

基于矢量网络分析仪的目标极化 散射特性测量与校准

胡楚锋, 许家栋, 李南京, 张麟兮

(西北工业大学电子信息学院, 陕西 西安 710072)

摘要:文章基于矢量网络分析仪在微波暗室内构建了一种简易的极化散射测量系统。利用高性能矢量网络分析仪的双通道测试功能, 分别连接4路不同极化的标准增益喇叭天线, 通过测量网络参数获得目标极化散射矩阵的幅相特性。在已有校准模型的基础上, 采用3个极化散射矩阵已知的标准体完成极化校准。实验对一个金属平板的极化散射矩阵进行了测量, 采用圆盘、0°二面角及22.5°二面角作为标准体, 结果表明: 系统在未校准的情况下可获得30 dB的极化纯度, 校准后的极化纯度优于45 dB, 并且该系统具有简单易实现的优点。

关键词:散射参数, 测量, 校准, 双通道测试, 微波暗室, 矢量网络分析仪

中图分类号:TN95 文献标识码:A 文章编号:1000-2758(2010)03-0349-04

众所周知, 极化是各种矢量波的一种性质。极化散射响应提供了更多的目标信息, 因而在逆散射、遥感、目标识别及分类领域中越来越受到关注^[1,2]。例如, Novak 等人曾对同一建筑物采用不同极化的电磁波进行成像, 结果发现与单极化相比, 图像的空间分辨率提高了约3倍^[3]。极化散射矩阵的测量是研究目标极化散射特性的基本手段^[4], 它具备完整的极化信息, 但由于测试仪器的限制, 极化耦合引起的交叉极化分量具有较大的测量误差, 因而难以获取高极化纯度散射数据。

直到上世纪90年代, 出现了一些应用合成扫频源进行测量, 变极化控制器发射和接收极化组合方式的测试方法, 但系统比较复杂^[5,6]。随着高性能矢量网络分析仪的推出^[7], 其所具备的多个源端口及接收端口, 使得不同组合的极化散射分量可以同时测量, 因此测试系统的简化成为可能。

本文构建了一种简易实用的室内极化散射测量系统。基于高性能矢量网络分析仪, 通过双通道的扩展端口一次性得到极化散射矩阵的4个分量, 采用3个定标体进行极化校准, 获得高极化纯度的目标散射特性数据。实验结果表明: 在未校准的情况下系统测得数据的极化纯度为30 dB, 校准后优于

45 dB。而且, 该系统简单实用, 易于工程化。

1 极化散射测量系统构成

极化散射测量系统在西北工业大学无人机特种技术国防科技重点实验室的微波暗室内构建, 暗室长25 m、宽和高分别为15 m, 系统组成如图1所示。

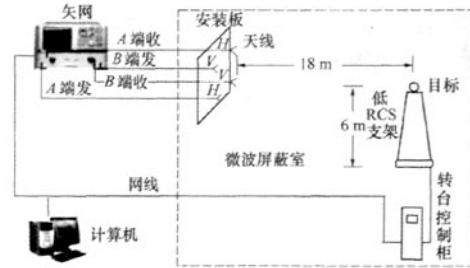


图1 极化散射矩阵测量系统

矢量网络分析仪作为核心仪表, 具有2个发射源和2个接收端口, 分别连接到4个标准增益天线上, 天线全部固定于一块安装板上。测量时, A端的

收稿日期: 2009-04-18

作者简介: 胡楚锋(1982-), 西北工业大学博士研究生, 主要从事天线与散射测量及微波遥感的研究。

基金项目: 西北工业大学博士论文创新基金(CX200811)资助

源端口做发射使用,连接到一个H极化的天线上,A端的接收端口连接到另一个H极化的天线上,B端的接收端口连接到一个V极化的天线上,测量目标的S11和S21参数,这样可同时获得HH、VH极化的散射数据;同样,通过B端源端口馈到另一个V极化的天线上,测量目标的S22和S12参数,这样可获得VV、HV极化的散射数据。主控计算机通过网线控制转台的转速及采样间隔,转台转动的同时给矢量网络分析仪发射触发信号,然后矢量网络分析仪进行测量,记录矢网*.s2p数据,由此,一次性采集了目标回波的极化散射矩阵测量数据。系统在测试中采用频率步进的工作方式,可获取宽频带范围的测量数据。

具体的测量步骤如下:

- (1) 将矢量网络分析仪分别在开路、短路、匹配及通路4种模式下进行双通道校准。
- (2) 测量空暗室背景随转台角度变化的极化散射矩阵。
- (3) 测量目标在相应角度下的极化散射矩阵。
- (4) 测量定标体最大值方向的极化散射矩阵频域数据。

2 系统误差模型及校准算法

图2给出了极化散射测量系统的误差模型^[8]。存在的误差主要有发射和接收路径中的频响误差及正交极化误差,将其归结为乘性噪声矩阵R和T,以及天线直接耦合能量和暗室杂波,用加性噪声矩阵I表示。则测量矩阵S^m与目标真实矩阵S^c之间的关系为

$$S^m = I + RS^c T \quad (1)$$

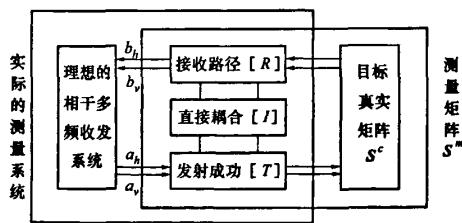


图2 系统误差模型

选定3种极化散射矩阵已知的定标体分别为:

- ① 金属圆盘

$$\alpha S_1 = \alpha \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

② 0°二面角

$$\beta S_2 = \beta \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

③ 22.5°二面角

$$\gamma S_2 = \gamma \begin{bmatrix} -\cos(2\theta) & \sin(2\theta) \\ \sin(2\theta) & \cos(2\theta) \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, α, β, γ 由标准体的复 RCS 因子决定。

将(2)式、(3)式、(4)式分别代入(1)式,并记

$$D_i = \begin{bmatrix} D_{i_{hh}} & D_{i_{hv}} \\ D_{i_{vh}} & D_{i_{vv}} \end{bmatrix} = S^{mi} - I_i, \quad i = 1, 2, 3$$

则有

$$R = (1/\alpha) D_1 T^{-1} \quad (5)$$

记

$$T = \begin{bmatrix} T_{hh} & T_{hv} \\ T_{vh} & T_{vv} \end{bmatrix} = T_{vv} \begin{bmatrix} w & w/u \\ v & 1 \end{bmatrix} = T_{vv} T' \quad (6)$$

式中, $u = T_{hh}/T_{hv}, v = T_{vh}/T_{vv}, w = T_{hh}/T_{vv}$ 。

$$T'E = (\beta/\alpha) \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} T' \quad (7)$$

$$T'F = (\gamma/\alpha) \begin{bmatrix} -\cos(2\theta) & \sin(2\theta) \\ \sin(2\theta) & \cos(2\theta) \end{bmatrix} T' \quad (8)$$

式中

$$E = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} \\ E_{21} & E_{22} \end{bmatrix} = D_1^{-1} D_2$$

$$F = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} \\ F_{21} & F_{22} \end{bmatrix} = D_1^{-1} D_3$$

将(7)式和(8)式展开,得

$$E_{12}u^2 + (E_{22} - E_{11})u - E_{21} = 0 \quad (9)$$

$$E_{12}v^2 + (E_{22} - E_{11})v - E_{21} = 0 \quad (10)$$

$$\operatorname{tg}(2\theta) = \frac{2uvwF_{11} + (u+v)wF_{21}}{u(v^2 - w^2)F_{11} + (uv - w^2)F_{21}} \quad (11)$$

$$\operatorname{tg}(2\theta) = \frac{(u+v)uwF_{12} + 2uwF_{22}}{u(uv - w^2)F_{12} + (u^2 - w^2)F_{22}} \quad (12)$$

E、F是已知的,从(9)式、(10)式中可以看出u、v的解相同,但|u| ≠ |v|,由此可判定u、v的值。

令(11)式、(12)式的右边相等,得

$$w = \pm \sqrt{-u^2 \frac{v^2 F_{11} F_{12} + 2v F_{11} F_{22} + F_{21} F_{22}}{u^2 F_{11} F_{12} + 2u F_{11} F_{22} + F_{21} F_{22}}} \quad (13)$$

式中, w的符号根据θ角的先验值(一般取22.5°)

来决定。将 w 的 2 个值代入(11)式或(12)式,计算出 2 个 θ 值,正确的那个值所对应的 w 值为真。

导出 u, v, w 后,由(6)式可得发射天线的误差矩阵 T ,将 T 代入(5)式得到接收天线的误差矩阵

$$R = (1/\alpha T_w) D_1 T'^{-1} = (1/\alpha T_w) R'^{-1} \quad (14)$$

由(1)式、(6)式、(14)式获得真实的极化散射矩阵

$$S^c = \alpha R'^{-1} S^m - I T'^{-1} = \alpha S' \quad (15)$$

从式中可以看出,未知量 T_w 以及第 2、3 个标准体的复 RCS 因子 β, γ 也已经消除,这说明对目标真实的极化散射矩阵作绝对定标时,只需要一个标准体的复 RCS 因子。

3 实验结果

实验采用金属圆盘(直径 260 mm),0°二面角和 22.5°二面角作为定标体,测量金属平板(边长 200 mm)的极化散射矩阵,如图 3 所示。测试频段为 8~12 GHz,点数 801。测试时需要确定定标体的最大反射点。

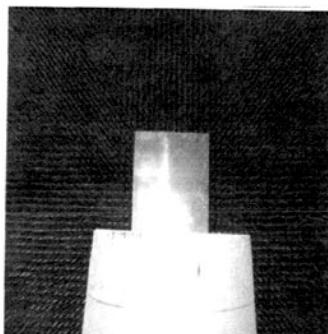


图 3 金属平板

图 4 给出了中心频点处(10 GHz)金属平板在未经过极化校准情况下极化散射矩阵 4 个极化分量随角度的变化曲线。从同极化和交叉极化的峰值点可以看出数据的极化纯度约为 30 dB。由于极化耦合的影响,同极化散射最大值方向的交叉极化分量也出现了一定的峰值现象。

