



陕西出版资金精品项目

无人机系统研究与应用出版工程



无人机电SAR图像 信息提取技术

段连飞 黄国满◎编著

WURENJIZAI SAR TUXIANG
XINXI TIQU JISHU



西北工业大学出版社



陕西出版资金精品项目

WURENJIZAI SAR TUXIANG XINXI TIQU JISHU

无人机载 SAR 图像信息提取技术

段连飞 黄国满 编著

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书从技术角度,详细介绍了当前无人机载 SAR 图像信息提取技术原理以及方法实现策略、算法设计思想以及试验验证过程,重点阐述了 SAR 图像特征、无人机载 SAR 图像噪声抑制、无人机载 SAR 图像配准、无人机载 SAR 立体图像提取与立体定位、无人机载 SAR 正射影像提取与单片定位、无人机载 SAR 图像分类的原理与技术,并从实践的角度出发,阐述了无人机载 SAR 图像信息提取系统的设计与开发方法。本书是作者多年从事无人机任务载荷与图像处理技术工作的研究成果。

本书可作为高等学校相关专业的研究生和高年级的本科生教材和教学参考书,也适合无人机和遥感领域的广大科技工作者、工程技术人员参考和使用。

图书在版编目(CIP)数据

无人机载 SAR 图像信息提取技术/段连飞,黄国满编著. —西安:西北工业大学出版社, 2016.4

ISBN 978-7-5612-4771-6

I. ①无… II. ①段…②黄… III. ①无人驾驶飞机—机载雷达—遥感图象—数字图象处理 IV. ①TP751.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 040970 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西宝石兰印务有限责任公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:11.625

字 数:226 千字

版 次:2016 年 4 月第 1 版 2016 年 4 月第 1 次印刷

定 价:58.00 元

前 言

无人驾驶飞机是指无驾驶员或“驾驶”(控制)员在机内的飞机,简称无人机(Unmanned Aerial Vehicle,UAV)。无人机以其机动性能好、成本低等突出优点广泛应用在航空摄影、地图测绘、电力线巡检、城市规划、灾情监测、军事侦察、通信中继、气象监测等领域。毋庸置疑,无人机已成为一种重要的遥感数据获取手段。

纵观国内外无人机的应用案例,以图像获取为目的的无人机独占鳌头,它克服了卫星和有人机对环境、天气等不利因素的影响,为实际应用提供了符合几何精度要求、高分辨率、实时性好的图像资源。这些种类图像主要分为航空像片、可见光视频图像、红外视频图像和合成孔径雷达(Sythetic Aperture Radar,SAR)图像。其中,可见光和红外成像设备受天气影响较大,而合成孔径雷达则克服了天候、云雾等因素影响,能在云、雨、雾等恶劣的天气情况下实施有效的图像获取。可以说,SAR 任务载荷的装载才使得无人机成为真正意义上的全天时、全天候遥感平台。

近些年来,随着 SAR 成像技术的迅猛发展,SAR 任务载荷相关技术已日趋成熟,但与之对应的 SAR 信息处理和信息提取技术却显得薄弱,主要体现在两个方面:其一,无人机载 SAR 图像信息提取相关技术研究不够系统,研究的领域主要是以图像分析、图像处理为目的的内容较多,而与信息提取实际应用紧密相关的定位、正射影像提取、立体图像提取的内容较少;其二,可直接用于无人机载 SAR 信息提取软硬件设备开发的相关技术研究较少,而由于成像机制不同,传统的光学图像信息处理方法和设备无法应用到无人机载 SAR 图像处理之中。客观上,诸多因素也造成了目前 SAR 图像信息提取技术的相对滞后。

基于此,笔者在多年无人机任务载荷、信息处理以及遥感技术研究基础上,提出了涉及无人机载 SAR 图像信息提取相关的图像噪声抑制、图像配准、立体图像提取、立体定位、正射影像提取和单片定位、图像分类技术。本书由笔者多年的工作经验和潜心研究的成果整理而成,既包含技术原理的阐述,又含有试验、验证方法与结果的论述。

