

基于 USB 接口的毫米波宽带 RCS 自动测量*

肖怀铁 郭修煌 付强 郭雷

(国防科技大学 电子科学与工程学院 湖南 长沙 410073)

摘要 :以毫米波矢量网络分析仪为主要设备,研究了基于 USB 接口毫米波频段宽带 RCS 的自动测量。首先介绍了该系统的硬件设计和 82357A 接口的编程设计,然后给出了自动测量软件的设计和 RCS 测量误差修正算法,实现了毫米波段 RCS 的宽频带自动测量,最后给出了测量的部分实例。

关键词 :RCS ;毫米波 ;自动测量

中图分类号 :TN95 文献标识码 :A

MMW Wide-band RCS Automatic Measurement Based on USB Interface

XIAO Huai-tie, GUO Xiu-huang, FU Qiang, GUO Lei

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract :Based on USB interface, the automatic measurement of MMW wide-band RCS was studied by using MMW vector network analyzer. This paper first introduced the design of the hardware system and the program of 82357A interface. Then it elaborated the design of the automatic measurement software, and the RCS measurement error correcting algorithms. Finally, the measurement experiments of background and target were performed and some of the measurement results were presented as illustration.

Key words :RCS ;millimeter-wave ;auto-measurement

对于现代武器中电磁散射难以采用全尺寸实测研究的大型目标,基于电磁相似原理的缩比测量技术是获得真实目标特性的重要途径和手段^[1,3-5],但目标的缩比要求电磁波长必须相应地缩比,毫米波频段测量能力尤为重要。随着硬件设备和软件技术的提高,现代雷达研究中广泛采用的宽带波形设计等技术大大促进了目标特征信号测量技术的发展,测量频率已从点频向宽带发展,目标的宽带散射特性包含了有关目标的形状、结构特征信息,这些信息对于目标识别与分类、雷达对抗、飞行器隐身及雷达反隐身等都有重要意义^[2]。

本文以毫米波矢量网络分析仪作为核心设备建立宽带 RCS 自动测量系统硬件平台,采用 USB 接口卡作为矢量网络分析仪与控制计算机的接口,实现了控制计算机与矢量网络分析仪的通信。研究了测量数据误差修正、数据获取、存储,完成了测量系统的硬件、软件设计,实现了毫米波段 RCS 的宽频带自动测量。

1 硬件设计

测量系统由毫米波矢量网络分析仪、Agilent 82357A USB/GPIB 接口、控制计算机、天馈系统、转台系统及紧缩场暗室组成。毫米波网络分析仪是整个测量系统的核心,具有宽带测量能力,可实现频域宽带 RCS 测量。硬件系统框图如图 1 所示。

天馈系统和转台系统置于紧缩场内,天馈系统与矢量网络分析仪之间采用波导进行连接。收、发天线各用一条波导连至矢网的 S 参数测试端口。转台系统与控制计算机间通过转台控制接口进行连接。

矢量网络分析仪提供了外部控制指令集,其内部的 CPU 利用 GPIB 总线与外界控制器及多种外设

* 收稿日期 :2005 - 10 - 29

基金项目 :国家部委资助项目(413010701 - 1);国家自然科学基金资助项目(60572138)

作者简介 :肖怀铁(1966—),男,教授,博士。

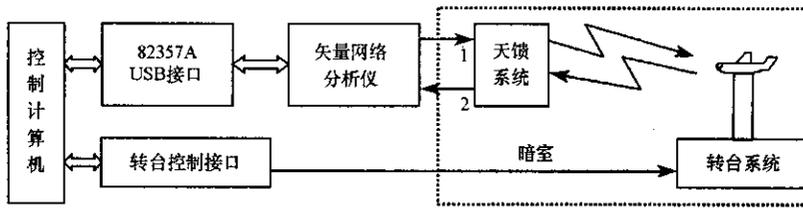


图 1 毫米波宽带 RCS 自动测量系统硬件框图

Fig.1 The diagram of MMW wide-band RCS automatic measurement system

进行通信,可方便地工作于远程测试状态。通过外部控制器对网络分析仪进行编程控制,可方便地进行大批量数据的连续测量。矢量网络分析仪通过 1 口发射信号,通过 2 口接收目标反射回的回波信号,并将测量数据实时回送给控制计算机。

