

星载数字调零天线的调零策略研究

赵星惟^{1,2}, 吕源¹, 龚文斌¹, 梁旭文^{1,2}

(1. 上海微小卫星工程中心, 上海 200050; 2. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 上海 200050)

摘要: 星载数字调零天线对应的干扰信号主要是人为大功率阻塞式干扰。针对该情况, 提出调零状态保持策略和干扰源信息存储策略。调零状态保持策略可以有效防止闪烁式干扰源对调零天线造成的潜在威胁, 避免调零天线被动频繁调零对系统稳定性的影响。干扰源信息存储策略可以得到具有针对性的调零状态保持时间, 避免盲目设定调零状态保持时间导致无法适应各种干扰策略的情况, 从而使调零天线具有更强的自适应性。

关键词: 星载数字调零天线; 调零状态保持; 干扰源信息存储

Research on Nulling Strategy of Satellite Digital Nulling Antenna

ZHAO Xing-wei^{1,2}, LV Yuan¹, GONG Wen-bin¹, LIANG Xu-wen^{1,2}

(1. Shanghai Engineering Center for Microsatellites, Shanghai 200050, China;

2. Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

[Abstract] The main jamming against digital nulling antenna on satellites is hostile high-power blocking interference. Aiming at the situation, this paper proposes nulling state maintain and interfering resource information store strategy. Nulling state maintain strategy can prevent the nulling antenna from the potential threat of blinking-jamming, avoid the impact of nulling antenna passive frequent nulling for system stability. The interfering resource information store strategy can get nulling state maintain time with pertinence, avoid the situation of blindly setting nulling state maintain time which can not adapt to all kinds of interfering strategy, and it makes nulling antenna has stronger adaptability.

[Key words] satellite digital nulling antenna; nulling state maintain; interfering resource information store

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.06.005

1 概述

以电子战和信息战为重要特征的现代战争对传统军事通信设备的电子对抗性能提出了严峻挑战。由于卫星通信在军事通信中的地位日益突出, 因此如何增强卫星通信系统的抗干扰能力成为亟待解决的问题^[1]。星载天线调零技术是在这样的需求背景下诞生的。美国的国防通信卫星 DSCSIII 与战略战术中继卫星系统 MilStar 均采用了先进的自适应调零天线技术, 调零深度可达 30 dB。

调零天线的基本原理是将天线生成的主波束对准期望信号(desired signal)而将零陷调制到干扰方向, 以此实现对期望信号的无失真接收, 同时有效抑制入射到天线面的强干扰信号。最初的天线调零是由天线独立完成的, 称为机械调零。它是通过调整天线的位置、配置方式或由星上的附属天线抑制干扰。随着技术的进步, 数字信号处理技术逐渐融入到天线技术中, 从而颠覆了传统调零天线的概念。通过对数字信号的处理, 可以实现电子瞄准, 从而代替天线的机械瞄准, 显然这种方法可靠性更高, 也更精确。数字波束形成(Digital Beamforming, DBF)技术属于阵列信号处理的领域, 它通过对天线阵元接收的信号进行加权求和等处理, 能够实现阵列天线的赋形、扫描、调零、干扰源定位等多种功能, 是目前星载调零天线热衷采用的技术之一。

干扰与抗干扰是矛盾关系, 若要有效地提高抗干扰的效果, 则必须针对干扰信号进行研究, 做到有针对性。任何一种抗干扰技术都不能完全解决卫星通信的安全性问题, 因此, 要有效融合多种抗干扰技术^[2], 从而增强整个卫星系统的抗干扰能力。调零天线对抗的是人为的大功率阻塞式干扰, 不建议应用于抵抗其他类型的干扰。本文针对调零天线的这个应用方数据

用背景进行探讨。

在电子对抗领域, 己方通常对敌方没有任何可以利用的先验知识, 同时也不知道敌方将采用什么干扰方式。在这种情况下, 只能假想敌方会采用任何可能采用的干扰策略, 而系统在各种最坏的条件下仍能达到性能最优化^[3]。这就要求调零天线具有智能化的抗干扰策略。综上所述, 调零天线对应的干扰信号有 2 个特性:

(1)人为的。这表明干扰信号是有意干扰, 因此, 干扰信号具有智能性、灵活性、多变性和不可预测性, 这对消除干扰造成一定困难。主要是难以侦测、难以捕获、从而难以对其进行指标分析, 因此, 给调零策略带来困难。

