

分布式天线系统中的系统上行中断概率分析

王俊波^{*①②③} 王金元^④ 林敏^④ 陈明^②

^①(清华大学软件学院 北京 100084)

^②(东南大学移动通信国家重点实验室 南京 210096)

^③(南京航空航天大学信息科学与技术学院 南京 210016)

^④(南京电讯技术研究所 南京 210007)

摘要: 中断概率是无线通信系统的一个重要指标。该文针对分布式天线系统中的系统中断概率问题进行了研究。首先,建立了包含路径损耗、阴影衰落和瑞利衰落的复合信道模型;然后,在该信道模型下推导出给定移动台位置时的信噪比;接着,基于选择合并策略,分析给出给定移动台位置时系统上行传输的中断概率表达式;最后,考虑到小区内移动台任意分布特点,文章给出系统上行中断概率闭合理论表达式。仿真结果表明,所提的系统上行中断概率理论表达式与仿真结果十分吻合。

关键词: 无线通信; 分布式天线系统; 系统中断概率; 选择合并; 上行传输; 复合信道

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2011)05-1136-05

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2010.00955

System Uplink Outage Probability Analysis in Distributed Antenna Systems

Wang Jun-bo^{①②③} Wang Jin-yuan^④ Lin Min^④ Chen Ming^②

^①(School of Software, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

^②(National Mobile Communication Research Laboratory, Southeast University, Nanjing 210096, China)

^③(College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

^④(Nanjing Telecommunication Technology Institute, Nanjing 210007, China)

Abstract: Outage probability is an important parameter in wireless communication systems. This paper studies the system outage probability in the Distributed Antenna Systems (DAS). Firstly, this paper establishes a composite channel model which takes into account three factors such as path loss, lognormal shadowing and Rayleigh fading. Based on the established channel model, the Signal-to-Noise Ratio (SNR) of Mobile Station (MS) over a given position is derived. Then, an uplink transmission expression of the outage probability for the MS over a given position is derived by employing the selective combining. Further, considering the distribution of MSs in the cell, a closed-form expression of the system outage probability is obtained. Numerical results show that the closed-form expression of the system uplink outage probability can match with the simulation results very well.

Key words: Wireless communication; Distributed Antenna Systems (DAS); System outage probability; Selective combining; Uplink transmission; Composite channel

1 引言

随着用户需求的不断增长和频谱资源的日益紧张,传统蜂窝系统出现了系统规划复杂、干扰增加、

2010-09-03 收到, 2011-02-14 改回

国家自然科学基金(60972023), 国家科技重大专项(2010ZX03003-002, 2010ZX03003-004), 东南大学移动通信国家重点实验室开放研究基金(2010D01)和研究基金(2010A06), 区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室开放课题(2008SH06)和南京航空航天大学基本科研业务费专项科研项目(NS2010091)资助课题

*通信作者: 王俊波 jbwang@nuaa.edu.cn

切换频繁等问题, 已无法适应未来无线通信系统高速率、大容量通信的发展要求。因此, 打破传统蜂窝结构限制, 发展适合未来无线通信系统的新技术势在必行。近年来, 分布式天线系统引起了学术界的广泛关注。它将天线在地理上分开放置, 不仅能提高接收信噪比, 降低发送功率, 提高分集度, 而且还减少了切换次数, 从而大大改善系统性能^[1-3], 已成为未来无线通信极具发展前景的方向之一。

在无线通信中, 系统中断概率是反映用户会话接入性能的重要指标, 对系统的网络规划、天线布

局等问题的研究具有重要的理论和应用价值。因此，系统中断概率在无线通信的研究中占有十分重要的地位。到目前为止，已经有一些学者对分布式天线系统中的中断概率性能进行了初步的研究。文献[4]研究了两种分布式天线系统上行链路的信噪比和中断概率性能，但是信道模型没有考虑小尺度衰落的影响。文献[5]研究了在阴影衰落和瑞利衰落分布下分布式天线系统的中断概率性能。在文献[5]中，各分布式天线和移动台间的路径损耗假定是相同的，然而在实际系统中并非总是如此。因此，所得到的中断概率表达式缺乏一般性，并不能用来作为评估系统在不同场景下中断性能的指标。在文献[6,7]中，我们曾针对分布式天线系统推导出在阴影衰落和Nakagami小尺度衰落下，某一移动台上行和下行传输的中断概率解析表达式。需要注意的是，这两篇文章所得到的中断概率表达式只能计算移动台处于小区中某一具体位置时的中断概率，还无法用于评估整个系统会话的中断概率性能。理论上，系统中断概率与移动台在小区内的分布有关。到目前为止，还未见到相关文献对系统中断概率问题进行完整的分析，因此有必要对其做进一步研究。

