

Synthetic Aperture Radar Basis and Its
Applications
合成孔径雷达基础及应用 2008 Fall
Lecture Note

Renkun Kuang

October 10, 2019

Contents

1	绪论：合成孔径雷达发展与现状 - 吴一戎	5
1.1	机载高分 SAR 在2008应急抗灾中的作业情况	5
1.2	雷达基础	6
1.3	SAR 研究现状	6
1.3.1	LACROSSE(长曲棍球)	7
1.3.2	SIR-C/X SAR	7
1.3.3	SIR-C/SRTM	7
1.3.4	RadarSat-1	7
1.3.5	Envisat ASAR	7
1.3.6	历史回顾	7
1.4	技术发展趋势	7
1.4.1	高分辨率 SAR 技术及进展	7
1.4.2	机载 INSAR 的三大关键技术	8
1.4.3	遥感卫星一号	9
2		10
2.1	作业要求	10
2.1.1	先进星载 SAR 系统文献综述	10
2.1.2	线性调频信号建模与脉冲压缩	10

Course Introduction

中国科学院电子学研究所

微波成像技术国家级重点实验室

讲师：吴一戎

专业：微波成像理论研究、微波成像技术、雷达信号处理

所在单位：电子学研究所

教师简介：吴一戎 男，院士，中国科学院电子学研究所常务副所长。

吴一戎院士承担了多项重要的国家863高技术课题，是‘星载合成孔径雷达(SAR)成像处理和运动补偿系统’、逆SAR成像和运动补偿方法研究等中的主要参加者，参与负责了‘八五’国家重点工程遥感卫星信息处理系统，‘L—SAR’系统先期攻关项目‘高精度成象处理和高精度辐射校正、几何校正’项目，重点解决了其中核心技术，提出了在雷达成象处理和运动补偿的新算法，并在工程中得以实现，曾获得了多项中科院科技进步奖(包括特等奖、一等奖、二等奖、三等奖各一项)。1998年5月当选为国家高技术研究计划信息获取与处理(863-308)主题专家组成员、项目责任专家，参与对国家863-308资助项目的规划和管理，对主管领域发展方向进行战略研究。一直从事微波遥感设备以及大型遥感卫星地面处理中心的研制，在雷达信号处理、遥感图象处理、计算机并行信号处理、大型遥感数据库管理技术等领域进行了多年研究，主持和参加完成了十多项国家的重大项目。在十五计划期间，已有数项超过千万元的国家级大项目开始研究，课题组人均经费超过50万

预修课程

数字信号处理、信号与系统

教学目的和要求

本课为信号与信息处理专业和遥感信息工程专业研究生的专业基础课，重点从信号处理、信息处理、图像处理的角度探讨合成孔径雷达基础和应用的相关知识。

拟通过课堂讲授、课后研究、课堂点评等，使学生系统了解和掌握涉及合成孔

径雷达基础理论、信号处理基础、典型成像处理算法、辐射校正和几何定位技术、先进合成孔径雷达系统设计与实现、遥感卫星地面处理及应用系统等方面的理论、方法和体系，为从事后续相关研究工作奠定基础。

教学内容

第一讲、绪论：合成孔径雷达发展与现状

课后研究：先进星载雷达系统文献综述

第二讲、合成孔径雷达信号处理基础

信号处理基础、线性调频信号及其脉冲压缩、雷达基础、合成孔径的概念及二维分辨等

课后研究：一维线性调频信号建模、时频特性分析、匹配滤波及其脉压、相位误差及其失配、窗函数的影响等

第三讲、合成孔径雷达成像算法

1. SAR 信号特征：点目标回波获取、距离徙动、距离/方位模糊、多普勒参数等

2. SAR 成像处理算法基础、几个域的定义、基于匹配滤波的成像算法原理及示例、基于线性调频信号解斜的成像算法原理及示例等。

课后研究：SAR 点目标回波仿真、RDA/CSA/PFA 处理算法及聚焦实现

第四讲、卫星轨道基础

天球坐标系、卫星轨道基础、星载 SAR 成像几何、多普勒参数计算等

课后研究：六根数及星下点轨迹/多普勒中心历程仿真

第五讲、地图投影与合成孔径雷达图像地理编码

地球模型、地图投影基础、地理编码、SAR 图像定位误差分析

课后研究：地图投影仿真、投影变换等

第六讲、合成孔径雷达辐射校正与定标处理

辐射校正、SAR 内定标、SAR 外定标

第七讲、星载 SAR 图像的几何精校正

GCP校正、DEM校正
课后研究：GCP仿射变换等

第八讲、先进机载合成孔径雷达系统

实用的机载 SAR 系统

第九讲、合成孔径雷达系统设计与实现

机载 SAR 系统设计原则，系统功能，组成及应用

第十讲、干涉合成孔径雷达技术导论

干涉 SAR 原理、干涉 SAR 系统及应用

第十一讲、极化 SAR 技术导论

极化的概念、极化 SAR 基础、全极化原理、极化应用等

第十二讲、SAR 图像应用

SAR 图像目标检测、识别、图像分割、图像融合等内容

第十三讲、SAR 图像的海洋应用

海洋图像实例、SAR 海洋目标检测等

第十四讲、遥感卫星地面处理及应用系统简介

遥感卫星地面系统的组成、功能、流程等，遥感卫星地面系统的作用与应用。

参考书目

1. 吴一戎，《合成孔径雷达基础及应用》讲义 2. I.C.Cumming, F.Wong, 《合成孔径雷达成像算法与实现》（书后有光盘，实际的数据（包括辅助数据如轨道信息等），学完这课要能独立将原始数据处理成完整 SAR 图，P189）

