

基于辅天线的有源假目标欺骗干扰的极化识别*

李永祯^{1,2} 申绪润¹ 汪连栋¹ 王国玉¹

(1 63880 部队, 河南洛阳 471003; 2 国防科技大学电子科学与工程学院, 湖南长沙 410073)

摘要: 本文探讨了利用雷达主天线的变极化特性和辅助天线相结合来识别有源假目标欺骗干扰的可行性。首先建立了主辅天线对雷达目标和有源假目标干扰的接收信号模型。在此基础上, 根据有源真假目标回波特性直观的差异提出了识别判决检验量, 设计了有源真假目标的识别算法。最后, 结合有源假目标干扰的极化特性, 具体分析、评估了利用辅天线进行有源假目标欺骗干扰识别的性能。

关键词: 有源假目标; 极化; 目标识别; 旁瓣对消天线; 统计分布

Polarization Identification Algorithm of Active-decoys and Radar Targets Based on Sidelobe-canceller Antenna

LI Yong-zhen^{1,2} SHEN Xu-jian¹ WANG Lian-dong¹ WANG Guo-yu¹

(1 Unit 63880 PLA, Luoyang, Henan, China, 471003; 2 School of Electronic Science and Engineering, NUDT, Hunan, China, 410073)

Abstract: The feasibility of discriminating active-decoys and radar targets by utilizing polarization characteristics of radar main antenna and sidelobe-canceller antenna is discussed in this paper. Firstly, the received signal models of main antenna and sidelobe-canceller antenna are presented. Then, the characteristics of active-decoys and radar target are analyzed, the identification test and identification algorithm of active-decoys and radar targets are also presented. Finally, the identification performance is analyzed and evaluated.

Key words: active-decoy; polarization; target identification; side-lobe cancellation antenna; statistical distribution

1 引言

现代雷达对抗与反对抗的矛盾越来越激烈。在恶劣环境下尤其是强电磁干扰环境下的生存能力已成为衡量现代雷达作战性能的一个重要指标。为了提高生存能力, 现代雷达采取了各种各样的抗干扰措施, 尽可能希望在现有硬件资源的基础上挖掘更多的潜力, 充分发挥其对抗性能, 以期在战争中取得优势。

随着数字射频存储技术和微电子等技术的快速发展, 有源假目标干扰系统能够以灵活多变的方式自主转发雷达发射信号来压制和欺骗雷达系统, 使得常规的重频捷变、脉宽鉴别、自相关分析法和波形分析法等一些在时域、频域识别方法在一定程度上难以完全奏效, 从而严重地消耗雷达资源, 使雷达产生混批、错误引导拦截系统、甚至饱和等现象^[1,2,7], 这对现代雷达防御系统无疑是一个很大的威胁。鉴于有源假目标欺骗干扰在未来战争中的重要作用, 如何利用现有雷达资源改善对抗效果, 以及更为客观评估己方有源假目标欺骗干扰装备对国外典型雷达的对抗效果已成为亟需

研究的课题。

有源假目标欺骗干扰的对抗效果与干扰参数设置和雷达系统响应及其具有的抗干扰措施等因素有着密切关系。现代雷达为了提高抑制旁瓣有源压制式干扰的能力, 一般均备有旁瓣对消辅助天线, 诸如美国“爱国者”武器系统中的 AN/MPQ-53 相控阵雷达有 5 个用于旁瓣对消的辅助阵, “宙斯盾”武器系统中的 AN/SPY-1D 雷达有 6 个辅助阵, 俄罗斯的 C-300 系统中的火控雷达也有 2 个辅助阵, 而且具有极化脉间捷变的能力^[6]等。常规处理中, 旁瓣对消天线是难以识别或抑制有源假目标欺骗干扰, 尤其是能够形成暂态或稳定航迹的那些时频域逼真度很高的有源假目标。

本文探讨了利用辅助天线结合主天线的极化特性来识别这些有源假目标的可行性。第二节建立了主、辅天线对雷达目标和有源假目标欺骗干扰的接收信号模型, 为真假目标的识别奠定基础; 第三节根据有源真假目标回波特性的差异提出了识别判决检验量, 设计了有源真假目标的识别算法, 并导出了判决检验量的统计分布以及真假目标的正确识别概率; 第四节结合雷达目标和有源假目标干扰的极化特性, 具