在前期工作的基础上^[8]，本文进一步针对分布式天线系统中上行传输的系统中断概率进行研究。文章首先建立了考虑路径损耗、阴影衰落和瑞利衰落的分布式天线系统复合信道模型。然后，根据该模型推导了在给定移动台位置条件下的信噪比，并分析出该位置上移动台的上行中断概率表达式。接着，考虑到小区内移动台任意分布特点，文章进一步分析出分布式天线系统中的系统上行中断概率闭合表达式。

2 系统模型

考虑一个如图1所示的分布式天线系统。假设小区是一个半径为R的圆形小区，基站位于小区中心，基站处的天线记为DA0；N个分布式天线任意地摆放在小区内的不同位置，记为DA*i* (*i*=1,2,...,N)。每个分布式天线通过光纤或专用无线链路与小区基站相连。考虑到系统实现的限制，假设每个移动台(MS)只有一根天线，并且移动台按一定的概率密度分布在小区范围内。不失一般性地，移动台和DA*i*的位置分别用极坐标(ρ, θ)和(D_i, θ_i) (*i*=0,1,2,...,N)表示，其中 ρ 和 θ 为移动台相对于小区中心的距离和方位角，而 D_i 和 θ_i 为DA*i*相对于小区中心的距离和方位角。

本文只考虑分布式天线系统的上行传输。数学上，基站和所有分布式天线接收到来自移动台的上行信号可以表示为

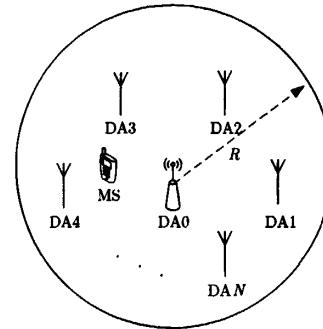


图1 分布式天线系统示意图

$$\begin{aligned} \mathbf{Y} &= [y_0, y_1, \dots, y_N]^T \\ &= \sqrt{E} \underbrace{[h_0, h_1, \dots, h_N]}_H^T x + \mathbf{Z} \in \mathbb{C}^{(N+1)} \end{aligned} \quad (1)$$

其中矢量 \mathbf{Y} 的第*i*个元素 y_i 表示DA*i*所接收到的信号， E 为移动台的上行信号发射功率，信道增益矢量 H 的第*i*个元素 h_i 表示DA*i*与移动台之间传输链路的信道增益， x 则为移动台发射的上行信号，而 Z 为夹杂在信号中的噪声矢量。在本文中，假设噪声矢量 Z 中的每一个元素均为相互独立的零均值、方差为 N_0 的复高斯随机变量。

参照文献[8]，分布式天线系统中的信道增益可建模为由路径损耗、阴影衰落和瑞利(Rayleigh)衰落构成的复合信道模型。数学上，式(1)中的信道增益 h_i 可表达为

$$h_i = \sqrt{\Omega_i} g_i, \quad \forall i \in \{0, 1, \dots, N\} \quad (2)$$

其中 Ω_i 表示阴影衰落的影响，服从对数正态(Lognormal)分布^[9]

$$f(\Omega_i) = \frac{\xi}{\sqrt{2\pi}\sigma_i\Omega_i} \exp\left[-\frac{(10\lg\Omega_i - \omega_i(\rho, \theta))^2}{2\sigma_i^2}\right], \quad \Omega_i > 0 \quad (3)$$

其中 $\xi = 10/\ln 10, \omega_i(\rho, \theta)$ (单位 dB)和 σ_i (单位 dB)分别为 $10\lg\Omega_i$ 的均值和标准差。需要注意的是，均值 $\omega_i(\rho, \theta)$ 由DA*i*和(ρ, θ)处移动台间的路径损耗决定，可描述为^[9]

$$\omega_i(\rho, \theta) = 10 \lg [d_f / d_i(\rho, \theta)]^{\beta_i} \quad (4)$$