本书全稿由段连飞、黄国满编写,全书由段连飞统稿。此外,在编写过程中,中国测绘

科学研究院、武汉大学遥感信息学院等单位给予了大力支持,提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心感谢。

由于水平有限,难免挂一漏万,对于书中错漏和不当之处,恳请读者不吝批评指正。

编著者

2015年7月于合肥

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 无人机载 SAR 的发展历史与现状	1
1.2 无人机载 SAR 成像原理	4
1.3 无人机载 SAR 图像信息提取的关键技术	8
1.4 无人机载 SAR 图像信息提取技术研究进展	9
1.5 本书内容安排	11
第 2 章 SAR 图像特征	13
2.1 SAR 图像色调特征	13
2.2 SAR 图像几何特征	19
2.3 SAR 图像的几何变形分析	26
第 3 章 无人机载 SAR 图像噪声抑制	35
3.1 SAR 图像噪声的数学模型	35
3.2 基于统计模型的 SAR 图像噪声抑制	38
3.3 保持边缘的噪声抑制方法	42
3.4 试验与结果分析	45
3.5 本章小结	48
第 4 章 无人机载 SAR 图像配准	50
4.1 图像配准	50
4.2 特征提取	54
4.3 基于点特征和线特征的配准	65
4.4 本章小结	75

第 5 章 无人机载 SAR 立体图像提取与立体定位	77
5.1 SAR 立体图像提取	77
5.2 SAR 图像立体定位	89
5.3 立体定位精度分析	102
5.4 试验与分析	105
5.5 本章小结	114
第 6 章 无人机载 SAR 正射影像提取与单片定位	115
6.1 SAR 正射影像提取原理	115
6.2 单片定位	122
6.3 试验与分析	124
6.4 本章小结	136
第 7 章 无人机载 SAR 图像分类	137
7.1 分类方法概述	137
7.2 纹理分析	139
7.3 两种非监督分类方法	143
7.4 基于 BP 神经网络的机载 SAR 图像分类	148
7.5 本章小结	160
第 8 章 无人机载 SAR 图像信息提取系统设计与实现	161
8.1 概述	161
8.2 无人机载 SAR 图像预处理子系统	162
8.3 无人机载 SAR 图像配准子系统	163
8.4 无人机载 SAR 图像立体判读与定位子系统	166
8.5 无人机载 SAR 图像正射纠正子系统	170
8.6 无人机载 SAR 图像分类子系统	171
参考文献	174

第1章 绪论

1.1 无人机载 SAR 的发展历史与现状

1.1.1 SAR 的发展

遥感技术是 20 世纪 60 年代发展起来的一门集光学、红外、微波、雷达、激光、计算机等科学于一体的综合性空间信息学科。遥感技术根据不同物体对电磁波的吸收和反射的不同特性来探测地表物体的信息,完成不与目标物接触而实现对目标探测、判读、分类和识别的目的。利用遥感技术能够获取大量的有用信息,它具有获取信息速度快、周期短、受条件限制少、宏观性、综合性等优点。遥感的实现需要能发射和接收电磁波的传感器(如摄影机、多光谱扫描仪、雷达、专题制图仪等)及运载传感器的遥感平台(如卫星、飞机、飞艇、气球等)。

微波遥感是遥感技术中的一个重要分支,它利用某种传感器接收地面各种地物发射或反射的微波信号,借以识别、分析地物,提取所需的信息。微波遥感的重要基础之一是电磁波与各种媒介之间相互作用。电磁波在传播过程中,由于媒介的不连续性、不均匀性、各向异性以及耗损等因素,在遥感目标区域产生反射、散射、透射、吸收和辐射等各种现象,目标与电磁波的作用,产生空间、时间、频率、相位和极化等参数的调制,使回波载有信息,通过标定和信号处理技术,把这些变换成各种特征信号。从而将特征信号与被测目标的物理量之间建立起严格的对应关系,推知遥感目标的物理特性,达到辨认目标和识别目标的目的。

