

# 基于轻小型飞机的微型全极化 SAR 飞行试验研究<sup>\*</sup>

邓 豪<sup>1</sup> 王军锋<sup>1</sup> 乔 明<sup>2</sup> 魏育成<sup>2</sup> 王琛茜<sup>1</sup>

(1. 中科九度(北京)空间信息技术有限公司 北京 100190;

2. 中国科学院电子学研究所 北京 100190)

**摘 要:** 根据微型全极化 SAR 飞行试验取得的最新研究进展,简要介绍微型 SAR 载荷的技术指标和飞行平台的系统组成。在此基础上,重点介绍了微型 SAR 全极化飞行试验的航线规划、数据处理和成像结果。成像结果表明微型 SAR 全极化 4 个通道的地物目标清晰,聚焦效果和成像质量良好,分辨率经定标试验优于 0.3 m。通过飞行试验验证了基于轻小型飞机的微型 SAR 系统的全极化遥感观测、数据获取和成像处理能力,达到了系统设计的预期目标,为基于微型 SAR 的全极化遥感观测在各个行业的应用奠定了坚实的基础。

**关键词:** 微型 SAR;全极化;遥感观测

**中图分类号:** V217<sup>+</sup>.32 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 51070

## Flight experimental research of micro full polarization SAR based on light and small aircraft

Deng Hao<sup>1</sup> Wang Junfeng<sup>1</sup> Qiao Ming<sup>2</sup> Wei Yucheng<sup>2</sup> Wang Chenxi<sup>1</sup>

(1. GeoDo(Beijing)Spatial Information Technology Co. Ltd, Beijing 100190, China;

2. Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** According to the latest research progress of the Institute of electronics Chinese Academy of Sciences on the miniature full polarimetric SAR flight experiment, a brief introduction of miniature SAR load and flight platform's system composition and technical index are provided, on the basis of this, the flight experiment of polarimetric miniature SAR route planning, data processing and imaging results are emphasized in this paper. The imaging results show that four channels of full polarization micro SAR's target is clear, the focusing effect and imaging quality are good, and the resolution is better than 0.3 m. The experiment is verified that the small light aircraft of miniature SAR system full polarization remote sensing, data acquisition and imaging processing capacity, has achieved remarkable target. This flight experiment based on polarimetric mini SAR remote sensing will have laid a solid foundation in various applications.

**Keywords:** micro SAR; full polarization; remote sensing observation

## 1 引 言

全极化 SAR 是在单极化 SAR 的基础上发展而来,由于可以获得多个极化通道的丰富地物极化信息,并具有全天时、全天候、多频段、穿透性强、高分辨率成像等优点,因此,广泛应用于地形测绘、资源勘测、农林业、灾情评估与救援、战场评估等领域<sup>[1-5]</sup>。

我国 SAR 的研制工作开始于 20 世纪 70 年代中期,最早由中科院电子所率先开展研究,并于 1979 年成功研制机载 SAR 样机,1998 年研制成功星载 SAR 系统样机。近年来,随着我国航空业的快速发展,低空空域政策的逐步开放实施,无人机技术的不断进步,机载 SAR 技术又迎来了新的

发展机遇。中科院电子所紧跟技术前沿,开展了基于轻小型飞行平台的微型 SAR 遥感观测系统研制,逐步突破了小型化、低功耗、高分辨率、全极化等一系列关键技术,成功研制出了新一代微型 SAR 全极化遥感观测系统<sup>[6]</sup>。本系统降低了载荷对飞行平台的约束条件,提高了 SAR 数据分辨率,并增加了多种极化模式。本文通过飞行试验针对微型 SAR 全极化功能进行系统试验和验证,为基于轻小型飞机的全极化微型 SAR 在各个行业的遥感应用奠定了坚实的基础。

