

基于网络分析仪的 UWB 频域测试*

吕潇潇¹ 王浩文² 王 雷¹ 葛晓光³ 张在琛²

(1. 上海无线电通信研究中心 上海 200335; 2. 东南大学移动通信国家重点实验室 南京 211189;

3. 中国科学院无线传感网与通信重点实验室 上海 200042)

摘 要: 超宽带通信技术(UWB)在未来室内无线多媒体接入中有着广阔的应用前景,研究超宽带室内信道测量技术不仅有利于室内通信系统性能分析,而且有利于加速超宽带通信在民用和商用上的进程。本文在典型的办公楼室内环境下,使用矢量网络分析仪分别在 LOS 和 NLOS 场景中进行 UWB 信道频域测量,并用 LABVIEW 软件对测试数据进行拟合处理,分析计算后得到的信道参数。信道参数表明,由于室内环境复杂产生的通信阻塞效应,使 NLOS 场景中信道衰减比 LOS 场景中更大。在小尺度频域测量中,实测波形很好的反应 UWB 在室内传播的多径现象,并可以看出多径呈簇,相对于 NLOS 场景,LOS 场景中多径数较少,而且多径能量损耗较小。结果表明,通过频域测试得到的信道参数满足实际信道建模,多径衰落特性与实测统计特性相符,从而验证了测试方法以及数据处理的正确性。

关键词: 网络分析仪;超宽带;频域测试;信道建模

中图分类号: TN92 **文献标识码:** A

Frequency domain measurement of UWB wireless channels with VNA

Lv Xiaoxiao¹ Wang Haowen² Wang Xue¹ Ge Xiaoguang³ Zhang Zaichen²

(1. Shanghai Research Center for Wireless Communications, Shanghai 200335; 2. National Mobile Communications Research

Laboratory, Southeast University, Nanjing 211189; 3. Key Laboratory of Wireless Sensor Network & Communication,

Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200042)

Abstract: Ultra-Wide Bandwidth (UWB) has a promising application prospect in indoor multi-media wireless access. The study of UWB measurement technology in indoor scenario is not only helpful for analyzing the performance of indoor wireless communication system, but also beneficial for the acceleration of UWB's civil and commercial application. In this research, at first, intensive measurements of practical wireless communication channels (i. e., Channel Frequency Response (CFR)) between a pair of UWB devices in typical indoor environments under both Line-Of-Sight (LOS) and Non-Line-Of-Sight (NLOS) scenarios with Vector Network Analyzer (VNA) are conducted, then the CFR data are fitted with a LABVIEW software. It is found out that the channel attenuation of NLOS scenarios greater than LOS scenarios, because of the obstruction of communication being caused by the complex of the indoor environments. In the fine scale of frequency-domain measurements, the multipath effects of UWB indoor propagation and the multipath of clustering property are responded well by measured waves, it express that the number of multipath and the energy loss of multipath of NLOS scenarios less than the LOS scenarios. The results indicate that the abstracted channel model coincided with the practical UWB wireless channels, and multipath fading fit to the statistics of measured date, which validate the correctness of our measurements and data processing methods.

Keywords: vector network analyzer; UWB; frequency domain measurements; wireless channel modeling

0 引 言

超宽带 UWB (ultra wideband) 技术是目前无线通信领域的研究热点之一^[1-3]。超宽带技术以其显著的带宽和优异的

时间分辨力,在信道容量和抗多径性能上明显优于目前的窄带通信技术。一般将 UWB 信号定义为带宽超过 500 MHz,或相对带宽(即带宽除以中心频率)大于 0.2 的信号^[3]。因为信号频谱极宽,UWB 系统可以在较低的信噪比条件下,实

本文于 2012 年 3 月收到。

* 基金项目:东南大学移动通信国家重点实验室开放研究基金(W200910)资助课题、用于物联网的短距离无线通信关键技术试验平台建设(2150510)资助课题、上海市科委基础研究重点项目短距离无线通信关键测试技术研究及验证(10511502600)资助项目