微波遥感发展历史上具有里程碑意义的事是合成孔径雷达的出现,合成孔径概念的产生可以追溯到 20 世纪 50 年代。1951 年,美国古德伊尔(Goodyear)飞行器公司的 Carl Wiley 首先提出可以利用频率分析方法改善雷达的方位分辨率。1957 年 8 月,密执安大学的 Willow Run 实验室获得了第一幅完整聚焦的条带 SAR 图像,这成为合成孔径雷达由理论走向实践应用的标志,合成孔径雷达克服了真实孔径雷达分辨率难以提高的难题。

美国于 1978 年发射了 SEASAT,它是从航天高空向地球环境进行微波遥感的第一次

试验,为期 98 天的飞行结果获取大批的雷达图像,证明了 SAR 从航天高度提取地面高分辨率图像的能力,它的 25 m 空间分辨率图像超过陆地卫星 80 m 的分辨率,并且它的全天候工作能力使得成像过程不会留下无效的空白。进入 20 世纪 80 年代,星载 SAR 成像技术有了新的发展,1981 年 11 月,哥伦比亚号航天飞机装上成像雷达 SIR-A,所获得的图像可以识别出埃及西北部沙漠地区的地下古河道;20 世纪 90 年代,随着空间技术的不断发展,Almaz,ERS-1/2,JERS-1 等星载 SAR 卫星先后发射成功,并利用全球性布局的地面接收系统提供全球范围的商用服务,SAR 图像广泛地应用于农业、地质、导航、灾情监视、海洋监视等领域,这标志着星载 SAR 系统从试验阶段过渡到实用阶段。1995 年 11 月加拿大成功发射了雷达卫星 RADARSAT,该卫星采用 7 种成像工作模式,图像分辨率可达 8 m,并已在各个领域取得举世瞩目的成绩。

在国内,中国科学院电子学研究所(以下简称电子所)于 1979 年研制成功我国第一台机载合成孔径雷达,获得了第一张合成孔径雷达图像,图像的距离分辨率为 180 m,方位分辨率为 30 m,采用光学记录和光学成像方式。1987 年电子所研制成功了多条带多极化机载合成孔径雷达系统,雷达工作在 X 波段,可以从 HH,VV,HV,VH 四种极化形式中任选一种工作,具有双侧视功能,图像分辨率为 10 m $\times$ 10 m。1994 年电子所研制成功机载合成孔径雷达实时成像处理器实现了对已有 10 m 分辨率的机载合成孔径雷达信号的实时成像处理。

此外,中国电子科技集团 14 所、中国电子科技集团 38 所、中国航空工业集团 607 所分别研制了机载 SAR 系统,分辨率均优于 1 m。

SAR 图像与光学图像相比具有以下特征:

(1)SAR 是主动式微波成像雷达,具有全天候、全天时成像的特点。

(2)SAR 图像的分辨率与雷达的工作波长、载机的飞行高度、雷达作用距离无关,而与俯角有关,在太空、高空以及远距离都能有效工作。

(3)从成像方式来看,雷达波束以一定的俯角照射被测绘的地域,使得侧视 SAR 图像具有透视收缩、叠掩、阴影等固有特性,这些特性虽然对图像造成一定的影响,但是在某些情况下,合理地应用阴影和这些现象求得的坡度和目标高度却能作为 SAR 图像解译的重要特征。

(4)SAR 图像存在相干斑,具体表现为雷达回波矢量在空中相干叠加生成的随机变量,对图像判读和分析来说是不利因素,可通过噪声抑制算法减小影响。

(5)SAR 遥感被测地域对无线电波的散射特性,只有无线电波散射特性相同的地域,才能获得相同的图像灰度,尽管两个地域的光学反射特性并不均匀,目标的光学图像可能是灰度近似的,而 SAR 图像则可以描绘或区分出不同的特征。

