

时域超宽带紧缩场雷达目标特性测量系统研究与开发*

刘继斌,毛钧杰,李高升,刘培国

(国防科技大学 电子科学与工程学院 湖南 长沙 410073)

摘要 :介绍时域超宽带雷达目标特性测量系统的工作原理及测量软件的开发过程。首次将数字取样示波器应用于紧缩场,研究测量原理,给出系统结构及测量流程图,开发超宽带紧缩场暗室雷达目标特性测量系统,包括雷达散射截面测量、极化散射矩阵测量和微波成像等模块。最后给出该系统测量获得的部分数据。

关键词 :紧缩场;时域测量;雷达目标特性

中图分类号 :TN95 **文献标识码** :B

Study and Development of UWB Compact Range Measuring System for Radar Target of Time Domain

LIU Ji-bin, MAO Jun-jie, LI Gao-sheng, LIU Pei-guo

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

Abstract :Operating principle and developing procedures of a time-domain measuring system of radar target are introduced. Digital Sampling Oscilloscope is used for measuring in compact range for the first time. The theory of time domain measurement was studied and the structure of the system and flow diagram for measuring were given. Programs for controlling of the oscilloscope and turntable as well as data processing were developed, based on which an entire measuring system of UWB compact range is achieved. Finally, some data measured and processed by the system are presented.

Key words :compact range; time domain measurement; radar target character

雷达目标特性测量在目标特性研究领域具有重要意义,是雷达探测、目标识别和电子战技术的重要研究手段。精确的测量数据对于深入研究目标散射机理、建立目标数据库以及 RCS 减缩等均具有重要意义^[1-2]。实测的目标参数通常是目标处于测试雷达的远场条件下获得的,紧缩场测量系统借助大型抛物面或介质透镜产生平面波,利用金属网屏蔽空间杂波,是理想的电磁测试环境^[3-4]。在研究时域超宽带紧缩场测量机理的基础上,完成了实际系统开发与建设,获得了大量实验数据。

1 时域紧缩场目标特性测量原理

1.1 目标 RCS 测量原理

RCS 是衡量目标二次辐射特性的一个参数。脉冲与散射特性的测量是在与导体球的特性比较之后进行的。球的散射特性可以推导出精确的理论值,用球可以补偿接收与发射信道所引起的信号变形,这个过程就是校准。通过校准,可确定系统的频率特性。

$$K_m(j\omega) = \frac{S_c(j\omega)}{K_c(j\omega)} \quad (1)$$

这里 $S_c(j\omega)$ 是半径为 R_c 的球的测量频谱, $K_c(j\omega)$ 是半径为 R_c 的导体球的理论频率响应。任意目标在方位角 φ 下的频率特性按下式求出:

$$K(\varphi, j\omega) = \frac{S(\varphi, j\omega)}{K_m(\varphi, j\omega)} \quad (2)$$

* 收稿日期 2006 - 08 - 26

基金项目 :国家部委基金资助项目(9140A21020506KG0174)

作者简介 :刘继斌(1974—)男,副教授,博士生。

其中 $S_i(\varphi, j\omega)$ 是与 φ 相关的待测目标的频谱。 $K_y(\varphi, j\omega)$ 必须通过一个带宽为 $[f_l, f_h]$ 的滤波器, 因为在通带 $[f_l, f_h]$ 外的信噪比很低, 将引入不能容忍的误差。

由此, 可计算出目标的幅频特性和相频特性, 即 $K_y(\varphi, j\omega)$ 的模和幅角。 RCS 由下式确定:

$$\sigma_r(\varphi, \omega) = |K_y(\varphi, j\omega)|^2 \quad (3)$$

将目标频率特性的测量和计算结果在全部角度上推广, 可获得散射特性的幅度和相位方向图, 进一步处理可得到极化散射矩阵数据。

1.2 导体球的理论频率响应

导体球受沿 z 向传播的平面波照射, 将入射场作为对 r 的 TM 和 TE 分量之和, 通过波方程变换, 应用磁矢量位及球面贝塞尔函数等公式, 可得^[5]

$$E_r^i = -\frac{jE_0 \cos\varphi}{(kr)^2} \sum_{n=1}^{\infty} a_n n(n+1) J_n(kr) P_n^1(\cos\theta) \quad (4)$$

