

学校编码: 10384
学号: 23320081153320

分类号____密级____
UDC____

廈門大學

碩 士 学 位 论 文

SAR 影像基础算法研究及其实现

Research and Implementation on Foundation Processing

Algorithms of SAR Imagery

罗 琳 艳

指导教师姓名: 刘艳华 讲师

专 业 名 称: 信号与信息处理

论文提交日期: 2011 年 月

论文答辩时间: 2011 年 月

学位授予日期: 2011 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2011 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文(包括纸质版和电子版)，允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

()1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。

()2.不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)是一种全天候、全天时的高分辨率对地探测雷达,在军事、经济和农业等领域都有广泛的应用。SAR的成像原理复杂,SAR影像处理涉及到许多复杂的算法,作为实现深入研究和应用SAR数据的基础步骤,SAR影像基础处理,特别是SAR影像配准处理的研究都面临着很高的要求。目前SAR影像处理技术的研究主要是围绕处理效率、准确度和可靠性等方面展开。为了充分利用国内外各种先进卫星所生成的SAR数据,实现SAR数据自动处理、解析和配准算法的软件平台的研发有着重要的实际意义。

本论文主要从SAR影像特殊的成像原理出发,讨论了SAR影像的特征,研究了几种SAR影像配准的算法,对它们进行了实验分析。最后深入研究了在个人电脑上实现超大SAR影像的解析、显示和处理等技术,并在此基础上设计了SAR影像基础处理平台。

本论文的主要研究内容包括:

1. 从SAR影像成像原理出发,分析SAR影像基本特征,探讨了作为InSAR技术的关键步骤,SAR影像配准在精度和可靠性方面的要求。

2. 在探讨了SAR影像配准的三种不同类型算法的基础上,重点研究出一套由粗配准导向和精配准结合的SAR影像配准方法。本文主要研究并实现了基于Fourier-Mellin变换粗匹配导向的Harris特征点配准算法和基于轨道参数粗匹配导向的Harris特征点配准算法,并对两种算法分别进行了实验分析。实验结果表明本文提出的算法在平均几何配准误差和视觉效果上都有了较好的结果。

3. 在研究了对地观测卫星ENVISAT所产生ASAR数据格式的基础上,以Microsoft Visual Studio 2010为开发平台,使用C#语言编写了用于实现SAR影像基础算法的ENIMAGE软件平台,并详细介绍了该软件的主要设计思路及代码流程图。本软件平台在软件系统设计的过程中,嵌入了面向对象的模块化思想,为今后程序的进一步完善与移置奠定了基础。

4. 针对ENIMAGE软件平台在大影像处理方面所遇到的问题,研究并实现了内存映射技术和数据分块处理等方法。

关键字: 合成孔径雷达; 影像配准; 内存映射技术; 数据分块管理

Abstract

Synthetic Aperture Radar (SAR) is an all-weather, all-time high-resolution microwave remote sensing imaging radar. As a foundation and crucial procedures in SAR image research and application domain, the basic processing and image registration for SAR image is facing a higher request. Nowadays, a series of image processing techniques which revolve around processing efficiency and accuracy and reliability such aspects are becoming one of the hot topics of this area. With the purpose of making extensive use of the SAR product from various kinds of leading-edge satellites, a software platform which can be used for foundation processing algorithms of SAR imagery needs to be developed.

In the paper, from the analysis of SAR imaging theory, the essential features of the SAR imagery are explored, which leads to a series of particular methods of image registration. Then, a software platform for SAR imagery processing named as ENIMAGE is designed, on which the aforementioned image registration algorithm can be fulfilled.

The main work of this paper is:

1. From the essential features of the SAR imagery, the processing efficiency and accuracy and reliability of SAR imagery registration algorithm are analyzed totally.

2. On the basis of the difference of many kinds of SAR imagery registration algorithm, a new method, which combine a cursory matching -oriented method with accurate matching method, is introduced. In the paper, the SAR image registration based on phase correlation-oriented point matching algorithm and the SAR image registration depending on satellite orbit state vectors-oriented point matching algorithm are studied and realized. The experimental results demonstrate that the algorithm presented in this paper have their high validity, robustness and efficiency.