(6)与光学图像相比,SAR图像穿透探测特性明显,可探测到一定厚度植被中的目标,在沙漠和浅水覆盖的地方、对被植被覆盖的地面成像中有较好的表现。

(7)SAR图像中目标的极化特征蕴藏着丰富的信息,利用多极化图像可以用于SAR图像解译与目标自动识别。

1.1.2 无人机载 SAR 的发展

1. 无人机技术发展概况

无人机,称为 UAV(Unmanned Aerial Vehicle),长期以来无人机都是作为军事用途而使用的。随着无人机在海湾战争和阿富汗战争中的突出表现,近年来关于无人机的报道和相关文献才大量涌现,其中最为著名的机型包括美国的全球鹰、捕食者等。无人机系统在科学、商业领域的应用是近10年来才开始的。1992年,Holland等提出了自重小于20 kg、利用GPS自动驾驶、长航时、微小型飞机平台的概念,主要应用目的是对无人区进行大气探测;到1996年Joanne的文章中讨论了商业高空无人机遥感所引起的相关问题;1999年Rodrigo等提出了一种低速、长航时民用遥控飞行器的初步设计方案。可见在国外关于无人机的民用研究,特别是在遥感领域的应用研究也正处于起步的阶段。目前各种类型的无人机在国外被广泛地用于精密农业、海洋环境快速评估、科学研究、交通管理等领域。

在我国,西北工业大学、南京航空航天大学、北京航空航天大学、洪都航空工业集团、中国航天第三研究院等有关单位近年来都在致力于无人飞行器的研究,研制成功的无人机已经在军事侦察、微波中继、空投、打靶等众多军事领域得到广泛的应用。近年来在民用方面也有了较大的发展,如2001年中国测绘科学研究院研制成功UAVRS-II型无人遥感监测飞机。

军事上的成功运用大大促进了无人机的发展,最具代表性的是西北工业大学于1995年研制成功的ASN-206,该飞机可以装载画幅航空相机、全景相机、红外行扫描仪、高分辨率电视摄像机,主要用于军事侦察和情报获取。

随着飞行器技术、测控技术、导航技术的迅猛发展,无人机向远距离、多任务载荷、全天候等方向发展。

2. 无人机载 SAR 的发展

20世纪90年代以前,无人机载侦察设备还主要以航空照相机、电视摄像机、前视红外仪和红外行扫描仪为主,它们利用光学原理和物理辐射原理成像,对气候条件有一定的要求,不适合在恶劣气象条件下使用。在90年代初的几次局部战争中,无人侦察机的光电

侦察设备就暴露出了其局限性。随着微电子技术和微波技术的不断发展,机载合成孔径雷达不断完善与改进,使得无人机电载小型 SAR 得以实现,并逐步应用到无人机装备上,成为无人机侦察设备,大大提高了无人机战场侦察系统的作战能力。

美军“全球鹰”高空长航时军用无人机上装备的 HISAR 合成孔径雷达,能够全天时、全天候进行高分辨率成像,克服了光电侦察设备受天候限制的不足,其在 2003 年伊拉克战争中的应用,大大提高了美军空中侦察的精确性和实效性,从而确保了指挥官全面、准确、迅速地掌握、判断战场情况,为美军实施精确火力打击提供了基本保证。无人机电载 SAR 表现出了重大的实用价值和强大生命力,引起了世界各国军方的广泛关注,世界上许多国家都投入力量研制无人机电载 SAR。表 1.1 列出了美、欧等国无人机电载 SAR 的主要装备情况。

表 1.1 美、欧等国无人机电载 SAR 装备情况

美国				
TESAR	TUAVR	Lynx SAR	MWTIS	HISAR
捕食者/暗星	猎人	I-GNAT	捕食者	全球鹰
欧洲				
MiSAR	调频连续波 SAR	Mini SAR	IFSAR	Qua SAR
德国	荷兰	荷兰	意大利	英国

近些年,国内机载 SAR 技术的逐步成熟完善带动了无人机电载 SAR 技术的发展,中国电子科技集团 38 所、14 所先后开发成功了无人机电载 SAR 成像系统,并得到了成功运用。

1.2 无人机电载 SAR 成像原理

无人机电载 SAR 属于侧视成像雷达范畴。侧视雷达与航空摄影不同,航空摄影利用太阳光作为照明源,而侧视雷达利用发射的电磁波作为照射源。它与普通脉冲式雷达的结构大体上相似。图 1.1 所示为脉冲式雷达的一般组成结构。它由一个发射机、一个接收机、一个转换开关和一根天线等组成。