其中 d_f 为参考距离， β_i 为路径损耗指数。 $d_i(\rho, \theta)$ 为DA*i*和(ρ, θ)处移动台之间的距离，可表示为 $d_i(\rho, \theta) = \sqrt{\rho^2 + D_i^2 - 2\rho D_i \cos(\theta - \theta_i)}$ 。此外，式(2)中 g_i 为小尺度衰落的影响，其包络服从零均值的Rayleigh分布^[10]

$$f(|g_i|) = 2|g_i| \exp(-|g_i|^2), \quad |g_i| \geq 0 \quad (5)$$

3 系统中断概率分析

系统中断概率是反映用户会话接入性能的重要

指标之一。本节将分析分布式天线系统中的系统上行中断概率。首先,由式(1)和式(2)可知,DA i 所接收上行信号的信噪比为

$$\gamma_i = \frac{E|h_i|^2}{N_0} = \frac{E\Omega_i|g_i|^2}{N_0} \quad (6)$$

由于 g_i 的包络服从瑞利分布,则 $|g_i|^2$ 服从指数(exponential)分布,从而 γ_i 服从 exponential-lognormal 分布^[11],其概率密度可表示为

$$f(\gamma_i) = \int_0^\infty \frac{1}{S_i} \exp\left(-\frac{\gamma_i}{S_i}\right) \frac{\xi}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} \cdot \exp\left[-\frac{(10\lg S_i - \mu_i(\rho, \theta))^2}{2\sigma_i^2}\right] dS_i \quad (7)$$

其中 $S_i = E\Omega_i / N_0$, $\mu_i(\rho, \theta) = \omega_i(\rho, \theta) + 10\lg(E/N_0)$ 。

假设系统接收端采用选择合并方式,即选择信噪比最大的天线来接收上行信号,则输出信噪比可以表示为

$$\gamma = \max\{\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_N\} \quad (8)$$

由于各分布式天线和基站在地理上分开放置且相距较远,可以认为各分布式天线和基站与移动台间的阴影衰落和小尺度衰落是独立的,因此式(8)中的所有信噪比是互相独立的。相应地,位于 (ρ, θ) 处移动台的上行中断概率可表示为

$$\delta(\rho, \theta) = \Pr(\gamma < \gamma_{th}) = \Pr(\gamma_0 < \gamma_{th}, \dots, \gamma_N < \gamma_{th}) = \prod_{i=0}^N \Pr(\gamma_i < \gamma_{th}) \quad (9)$$

其中 γ_{th} 为信噪比门限。

利用式(7),可得到 $\Pr(\gamma_i < \gamma_{th})$ 为

$$\begin{aligned} \Pr(\gamma_i < \gamma_{th}) &= 1 - \int_{\gamma_{th}}^\infty \int_0^\infty \frac{1}{S_i} \exp\left(-\frac{\gamma_i}{S_i}\right) \frac{\xi}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} \\ &\quad \cdot \exp\left[-\frac{(10\lg S_i - \mu_i(\rho, \theta))^2}{2\sigma_i^2}\right] dS_i d\gamma_i \\ &= 1 - \int_0^\infty \frac{\xi}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2} S_i} \\ &\quad \cdot \exp\left[-\frac{(10\lg S_i - \mu_i(\rho, \theta))^2}{2\sigma_i^2}\right] \\ &\quad \cdot \int_{\gamma_{th}/S_i}^\infty \exp(-v) dv dS_i \\ &= 1 - \int_0^\infty \exp\left(-\frac{\gamma_{th}}{S_i}\right) \frac{\xi}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2} S_i} \\ &\quad \cdot \exp\left[-\frac{(10\lg S_i - \mu_i(\rho, \theta))^2}{2\sigma_i^2}\right] dS_i \quad (10) \end{aligned}$$

