

国家自然科学基金项目 (49871069)

教育部博士点基金项目 (97029005)

江苏省高校自然科学研究计划项目 (05KJB420133) 资助

多源多时相卫星遥感图像 数据融合与应用研究

胡召玲 著

Data Fusion and Application Research on
Multi-source and Multi-temporal
Satellite Remote Sensing Images

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

国家自然科学基金项目(49871069)

教育部博士点基金项目(97029005)

江苏省高校自然科学研究计划项目(05KJB420133)资助

多源多时相卫星遥感图像 数据融合与应用研究

**Data Fusion and Application Research on Multi-source
and Multi-temporal Satellite Remote Sensing Images**

胡召玲 著

中国矿业大学出版社

内容简介

本书介绍了地球资源卫星遥感图像的获取及特性,针对 Radarsat 卫星合成孔径雷达(SAR)图像高空间分辨率、多斑点噪声的特点,在分析了斑点噪声统计特性的基础上,提出了利用一些非线性理论——小波及小波包分析和非线性软门限理论抑制 SAR 图像的斑点噪声。提出了基于小波分解的多尺度纹理信息和 BP 神经网络分类器实现 SAR 图像的自动信息提取。针对 SAR 图像高空间分辨率和 TM 图像多光谱的特点,在对两者进行几何配准的基础上,发展了颜色变换法、标准小波变换法、小波变换与 IHS 相结合的方法实现图像像元水平的数据融合。在此基础上,利用多源多时相卫星遥感图像监测了徐州市的煤矿区地表塌陷、城市扩展和土地利用的时空变化情况,对引起城市扩展和土地利用变化的驱动力进行定量分析,并为实现该市社会经济的可持续发展提出意见和建议。

本书可供遥感图像处理及其应用、信息融合领域的广大科研人员参考,也可作为高等院校相关专业研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

多源多时相卫星遥感图像数据融合与应用研究/胡召玲著. —徐州:中国矿业大学出版社,2006.12
ISBN 7 - 81107 - 441 - 9

I. 多… II. 胡… III. 地球资源卫星—遥感图像—图像处理—研究 IV. TP751

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 162021 号

书 名 多源多时相卫星遥感图像数据融合与应用研究

著 者 胡召玲

责任编辑 潘俊成

责任校对 张海平

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×960 1/16 印张 11.5 插页 4 字数 224 千字

版次/印次 2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

定 价 30.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

卫星遥感以其效率高、费用低和周期性的监测特点,成为目前对地观测的主要手段。进入 21 世纪以来,新型星载传感器不断涌现,微波遥感、高光谱遥感迅速发展,遥感数据的空间分辨率、时间分辨率及光谱分辨率普遍提高,遥感的综合应用不断深化。

本书以卫星遥感图像的获取、图像处理、图像的计算机自动信息提取、多源遥感图像的数据融合、卫星遥感的应用及研究展望为主线,具体内容如下:第 1 章主要介绍了国内外研究现状及存在问题;第 2 章介绍了多种传感器遥感图像的获取及其特性;第 3 章、第 4 章、第 5 章分别对 SAR 图像斑点噪声的抑制、SAR 图像的计算机自动信息提取、SAR 图像与 TM 图像的数据融合进行了研究;第 6 章、第 7 章、第 8 章对多源多时相卫星遥感在煤炭城市的煤矿区地表塌陷、城市扩展和土地利用变化等方面进行了应用研究;第 9 章是结论与展望部分。

本书是在作者的博士学位论文的基础上,加上近几年的科研成果经进一步加工而完成的。在攻读博士学位期间,导师郭达志教授虽然工作繁忙,但对我的论文指导工作却是一丝不苟,从论文的选题、进展到成稿无不凝聚着导师的心血和智慧。导师渊博的知识、严谨治学的科学态度、崇高的敬业精神和对我的谆谆教诲,使我受益匪浅,并将永远激励我奋发向上。在三年的学习生活中,郭老师和林克仁师母不仅在学业上给予我无尽的关怀和指导,而且对我的生活及今后的工作也给予了无微不至的关心和帮助,值此书出版之际,谨向他们表示衷心的感谢!

在研究过程中,得到了南京师范大学盛业华教授、中国矿业大学陈龙乾教授、杜培军教授、张海荣副教授和西南师范大学周廷刚教授的帮助和指导!还得到了唐宏硕士、赵小虎硕士、闫志刚博士、宋金铃硕士的帮助!在此一并表示诚挚的谢意!