外部控制计算机通过 Agilent 82357A USB/GPIB 接口与矢量网络分析仪进行实时通信、发送测量指令,并从该接口获取测量数据。控制计算机利用转台控制接口实时控制转台,并读取转台实时方位值,完成对极化方式的控制。同时它还要完成测量数据的校验、存储、处理工作,担负整个测量系统重要配置信息的存储工作。

2 Agilent 82357A USB/GPIB 接口的编程设计

外部控制器与网络分析仪的连接直接影响整个系统的通信质量和工作效率。82357A USB/GPIB 接口是 Agilent 公司新推出的一种新型接口,该接口用于 GPIB 设备和计算机间的通信,使用自动配置和工业标准,附带有 I/O 接口库:VISA、SICL,支持 Windows 操作系统。通过对该接口进行软件编程设计,可实现计算机与网络分析仪的通信功能。

SICL 是一个设备级 I/O 的 C 语言程序库,具有很好的可移植性,I/O 错误集中处理能力,标准格式化 I/O 函数集,设备、接口和命令三个级别的通信流控制,异步事件处理能力。在本系统中采用了 SICL 库进行编程工作。下面给出扫频测量函数中有关 SICL 编程的程序段:

```
void CMmwaveDlg::SweepTes( ) //扫频测量函数
{
    ionerro( I_ ERROR_ EXIT); //设置错误句柄
    itimeou( DV 200000); //设置 I/O 操作的最大等待时间,单位为 ms
    iclea( DV); //清除 GPIB 设备的读写缓冲区
    ...
    iwrit( DV ,Command ,strlen( Command ) 0 ,NULL); //向 DV 写入 Command 控制命令字
    ...
    iscan( DV ,"%lf \n" &data); //从 DV 缓冲区读数据
    ...
    iclose( DV); //关闭 DV
    ...
}
```

82357A 对于大数据块的传输速度可达 750KB/s 以上,此性能好于一般用于超过 32KB 数据块传输的 GPIB 卡,因此,可以达到较快的测量速度。

3 自动测量软件设计

测量软件基于 Windows 2000 操作系统,采用 Microsoft Visual C++ 6.0 软件开发,系统界面以图形用户界面为主,便于操作。主程序流程如图 2 所示。

测量软件包括以下六大部分:

(1)初始化模块:完成矢网初始化、测量参数的设置和接口的初始化。

(2)背景电平和标准体测量模块:对空场或放置标准定标体的暗室进行测量,可采用多次测量平均技术得到统计平均数据,用于误差修正和背景电平抵消。

(3)测量状态控制模块:对极化方式、目标转台进行控制并实时记录其状态。

(4)测量和误差修正模块:根据所设定的测量参数,在扫频测量和阶梯变频测量方式下对目标进行大角度范围的测量,并将测量数据进行误差修正。

(5)显示模块:实时显示测量数据的幅相曲线和转台变化模拟图、测量方式等测量状态信息。图3为实时显示的测量数据幅相曲线和转台变化模拟图。

(6)数据库管理模块:实时存储测量数据,数据文件的数据头经过数据完整性校验存入数据库,自动生成测量数据库。

目标姿态与天线极化方式的组合构成数据文件的基本单元,对每种组合进行测量都会产生一个数据文件,例如,测量1024个频率点数目,则每个数据文件都包含1024个数据。目标姿态(二维)一般是先进行方位的变化,然后保持方位不变,进行俯仰维的变化,而极化方式的变化则是在目标姿态不变的情况下进行的。

4 RCS 测量误差修正算法

测量中的误差主要有:热随机噪声、收发隔离误差、暗室散射特性、目标支架回波、收发路径的频率特性、目标与暗室相互作用的回波、其它不稳定的慢变化特性等。假设测量过程中基本测量环境保持不变,在发射天线口面的辐射功率也不变,测量中的系统误差主要是收发通道上的频率特性及确定性杂波造成的误差。基于以上误差分析,建立简单的误差模型^[1]:

$$E_r(f) = E'_r(f)\alpha(f) + E_e(f) + E_c(f) \tag{1}$$

式中, E_r 为接收到的回波, E'_r 为目标的回波, α 为收发通道频率特性, E_e 为确定的加性噪声(如支架反射、暗室后墙散射、收发隔离等), E_c 为随机噪声,它具有一定弱相关性,幅度满足一定分布,相位随机分布,是非单次可校的,为处理方便,测量中根据高斯噪声的假设通过多次测量来减小该项误差的影响,用多次测量数据的算术—几何平均值作为估值,噪声电平将按 \sqrt{n} 的因子下降,当 $n = 128$ 时噪声电平将下降 21dB。

