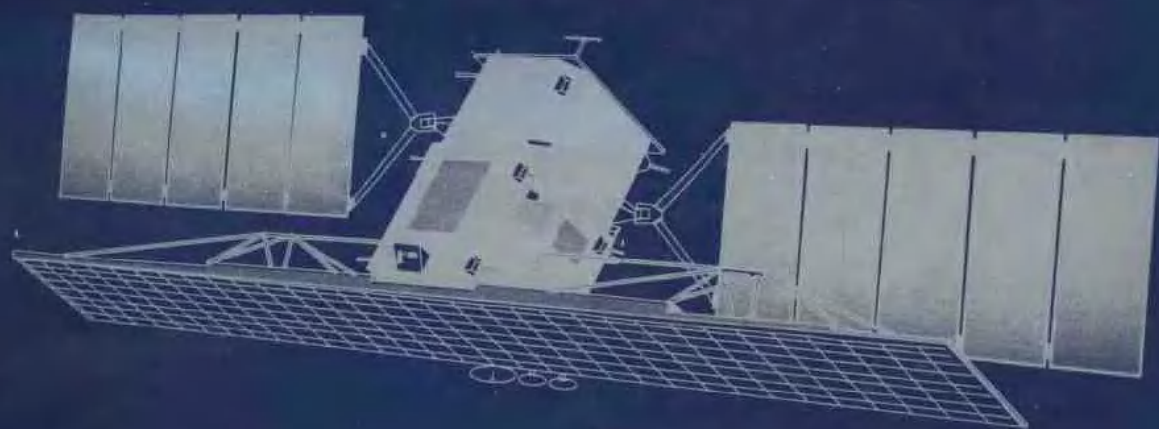


星载 SAR 图像处理

潘习哲 主编



科学出版社

星载 SAR 图像处理

潘习哲 主编

科学出版社

1996

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书介绍了近年来在星载合成孔径雷达(SAR)图像接收、成像和后处理方面的研究成果。书中还对当前运行中的 ERS-1、JERS 1 和 Radarsat 等 SAR 遥感卫星的图像特性及应用分析方法和处理技术作了较为详细的介绍。

本书可供从事遥感数字图像处理、遥感应用和地学领域的科研人员及大专院校有关专业师生参考。

星载 SAR 图像处理

潘习哲 主编

责任编辑 张建荣

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100071

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1996 年 9 月第 1 版 开本: 787×1092 1/16

1996 年 9 月第一次印刷 印张: 11 插页: 4

印数: 1-600 字数: 261 000

ISBN 7-03-005658-2/TP·681

定价: 25.00 元

主 编：潘习哲

副主编：李传荣 寇连群 唐伶俐

编 委：潘习哲 李传荣 寇连群 唐伶俐

邵贝恩 戴自炘 戴昌达 韦银高

李 安 江 平 王 文 谢 华

肖永新 马亚全 赵克明 王万玉

王智钧

编 辑：张 燕 潘京明

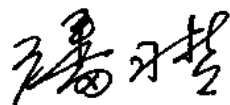
前 言

1995年11月4日,加拿大 Radarsat 卫星顺利升空。经过随后4个月的调整与测试,于1996年3月28日开始投入商业化正式运行。这颗具有7种模式、25种波束成像能力的第一颗高分辨率民用微波遥感卫星的发射成功,标志着星载 SAR 技术已从研究阶段进入实用阶段,由探索步入成熟。可以预见,以该星获取的高质量微波遥感图像为主形成的稳定的全天候、全天时数据源,将会极大促进微波遥感应用的发展,进而为民用卫星对地观测技术在提高分辨率、缩短重复观测周期方面迈出重要的一步。

为了适应先进的遥感技术的发展,满足中国遥感应用对微波遥感数据的需求,中国遥感卫星地面站(中国科学院遥感卫星地面站)从90年代初就开始了星载 SAR 数据的接收与处理技术研究。1993年从加拿大 MDA 公司引进的系统使地面站具备了接收和处理欧空局 ERS-1/2 和日本 JERS-1 卫星 SAR 数据的能力,同时在国防科工委、国家“863计划”308项目组的支持下,我站科研人员围绕形成完善的星载 SAR 产品生产系统和提供良好的 SAR 图像处理服务这一目标做了大量的研究工作。这些研究工作的完成,使中国遥感卫星地面站在星载 SAR 产品生产的规范化和规模化方面迈上了一个新的台阶。

