

# 时间门方法在天线间接时域测量中的应用与验证

张麟兮<sup>1</sup>, 广阔天<sup>2</sup>, 田进<sup>3</sup>

(1. 西北工业大学 无人机特种技术国家级重点实验室, 陕西 西安 710065;  
2. 西北工业大学 电子信息学院, 陕西 西安 710129;  
3. 解放军 91599 部队, 山东 莱阳 265200)

**摘要:** 针对矩形暗室内多径反射对天线测量精度的影响, 引入了间接时域加门的方法; 该方法利用逆傅里叶变换对宽带扫频数据进行处理获得天线的时域响应, 然后采用时间门去除多径信号, 变换到频域后可获得较准确的天线电参数, 如方向图等; 同时为了减少时域响应的泄漏, 进一步提高测量精度, 采用了基于频域加窗的逆傅里叶变换; 对该方法进行仿真分析和实验验证, 结果表明采用该方法得到的方向图与标准方向图基本吻合, 具有一定的有效性和实用性。

**关键词:** 时间门; 时域测量; 多径反射; 傅里叶变换

## Application and Validation of Indirect Time Domain Measurement with Time-Gating Approach

Zhang Linxi<sup>1</sup>, Guang Kuotian<sup>2</sup>, Tian Jin<sup>3</sup>

(1. National Key Laboratory of UAV Specialty Technique, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710065, China;  
2. Electronic Information Department, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China;  
3. Unit 91599 of PLA, Laiyang 265200, China)

**Abstract:** To eliminate the effects of multi-path reflections in anechoic chamber, time-gating method is introduced. The method employs Inverse Fourier Transform to deal with broadband sweep frequency data for obtaining the time domain response of antenna, then remove the reflection signals by means of time-gating to get more accurate electrical parameters of antenna. The measuring accuracy has been improved due to adopting Inverse Fourier Transform based on adding window in frequency domain. The simulation and experiment show that the pattern processed by time-gating is close to standard pattern. The method is efficient and practical.

**Key words:** time-gating; time domain measurement; multi-path reflections; Fourier Transform

## 0 引言

随着天线技术的发展, 对天线的测量精度要求越来越高, 但在室内频域测量条件下, 影响天线测量精度的主要因素是多径干扰, 尤其是在 200~1000MHz 的低频段时, 吸波材料的性能较差, 使得暗室侧壁和地面等的多径干扰更严重<sup>[1]</sup>, 而时域测量可以利用时间门方法较好地消除多径干扰, 提高测量精度<sup>[2]</sup>。

时域测量有两种方法实现: 一种是利用高速采样示波器和脉冲源的直接时域测量法; 另一种就是间接时域测量法。它是利用测量系统的快速扫频功能并通过逆傅里叶变换获得天线的时域特性, 这种方法承袭了频域测量动态范围大和信噪比高的优点<sup>[3]</sup>。所以本文主要针对间接时域测量, 探讨了利用时间门消除多径干扰的方法, 并在仿真验证该方法有效的基础上, 实际测量了有反射和无反射情况下对数周期天线的方向图, 然后采用时间门对有反射情况下的方向图进行了处理, 同时与无反射情况的方向图进行了对比, 进而验证其在实践中的可行性。

## 1 标准喇叭天线的仿真分析与验证

在仿真中选取 0.2~1GHz 标准增益喇叭天线作为研究对象, 并用 HFSS 仿真得到其标准方向图。

收稿日期:2009-07-25; 修回日期:2009-09-01。

作者简介:张麟兮(1964-), 男, 四川人, 教授, 主要从事天线测量、微波通信等方向的研究。

假设在暗室中信号的传输路径如图 1 所示, 除直达信号 R0 外, 还包括暗室侧壁、后墙的多径反射信号 R1 和 R2, 为了使仿真效果明显, 在 I、III、III 反射处放置反射系数为 -1 的强反射体, 其中  $W = 20\text{m}$ ,  $R0 = 20\text{m}$ ,  $R1 = 10\sqrt{2}\text{m}$ ,  $R2 = 5\sqrt{5}\text{m}$ ,  $R3 = 10\sqrt{5}\text{m}$ 。