测量系统的收发路径系统误差来源于矢网的端口特性、传输线特性、天馈系统的传输特性、空间场的特性。通过矢网的自校准功能可将其测量端口特性校准。天馈系统应进行传输特性的调校,即测出天馈系统在每个频率点上的频率特性,从而得到目标的真实回波。测量数据的误差修正算法如下:

(1)在背景电平和标准体测量模块中完成空暗室的回波电平测量和标准球的测量。

设测量的空暗室回波电平为 E_e , 标准球的测量值为 E_M , 则标准球体的目标回波特性

$$E_{\text{sphere}} = E_M - E_e \tag{2}$$

计算收发通道特性 $e = E_{\text{sphere}}/E_{\text{standard}}$, 标准球体的 RCS 值计算可参考文献 [1]

(2)在测量和误差修正模块中,测量得到的目标未校回波为 E_{receive} , 根据误差模型计算目标特性

$$E_{\text{object}} = (E_{\text{receive}} - E_e) / e \tag{3}$$

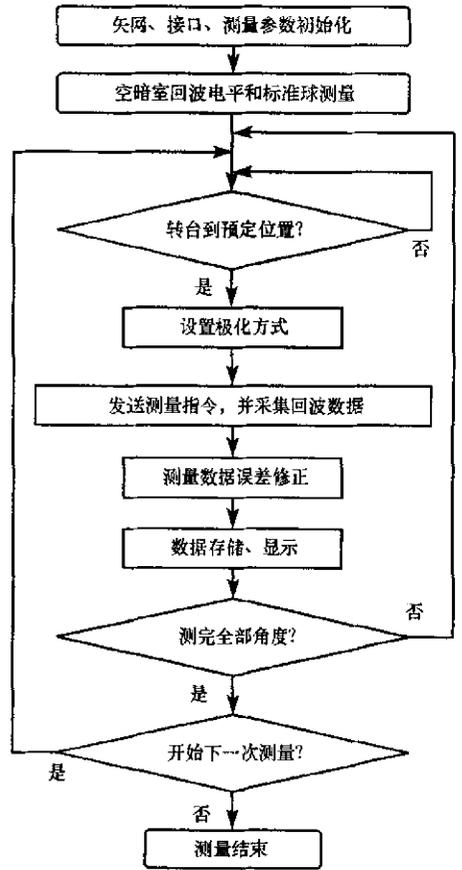


图2 测量软件主程序流程

Fig.2 The main program flow of measurement software

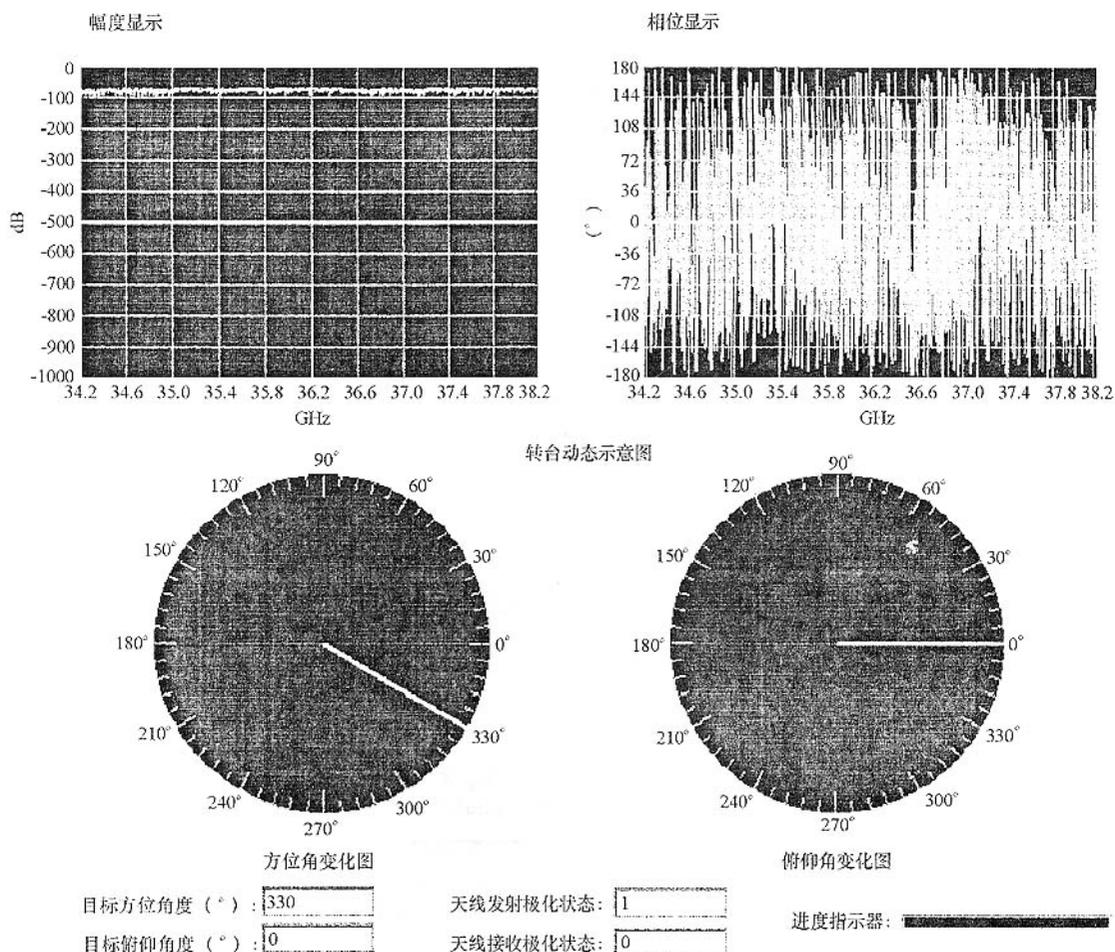


图3 测量数据幅相曲线和转台变化模拟图