中国矿业大学环测学院的韩宝平教授、张国良教授、高井祥教授、邓喀中教授对论文提出了许多中肯的意见和建议,在此也向他们表示感谢! 特别感谢徐州师范大学城市与环境学院这几年对我学习和工作的支持,感谢朱传耿院长的帮助和支持!

本著作的出版还获得了国家自然科学基金项目“基于遥感和 GIS 的徐淮矿区陆面演变和城市变迁研究”(49871069)、教育部博士点基金项目“卫星遥感矿区应用的关键理论和技术研究”(97029005)、江苏省高校自然科学基金研究计划项目“基于遥感的徐州市土地利用时空变化分析”(05KJB420133)的资助。

著 者

2006 年 5 月

ABSTRACT

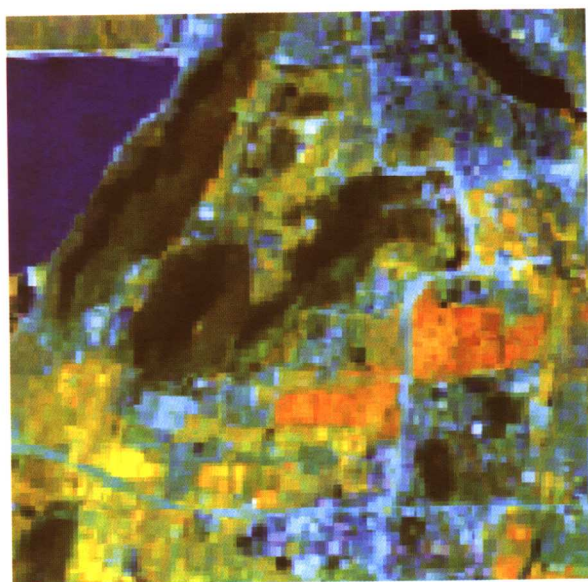
Radar remote sensing technique is an important frontier field for the earth observation owing to its peculiarity of all weather and all time. Speckle in SAR image is caused not by the result of natural character of the earth's surface and electromagnetic wave but the process for coherent signal. Speckle makes it difficult to interpret image visually and extract interested information from SAR image. Consequently, it is of scientific significance and practical value to research speckle restraint and information extraction of SAR image.

SAR image is of high spatial resolution, and TM image is multi-spectral although spatial resolution is low. It is necessary to combine SAR image and TM image in order to speed up the application of satellite remote sensing.

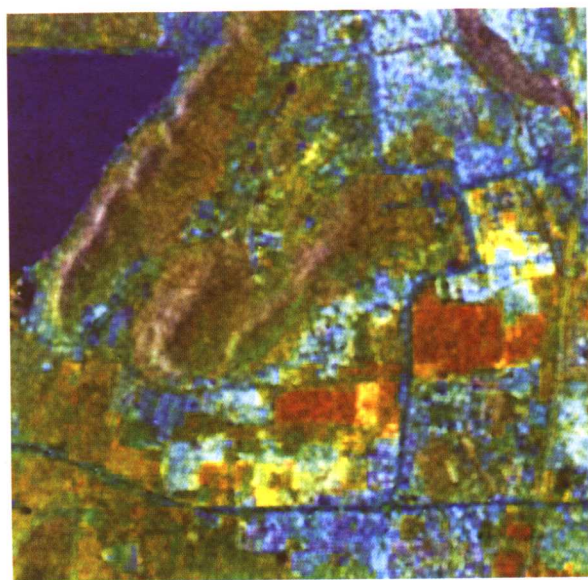
Xuzhou city is a typical mineral industrial city in developing economy and transportation. The research on city expansion and land subsidence is required for city development.

In this thesis, the statistical property of SAR image speckle is analyzed and some of the nonlinear sciences - wavelet and wavelet packets analysis and nonlinear soft - threshold theories are applied to restrain speckle. Multi-scale textural information of SAR image is extracted based on wavelet decomposition and it is particularly suitable for extracting information of object oriented from image. A theory and method is presented to realize automatic information extraction of SAR image on the basis of multi-scale textural information and neural network classifier. The experiment shows that the method is effective and can improve classification precision. To combine high spatial resolution SAR image with multi-spectral TM image, such data fusion method as color transformation, standard wavelet transformation and the combination of wavelet transformation with IHS are developed after geometrical registration for multi-source images. In addition, a new fusion theory and method based on extraction of multi-scale wavelet textural information and principle component analysis is developed. The quality of fusion image is quantitatively evaluated and the result shows that the new data fusion method is feasible and rational.