(2)大功率阻塞式干扰^[4]。这表明干扰信号的功率超过正常通信下的有用信号, 将有用信号淹没甚至将接收机推至饱和, 造成无法通信。

针对这 2 个特性, 调零天线的调零策略应能够保证卫星对大功率人为干扰实现快速捕获、快速定位、快速响应, 并且保证有用信号的正常接收。更进一步, 调零天线应满足干扰漏检率低、系统资源消耗小、恶劣条件下可生存性高等要求。目前, 由于国内外针对调零天线的干扰策略和针对各种干扰策略的调零天线抗干扰策略研究的文献很少, 因此本文在此方面进行分析和讨论。

基金项目: 上海市自然科学基金资助项目(09ZR1430400)

作者简介: 赵星惟(1978—), 男, 博士研究生, 主研方向: 空间通信, 数字波束形成; 吕源, 博士研究生; 龚文斌, 研究员、博士后; 梁旭文, 研究员、博士后、博士生导师

收稿日期: 2010-11-26 **E-mail:** tonyzhaoxw@hotmail.com

2 调零状态保持策略分析

基于数字波束形成技术的数字调零天线, 其实现调零的方法是通过测定干扰的来波方向(Direction Of Arrival, DOA), 通过调零算法计算出能够在干扰方向形成零陷的一组权值, 同时保证不降低(或略有降低)有用信号的方向增益、增益平坦度满足指标等要求。通过加权求和, 输出到接收机的信号为滤除了干扰后的信号。实现过程包括了调零算法和 DOA 估计算法^[5]。

调零天线的工作流程是实时监测接收到的信号功率, 当检测到接收信号有大功率干扰后启动调零工作流程。首先对干扰信号进行捕获、分析来波方向及其他指标, 然后根据设定的调零算法计算调零权值, 最后进行权值更新, 实现调零。直至干扰信号消除后, 系统恢复到原始权值状态。在出现强干扰信号后, 系统无法工作, 必须立即开始进行调零: 计算可消除干扰的新权值, 之后进行权值更新, 从而在输出中滤除这个强干扰。显然, 在出现干扰到新权值更新完毕前的这段时间内, 系统是无法通信的。因此, 在符合条件的干扰信号出现后, 应立即开始调零。但是, 当干扰信号消失后, 调零天线的调零状态还应保持多久, 这就属于调零状态保持策略的问题。

在卫星通信系统中, 一个关键的问题是如何在抗干扰性能和系统效率之间找到平衡点, 特别是在有强干扰信号的复杂环境下, 如何进行两者之间的平衡很重要^[6]。一方面, 调零天线在进行调零后, 即将权值更新为调零权值后, 系统的性能会有所降低, 这包括增益平坦度下降、波束形状恶化等, 对通信链路造成误码率上升、可通信链路数下降等影响。因此, 在干扰信号消失后, 没有必要再继续保持调零状态, 系统应能及时恢复到正常状态。另一方面, 一些随机性干扰可能在休眠与干扰的状态间来回切换, 在干扰一段时间后关闭发射机进入“休眠”模式, 这类干扰称为闪烁干扰, 以往在干扰源功率受限的情况下经常采用^[7]。弹载跟踪雷达也有闪烁干扰的概念, 但其有特殊含义, 与此处所提的闪烁干扰不同。对于闪烁干扰, 调零天线的快速暂态响应性能是至关重要的^[8]。同时, 如果随着干扰的消失调零状态立即恢复到原始状态, 而不是保持一段时间, 系统则会一直处于调零和恢复的忙碌状态。因为每次调零都会花费一定时间, 而且在调零过程结束前, 系统无法通信, 所以频繁调零将降低系统的效率、影响系统的稳定性、迫使调零处理器长时间开机、加重系统运算的负担。因此, 在干扰信号消失后, 调零状态应继续保持一段时间。

图1是一次一般状态下的系统调零过程, 其中, 天线状态包含原始状态和调零状态; 实线表示可以通信; 虚线表示受到干扰无法通信; 干扰源状态包含发射干扰和未发射干扰2种状态, 为简单起见, 假设干扰信号是周期性出现的; t_c 表示从出现干扰到系统完成调零所需的时间; t_i 表示干扰持续的时间; t_n 表示2次干扰之间的空闲时间, 权值更换的时间很短, 忽略不计。显然, 在绝大多数情况下, t_i 很大, 因为只有长时间干扰才能对卫星的通信进行有效的阻塞, 具体大小与对方的干扰策略有关, 可能是数秒、数分钟、数小时、数天甚至数月。同时, 调零算法的响应速度很快, 即 t_c 很小。直接计算的调零算法只需几十秒或几百毫秒, 即使是采用迭代的调零算法, 如遗传算法等, 所需时间最长也只有几秒。所以, 一般有 $t_i \gg t_c$ 。在进行定性分析时, 将条件放宽到

