

DOI: 10.3969/j. issn. 1671-0673. 2014. 01. 011

矩形环可重构天线的建模和仿真研究

陈国虎, 雷 雪, 陈紫阳, 乔 凯, 贺文颉

(信息工程大学 河南 郑州 450001)

摘要: 可重构天线采用同一个天线或天线阵, 通过引入开关器件控制天线的辐射结构来实现工作模式的转换, 使其具有多个天线的功能。文中阐述了矩形环可重构天线工作的基本机理, 为实现满足不同环境对天线性能的要求, 利用 Matlab 对矩形环可重构天线进行建模, 将遗传算法与矩量法相结合, 对天线的性能进行搜索寻优。为进一步提高天线分析速度, 从广义角度把天线的开关当作加载元件处理, 利用 Sherman-Morrison-Woodbury 公式减少阻抗矩阵的计算量, 提高天线特性参数的计算速度, 改善了现有商业软件对天线仿真分析耗时大的问题, 显著提高了效率。

关键词: 可重构天线; 矩量法; 快速算法; 遗传算法

中图分类号: TN92; TN821

文献标识码: A

文章编号: 1671-0673(2014)01-0057-05

Simulation and Modeling of Rectangular Ring Reconfigurable Antenna

CHEN Guo-hu, LEI Xue, CHEN Zi-yang, QIAO Kai, HE Wen-jie

(Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The reconfigurable antenna gets its property changed by controlling the states of different switches introduced on it. This paper gives a brief description about the basic mechanisms of rectangular ring reconfigurable antenna. To meet the demands in different environment, an antenna model is built up and a reconfigurable antenna is optimized by the method of moment (MOM) combined with the genetic algorithm (GM). The calculation work of the impedance matrix equation is further accelerated by regarding the switches as loads and the application of Sherman-Morrison-Woodbury equation. This provides a new way to the analysis of reconfigurable antenna which has the efficiency improved compared with the existing business software.

Key words: reconfigurable antennas; method of moment; fast algorithm; genetic algorithm

可重构天线^[1]通过控制一组 PIN (positive-intrinsic-negative) 二极管或者微机电系统开关 (micro electromechanical system, MEMS) 或高频继电器的状态, 动态改变天线辐射体的物理结构, 使天线具有不同工作频段、不同波束、不同极化等多种功能, 是一类新的自适应天线。可重构天线按照功能可以分为频率可重构天线、方向图可重构天线、极化可重构天线和多电磁参数可重构天线, 这些天线的“重构”都是通过改变天线的结构进而使天线的频率、方向图、极化方式等多种参数中的一种或几种实现重构^[2-5]。作为一种新型的天线, 它与传统天线相比具有独特的优势, 可以更好地适应复杂电磁和自然环境进而实现智能化自动搜索, 其可重构特性可以节省占用空间, 减轻天线重量, 使天线具有便携和实现分集的优点。对可重构天线进行仿真分析, 当其采用的开关数较少时, 天线可能的配置数对设计者来说是已知的; 当采用的开关

收稿日期: 2013-09-10; 修回日期: 2013-11-16

基金项目: 国家科技重大专项资助项目 (2009ZX0300303C-003)

作者简介: 陈国虎 (1975-), 男, 讲师, 主要研究方向为电磁数值计算、天线技术, E-mail: chghzz@163.com。

数增加时,天线可能的配置随开关个数以2的幂次递增。可重构天线存在大量的电磁结构状态,采用全波仿真分析方法,将是一个十分漫长的过程,效率较低。本文针对文献[6]中提出的一种矩形环结构的可重构天线,利用Matlab对可重构天线进行建模,将遗传算法与矩量法相结合,对可重构天线的性能进行搜索寻优,实现了可重构天线的建模和仿真分析。

1 可重构天线的建模

文献[6]提出的天线模型简化如图1所示,天线结构由若干导线和开关组成,图中白色小矩形所在处为天线模板中的控制开关,黑色实线表示金属导线,每一个开关都可以独立通断, l_x, l_y 是天线 x 方向、 y 方向的尺寸。可重构天线的重构功能正是通过控制这一组开关的通断状态改变天线结构进而使天线的性能参数随之改变,这种可重构天线结构具有很强的规律性。经过研究可以发现,设天线层数为 n ,对应的开关个数为 $6n - 3$,天线所有可能的结构数为 2^{6n-3} 种。在实际中,如何在最短的时间内找到适应当前复杂环境的开关组合并对天线性能进行仿真分析是具有重要意义的工作,目前,多数情况下都是借助于商业电磁仿真软件进行天线仿真分析,但每一次耗时较长^[6]。为实现任意层数可重构天线的仿真分析,用数学语言描述天线,建立可重构天线的数学模型是首要的工作。

