

② 262-266

# ATR 毫米波雷达目标特征信号 自动测量系统

肖怀铁 庄钊文 郭修煌 何松华 计科峰 许峰

(国防科技大学电子工程学院 ATR 实验室, 湖南, 长沙, 410073)

TN957.51  
TN958

**摘要** 介绍了 ATR 毫米波雷达目标特征信号自动测量系统, 该系统为宽带高分辨全极化雷达系统, 提供了三种测量方式和两种正交极化对, 介绍了测量系统的管理和控制软件, 并对测量系统的性能作了评估, 还给出了部分测量结果。

**关键词** 毫米波雷达, 特征信号, 测量系统。

ATR 雷达

## 引言

雷达目标电磁特性的研究使人们越来越关注载有目标丰富信息的特征信号。目前, 特征信号<sup>[1]</sup>已被广泛地应用于目标检测、跟踪和识别研究, 大大拓展了雷达作为重要传感源的应用。特征信号测量系统在目标识别研究中占有重要地位, 测量数据在研制识别算法、评估识别系统性能中起着决定性作用, 同时也为电磁散射机理的研究提供验证工具和新的思路。

新研制成功的 ATR 毫米波雷达目标特征信号自动测量系统, 该系统为宽带高分辨全极化雷达系统, 可提供点频、阶梯变频及扫频三种测量方式。极化方式有左圆、右圆极化对和垂直、水平极化对。在低反射毫米波暗室, 通过对几何缩比模型的多角度、宽频带、全极化测量可获得目标缩比模型高精度、高稳定度的测量数据, 提供给雷达目标识别研究。文中还阐述了测量系统的软件开发方法, 并对测量系统的性能作出评估, 最后给出了部分测量结果。

## 1 测量系统硬件设备

ATR 毫米波雷达目标特征信号自动测量系统针对自动目标识别的研究而设计的, 它主要由毫米波收发系统、全极化天馈系统、计算机控制系统、暗室和目标转台组成(见图 1)。

### 1.1 毫米波收发系统

毫米波收发系统的构成如图 2 所示, 它完成射频信号的发射、接收、采样和部分信号处理工作, 提供三种测量方式, 具有以下特点:

- (1) 宽带测量能力;
- (2) 强大的校正测量能力, 保证精确、可重复测量;
- (3) 向量处理能力, 具有双通道分时测量能力, 软件上采用了各通道参数继承记忆设计, 简化了测量步骤;
- (4) 强大的信号处理能力, 提供了测量数据的加窗、平均运算能力, 并具有时域测量能力;
- (5) 完善的监控软件, 具有开机自检、硬件的软件配置、非易失存储、全程监控等优点;
- (6)

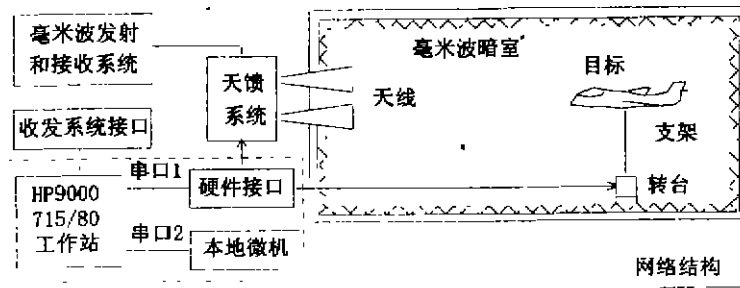


图1 ATR毫米波雷达目标特征信号自动测量系统硬件结构  
Fig. 1 Hardware diagram of automatic ATR millimeter wave radar target's signature measurement system

具有打印、绘图功能；(7) 外围接口方便。

收发系统接口采用 IEEE488.1 总线结构，具有很高的通讯速度，内部 CPU 利用收发系统接口与外界控制器及多种外设通讯，可方便地工作于 REMOTE 状态。

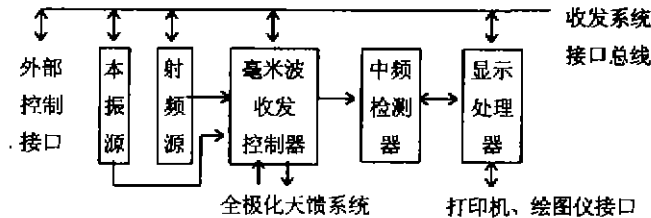


图2 毫米波收发系统硬件构成  
Fig. 2 Hardware diagram of millimeter wave receiving and radiating system

### 1.2 全极化天馈系统

天馈系统包括：发射天线、接收天线和极化控制部分，室内测量采用变张角多模圆锥喇叭天线，室外测量采用赋形环焦天线，收发电控极化转换。主要技术指标如下：极化隔离度大于 30dB，交叉极化小于 -30dB，系统的驻波比小于 1.4，天线增益 22dB(室外 30dB)，波束宽度  $\theta_{0.5} = 12^\circ$ (室外  $\theta_{0.5} = 4^\circ$ )，旁瓣电平  $SL_1 \leq -30\text{dB}$ (室外  $SL_1 \leq -16\text{dB}$ )。