$t_i > t_c$, 如图1所示。由于 $t_i > t_c$, 因此系统可以完成对干扰的调零。在一次干扰周期内(包括一次干扰和一次暂停干扰的时间), 即可通信时间为 $t_i + t_n - t_c$, 不可通信时间为 t_c , 所以, 在这次干扰周期内, 可通信概率为:

$$p_c = \frac{t_i + t_n - t_c}{t_i + t_n} = 1 - \frac{t_c}{t_i + t_n}$$

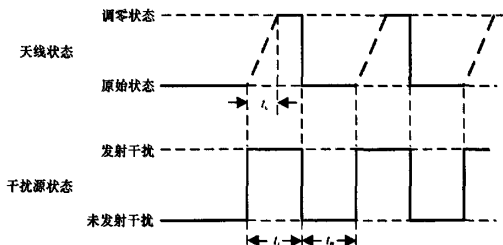


图1 一般状态下的系统调零过程

为提高可通信概率 p_c , 调零天线只能尽量减小 t_c , 减小 t_c 同时意味着系统对干扰的响应和处理速度更快。 $t_i + t_n$ 的大小取决于干扰方, 由式 p_c 可以看出, $t_i + t_n$ 越小(即干扰信号闪烁的频率越高), 卫星的可通信概率越低, 干扰越成功, 有利于干扰方。当 $t_i \rightarrow t_c^+$, 同时 $t_n \rightarrow 0$ 时, $p_c \rightarrow 0$ 。显然, 为防止这个情况, 必须采用调零状态保持, 比如对应图1中的情况, 采用调零状态保持, 保持时间为 t_n , 系统调零过程如图2所示。

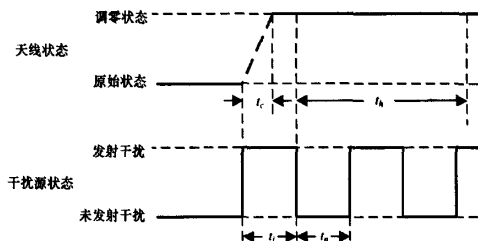


图2 调零状态保持策略下的调零过程

此时, 系统的可通信概率为:

$$p_c = \frac{t_i + t_n - t_c}{t_i + t_n} = 1 - \frac{t_c}{t_i + t_n}$$

显然, 由于 t_c 很小, 因此只要 t_n 足够大, 那么即使干扰持续时间 t_i 很小 ($t_i \rightarrow t_c^+$), 仍然有 $\frac{t_c}{t_i + t_n} \rightarrow 0$, 从而有 $p_c \rightarrow 1$ 。

如果干扰已经消失, 却仍然保持调零状态, 则会使系统性能下降, 因此, 应尽量减少在无干扰的情况下保持调零状态。对应图2, 如果 $t_n \rightarrow \infty$, 则有 $t_n \rightarrow 0$, 这就形成了矛盾。

下面对这个问题给出定性分析。对于 t_i 和 t_n 的大小, 只能根据干扰原理以及一般情况进行推测:

(1)不可能出现 t_i 很小, 而 t_n 很大的情况。因为这样会有效干扰时间太短, 无法形成对信道的阻塞。如果出现这样的干扰, 调零天线则不予处理。利用纠错码、存储重发等技术即可解决。

(2)如果 t_i 很大, t_n 很小, 那么需要调零状态保持, 保持时间大于 t_n , 即只需保持很短的时间(相对于 t_i)。

(3)如果 t_i 和 t_n 都很小, 即干扰快速闪烁, 那么需要调零状态保持, 快速闪烁期间应认为一直存在干扰, 调零状态应

保持很长时间。

(4)如果 t_i 和 t_n 都很大, 这种情况即长时间干扰后停止干扰很长时间, 然后再次干扰。此时, 不需要干扰保持, 对可通信概率影响不大。

可见, 调零状态保持的时间应与干扰的断续时间, 即 t_i 和 t_n 对应, 而不能给出一个固定的大小。

另外, 如果出现 $t_i < t_c$ 的情况, 那么调零天线在干扰出现的时间内无法完成对干扰的捕获和调零, 调零天线失效。其解决方法是, 更改调零算法, 提高算法收敛速度, 即减小 t_c 。