1.1 矩量法及 RWG 边元

在现代电磁工程中,对于边界不复杂的问题可用解析法得到精确解,而较复杂的边值问题,需用数值法,如 FEM、FDTD、MOM 等进行求解,其中,常用的是矩量法,其基本思想是将一个泛函方程化为矩阵方程,然后求解该矩阵方程,这也是一种误差最小化的方法。

矩量法中以 RWG(Rao-Wilton-Glisson)边元^[7]为基础,RWG 边元是天线表面被剖分的成对三角的公共边,如图 2 所示。

RWG 边元可用矢量函数表示:

$$f(\mathbf{r}) = \begin{cases} (l/2A^+) \boldsymbol{\rho}^+(\mathbf{r}), & \mathbf{r} \text{ 在 } T^+ \text{ 内} \\ (l/2A^-) \boldsymbol{\rho}^-(\mathbf{r}), & \mathbf{r} \text{ 在 } T^- \text{ 内} \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (1)$$

其中, T^+ 是两个相邻三角的编号, l 是边元的长度, A^+ 是三角 T^+ 的面积,矢量 $\boldsymbol{\rho}^+$ 从正三角的自由顶点指向观察点 \mathbf{r} ,矢量 $\boldsymbol{\rho}$ 从观察点 \mathbf{r} 指向正三角的自由顶点。由于边元基函数近似相当于长度为 $d = |\mathbf{r}^c - \mathbf{r}^+|$ 的有限小电偶极子,上标 c 表示三角 T^+ 的中心。

在天线模型中,网格被剖分成三角形,用三组数据来进行描述:直角坐标系中坐标 x 和 y 的数组,节点数目为 P ;每个三角的节点编号的数组,三角数目为 N ;边的数组,边界边数目为 Q 。

1.2 用 Matlab 实现对任意层数可重构天线的建模

基于以上原理,在天线建模时,将金属导线用细导带模型表示,需要解决以下问题:为了建立 RWG 模型,则需要对细导带进行三角化剖分;生成天线三角化后的每个节点坐标,存放在矩阵 \mathbf{p} 中;对每个三角形进行编号,并生成每个三角形三个节点的编号放在矩阵 \mathbf{t} 数组中;建模中对开关的处理。

针对以上问题,在 Matlab 中使用内置的德洛内函数对天线进行网格剖分: $TRI = delaunay(X, Y); t = TRI'; \mathbf{p} = [X; Y; zeros(1, length(X))]$ 。考虑到生成任意层数天线节点的横纵坐标,规律性不强,不易实现。从另外一个角度出发,先对整个平面进行剖分,容易生成节点坐标。在天线平面辐射体之外的区域形状较为规则,比较容易处理。利用 $IN = inpolygon(Center(1, :), Center(2, :), Xpol, Ypol)$,即可找出天线之外的三角并把其删去,进而实现对天线(开关全部闭合情况下)的建模。

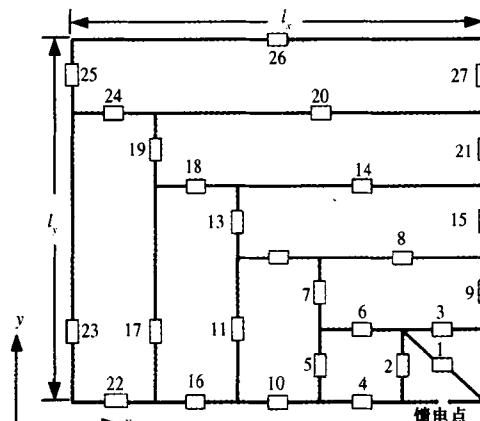


图 1 可重构天线模型图

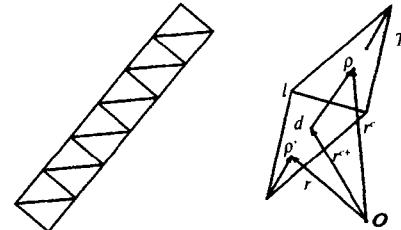


图 2 矩量法剖分示意图

天线的可重构性取决于所有开关状态的组合情况,开关的通断会影响天线的阻抗矩阵,进而影响天线的电流分布及其它电磁特性。因此,在建模中对天线开关的处理至关重要。如果开关闭合,则将其视为导线,用同样的方法剖分,如果开关打开,将此处看作阻抗无穷大。基于上述思想,天线建模时不再需要根据开关的状态建立不同的模型,只需建一个模型,并确定出开关的位置和包含的三角形编号。在天线性能分析时再把开关当作加载来改变天线阻抗矩阵,进而改变天线的性能。这种建模方法大大节省了建模时间,提高了效率。

