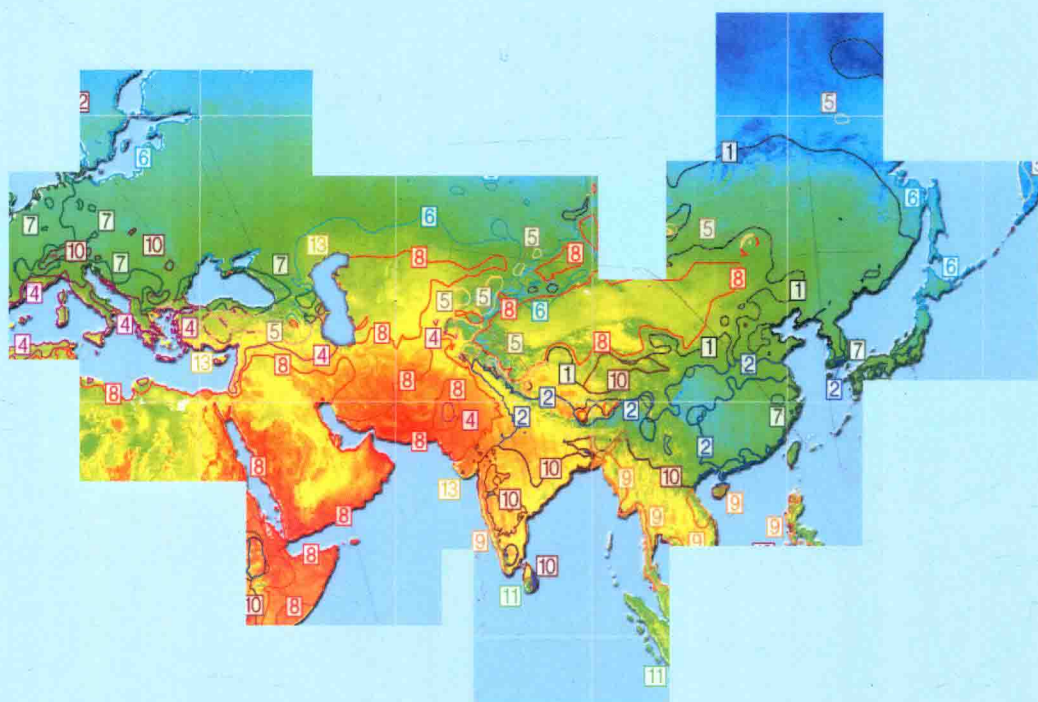


多源协同陆表定量遥感 产品生产技术与系统

仲 波 李宏益 柳钦火 等 著
唐 婷 辛晓洲 李 静



科学出版社

多源协同陆表定量遥感产品 生产技术与系统

仲 波 李宏益 柳钦火 等 著
唐 娉 辛晓洲 李 静



科学出版社

北 京

审图号: GS (2018) 4557 号

内 容 简 介

随着卫星平台和传感器技术的不断进步,多个国家和地区形成了全球卫星观测系统,积累了大量的卫星遥感数据,这些数据蕴含了丰富而宝贵的地球动态信息;然而数据量的增大本身并不代表信息量和知识的增加,具有自动化处理能力的数据处理与知识系统才能有效、及时地将数据转化为信息和知识。本书所介绍的“多源协同定量遥感产品生产系统”是一个自动化的数据处理与定量遥感产品生产系统,是将海量遥感数据自动、高效地转化为信息和知识的一次有效尝试。本系统集成多源遥感数据归一化、标准处理技术和多源协同定量遥感产品生产技术,首次实现了十余种国内外主流遥感数据的自动化处理和二十余种定量遥感产品的自动化生产;不仅如此,系统中所集成的多源协同反演算法改进了现有的基于单一遥感数据源的定量遥感产品体系,提升了同类型定量遥感产品的时空分辨率和精度。本书针对定量遥感产品生产系统从以下7个方面进行了论述:①陆表定量遥感产品、生产系统与产品体系;②海量遥感数据管理系统;③多源多尺度遥感数据归一化处理技术与数据处理系统;④多源协同定量遥感产品生产技术与产品生产系统;⑤资源调配与任务调度及运行管理系统;⑥产品生产与服务;⑦产品应用示范。

本书可供从事遥感数据处理、定量遥感研究、遥感应用及遥感应用系统建设的科技与管理人员参考,也可以作为高等院校遥感和地理信息系统专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

多源协同陆表定量遥感产品生产技术与系统 / 仲波等著. —北京: 科学出版社, 2018.9

ISBN 978-7-03-058877-7

I. ①多… II. ①仲… III. ①遥感数据—数据处理—研究 IV. ①TP701

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第216783号

责任编辑: 张井飞 韩 鹏 白 丹 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京汇瑞嘉合文化发展有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年9月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2018年9月第一次印刷 印张: 14 1/2