收稿日期: 2006 年 3 月 26 日; 修回日期: 2006 年 6 月 19 日

* 全国优秀博士论文专项基金资助项目(08100101)

体分析、评估了利用辅天线进行有源假目标欺骗干扰识别的性能。本文指出利用主辅天线的极化特性是可以从一个角度增强或者达到完全识别有源假目标欺骗干扰的目的。

2 主辅天线的接收信号模型

不失一般性,不妨设雷达主天线可在水平、垂直极化之间脉冲切换,用于旁瓣对消的辅助天线为垂直极化天线,这也是变极化雷达常用的极化组态。由于有源假目标欺骗干扰和雷达目标独立占据不同的分辨单元,下面分别讨论主辅天线对目标和假目标干扰的接收信号模型。

2.1 主天线的接收信号模型

1. 雷达目标的接收信号模型

在当前脉冲重复周期(PRT)内,若主天线发射水平极化信号,目标的后向散射波为

$$\mathbf{e}_s(t) = \frac{g_m}{16\pi^2 R^2} A_m(t-\tau) e^{j2\pi f_d(t-\tau)} S h_m \quad (1)$$

式中, g_m 为主天线的电压增益; R 为目标与雷达之间的距离; $A_m(t) = \sqrt{\frac{P_t}{4\pi L_t}} e^{j2\pi f_d t} v(t)$, P_t 为发射峰值功率, L_t 为发射综合损耗, f_d 为发射信号的载频, $v(t)$ 为发射信号的复调制函数; f_d 为目标的多普勒频率; τ 为目标回波时延, $\tau = \frac{2R}{C}$, $C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$; $h_m = [1, \varepsilon]^T$ 为主天线的当前极化形式, ε 为天线的交叉极化分量, 因为实际天线中交叉极化分量比主极化分量低 $15 \sim 30 \text{ dB}$ ^[6], 与辅天线的增益相接近, 故不可忽略不计。

那么由雷达极化理论^[3]可推得主天线对目标的接收电压为

$$v_{mS1}(t) = g_m^2 (S_{HH} + 2\varepsilon S_{HV} + \varepsilon^2 S_{VV}) \chi(t) + n_{m1}(t) \quad (2)$$

其中, $\chi(t) = \frac{k_{RF}}{16\pi^2 R^2 L_R} A_m(t-\tau) e^{j2\pi f_d(t-\tau)}$; k_{RF} 为射频放大系数; L_R 为接收损耗等; $n_{m1}(t)$ 主天线接收通道的接收机噪声, 服从正态分布, 即有 $n_{m1} \sim N(0, \sigma_m^2)$ 。

由于雷达的脉冲重复周期一般在毫秒量级甚至更小, 在此期间目标的姿态变化非常小, 也即雷达目标的极化散射矩阵可视为不变。那么, 在下一个脉冲重复周期内, 主天线发射垂直极化信号, 而采用水平极化来接收, 此时主天线对目标的接收电压为

$$v_{mS2}(t) = g_m^2 [(1+\varepsilon^2) S_{HV} + \varepsilon (S_{HH} + S_{VV})] \chi(t - T_r) + n_{m2}(t) \quad (3)$$

其中, $n_{m2} \sim N(0, \sigma_m^2)$; T_r 为雷达脉冲重复周期, 倘若目标的多普勒可以精确估计, 由 $\chi(t)$ 的表达式直观可见, $\chi(t - T_r) = \chi(t) e^{j2\pi(f_d + f_r)T_r}$ 。

2. 有源假目标干扰的接收信号模型

在水平垂直极化基下,任一有源假目标干扰信号在雷达接收天线端口处可表示为

$$\mathbf{e}_f(t) = h_f J_1(t) \quad (4)$$

其中, $J_1(t)$ 为假目标干扰的调制信号, 可为任意波形, 一般为了避免被雷达从时域和频域识别, 其特性应与目标散射波的调制特性相近; $h_f = [h_{ff}, h_{fv}]^T$ 为当前干扰信号的极化形式, $\|h_f\| = 1$ 。

当主天线以水平极化接收信号时, 其实际接收干扰信号为

$$v_{mJ1}(t) = k_a g_m (h_{Hf} + \varepsilon h_{Vf}) J_1(t) + n_{m1}(t) \quad (5)$$