2 天线性能仿真分析

2.1 天线表面电流

阻抗矩阵决定不同边元之间的相互电磁作用,若边元 m, n 被视为有限小的偶极子,矩阵元素 Z_{mn} 表示偶极子 n 对偶极子 m 的电流的贡献,反之亦然,阻抗矩阵的维数等于边元的数目。因此,矩阵元素的计算公式:

$$Z_{mn} = l_m [j\omega (A_{mn}^+ \cdot \rho_{mn}^+/2 + A_{mn}^- \cdot \rho_{mn}^-/2)] + \Phi_{mn}^- - \Phi_{mn}^+ \quad (2)$$

其中,

$$\rho_m^{c+} = r_m^{c+} - v_m^{c+}; \rho_m^{c-} = -r_m^{c-} - v_m^{c-} \quad (3)$$

$$A_{mn}^\pm = \frac{\mu}{4\pi} \left[\frac{l_n}{2A_n^+} \int_{T_m^+} \rho_n^+(r') g_m^\pm(r') dS' + \frac{l_n}{2A_n^-} \int_{T_m^-} \rho_n^-(r') g_m^\pm(r') dS' \right] \quad (4)$$

$$\Phi_{mn}^\pm = -\frac{1}{4\pi j\omega c} \left[\frac{l_n}{A_n^+} g_m^\pm(r') dS' - \frac{l_n}{A_n^-} g_m^\pm(r') dS' \right], g_m^\pm(r') = \frac{e^{-jk|r_m^\pm - r'|}}{|r_m^\pm - r'|} \quad (5)$$

m, n 相应于两个边元, l_m 是边元 m 的边长, $\rho_m^{c\pm}$ 分别是边元 m 的两个三角 T_m^\pm 的自由顶点 $v_m^{c\pm}$ 和中心点 $r_m^{c\pm}$ 之间的矢量, $\rho_m^{c\pm}$ 从三角 T_m^\pm 的自由顶点出发, ρ_m^{c-} 从三角 T_m^- 的自由顶点出发, A 是磁矢量势, Φ 是标量势。在天线阻抗已知的情况下,通常使用功率传输公式(或弗里斯公式^[7])给出接收电压和功率的强度。

此外,表面的电流密度由 M 个边元的基函数扩展而成:

$$\mathbf{J} = \sum_{m=1}^M I_m f_m, f_m = \begin{cases} (l_m/2A_m^+) \rho_m^+(r), & r \text{ 在 } T^+ \text{ 内} \\ (l_m/2A_m^-) \rho_m^-(r), & r \text{ 在 } T^- \text{ 内} \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (6)$$

其中, \mathbf{J} 为两对应面的表面电流的矢量和,扩展系数 I_m 构成矢量 \mathbf{I} ,即表面电流矩阵。对表面电流可视化可以直观反映天线表面电流强弱分布,由此电流密度向自由空间辐射电磁信号。

2.2 快速算法

由于天线的可能状态数很多,在优化过程中需要成千上万次调用天线的分析程序,天线的分析速度基本决定了优化设计的快慢。文献[8]曾使用 Sherman-Morrison-Woodbury 公式来加速加载阻抗分解矩阵的求解,大大提高了加载天线的分析求解速度。采用矩阵法求得的加载后的阻抗矩阵方程:

$$\mathbf{Z} \cdot \mathbf{I} = (\mathbf{Z}^0 + \mathbf{Z}^L) \mathbf{I} = \mathbf{V} \quad (7)$$

其中, \mathbf{Z} 为加载后的阻抗矩阵, \mathbf{V} 为激励矩阵, \mathbf{Z}^0 为未加载时天线的阻抗矩阵, \mathbf{I} 为加载后天线上的电流矩阵, \mathbf{Z}^L 为对角矩阵。由(7)式可得

$$\mathbf{I} = \mathbf{Y}^0 \mathbf{V} - \mathbf{Y}^0 \mathbf{Z}^L \mathbf{I} = \mathbf{I}^0 - \mathbf{Y}^0 \mathbf{Z}^L \mathbf{I} \quad (8)$$