在以上讨论中, 为简单起见, 图 1、图 2 中的干扰断续出现是周期性的, 实际情况并非如此, 即这个周期内的 t_i 和 t_n 与下一次干扰周期内的 t_i 和 t_n 不一定相同, 甚至可能差异很大, 呈现某种随机性。但这不影响对该问题的定性讨论。

3 干扰源信息存储策略

为应对第 2 节闪烁式干扰降低系统可通信概率的情况, 需要采用调零状态保持策略, 即在出现干扰时系统立即更新权值, 对该干扰进行调零, 但对已经出现过但目前又停止干扰的干扰源方向仍然保持一段时间的调零状态。为合理确定每次保持的时间 t_h 的大小, 必须对干扰信号的干扰性质进行统计分析。

干扰源信息存储策略是在调零天线的调零处理器中设置一个存储器, 保留将干扰信号的位置、干扰时间等信息。同时对干扰源的干扰形式进行分析, 是连续干扰还是时断时续性的干扰, 以便决定对一个干扰曾经出现的方向是否保持调零状态以及保持多长时间。可设置存储表记录干扰信息, 每个干扰源的来波方向根据出现的先后进行编号以便识别, 每个干扰方向都有一个权值系数, 权值系数越大表明该方向越可能再次出现干扰, 该方向的调零状态也能保持越长时间。干扰源信息存储的形式如表 1 所示。

表 1 干扰源信息存储

编号	权值	来波方向	干扰源位置	上次出现干扰距今的时间/s	平均干扰持续时间/s	干扰出现次数	干扰时间总和/s	地区敏感指数
1	K_1	(θ_1, φ_1)	(经度 1, 纬度 1)	X	\bar{t}_{hold}	m_1	T_1	E_1
2	K_2	(θ_2, φ_2)	(经度 2, 纬度 2)	X	\bar{t}_{hold}	m_2	T_2	E_2
...
n	K_n	(θ_n, φ_n)	(经度 n, 纬度 n)	X	\bar{t}_{hold}	m_n	T_n	E_{16}

干扰源权值系数 K_i 表示的是这个曾经出现的干扰方向再次出现干扰的可能性的, 权值越大, 需要在该干扰方向上保持调零状态的时间越长。因此 K_i 应与以下因素有关:

(1)上次出现干扰距今的时间 t_n : 表示该方向上已经多久没有出现干扰了, 与 K_i 呈反比。

(2)历次出现干扰的时间总和 T : 若第 i 次干扰持续的时间为 t_i , 则 $T=t_1+t_2+\dots+t_i+\dots$, 与 K_i 呈正比。

(3)平均干扰持续时间 \bar{t}_{hold} : 若该方向上总共出现了 n 次干扰, 则 $\bar{t}_{hold} = \frac{T}{n} = \frac{t_1+t_2+\dots+t_n}{n}$, 与 K_i 呈正比。

(4)该地区敏感指数 E : 一些热点地区相对其他地区出现干扰的可能性较大, 用地区敏感指数表示这个特点, 该指数在系统设计时人为确定, 与 K_i 呈正比。

这样, K_i 可以表示为:

万方数据

$$K_i \propto E \cdot \frac{T \cdot \bar{t}_{hold}}{t_n} \quad (1)$$

为防止出现分母为零的情况, 可将上式改为:

$$K_i \propto E \cdot \frac{T \cdot \bar{t}_{hold}}{t_n + \varepsilon} \quad (2)$$

其中, ε 为一个较小的正数, 单位为秒。 K_i 只表示一种相对大小的概念, 因此将正比符号换成等号, 有:

$$K_i = E \cdot \frac{T \cdot \bar{t}_{hold}}{t_n + \varepsilon} \quad (3)$$

引入常数 k (无单位)。如果式(3)中所有时间量都用秒作单位, 敏感系数 E (无单位), 则 K_i 的单位为秒。定义对应的调零状态保持时间为:

$$t_h = k \cdot K_i = kE \cdot \frac{T \cdot \bar{t}_{hold}}{t_n + \varepsilon} \quad (4)$$