其中, $k_a = \frac{k_{RF}}{L_R} B_f$, B_f 为干扰信号带宽与接收带宽不匹配引起的损耗等。

由于干扰姿态在两个脉冲期间变化很小, 对于单极化干扰源而言, 其极化形式可近似认为不变。那么, 在下一个脉冲重复周期内, 主天线仍以水平极化接收信号, 其接收电压为

$$v_{mJ2}(t) = k_a g_m (h_{Hf} + \varepsilon h_{Vf}) J_2(t) + n_{m2}(t) \quad (6)$$

其中, $J_2(t)$ 为假目标干扰在此 PRT 内的调制信号, 与 $J_1(t)$ 的主要区别是为了模拟目标运动而带来的相位和幅度变化。

2.2 辅天线的接收信号模型

一般情况下, 主、辅天线相距远小于目标和雷达的距离, 由于目标散射波抵达主、辅天线的距离差而引起回波功率的变化可以忽略不计; 时间差引起目标回波的时延差异, 可以根据主辅天线间距和照射方位来补偿。为了简化分析, 近似认为目标散射波同时抵达主辅天线。同时, 假设主、辅天线接收通道除了天线的极化形式和增益不一样外, 其他诸如接收带宽和中心频率等参数是一致的。那么当雷达发射水平极化信号时, 辅天线对目标和假目标干扰的接收电压分别为

$$v_{cS1}(t) = g_c g_e [S_{HV}(1+\varepsilon^2) + \varepsilon (S_{HH} + S_{VV})] \chi(t) + n_{c1}(t) \quad (7)$$

和

$$v_{cJ1}(t) = k_a g_e (h_{Vf} + \varepsilon h_{Hf}) J_1(t) + n_{c1}(t) \quad (8)$$

其中, g_c 为辅天线的电压增益; $n_{c1}(t)$ 为辅助天线接收通道接收机噪声, $n_{c1} \sim N(0, \sigma_c^2)$, $\sigma_c^2 = \sigma_m^2$ 。

同理, 在下一个脉冲重复周期(PRT)内, 雷达发射垂直极化信号时, 辅天线对目标和假目标干扰的接收电压分别为

$$v_{cS2}(t) = g_c g_e [S_{VV} + 2\varepsilon S_{HV} + \varepsilon^2 S_{HH}] \chi(t - T_r) + n_{c2}(t) \quad (9)$$

和

$$v_{cJ2}(t) = k_a g_e (h_{Vf} + \varepsilon h_{Hf}) J_2(t) + n_{c2}(t) \quad (10)$$

其中, $n_{c2} \sim N(0, \sigma_c^2)$ 。

3 有源假目标欺骗干扰的极化识别

由式(3)和式(7)直观可见, 对于目标而言, 在不考虑接收机噪声的情况下, 主天线在第二个 PRT 内接收信号与辅天线在第一个 PRT 内接收信号存在如下关系

$$\Delta = v_{mS2}(t) - \alpha v_{cS1}(t) e^{j2\pi(f_d + f_r)T_r} = 0 \quad (11)$$

其中, $\alpha = \frac{g_m}{g_c}$ 。而对于有源假目标干扰而言, 由式(6)和式(8)可得 Δ 为

$$\begin{aligned} \Delta &= v_{mJ2}(t) - \alpha v_{cJ1}(t) e^{j2\pi(f_d + f_r)T_r} \\ &= k_a g_m [h_{Hf} (J_2(t) - \varepsilon e^{j2\pi(f_d + f_r)T_r} J_1(t)) + h_{Vf} (\varepsilon J_2(t) - e^{j2\pi(f_d + f_r)T_r} J_1(t))] \\ &= k_a g_m [h_{Hf} J_2(t) - h_{Vf} e^{j2\pi(f_d + f_r)T_r} J_1(t)] \end{aligned} \quad (12)$$

式(12)表明, 当主辅天线接收信号为目标散射时, Δ 近似等于零, 而为有源假目标干扰时一般情况下不等于零。这

为真假目标的识别提供了重要依据,并据此可以给出真假目标识别的判决检验量 η 定义为

$$\eta = |\Delta|^2 \quad (13)$$

为了保证雷达目标的误判率保持在恒定水平内,本文从目标的角度来分析有源假目标的正确识别率和误判率,此时有源真假目标的识别转化为一个二元检测问题,即有

$$\begin{aligned} H_1: \quad \eta < T_a, & \text{ 为真目标} \\ H_0: \quad \eta \geq T_a, & \text{ 为假目标} \end{aligned} \quad (14)$$