发射机产生脉冲信号,由转换开关控制,经天线向观测地区发射。地物反射脉冲

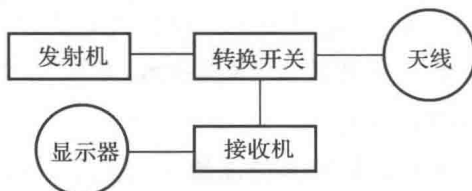


图 1.1 脉冲式雷达的一般组成结构

信号,也由转换开关控制进入接收机。接收的信号在显示器上显示或者记录在磁带上。

雷达接收到的回波中,含有多种信息。如雷达到目标的距离、方位、雷达与目标的相对速度(即作相对运动时产生的多普勒频移)、目标的反射特性等。其中距离信息可用下式表示:

$$R = \frac{1}{2} vt \quad (1.1)$$

式中 R ——雷达到目标的距离;
 v ——电磁波传播速度;
 t ——雷达和目标间脉冲往返的时间。

雷达接收到的回波强度是系统参数和地面目标参数的复杂函数。系统参数包括雷达波的波长、发射功率、照射面积、方向和极化等。地面目标参数与地物的复介电常数、地面粗糙度等有关。

1.2.1 雷达成像原理

如图 1.2 所示,侧视雷达 S 在飞机(或卫星)飞行时间内向垂直于航线的方向发射一个很窄的波束,这个波束在航迹向上很窄,在距离向上很宽,覆盖了地面上一个很窄的条带,飞机在飞行时不断发射这样的波束,并不断接收地面窄带上的各种地物的反射信号,于由这些波束扫视地面一条带状区域,形成图中的成像带。每个波束是由所发射的一个短的脉冲形成,这个脉冲遇到目标后,一部分能量由地物反射返回雷达天线,即回波。地面上与飞机距离不同的目标反射的回波,由雷达天线和接收机按时间的先后次序接收下来,并由同步的亮度调制的光点在摄影胶片上按回波的强度大小记录下来,一条视频回波线就记录了窄条带上各种地物的图像。紧接着发射下一个脉冲,飞机同时向前飞行了一段很小的距离,然后又接收地面相邻窄条带的地物反射的回波信号,如此继续,构成地面成像带的图像。

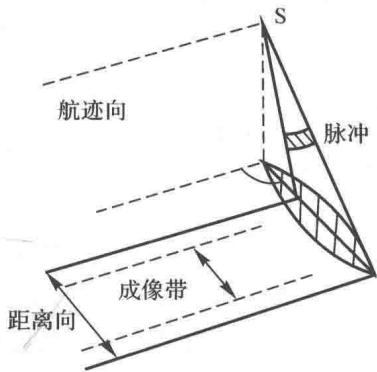


图 1.2 雷达波束

在地面可以分辨的两目标之间的最短距离就是侧视雷达图像的距离分辨率。距离分辨率与天线和目标之间的距离无关,或者说与天线高度无关。如图 1.3 所示,无论天线在 A 处,或在 B 处,所接收的两相邻目标信号均是相同的。但是在不同俯角下的两个目标(见图 1.4)则有不同的结果。图 1.4 中 X 处的两个目标与 Y 处的两个目标虽然都相距同一距

离,但 X 处俯角大,两目标反射的脉冲会重叠,从而两点信号无法分开。而 Y 处俯角小,反射信号不会重叠。这说明了距离分辨率与俯角关系很大,侧视时距离分辨率好,近垂直时反而差,与航空摄影的情况正好相反,这同时也说明了雷达成像必须侧视的原因。