3. On the research of the data format of ASAR product form the ENVISAT, a software platform for SAR imagery processing is designed based on Microsoft Visual Studio 2010. The design idea, realization method and technique of this system are introduced. With the application of object oriented (OO) design method, the software

is developed with QT, which is one of the most efficiency developing environment nowadays.

4. On account of processing large scale image, the memory mapping technology and data block processing technology are studied and realized.

Key Words: SAR; Image registration; Memory mapping management; Data block processing technology

厦门大学博硕士论文摘要库

目录

第一章 绪论	1
1.1 论文研究的意义	1
1.2 研究现状	2
1.2.1 从 SAR 到 InSAR 的发展历史与现状.....	2
1.2.2 图像配准发展历史与现状.....	3
1.3 主要研究内容	4
1.4 主要研究成果	5
第二章 SAR 的成像原理和影像特征	6
2.1 SAR 成像原理	6
2.1.1 雷达方程.....	6
2.1.2 脉冲压缩技术.....	7
2.1.3 SAR 的距离分辨率.....	8
2.1.4 SAR 的方位分辨率.....	10
2.2 SAR 影像的基本特征	12
2.2.1 SAR 影像与光学图像的区别.....	12
2.2.2 SAR 影像的几何特征.....	12
2.2.3 SAR 影像的相干斑特征.....	14
2.3 InSAR 技术简介	15
2.3.1 SAR 影像的干涉处理原理.....	15
2.3.2 SAR 影像干涉处理流程.....	18
2.3.3 用于干涉处理的 SAR 数据.....	20
2.3.4 影像匹配是 InSAR 技术的主要影响因素.....	21
第三章 SAR 影像配准算法研究	22
3.1 图像配准基础原理	22
3.1.1 图像配准定义.....	22
3.1.2 几何变换模型.....	25

3.1.3 图像配准的要素.....	26
3.2 图像配准的方法.....	26
3.2.1 基于灰度的图像配准.....	26
3.2.2 基于变换域的图像配准.....	27
3.2.3 基于特征的图像配准.....	29
3.3 SAR 影像配准方法.....	30
3.3.1 SAR 影像配准的特点.....	30
3.3.2 SAR 影像配准的一般方法.....	30
3.3.3 SAR 影像配准的步骤.....	31
3.4 基于 Fourier-Mellin 变换粗匹配导向的 Harris 特征点配准方法.....	32
3.4.1 Fourier-Mellin 变换.....	32
3.4.2 Harris 角特征点配准算法.....	32
3.4.3 随机抽样一致性算法.....	33
3.4.4 空间变换.....	34
3.4.5 算法实现.....	35
3.5 基于轨道参数粗匹配导向的 Harris 特征点配准算法.....	37
3.5.1 配准过程中的坐标系转换.....	37
3.5.2 基于卫星轨道参数的粗匹配.....	39
3.5.3 基于互相关信息的精确匹配.....	40
3.5.4 算法实现.....	41
3.6 算法分析.....	43
3.6.1 配准精度的衡量标准.....	43
3.6.2 配准效果分析.....	43
第四章 SAR 影像处理平台 ENIMAGE.....	44
4.1 ENIMAGE 简介.....	44
4.1.1 面向对象的软件设计过程.....	44
4.1.2 基于面向对象 UML 技术的软件开发过程.....	45
4.1.3 系统运行环境.....	50
4.2 ENIMAGE 中 SLC 格式说明.....	50
4.2.1 卫星基本参数.....	50
4.2.2 ASAR 数据基本格式.....	52

4.3 ENIMAGE 内存管理说明.....	56
4.3.1 内存映射技术.....	56
4.3.2 数据分块管理技术.....	57
4.4 软件界面与用户操作说明.....	57
4.4.1 ENIAMGE 软件界面说明.....	57
4.4.2 ENIAMGE 软件用户操作说明.....	59
第五章 结论与展望.....	60
5.1 结论.....	60
5.2 展望.....	60
参 考 文 献.....	61
攻读学位期间发表的学术论文.....	64
致 谢.....	65