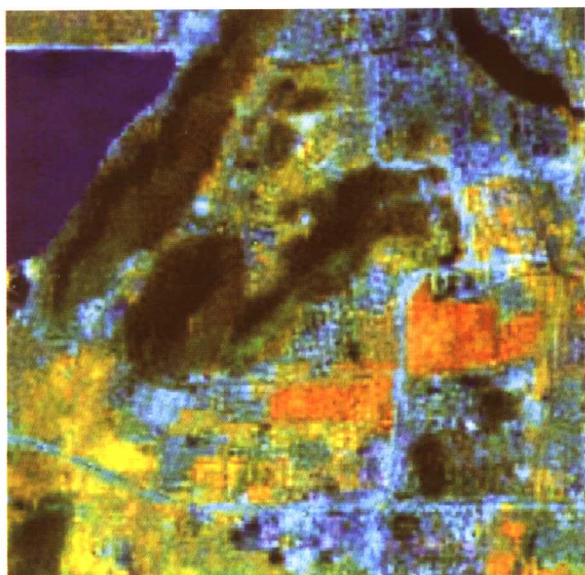
As a result, the city expansion, coal mining subsidence and spatio-temporal changes of land use in Xuzhou city are monitored and analyzed based on multi-source and multi-temporal satellite remote sensing images. Our research can be utilized to direct planning and urbanization of Xuzhou city.