从而得到对应某一干扰源的调零状态保持时间 t_h , 单位为秒。常数 k 的选取应基于经验分析, 若 k 太大, 则会无故长时间保持调零状态, 降低系统性能; 若 k 太小, 则调零保持时间太短, 达不到调零状态保持策略的目的。式(4)是基于干扰源以往特征以及目前状态得出的, 表示对未来可能出现干扰的概率以及何时出现干扰的某种推测。因此, 以此得出的调零状态保持时间为统计最优值, 将增加调零天线在不可预测干扰下的可通信概率。

如果一个方向上一直没有干扰, 那么 t_n 会逐渐增加, 从而 K_i 逐渐减小, 当其小于某个设定的阈值时, 系统可以不需要再对该方向进行调零了。阈值的选定需要进行详细的分析论证, 在此不做赘述。

本文采用干扰源信息存储, 不仅可以得到统计最优的调零状态保持时间, 而且可以将干扰信息下发地面控制终端, 为研究卫星生存环境、全球大型干扰站的分布、活跃程度等分析以及对卫星干扰方进行外交、军事干预提供必要的资料。

本文采用干扰源信息存储的另外一个好处是: 对于自适应调零天线而言, 地面指令可以很方便地介入。

例如, 在进行重要通信前, 需要对某个极有可能发射干扰的区域预先进行调零, 而此时该地区还没有出现干扰, 采用存储表结构可以通过地面指令修改干扰源信息存储表, 将某个需要进行调零的方向写入, 并将其权值设为较大值, 这样虽然卫星没有收到该方向的干扰, 但调零天线已经对该方向进行预调零了。干扰源信息存储表结构所需的软硬件资源很小, 却能够极大提高调零天线的灵活性, 自适应调整调零保持时间, 使调零策略更有针对性。系统更灵活、更易于控制。

4 结束语

卫星安全是系统性的课题, 包括卫星应用的所有方面, 不仅有卫星网络协议的安全机制^[9]等软保障, 也有调零天线等硬设施。调零天线面对人为的大功率阻塞式干扰, 决定了干扰信号将采取灵活多变的形式, 因此, 调零天线必须能应对各种可能出现的情况, 同时保证卫星可通信概率最大、系统代价最小。调零状态保持策略有效地防止了闪烁式干扰源对调零天线造成的潜在威胁。对于干扰源的干扰信息进行存储, 对其未来出现干扰的可能性进行量化分析和预测, 得到具有针对性的调零状态保持时间, 使系统得到极大优化, 避免盲目设定调零状态保持时间无法适应各种干扰策略的情况。

(下转第 17 页)

因此,构造基于该演变图的时间自动机,如图3所示,其中, $\sigma_1 \equiv (m_1(\tau)=10-2\tau \wedge m_2(\tau)=20-2\tau \wedge m_3(\tau)=m_4(\tau)=\tau)$, $\sigma_2 \equiv (m_1(\tau)=0 \wedge m_2(\tau)=20-\tau \wedge m_3(\tau)=m_4(\tau)=\tau)$, $\sigma_3 \equiv (m_1(\tau)=0 \wedge m_2(\tau)=0 \wedge m_3(\tau)=m_4(\tau)=10)$ 。为了证明上述3个特性,首先给出这3个特性相应的连续时间演变逻辑(CTEL)公式^[10],分别为:(1) $\Phi_1 \equiv \Diamond \triangleright_{\geq 10} (\nu(t_2)=0)$; (2) $\Phi_2 \equiv \Diamond \triangleright_{\geq 10} (m_1(\tau)=0 \wedge m_2(\tau)=0 \wedge m_3(\tau)=m_4(\tau)=10)$; (3) $\Phi_3 \equiv \Diamond \triangleright_{\geq 2} (m(p_4)=0)$ 。然后根据图3不难证明该生产过程在最大引发模式下满足上述特性。