实现对 Radarsat SAR 数据的接收与处理,是地面站星载 SAR 产品系列计划中的又一新目标。在国家科委和国防科工委的支持下,经过长达近两年的准备和谈判,我们已于1996年4月22日与加拿大 RSI 公司和加拿大太空署正式签订了 Radarsat SAR 数据的接收协议,从而使中国遥感卫星地面站成为继英国站、挪威站和新加坡站之后世界上第四个加入 Radarsat 运行网的地面站。现在对接收和处理系统的技术改造正在紧张进行,我们预计在1997年中期向广大用户提供多样化的 Radarsat SAR 产品。

几年前大家更为关注的是 TM 数据的处理和应用;两年前我们开始提供数量有限的 ERS-1/2 和 JERS-1 SAR 数据产品,并与应用界共同探讨 SAR 图像处理的机理、方法和应用潜力;今天,我们开始研究 Radarsat SAR 数据作为光学遥感数据的重要补充,成为在“九五”期间建设运行性地球资源信息系统的不可缺少的数据源。这本论文集集中包括了我们这几年所做的研究工作和取得的成果,记录了几年来地面站科研人员的努力。我们将这本集子奉献给大家,希望能在星载 SAR 数据的应用推广和普及中作出地面站应有的贡献。



1996年5月8日

目 录

SAR 应用中的前期处理	李传荣 (1)
SPECAN 算法在星载 SAR 处理系统中的应用	李传荣 邵贝恩 (6)
星载 SAR 快速处理算法研究及系统总体方案设计	李传荣 李 安等 (12)
ERS 1 遥感卫星数据接收	韦银高 王万玉 (19)
ERS/JERS 遥感卫星数据接收解调技术研究	杨知行 韦银高等 (28)
合成孔径雷达成像系统强度信息研究	肖永新 (37)
ERS 1 SAR 辐射标定研究及 σ^0 图像生成	谢 华 李传荣等 (45)
美国 Washita 地区 ERS-1 SAR 标定研究与结果分析	唐伶俐等 (56)
RADARSAT 标定	唐伶俐 江 平等译 (60)
SAR 和 TM 图像复合中的两级子区域配准方法	李传荣 邵贝恩等 (64)
基于 DEM 的星载 SAR 影像的地理编码纠正及增值产品的生产	王智均编译 (68)
星载 SAR 图像斑点噪声消除方法效果的比较研究	唐伶俐 江 平等 (83)
SAR 与 TM 图像复合处理技术的研究	唐伶俐 江 平等 (89)
Radarsat 数据在农业和水文方面的应用潜力	江 平 唐伶俐等编译 (96)
建立以 SAR 为主的多卫星防洪遥感信息系统的设想	戴昌达 唐伶俐等 (113)
星载 SAR 估测土壤湿度的试验研究	唐伶俐等 (117)
多时相 SAR/TM 复合在加拿大圣·克勒尔湖区湿地监测中的应用	王 文译 (123)
加拿大 RSI 公司 Radarsat 微波遥感卫星数据产品简介	寇连群 戴自圻等 (129)
ERS 1 SAR 成像方式与产品特性	李 安 王 文等 (147)
JERS-1 SAR 数据分幅	李 安 谢 华 (154)
JERS-1 SAR 成像方式与产品特性	李 安 王 文等 (161)
JERS 1 SAR 的存档数据管理与用户服务系统	邵贝恩 马亚全等 (168)

SAR 应用中的前期处理

李传荣

(中国科学院遥感卫星地面站)

摘要: 针对目前 SAR 信号处理后数字产品的辐射和几何特性, 讨论了各应用领域对 SAR 辐射和几何精度的要求, 从而提出了为尽可能充分提取 SAR 数字图像中的有用信息, 在 SAR 应用前必须进行图像前期处理的思想。文中给出了合理的技术处理路线, 重点分析了辐射标定的方法, 讨论和比较了不同滤波器、不同窗口大小对图像产生的不同处理效果, 并给出了不同应用目的对窗口大小的优化选择。

一、综 述

从获取地面后散射信号到最终提取应用信息, SAR 图像要经历比光谱类遥感影像更为复杂的技术处理, 整个过程按其目的之不同可分为三个大步骤: 信号处理、图像处理和应用信息提取。

信号处理的目的是成像, 即用某种算法将输入的信号数据沿距离向和方位向分别进行压缩运算而得到图像。由于在本质上两个方向的处理是不可解耦的, 那些将二维一次转换为一维两次处理的算法都带有不同程度的近似性质, 从而导致图像在辐射能量、几何形状、定位以及相位存在不同程度的误差。考虑到 SAR 成像处理的复杂性、处理速度以求能得到可操作运行的处理系统, 上述误差目前还难以避免。也是因为上述原因, 针对 ERS-1 SAR 和 JERS-1 SAR 设计的世界上大多数地面处理系统, 都没有对 SAR 图像进行严格的辐射标定和几何纠正, 甚至没有进行地理投影变换, 只是将图像放置在斜距或地距两种平面上。这是 SAR 地理参考类产品与 TM 或 SPOT 等光谱类遥感图像地理参考类产品间的根本区别。

