

矢量网仪与滑轨联合控制合成孔径成像系统

朱杰^{1,2} 张祥坤¹ 蔡永俊^{1,2}

(1. 中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100190; 2. 中国科学院大学 北京 100190)

摘要: 基于实验室通用设备矢量网络分析仪和滑轨的合成孔径成像系统可以获取低成本实测数据,验证成像原理和算法;可以通过设置不同系统参数评估系统性能,为实际系统的搭建提供有效的论证。介绍了如何采用C#编程联合控制矢量网络分析仪和滑轨,以及对目标“一步一停”测量的方法。最后通过实测数据S21参数获得目标延时特性,分别进行距离向和方位向处理对目标进行二维成像,通过对目标成像结果和实际空间位置的比对,验证了该方案的可行性和有效性。

关键词: 矢量网络分析仪; 滑轨; 合成孔径成像

中图分类号: TN952 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1025

System of combined vector network analyzer and sliding rail control for synthetic aperture imaging

Zhu Jie^{1,2} Zhang Xiangkun¹ Cai Yongjun^{1,2}

(1. Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: The system of synthetic aperture radar imaging based on vector network analyzer and sliding rail, which are general equipments in laboratory, can acquire low-cost data to validate the theory and algorithm of imaging and provide effective validation of real system construction. The combined control of vector network analyzer and sliding rail by C# codes and the “Stop-Go” method of measurement for objects are demonstrated. At last, through the time-delay characteristics of the measured data of S21 parameter, the objects are two-dimensionally imaged by range and azimuth processing. In compare with the real spatial positions of the objects, the system is proved to be valid and effective.

Keywords: vector network analyzer; sliding rail; synthetic aperture imaging

1 引言

雷达成像相比于可见光、红外等技术具有全天时、全天候、穿透性强且不受温度影响的特点,成为一种对地物进行观测的有效手段,被广泛地应用于地质、水文、测绘、军事以及环境监测等领域^[1-4]。在传统的低分辨率真实孔径雷达成像基础上,20世纪50年代美国科学家Wiley又提出了高分辨率合成孔径雷达(SAR)的概念,使目标和雷达相对运动形成的轨迹合成孔径,利用脉冲压缩技术,提高其距离向和方位向分辨率,通过分别对距离向和方位向的处理即可获得二维高分辨率的图像^[5-6]。

在实际的系统中,利用合成孔径雷达成像具有以下难点:

- 1) 数据获取和处理的设备比较复杂;
- 2) 运动轨迹不稳定导致成像误差比较大;

3) 系统参数的设置不灵活,很难评估不同参数下系统的性能。

针对实际系统的问题,一种方案是对目标进行合成孔径雷达成像仿真,但仿真基于过多理想的假设,不能反映目标的实际情况^[7];另一种方案是利用实验室现有的设备搭建简单的合成孔径成像系统,获取低成本的实测数据进行目标识别的研究。这种方案具有成本低廉、数据真实、易于操作等特点。而且可以有效地模拟实际的合成孔径雷达成像系统,设置不同参数的评估系统的性能、验证成像的算法,为实际系统构建提供有效的支撑。

在原有合成孔径成像仿真的基础上,针对第二种方案,设计了这样一个系统:将矢量网络分析仪端口与喇叭天线相连,向目标发射扫频电磁波信号,通过测量S21参数的相位延迟实现距离向目标的分辨^[8];在此基础上,让矢量网络

分析仪采用“一步一停(Stop-Go)”的方式沿着滑轨移动,在滑轨移动方向合成孔径,从而实现方位向目标的分辨。这样,我们利用矢量网络分析仪搭建了一个基于实验室通用设备的合成孔径成像系统,并对目标进行了二维成像。

在具体实验中,如果“一步一停”地对矢量网络分析仪进行手工操作,不仅费时费力,对目标测量的精度也会产生影响。因此,需要对矢量网络分析仪和滑轨同时进行自动控制。在本文中,主要介绍了在 VS2010 环境下用 C# 语言控制矢量网络分析仪和滑轨的方法,以及如何“一步一停”地测量目标,最后通过对实验数据进行距离向和方位向二维成像,验证了本方案的可行性和有效性,并为下一步的实际合成孔径雷达系统提供了理论支撑和实验验证基础。