Contents

Chapter 1 Preface	1
1.1 Significance Of This Research	1
1.2 Research Status	2
1.2.1 The Development And Status of SAR	2
1.2.2 The Development And Status of Image Registration	3
1.3 Main Contents Of This Research	4
1.4 Main Achievements Of This Research	5
Chapter 2 SAR Imaging Theory And Features Of SAR Imagery	6
2.1 SAR Imaging Theory	6
2.1.1 Radar Equation	6
2.1.2 Pulse Compression Technology	7
2.1.3 Range Resolution Of SAR Imagery	8
2.1.4 Azimuth Resolution Of SAR Imagery	10
2.2 Features Of SAR Imagery	12
2.2.1 Difference Between SAR Imagery And Optical Image	12
2.2.2 Geometric Features Of SAR Imagery	12
2.2.3 Speckle Of SAR Imagery	14
2.3 Basic Principle Of InSAR	15
2.3.1 InSAR Processing	15
2.3.2 Steps Of InSAR Processing	18
2.3.3 SAR Data for InSAR	20
2.3.4 Main Influence Of InSAR	21
Chapter 3 Research Of SAR Imagery Registration Algorithm	22
3.1 The Basic Principle Of Image Registration	22
3.1.1 Definitions Of Image Registration	22
3.1.2 Models Of Geometric Transforming	25

3.1.3 Factors Of Image Registration.....	26
3.2 General Methods Of Image Registration.....	26
3.2.1 Grayscale-based Image Registration Algorithm.....	26
3.2.2 Transform Domain -based Image Registration Algorithm.....	27
3.2.3 Feature -Based Image Registration Algorithm	29
3.3 General Methods Of Image Registration In InSAR.....	30
3.3.1 Features Of SAR Imagery Registration.....	30
3.3.2 Three Steps Of SAR Imagery Registration.....	30
3.3.3 General Methods Of SAR Imagery Registration.....	31
3.4 Harris Feature -based Image Registration Algorithm Guided By Phase Correlation Method.....	32
3.4.1 Phase Correlation Method.....	32
3.4.2 Harris Feature -based Image Registration Algorithm.....	32
3.4.3 RANSAC.....	33
3.4.4 Geometric Transforming.....	34
3.4.5 Implementation Algorithm.....	35
3.4 Harris Feature -based Image Registration Algorithm Guided By Orbital Parameters.....	37
3.5.1 Method Of Coordinate System Conversion.....	37
3.5.2 Rough Matching Method Based Orbital Parameters.....	39
3.5.3 Calculation of Cross-correlation Information.....	40
3.5.4 Implementation Algorithm.....	41
3.6 Experiment And Discussion.....	43
3.6.1 Measures Of Algorithm.....	43
3.6.2 Discussion.....	43
Chapter 4 ENIMAGE:A Processing Platform Of SAR Imagery....	44
4.1 Introduction Of ENIMAGE.....	44
4.1.1 Object Oriented Design.....	44
4.1.2 UML.....	45

4.1.3 Running Environment	50
4.2 Data Format Description In ENIMAGE.....	50
4.2.1 Orbital Parameters.....	50
4.2.2 Data Format.....	52
4.3 Memory Management Of ENIMAGE.....	56
4.3.1 Memory Mapping Management.....	56
4.3.2 Data Block Processing Technology.....	57
4.4 Software Interface And User Specification.....	57
4.4.1 Software Interface.....	57
4.4.2 User Specification.....	59
Chapter 5 Conclusion And Proposals.....	60
5.1 Conclusion.....	60
5.2 Proposals.....	60
References.....	61
Papers Published.....	64
Acknowledgement.....	65

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

1.1 论文研究的意义

合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)是一种高分辨率的对地探测雷达。经过近 20 年来获得了巨大的发展,它已逐渐成为一种不可缺少的遥感手段,在军事、经济和农业等各个领域都有着广泛的应用。