同样可求得 H_r^i 和 F_r^i 。 结合边界条件, 得球表面电流 J_θ, J_φ , 利用渐进公式得远区场,

$$E_\theta^s = \frac{jE_0}{kr} e^{-jkr} \cos\phi \sum_{n=1}^{\infty} j^n \left[b_n \sin\theta P_n^1(\cos\theta) - c_n \frac{P_n^1(\cos\theta)}{\sin\theta} \right] \quad (5)$$

$$E_\phi^s = \frac{jE_0}{kr} e^{-jkr} \sin\phi \sum_{n=1}^{\infty} j^n \left[b_n \frac{P_n^1(\cos\theta)}{\sin\theta} - c_n \sin\theta P_n^1(\cos\theta) \right] \quad (6)$$

对于后向散射场, 结合球面贝塞尔函数的 Wronskian 公式, 可得

$$A_\theta = \frac{\lambda^2}{4\pi} \left| \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n (2n+1)}{H_n^{(2)}(ka) H_n^{(2)*}(ka)} \right|^2 \quad (7)$$

1.3 紧缩场微波成像算法

根据测量时记录的时域波形, 可获得目标的二维微波像。 其思路是: 首先得到某固定辐射点在各角度下的辐射功率, 将这些功率相加即可得到该辐射点的总辐射强度。 成像区域内的每个分辨单元视为一个辐射点, 求出该区域内所有辐射点的辐射功率强度, 对其归一化后逐个描点, 即得成像区域的灰度图。

成像区域大小取决于时窗。 设时窗长度 $T_w = 10t_w/10^9$ (s), 光速为 C , 则成像区域为边长 $D = T_w C/2$ 的正方形区域。 若采样点数为 N , 则分辨率为 $N \times N$, 最小分辨单元 $d = T_w C/(2N)$ 。

2 系统结构及测量流程

时域超宽带紧缩场雷达目标特性测量系统的主要设备包括窄脉冲源(发射机)、收发天线(一对)、准直仪反射器、转动系统、超宽带放大器、数字取样示波器(接收机)以及主控计算机等, 其连接方式和测量流程分别如图 1、图 2 所示。

3 测量系统软件开发

3.1 基于 RS-232 的转台控制程序

系统的转动部分包括转台、步进电机、角度传感器、转动控制箱等。 转动控制箱通过串口(RS-232)与计算机通信。 转动的角度范围、起始角度和步进值以及速度和加速度由用户设定。 光电码盘角度传感器实时反馈转台角度, 最小角度步进 0.018° 。

3.2 基于 GPIB 的数字取样示波器控制

考虑到商品化示波器的可靠性和高精度, 我们以 Tektronix 公司的 TDS8000B 数字取样示波器为基础构建采样变换部分。 测量中选用的是两个 80E01 电取样模块, 其上升时间为 7ps, 动态范围为 1V。

应用虚拟仪器思想, 计算机通过 GPIB 通用接口总线与示波器实现远程互连^[6]。 采用 VISA 标准编写驱动软件, 具体控制方式需查阅示波器的指令集^[7]。