2 仪器连接与控制

2.1 矢量网络分析仪的连接

矢量网络分析仪采用 Agilent PNX 系列,型号为 N5244A。建立矢量网络分析仪和电脑连接的硬件设备主要有 GPIB、USB 以及 LAN 等。相比而言,LAN 具有廉价、可控距离更远的特点,主要采用 LAN 进行连接。

首先,采用交叉线(由于设备支持端口自动反转,也可用普通网线)将矢量网络分析仪与电脑连接,建立局域网。将矢量网络分析仪 IP 设为 10.14.0.101,电脑 IP 设为 10.14.0.100。接下来,可以通过 2 种驱动的方式对仪器进行控制:一种是 IVI;另一种是 DCOM^[9]。在 C# 编程控制中,需要添加对这两个组件的引用:分别是 AgilentNA 和 AgilentPNA835X。在这里需要注意:在使用 DCOM 连接时需要在电脑上用账号和密码与矢量网络分析仪一样的管理员账户登录才能实现对其控制,而 IVI 不需要。

在用 IVI 连接时,首先引用 AgilentNA 的接口,即 using Agilent, AgilentNA, Interop;然后建立连接:

```
IAgentNA driver = new AgilentNA();
driver.Initialize("TCPIP0::10.14.0.101::5025::SOCKET", false, false, "");
```

其中 5025 和 SOCKET 分别是默认端口和连接方式。

若采用 DCOM 连接,连接代码为

```
Type pna = Type.GetTypeFromProgID
("AgilentPNA835x.Application", "10.14.0.101");
AgilentPNA835x.IApplication app = (AgilentPNA 835x.
IApplication)Activator.CreateInstance(pna);
```

2.2 滑轨的连接

滑轨主要通过 USB 进行连接,运动控制器型号为 NLOISC02。在用 C# 编程控制时,首先需要引用 mc.ocx 组件,然后对其进行连接:

连接时首先调用该组件的接口:using mc;

然后建立连接:

```
SC4Run sc = new SC4Run();
sc.OpenCom(3);
```

其中,3 为端口号。

2.3 矢量网络分析仪和滑轨的联合控制

需要让滑轨的平移台从坐标零点每隔 2 s 移动 0.5 cm,每次移动完,待系统稳定下来,矢量网络分析仪对目标 S 参数进行一次测量,总共移动 1.7 m,完成 340 次测量。

知道滑轨的丝杆导程为 10 mm,步进机度数为 1.8°,细分数为 4。利用公式:

$$\text{平移台的脉冲当量(mm)} = \text{丝杆导程(mm)} \times \text{步进电机度数} / (\text{细分数} \times 360)$$

得到滑轨平移台的脉冲当量为 0.0125 mm,这样,我们每次需要移动 400 个脉冲当量。具体代码为:

```
step = 400;
int i = 1;
while (i <= 340)
{
    sc.RunStep(0, step);
    Thread.Sleep(2000);
    Write(i);
    i++;
}
```

在 Write 函数里,测量了目标的 S 参数的实部和虚部,并将其写到 txt 文件中,其中,每一次测量 S 参数的代码如下:

```
double[] freq = null;
double[] dataR_S21 = null;
double[] dataI_S21 = null;
IAgentNAChannel Ch1 = driver.Channels.GetItem
("Channel1");
IAgentNAMeasurement Ch1S = Ch1.Measurements.
getItem("Measurement1");
Ch1S.TriggerSweep(2000);
Ch1S.Create(2, 1);
freq = Ch1S.FetchX();
Ch1S11.FetchComplex(ref dataR_S21, ref dataI_S21);
```