## 2 微型 SAR 载荷系统

微型 SAR 载荷系统是微波遥感对地观测的核心单元,作为系统的硬件部分,主要实现雷达信号的发射、接收、处

收稿日期:2016-03

<sup>\*</sup> 基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)(2014AA09A511)、中国科学院科技服务网络计划(KFJ-EW-STS-046)资助项目

理和存储,获取原始 SAR 回波数据和 POS 运动补偿数据。

### 2.1 SAR 系统组成

微型 SAR 载荷系统主要包括 6 个模块,分别是 SAR 雷达主机、IMU 惯导系统、雷达射频天线、GPS 天线、雷达控制设备、电池模块等相关设备<sup>[7]</sup>,各个模块之间的连接示意图和主要功能如图 1 所示。

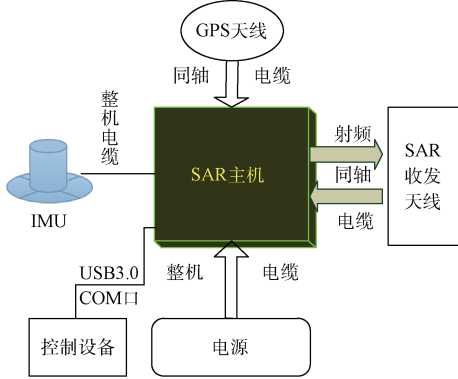


图 1 微型 SAR 载荷系统连接示意图

1)SAR 雷达主机:包括数字模块、射频模块、PCS 解算模块、固态存储硬盘,主要作用是产生激励信号,放大后送发射天线进行辐射;并接收来自接收天线的雷达回波信号,进行采集和存储。

2)IMU 惯导系统:主要为微型 SAR 系统成像处理提供运动补偿需要的 POS 辅助数据。

3)雷达射频天线:主要功能是将发射机输出的微波功率进行传输和辐射,然后接收地面目标的回波信号,通过馈线传送给接收机。

4)GPS 天线:主要为雷达主机的 PCS 模块提供 GPS 数据。

5)雷达控制设备:雷达控制设备为计算机,通过 USB3.0 或者串口连接 SAR 主机,主要是用于输入雷达观测航线、导出雷达数据、飞行前雷达设备检查。

6)电池模块:为整个微型 SAR 雷达系统提供电力支持。

### 2.2 SAR 技术指标

微型 SAR 的技术指标如下表 1 所示。

表 1 微型 SAR 技术指标

项目	微型 SAR 观测系统
成像频率	Ku 波段
中心频率	14.5 GHz
雷达中心视角	35°~60°
极化方式	HH、HV、VH、VV
分辨率	优于 0.3 m
最大测绘幅宽	3 km
最大作用距离	6 km
系统存储容量	512 GB SSD
系统功耗	<65 W
系统重量	全系统优于 5 kg

### 3 SAR 载荷飞行平台

本次微型 SAR 全极化遥感飞行作业试验采用性能稳定的轻小型蜜蜂 3 机型。其在载重量、飞行高度、飞行速度、安全性等方面均满足微型 SAR 载荷的飞行作业要求,是一款具备高可靠性的遥感观测飞行作业平台。该款飞机由北京航空航天大学研制的双座超轻型飞机,具有上单翼、半封闭座舱、正常式尾翼、前三点固定式起落架和三轴操纵系统。配置 30.9 kW 双缸二种程风冷式发动机,主油箱容量 25 L,副油箱油量 60 L,并使用推进式螺旋桨。目前在航空遥感、空中摄影、农业防灾减灾等方面应用广泛。