现高达 1 Gbps 的无线传输速率^[3]。同时,UWB 系统可采用与其他通信系统共享的方式使用频谱,无需独占特定的频段。通过采用极低的发射功率,UWB 系统可以有效的避免对其它通信系统造成干扰。深入了解超宽带信号的室内多径传播特性,是设计超宽带系统的基础,因而构建更加准确,更加有效的室内仿真模型变得日趋重要。

为了建立并完善超宽带室内多径信道模型,人们已经做了许多理论性的研究,但是对于实际场景中的信号传播的衰落和成簇性,只有通过大量的实测数据才能做出评估。许多参考文献中已经阐述了几种典型 UWB 信道模型并对其进行修正,且大多数采用的是模拟器仿真方法获得 UWB 信道的特征参数,但该方法所得结果的准确性依赖于模拟器的参数,不能够精确地反映实际场景中的信道状况^[4-5],因此本文采用实验法来具体探测实际信道获得特征数据。综合考虑室内状况以及现有仪器设备,并比较实验法中的时域探测技术和频域探测技术的优缺点^[6-7],在本文中采用频域探测技术来测试 UWB 信号在室内信道中的传播特性。

本文在典型的办公楼室内环境下进行 UWB 的信道建模,在 3.1~4.8 GHz 范围内使用矢量网络分析仪 VNA (vector network analyzer)对 LOS 和 NLOS 环境下 UWB 信道进行频域测量。然后使用 LABVIEW 软件对 VNA 测量所获得的数据进行分析和处理,并提取出具体的信道参数,根据参数特性拟合出 UWB 室内大尺度信道衰落模型,与现有的 UWB 信道模型相符,并且通过比较在 LOS 环境和 NLOS 环境下,分析了 UWB 信道衰落的大尺度和小尺度特征符合实际场景,从而验证 UWB 频域测试方法和数据处理的正确性以及模型建立的合理性。

1 探测模型与测量平台

利用矢量网络分析仪进行 UWB 频域测量可以确定信道的复信道转换函数,其测量系统框图如图 1 所示,本文利用矢量网络分析仪和射频开关获得信道的传输矩阵。通过矢量网络分析仪的计算即可得到信道频率响应对此频率分量的幅度值和相位值,通过离散傅里叶变换转换为信道冲击响应表达式,矢量网络分析仪在测量频带内进行步进阶梯式的离散频率测试,对每一个频率段重复上述过程,即可得到该频带内的信道频率响应。

在本文测试方案中,信道传输矩阵的获取利用多端口矢量网络分析仪来完成,其测量平台如图 2 所示。在本文实验中,所用的 Agilent ENA 网络分析仪的频率范围是

300 kHz~20 GHz^[7-8]。网络分析仪有 4 个端口配置,均可收发,本实验中设置 1 号端口为发射端口与发射天线相连,4 号端口为接受端口与接受天线相连,为了最大程度上减少网络分析仪和天线之间的损耗,采用了低损耗馈线连接。同时,为了获得较好的传输信道特性,将天线的色散效应降低到最小,选择了全向圆锥天线。

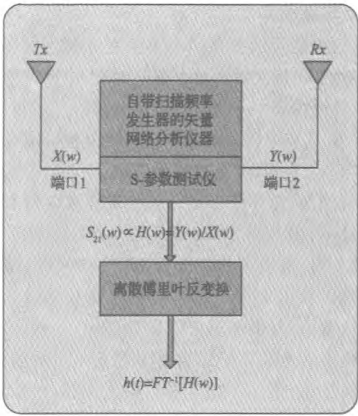


图 1 频域信道探测模型

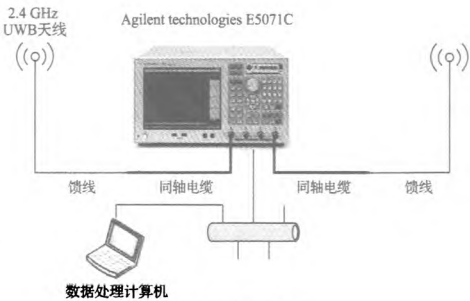


图 2 测量平台

2 测量过程

2.1 设置无线参数和系统参数

在系统测量之前,需先在网络分析仪中设定以下参数:中心频率、带宽、扫描范围和要测量的点数,以及中频(IF)带宽等,中频带宽值是进行测量所需的时间和噪声本底之间的折中值,具体参照表 1 测试参数。