滑轨和矢量网络分析仪装置如图 1 和 2 所示。

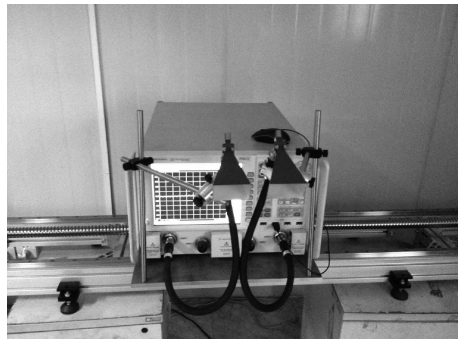


图 1 矢量网络分析仪

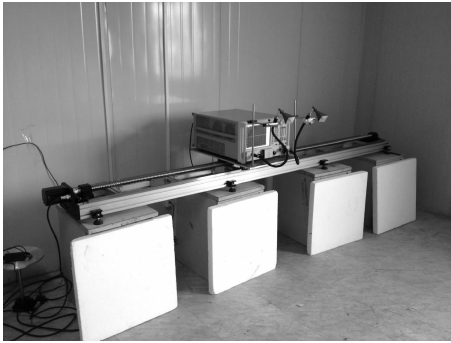


图 2 滑轨平台

3 目标成像

3.1 距离向目标分辨

如图 3 所示,我们在矢量网络分析仪前摆放了 3 个球目标。矢量网络分析仪沿着滑轨向前行驶,每行驶 0.5 cm 方向目标发射 Ka 波段扫频信号,接收 S21 参数,扫频带宽为 4 GHz。



图 3 目标位置

距离向带宽为 4 GHz,每隔 400 kHz 采样一个点,一共 10 001 个点。为了使时域信号更加精细,在 10 001 个点的基础上补了 50 000 个零再对其做逆傅里叶变换。得到的距离向目标分辨结果如图 4 所示。

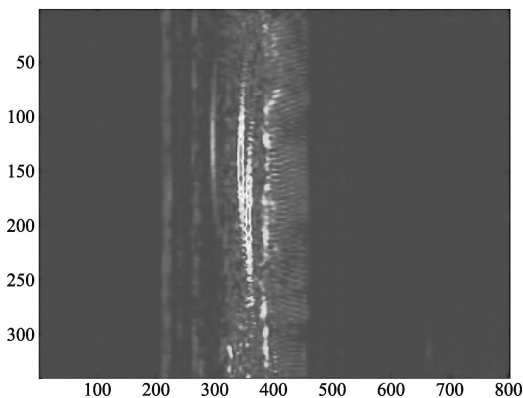


图 4 距离向目标分辨

由此图可以很明显地辨认出目标的距离向坐标,以最

近的一条亮线为例,其横坐标为 344,即信号延迟了 344 个间隔,每个间隔的距离由下式可得:

$$\Delta x = \frac{c}{2B} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 4 \times 10^9 \times 6} = \frac{1}{160} \text{ m} \quad (1)$$

因此最近的目标的距离天线 2.39 m,与实际测量结果吻合。应当注意,尽管式(1)是计算分辨率的公式,但是考虑到分辨率由带宽(4 GHz)决定,而这里因为在频域补了 50 000 个零,相当于在时域过采样,因而式(1)在这里表示采样的间隔。

3.2 方位向目标分辨

方位向走了 340 步,每步 0.5 cm,相当于走了 1.7 m,由于方位向函数是非线性的,又因为目标较近,考虑对方位向函数做匹配滤波去除二次相位,而忽略残余相位。

匹配滤波的过程相当于与参考函数做卷积的过程,参考函数即考虑方位向零点处目标的回波信号,在这里,为了简便起见,选取横坐标为 344 的点的目标回波信号作为方位向零点。其中,参考函数如图 5 所示。