字数: 335 000

定价: 198.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

随着美国的泰罗斯一号卫星 (television infrared observation satellite, TIROS) 在 1960 年 4 月 1 日发射后, 全球的对地观测技术发展已经超过 50 年。在卫星平台与传感器技术的发展壮大过程中, 越来越多的对地观测计划应运而生, 目前已有上百颗卫星近千个传感器实施了对地观测任务。在此基础上, 卫星平台、传感器、遥感数据、定量反演算法、定量遥感产品生产与免费发布及各种遥感应用系统的建立, 使得遥感在社会方方面面的应用得到了蓬勃的发展。尽管遥感数据的种类越来越多, 但大部分遥感应用和产品生产系统都使用单一的遥感数据源来完成, 在信息获取的种类、精度以及时空分辨率等方面都存在一定不足, 从而阻止了遥感领域从数据到信息和知识的转化, 进而阻止其进一步应用。因此, 多源协同的反演思想应运而生, 为遥感科学及应用的发展提供了一种新的思路。在这种背景下, 针对“发展天空地一体化的全国遥感网, 显著提高空间信息服务能力”的核心内容, 国家“十二五”计划启动了“863”重大项目“星机地综合定量遥感系统与应用示范”(简称“遥感网”)。星机地综合定量遥感是充分发挥卫星、航空、地面协同对地观测能力, 提高遥感数据定量化获取与应用的重要方式, 也是国际地球观测领域发展的必然趋势。星机地综合定量遥感将对我国在矿产、森林、水、粮食等资源和环境监测中的高精度信息提取和高效分发起到重要推动作用。该项目一期第四课题“多尺度遥感数据按需快速处理与定量遥感产品生成关键技术(2012AA12A304)”的目标为: 攻克多源遥感协同高精度定量反演与多尺度定量遥感产品生产关键技术, 建立全球陆表综合观测的定量遥感产品技术体系; 制定全球陆表综合观测定量遥感产品技术体系标准规范; 建立按需流程的多尺度遥感数据按需快速处理与定量遥感产品生产原型系统, 初步形成全球陆表综合观测多尺度定量遥感产品生产能力。该项目的核心是多源遥感数据协同使用、系统研发与产品生产能力建设。其中多源协同是关键技术, 系统是实际运行的基础设施, 保障产品生产能力。因此, 本书通过对“多源协同定量遥感产品生产系统”研发过程中的细节进行论述, 总结了五个方面的研究成果: ①多源协同的定量遥感产品体系; ②多源遥感数据与数据管理系统研发; ③多源遥感数据归一化处理技术与数据处理系统研发; ④多源协同定量遥感反演算法与产品生产系统研发; ⑤产品生产、服务及应用示范。该课题所研发的技术集成于“星机地项目(二期)”第一课题“星机地综合观测定量遥感融合处理与共性产品生产系统(2013AA12A301)”所研发的综合系统中; 该课题的部分技术及所生产的定量遥感产品也被应用于中国科学院西部行动计划项目“黑河流域生态-水文遥感产品生产算法研究与应用试验”第二课题“黑河流域生态过程关键参量遥感产品(KZCX2-XB3-15)”。

全书共分为 7 章, 第 1 章介绍国内外主要的定量遥感产品生产系统及其生产发布的定量遥感产品; 第 2 章介绍了现阶段的多源遥感数据及其特点, 并阐述了多源协同定量遥感

产品生产系统的研发思路与总体框架；第3章介绍了本系统中涉及的多源遥感数据的特点、数据量等，从策略应对出发，介绍了数据库的设计与实现；第4章从多源多尺度遥感数据归一化处理技术出发，阐述了多源遥感数据归一化处理系统的研发过程；第5章从辐射收支、植被、水热通量与冰雪四个方面的多源协同定量遥感产品生产算法研究出发，阐述了定量遥感产品生产系统的研建过程；第6章针对海量数据处理与大批量产品生产的需求，阐述了资源调配与任务调度方案；第7章介绍了针对国家遥感中心《全球生态环境遥感监测年报》的需求，利用本系统进行产品生产与服务的相关内容。

本书的第1章由仲波、柳钦火、唐娉、李宏益等编写；第2章由仲波、李宏益、柳钦火、唐娉等编写；第3章由李宏益、唐娉、仲波等编写；第4章由仲波、单小军、吴善龙、杨爱霞、刘元波、穆西晗、吴骅等编写；第5章由柳钦火、辛晓洲、李静、贾立、王泽民、周春霞、李宏益、赵静、胡光成、张海龙、余珊珊、刘婷婷、杨元德、阎广建、闻建光等编写；第6章由张正、李宏益、唐娉等编写；第7章由仲波、柳钦火、吴善龙、吴俊君、张海龙、赵静、余珊珊、胡光成等编写。全书由仲波统合，柳钦火审核定稿。