其中, \mathbf{Y}^0 为 \mathbf{Z}^0 的逆矩阵,即未加载天线的导纳矩阵, \mathbf{I}^0 是未加载天线的电流系数矩阵^[8]。现将等式右边与加载位置有关的项取出来,整理得到新的矩阵方程,求解后得到加载后加载位置的电流系数,再将求解结果代入原式,可以得到加载后的天线电流矩阵 \mathbf{I} 。利用加载后的天线电流系数矩阵,结合偶极子模型法进一步计算远场的辐射情况:包含两个 RWG 边元的表面电流分布用具有等效偶极子矩量或强度的无穷小偶极子代替,总的辐射场是所有这些无穷小偶极子贡献之和^[7]。

2.3 遗传算法

遗传算法(genetic algorithm, GA)借鉴生物界的进化规律物竞天择、优胜劣汰、适者生存的自然选择

和自然遗传机制,通过模拟生物进化过程搜索全局最优解。作为一种高效的全局随机搜索算法,它不依赖梯度信息,能够求解大规模、非线性优化的问题^[9]。目前在现代复杂电磁工程设计中已经得到了广泛的应用和突出的效果。

2.3.1 遗传算法中的开关编码

使用 GA 优化设计天线,首先必须将开关阵的状态与遗传算子空间中的二进制基因对应起来。在对开关的处理中,用 0 表示开关断开,1 表示开关闭合,因此每一种特定的天线结构可以由一串 0、1 序列来描述其开关的通断情况。将此序列作为矩量法的输入量,在给定的交叉率和变异率下进行杂交和变异产生子代并对天线的各个性能参数进行计算并给出适应度以此作为遗传算法是否终止的标志。

2.3.2 遗传算法中的适应度函数设计

适应度函数是遗传算法在执行过程中用于选择算子等遗传操作的依据,在进行天线评价时,考虑到天线增益 G 是用来衡量天线朝一个特定方向收发信号的能力,驻波比 VSWR 是衡量天线高效辐射的基本指标要求,也是工程测量中的重要参量,驻波比越接近 1 指标越好,因此适应度函数主要围绕这两个参数进行设计。不同情况下对天线性能的要求不同,为保证适应度函数为取值在 0 ~ 1 之间正相关函数,将上述指标做归一化处理后得到 3 种适应度函数。

$$\text{①天线增益最大: } F_1 = \begin{cases} 1.0, & 6.0 < G; \\ 0.8 + 0.2 \times (G - 4)/2, & 4.0 < G \leq 6.0; \\ 0.2 + 0.6 \times (G - 2)/2, & 2.0 < G \leq 4.0; \\ 0.2 \times G, & 0 < G \leq 2.0; \\ 0, & G < 0. \end{cases}$$

$$\text{②天线驻波最优: } F_2 = 1/VSWR;$$

$$\text{③两种目标取权重组合: } F_3 = w_1 F_1 + w_2 F_2, w \text{ 为权重系数,根据实际取值。}$$

3 仿真结果

借助自主开发的可重构天线仿真分析软件,天线仿真频率:300MHz。遗传算法种群规模 40,遗传代数 100,交叉率 0.8,变异率 0.05,天线尺寸 $l_x = l_y = 60\text{cm}$,导带宽度 0.1cm,天线位于自由空间。通过软件对可重构天线建模和仿真分析,输出最优驻波比 1.0244,天线增益 5.4 dBi,最优开关状态为 101011001111101111110010010。

上述结果表示对于有 27 个开关的 5 层可重构天线,将开关按照 1 ~ 27 编号,如图 1 所示,当各个开关取值按照以上取值时可以使目标函数(驻波最优)取到最佳适应值。天线表面的归一化电流分布如图 3 所示。图 4 给出的是沿着 xoy 面和 yoz 面的方向图。从电流分布和方向图可以看出,天线在 xoy 平面具有双极化特性。

当天线仿真频率范围:100MHz ~ 1000MHz。遗传算法参数不变,以天线的驻波比为优化目标,通过对大量天线的搜索,最终获得的是天线驻波比的最优曲线。图 5 给出了矩形环形可重构天线最优驻波曲线。可以看出,矩形环形可重构天线在比较宽的频率范围内表现出良好的驻波特性。

表 1 列出了 100MHz、500MHz、1000MHz 这 3 个频点上优化得到的天线的开关组合状态,为了验证本文方法的正确性,表 1 还给出了用商用电磁仿真软件 FEKO Suite5.5 分析得到的天线驻波比,显然,这两种方法计算得到的驻波比结果比较接近。