Fig.3 The amplitude and phase of measurement data and simulation of platform's change

5 测量背景对消方法

在暗室中测量目标 RCS 时,由暗室的后墙、侧墙、目标支架等引起的反射回波通称为背景回波。测量中背景回波与目标散射场一起进入接收机,影响测量精度,在低 RCS 的测量中,背景反射电平是影响测量精度的关键因素。为了精确测量低 RCS 的目标,必须尽可能地降低背景反射电平,本文采用中频积累、矢量场相减技术和软件距离门技术来减少背景反射电平^[1]。

(1)中频积累:是为了减小测量中的随机噪声对测量结果的影响,在检波前将多次连续测量数据的平均值作为估值。

(2)矢量场相减技术:目标回波和定标体回波中均包含背景回波,在处理中把背景回波作为一个复数值从目标回波和定标体回波中减去。实际上,在暗室中放置目标后,背景回波也将发生变化,如目标对暗室后墙的遮挡,目标与支架之间电磁场的多次反射,目标使支架变形等,目标较大时,这个变化不能忽视,而矢量场相减技术不能解决这个问题。

(3)软件距离门技术:扫频测量过程中,利用软件功能在目标区范围内加距离选通门,将频率域数据与距离门选通函数所对应的频率域权函数卷积,以屏蔽目标区域以外的杂波干扰,使目标回波与背景回波在距离上分开。利用测量程序可以只录取目标区域的 RCS 数据,消除背景回波的干扰,但是软件距离门技术不能消除在距离分辨率 ΔR 以内出现的背景回波。