#### 3.1 飞行平台系统组成

蜜蜂 3 机型主要是由动力装置、操纵系统、机身、机翼、起落架、尾翼等 6 个部分组成,具体系统组成如下。

1)动力装置:配置奥地利罗塔克斯公司 447 型发动机,功率为 31.3 kW,全马力转速为 6 500 r/min,并配有双叶定距螺旋桨。

2)操纵系统:由中央操纵机构和传动系统组成。升降舵采用硬式传动系统,副翼为混合式,方向舵用软式传动系统,通过脚蹬和钢索改变方向舵偏角。

3)机身:由座舱和尾撑组成,座舱分前、后两舱,前舱为驾驶舱,舱内装有空速表、高度表、磁罗盘、发动机转速和温度表,并可根据需要安装升降速度表和油量表。后舱根据遥感观测需要搭载 SAR 载荷相关设备。座舱骨架用薄壁钢管焊成,蒙皮是航空亚麻布,尾撑由硬铝管制造。

4)机翼:平面形状为长方形,剖面为平凸翼型。机翼由轻金属骨架和布蒙皮构成,翼梁和撑杆用 LY12CZ 铝管制造,为加强机翼的抗扭刚度,在机翼框架内安装了斜撑和对角张线。机翼蒙皮用双层涤纶绸缝制,副翼由铝质骨架和蒙布构成。

5)起落架:主起落架为锥体式钢管焊接结构,前起落架为单叉式,用钢板焊成,前轮装有刹车机构。

6)尾翼:由铝质骨架和蒙布构成。

#### 3.2 飞行平台性能指标

飞行平台蜜蜂 3 的主要性能指标如下表 2 所示。

表 2 蜜蜂 3 性能指标

项目	指标
最大平飞速度	120 km/h
巡航速度	90 km/h
失速速度	55 km/h
起飞滑跑距离	55 m
着陆滑跑距离	80 m
最大爬升率	3 m/s
最小盘旋半径	60 m
升限	4 000 m
最大航程	550 km
最大续航时间	6 h
空重/总重	150 kg/320 kg
最大起飞重量	330 kg

## 4 飞行试验及成像结果

为了对微型 SAR 设备全极化观测性能进行验证,在小蜜蜂 3 飞行平台和微型 SAR 观测设备准备就绪后,同时考虑到气候条件、空域条件、地形地貌特点等因素。本次试验安排在山西运城地区进行,试验获取了大量的全极化原始数据,分别对全极化多个通道的原始数据进行成像处理,结果表明全极化四个通道的聚焦效果和成像质量均良好,分

辨率经定标场试验检测优于 0.3 m。

### 4.1 飞行试验航线规划

本次飞行试验根据天气条件和地形地貌特点,对观测区域飞行航线进行了合理规划,获取了多个条带的全极化原始数据。SAR 雷达是以开、关机点进行飞行遥感观测作业,即到达开机点开始作业,到达关机点停止作业,飞机飞行作业航线和雷达航线一致。试验飞行高度为 1 500 m,飞行试验航线经纬度坐标值如表 3 所示。

表 3 飞行试验航线坐标值

序号	起点(雷达开机点)		终点(雷达关机点)	
	经度(E)	纬度(N)	经度(E)	纬度(N)
条带 1	110°54'30.00"	35°39'41.32"	111°00'57.57"	35°39'41.32"
条带 2	111°00'57.57"	35°39'29.78"	110°54'30.00"	35°39'29.78"
条带 3	110°54'30.00"	35°39'18.43"	111°00'57.57"	35°39'18.43"
条带 4	111°00'57.57"	35°39'06.74"	110°54'30.00"	35°39'06.74"
条带 5	110°54'30.00"	35°38'55.04"	111°00'57.57"	35°38'55.04"
条带 6	111°00'57.57"	35°38'43.61"	110°54'30.00"	35°38'43.61"

飞行平台的飞行作业示意图如下图 2 所示:

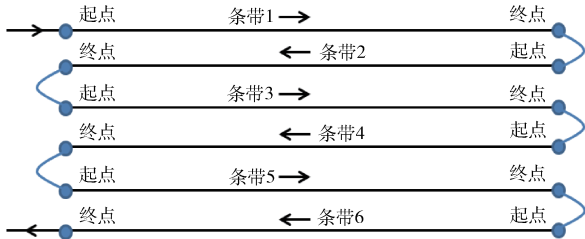


图 2 飞行作业示意图

飞机经条带 1 的起点开始进入航线,然后根据图 2 的航线轨迹示意图依次飞行,在完成 6 个条带的全部观测任务后,飞离测绘区域,结束遥感观测作业。

### 4.2 全极化数据处理

根据 SAR 载荷观测系统获取的 SAR 原始 Raw 数据和辅助 POS 数据,对辅助 POS 数据进行预处理,得到 SAR 原始数据成像需要的运动补偿 POS 数据<sup>[8-9]</sup>,然后利用基于自主开发的 SAR 数据成像处理软件,采用 WK 成像算法,分别对全极化 SAR 的 HH、HV、VH、VV 四个通道进行成像<sup>[10-11]</sup>,获取全极化 SAR 每个通道的图像,最后利用极化合成的方法得到一幅伪彩色 SAR 图像<sup>[12]</sup>。其中,SAR 数据成像处理平台如图 3 所示,图 4 是成像处理的参数配置界面。