### 1.3 计算机控制系统

HP9000/715-80 工作站是整个系统的中心控制部分，采用 HP-UX 操作系统，实现了可视用户环境 VUE(Visual User Environment)，采用 OSF Motif 风格的窗口使操作更加便捷。外设控制采用 SICL(Standard Instrument Control Library)<sup>[2]</sup>，它具有编程容易、控制能力强、移植性好等特点。工作站通过收发系统接口板与毫米波收发系统进行通讯、发送测量指令，并从该口获取测量数据，通过硬件接口完成对极化方式和目标转台的控制。并利用工作站的大容量硬盘和外部存储设备保存大量的数据，工作站强大的处理能力使数据的处理更加自如。强大的网络功能也使数据的共享成为可能。

本地微机通过 RS232 与工作站接口，它完成测量数据的部分校验、存储、处理工作，同

时还担负整个测量系统重要配置信息的存储工作,可以减轻工作站负担、增加系统可靠性.微机还充当本地识别处理机,进行识别算法的研究,同时对测量数据的格式进行验证.微机还提供了天馈系统和目标转台的控制平台,通过系统的冗余增加系统的可靠性.

转台、天馈子系统硬件控制接口用于天馈系统及转台的控制,由 8031 单片机构成,工作站或微机通过 RS232 口与之通信,发指令至接口,由该接口完成天馈的变极化控制和转台的精确定位.转台采用步进电机驱动,通过平台带动目标改变方位角.步进电机的控制接口采用 TTL 电平,由三相脉冲时序驱动.

## 2 测量系统管理和控制软件

毫米波目标特征信号自动测量系统的用户界面开发采用 Motif 提供的 Xlib、Xt Intrinsics、Motif Toolkit 的基本开发工具(库函数形式),用 C 语言写成.设计的测量系统菜单共有十项,分别为:文件、参数、校准、测量、处理、对比、窗口、打印 & 绘图、维护、帮助.各菜单下面还有级联的子菜单,各子菜单设置了快捷键,达到了快速调用的目的.

HP BASIC/UX<sup>[3]</sup>环境下开发的测量系统 DEMO 版本,具备了基本的测量、存储功能,同时也可用于自动测量和数据处理.

暗室中的转台需要实时精确地调整位置,转台的多平台控制<sup>[4]</sup>使转台的姿控手段得到增加,转台控制的多路使整个系统的可靠性大为提高.在实现转台的多平台控制的同时,我们也实现了极化控制的多平台控制.

## 3 测量系统性能评估

### 3.1 毫米波测量系统的功能

(1) 用于多种目标特征数据的自动测量:可测频域(45MHz~数十 GHz)、角度域(全方位)和极化域(左圆和右圆、垂直和水平)任意独立组合条件下的数据(包括标量的 RCS 数据、单极化下的幅相信息、一对正交极化基下的 SMR 数据等).具有每频率点约 1ms 的测量速度和 10 $\mu$ s 的极化切换速度,角度精度为 0.1°.工作中心频率为 35GHz,带宽为 4GHz.

(2) 对理论分析得到的目标仿真数据进行实验验证,从而促进散射理论的研究.

(3) 建立多种目标散射特性数据库,用于雷达目标识别研究.

### 3.2 系统的部分性能指标

(1) 测量场尺寸及目标尺寸:暗室长 9.7m,宽和高均为 4.4m,室内壁贴有高性能的毫米波吸收材料.根据天馈系统的方向图及室内场的分布,要求目标最大尺寸应小于 1.5m.

(2) 背景电平及最小可测 RCS:在系统精确校准下,对消后残余背景等效 RCS 值约为 -55dBm<sup>2</sup>(阶梯变频测量).阶梯变频测量时间较长,一般用扫频测量,校准时用多次中频积累,积累 50 次时可达 -40dBm<sup>2</sup> 左右的背景等效 RCS 值.在信噪比为 10dB 的情况下,阶梯变频测量最小可测 RCS 为 -45dBm<sup>2</sup> 左右,扫频测量最小可测 RCS 约为 -30dBm<sup>2</sup>.

(3) 重复测量精度:经过实际测试,各种测量方式的重复测量精度在 3h 内可达到  $\pm 1$ dB(不经中频积累).阶梯变频测量可达  $\pm 0.3$ dB 的重复测量精度(校准 3h 内).扫频测量中频积累 50 次时,3h 内的测量精度可达到  $\pm 0.1$ dB.

#### 4 测量数据实例

扫频测量的背景数据及对消后的结果见图3, 测量采用50次平均, 采用中频积累的方法可以有效地抑制随机噪声, 使测量能反映背景特性. 对比图3(a)和(b)可知, 采用多次平均后的背景对消结果较好, 从图3中可见, 曲线(a)与(b)的形状几乎一样, 只在y轴上有一平移, 这种现象是由射频信号传播路径上的综合幅度特性不稳定所致.