科学出版社韩鹏、张井飞等编辑为本书的出版付出了辛勤的劳动，并提出了许多建设性的意见和建议；刘方伟、胡龙飞、徐伟进、武昆等参与了该书的排版与修订工作；参与课题研究的其他老师和同学们为本书的出版做出了极大的贡献，在此一并表示衷心的感谢。

由于作者的水平有限，加上多源协同定量遥感产品生产系统研发中大量的关键技术依然是国际遥感科学前沿热点领域，书中难免有疏漏和不足，敬请读者和同行专家批评指正。

作 者

2017年12月于北京

目 录

前言

第 1 章 陆表定量遥感产品与生产系统现状	1
1.1 陆表定量遥感产品及其应用	1
1.2 典型陆表定量遥感产品体系	5
1.3 现阶段陆表定量遥感产品体系的关键要素	15
1.4 多源融合的陆表定量遥感产品设计思想	16
参考文献	19
第 2 章 多源协同陆表定量遥感产品体系	20
2.1 主要遥感数据	20
2.2 多源遥感数据特点	31
2.3 多源协同陆表定量遥感产品体系	32
2.4 多源协同陆表定量遥感产品生产系统	33
参考文献	41
第 3 章 多源遥感数据及定量产品与数据管理系统	43
3.1 系统中涉及的数据特点及其应对策略	43
3.2 数据库设计与实现	49
3.3 数据管理系统的设计与实现	57
参考文献	68
第 4 章 多源多尺度遥感数据归一化处理技术与数据处理系统	69
4.1 多源多尺度遥感数据归一化处理的必要性	69
4.2 多源多尺度遥感数据归一化处理技术	73
4.3 多源遥感数据归一化处理分系统设计与实现	86
4.4 系统应用实例	98
参考文献	103
第 5 章 多源协同陆表定量遥感产品生产技术与产品生产系统	104
5.1 辐射收支产品多源融合生产技术	104
5.2 植被结构与生长状态产品多源融合生产技术	124
5.3 水热通量产品多源融合生产技术	140
5.4 冰雪产品多源融合生产技术	152

5.5 产品生产系统设计与实现	165
参考文献	181
第 6 章 资源调配及任务调度与运行管理系统.....	184
6.1 系统中的资源调配与任务调度	184
6.2 运行管理系统的设计与实现	187
第 7 章 产品生产与服务.....	200
7.1 2014 年中国—东盟生态环境遥感监测	200
7.2 2015 年“一带一路”生态环境遥感监测	217
7.3 2016 年“一带一路”生态环境遥感监测	221

第 1 章 陆表定量遥感产品与生产系统现状

1.1 陆表定量遥感产品及其应用

在遥感技术发展初期,用光学遥感图像处理进行目视解译得到地表的各种有用信息,其在农业、林业、地质、矿产和军事等领域得到了大量的应用。以后随着计算机技术的发展,遥感发展到以数字图像处理、计算机自动分类识别或人机交互判读为标志的阶段,遥感应用的领域和水平进一步提高。随着遥感技术的发展,利用遥感探测到的电磁辐射强度、偏振度和相位等信息,反演地表各种地球物理化学参数、地球生物理化参数已成为定量遥感发展的新方向。卫星遥感技术已经被广泛地应用于公共卫生、能源、水资源、环境监测、防灾减灾、气候、天气、农业、生态系统等多个领域,为这些领域直接服务的是量化的遥感产品,如大气气溶胶光学厚度、植被指数、叶面积指数、地表温度等。因此,在对地观测技术的发展过程中,根据各个卫星平台和传感器的特点,形成了各自的定量遥感产品体系及相应的产品生产线或生产系统,如 NOAA/AVHRR、EOS/MODIS、FY 系列、MERIS 等。其中,NOAA 的 AVHRR 系列是其中最早具有全球观测能力并进行定量遥感产品生产的遥感数据,但由于传感器的设置及相关性能指标较低,使得所发布的定量遥感产品数量较少且精度不高;EOS/MODIS 传感器则是近年来综合多种应用的需求,进行优化设计,在波段设置、辐射性能、光谱性能、几何定位等方面都具有优势,并形成了一套全球的定量遥感产品生产体系和产品生产线,向全球用户发布了 0~4 级共 44 种标准产品,这些产品现在被广泛应用于全球多个领域。在国内,FY-2 和 FY-3 都建立了基于自身卫星平台和传感器特征的产品体系与产品生产线,并发布了相应的定量遥感产品。