经过校准后 4 个分量的曲线如图 5 所示,从图中可以看出校准后同极化散射最大值方向的交叉极化分量有较大程度的降低,表明数据的极化纯度可优于 45 dB。

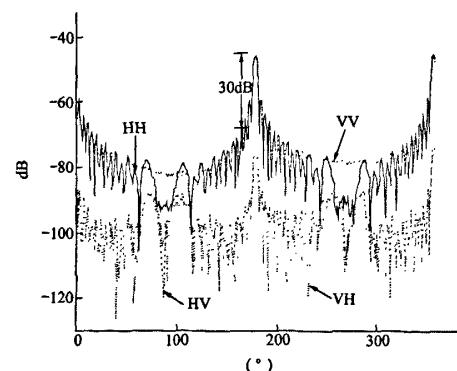


图 4 未校准的金属平板极化散射结果

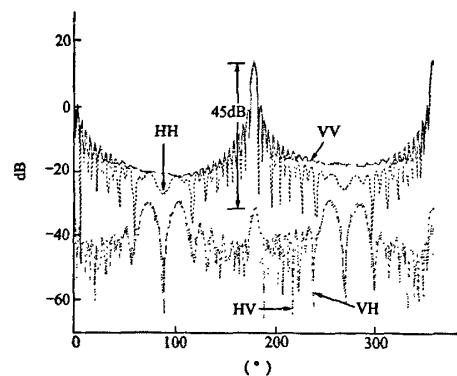


图 5 校准后的金属平板极化散射结果

4 结 论

本文构建了一种微波暗室内的极化散射测量系统。借助高性能矢量网络分析仪的扩展端口进行双通道测试,分别采用 4 个具有 2 种极化的喇叭天线相邻放置,通过测量网络参数获得目标极化散射矩阵。利用 3 个极化散射矩阵已知的定标体完成极化校准,实验结果表明未经过极化校准时目标的极化纯度约为 30 dB,经过校准后,数据的极化纯度可优于 45 dB,能够满足具有较大交叉极化比目标散射特性的测试需求,并且该系统简单,易于工程化。

参考文献：

- [1] Boerner W M. Recent Advances in Extra-Wide-Band Polarimetry, Interferometry and Polarimetric Interferometry in Synthetic Aperture Remote Sensing and Its Applications. IEE Proc Radar Sonar Navig, 2003, 150(3):113 ~ 124
- [2] Yamaguchi Y. Polarimetric SAR and Its Applications. Chinese Journal of Radio Science, 2007,22(1):5 ~ 11
- [3] Novak L M, Burl M C. Optimal Speckle Reduction in Polarization SAR Imagery. IEEE Trans on Aerospace and Electronic System, 1990, 26(2):293 ~ 305
- [4] Sinclair G. The Transmission and Reception of Elliptically Polarized Waves. Proc IRE, 1950, 38: 148 ~ 151
- [5] Chen T J, et al. A New Calibration Algorithm of Wide-Band Polarimetric Measurement System. IEEE Trans on Antennas Propagation, 1991, 39(8): 1188 ~ 1192
- [6] 肖志河, 巢增明, 蒋 欣, 王 晨. 雷达目标极化散射矩阵测量技术. 系统工程与电子技术, 1996, 3: 23 ~ 31
Xiao Z H, Cao Z M, Jiang X, Wang C. Polarimetric Scattering Matrix Measurement Technique of Radar Target. System Engineering and Electronics, 1996, 3: 23 ~ 31 (in Chinese)
- [7] 黄培康, 殷洪成, 许小剑. 雷达目标特性. 北京:电子工业出版社,2005
Huang P K, Yin H C, Xu X J. The Characteristic of Radar Target. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2005 (in Chinese)

A Simple and Effective Method for Polarization Scattering Parameter Measurement and Calibration Using Vector Network Analyzer

Hu Chufeng, Xu Jiadong, Li Nanjing, Zhang Linxi

(Department of Electronics Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

Abstract: Aim. The introduction of the full paper reviews past research^[1~7] and points out that, in our opinion, it is now possible to implement a simple and effective method, which is explained in sections 1 and 2 and illustrated in Fig. 1. Their core is: “we connect four different polarization antennas to a high-performance vector network analyzer, conduct dual-channel tests and obtain the amplitude and phase characteristics of the polarization scattering matrix by measuring the scattering parameters of a target. Three standard objects are used for calibrating measurement errors with the existing calibration model. In the dual-channel tests, we measured the polarization scattering matrix of a metal plate and then calibrated it with a metal disc, a vertical dihedral and a dihedral rotated by 22.5°.” Section 3 did the dual-channel tests of the polarization scattering parameters of a metal plate. The test results, given in Figs. 4 and 5, and their analysis show preliminarily that the polarization purity measured before calibration reaches 30 dB only but that measured after calibration with our method can reach more than 45 dB. Moreover, our method is easy to implement.

Key words: scattering parameters, measurements, calibration, dual-channel test, anechoic chamber, vector network analyzer

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量测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悉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悉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>