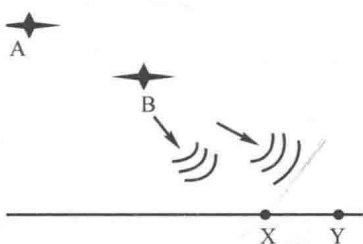


图 1.3 距离向分辨率与高度关系

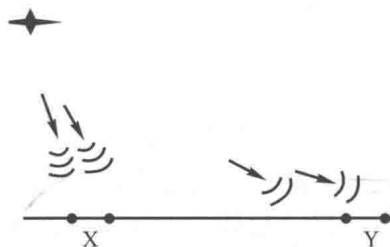


图 1.4 距离向分辨率与俯角关系

一般距离分辨率表示为

$$R_r = \frac{\tau C}{2} \sec \beta \quad (1.2)$$

式中 τ ——脉冲长度;
 C ——电磁波传播速度;
 β ——俯角。

在航迹向上,两个目标要能区分开来,就不能处于同一波束内,在这一方向上所能分辨出的两个目标的最小距离称为方位分辨率:

$$R_w = \omega R \quad (1.3)$$

式中 ω ——波瓣角;
 R ——斜距。

由于波瓣角与波长 λ 成正比,与天线孔径 d 成反比,故方位分辨率又可表示为

$$R_w = \frac{\lambda}{d} R \quad (1.4)$$

由此可见,要提高方位分辨率,必须加大天线孔径,采用波长较短的电磁波,缩短观测距离。但在飞机或卫星上,这些都受到限制。目前的方法是采用合成孔径侧视雷达。这种雷达接收的回波并不像真实孔径侧视雷达那样立即显示成像,而是把目标回波的多普勒相位历史储存起来,即存储在所谓的“数据胶片”上,然后对数据胶片进行相关处理,形成图像。

1.2.2 SAR 成像

合成孔径技术是为了解决侧视雷达影像分辨率难以提高的难题而发展起来的新技

术,它实现了雷达成像的方位分辨率与天线长度、飞行高度无关的愿望。

合成孔径技术的基本思想是用一个小天线沿一直线方向不断移动,如图1.5所示。在移动中每个位置上发射一个信号,接收相应发射位置的回波信号存储下来,存储时必须同时保存接收信号的振幅和相位。当天线移动一段距离 L_s 后,存储的信号和长度为 L_s 的天线阵列诸单元所接收的信号非常相似。合成孔径天线是在不同位置上接收同一地物的回波信号,真实孔径天线则在一个位置上接收目标的回波。如果把真实孔径天线划分成许多小单元,则每个单元接收回波信号的过程与合成孔径天线在不同位置上接收回波的过程十分相似。真实孔径天线接收目标回波后,好像物镜那样聚集成像,而合成孔径天线对同一目标的信号不是在同一时刻得到,它在每一个位置上都要记录一个回波信号,每个信号由于目标到飞行器之间的距离不同,其相位和强度也不同。然而,这种变化是有规律地进行的,当飞行器向前移动时,飞行器与目标之间的球面波波数逐渐减少,目标在飞行航线的法线上时与天线的距离最小。当飞过这条法线时球面波波数又有规律地增加。这样形成的整幅影像,也不像真实孔径雷达影像那样,能看到实际的地面影像,而是一相干影像,它需要处理后才能恢复成地面的实际图像。

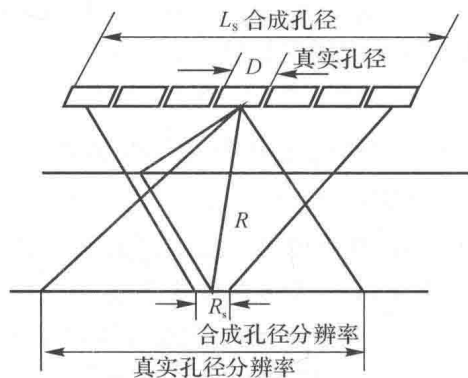


图 1.5 合成孔径雷达工作过程

合成孔径雷达的方位分辨率如图1.5所示。若用合成孔径雷达的实际天线孔径来成像,则其分辨率将很差。设天线孔径为8 m,波长为4 cm,当目标与天线的距离为400 km时,按式(1.1)计算,其方位分辨率为2 km。现在若用合成孔径技术,合成后的天线孔径为 L_s ,则其方位分辨率为