遥感技术依照所采用的电磁波频段的不同,可分为可见光、红外和微波遥感三类。作为一种全天候、全天时的微波遥感设备,合成孔径雷达在现代雷达图像学中有着重要的地位。区别于其他遥感成像技术,它采用了侧视和合成孔径两项技术,前者有效地消除了正交反射的主回波的模糊性,后者极大地提高了成像分辨能力^[1]。

合成孔径雷达影像作为对地探测的数据,其分辨率基本可以与光学影像相当,而且在很多方面优于光学图像。SAR 影像完全是主动提取,使得它在任何气候和时间下具有视觉能力,而它的相干成像原理则可用于进行孔径合成,从而获取极高的分辨率,用于干涉测量等各种应用。

与光学影像的研究和分析相比,SAR 影像处理的水平还有较大差距,一直以来合成孔径雷达系统的复杂性和多样性制约着各种 SAR 影像处理关键技术的发展,尤其是在 SAR 影像配准这方面,国内外的研究都还是处于艰难的探索之中,在配准精度、计算的速度虽取得了一些成果,由此可见,为了充分发挥合成孔径雷达作为遥感成像设备的作用,必须从基础的层面出发,进行深入研究。

近些年来,通过将干涉测量技术与传统 SAR 技术结合而形成的合成孔径雷达干涉技术(Synthetic Aperture Radar Interferometry, InSAR) 提供了获取地面三维信息的全新方法。SAR 影像的基础处理和配准是 InSAR 的一个重要步骤,在遥感测量领域有着非常重要的研究意义。

1.2 研究现状

1.2.1 从 SAR 到 InSAR 的发展历史与现状

1951年6月美国 Goodyear 宇航公司的 Carl Wiley 首次提出能利用多普勒分析的方法改善雷达角分辨率的思想。不久,美国伊利诺依大学控制系统实验室的 Sherwin 等人也独立地用非相参雷达进行实验,证实频率分析方法可以改善雷达的角分辨率,并于1953年7月用机载 X 波段相干脉冲雷达得到了第一张非聚焦型的合成孔径雷达图像^[2]。1953年夏天,在美国密西根(Michigan)大学举办的暑期讨论会上,许多学者提出了合成孔径的新概念,证明了只需一个小的天线在合成天线阵列上,向正侧视方向发射和接收相干信号就可以获得高的方位向分辨率。在此基础上提出了合成孔径雷达的聚焦和非聚焦信号处理的方式。1957年8月密西根大学雷达和光学实验室的 Cutrona 和 Leith 等人研制的合成孔径雷达进行了飞行实验,获得了第一张大面积的全聚焦合成孔径雷达图像^[3]。从此,合成孔径雷达得到了世界上的广泛承认,并开始迅速应用到很多民用领域,如地图测绘,地质学研究等。

七十年代,随着电子技术,特别是大规模集成电路的飞速发展,使得 SAR 的数字成像处理成为可能。由于数字成像系统具有数据处理灵活、便于误差校正和可实时处理的优点,数字成像处理逐渐成为 SAR 处理器的主流。随着大容量 SAR 信号存储和处理问题的解决,人们就可以将雷达安装在卫星上对地面进行大面积成像了。1978年6月27日,美国国家航空航天局(NASA)发射了装载有 SAR 系统的 Seasat-A,开创了星载合成孔径雷达的历史。随后,一些发达国家在星载合成孔径雷达领域加大了投入,增加了更多的项目^[4]。

通常,传统的 SAR 技术只能获得目标的二维(2D)信息,它缺乏获取地面目标三维(3D)信息和监测目标微小形变的能力。InSAR 技术通过两副天线同时观测或通过一副天线两次平行观测,获取地面同一景观的复图像对,根据地面各点在两幅复图像中的相位差,得出各点在两次成像中微波的路程差,从而获得地面目标的三维信息。机载干涉雷达,如 SIR-C/X-SAR 已经能够获取精度 1m 内的地表高程,而星载干涉雷达,如 ERS-1/2,RADARSAT, ENVISAT 则可以探测到雷达波长量级的地表位置变化。

雷达干涉技术最早起源于 1969 年,当时 Rogers 和 Ingalls 用干涉仪测量

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库