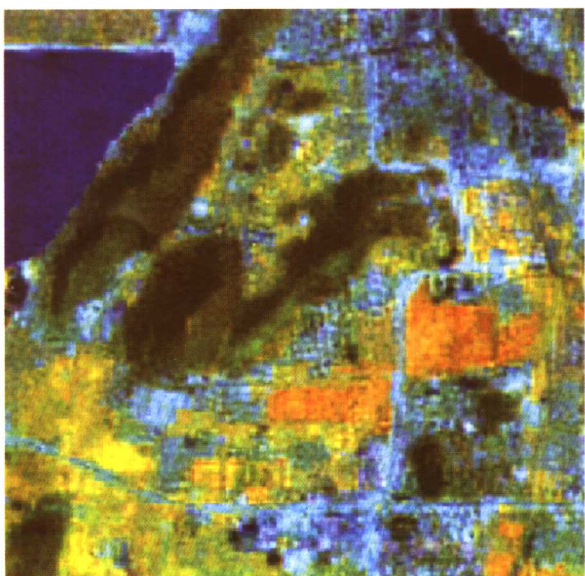
彩图1 融合前TM图像



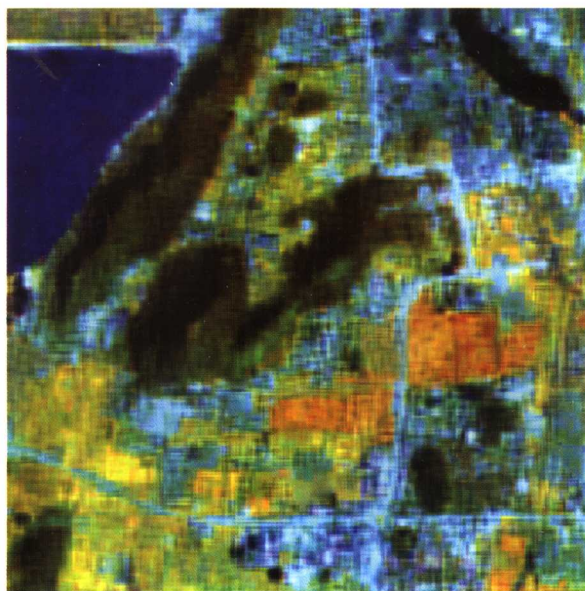
彩图2 颜色变换法融合图像



彩图3 标准小波变换法融合图像



彩图4 小波变换与IHS相结合法融合图像



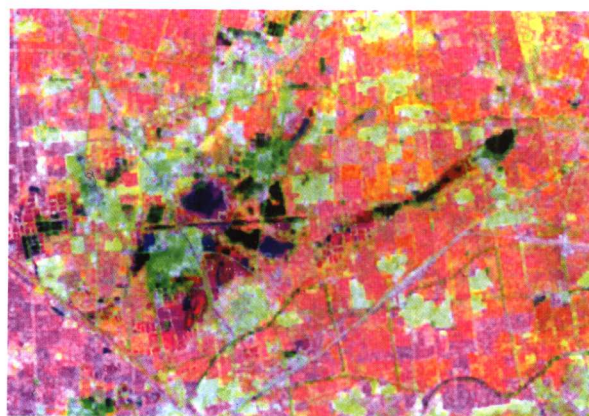
彩图5 基于小波纹理特征法融合图像



彩图6 基于小波变换与IHS法的ETM+融合图像



彩图7 IHS法融合的ETM+图像



植被1 植被2 建筑区 原有塌陷区1 原有塌陷区2 新增塌陷区

彩图8 矿区复合图像

目 录

1 绪论	1
1.1 研究的目的是和意义	1
1.2 国内外研究现状及有待解决的问题	2
1.2.1 SAR 图像斑点噪声的抑制	2
1.2.2 星载 SAR 图像信息的提取	3
1.2.3 TM 图像与星载 SAR 图像的多源多时相融合	3
1.2.4 卫星遥感的城市应用研究	4
1.3 主要研究内容及技术方法	5
2 地球资源卫星遥感图像的获取及特性	7
2.1 陆地卫星(Landsat)系列	7
2.1.1 传感器	7
2.1.2 陆地卫星的轨道与覆盖	10
2.1.3 陆地卫星图像的特性	12
2.2 地球观测实验卫星(SPOT)系列	15
2.2.1 SPOT 卫星的轨道特征	15
2.2.2 SPOT 卫星传感器的主要特征	16
2.3 中巴地球资源卫星(CBERS)	18
2.3.1 概述	18
2.3.2 CBERS—1 的轨道特征	18
2.3.3 CBERS—1 传感器	19
2.3.4 CBERS—1 主要产品	19
2.4 高分辨率地球资源卫星(IKONOS)	19
2.4.1 轨道特征	20
2.4.2 传感器	20
2.4.3 主要产品	20
2.5 加拿大雷达卫星(Radarsat)	20
2.5.1 侧视雷达的基本工作原理	21

2.5.2	雷达波长	21
2.5.3	侧视雷达图像的地面分辨率	22
2.5.4	Radarsat 简介及数据获取特点	24
3	星载 SAR 图像斑点噪声的抑制	26
3.1	雷达散射特性	26
3.1.1	后向散射系数	26
3.1.2	雷达图像强度	26
3.2	星载 SAR 图像斑点噪声的形成机理	27
3.2.1	SAR 图像斑点噪声的形成机理	27
3.2.2	SAR 图像斑点噪声的统计特性	27
3.2.3	SAR 图像中的噪声模型	30
3.3	小波变换与小波分析的基本理论	31
3.3.1	小波理论及其应用简述	31
3.3.2	小波变换	32
3.4	利用小波变换抑制 SAR 图像的斑点噪声	40
3.4.1	噪声抑制滤波方法	40
3.4.2	小波分解 SAR 图像中斑点噪声贡献的分析	42
3.4.3	SAR 图像噪声抑制的理论和算法	43
3.4.4	实验分析	45
3.5	基于小波包分解的 SAR 图像斑点噪声滤除	48
3.5.1	小波包的概念和性质	48
3.5.2	信号的小波包分解与分析	49
3.5.3	实验分析	51
3.6	小结	54
4	星载 SAR 图像信息提取	55
4.1	SAR 图像预处理	56
4.2	SAR 图像的地物遥感信息机理分析与解译	58
4.2.1	SAR 图像成像的几何特点	58
4.2.2	雷达图像的信息特征	59
4.2.3	地物后向散射特性与雷达图像的目视解译	60
4.3	SAR 图像的纹理信息提取	64
4.3.1	纹理的概念与雷达图像纹理信息的特点	64