这类 SAR 图像产品能够满足多数目视判读的要求。但若要对其进行数字分析以达到定量应用之目的, 就必须在应用前进行辐射标定、几何纠正 (包括 DEM 纠正)、散斑噪声去除等图像处理。这些处理有别于不同应用目的的应用处理, 具有通用性, 故称之为 SAR 应用中的前期处理。

辐射定标对 SAR 应用的重要性是显然的, 它将直接影响对 SAR 图像的数字识别或分类的精度。据国外科学家们的研究 (R. J. Brown 等, 1993), 不同应用对 SAR 辐射定标精度的要求如表 1 所示。

表 1 不同应用对 SAR 辐射定标精度的要求

应 用	农 业	森 林	冰 川	水 文	地 质
相对标定	$\pm 0.5\text{dB}$	0.2dB	$\pm 1\text{dB}$	$\pm 0.5\text{dB}$	$\pm 1\text{dB}$
绝对标定	$\pm 1.0\text{dB}$	0.2dB	$\pm 1\text{dB}$	$\pm 1.0\text{dB}$	$\pm 2\text{dB}$

由表 1 可见,为满足大多数应用研究的要求,相对标定达到 $\pm 0.5\text{dB}$ 和绝对标定达到 $\pm 1\text{dB}$ 的辐射精度是需要的。由于信号获取和处理过程的复杂性及处理增益的稳定性问题,上述指标是很难实现的。解决这个问题需从两方面着手,一是地面站尽快推出辐射标定类产品,二是用户根据各自的应用目的进行局部的辐射定标处理。

SAR 几何纠正的两项主要内容是地理编码变换和 DEM 纠正。所要达到的目的,已不仅是出于纯几何方面的考虑。根据应用的要求,需纠正由地形起伏引起的斜距成像导致的收缩和叠掩变形;通过几何纠正使得 SAR 能与不同传感器、不同时相遥感图像进行配准而达到复合使用的目的;此外,还可纠正地形变化对 SAR 后散射的影响(Thomas Bayer 等, 1991; Jakob J. Van Zyl, 1993)。因而对于许多地区的 SAR 应用,几何纠正尤其是 DEM 纠正处理是必须要进行的。

散斑噪声是 SAR 应用中的难点。目前去除这类噪声的方法有两种,即采用多视处理方法进行信号处理和对图像进行滤波。对于星载 SAR 图像产品,经多视处理后仍然存在相当比例的噪声信息。C. Gosselin 和 R. J. Brown 的研究指出对 4 视、8 视和 16 视 C 波段 SAR 数据,滤波后和滤波前的信号方差比相应于植被分别为 0.64, 0.66 和 0.72。该结果说明,增加处理中的多视数能起到降低散斑噪声的作用,但经多视处理后的 SAR 图像,仍然存在约 30% 的噪声信息。由此可见,对 SAR 图像产品进行滤波处理,是提高 SAR 图像分类精度不可缺少的手段。

目前运行的星载 SAR 传感器均工作在单频率、单极化模式。由于受分辨率的限制和散斑噪声的影响,单时相 SAR 图像很难得到好的应用效果。多时相 SAR 和其他传感器遥感图像的复合应用是目前较为实际的工作路线。对于多时相 SAR 应用的前期处理,除需参考辐射、几何纠正的要求外,还需考虑到环境因素的影响,以及针对不同应用目的对 SAR 时相的优化选择。

二、技术路线

由前章所述, SAR 应用的前期处理包括辐射定标、几何定标和散斑噪声去除。在确定技术处理路线时,应考虑两方面的因素:

- 1) 处理效率
- 2) 处理精度

由于 SAR 的滤波处理要伴随分辨率的降低并带来边缘信息的模糊,从而增加控制点选取的难度和降低几何定标的精度,所以散斑噪声的去除应在几何定标之后进行。辐射定标需对图像每点亮度值进行运算。为了避免不必要的信息丢失,输出 σ 图像的数字动态范围一般为 32bit/点,这意味着需占用较多的存储空间,故应尽量减少对不必要的数据进行处理。另外在实际工作中,往往需要对工作区域图像有一大致了解。由此,一个合理的处理路线如图 1 所示。