近年来,以美国 EOS 计划为代表的全球定量遥感技术发展定量遥感产品应用,为提高人类监测全球资源与环境能力起到了里程碑式的决定性作用。然而,当前的定量产品生产以依靠单一传感器为主,产品精度和时空连续性不能完全满足全球资源与环境监测的需求,综合利用多传感器生产高精度的定量遥感产品已成为遥感科学技术领域的前沿热点方向。例如,全球碳计划(global carbon project, GCP)和我国正在执行的 863 计划“全球陆表特征参量遥感产品生成与应用”项目等。遥感领域的研究机构和相关公司分别从定量遥感产品体系、定量遥感产品生产系统、产品反演算法和产品生产技术等方面开展了很多工作。

在遥感商业应用领域,Spot Infoterra 集团利用自身在遥感图像数据方面的优势,开展了 Overland 项目,开发了 Overland 软件,提供对地观测服务。Overland 技术将对地观测数据(包括高分辨率多光谱、中低分辨率多光谱、航空高/超光谱),利用核心的遥感模

型（植被：SAIL+PROSPECT 模型，大气：LOWTRAN/MODTRAN+ 云模型，土壤：半物理模型）和模拟技术（任意植被和景观模拟技术），反演为真实的生物物理参数（叶面积指数、叶绿素浓度等）；其应用于环境和农业分析中，并结合农艺学等相关理论和技术为市场提供服务，包括作物管理服务（用于精细农业）、农业管理（用于农业监测与估产）、自然环境管理等。该软件能够反演的地表物理参数包括叶绿素含量、叶片含水量、植被郁闭度、叶面积指数、光合有效辐射比、云反射、能见度、水汽含量、水深、水覆盖、水体叶绿素 a、雪盖面积、雪辐射亮度、雪地作物尺寸、土地覆盖、土壤辐射亮度、土壤湿度等。Overland 软件是一个不错的商业软件，具有强大的遥感数据处理、定量遥感产品反演和明确的应用方向；但该软件是面向商业领域的，不管是软件本身的费用，还是软件中所用的数据，其费用都是相当昂贵的；同时，该软件尽管尝试用了虚拟星座技术，并且在产品层面融合了多源信息，但是在产品层次和应用的深度方面，与国家层面的行业应用要求还是存在很大差距。

中国科学院遥感与数字地球研究所遥感科学国家重点实验室下属的辐射传输研究室初步开发了“基于多源遥感数据的定量遥感产品生产与服务系统”（柳钦火等，2011）。该系统可以综合处理 HJ-1、MODIS、AVHRR、FY-3A、TM/ETM+ 等多源遥感数据，并能组织和管理 DEM、地表覆盖分类、MODIS 多种定量遥感产品、气象台站数据、NCEP 等气象再分析数据等，实现了多源遥感数据的预处理（辐射定标、大气校正、交叉辐射定标、几何精校正、投影变换和标准分幅等），并利用先进的工作流定制技术实现了 20 多种大气（AOD、大气水汽）、植被理化（LAI、FVC、FPAR、NDVI、叶片含水量、叶绿素含量等）、地表（BRDF、ALBEDO、地表温度、地表发射率、地表蒸散、土壤含水量等）参数的定量遥感反演。

地表特征参数是地球系统最重要的物理特性，构成人类赖以生存和发展的自然环境。在全球变化、我国社会经济快速发展而面临着粮食安全、高能耗经济转型、水资源短缺、环境急剧变化等一系列情势下，实时把握陆表状态和变化，有着重要的资源、生态和环境意义。长期以来在对地观测技术发展过程中，地表参数一直都是人们关注和研究的对象。在全球变化研究需求推动下，地表关键参数的遥感反演方法与技术得到了长足的发展，逐步在区域和全球尺度上推广开来，形成了多种多样的陆地参数产品，在资源利用、全球变化、生态、环境和粮食安全上，发挥着举足轻重的作用。通过回顾国内外植被结构与生长状态参数产品、辐射收支参数产品，以及水资源参数模型算法的发展现状和发展态势（表 1.1），总结现有遥感反演产品的精度和不确定性，寻找突破现有技术瓶颈的方式和途径。

表 1.1 现有全球陆地定量遥感产品信息表

类别	编号	遥感产品	空间分辨率	时间分辨率	国内主要传感器	国外主要传感器	主要反演算法
植被结构与生长状态参数	1	叶面积指数	1km-0.25°	10 天、30 天	无	MODIS、MISR、VEGETATION、AVHRR、POLDER、MERIS、SEVIRI	三维辐射传输模型、植被冠层辐射传输模型、冠层光谱不变量辐射传输模型和 4 尺度模型的查找表法等