然后令 $x = (10\lg S_i - \mu_i(\rho, \theta)) / (\sqrt{2\sigma_i^2})$,并利用 Gauss

-Hermite 积分公式^[12],则式(10)中的概率 $\Pr(\gamma_i < \gamma_{th})$ 可进一步表示为

$$\begin{aligned} \Pr(\gamma_i < \gamma_{th}) &= 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{\gamma_{th}}{\sqrt{2}\sigma_i x + \mu_i(\rho, \theta)}\right) \\ &\quad \cdot \exp(-x^2) dx \cong 1 - 1/\sqrt{\pi} \\ &\quad \cdot \sum_{n=1}^{N_p} H_n \exp\left(-\frac{\gamma_{th}}{\sqrt{2}\sigma_i t_n + \mu_i(\rho, \theta)}\right) \end{aligned} \quad (11)$$

其中 t_n 和 H_n 分别是 N_p 阶 Hermite 多项式的基点和权值。

进一步地,把式(11)代入式(9),则得到位于 (ρ, θ) 处移动台的中断概率为

$$\delta(\rho, \theta) \cong \prod_{i=0}^N \left[1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=1}^{N_p} H_n \exp\left(-\frac{\gamma_{th}}{\sqrt{2}\sigma_i t_n + \mu_i(\rho, \theta)}\right) \right] \quad (12)$$

值得一提的是,式(12)得到的中断概率是关于移动台位置 (ρ, θ) 的函数,不能作为反映整个系统上行会话中断性能的指标。理论上,系统中断概率与移动台在小区内的分布有关。因此,考虑到移动台在小区内分布的影响,分布式天线系统的上行中断概率可描述为

$$P_{out} = E_{\rho, \theta}[\delta(\rho, \theta)] = \int_0^{2\pi} \int_0^R \delta(\rho, \theta) r(\rho, \theta) \rho d\rho d\theta \quad (13)$$

其中 $r(\rho, \theta)$ 表示极坐标下移动台分布的概率密度函数。由于移动台在小区内的分布是任意的,函数一般比较复杂,因此式(13)通常无闭式解。由式(13)知,该积分中极径和极角的取值范围分别为 $0 \leq \rho \leq R$, $0 \leq \theta \leq 2\pi$ 。因此本文进一步利用复化 Simpson 积分公式^[13],将系统上行中断概率近似表达为

$$P_{out} \cong \frac{hk}{9} \sum_{p=0}^P \sum_{q=0}^Q [c_{p,q} \rho_p r(\rho_p, \theta_q) \delta(\rho_p, \theta_q)] \quad (14)$$

其中 P 和 Q 分别为极径和极角划分的等距线段数,则极径轴每段长度为 $h = R/P$, 极角轴每段长度为 $k = 2\pi/Q$ 。而取 $\rho_p = ph$, ($p = 0, 1, 2, \dots, P$), $\theta_q = qk$, ($q = 0, 1, 2, \dots, Q$), 我们称直线族 $\rho = \rho_p$ 和直线族 $\theta = \theta_q$ 的交点 (ρ_p, θ_q) 为求积节点,式(14)就是由这些求积节点上的函数值乘以相应的权值而得到。求积节点 (ρ_p, θ_q) 对应的权值即为 $c_{p,q}$,它是矩阵 C 的第 $p+1$ 行第 $q+1$ 列元素。其中矩阵 C ^[13] 为

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 2 & 4 & \cdots & 2 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 8 & 16 & \cdots & 8 & 16 & 4 \\ 2 & 8 & 4 & 8 & \cdots & 4 & 8 & 2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ 4 & 16 & 8 & 16 & \cdots & 8 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 2 & 4 & \cdots & 2 & 4 & 1 \end{bmatrix}_{(P+1) \times (Q+1)} \quad (15)$$

4 数值结果

本节将通过计算机仿真，验证分布式天线系统上行中断概率理论表达式的准确性。不失一般性地，考虑一个半径为 R 的圆形小区作为测试系统。在这个系统中，基站位于小区中央，分布式天线节点均匀分布在半径为 $2R/3$ 的圆上，相邻天线节点间的角度为 $2\pi/N$ ^[6]。此外，为描述移动台在小区中分布的非均匀性，我们把小区分为如图 2 所示两部分，位于小区中心且半径为 R_h 的圆形区域为区域 1，记为 Ψ_1 ；小区中除区域 1 的其它部分为区域 2，记为 Ψ_2 。因此，移动台在小区内分布的概率密度函数 $r(\rho, \theta)$ 可以假设为