三、分 析

1. 辐射标定

考虑到处理系统增益稳定性因素, T. L. Lukowski 提出了星载 SAR 数字产品的辐

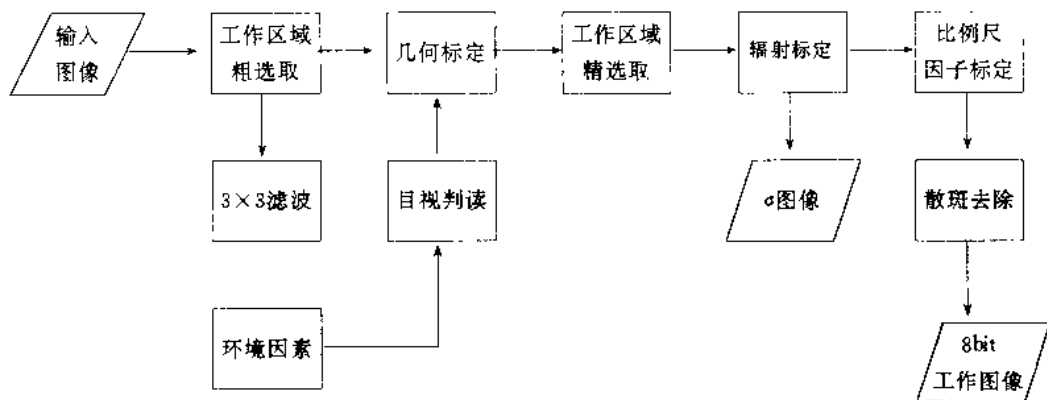


图 1

射标定算法 (T. L. Lukowski 等, 1993):

$$\sigma_{dB} = I_{dB} - K_{dB} + \beta + \Omega - P + G \quad (1)$$

式中, $I_{dB} = 10 \lg I^2$, $K_{dB} = 10 \lg K$, $P = 10 \lg (g^2(\theta))$, $\beta = 10 \lg \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_{ref}}$,

$$\Omega = 10 \lg \frac{R^4}{R_{ref}^4}, \quad G = 10 \lg \frac{G_{syn0}}{G_{sys}}.$$

对 β , Ω , P , G 诸项的处理属于相对标定的范围。目的是消除 SAR 图像由各因素引起的辐射变形。 β , Ω 可由数字图像产品带头文件中相应地理几何参数算出; 天线方向图由卫星飞行管理机构给出。由于卫星的运行非常稳定, 认为方向图不随时间发生变化的假设对于星载 SAR 产品的标定应是合理的。系统增益是用户进行标定的难题之一, 除非地面站系统对产品进行该项纠正, 否则忽略此项将引入 $\pm 0.5 \sim \pm 1 \text{ dB}$ 的误差。

K 值的准确与否, 对于大多数不建立 SAR 应用模型研究而只限于应用的用户来说, 并不是十分重要的。为使得多元图像间有可比性, 可采用将其相对定义在一稳定可靠的尺度上。南方的森林是较好的分布目标信号源, 以此做为定标尺度, 得到广义绝对定标常数为:

$$K'_{dB} = I_{dB} + \beta + \Omega + P \quad (2)$$

将式(2)代入式(1), 忽略 G 项的影响,

$$\sigma_{dB} = I_{dB} - K'_{dB} + \beta + \Omega + P \quad (3)$$

式(2)和式(3)则组成了用户可实现的广义定标公式, 经广义标定处理后的图像精度可在 $\pm 2 \text{ dB}$ 以内。

2. 几何标定

几何标定的直接目的是消除图像的几何变形。它的应用目的则是使得多时相 SAR、多传感器遥感信息能互相匹配, 使 SAR 数据在多元信息分析中起到作用, 同时也可提高 SAR 数据本身的应用效益。作者在加拿大的研究工作 (C. Li, B. Brisco 等, 1994) 表明, 单景 ERS-1 SAR 数据对于地物的识别与分类应用难以得到好的效果。因此, 鉴于目前星载 SAR 多为单极化、单频率工作模式, 多时相 SAR 的应用及 TM 或 SPOT 的复合

是比较现实的应用手段。由此而得出的结论就是,在 SAR 应用中,DEM 纠正是非常重要且在大多数地区是必须进行的。

3. 散斑噪声去除

散斑噪声去除在星载 SAR 应用中是一个十分突出的问题。基于对 SAR 的这种相干噪声采用均值为 1、满足高斯分布或负指数分布规律的统计假设,目前已有不少去除噪声的自适应滤波算法。这些滤波算法的共同特点是,在去除噪声的同时,也不同程度地模糊了图像的边缘信息。C. A. Hutton 和 R. J. Brown 曾对各种算法进行了实验 (C. A. Hutton 和 R. J. Brown, 1989),均值滤波器和中值滤波器有非常好的滤波效果,对 3×3 窗口,标准偏差的减少达 40% (中值) 和 45% (均值) 以上,但也带来明显的边缘信息丢失。F 滤波展示了一种不协调的现象, 7×7 窗口的滤波的方差减少效果约为 37%, 9×9 窗口却降低到 26%。L 滤波器虽然噪声去除效果不如前几种滤波器突出,但它在去除噪声的同时也较好地保持了边缘信息,且处理结果稳定,是目前应用较为广泛的 SAR 图像滤波算法。