续表

类别	编号	遥感产品	空间分辨率	时间分辨率	国内主要传感器	国外主要传感器	主要反演算法
植被结构与生长状态参数	2	植被覆盖度			无	MODIS、MERIS、POLDER、VEGETATION、SEVIRI、AVHRR	PROSAIL 神经网络、基于植被指数的半经验模型、混合光谱分解模型
	3	FPAR	1~10km	旬	无	MODIS、AVHRR、VEGETATION	经验模型、基于辐射传输模型的查找表
	4	NPP	1~10km	旬	无	MODIS	过程模型、基于光能利用率的参数化模型
	5	物候期	1km	12 个月 2 个生长期	无	MODIS	植被指数阈值法、滑动平均方法、转折点法、最大变化斜率法、季节 NDVI 中点法
辐射收支参数	6	反照率	1km~0.5°	5~16 天	无	MODIS、VEGETATION、POLDER、SEVIRI、ERBE、MISR、CERES、Meteosat	经验 MRPV 模型、半经验核驱动模型
	7	地表温度	90~8000m	15 分钟~16 天	FY-3	MODIS、ASTER、AATSR、AVHRR、SEVIRI	分裂窗算法、温度与发射率分离方法
	8	发射率	90~6000m	1~16 天	无	ASTER、MODIS、SEVIRI	TES 算法、分类方法和昼夜算法
水资源参数	9	蒸散发	1~3km	30 分钟~8 天	无	MODIS、SEVIRI	统计经验法、地表参数空间变化半经验算法、能量平衡参数化方法、数据同化方法
	10	降水	4km、0.1°、0.25°、1°和 2.5°	3 小时、逐日、5 天	FY-2	TRMM、AMSR、AMSR-E、AMSU-B、GEO-VIRS、GOES、GMS、Meteosat、NOAA	VIS/IR 反演算法、微波反演算法、降水雷达反演算法、VIS/IR 和微波联合算法
	11	土壤水分	25km	3 天	FY-3	SMOS、AMSR-E、WindSat	迭代算法、单通道反演算法、微波指数反演算法、基于参数化模型的反演算法
	12	雪水当量	25km	3 天	FY-3	AMSR-E、SSM/I	半经验的线性亮温梯度算法、神经网络技术、迭代法
	13	雪盖面积	500m、25km	1 天、3 天	FY-2	AMSR-E、SSM/I、MODIS	基于雪被指数的积雪判别算法、半经验的线性亮温梯度算法

1.1.1 植被结构与生长状态参数产品

植被是地球上最重要的地表覆盖类型，在能量循环和营养物质循环中扮演着重要的角色，有着重要的全球意义。表征植被生物物理特征的参数包括反映植物叶片生化特征的

叶绿素含量、反映植被冠层结构的叶面积指数 (LAI)、覆盖度, 表征植被的生产能力和生产效率的 FPAR 和 NPP, 以及表征植被生长生态特性的物候期。人们利用遥感技术发展了多种估算植被状态参数的方法, 监测植被的时空动态变化, 应对全球变化、粮食安全、生态环境等现实问题。目前的技术方法以试验性研究为主, 没有确定针对特定不同研究区域和不同地表覆盖类型的最佳物候反演技术方法, 尚未建立物候产品生成的技术体系; 植被参数的遥感反演大多利用单一数据源的时序植被数据 (如 NOAA/AVHRR, TERRA/MODIS, SPOT/VEGETATION), 单一数据源的数据质量、时空尺度和可获取性等限制了物候的反演精度, 基于不同数据源反演的植被参数结果差异较大, 可比性较低。

1.1.2 辐射收支参数产品

地表辐射收支参数包括与地表辐射与能量平衡密切相关的 12 个参数, 分别是与短波辐射有关的大气气溶胶、下行短波辐射、PAR 和反照率, 与长波辐射有关的下行长波辐射、地表温度、冠层温度和发射率, 以及与能量平衡有关的净辐射、空气动力学粗糙度、感热通量和潜热通量。无论是短波还是长波波段, 目前的研究都缺乏有效的直接面向地表净辐射-地表辐射/能量平衡的最关键参量的估算方法, 因此, 如何在现有研究基础上发展直接估算地表短波和长波净辐射的算法, 以避免现有研究方法的缺陷势在必行。此外, 目前几乎所有研究都在假设地表水平的前提下进行辐射量估算, 从而忽略了地形效应。一方面, 大量研究显示, 忽略地形效应不但会给地表辐射收支估算带来误差, 而且会掩盖地表辐射分量的空间分布模式 (Dubayah and Rich, 1995), 所得结果很难反映地表的真实辐射状态; 另一方面, 相当比例的陆地表面被高山覆盖, 而这些区域又对气候变化起着极其重要的作用, 因此, 必须发展针对复杂地形区的相关模型和方法, 从而为地表能量平衡、全球气候变化等研究提供可靠的地表辐射收支数据。

1.1.3 水资源参数产品

大气水、土壤水和地表水体等状态变量与降水、地表蒸散发、径流等水分通量构成全球大气水文循环。其中, 地表蒸散发 (evapotranspiration, ET) 是区域水量平衡和能量平衡的主要成分, 降水是最重要的水分通量, 而土壤水和冰雪是最重要的状态变量, 是植被得以持续生存和良性生态环境得以维持的根本条件, 因而长期以来一直是定量遥感反演的最核心研究对象, 并相继形成了各类产品数据。但现有产品主要基于单一数据源, 且在全球尺度上都存在的问题。