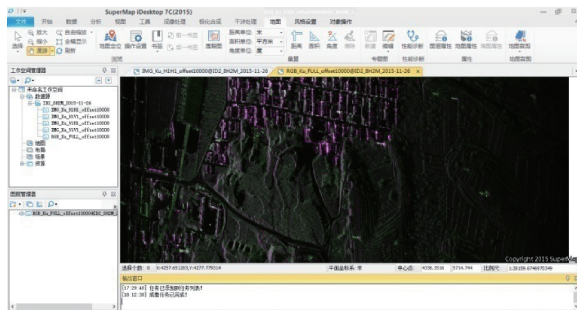


图 3 SAR 数据成像处理平台

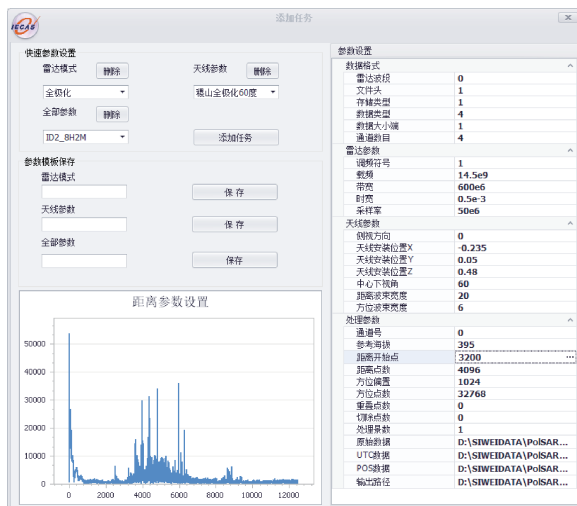


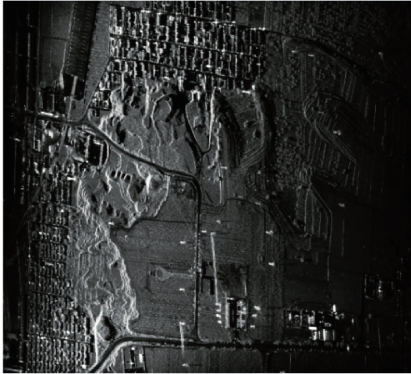
图 4 SAR 数据成像处理参数配置

### 4.3 全极化成像结果

全极化 SAR 由于可以提供更多反映地物不同特征的信息,因此在 SAR 图像分类、变化检测、目标检测、目标识别等方面应用广泛。针对飞行航线一个条带的部分区域



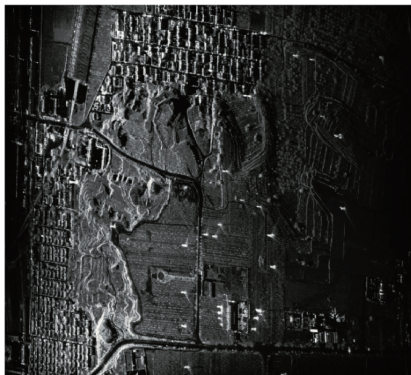
进行全极化成像,成像处理结果如图 5 所示,其中图 5 (a)~(d)分别表示 HH、HV、VH、VV 四个通道的成像结果,从每个通道的成像结果可以看出,本次观测的成像区域主要包括了乡村建筑、丘陵地形、农田、道路、信号塔、输电线等多种复杂目标,并且成像质量良好,图像地物目标清晰,经试验场定标测量计算得出分辨率优于 0.3 m;从各个通道图像的比较来看,共极化(HH、VV)的地物回波信号要强于交叉极化(HV、VH),符合全极化的客观规律,同时,全极化 SAR 比单极化 SAR 提供了很多的反映地物不同特征的信息。



(a)



(b)



(c)

图 5 全极化 SAR 图像

成获取的 SAR 的伪彩色 Pouli 分解图,根据不同地物的特点,把地物分解为表面散射、二次散射和体散射 3 种类型。其中建筑、丘陵的边缘具有典型的二面角特征的属于二次散射,信号塔、高大的树木林等属于体散射,农田、道路等地物则属于表面散射。分别对不同散射类型进行作色,绿色表示体散射,紫色表示二次散射,浅灰色表示表面散射。从图 6 伪彩色 Pouli 分解图结果来看,地物目标和类型与散射机制相符合。因此,微型 SAR 获取的全极化 SAR 数据能够为下一步的 SAR 应用研究奠定坚实的数据基础。

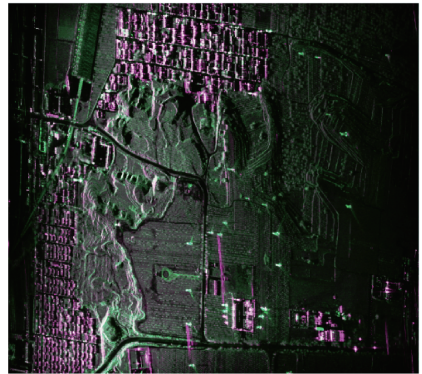


图 6 全极化 SAR 的 Pouli 分解图

## 5 结 论

本文是根据微型 SAR 全极化飞行试验的最新研究进展为依据,介绍了微型全极化 SAR 载荷技术指标和轻小型飞行平台的系统组成。通过实地现场飞行测试,重点介绍了微型 SAR 全极化飞行试验的航线规划、数据处理、成像结果。成像处理结果表明微型 SAR 全极化 4 个通道的聚焦效果和成像质量均良好,分辨率经定标试验优于 0.3 m。通过本次试验验证了基于轻小型飞行平台的微型 SAR 系统的全极化遥感观测、数据获取和成像处理能力,达到了预期目标,为基于微型 SAR 的全极化数据在各个行业的遥感应用奠定了坚实的基础。

## 参考文献

- [1] 严学颖. SAR 图像相干斑抑制和分割方法研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2013.
- [2] 任雁. 基于多尺度分析的 SAR 图像去噪方法研究[D]. 太原:中北大学,2013.
- [3] 查正兴,鲁昌华,陶志颖,等. 增强型 Shearlet 域 SAR 图像去噪[J]. 电子测量与仪器学报,2014,28(6): 644-649.
- [4] 史洪印,赵欣悦. 基于 CS 的 SAR 旋转微动目标检测方法研究[J]. 仪器仪表学报,2015,36(6): 1342-1349.
- [5] 接道伟. 基于稀疏表示的 SAR 图像去噪与变化检测方法[D]. 西安:西安电子科技大学,2014.