其中, T_a 为识别判决门限。

假定判决检验量 η 的条件概率密度为 $f(\eta/H_1)$ 和 $f(\eta/H_0)$, 要求目标的误判概率控制内某一恒定水平 β 下, 即相当于要求漏警率小于 β , 有

$$\int_{T_a}^{\infty} f(\eta/H_1) d\eta \leq \beta \quad (15)$$

相应地, 目标的正确判决概率 $P_{JD} = 1 - \beta$, 此时有源假目标干扰的正确识别概率为

$$P_{JD} = \int_{T_a}^{\infty} f(\eta/H_0) d\eta \quad (16)$$

为了便于分析、评估有源真假目标识别的性能, 下面首先给出判决检验量 η 的条件概率密度分布。由 Δ 的定义可知, 其服从正态分布, 设 $\Delta \sim N(m, \sigma^2)$ 。那么, 在雷达接收信号为目标和干扰情况下 Δ 的均值和方差分别为

$$m/S = 0, \quad \sigma^2/S = (1 + \alpha^2)\sigma_0^2 \quad (17)$$

和

$$m/J = k_a g_m m_J, \quad \sigma^2/J = (1 + \alpha^2)\sigma_0^2 \quad (18)$$

其中, $m_J = h_{HJ} J_2(t) - h_{VJ} e^{j2\pi(f_d + f_c)T_r} J_1(t)$ 。

进而, 由 $\eta = |\Delta|^2$ 可知, η 在雷达接收信号为目标和干扰情况下的概率密度函数分别为

$$f\left(\frac{\eta}{H_1}\right) = \frac{1}{(1 + \alpha^2)\sigma_0^2} \exp\left(-\frac{\eta}{(1 + \alpha^2)\sigma_0^2}\right) \quad (19)$$

和

$$\begin{aligned} f\left(\frac{\eta}{H_0}\right) &= \frac{1}{(1 + \alpha^2)\sigma_0^2} \exp\left(-\frac{\eta + k_a^2 g_m^2 |m_J|^2}{(1 + \alpha^2)\sigma_0^2}\right) \\ &I_0\left(\frac{2k_a g_m |m_J| \sqrt{\eta}}{(1 + \alpha^2)\sigma_0^2}\right) \end{aligned} \quad (20)$$

其中, $I_0(z)$ 零阶修正 Bessel 函数。

由式(19)和式(20)可得有源真假目标的正确识别概率和误判率, 下面结合目标和干扰的极化特性具体评估本算法的性能。

4 极化识别的性能评估

为了刻画有源真假目标的识别概率随信噪比(SNR)或干噪比(JNR)的变化关系, 首先给出 SNR 和 JNR 的定义为

$$r_{SNR} = \frac{g_m^4 |\chi(t)|^2 (|S_{HH}|^2 + |S_{HV}|^2 + |S_{VH}|^2 + |S_{VV}|^2)}{4\sigma_0^2} \quad (21)$$

和

$$r_{JNR} = \frac{k_a^2 g_m^2 (|J_1(t)|^2 + |J_2(t)|^2)}{4\sigma_0^2} \quad (22)$$

同时, 为了便于分析干扰的极化特性对识别算法的影响, 定义干扰极化因子 λ 为

$$\lambda = \frac{|h_{HJ} J_2(t) - h_{VJ} J_1(t) e^{j2\pi(f_d + f_c)T_r}|^2}{|J_1(t)|^2 + |J_2(t)|^2} = \frac{|m_J|^2}{|J_1(t)|^2 + |J_2(t)|^2} \quad (23)$$

显然, 对于干扰极化因子 λ 也侧重描述了干扰的极化特性, 诸如对于水平或垂直线极化干扰, $\lambda = \frac{1}{2}$, 对于圆极化干扰, $\lambda = 1$ 。