表 1 测量参数

参数名称	N	M	P(dB)	fc(GHz)	W(GHz)	CW Freq (kHz)	Sweep time	Sweep delay	Sweep range (GHz)	points	IF Bandwidth (kHz)
说明	发射天线	接受天线	网络分析仪发射功率	中心频率	带宽	功率扫描固定频率	扫描时间	扫描延时	扫描范围	测量的点数	中频带宽
测试值	1	1	0	3.95	1.7	300	auto	0	3.1~4.8	1601	70

2.2 系统校准

在测量之前,必须对系统进行校准,以便消除由连接天线和网络分析仪的元器件所引起的衰减和相移,本测试实验中采用了 Agilent 85052D 校准零件。校准后系统的幅度和相位噪声非常低,幅度噪声最大值为 0 dB,相位噪声为 0 度。

2.3 测量环境

现场信道测量选择在一个实验室房间(中心 7 楼)进行。该实验室建筑主体框架为钢筋混凝土,内部墙体主要由砖和石膏板建成。图 3 给出该实验室的平面布局,其形状呈正方形,实验室内物件主要包括由隔板分隔开的办公隔间(包含办公桌椅、电脑)、玻璃门、机柜、实验台、以及放置在实验台上的各种仪器设备。此实验室内散射物体比较丰富,是一个比较典型的室内传播环境。

实验室内,发射天线位置 TX1,接收天线位置 RX1、RX2,如图 3 所示。TX1-RX1 为直视路径场景($d=0\sim 6\text{ m}$),TX1-RX2 为非直视路径场景($d=0\sim 6\text{ m}$)。测量时,物体摆放位置固定不变,并尽量控制人员走动,以保证测量信道的稳定性。

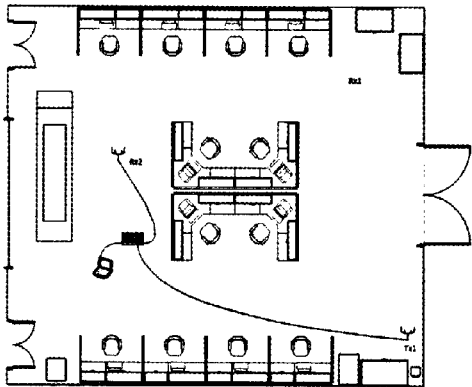


图 3 UWB 信号实测信道环境结构和测量位置

2.4 测量环节

1) 固定发射天线,将发射板和发射天线固定在图 3 中 TX1 位置,移动接收天线,把接收天线安置在一个可以自由移动的小车子上。

2) 路径损耗特性测试,位置选择,在收发天线距离 6 m 内,每间隔 10 cm 的圆弧上测试 20 组数据,并求其平均值,从而获得大尺度信道统计特性。

3) 多径传播特性测试,收发天线的距离定为:1 m、4 m、6 m 3 个位子,在每个位置布置 6×6 的长度为 60 cm 的正方体方格,如图 4 所示,然后在每一个小方格里探测获得信道脉冲响应,并求其平均值,从而获得小尺度信道的统计特性。

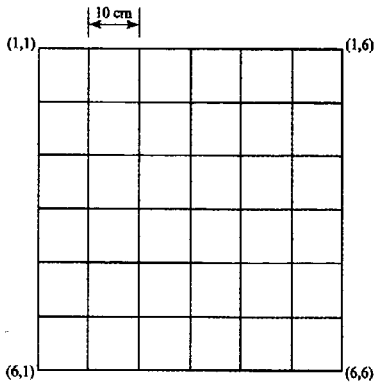


图 4 本地探测方格

3 探测结果

在 3.1~4.8 GHz 的频率范围内,利用 VNA 按照上述的测量过程进行频域测量,测量数据以 .csv 格式数据文件按照 LOS 与 NLOS 环境分别进行存储,以分析不同状态下的信道特性。

在 LOS 环境下共测量了 60 个局部点,测量距离选择 0~6 m 的范围,每个局部点测量 20 次,故共测量 1 200 组数据;在 NLOS 环境下共测量了 3 个大位置点,测量距离选择 0~6 m 的范围,每个大位置点 36 个小方格位置点,每个小方格位置点测量 10 次,故共测量 1 080 组数据。