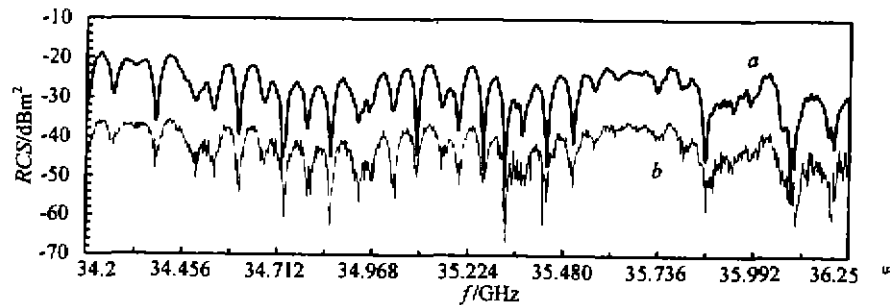


图3 未加时间距离门的背景频域数据

(a) 对消前; (b) 对消后(50次平均)

Fig. 3 Background waveform of frequency domain without time-range gate

(a) before cancellation; (b) after cancellation

图4为图3(a)背景数据的时域冲击响应(已加软件距离门), 坐标中心点处有一个散射回波, 它主要是目标支架散射, 3.3点处的散射由后墙引起. 图5给出了金属球的时域冲击响应(经背景校准, 未经系统路径频率特性校准), 后墙回波大部分已被对消. 由测量数据的相位变化率可求出散射中心的时域平移位置:  $K = \frac{B}{2\pi d f} \frac{d\bar{\varphi}}{df}$  ( $K$ 为离散变换中位移的点数,  $B$ 为测量带宽,  $\frac{d\bar{\varphi}}{df}$ 为平均相位变化率), 利用上式计算出球的散射中心位置, 与图5吻合得非常好. 图6为幻影2000飞机缩比模型的时域冲击响应(方位角:  $-5^\circ$ ), 以上数据为在34.2GHz~36.25GHz频率范围LR极化下实时测量结果.

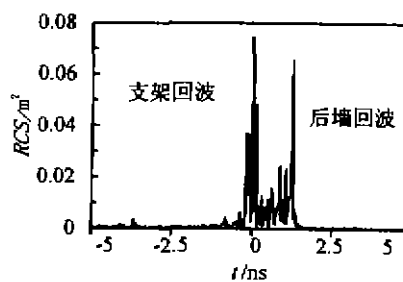


图4 背景时域响应(无校准)

Fig. 4 Time domain waveform of background (no calibration)

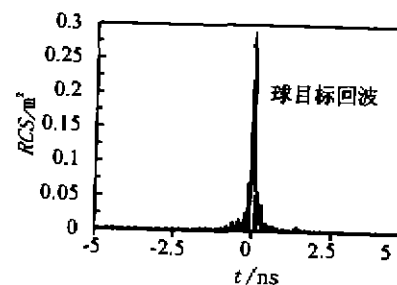


图5 球目标时域响应(有背景校准)

Fig. 5 Time domain waveform of sphere target (with background calibrated)

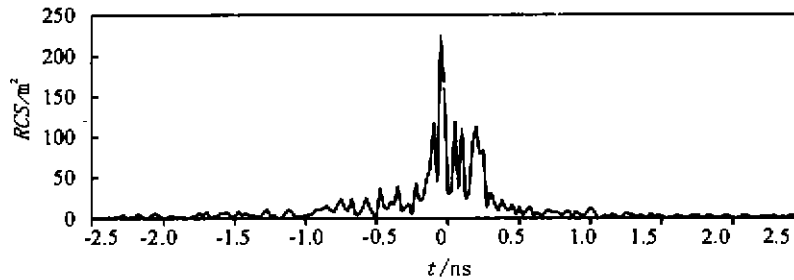


图 6 幻影 2000 缩比模型的时域响应  
Fig. 6 Time domain waveform of HY2000 scaling model

#### REFERENCES

- 1 HUANG Bei-Kang. *Radar Targets Signature*, Beijing: Aeronautical and Aerospace Press (黄培康. 雷达目标特征信号, 北京: 宇航出版社), 1991
- 2 HP Company. *HP Standard Instrument Control Library Installation and User's Guide for HP-UX*, USA: HP Company, 1995, Third Edition.
- 3 HP Company. *HP BASIC Language Reference*, USA: HP Company, 1994, First Edition.
- 4 XU Feng, et al. *Electronic Devices* (许峰等. 电子器件), 1997, 20(1): 429~432.

### AUTOMATIC MEASUREMENT SYSTEM OF ATR MILLIMETER-WAVE RADAR TARGET'S SIGNATURE

XIAO Huai-Tie ZHUANG Zhao-Wen GUO Xiu-Huang  
HE Song-Hua JI Ke-Feng XU Feng

(ATR Laboratory, Department of E. E., University of National Defense Science and Technology,  
Changsha, Hunan 410073, China)

**Abstract** The automatic measurement system of ATR millimeter-wave radar target's signature was introduced, which is a wide-band high-resolution full-polarization radar system. Three types of measurement modes and two types of orthogonal polarization pairs were provided. The management and control softwares of the measurement system were also introduced. The performances of the system and some measurement results were given.

**Key words** millimeter-wave radar, signature, measurement system