下面结合判决检验量 η 的条件概率密度分布, 具体分析、评估有源真假目标极化识别的性能。当要求目标的误判概率控制内某一恒定水平 β 时, 由式(15)和(19)可得, 识别判决门限 T_a 为

$$T_a = -(1 + \alpha^2)\sigma_0^2 \ln \beta \quad (24)$$

这时从目标识别的角度来看, 已检测的目标的正确判决概率不随信噪比的变化而变化, 主要取决于预先设定的误判率水平 β 值。此时有源假目标的正确判决率为

$$P_{JD} = \frac{1}{(1 + \alpha^2)\sigma_0^2} \exp\left(\frac{-4\lambda r_{JNR}}{1 + \alpha^2}\right) \int_{T_a}^{\infty} e^{-\frac{\eta}{(1 + \alpha^2)\sigma_0^2}} I_0\left(\frac{4\sqrt{\lambda r_{JNR}}\eta}{(1 + \alpha^2)\sigma_0^2}\right) d\eta \quad (25)$$

而假目标误判为雷达目标的概率为 $P_{JY} = 1 - P_{JD}$ 。

由式(25)可见, 有源假目标的正确判决率与接收机噪声功率谱密度 σ_0^2 , 主辅天线增益的比值, 干噪比 r_{JNR} , 干扰极化因子 λ 和识别判决门限 T_a 等因素有关。图 1 给出了雷达目标和有源假目标欺骗干扰的正确判决概率随着信噪比(干噪比)的变化曲线, 其中, 雷达目标的误判概率水平 $\beta = 10^{-2}$, 主辅天线增益的比值为 $\alpha = 10\text{dB}$, 接收机噪声功率密度 $\sigma_0 = 10^{-7}$, 干扰极化因子 $\lambda = 1$ 。图 2 给出了雷达目标和有源假目标干扰的正确判决概率随着干扰极化因子 λ 的变化曲线, 其中, 信噪比(干噪比)为 25dB , 其他参数与图 1 一致。

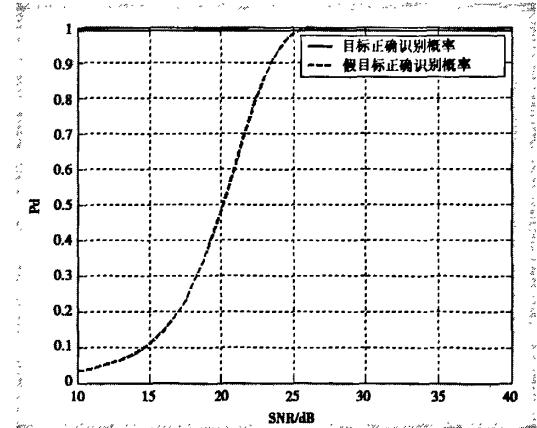


图 1 雷达目标和有源假目标干扰的正确判决概率
随着信噪比(干噪比)的变化曲线

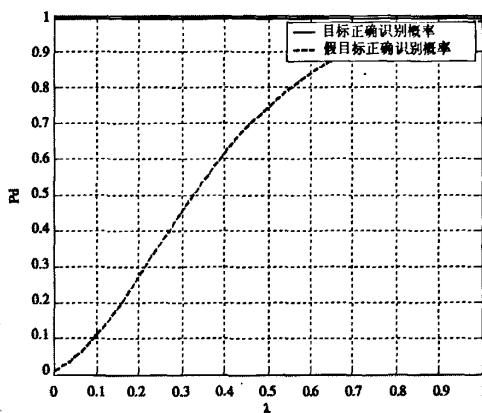


图2 有源假目标干扰的正确判决概率

随着干扰极化因子的变化曲线

由图1和图2可见,有源假目标干扰的正确判决概率随着干噪比和干扰极化因子的变化而变化,对于圆极化干扰基本上在干噪比大于20dB的情况下就能够有效识别;同时,随着干扰极化因子 λ 的减小,在同一干噪比条件下,正确识别的概率亦在减小。特别的,当干扰极化因子等于零时,即有