4.3.2	SAR 图像中纹理信息提取的方法	65
4.4	利用神经网络分类法进行图像监督分类	74
4.4.1	遥感图像分类方法概述	74
4.4.2	利用 BP 神经网络进行图像分类	74
4.5	基于小波纹理信息的 SAR 图像分类研究	78
4.5.1	基于小波纹理信息提取的 SAR 图像分类算法	79
4.5.2	实验分析	79
4.5.3	精度评定	80
4.6	小结	82
5	SAR 图像与 TM 图像的数据融合	83
5.1	概述	83
5.1.1	遥感图像融合的概念和意义	83
5.1.2	多源遥感数据融合方法	85
5.2	SAR 图像与 TM 图像的特点	87
5.2.1	遥感方式、成像机理不同	87
5.2.2	图像的信息特点不同	87
5.2.3	图像空间分辨率的含义不同	89
5.2.4	图像的判读因素、解译标志不同	90
5.3	SAR 图像与 TM 图像的数据融合	91
5.3.1	彩色变换法	91
5.3.2	小波变换法	94
5.4	融合图像分析	98
5.5	融合图像的质量评价	99
5.6	Landsat-7 卫星多光谱图像与全色图像的数据融合	103
5.6.1	Landsat-7 数据简介及多光谱图像波段的选择	104
5.6.2	实验结果与分析	104
5.7	小结	108
6	多源多时相卫星遥感的煤炭城市应用	109
6.1	概述	109
6.1.1	城市化与城市扩展	109
6.1.2	煤矿区的地表塌陷灾害	110
6.1.3	研究区概况	111

6.2	图像的预处理	112
6.2.1	TM 图像的几何纠正	112
6.2.2	TM 图像的大气校正	115
6.2.3	图像间的配准	116
6.2.4	同种传感器不同时相遥感图像的标准化	116
6.3	煤矿区地表塌陷的监测	118
6.3.1	监测方法概述	118
6.3.2	煤矿区概况	120
6.3.3	植被指数差值法	120
6.3.4	影像复合法监测煤矿区的地表塌陷	121
6.4	多源多时相遥感图像在城市扩展监测中的应用	123
6.4.1	卫星遥感的城市影像特征	123
6.4.2	图像的监督分类	124
6.4.3	变化信息的提取	127
6.5	对徐州市发展规划的建议	128
6.5.1	徐州市城市扩展概况	128
6.5.2	实现徐州市可持续发展的对策	130
6.6	小结	131
7	基于遥感的徐州市城市扩展及驱动力分析	132
7.1	研究区概况	132
7.2	主要数据源	132
7.3	遥感图像信息提取	132
7.3.1	多时相遥感图像变化监测方法的选择	133
7.3.2	神经网络分类法提取遥感图像的信息	133
7.4	城市扩展分析	136
7.4.1	各行政区城市扩展的差异	136
7.4.2	城市扩展侵占的土地类型及数量	137
7.4.3	城市扩展的空间特征	139
7.4.4	城市扩展的驱动力分析	140
7.5	结论	142
8	基于遥感的徐州市土地利用时空变化分析	143
8.1	研究区概况	143

8.2 研究方法	143
8.2.1 数据源	143
8.2.2 图像处理	143
8.2.3 土地利用类型的划分	144
8.2.4 土地利用变化指数模型的选择	144
8.3 结果与分析	146
8.3.1 徐州市土地利用结构动态变化信息	146
8.3.2 单个土地利用类型面积变化的变化率分析	147
8.3.3 土地利用动态转移矩阵	148
8.3.4 土地利用程度变化	151
8.3.5 土地利用动态度	151
8.3.6 土地利用变化类型的多度和重要度指数	152
8.3.7 徐州市土地利用变化的空间特征	153
8.4 土地利用时空变化的驱动力分析	155
8.4.1 建设用地增长的驱动力分析	155
8.4.2 煤炭资源的开采和加工是徐州市 土地利用变化的原因之一	155
8.5 小结	156
9 结论与展望	157
参考文献	159
附录	171

1 绪 论

1.1 研究的目的和意义

继 20 世纪 80 年代海洋卫星雷达及航天飞机成像雷达上天之后,进入 90 年代以来,前苏联的金刚石卫星雷达、日本的地球资源卫星雷达、欧空局的欧洲遥感卫星雷达及加拿大雷达卫星相继进入太空,对星载雷达的研究蓬勃发展起来(陈述彭,1998)。雷达遥感是一种主动微波遥感技术,它具有全天候、全天时的对地观测能力和对一些地物的穿透性能。成像雷达主动发射电磁波的特点,对地表粗糙度及介电性质的敏感性,多波段、多极化的散射特性和干涉测量的成像方式等,使雷达遥感成为最重要的对地观测手段之一。研究雷达图像的特点、信息提取的理论和方法具有重要的科学意义和实用价值。