3.1 大尺度衰落

由于在室内 UWB 是短距离高速传输并存在严重的多径现象,因此路径损耗模型(即大尺度信道模型)的建立首先能够反映 UWB 信号在信道传输中随着距离变化的统计特性^[9-10]。一般情况下,在 LOS 和 NLOS 2 种测试环境中,根据 Friis 自由空间传播公式可以得出室内路径损耗模型为:

$$PL(d) = \left[PL(d_0) + 10\gamma \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) \right] + X_\sigma(d) \quad (1)$$

式中: d 是收发天线间距离; $PL(d_0)$ 是基准距离(一般 $d_0=1\text{ m}$) 的路径损耗; $10\gamma \lg\left(\frac{d}{d_0}\right)$ 是相对的平均路径损耗, γ 为路径损耗指数,表示路径损耗随距离增长的速率,与测试环境相关; $X_\sigma(d)$ 是阴影衰落函数,服从标准方差为 σ 的对数正态分布。

对所测得的数据进行分析计算,得到 LOS 和 NLOS 环境下 PDP 平均值,如图 5 LOS 路径损耗,图 6 NLOS 路径损耗,通过这些平均值来分析路径损耗与距离的关系。

如图 5、图 6 所示,以 $10\lg(d)$ 为横坐标,可以看到大尺度路径损耗随着测试距离的增大而增大,即随着收发端之间距离的增大,接受到的信号功率会以指数分布逐渐降低。相较于 LOS 环境下,NLOS 环境下衰减更快。这是符

合实际测试情景,因为 NLOS 下发射信号遇到复杂障碍物,信号在穿透障碍物或是被障碍物反射、散射时被吸收了较多的能量,使得损耗较大。

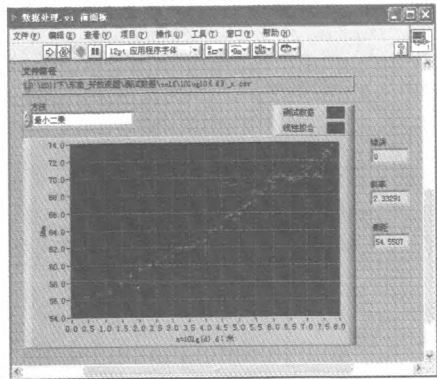


图 5 LOS 路径损耗

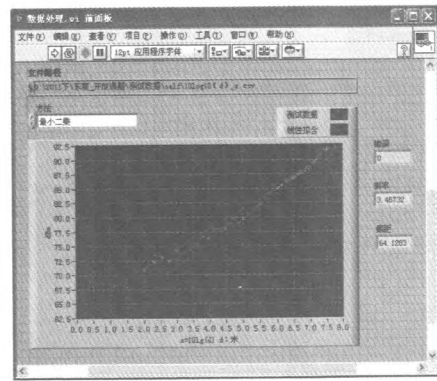


图 6 NLOS 路径损耗

按照图 5、图 6 所测得数据分别研究 LOS 和 NLOS 场景下 PL 与距离的关系,分析计算得到路径损耗指数及阴影衰落,如表 2 所示。

表 2 PL 与 d 关系参数

参数	γ	$PL(d_0)/(dB)$	σ
LOS	2.33291	54.5507	0.73098
NLOS	3.46732	64.1283	1.00258

由表 2 可以看出,实际测试的路径损耗与测试距离的关系,NLOS 衰减比 LOS 衰减更大的主要原因是由于进行信道测试的实验室比较大,而且室内环境复杂,办公桌椅、实验设备与隔断组成的障碍区造成了阻塞效应,这造成了信号由不同路径到达接受端的相对时延大,损耗严重。可以说本文测试得到的数据应该是相对较为复杂的特定室内环境下的 UWB 传输情况。

3.2 小尺度衰落

小尺度特性包括测试环境的小尺度衰落和由于多径引起的传输波形失真。由于 UWB 信号应用在 10 m 以内的室内环境,在短距离的传播过程中,受到传播环境影响,多径分量较大且幅度随着时间增加而衰减。