现阶段定量遥感产品体系与生产系统存在以下 7 个问题。

(1) 多源遥感数据的研究与应用仅局限于现有卫星数据的协同获取, 对于用户而言, 得到的数据产品并非与传感器无关, 还远未能解决遥感数据不好用的局面。

(2) 还不具备虚拟星座定量产品的协同处理能力, 导致从多层次、多尺度、多源

遥感协同定量化处理能力较弱,未能向用户提供重要地球物理化学参数的虚拟卫星标准产品。

(3) 由于不同卫星、不同传感器获取的对地观测数据在时间、空间、光谱、角度等特性方面存在差异,其集成应用本身存在诸多未解决的关键技术难题,为虚拟星座数据定量化应用带来困难。

(4) 定量遥感产品体系大都基于单一传感器的遥感数据,没有充分利用现有的多源遥感数据资源,在产品的算法研究、生产流程和产品精度方面都存在一定的缺陷。

(5) 仅有的几种基于多源遥感数据的产品体系往往局限于能量与辐射平衡等小范围的研究领域,在农林、资源和环境等应用领域没有充分发挥作用。

(6) 在产品设计上无法设计出时空连续的产品体系,从而不能得到时空连续的产品序列,在应用上受到一定的限制。

(7) 系统的设计往往局限于算法的集成,在后台完成生产,然后以单向的方式提供给用户,往往难以满足应用单位和普通用户多变的需求;同时,在资源的有效利用上,也往往因为规模太大,导致投入难以保证。

综上所述,随着遥感数据源的增加、定量遥感反演技术的发展,越来越多的行业应用对定量遥感产品都有强烈的需求,尤其是基于卫星组网和虚拟星座技术,以及星地协同技术的高精度、高时空分辨率的定量遥感产品。为了达到这一目标,我们需要从行业部门应用的需求出发,认真分析现有的卫星遥感数据资源、已有研究成果,首先建立面向应用的基于卫星组网和星地协同技术的定量遥感产品规范和产品生产体系,以及相关的标准规范;其次,在产品生产体系和标准规范的基础上,利用现有的计算机软硬件技术,设计和开发智能化的定量遥感产品生产系统,解决从理论到实际应用的关键技术,为各个行业部门的应用提供高精度、高时空分辨率的定量遥感产品。

1.2 典型陆表定量遥感产品体系

近20年来,随着业务化遥感卫星的发射与应用,逐渐形成了典型的定量遥感产品体系与定量遥感产品生产系统,并生成了全球长时间序列的定量遥感产品,支撑了行业部门的业务应用、农林生态和环境等方面的科学研究和全球变化研究。在卫星遥感应用的过程中,针对不同的应用逐渐形成了专门的遥感卫星,如针对气象预报和气象灾害监测的气象卫星,针对资源调查的资源卫星等。另外,针对不同的观测要素/参数也形成了不同的卫星,如碳卫星、水卫星、大气卫星等。遥感卫星发射后,都会建立相应的地面系统,包括软件和硬件部分,其主要功能包括卫星数据的传输、接收与分发,卫星数据处理,参数产品生产等。因此,在长期的发展过程中,逐渐形成了卫星遥感产品体系,其中几个典型的产品体系包括美国的MODIS定量遥感产品体系、欧洲的MERIS定量遥感产品体系和中国风云系列定量遥感产品体系。

1.2.1 MODIS 定量遥感产品体系

MODIS (moderate-resolution imaging spectroradiometer) 是中分辨率成像光谱仪的英文缩写, 它搭载于美国对地观测系统 (earth observation system, EOS) 在 1999 年所发射的第一颗卫星 Terra 上的主要仪器, 同时搭载于在 2002 年所发射的 Aqua 卫星上, 形成组网观测的能力。EOS 的主要目的是, 实现从单系列极轨空间平台上对太阳辐射、大气、海洋和陆地进行综合观测, 获取有关海洋、陆地、冰雪圈和太阳动力系统等信息; 进行土地利用和土地覆盖研究、气候的季节和年际变化研究、自然灾害监测和分析研究、长期气候变率和变化研究, 以及大气臭氧变化研究等; 进而实现对大气和地球环境变化的长期观测和研究的战略目标。MODIS 作为一个实验性的传感器, 在当时属于新一代“图谱合一”的光学遥感仪器拥有 36 个离散光谱波段, 光谱范围宽, 从 0.4~(可见光) 14.4 μm (热红外) 全光谱覆盖; 试图同时提供反映陆地表面状况、云边界、云特性、海洋水色、浮游植物、生物地理、化学、大气水汽、气溶胶、地表温度、云顶温度、大气温度、臭氧和云顶高度等特征的信息。MODIS 的波段设置见表 1.2。