仿真时所用的计算机配置为 Intel 酷睿双核 CPU,主频 2.1GHz,内存 2G,商业电磁仿真软件和本文的方法在一个频点上分析单个可重构天线需要的计算时间分别为:商业电磁仿真软件需要 180s,本文方法需要 0.142s。如果采用商业电磁仿真软件结合遗传算法进行仿真分析,在寻优过程中,每个个体需要进

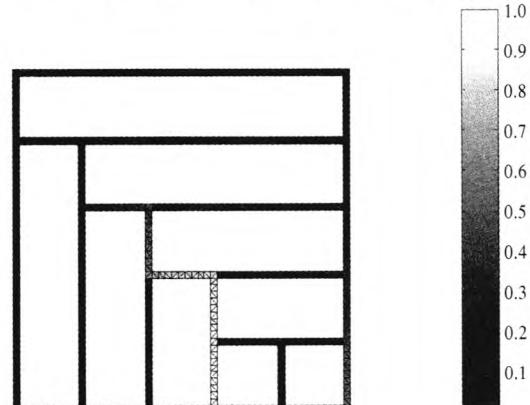


图 3 最优开关状态下的天线表面归一化电流分布

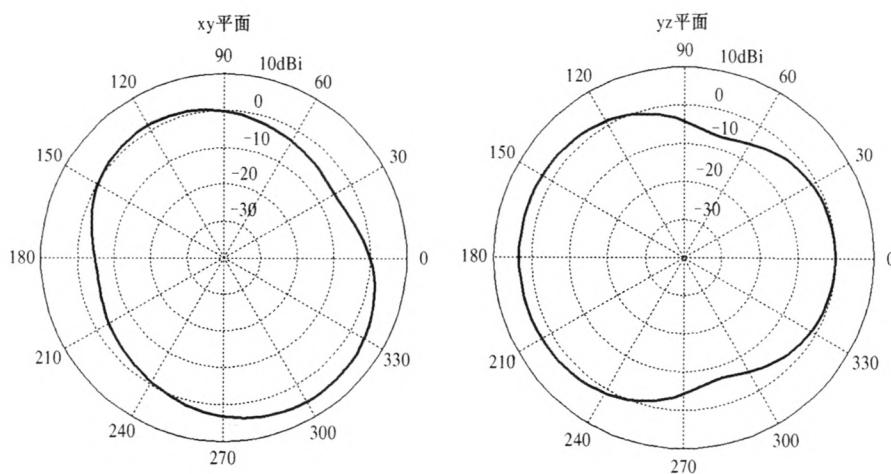


图4 最优开关状态下天线的方向图

行一次天线全波仿真,每条曲线的获得均需要对多个频点进行遗传算法的搜索,而每一个点的搜索又涉及上千种天线的计算。本次计算中遗传算法种群规模为40,遗传终止迭代次数固定为100;对于搜索出的最小驻波曲线,计算的频点数为10,总共经过计算的天线数为4万种,为得到一种曲线所花费的时间不可接受。采用本文的方法,优化速度可以达到3~4个数量级,大大降低了天线仿真计算量,提高了仿真效率。

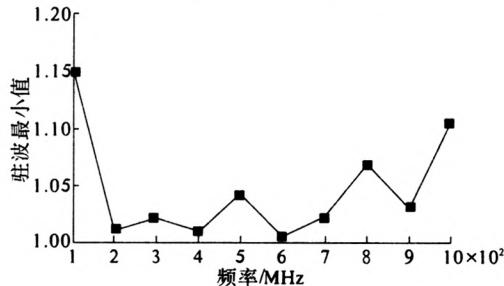


图5 矩形环型可重构天线驻波最优曲线

表1 优化结果对比

频率/ MHz	天线开关状态	驻波比	
		全波/网络	FEKO
100	010101000111000111101100111	1.15	1.21
500	110111011010100001000010100	1.05	1.09
1000	0011110011111011001100111011	1.12	1.24

注:0表示开关断开,1表示开关接通

4 结束语

本文利用Matlab对可重构天线进行建模,将遗传算法与矩量法相结合,对可重构天线的性能进行搜索寻优。为进一步提高天线分析速度,从广义角度把天线的开关当作加载元件处理,利用Sherman-Morrison-Woodbury公式减少阻抗矩阵的计算量,提高天线特性参数的计算速度,改善了现有商业电磁仿真软件对天线仿真分析耗时大的问题,显著提高了效率。

