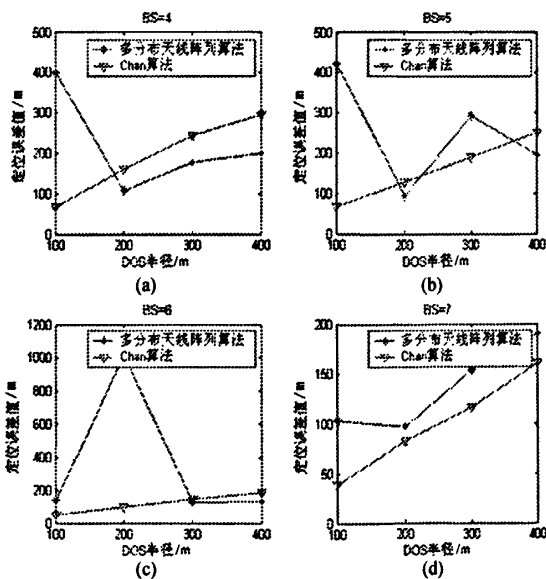


图7 参与定位的基站数目对定位误差的影响

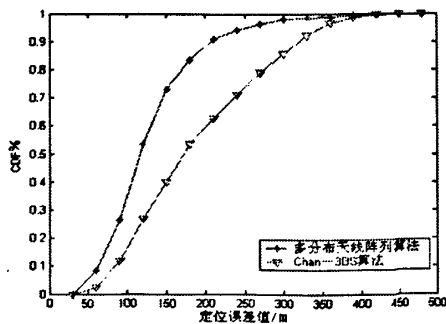


图8 BSN=3时误差分布图

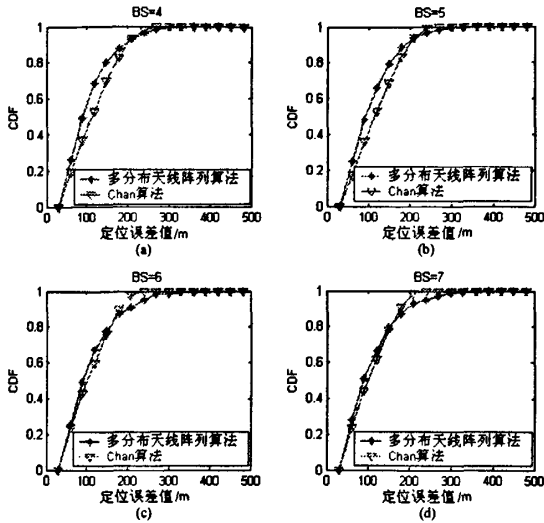


图9 参与定位的基站数目对误差分布函数的影响

#### 4.2 误差累计分布函数<sup>[9]</sup>(CDF)

图8为 $R_D=100\text{ m}$ 即最大非视距误差为200 m,采用3个基站定位时,两种算法的误差累计分布函数图。图9(a)~(d)表示基站数目为4到7时,两种算法的误差分布情况。由图8看出,多分布式天线阵列算法的性能明显优于Chan算法。结合图9(a)~(d)可知,参与定位的基站个数对误差累计分布函数有一定的影响,基站数目越多,本文算法的CDF曲线增长速度越慢,在定位误差为150 m的时候,其增长速度低于Chan算法。而Chan算法则是基站数目越多,其定位精度越高<sup>[8]</sup>。综上所述,本文算法在基站数目较少的情况下性能比Chan算法更优,有一定的实用性。

### 5 结论

在散射体模型中,研究了一种基于多分布式天线阵列的定位算法。根据对NLOS附加误差的相关性分

析,利用天线子阵测量TDOA参数可以更好的抵消NLOS附加误差,从而获得比Chan算法更高的定位精度。综合分析表明,在3个基站的时候,本文算法性能较优,有一定的实用性。

#### 参考文献:

- [1] SHI Ming-yang, TAO Xiao-feng, XU Yong-tai, HAN Xiao. A distributed multi-antenna based NLOS error elimination algorithm for mobile localization [C]//Circuits and Systems for Communications, 2008, ICCSC 2008 (4th IEEE International Conference). 2008, 5: 411-415.
- [2] 林基明,刘涓,王玫,郑继禹.非视距传播环境下的一种TDOA定位算法[J].桂林电子工业学院学报,2004,24(5):1-4.
- [3] 蒋文美,王玫.一种基于TOA的UWB直接-Taylor复合定位算法[J].桂林电子工业学院学报,2006,26(1):1-5.
- [4] 马金明,吴伟陵.基于天线子阵的移动台定位方法及其性能分析[J].重庆邮电学院学报(自然科学版),2004,16(1):1-4.
- [5] KIM JANGSUB, CHUNG WOOGON. A spatio-temporal channel model for position location techniques via AOA and TDOA[C]//IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), 2001:233-237.
- [6] SAI-JAZZAR, CAFFERY J, YOU H. A scattering model based approach to NLOS mitigation in TOA location systems [C]//IEEE Vehicular Technology Conference (vtc'02), 2002: 861-865.
- [7] ERTEL R B, REED J H. Angle and time of arrival statistics for circular and elliptical scattering models[J]. Selected Areas in Communications, IEEE, 1999, 17(11):1829-1840.
- [8] CHAN Y T, HO K C. A simple and efficient estimator for hyperbolic location[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 1994, 42(8):1905-1915.
- [9] 范平志,邓平,刘林.蜂窝网络无线定位[M].北京:电子工业出版社,2002:47-50.

责任编辑 林建玲 梁王欢

英文编辑 陆小明

## 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](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>