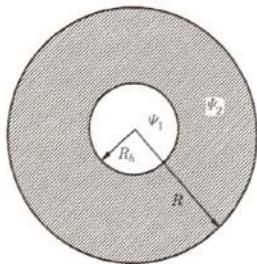


图 2 移动台在小区内分布的示意图

$$r(\rho, \theta) = \begin{cases} \frac{\lambda}{S_h}, & (\rho, \theta) \in \Psi_1 \\ \frac{1-\lambda}{S - S_h}, & (\rho, \theta) \in \Psi_2 \end{cases} \quad (16)$$

其中 S_h 为区域 1 的面积， S 为整个小区的面积。 $\lambda \in [0, 1]$ 表示移动台分布在区域 1 中的概率。不难发现， λ 取值不同，对应的概率密度函数也不同，也即移动台在小区内的分布情况不同。当 $\lambda = S_h/S$ 时，移动台在整个小区内服从均匀分布；当 $\lambda > S_h/S$ 时，区域 1 为热点区域，移动台集中分布于区域 1；当 $\lambda < S_h/S$ 时，区域 2 为热点区域，移动台集中分布于区域 2。系统的主要参数如表 1 所示。

表 1 主要参数

小区半径 R	1000 m
微小区半径 R_h	250 m
分布式天线个数 N	6
参考距离 d_r	10 m
阴影衰落标准差 σ_i	6 dB
路径损耗指数 β_i	4
信噪比门限 γ_{th}	0 dB
噪声功率 N_0	-60 dBm
Hermite 多项式阶数 N_p	40
极径等距节点数 P	8
极角等距节点数 Q	8
基站位置 (D_0, θ_0)	(0, 0)
分布式天线位置 (D_i, θ_i) , $i=1, 2, \dots, N$	$(2R/3, 2\pi i/N)$

图 3-图 5 分别给出了不同场景下，系统上行中断概率随发射功率(E)的变化情况。可以看出，随着发射功率的增加，系统中断概率均不断减小。图 3 和图 4 分别给出了移动台均匀分布($\lambda = S_h/S$)和非均匀分布($\lambda = 0.4$)时，不同天线数目 N 下，系统中断概率随发射功率的变化情况。从两图中可以看出，分布式天线数目越多，上行传输的分集度越高，因而系统中断概率性能得到提升。此外，对比两图还可发现相同场景下非均匀分布($\lambda = 0.4$)对应的中断概率更低。这是因为当 $\lambda = 0.4$ 时，绝大多数移动台分布在区域 1，移动台到分布式天线的平均接入距离相对较小，使各天线的接收信噪比较大，继而使中断概率较低。

图 5 给出了当 λ 取不同值时，系统中断概率随发射功率的变化情况。可以看出，当 λ 取值较小时，分布在区域 2 中的移动台数目较多，移动台与各天线间的平均接入距离较大，导致系统中断性能相对

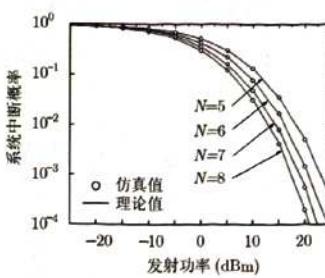


图 3 移动台均匀分布时，不同天线数目对系统中断概率性能的影响

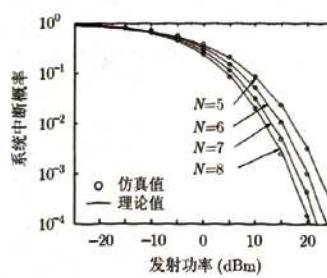


图 4 移动台非均匀分布时，不同天线数目对系统中断概率性能的影响

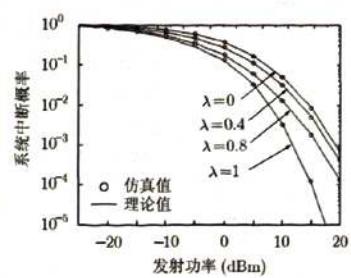


图 5 移动台不同概率密度分布对系统中断概率性能的影响

较差；而当 λ 取值较大时，大多数移动台分布在区域1，大部分移动台与中央基站很近，平均接入距离较短，使系统中断概率较小。因此，随着 λ 取值的增加，系统中断性能越来越好。此外，实际系统中移动台的分布是不断变化的，而本文所推导的中断概率可广泛用于不同的移动台分布场景，更具有一般性，更符合实际。