图 7、图 8 中可以看出,无论是 LOS 情况还是 NLOS 情况下,实测波形很好的反应 UWB 在室内传播的多径现象,并可以看出多径呈簇,相对于 NLOS 情况,LOS 情况下多径数较少,而且多径能量损耗较小、较易接收。

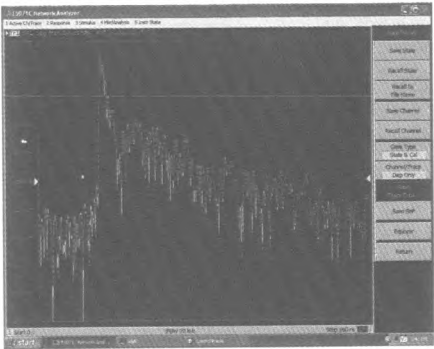


图 7 LOS 多径损耗

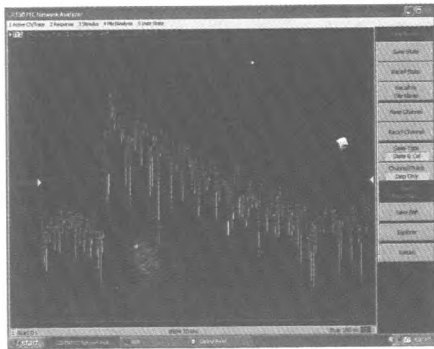


图 8 NLOS 多径损耗

4 结 论

基于 UWB 技术的无线系统的设计,依赖于精确地信道模型,而无线信道模型的建立很大程度上受到工作环境的影响,因此需要大量精确地信道测量。有效的数据测量是描绘 UWB 信道传播特性所必须的,对信道特性的准确把握是设计 UWB 通信系统的前提。从本文的基于网络分析仪的 UWB 频域测量方法可以看出,不论是在 LOS 还是 NLOS 环境下,信道的路径损耗都可以较好的拟合距离衰减模型,并且多径分量呈簇分布,由此证明了本文测试方法的正确性,并为 UWB 信道模型的搭建提供实际测量数据支持。

(下转第 138 页)

1) BPF interpreter

10000000	62 jiffies
50000000	312 jiffies
100000000	624 jiffies

正如前面所分析,解析执行方式是一种非常低效的方式,它并不改变本地机器指令,每接受一个数据包解析执行虚拟指令集一次,指令越长每次循环解析的时间就越长,解析执行性能就急剧下降。

2) BPF JIT

10000000	6 jiffies
50000000	30 jiffies
100000000	59 jiffies

在内核中通过即时编译函数 `bpf_jit_compile` 将虚拟指令直接编译成机器指令 `bpf_func` 函数,从表中看出性能比 interpreter 方式提高十倍多。JIT 方式既能实现动态灵活配置,又能达到较高的性能要求。

4 结 论

由于传统 BPF 过滤器以解析方式执行,效率低下,不能广泛应用于高速网络数据处理。对 BPF 过滤器的动态性原理深入研究,针对现有的 BPF 过滤器的不足进行改进,利用即时编译技术设计动态高效的 BPF JIT 数据包过滤器,提升了 BPF 过滤器实用价值。

参 考 文 献

- [1] 鹿凯宁. 利用 Linux 系统防火墙框架 Netfilter 对 BitTorr-

ent 限制实现[J]. 电子测量技术, 2010, 33(6): 12-23.

- [2] APPEL A W. 现代编译器的 Java 实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006: 72-75.
- [3] 尚风军. 网络瓶颈链路流量和时延关系研究[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(3): 22-25.
- [4] 郑国宏. 嵌入式 Linux 操作系统内核移植的研究与实践[D]. 大连: 大连理工大学, 2005: 62-65.
- [5] 王催. 基于 BPF 模型的包捕获与过滤机制的研究及应用[J]. 计算机与数字工程, 2008, 6(8): 67-70.
- [6] 姚梅. Linux 平台下 BPF 模型的研究[J]. 电子测量技术, 2010, 33(4): 59-62.
- [7] 苏勇辉. 基于 ARM 微处理器 TCP/IP 协议栈 LwIP 实现[J]. 国外电子测量技术, 2010, 29(9): 25-28.
- [8] 李娜. 一个 ARM 即时编译器的设计与实现[J]. 商洛学院学报, 2009, 4(2): 23-26.
- [9] 于晓, 王家礼. 嵌入式系统网络实时性能的优化[J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(3): 32-35.
- [10] 杜兵, 李新明. Linux 时间系统的实现[J]. 计算机世界, 2005, 2(3): 32-35.