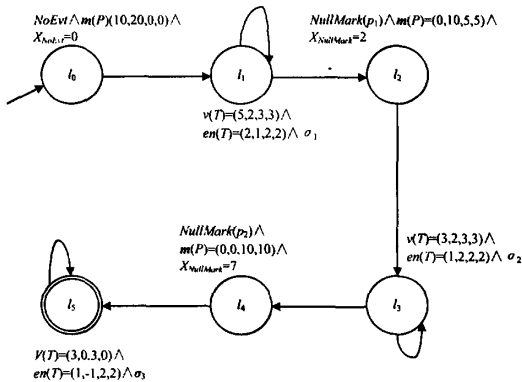


图3 ICPN的时间自动机

5 结束语

本文提出了基于区间速率连续 Petri 网状态演变图的时间自动机构造方法,给出了由状态演变图的迁移和状态转换成时间自动机位置的方法。通过实例不难看出,利用由状态演变图构造的时间自动机能够有效地对系统的一些性质进行分析。实例分析证明了该方法的可行性和有效性。本文的工作亦可推广到其他连续 Petri 网的模型分析。下一步将研究如何在本文工作基础上给出更有效的区间速率连续 Petri 网分析方法。

参考文献

[1] Alla H, David R. A Modeling and Analysis Tool for Discrete Event Systems: Continuous Petri Nets[J]. Performance Evaluation, 1998, 33(3): 175-199.

[2] Balduzzi F, Giua A, Menga G. First-order Hybrid Petri Nets: A Model for Optimization and Control[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2000, 16(4): 382-399.
[3] Allam M, Alla H. Modeling and Simulation of an Electronic Component Manufacturing System Using Hybrid Petri Nets[J]. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 1998, 11(3): 374-383.
[4] 李文敬,廖伟志,王汝凉. Petri 网系统的功能划分及其并行算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(21): 48-53.
[5] Droste M, Short R M. Continuous Petri Nets and Transition System, Unifying Petri Nets[M]. [S. l.]: Springer, 2001.
[6] Gu Tianlong, Dong Rongsheng. Novel Continuous Model to Approximate Time Petri Nets: Modeling and Analysis[J]. Journal of Application Mathematic and Computer Science, 2005, 15(1): 141-150.
[7] Liao Weizhi, Gu Tianlong. Optimization and Control of Production Systems Based on Interval Speed Continuous Petri Nets[C]//Proc. of 2005 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Hawaii, USA: IEEE Press, 2005.
[8] 廖伟志,古天龙. 区间速率连续 Petri 网的有效冲突及其消解[J]. 计算机科学, 2006, 33(10): 221-224.
[9] Sava A T, Alla H. Combining Hybrid Petri Nets and Hybrid Automata[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2001, 17(5): 670-678.
[10] Troncale S, Comet J, Bernot G. A Temporal Logic with Event Clock Automata for Timed Hybrid Petri Nets[EB/OL]. (2010-05-21). <http://www.ibisc.univ-evry.fr/Vie/TR>.
[11] Cassez F, Roux O H. Structural Translation from Time Petri Nets to Timed Automata[J]. Journal of systems and Software, 2006, 29(1): 1456-1468.
[12] Alur R, Fix L. Event-clock Automata: A Determinizable Class of Timed Automata[J]. Theoretical Computer Science, 1999, 211(2): 253-257.

编辑 张正兴

(上接第14页)

参考文献

[1] 魏炳朝,向 维. 军用卫星通信抗干扰技术研究[J]. 无线电通信技术, 2008, 34(1): 15-18.
[2] 李 隼,楚恒林. 导航战技术及其攻防策略研究[J]. 无线电工程, 2008, 38(7): 36-39.
[3] Pham K D. Cooperative Decision Problems with Confrontation of Jamming and Estimation: Multi-resolution Strategies for Performance Robustness[C]//Proc. of the 16th Mediterranean Conference on Control and Automation. Ajaccio, France: [s. n.], 2008.
[4] 姜志刚,张 捷. 卫星系统的干扰监测技术[J]. 无线电工程, 2008, 38(9): 57-59.

[5] 许培培,龚文斌,余金培,等. 一种改进的卫星空时 DOA 矩阵算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(20): 268-271, 274.
[6] Liu Haitao, Han Fangjing. Performance Analysis of Antiinterference Wireless Packet Networks for LEO Micro-satellite with Adaptive Nulling Antenna Array[J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2006, 13(2): 10-14.
[7] Xu Wenyuan, Ma Ke. Jamming Sensor Networks: Attack and Defense Strategies[J]. IEEE Network, 2006, 20(3): 41-47.
[8] 岳晓奎,吴 琼. 智能天线在伪卫星增强系统中的抗干扰作用[J]. 火力与指挥控制, 2006, 31(2): 62-65.
[9] 洪志国,王永滨,石民勇. LEO 卫星网络中安全协议的建模与性能分析[J]. 计算机工程, 2009, 35(7): 127-129.

编辑 陆燕菲

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>