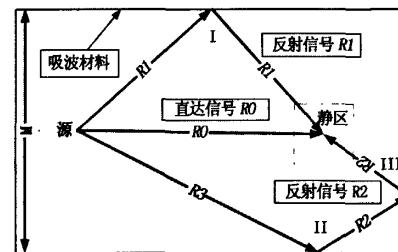


图 1 暗室中的信号传输路径示意图

用 matlab 仿真获得在上述条件下的频域响应, 然后在频域加汉明窗并利用逆傅里叶变换得到天线的时域响应, 其中频域加窗可以减小时域波形的旁瓣, 使能量集中在主瓣, 用时间门截断后引起的截断误差较小<sup>[4-5]</sup>, 最后结果如图 2 所示。

通过比较图 a 中的两个波形可以发现: 多径反射信号 R1、R2 的传播距离分别为 28.5m 和 45m, 直达信号 R0 的传播距离为 20m, 与仿真中的假设条件相符。而且由图 b 可见在多径

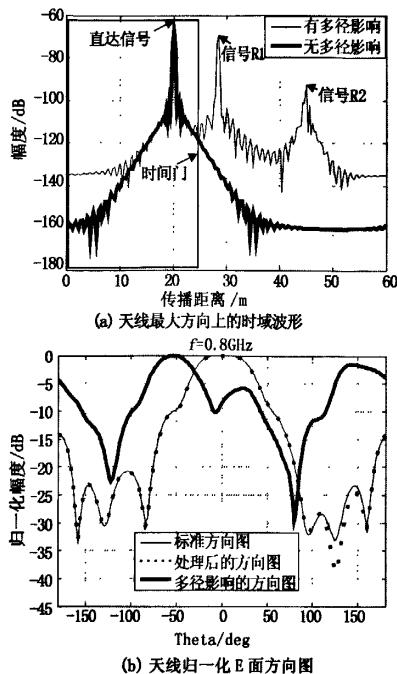


图 2 仿真结果

效应的影响下, 天线方向图发生明显畸变。

为了得到准确的方向图, 必须利用时间门把多径反射信号截在门外, 而且要尽量多保留直达信号的信息, 否则会造成频谱泄漏, 产生较大截断误差。根据上面的原则选取了不同位置和宽度的时间门对反射信号进行处理发现, 采用图 a 所示的时间门, 效果比较好。从图 b 可以看到采用图 a 所示的时间门进行截断处理后的方向图与处理前相比有了很大改善, 同仿真提供的标准方向图基本吻合。

仿真结果证明, 对宽带扫频数据进行逆傅立叶变换到时域后, 能够利用时间门有效消除由多径效应引起的误差, 从而实现天线的精确测量。

## 2 对数周期天线的实验验证

### 2.1 实验系统的搭建

在仿真有效的基础上, 进一步实际测量来验证该方法的实际可操作性。考虑到频率越高, 信号在空间中的衰减越大, 采用加时间门的效果不显著, 所以选择工作频率为 0.2~1GHz 的低频段对数周期天线作为待测天线, 辅助天线采用宽带对数周期天线。为有效模拟多径干扰信号, 在距离待测天线约 6m 处放置一反射体(金属板), 实验中还需测量理想环境下(无反射体)天线的方向图, 作为标准方向图。实验系统布局如图 3 所示<sup>[6]</sup>。

### 2.2 实验参数设置

在实验中, 使用频率步进信号进行测试, 根据测试要求, 需要设置的重要参数有:

1 频率范围: 时间分辨率与扫频带宽有以下关系<sup>[7]</sup>:

$$d\tau = 1/BW \quad (1)$$

因此, 设置的扫频带宽越宽, 则对应的时间分辨率就越好。所

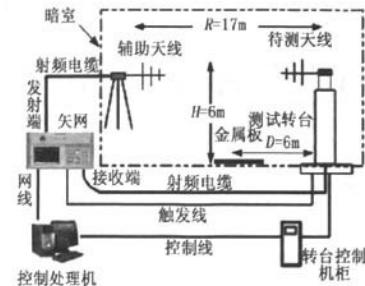


图 3 实验系统布局

以为了提高时间分辨率, 从而实现精确加门, 必须牺牲待测天线的性能, 将扫频范围设为 0.1~1.6GHz。

2 点数: 根据天线测试距离 R, 确定最大的扫频间隔:

$$\Delta f_{\max} = c/R \quad (2)$$

并由此推算出扫频所需最少点数:

$$n_{\min} = BW/\Delta f_{\max} \quad (3)$$

实验中将扫频点数设为 751 点。

### 2.3 实验结果

将测得的扫频数据加汉明窗后通过逆傅立叶变换得到天线的时域响应, 其中天线最大方向上的时域信号如图 4 所示。

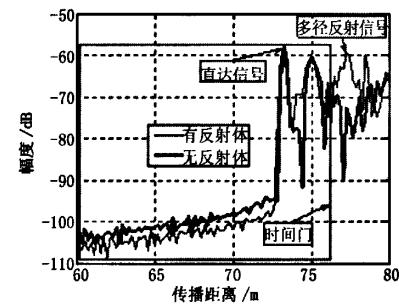


图 4 天线最大方向上的时域信号

从上图可以看到: 在 77.2m 处, 有反射体时的信号要比理想环境下的信号大 30dB, 所以可以判断出传播距离为 77.2m 的信号为干扰信号, 而直达信号的传播距离为 73.2m。考虑到信号在空间和射频电缆中的传播时, 上述结论与实验条件较吻合。

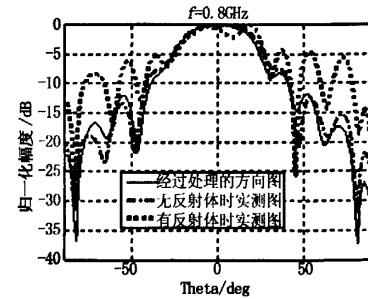


图 5 天线归一化 E 面方向图

图 5 给出了各种情况下的方向图, 可以看到放置反射体后, 方向图严重畸变,

(下转第 132 页)

从而实现与工控机进行串行通信。编码帧格式与串口中断程序流程参考文献 [3]。

### 2.3.2 工控机管理软件

该部分属于顶层软件, 它又分为数据处理和人机对话两部分, 前者应用 C 语言设计程序, 已确保系统数据处理的实时性; 后者从用户使用方便入手, 如图 4 所示, 采用高级语言 (Delphi) 设计界面<sup>[3]</sup>主要包括数据记录、数据回放、路状态检测及图像显示四部分功能的界面, 各个功能操作均以人机对话方式进行, 所有操作采用软键盘, 用鼠标点击即可选中, 便于用户的使用与维修。

电源滤波：±12V 和 ±5V 均由 ISA 总线提供，进入电路后分别用  $470\mu\text{F}$  和  $4.7\mu\text{F}$  的电容对低频和高频的干扰进行滤波；同时对模拟电路中的每个器件的电源进行滤波；

隔离：模拟电路与 PC 机接口的信号均由光电耦合器隔离，以减少模拟地与数字地的相互串扰；所有数字电路进行大规模集成，避免传输线的影响。

软件：低层设计中防止程序弹飞，设置看门狗；顶层设计中，数据处理、图像存储及界面采用模块化技术设计，模块间链接设计故障自检功能，以增强程序自我恢复能力。

## 4 结论

把上述方案设计的样机，放置在某交叉路口进行试验，同时进行人工记录，分别在上午上班与下午下班的高峰期进行试验，记录交叉路口车辆违规现象，把相同时间段的记录结果进行比较，发现吻合良好，仅发现接近黄昏时段的图像质量不很清晰，不利于进一步的识别，因此在投入正式使用时需将图像采集单元改进为具有红外摄像功能的高清晰图像采集器即可。