作 者 简 介

叶俊, 主要研究方向为电子政务网建设和网上办公应用。

E-mail: disluar@163.com

(上接第 135 页)

参 考 文 献

- [1] 赵丽丽, 王莉, 苏丽娜, 等. 浅谈超宽带无线通信技术的发展[J]. 数字技术与应用, 2011, 11(3): 31.
- [2] 曾文, 王宏, 徐皓冬. 超宽带技术在工业通信中的应用研究[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(z1): 137-139.
- [3] 李锦林. 超宽带无线通信测量仪器提出挑战[J]. 国外电子测量技术, 2006, 25(4): 56.
- [4] ANDREAS F. Ultra wideband propagation channels-theory, measurement, and modeling [J]. IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, 2005, 54(5): 1528-1545.
- [5] 卢勋. 超宽带室内信道模型研究[J]. Silicon Valley, 2011, 23(4): 81-82.
- [6] 曹诗南, 钟硕朋, 李周, 等. UWB 信道测量技术及实测应用[J]. 现代电信科技, 2011, 10(9): 24-30.
- [7] 安捷伦科技. 安捷伦科技发布新型功能更强的经济型射频网络分析仪[J]. 电子测量与仪器学报, 2011, 25(6): 499.

- [8] HANEDA K, TAKADA J, TAKIZAWA K. Ultra wideband path loss modelling in a line-of-sight office environment [C]. Antennas and Propagation, The Second European Conference 2007: 1-6.
- [9] SAADANE R, KHAFADI A, WAHBI M, et al. Ultra wide bandwidth radio channel indoor propagation and path loss analysis based on measurements [C]. Multimedia Computing and Systems. International Conference on 2009: 259-263.
- [10] NOORI N, BAEER K, ABOLGHASEMI A, et al. Measurement and modeling of ultra wideband path loss in indoor laboratory environments [C]. Antennas and Propagation Society International Symposium, 2008: 1-4.

作 者 简 介

吕潇潇, 1985 年出生, 现为上海无线通信研究中心预言工程师, 主要研究方向为航空空地无线通信。

E-mail: xiaoxiao.lv@shrcwc.org

微波射频测试仪器使用操作培训

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,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;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,推出多套微波射频以及天线设计培训课程,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。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>

微波射频测量仪器操作培训课程合集



搞硬件、做射频,不会仪器操作怎么行!对于射频工程师和硬件工程师来说,日常电路设计调试工作中,经常需要使用各种测试仪器测量各种电信号来发现问题、解决问题。因此,熟悉各种测量仪器原理,正确地使用这些测试仪器,是微波射频工程师和硬件工程师必须具备和掌握的工作技能,该套射频仪器操作培训课程合集就可以帮助您快速熟练掌握矢量网络分析仪、频谱仪、示波器等各种仪器的原理和使用操作...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/67.html>

矢量网络分析仪使用操作培训课程套装

矢量网络分析仪是最常用的测试仪器是射频工程师和天线设计工程师最常用的测试仪器;该套培训课程套装是国内最专业、实用和全面的矢量网络分析仪培训教程套装,包括安捷伦科技和罗德施瓦茨公司矢量网络分析仪的 5 套视频培训课程和一本矢网应用指南教材,能够帮助微波、射频工程师快速地熟练掌握矢量网络分析仪使用操作...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/34.html>



示波器使用操作培训课程套装



示波器是硬件和射频工程师几乎在每天的工作中都会用到仪器,因此掌握示波器的原理并能够正确使用示波器是所有从事电子硬件电路设计和调试的工程师必须具备的最基本的技能。本站推出的示波器视频培训课程套装既有示波器的基本原理以及示波器性能参数对测量结果影响的讲解,也有安捷伦和泰克多种常用示波器的实际操作讲解,能够帮助您更加深入地理解手边常用的示波器从而更加正确地使用示波器...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/osc/49.html>