滤波窗口大小的不同,也会影响滤波后的图像效果。大多数滤波器, 3×3 窗口滤波方差减少的变化最大,至 7×7 窗口后,变化曲线趋于平缓。除非有特殊的要求,一般来讲 3×3 窗口滤波用于目视判读, 7×7 窗口滤波用于数字分析是一种较好的选择。

四、结 语

SAR 图像的有效应用,需要做许多前期处理工作。这是 SAR 后散射能量图像的特点所决定的,也是应用结果可靠性、准确性和可比性的基础。文中提出的技术路线和广义辐射定标的方法,以及根据作者的工作经验对各处理步骤所作的分析,可供用户在工作中参考。

参 考 文 献

- [1] C. A. Hutton, R. J. Brown, "An Evaluation of Filter Types and sizes", *Teledetection et Gestion des Ressources*, Vol. VI, 1989
- [2] Thomas Bayer, Rudolf Winter and Gunter Schreier, "Terrain Influences in SAR Backscatter and Attempts to their Correction", *IEEE Transaction On Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 29, No. 3, May 1991
- [3] H. Laur, "ERS-1 SAR Calibration: Derivation of Backscattering Coefficient σ in ERS-1 SAR PRI Product", ESA Report, ESRIN, Frascati, Italy, 1992
- [4] T. L. Lukowski, R. St-Jean, R. K. Hawkins, K. J. Draper, P. L. Hamin, R. Z. Moucha, T. C. Khandelwal, "ERS-1 SAR Calibration Studies", *Proceedings of CEOS SAR Calibration Workshop*, Sept., 1993
- [5] Lars M. H. Ulander, "Theory of SAR Radiometric Calibration", ISSN 1100-5564, Research Report, No. 167, 1990
- [6] R. J. Brown, B. Brisco, F. J. Ahern, C. Bjerkelund, M. Manore, T. J. Pultz and V. Singhroy, "SAR Application Calibration Requirements", *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, No. 3, 1993

- [7] C. Li, B. Brisco, R. J. Brown, J. Wang and J. McDonald, "SAR/TM Wetland Identification in the Lake St. Clair Delta", to be Published

SAR Application Processing

Li Chuanrong

(China Remote Sensing Satellite Ground Station)

May, 1995

Abstract

According to characteristics of SAR digital product the requirements for accuracy of radiometry and geometry are discussed based on application request. An optimal technical route for SAR application processing is given in order to extract useful information from SAR data.

SPECAN 算法在星载 SAR 处理系统中的应用

李传荣 邵贝恩

(中国科学院遥感卫星地面站)

摘要: 本文给出了 Radarsat SAR 工作特点及对处理系统的要求, 分析了 SPECAN 算法的计算效率并讨论了其在星载 SAR 成像处理中的作用和实现的可行性。

一、背景

众所周知, 于 1995 年 11 月发射的加拿大 Radarsat 卫星有 7 个工作模式并按其不同入射角和辐照宽度可选择多达 25 种波束。这种多波束 SAR 数据的获取, 由于其分别对应的不同入射角、不同后散射信号强度、不同分辨率、不同时间覆盖周期和不同的成像几何, 将在遥感应用的不同领域相互补偿, 充分发挥各自的作用。

显然, 这种多模式、多波束工作方式, 给地面处理系统的研制带来了很多困难。仅装有一种固定算法的 SAR 处理器, 就难以适应对这多种有着不同特点的数据完成其成像处理任务了。一般认为, 对于单波束模式, 多选取 Range Doppler 算法以达到较好的成像质量和较有效的计算机处理速度的要求。对于 ScanSAR 这种多波束获取的数据, 考虑到其所要达到的短周期地面动态监测之目的及其对分辨率不太苛刻的要求, 寻求一种简单、快速而有效的算法则是必然的选择。另外, 作为 SAR 产品生产系统, 应具备目录存档、查询和快视图像生产的能力, 而快视图像的处理特点, 就是损失一些分辨率以求得快速成像, 故其对算法的要求, 与 ScanSAR 的处理是一致的。SPECAN 算法, 利用了线性调频信号的特点, 通过去斜技术将信号变为等频再经频谱分析实现成像, 整个过程简单, 易于设计和实现, 并且计算量小, 对于低分辨率 SAR 成像处理, 尤为快速有效。可以预见, 该算法在快视图像和 ScanSAR 图像处理中, 有很乐观的应用前景。对此算法的详细分析和应用潜力的评估, 将在本文第三和第四部分中给出。