上述结果表明,该设计方案不仅可行,而且具有技术先进、智能化程度高、集程度高、灵活性强、应用范围广及工作稳定可靠等优点。用户可根据路口的实际需要扩展更多路数的管理对象;同时,该系统的视频输入接口处,若与有线或无线信道配合使用,可推广使用于高空及危险作业区的图像监控系统中。

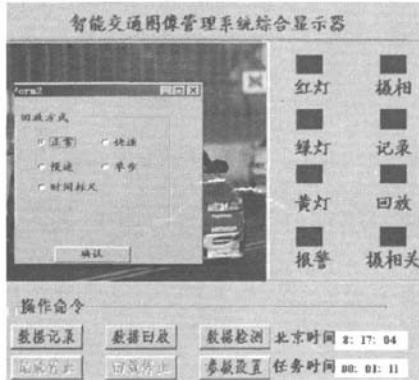


图 4 软件界面

### 3 可靠性设计

系统的可靠性直接影响系统的工作稳定性。该系统组成比较复杂，特别使由于系统有频谱丰富的视频信号，因而系统所处的电磁环境复杂，若设计考虑不周，会影响系统的电磁兼容性能<sup>[4]</sup>。因此，该系统在设计时考虑了硬件的电磁兼容问题，同时对于软件也采取了相应的措施。具体如下：

屏蔽：在视频切换器的输入和输出信号采用同轴电缆；

[1] Tian Jin , Zhang Linxi, Li Nanjing, Chen Weijun, Time-Gating

对其采用图4所示的时间门进行处理后,所得到的方向图与未处理前的进行比较可以发现,主瓣整体比较平滑,副瓣幅度有了明显降低,与未放置反射体测得的方向图比较相符。

### 3 结论

通过仿真和实验验证，在间接时域测量中运用时间门的方法有效而且可行，但是对窄带天线有一定的局限性，需要按照一定标准对天线的频带进行扩展。此方法已经用于矩形暗室的测量中，采用该方法后，有效的解决了暗室侧壁的强反射抬高副瓣幅度的现象，尤其对 VHF/UHF 频段的低副瓣天线的改善效果更明显，具有一定的推广价值。

#### 参考文献·

## 参考文献

- [1] Lattice Data Book [Z]. Lattice Semiconductor Corp, 1998.
  - [2] 胡永红, 楚亚菲. 小型飞行器综合测试系统方案设计 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (8): 1062 - 1064.
  - [3] 胡永红. 智能多路视频监控系统的设计 [J]. 微机发展, 2001, 11 (2): 75 - 76.
  - [4] 白同云, 吕晓德. 电磁兼容设计 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2002.
  
  - [1] Tian Jin , Zhang Linxi, Li Nanjing, Chen Weijun, Time-Gating Method for V/UHF Antenna Pattern Measurement inside an Anechoic Chamber [A]. International Conference on ICMMT 2008 [C]. 2008, 2: 942 - 945.
  - [2] 薛正辉. 利用 IDFT 技术实现天线的时域近场测量 [J], 电子学报, 2001, 29 (9): 1183 - 1187.
  - [3] 林昌禄, 等. 天线工程手册 [Z]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
  - [4] 胡广书. 数字信号处理—理论、算法与实现 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
  - [5] Henderson A. , James J. R. , Newham P. , Morris G. , Analysis of gating errors in time domain antenna measurements [J], Micro-waves, Antennas and Propagation, IEE Proceedings, 1989, 136 (4): 311 - 320.
  - [6] 刘密歌. 微波暗室中两种 RCS 测量系统的比较 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (3): 300 - 301.
  - [7] 黄坤超. 矢量网络分析仪的时域功能在天线测量中的应用 [J]. 电讯技术, 2007, 47 (3): 189 - 191.

## 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](http://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](http://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](http://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>