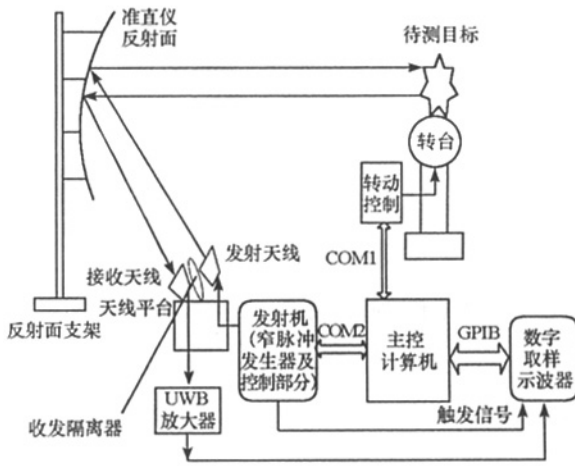


图1 雷达目标特性测量系统结构图

Fig.1 Structure of radar target measuring system

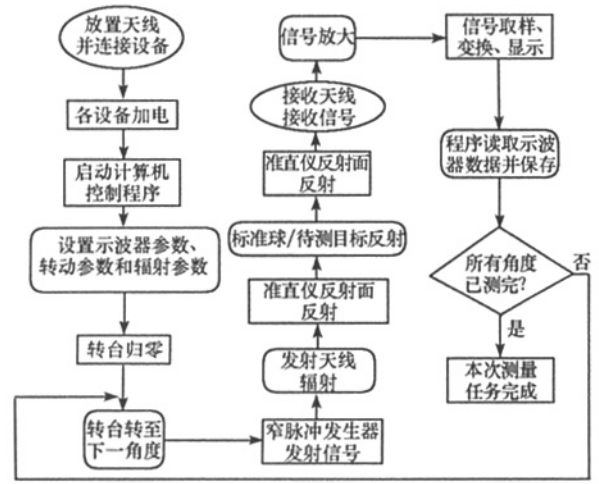


图2 雷达目标特性测量流程图

Fig.2 Flow for measuring of radar targets

3.3 测量系统算法设计

目标特性算法中首先要获得导体球的理论频率响应,然后进行时域信号FFT,并选取所关心的频点和角度进一步处理。信号首先通过 Butterworth 滤波器,提高信噪比。随后,所有信号分别减去前五个采样值的均值,去除直流漂移带来的影响。然后加窗,使信号尾部平滑,减少吉布斯现象带来的频谱泄漏。本测量系统为时域测量,使用25ps的极窄脉冲信号源,测量频率范围为50MHz~40GHz。

4 部分测量结果

图3给出了某缩比目标模型(1:13)的RCS测量曲线。图4是边长为30cm的金属二面角(面板较厚)的RCS曲线。图5是半径为11.9cm的金属球的成像结果,其中白色圆环是信号最强的部分,反映了球的直径。三组测量结果均与理论预估值吻合较好。

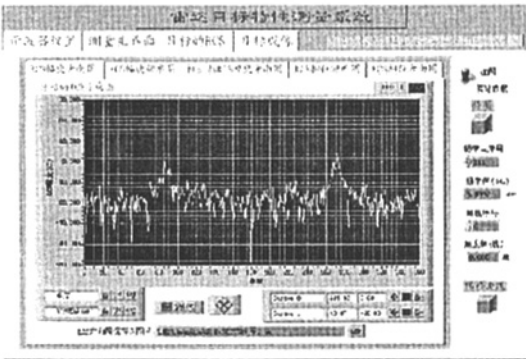


图3 缩比目标模型 RCS 幅度曲线

Fig.3 RCS curve of a model of certain target

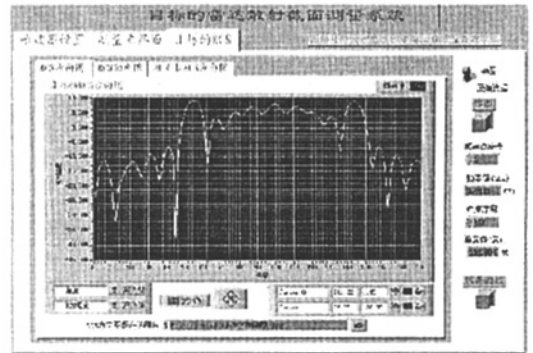


图4 金属二面角 RCS 曲线(3GHz)

Fig.4 RCS curve of metal dihedral angle(3GHz)

5 结论

本文分析了雷达目标特性测量原理与流程,介绍了测量系统软件的开发过程,给出了系统结构框图及测量流程图,编写了示波器控制、转动控制及测量数据处理程序。在综合考虑时间同步、数据传递、事件次序、终止条件判断等因素后,将各子程序融合得到完整的测量系统。最后给出了测量的部分结果。该系统可以完成雷达散射截面的测量与绘制功能,并可给出散射相位及极化散射矩阵数据,同时可实现雷达目标的微波成像功能。用户界面友好,结果显示直观准确,应用中取得了良好的效果。