表 1.2 MODIS 传感器的波段设置及主要用途

通道	光谱范围	信噪比 (NE Δt)	主要用途	分辨率 /m
1	620~670	128	陆地、云边界、植被、气溶胶	250
2	841~876	201		250
3	459~479	243	陆地、云特性、气溶胶等	500
4	545~565	228		500
5	1230~1250	74		500
6	1628~1652	275		500
7	2105~2135	110		500
8	405~420	880		1000
9	438~448	838	海洋水色、浮游植物、生物地理、化学	1000
10	483~493	802		1000
11	526~536	754		1000
12	546~556	750		1000
13	662~672	910		1000
14	673~683	1087		1000
15	743~753	586		1000
16	862~877	516		1000

续表				
通道	光谱范围	信噪比 (NE Δ t)	主要用途	分辨率 /m
17	890~920	167	大气水汽	1000
18	931~941	57		1000
19	915~965	250		1000
20	3.660~3.840	0.05	地球表面和云顶温度	1000
21	3.929~3.989	2		1000
22	3.929~3.989	0.07		1000
23	4.020~4.080	0.07		1000
24	4.433~4.498	0.25	大气温度	1000
25	4.482~4.549	0.25		1000
26	1.360~1.390	150	卷云、水汽	1000
27	6.535~6.895	0.25		1000
28	7.175~7.475	0.25		1000
29	8.400~8.700	0.05	云参数	1000
30	9.580~9.880	0.25	臭氧	1000
31	10.780~11.280	0.05	地表温度、海面温度	1000
32	11.770~12.270	0.05		1000
33	13.185~13.485	0.25	云顶高度	1000
34	13.485~13.785	0.25		1000
35	13.785~14.085	0.25		1000
36	14.085~14.385	0.35		1000

在大量的资金投入和美国顶级的遥感研究团队支撑下，NASA 经过了十余年的发展，围绕 MODIS 形成了全球最为完整、全面和服务最好的定量遥感产品体系。一个好的产品体系首先需要有一系列的产品作为支撑，并且得到广大用户的使用和好评。下面我们将对 MODIS 数据产品进行简要介绍。

MODIS L0 数据是对卫星下传的数据包解除 CADU 外壳后，所生成的 CCSDS 格式的未经任何处理的原始数据集合，其中包含按照顺序存放的扫描数据帧、时间码、方位信息和遥测数据等。如果用户得到的数据是 L0 级的 PDS 文件，在具体使用之前就必须首先对其进行预处理，通常并不需要自行开发预处理软件，位于美国国家航空航天局（National Aeronautics and Space Administration，NASA）戈达德航天中心的 MODIS 科学组免费提

供预处理和其他应用代码,但是需要注意运行平台的差异。作为独立运行版本,也可以选择 Wisconsin 大学开发的 IMAPP,该软件最初在 UNIX/LINUX 平台上开发,目前该软件的 Windows 版本已经由俄罗斯 ScanEx 公司提供。需要注意的是,预处理软件都要使用 MODIS 特性组不定期发布的 LUT 参数文件,LUT 参数根据探测器的物理性能的变化而调整,为了得到精确的定标数据,必须及时更新所使用的 LUT 文件。

L1A 数据是对 L0 数据中的 CCSDS 包进行解包所还原出来的扫描数据及其他相关数据的集合。经过处理后形成的 L1A 数据为 MOD01/MYD01,其中,MOD 代表 Terra 星上的 MODIS 数据,而 MYD 代表 Aqua 星上的 MODIS 数据。1A 级处理程序把两个小时的 0 级文件重新组织成一系列基本处理单元和数据块 (granules),每个数据块包含大约 5 分钟的 MODIS 数据。因为 MODIS 镜面的一次扫描需要 1.4771 秒,所以在 5 分钟内 1B 级产品文件典型的有 203 次完全扫描,有时候完全扫描 204 次。每天 5 分钟集合的扫描文件有 288 个。地理位置代码计算地面单个像元的坐标,以及有关于 MODIS 的太阳和月亮的位置信息。在 GDAAC 操作中,1A 级和地理位置代码使用产品生成程序 (PGE01)。同时,它们将输入的 MODIS 数据放到 1B 数据处理软件中。