参考文献:

- [1] Schaubert D, Farrar F, Hayes S, et al. Frequency-Agile, Polarization Diverse Microstrip Antenna and Frequency Scanned Arrays: US Patent 4367474 [P]. 1983.
- [2] 王安国,张佳杰,王鹏,等.可重构天线的研究现状和发展趋势[J].电波科学学报,2008,23(5):997-1002.
- [3] Yong Cai,Guo Y J, Bird T S. A Frequency Reconfigurable Printed Yagi-Uda Dipole Antenna for Cognitive Radio Applications [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012,60(6): 2905-2912.
- [4] Ghanemv F, Ghanem K, Hall P S, et al. A miniature frequency reconfigurable antenna for cognitive radios[C]//2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI). 2011: 171-174.
- [5] 孙佳文,陈文华,冯正和,等.频率方向图复合可重构寄生单极子天线阵列[J].电波科学学报,2011,26(1):1-6.

(下转第104页)

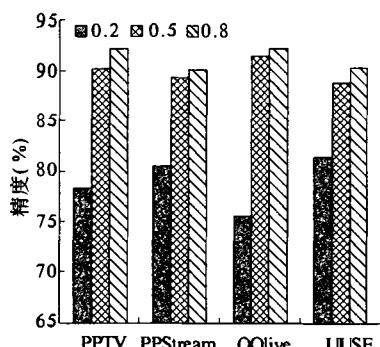


图 3 3 种方法精度比较

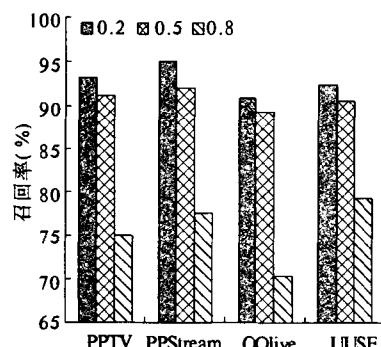


图 4 3 种方法召回率比较

4 结束语

P2P 流媒体是当前 P2P 技术的一个重要应用方面,本文实现了 P2P 直播流的识别,下一步将对 P2P 点播进行分析,实现 P2P 点播的识别。

参考文献：

- [1] Ciullo D, Garcia M A, Horvath A, et al. Network awareness of P2P live streaming applications: a measurement study [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2010, 12(1): 54-63.
 - [2] Valenti S, Rossi D, Meo M, et al. Accurate, fine-grained classification of P2P-TV applications by simply counting packets [C]//First International Workshop on Traffic Monitoring and Analysis. 2009: 84-92.
 - [3] 胡超. 实时识别 P2P-TV 视频流的方法研究[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(9): 2219-2224.
 - [4] 周丽娟. P2P 流媒体识别方法的研究[D]. 武汉: 华东科技大学, 2008.
 - [5] 万成威. 基于 P2P 流媒体模型的流量特征分析及实时分类[D]. 郑州: 信息工程大学, 2012.
 - [6] Karagiannis T, Papagiannaki K, Faloutsos M. BLINC: multilevel traffic classification In the dark[C]//ACM SIGCOMM Conference. 2005: 229-240.
 - [7] 鲁刚, 张宏利, 叶麟. P2P 流量识别[J]. 软件学报, 2011, 22 (6): 1281-1298.
 - [8] 刑玲. 基于节点连接度的 P2P 流量快速识别方法[J]. 计算机工程, 2012, 38(21): 119-122.
 - [9] Zhu Ke, Hu Hongchao, Yi Peng. Identifying P2P Flow with Behavior Characteristic [C]//Proc. of the 2nd International Conference on Future Computer and Communication. 2010: 26-29.

(上接第61頁)

- [6] Ross J E. Numerical Simulation of Self-Structuring Antennas Based on a Genetic Algorithm Optimization Scheme [C]//2000 URSI National Radio Science Meeting. 2000:274-278.

[7] Sergey N Makarov. 通信天线建模与 MATLAB 仿真分析 [M]. 许献国,译. 北京:北京邮电大学出版社,2006.

[8] 魏文博,尹应增,刘其中. 可重构线天线的快速优化设计 [J]. 西安电子科技大学学报:自然科学版,2007,34(3): 448-452.

[9] Coleman C M, Rothwell E J, Ross J E. Investigation of Simulated Annealing, Ant-Colony Optimization, and Genetic Algorithms for Self-structuring Antennas [J]. IEEE Trans on AP, 2004,52(4):1007-1014.

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>