$$R_s = \frac{\lambda}{L_s} R \quad (1.5)$$

由于天线最大的合成孔径为

$$L_s = R_w = \frac{\lambda}{d} \quad (1.6)$$

将式(1.6)代入式(1.5)则有

$$R_s = d \quad (1.7)$$

式(1.7)说明合成孔径雷达的方位分辨率与距离无关,只与实际使用的天线孔径有关。此外由于双程相移,方位分辨率还可提高一倍,即 $R_s = d/2$ 。

1.3 无人机载 SAR 图像信息提取的关键技术

SAR 图像与其他无人机图像(航空像片、电视图像)相比,图像信息具有以下特点:一是斜距成像使图像的畸变与中心投影畸变不同;二是 SAR 图像中包含着不可避免的相干斑噪声;三是 SAR 图像中包含了更丰富的立体信息;四是与可见光图像相比,SAR 图像解译更困难。

针对 SAR 图像的特点以及无人机作战使用中的需求,无人机载 SAR 图像信息提取工作主要体现在两个方面,其一是与作战使用紧密相联的目标坐标提取(即定位处理)和图像资源的提取(如立体图像和正射影像);其二是为了有效地实现信息提取所需要解决的相关问题。本书将其归纳为以下六项关键技术:

1. 图像噪声抑制

SAR 图像由于成像机理形成的相干斑噪声是一种乘性噪声,很难去除或者抑制。对于高分辨的 SAR,其目标图像背景复杂,伪目标和真实目标在有些图像中难以识别,图像所含的纹理信息丰富,且具有一定的相似性,边缘轮廓含有大量的高频信息。同时 SAR 图像受噪声的干扰较大,也给真实目标的判别带来了困难。传统的光学去噪方法主要针对噪声模型为加性的噪声,对 SAR 图像噪声去除或抑制效果不佳,必须研究适合 SAR 图像的噪声抑制方法,以此减小噪声对图像配准、特征提取以及图像分类的影响。

2. 图像配准

变化检测、SAR 图像与可见光图像融合、SAR 图像镶嵌是无人机侦察图像信息处理的重要手段,而这三种图像分析的前提都是图像已经经过配准处理,配准的精度和自动化程度直接影响图像分析的质量和速度。

3. 立体图像提取

立体判读和立体定位是无人机侦察图像解译的主要方法。无人机航空像片是通过同一条航线的相邻像片构建立体像对实现立体判读的,SAR 图像的成像机制使得必须使用相邻航带的图像才能构建立体图像。由于无人机飞行航线保持能力有限,不同航带斜距变形差别较大,往往构建的立体图像视觉效果不佳,而且单航带飞行时,无法实现立体图

像提取。为了更好地实现 SAR 图像立体判读,需要研究立体图像的提取方法。

4. 正射影像提取

在测绘领域,正射影像(DOM)是一种重要的测图成果;在无人机信息处理领域,正射影像是一种基础性的情报产品。特别对于 SAR 图像,斜距变形使得图像与人的视觉相差较大而不容易被解译使用,正射影像则较好地解决了该问题。同时,SAR 正射影像还是多源图像融合分析和单片目标定位处理的基础图像,正射纠正往往采用数字微分纠正的方法。

5. 目标定位

目标坐标是无人机信息处理的最重要的情报信息之一。精确的目标坐标给予了情报部门和火力打击部门重要保障,目标定位处理是侦察型无人机非常重要的环节,直接决定着无人机的作战效能。因此,必须研究选择适当的数学模型、适当的方法来实现无人机快速精确目标定位。

6. 图像分类

当前,无人机主要通过图像解译来判定目标。由于 SAR 图像与可见光图像成像机理的不同,可见光图像解译方法特别是自动分析的方法不能直接应用到 SAR 图像中,必须研究适合于 SAR 图像特点的图像分类方法,图像分类对于面状目标的自动和半自动化处理比较有效,特别是在利用无人机载 SAR 图像进行毁伤评估中具有重要的应用价值。

1.4 无人机载 SAR 图像信息提取技术研究进展

国内,由于最近几年机载 SAR 才开始成为无人机任务载荷,从目前装备使用来看,还没有无人机载 SAR 图像信息提取设备,无人机载 SAR 图像还仅仅用于人工判读解译阶段。