图 6 是利用全极化各个通道的成像结果经过极化合

- [6] 高许岗, 雍延梅. 无人机载微型 SAR 系统设计与实现[J]. 雷达科学与技术, 2014, 12(1): 35-38.
- [7] 王岩飞, 刘畅, 詹学丽, 等. 一个高精度无人机载多功能 SAR 系统[J]. 电子与信息学报, 2013(7): 1569-1574.
- [8] 吴铮, 张磊, 李宁. 基于 GPU 的机载高分 SAR 运动补偿和自聚焦[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(8): 94-99.
- [9] 郝阳, 李翀. 机载平台成像影响分析及运动补偿 FPGA 实现[J]. 现代雷达, 2014, 36(8): 39-42.
- [10] 李东, 廖桂生, 徐青, 等. 直升机载高分辨调频连续波旋转式 SAR 成像算法研究[J]. 电子学报, 2014, 42(1): 1-8.
- [11] YANG J, LIU CH, WANG Y F. Adaptive doppler centroid estimation algorithm of airborne SAR[J]. IEICE Electronics Express, 2012, 9(13): 1135-1140.
- [12] 张波, 仇晓兰, 尤红建, 等. 一种基于快速积分图像的全极化 SAR 图像窗口量化及伪彩色合成方法[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(7): 80-84.

### 作者简介

邓豪, 1988 年出生, 硕士, 主要从事 SAR 信号处理、SAR 系统集成方面研究。

(上接第 159 页)

- [8] ZHANG M, SAWCHUK A A. Human daily activity recognition with sparse representation using wearable sensors[J]. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 2013, 17(3): 553-560.
- [9] 肖玲, 李仁发, 罗娟. 体域网中一种基于压缩感知的人体动作识别研究[J]. 电子与信息学报, 2013, 35(1): 119-125.
- [10] PATCHARAPOL P, PASKORN C. Adaptive-PCA: An event-based data aggregation using principal component analysis for WSNs [C]. Proceedings of International Conference on Smart Sensors and Application, 2015: 50-55.
- [11] CHEN X Y, YAO J C, WANG Y F, et al. Online learning algorithm for collective lda[C]. Proceedings of the 14th International Conference on Machine Learning and Applications, 2015: 251-258.
- [12] MALLOY M L, NOWAK R D. Near-optimal adaptive compressed sensing [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2014, 60(7): 4001-4012.
- [13] SPARRER S, FISCHER R F H. Mmse-based version of omp for recovery of discrete-valued sparse signals[J]. Electronics Letters, 2016, 52(1): 75-77.
- [14] NEEDELL D, TROPP J A. Cosamp: Iterative signal recovery from incomplete and inaccurate samples. Applied and Computational Harmonic Analysis, 2009, 26(3): 301-321.
- [15] NARAYANAN S, SAHOO S K, MAKUR A. Greedy pursuits assisted basis pursuit for compressive sensing[C]. Proceedings of the 23rd European Signal Processing Conference, 2015: 694-698.
- [16] YANG B, LI S. Multifocus image fusion and restoration with sparserepresentation [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2010, 59(4): 884-892.

### 作者简介

于宗泽, 1990 年出生, 在读硕士, 主要研究方向为无线体域网中的人体动作识别研究。

E-mail: wfhyzz123@163.com

方勇, 1964 年出生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为通信信号处理, 盲信号处理和智能信息系统等。

E-mail: yfang@staff.shu.edu.cn

李兆元, 1991 年出生, 在读硕士, 主要研究方向为无线体域网拓扑结构和信号压缩研究。

E-mail: lizhaoyuan@shu.edu.cn

(上接第 163 页)

### 作者简介

孔舒亚, 1987 出生, 河南周口人, 硕士研究生, 主要研究方向为电子对抗技术。

Email: 494926081@qq.com

叶伟, 1969 出生, 江苏徐州人, 教授、博士生导师, 主要研究方向为电子对抗、信息处理。