二、Radarsat SAR 的工作特点及其对处理系统的要求

为了满足 Radarsat SAR 多模式、多波束工作方式获取数据的特殊要求, Radarsat 卫星有较之 ERS-1 和 JERS-1 很不相同的工作特点。而这些特殊工作方式, 又对目前运行的星载 SAR 处理系统提出很多新的要求。

1. Radarsat 特点

- 天线波束入射角在常规模式下 20° — 50° 可调; 并根据特殊要求, 可实现超高 (50° — 60°) 及超低 (10° — 20°) 入射角照射;
- 为用于南极地区成像, 可实现左侧视照射;

- 数据采集时间可达 28 分钟/轨道，大约是目前 ERS-1 和 JERS-1 数据采集时间的两倍以上；
- 为了满足长时间采集数据对能量的要求，采用了与目前所有资源卫星非常不同的 Dawn-Dusk 运行轨道，过赤道时间为当地时间 6:00。

2. Radarsat SAR 工作模式

SAR 模式	辐宽 (km)	分辨率 (m) (距离×方位)	入射角 (deg.)
标准模式 (7 种波束)	100	25×28	20—50
宽辐模式 (3 种波束)	150	25×28	20—40
高分辨模式 (5 种波束)	50	11×9	37—48
窄辐 ScanSAR (2 种波束)	300	50×50	20—40
宽辐 ScanSAR	500	100×100	20—50
超高入射角模式 (6 种波束)	75	25×28	50—60
超低入射角模式 (1 种波束)	75	25×28	10—20

3. Radarsat SAR 对处理系统的特殊要求

- Radarsat Dawn-Dusk 轨道需要特殊的轨道模化算法；
- Radarsat 卫星没有偏航角变化补偿装置，从而要求处理算法能处理具有大斜视角 (Squint Angle) SAR 信号；
- 可处理右视和左视两种不同照射方式；
- 可对多种波束 SAR 数据进行不同的特殊补偿；
- Radarsat 能使用不同的 chirp 信号和不同的距离采样频率，所以 SAR 处理器必须能根据所选择的 chirp 信号和距离采样频率计算相应的处理参数；
- Radarsat 辅助数据中不包含有距离行数，从而 SAR 处理器应有特殊算法以检测数据缺行；
- 能够处理 ScanSAR 数据，处理器必须解决：
 - 多波束成像间的配准；
 - 波束间重叠区数据的辐射校正；
 - 适用于 500km 辐照宽度 SAR 数据的处理算法。

三、SPECAN 算法

SPECAN 算法是一种时域和频域的混合算法。归纳来说，基本的 SPECAN 算法包括如下两个步骤：

- 1) 在时域中用与 SAR 信号调频速率相同但反相变化的线性调频参考信号和 SAR 信

号相乘, 将原调频信号变为等频信号;

2) 各等频信号在频率上的偏移, 对应于不同地面目标点照射的时间差异, 从而再通过快速傅里叶变换, 即可将某一特定时间目标信号的谱能量分离和集中, 完成信号的压缩处理。

设目标信号为

$$S(t) = \exp[-i\pi k(t - m\Delta)^2], \quad m\Delta - T/2 \leq t \leq m\Delta + T/2 \quad (1)$$

式中 T 为时间孔径, k 为调频速率, Δ 为数据采样间隔, 则输入数据目标点位置为 $t_0 = m\Delta$ 。据式 (1), 设参考信号为

$$S^*(t) = \exp[i\pi k(t - n\Delta)^2] \quad (2)$$

显然, $n\Delta$ 是参考信号工作位置, 让 $t = k\Delta + n\Delta - T'/2$, 则式 (1)、(2) 分别被转化为离散时间表达式, 将两式相乘得:

$$S(k)S^*(k) = \exp[i\pi k(2K\Delta^2(m - n)) + i\varphi] \\ k = 0, 1, \dots, T'/\Delta - 1 \quad (3)$$

$$\varphi = \pi k \left[(-m^2\Delta^2 - T'\Delta m) + \left(-n^2\Delta^2 + \sum_0^{T'/\Delta-1} T'\Delta n - 2mn\Delta^2 \right) \right] \quad (4)$$