国外,虽然无人机载 SAR 成像技术发展较早,但尚未见大量的 SAR 图像提取技术的报道。

虽然直接用于无人机载 SAR 图像信息提取的技术和设备很少有报道,但是 SAR 图像处理的研究却很多,主要体现在 SAR 图像去噪、图像配准、目标识别以及 SAR 图像测图等方面的研究。

由于相干斑效应,图像去噪成为 SAR 图像处理中一个关键环节。同时图像的细节在频率域反映为高频分量,与噪声的高频混淆,因此,如何既保持图像细节又能滤除随机噪声,一直是平滑图像的关键问题。国内外都对该问题进行了广泛的研究,目前用得较广泛

的是 Lee 滤波、Frost 滤波、最大后验概率法、中值滤波法等,电子科技大学的郭宏雁提出了加权中值滤波的方法,加权中值滤波法在抑制相干斑的同时最大限度地保持了图像的空间分辨率;武汉大学的管鲍提出了 SAR 图像滤波的迭代方法,该方法结合统计滤波方法和小波分析方法,提出了细节补偿去噪的思路。

SAR 图像配准最早借鉴了光学图像配准的方法,之后很多学者对 SAR 图像配准进行了研究,华中科技大学图像识别与人工智能研究所的于秋则提出了基于改进 Hausdorff 测度和遗传算法的 SAR 图像与光学图像配准的方法。该方法针对 SAR 图像低信噪比(SNR)与乘性噪声模型的固有特性提出了一种边缘特征的提取方法,即在获取光学图像与 SAR 图像边缘图的基础上,根据 Hausdorff 距离具有强抗干扰能力和容错能力的特点,采用了改进的 Hausdorff 距离作为相似性测度;在搜索策略上,根据遗传算法的固有的并行性,采用遗传算法来加快搜索的速度。哈尔滨工业大学的王磊提出了一种基于区域特征提取的图像配准方法,对 SAR 图像首先进行相干斑噪声抑制,并采用图像分割的方法提取出封闭区域的边界作为特征,然后与可见光中提取的边缘利用闭合区域边缘链码的相关寻求匹配,精确配准的误差达到子像素级水平。电子科技大学的黄勇提出了一种基于图像特征的快速匹配实现方法,针对两幅 SAR 图像,该方法进行边缘检测和区域轮廓提取以及区域特征描述,最后实现图像的自动匹配。

SAR 图像自动识别与图像分类一直是国内外研究的重难点问题,特别是在军事上的应用,已成为一个高度关注的领域,早期的 SAR 图像分辨率不高,主要工作集中在目标检测方面。一幅 SAR 图像可看作点、线、面目标的组合,分别讨论它们的目标特征及其提取方法,无疑会有利于对雷达图像的解译。点状目标的检测在 CFAR 检测技术中占据很重要的地位,CFAR 检测的目的是提供相对来说可以避免噪声背景杂波和干扰变化影响的检测阈值,同时使目标检测具有恒定的虚警概率。L. M. Novak 提出了基于高斯分布双参数 CFAR 计算,并成功应用于林肯实验室的 SAR 目标检测和识别系统中。为了从 SAR 图像中提取线特征,A. Lopes, E. Nezry, R. Touzi 等人研究提出了适用于边界、线、点提取的结构比率算子,该算子可以获得恒定的虚警概率;C. J. Oliver 提出了边界的最优检测算子;解放军理工大学的酆苏丹提出了 SAR 图像的多尺度边缘检测方法,方法首先构造高斯多尺度边界检测算子,然后根据信号边界与噪声边界的小波变换模值跨尺度传递的不同特性,将不同尺度的检测算子检测的边缘相融合,提出由边缘传递、继承和生长构成的多尺度边缘关联融合算法。面目标的提取主要通过图像分割的手段来实现,常规的图像分割法用于 SAR 图像中时,效果往往比较差。近年来,很多研究人员致力于 SAR 图像分割,也提出了一些算法,R. Cook 等提出用 Merge Using Moments 方法对 SAR 图像进行基于区域合并方式的区域分割,C. Lemarechal 研究了基于形态学的 SAR 图像分割。分类是 SAR 目标识别中的关键步骤,许多学者引入图像的纹理特征来分类 SAR 图