6 测量数据实例

在测量中,中频积累次数越大,随机误差对测量效果的影响便越小,采用中频积累的方法可以有效

地抑制随机噪声,使测量能够较为真实地反映目标散射特性。图4、图5为采用扫频测量的未加时间距离门的背景数据及对消后的结果。其中,图4是中频积累5次经背景对消的背景频率域测量数据,图5则是中频积累50次的相应结果。从图4和图5可看出:中频积累次数越大,背景回波的电平越低,随机误差对测量结果的影响越小。但是中频积累次数越大,需要的测量时间越长,因此应根据测量的要求选择合适的中频积累次数。图4和图5中经过背景对消后仍然存在残余背景,导致噪声电平不为零,这是因为矢量场相减技术对由转台、塑料泡沫支架的非圆对称性等因素引起的误差是不能完全补偿的。图6为某飞机缩比模型方位角为 5° 时的频率域数据。

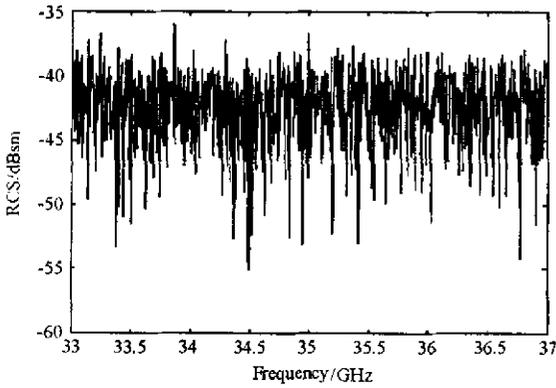


图4 中频积累5次的背景频率域数据

Fig.4 Background data for 5 times IF accumulation

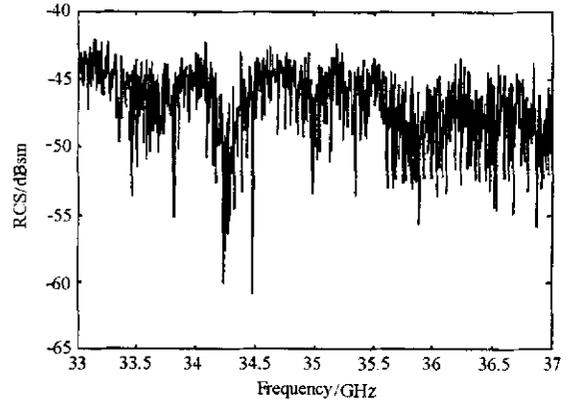


图5 中频积累50次的背景频率域数据

Fig.5 Background data for 50 times IF accumulation

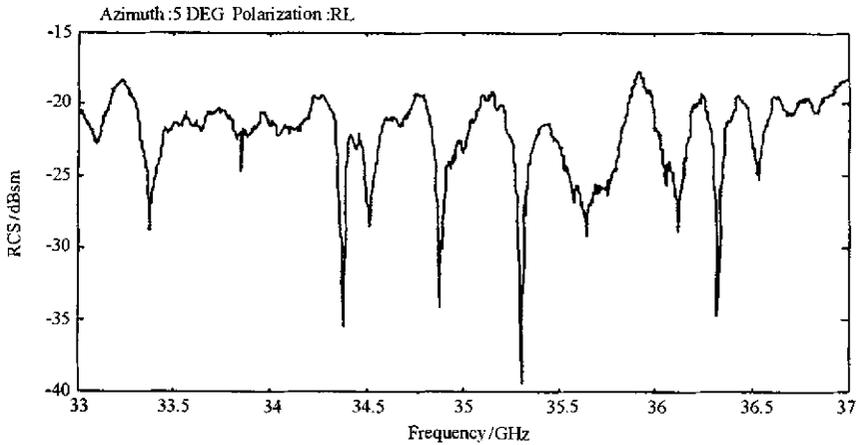


图6 方位角 5° 时某飞机模型频域响应

Fig.6 The frequency response of an aircraft model in 5° azimuth

参考文献:

- [1] 黄培康. 雷达目标特征信号[M]. 北京: 宇航出版社, 1993.
- [2] 肖怀铁, 庄钊文, 郭桂蓉. 基于递归神经网络的飞机目标识别方法[J]. 国防科技大学学报, 1997(4): 48-53.
- [3] Thomas E T. An Overview of Radar Cross Section Measurement Techniques[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1990, 39(1).
- [4] Atul J, Indu P. Ground-to-air Imaging Radar for RCS Measurements[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1992, 41(6).
- [5] Juan M R, Miguel F, Luis J. High-frequency RCS of Complex Radar Targets in Real-time[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1993, 41(9).