Chapter 1

绪论：合成孔径雷达发展与现状 - 吴一戎

跟完这课：科研如何寻找题目、怎么解决问题、怎么科研

合成孔径雷达：对地观测的一个主要手段（两大，分别为光学和微波），微波对地观测分辨率高的，就是合成孔径雷达。

是利用安装在飞机或卫星上的设备、对地球观测的一项技术。

涉及设备建造制作、相关数据处理算法开发、以及最终做应用的人。

1904年发明二极管——电子学诞生。最早的应用：电报，广播，通讯在战争中发展，雷达在二战中发展，计算机

2008年要大力发展，太赫兹（微波和红外之间），1k GHz，没有器件应用，技术有什么应用决定了其生命力。

1.1 机载高分 SAR 在2008应急抗灾中的作业情况

每次大地震之后当地要下雨，2008年时原因还未知。

地球系统科学，这个词由中国人首次提出。

基本情况：

- 高分 - 米级-亚米级分辨力（0.5米）
- 多（全）极化（极化合成得到彩色图，单极化得到的是灰白图）
- 快速部署：当天出图
- 全天候：不惧云、雨（微波），夜间成像
- 连续作战，每天11小时
- 快速响应

- 快速更新，重点区多次成像

先制定航线

经检验的遥感能力：

A 地物目标情况

B 区域灾情控制

C 灾情变化

D 重点目标应急：机场、重要军事目标

国务院副总理李克强亲自下达命令请吴老师过去要雷达数据。

图像有畸变，可校正（要有先验条件，如山的模型等）

1.2 雷达基础

1.3 SAR 研究现状

SAR development history

- 1951 Carl Willey Concept
- 1957 Willow Run (ERIM) 1st fully focused SAR image
- 1978 NASA SEASAT-A
- 1990s
 - ESA ERS-1
 - NASDA JERS-1
 - CSA RadarSat-1
 - ...
- 1996 EUSAR
- 2002 -
 - NASA/DLR/ASI SRTM
 - ESA ENVISAT-1/ASAR
 - OHB SAR-LUPE
 - CSA RadarSat-2
 - Astrium TerraSAR
 - AFRL TECHSAT21
 - ...

1.3.1 LACROSSE(长曲棍球)

1.3.2 SIR-C/X SAR

1.3.3 SIR-C/SRTM

航天飞机双天线干涉 SAR

1.3.4 RadarSat-1

1.3.5 Envisat ASAR

1.3.6 历史回顾

合成孔径雷达的研究，在我国起步于 70 年代中期间。1973年10月3日，中科院电子所，成立了由陈宗鸢研究院等 7 人组成的线路调研组，经过 2 年的调研，提出了组建以合成孔径雷达技术为主要研究方向的“信息科学与微波遥感技术研究室”的建议

1976年5月27日，中科院电子所建立了我国第一个以合成孔径成像雷达为主要研究方向的研究室——“微波遥感技术研究室”

分辨率：0.15米（2006.4）

干涉 SAR

多波束多通道

极化 SAR

频段覆盖：L、S、C、X、Ku

平台

1.4 技术发展趋势

1.4.1 高分辨率 SAR 技术及进展

高分辨率 SAR 的两大关键技术

1. 高精度运动误差策略和补偿技术

实际飞机不可能直线飞行，有气流的波动等

提出一套 SINS/GPS/PGA 组合高精度运动补偿方案

解决了三个进一步提高精度的关键技术问题

- 24位置的IMU的动静结合混合标定方法
- 基于杆臂效应补偿的空中机动对准方法
- 一种 SINS/GPS 信息融合新方法

传统单通道组合导航系统

2. 高精度宽带雷达系统及其补偿技术
宽带收发系统的设计和实现
宽带收发系统误差的控制

设计实现了 3 环路光延迟内定标系统
全通道误差提取
0.3 dB/ 2deg 的测量精度

1.4.2 机载 INSAR 的三大关键技术

1. 高稳定度平台和高精度基线测量技术
2. 高相位一致性的多通道雷达系统技术
3. 高精度的干涉数据处理技术

3 个主要误差因素：
基线、姿态、通道间误差

干涉高程测量的原理

中科院电子所研制的机载 INSAR 系统的研制任务：

- 双天线高稳定度平台系统 0.01度
- 高精度的天线基线测量 1毫米
- 高相位一致性的双通道雷达系统 通道相位误差小于1度
- 高精度干涉 SAR 数据处理技术

→

- 一种高分辨率干涉 SAR 双通道自配准成像方法
- 基于球面波模型的视向量正交分解的地形重建技术
- 一种具有高精度空变相位误差估计和几何校正能力的相位梯度自聚焦算法
- 干涉相位图生成和滤波技术
- 连续大面积图像的干涉相位展开技术

城市大比例测绘中的应用

1.4.3 遥感卫星一号

机载逼近国际先进水平，某些关键技术已达到国际先进水平

Chapter 2

2.1 作业要求

2.1.1 先进星载 SAR 系统文献综述

主要研究内容

- RadarSat-1 系统
卫星轨道、系统组成、工作模式、SAR产品（包括数据格式（先了解后面处理的数据））、应用方向
- RadarSat-2 系统
与RadarSat-1系统的区别（轨道、系统组成、工作模式）、区别于RadarSat-1系统的功能和应用

2.1.2 线性调频信号建模与脉冲压缩