上式中 T' 是将对输入信号进行 FFT 的长度。对式 (3) 进行 FFT (为简单, 此处假设权函数为 1), 则有

$$S(q) = \sum_0^{T'/\Delta-1} S(k)S^*(k) \exp[-(2\pi i\Delta/T')kq] \\ = \exp(i\varphi) \exp[i(T'/\Delta - 1)(\pi\Delta(k\Delta(m - n)q/T'))] \\ * \sin[\pi T'(K\Delta(mn) - q/T')]/[\pi T'(K\Delta(m - n) - q/T')] \quad (5)$$

输入信号的位置为

$$q = (m - n)\Delta KT' \quad (6)$$

至此, 我们已经在数学上完成了对一个点目标信号的压缩。为便于比较, 假定都已经经过距离向压缩后的数据出发, SPECAN 和 Range/Doppler 算法的功能框图如图 1 所示。图 1(a) 为 SPECAN 算法, 图 1(b) 则对应 Range/Doppler 算法。通过上述分析和比较, 我们至少可以得出这样的结论:

- SPECAN 算法较 Range/Doppler 算法少了一次反向 FFT 运算, 从而运算时间将会缩短;
- 由于 SPECAN 没有校正 2 次距离弯曲, 从而成像质量比 Range/Dopple 要差;
- 对于低分辨率成像处理, SPECAN 算法应是有效的。

当然, 由式 (6) 可知, SPECAN 算法的输出位置与输入信号的调频速率有关, 从而导致输出速率的变化, 因此需要重采样处理, 这对快速成像是一不利的因素, 在设计中需根据输入数据的性质和输出图像的质量要求加以考虑。

四、应用前景评价

就其原理而言, SPECAN 是一种成熟的算法, 在许多文献中都有关于此算法的详细描述。这里重提这种算法, 其目的主要是通过对该算法的分析, 研究它的计算效率及其实现的可行性和使用价值, 从而探讨其在星载 SAR 处理系统中的应用前景。

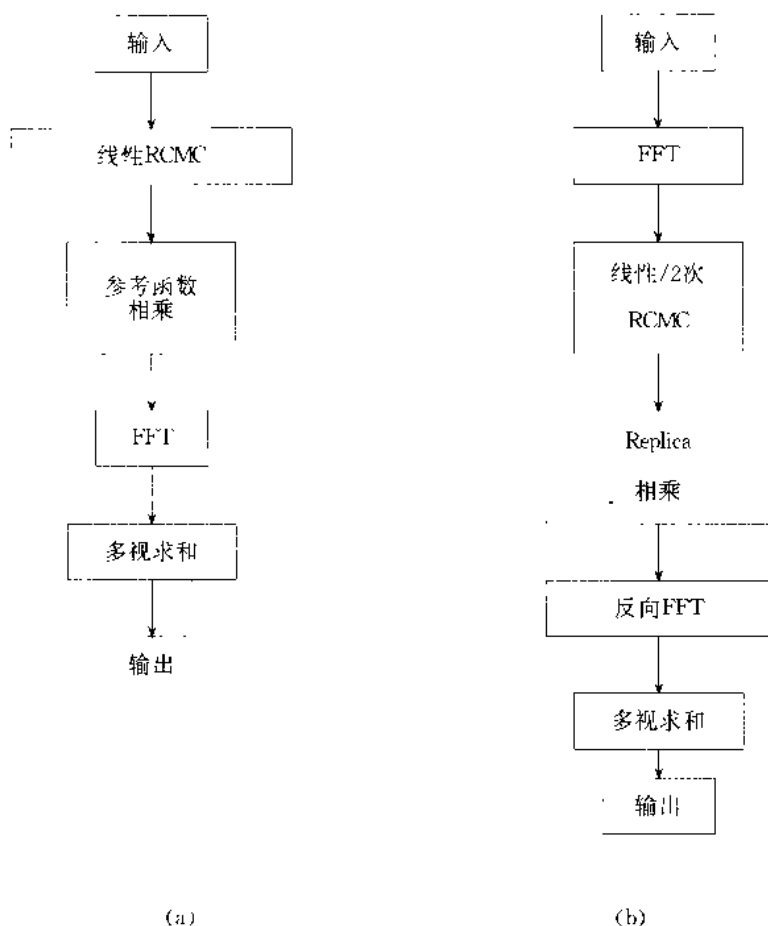


图1 SPECAN和Range/Doppler算法的功能框图

1. 计算效率

由上面的分析, 用 SPECAN 算法进行方位向压缩需经历下列步骤:

- 方位向参考函数生成
- 参考函数相乘
- FFT 运算
- 输出数据重采样

假定方位向处理块长度为 $\hat{N}_{az}$, 参考函数距离向更新间隔为 n_r , 考虑到多块处理, 其处理效率为 g_b , 则对每个采样点需进行的运算次数为:

$$C_{SA}^M = [7/n_r + 51\log\hat{N}_{az} + 34]/g_b \quad (7)$$

用距离多普勒算法, 由于方位向的运算都在频域内进行, 并多了一次反向 FFT 运算, 每个采样所需的运算次数为:

$$C_{RD}^M = [(10 + 5/n_r)\log_2 N_{az} + 20 + 7L_{az}/(N_{az}n_r)]/g_s \quad (8)$$

式中, L_{az} 为全分辨率孔径长度。由式 (7)、(8) 可见, 仅在方位向的压缩运算, SPECAN

算法比距离多普勒算法节省约 2/3 的计算量。

2. 实例

我站目前接收处理的 ERS-1 SAR 数据, 特征参数为: $f_p = 1679\text{Hz}$, $\lambda = 0.057\text{m}$, $R \approx 850\text{km}$, $L_a \approx 10\text{m}$, $V_a \approx 7500\text{m/s}$, $f_s = 15.55\text{MHz}$, $|f_R| \approx 2150\text{Hz}$, 考虑全分辨率计算, 取 $g_t = 0.8$, $g_a = 0.5$, 可算出

$$\hat{N}_{az} = L_{az} = 1024, N_{az} = 2048$$

代入式 (7), (8) 可得:

$$C_{SA}^M = 108 \text{ Flops/sample}$$

$$C_{KD}^M = 290 \text{ Flops/sample}$$

3. 应用前景

前两节的分析, 没有对 SPECAN 算法中参考函数相乘后等频信号在时间频率坐标系中呈平行四边形对 FFT 的影响加以考虑, 实际上它将使 SPECAN 的运算次数增加从而削弱这种算法在高分辨率图像处理中的有效性。但若仅考虑只需粗分辨率的快视产品处理, 前面的比较就很有实际意义。事实上, 考虑到与 TM 快视产品 (约 400m 分辨率) 相匹配, 100m 或更粗些的分辨率对于 SAR 快视产品应是可接受的。利用子孔径处理技术和粗分辨率数据输入时的跳跃, 并兼顾距离向同类处理, 快视产品的生产时间为标称产品生产时间的十分之一的指标是可望达到的。

一般地讲, 由于受 SAR 传感器每轨工作时间的限制, 分配给每个地面站接收的时间往往是很短的, 有时短至 1 分钟左右。每一景时间大致为 10—15 秒钟。我站从加拿大引进的系统处理一景 SAR 约需 90 分钟, 其中压缩运算时间约为 70—75 分钟, 这样, 将 1 分钟数据全部处理约需 540 分钟即 9 个小时。考虑到其他星的处理任务, 作为一个生产系统就很难满足用户的紧迫需要了。因此建立一个快视系统应是十分有意义的。

对于 Radarsat ScanSAR 500km 辐宽数据的处理, SPECAN 算法是最好的选择。加拿大 MDA 公司已把这种算法作为 Radarsat 处理系统的三种主要算法 (SPECAN, Range/Doppler, Chirp Scaling) 之一。可见, SPECAN 算法在未来星载 SAR 处理系统中将有非常乐观的应用前景。

参考文献

- [1] M. Sock, M. R. Ito, and I. G. Cumming, "Application of efficient linear FM matched filtering algorithms to synthetic aperture radar processing", IEEE Proceedings, Vol. 132, Pt F (1), pp. 45-57, Feb. 1985
- [2] John R. Bennett, I. G. Cumming, and R. M. wedding, "Algorithms for preprocessing of satellite SAR Data", pp. 439-446, Proceedings of the ISPRS Commission II Symposium, Ottawa, Canada 1982
- [3] Richard Bamler, "A systematic comparison of SAR focussing algorithms", pp. 1005-1009, Proceedings of IGARSS, 1991
- [4] B. C. Barber, "Theory of digital imaging from orbital synthetic aperture radar", INT. J. Remote Sensing, 1985, Vol. 6, No. , 1009-1057

- [5] John C. Curlander, Robert N. McDonough, "Synthetic Aperture Radar: System and Signal Processing", A Wiley-Interscience publication, 1991
- [6] 张澄波, 综合孔径雷达: 原理, 系统分析与应用, 科学出版社, 1989

Application of SPECAN Algorithm in space born SAR Processor

Li Chuanrong Shao Beien

(China Remote Sensing Satellite Ground Station)

Abstract

The Characteristics of Radarsat SAR and the requirements for processor are given. Efficiency of SPECAN algorithm is analysed. Last the usability and implementation of the algorithm for spaceborn SAR Signal Processing are discussed.