$$h_{JH}J_2(t) = e^{j2\pi(f_d+f_c)t}r_h h_{JY}J_1(t) \quad (26)$$

有源假目标干扰就难以利用主辅天线的极化信息进行有效识别。这对于有源干扰系统的优化设计具有一定参考意义。

图3给出了不同干噪比(JNR)情况下雷达目标和有源假目标干扰的正确判决概率随着主辅天线增益比的变化曲线,其他参数与图1一致。

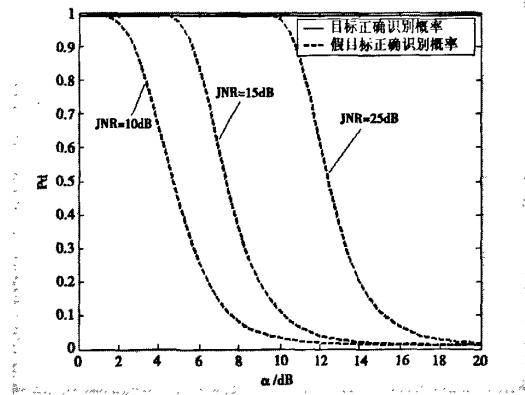


图3 雷达目标和有源假目标干扰的正确判决概率

随着主辅天线增益比的变化曲线

由图3可见,在同一信噪比(干噪比)条件下,有源假目标干扰的正确判决概率随着主辅天线增益比的增大而递减。实际应用中,为了能够有效对消副瓣压制式干扰,辅助天线的增益介于主天线的主、副瓣增益之间,一般比主瓣增益低10~15dB,而高于副瓣增益;从这个角度说明,本文的工作无论是自卫欺骗干扰还是远距离支援式欺骗干扰均有一定效果。这一结论也初步由某型号雷达的外场试验数据得以验证。

事实上,本文的识别算法仅仅利用了单基地雷达目标互易的性质,取得了较好的识别效果。从干扰的角度分析,由

式(5)~式(10)可见,对于有源假目标干扰而言,在不考虑接收机噪声的情况下,雷达接收信号具有如下关系

$$v_{mj}(t)v_{c,j2}^*(t) - v_{mj2}(t)v_{cj}^*(t) = 0 \quad (27)$$

而对于目标而言,显然上式一般情况下不等于零,这也为真假目标的识别提供了一条重要依据,可以进一步提高有源假目标干扰的识别率,这里不再赘述。本文的目的旨在说明利用主辅天线的极化差异可以在一定程度上削弱、甚至完全使有源多假目标欺骗干扰失效。同时,主辅天线的交叉极化特性对本识别算法基本没有影响,这为工程的实现降低了难度。

5 结束语

有源假目标欺骗干扰是雷达电子战中使用广泛的一种军事行动,可以起到抑制、扰乱雷达的正常工作,多次战争表明它具有出奇制胜的作战效果。现代先进战术/战役雷达为了提高抑制旁瓣有源压制式干扰的能力,一般均备有旁瓣对消辅助天线,且具有脉间极化捷变的能力。本文探讨了利用辅助天线结合主天线的极化特性来识别时频域通真度很高的有源假目标欺骗干扰的可行性。

本文的研究结果初步表明利用主辅天线的极化特性是可以从一个角度增强或者达到完全识别有源假目标欺骗干扰的目的;同时说明无论是对于自卫欺骗干扰还是远距离支援式欺骗干扰均有一定识别效果,而对于支援式欺骗干扰的识别会更为有效。

参考文献

- [1] D. C. 施莱赫著. 信息时代的电子战. 成都: 信息产业部电子二十九研究所, 2000.
- [2] (俄) 维利卡洛夫等著. 弹道导弹突防中的电子对抗. 成都: 信息产业部电子二十九研究所, 2001.
- [3] 庄釗文, 肖顺平, 王雪松. 雷达极化信息处理及应用. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- [4] D. Giuli. Polarization diversity in radars [J]. Proc. of the IEEE, 1986, 74(2): 245-269.
- [5] W. M. Boerner. Direct and Inverse Methods in Radar Polarimetry [C]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1992.
- [6] 李永祯. 瞬态极化统计特性与处理的研究 [博士论文]. 长沙: 国防科技大学, 2004. 12.
- [7] 王国玉. 基于雷达对抗的战区导弹突防仿真研究 [博士学位论文], 长沙: 国防科学技术大学, 1999. 9.
- [8] 《世界地面雷达手册》第二版. 电子信息产业部第14研究所, 2002.

作者简介

李永祯,男,1977年12月出生于内蒙古化德县,博士。2004年12月毕业于国防科技大学电子科学与技术工程学院,获工学博士学位。现为国防科技大学讲师、中国人民解放军第三十三试验训练基地博士后。研究兴趣为雷达极化信息处理、电子战建模与仿真、目标检测与识别。在国际国内期刊、会议上发表论文50余篇,获军队科技进步二等奖2项,出版专著一部。

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>