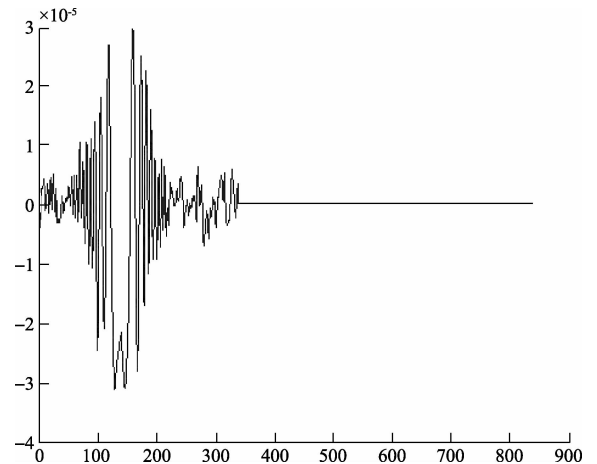


图 5 参考函数

在匹配滤波时采用频域相乘的方法,考虑到时域卷积会带来信号长度增加的,为了避免缠绕,在方位向补 500 个零,再进行频率域相乘。最后得到成像结果如图 6 所示。

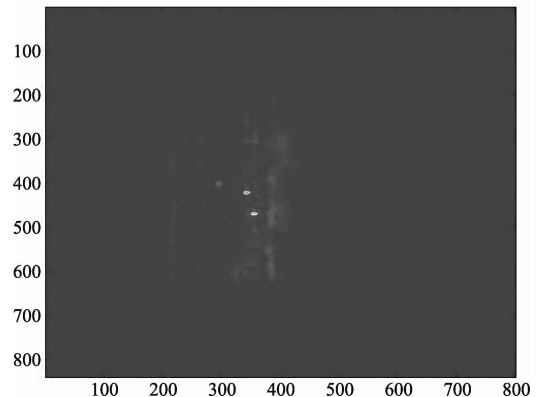


图 6 二维目标成像

可以看到有3个明显的点目标,坐标分别为(295, 401), (344, 420), (357, 469)。

其中横坐标对应距离向,纵坐标对应方位向。以第一个点为例,其纵坐标为401,与中心点420相差18个采样间隔,而每个采样间隔为0.5 cm,因此,该目标方位向距滑轨中心9 cm;而距离向可由式(1)得到,为1.84 m,与实际测量结果相吻合。

4 结 论

使用C#控制矢量网络分析仪和滑轨实现了对目标的二维合成孔径成像。利用实验室通用设备矢量网络分析仪和滑轨实现了二维合成孔径成像。成像结果中目标可以很明显地识别出来,且与实际空间位置也能很好地对应,验证了本方案的可行性和有效性。但是也可以看到目标周围有部分噪声:一方面可能是因为在近场,吸波材料并不能有效地吸收电磁波,把吸波材料也成像了;另一方面可能是因为旁瓣的影响。因此,下一步工作一方面可以考虑对更远的目标进行成像,另一方面我们要采用更加有效的算法抑制旁瓣的出现,如空间变迹法、自适应旁瓣抑制法等^[10-11]。

通过这次合成孔径成像系统的设计,对目标进行距离向和方位向二维成像,有效地验证了成像的算法,而通过对不同系统参数的设置,对系统性能有了很好的评估,也为实际系统的搭建提供了有效的支撑。

参考文献

- [1] MONSERRAT O, CRIOSETTO M, LUZI G. A review of ground-based SAR interferometry for deformation measurement [J]. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2014, 93: 40-48.
- [2] SEVERIN J, EBERHARDT E. Development and application of a pseudo-3D pit slope displacement map derived from ground-based radar [J]. *Engineering Geology*, 2014, 181: 202-211.
- [3] 侯建国, 初禹. 合成孔径雷达差分干涉测量技术在城市地面沉降监测中的应用[J]. *测绘工程*, 2014, 23(8): 40-44.

- [4] 朱贺, 李臣明, 张丽丽, 等. 联合灰度阈值分割及轮廓形态识别的河道提取[J]. *电子测量与仪器学报*, 2014, 28(11): 1288-1296.
- [5] JIA G W, CHANG W G. Study on the improvements for the high-resolution frequency modulated continuous wave synthetic aperture radar imaging [J]. *Iet Radar Sonar and Navigation*, 2014, 8(9): 1203-1214.
- [6] REIGBER A, SCHEIBER R, JAGER M, et al. Very-high-resolution airborne synthetic aperture radar imaging: Signal processing and applications [J]. *Proceedings of the IEEE*, 2013, 101(3): 759-783.
- [7] 熊文昌, 王宏琦, 张月婷. 基于栅格化模型的 SAR 图像仿真方法研究[J]. *国外电子测量技术*, 2014, 33(7): 59-63.
- [8] 万亮, 许鼎, 何国瑜. 基于线性扫频源的 X 波段快速幅相测量系统[J]. *仪器仪表学报*, 2012, 33(7): 1647-1652.
- [9] 刘浩, 于劲松, 周振彪, 等. LXI 仪器的通用平台研究[J]. *电子测量与仪器学报*, 2012, 26(2): 95-100.
- [10] STANKWITZ H C, DALLAIRE R J, FIENUP J R. Nonlinear Apodization for Sidelobe Control in SAR Imagery[J]. *IEEE Transactions On Aerospace And Electronic Systems*, 1995, 31(1): 267-279.
- [11] 杨科, 廖桂生, 徐青, 等. 改进的合成孔径雷达旁瓣抑制空间变迹算法[J]. *电波科学学报*, 2012, 27(6): 1158-1165.

作者简介

朱杰, 硕士研究生。主要研究方向为合成孔径雷达成像。

E-mail: zhujie12ucas@gmail.com

张祥坤, 博士, 副研究员。研究方向为合成孔径雷达成像。

E-mail: zhangxiangkun@mirslab.cn