需要注意的是，各图中仿真值与理论值之间的误差均十分小以至于可以忽略不计，因此本文提出的分布式天线系统中的系统上行中断概率表达式具有很好的准确性，可广泛用于分析分布式天线系统各种场景下的系统中断概率。

5 结论

本文研究了分布式天线系统在包含阴影衰落、路径损耗和瑞利衰落的复合信道下系统上行中断概率问题。首先，在该复合信道下推导了给定移动台位置时的信噪比。接着，分析了在该位置上的上行中断概率。最后，考虑到小区内移动台分布特点，文章分析出分布式天线系统中的系统上行中断概率闭合表达式。数值结果显示该表达式的理论值与计算机仿真值均非常吻合。因此，本文所推导的闭合表达式可广泛用于各种场景下系统中断概率的评估。

参 考 文 献

- [1] 钱文玲, 王新征, 陈明. 分布式OFDMA系统下行资源分配算法[J]. 通信技术, 2009, 42(3): 45-47.
Qian Wen-ling, Wang Xin-zheng, and Chen Ming. Resource allocation for distributed OFDMA downlink systems [J]. *Communications Technology*, 2009, 42(3): 45-47.
 - [2] Xu Wen-jun, Niu Kai, and He Zhi-qiang, et al. Resource allocation in multiuser OFDM distributed antenna systems [C]. Proceedings of IEEE 66th Vehicular Technology Conference, Maryland, USA, 2007: 1797-1801.
 - [3] Wan Choi and Andrews J G. Downlink performance and capacity of distributed antenna systems in a multicell environment [J]. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2007, 6(1): 69-73.
 - [4] 李征, 王瑜, 吴伟陵. DWCS与DACS系统反向性能比较[J]. 电子测量技术, 2005, 2: 68-69.
Li Zheng, Wang Yu, and Wu Wei-ling. The comparison of the performances on reverse link in DWCS and DACS[J]. *Electronic Measurement Technology*, 2005, 2: 68-69.
 - [5] Roh W and Paulraj A. Outage performance of the distributed antenna systems in a composite fading channel [C]. Proceedings of IEEE 56th Vehicular Technology Conference, Vancouver, Canada, 2002, 3: 1520-1524.
 - [6] Chen Hua-min, Wang Jun-bo, and Chen Ming. Outage performance of distributed antenna systems over shadowed Nakagami-m fading channels [J]. *European Transactions on Telecommunications*, 2009, 20(5): 531-535.
 - [7] Chen Hua-min, Wang Jun-bo, and Chen Ming. Downlink outage probability of distributed antenna systems over shadowed Nakagami-m fading channels with antenna selection [C]. International Conference on Wireless Communication and Signal Processing, Nanjing, China, 2009: 1-4.
 - [8] 韩亮, 柳鑫, 唐友喜, 等. 线型小区中V-BLAST两根分布发射天线的位置优化[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(4): 978-982.
Han Liang, Liu Xin, and Tang You-xi, et al. Optimal antenna location for V-BLAST with two distributed transmit antennas in linear cells [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2010, 32(4): 978-982.
 - [9] Goldsmith A. Wireless Communication [M]. New York: Cambridge University Press, 2005: 24-57.
 - [10] McDonough R N and Whalen A D. Detection of Signals in Noise (2nd edn) [M]. California: Academic Press, 1995: 105-150.
 - [11] Simon M K and Alouini M S. Digital Communication over Fading Channels (2nd edn) [M]. New York: Wiley, 2005: 625-632.
 - [12] Abramowitz M and Stegun I A. Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables (9th edn) [M]. New York: Dover Publications, 1970: 890.
 - [13] Burden R L and Faires J D. Numerical Analysis (4th edn) [M]. Boston: PWS KENT Publishing Company, 1989: 226-240.
- 王俊波：男，1979年生，博士后，讲师，硕士生导师，研究方向为移动通信中的无线资源管理算法及无线光通信等。
- 王金元：男，1986年生，硕士生，研究方向为分布式天线系统的性能分析与网络规划等。
- 林 敏：男，1972年生，博士，高级工程师，研究方向为宽带无线通信系统、阵列信号处理等。
- 陈 明：男，1968年生，博士，教授，博士生导师，研究方向为移动通信系统中的基带信号处理及无线资源管理等。

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>