(下转第100页)

由图2可以看出,SR-UKF比EKF具有更高数量级的运算精度。SRUKF收敛速度快、状态估计精度高,大约30s就可以收敛到位置估计精度20~30m,速度估计精度在1m/s以下。而EKF性能较差,位置估计精度始终在400m以上,速度估计精度始终为4m/s以上。

4 结束语

本文建立了天基红外低轨星座对自由段目标的观测模型,提出了基于平方根UKF非线性滤波的天基红外低轨星座对自由段目标的估计方法。该方法无须计算Jacobian矩阵,具有良好的数值稳定性,估计精度较高,能够有效进行天基红外低轨星座中自由段目标的跟踪。

本文使用平方根UKF算法进行了天基红外低轨星座中自由段目标的跟踪,更新型的非线性估计算法对自由段目标的跟踪有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Morgan B L. Exploratory Model Analysis of the Space Based Infrared System(SBIRS) Low Global Scheduler Problem[J]. ADA309027, Dec. 1999.
- [2] Raytheon STSS Block 06 Sensor Payload[EB/OL]. www.raytheonmissiledefense.com, Raytheon Company 2003.
- [3] 刘永祥,黎湘,庄钊文. 导弹防御系统中的雷达目标识别研究[J]. 国防科技大学学报 2004 26(4) 6-9.
- [4] Daum F E. Nonlinear Filters: Beyond the Kalman Filter[J]. IEEE AES Systems Magazine 2005 20(8) 57-69.
- [5] Julier S J, Uhlmann J K. Unscented Filtering and Nonlinear Estimation[C]//Proc. IEEE 2004 92(3) 401-422.
- [6] Van Zandt J R. Boost Phase Tracking with an Unscented Filter[C]//Proc. of the SPIE. 2002 4728 263-274.
- [7] Merwe R, Wan E. The Square-root Unscented Kalman Filter for State and Parameter-estimation[C]//Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing(ICASSP) 2001, 6 3461-3464.
- [8] Li X R, Jilkov P. A Survey of Maneuvering Target Tracking-Part II Ballistic Target Models[C]//Proc. of the SPIE 2001, 4473:559-581.
- [9] Danis N J. Space-based Tactical Ballistic Missile Launch Parameter Estimation[J]. IEEE Trans. AES, 1993 29(2):412-424.
- [10] 谢恺. 天基红外低轨星座对目标的定位与跟踪[D]. 长沙:国防科技大学 2006.

(上接第96页)

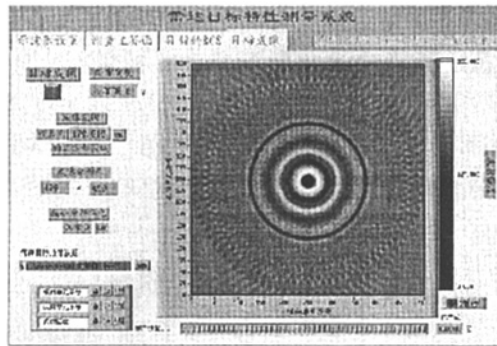


图5 金属球成像结果
Fig.5 Imaging result of a metal ball

参考文献:

- [1] 庄钊文,袁乃昌. 雷达散射截面测量[M]. 长沙:国防科技大学出版社 2000.
- [2] 肖怀铁,郭修煌. 基于USB接口的毫米波宽带RCS自动测量[J]. 国防科技大学学报 2006 28(1).
- [3] 张士选,郑会利,等. 天线/RCS近场测量系统研究[J]. 电波科学学报,1999,14(1).
- [4] Krug F, Russer P. The Time-domain Electromagnetic Interference Measurement System[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2003 45(2).
- [5] Harrington R F. Time-harmonic Electro-magnetic Fields[M]. John Wiley & Sons, 2001.
- [6] 张伟军,梁步阁,等. 基于虚拟仪器技术的微波自动测量系统设计[J]. 国防科技大学学报 2005 27(3).
- [7] Tektronix Inc. Tektronix CSA/TDS 8000B Programmer Guide[Z]. 2002.