当前,各种对地观测技术所获取的遥感数据具有时间上近似同步的优势,但它们又往往是瞬时的、不连续的,或者在谱段上是非全息性的。为了尽可能使反演结果逼近于自然景观的实况,提高遥感数据的有效利用率,遥感工作者一方面竭力探索多维遥感数据的获取新途径,另一方面则积极研究多源遥感数据融合的新方法,特别是空间平台的多样化组成的立体对地观测网络,遥感仪器的多谱段和多极化使海量数据处理、信息压缩等成为难题。同时,在全球定位系统,地理信息系统与数字通信网络系统等技术支持下,“数字地球”(Digital Earth)完全有可能成为现实,面临 21 世纪社会信息化和空间时代的挑战和机遇,探讨和研究多维遥感与信息融合的机理,无疑是必要的(陈述彭,1998)。

从地球系统科学的角度而言,对地观测,无论是航空遥感还是卫星遥感,研究内容主要涉及两个方面:一是反映空间差异,包括区域内部结构及其与外部的对比;二是揭示区域发展过程,包括自然历史发展过程和社会、经济、人文景观的形成、演化、仿真和预测。这两方面的研究是相辅相成的。

遥感信息在以上两方面研究中的重要作用可以概括为:首先,可以帮助我们解决“从宇宙空间看地球”的难题,提高了人类研究较大空间尺度现象的可能性和能力;其次,还可以帮助我们“从历史的角度看地球”,这一点是通过将遥感信息的时间分辨率和时间序列性与研究对象的规律性认识结合起来进行分析而实现的。从深化遥感信息的应用和促进遥感信息地学分析的发展看,研究的动向

之一是如何充分发挥遥感信息后一方面的重要作用,研究地理现象的时空转换,即以遥感为基础,利用时间差推求空间分布的变化,或利用空间痕迹追溯时间变化的过程(陈述彭,1998)。

社会的发展导致城市化趋势明显,城市化带来一系列问题,资源、环境、人口的协调发展是关系着城市的科学规划、合理开发、持续发展和高效管理的重要问题。这是因为城市化急剧发展,各种建设用地不断扩充,随着时间的延伸而发生巨大变化并引起一系列的矛盾。如何全面了解地区的资源现状,掌握城市的发展变化,查清生态环境的态势,发现存在的问题,提出有效的对策、措施,作出科学的开发利用和可持续发展的规划,进行经济高效的管理,是摆在城市管理者面前的重要任务。

徐州地处我国东部经济较发达、人口稠密、交通发达的地区。自改革开放以来,徐州市的城市化进程发展迅速。本书以徐州市的 TM 图像和 SAR 图像作为主要的数据源,研究了 SAR 图像斑点噪声的抑制、信息提取、SAR 图像和 TM 图像的数据融合等问题,利用多源多时相的卫星遥感图像监测了徐州市的煤矿区地表塌陷、徐州市的城市扩展和徐州市 1987~2000 年土地利用的时空变化情况,并对引起城市扩展和土地利用变化的驱动力进行定量分析。

1.2 国内外研究现状及有待解决的问题

1.2.1 SAR 图像斑点噪声的抑制

对相干斑的抑制技术大体分两类:成像前的多视平滑预处理技术和成像后的滤波技术。后者又可分为空间滤波技术和频域滤波技术。早期的 SAR 成像处理中,大多采用多视处理技术,但随着 SAR 图像应用的不断拓宽,对其空间分辨率的要求不断提高,多视处理技术已不能满足要求,从而以空间滤波技术为基础的图像斑点噪声滤除技术成为高分辨率 SAR 图像处理的主流。20 世纪 80 年代以来,出现了许多图像斑点噪声滤波算法,其中假定噪声模型为乘性或加性(对乘性噪声图像取对数即变成加性),并考虑其统计特性的空间滤波技术(自适应滤波)获得广泛研究和应用(XU Peiliang,1999;J. C. Cabada 等,1998;Jong-Sen Lee 等,1998;庞晓红等,1998;徐新等,1999)。

著名的空域滤波方法有:Lee 滤波;Frost 滤波;Lopes 提出的对以上两种滤波方法的改进;Gamma MAP 滤波;Kuan 滤波。

利用传统的空域滤波法(如中值滤波、均值滤波)抑制雷达图像斑点噪声的缺点是平滑噪声的同时损失了边缘信息,而频域滤波就是把原始图像进行快速傅立叶变换(FFT),在频域内根据斑点噪声和信号频谱特性的不同进行滤波。