L1B 数据是对 L1A 数据进行定位和定标处理之后所生成的,其中包含以 SI(scaled integer)形式存放的反射率和辐射率的数据集。L1B 代码读取 L1A 代码解包产生的 DN 数据集 (EV SD SRCA BB SV),以及定标查找表 (look up table, LUT) 作为输入,分别对太阳反射波段 RSB 和热辐射波段 TEB 进行定标处理。定标计算所使用的参数可以从 MODIS 支撑研究组 MCST 所定期发布的 LUT 文件中得到。传感器 DN 数值按照 BDSM(band, detector, sub-frame, mirror. side) 索引。经过 1B 级处理后,就形成了 MOD02/03 或者 MYD02/03 数据。03 数据为 MODIS 的地理定位文件。数据产品包含 MODIS 每个 1km EV (earth view) 中心的经纬度,每个 1km EV 太阳 / 卫星的方位,每个 1km EV EOS 陆地 / 海洋的阈值,每条扫描太阳和月亮相对于 MODIS 的位置,充分的仪器参数信息以支持特定波段和亚像元级定位。

L2 ~ L4 是对 L1B 数据进行各种应用处理之后所生成的特定应用产品。其中,04~08、35 为大气产品,09~17、33、40、43、44 为陆地产品,18~32、36~39、42 为海洋产品。产品的具体介绍如下。

MOD04: 气溶胶产品,每日数据为 2 级产品,每旬、每月数据合成为 3 级产品。

MOD05: 可降水量。2 级产品。

MOD06: 云产品,每日数据为 2 级产品,每旬、每月数据合成为 3 级产品。

MOD07: 大气廓线产品,每日数据为 2 级产品,每旬、每月数据合成为 3 级产品。

MOD08: 网格化的大气产品。每日、每旬、每月合成数据,为 3 级产品。

MOD09: 地表反射率产品,白天每日数据,为 2 级产品。

MOD10: 雪盖产品,每日数据为 2 级产品,每旬、每月数据合成为 3 级产品。

MOD11: 地表温度和发射率,每日数据为 2 级产品,每旬、每月数据合成为 3 级产品。

MOD12: 土地覆盖 / 土地覆盖变化,为 3 级产品。

MOD13: 网格化的归一化植被指数和增强型植被指数,为 2 级产品。

MOD14: 热异常-火灾和生物量燃烧产品, 为2级产品。

MOD15: 叶面积指数和光合有效辐射, 日及每旬、每月合成产品, 为3级产品。

MOD16: 蒸散发产品, 每旬、每月合成产品, 为4级产品。

MOD17: 总初级生产力 (GPP) 和净初级生产力 (NPP) 产品, 每旬、每月合成产品, 为4级产品。

MOD18: 离水辐射亮度产品, 全球洋面, 每日、每旬、每月合成产品, 为2、3级产品。

MOD19: 色素浓度, 全球洋面, 每日、每旬、每月数据, 为2、3级产品。

MOD20: 叶绿素荧光, 全球洋面, 每日、每旬、每月数据, 为2、3级产品。

MOD21: 叶绿素-色素浓度, 全球洋面, 每日、每旬、每月数据, 为2、3级产品。

MOD22: 光合可利用辐射 (PAR), 全球洋面, 每日、每旬、每月数据, 为2、3级产品。

MOD23: 悬浮物浓度, 全球洋面, 每日、每旬、每月数据, 为2、3级产品。

MOD24: 有机质浓度, 全球洋面, 每日、每旬、每月数据, 为2、3级产品。

MOD25: 球石浓度, 全球洋面, 每日、每旬、每月数据, 为2、3级产品。

MOD26: 海洋水衰减系数, 全球洋面, 每日、每旬、每月数据, 为2、3级产品。

MOD27: 海洋初级生产力, 全球洋面, 每日、每旬、每月数据, 为2、3级产品。

MOD28: 海面温度, 全球洋面, 每日、每旬、每月数据, 为2、3级产品。

MOD29: 海冰覆盖, 每日数据, 为2级产品。

MOD31: 藻红蛋白浓度, 全球洋面, 每日、每旬、每月数据, 为2、3级产品。

MOD33: 雪覆盖, 每日、每旬、每月数据, 为3级产品。

MOD35: 云掩膜, 每日数据, 为2级产品。

MOD36: 总吸收系数, 每日、每旬、每月数据, 为3级产品。

MOD37: 海洋气溶胶产品, 每日、每旬、每月数据, 为2、3级产品。

MOD39: 纯水势, 每日、每旬、每月数据, 为2、3级产品。

MOD40: 网格化的热异常产品, 每日、每旬、每月数据, 为2、3级产品。

MOD42: 海冰覆盖, 每日、每旬、每月数据, 为3级产品。

MOD43: 地表二向反射及反照率产品, 每日、每旬、每月数据, 为2、3级产品。

MOD44: 植被覆盖转换产品, 季度、年度, 为3级产品。

除了以上产品以外, NASA 还为 MODIS 设置了官方的网站 (<https://modis.gsfc.nasa.gov/>) 对其进行介绍、宣传和后期的用户支持。该网站又将 MODIS 的产品分为陆地、海洋、大气和定标4个专题来分别进行维护。在网站上提供了包括总体介绍、数据产品介绍和下载地址、工具软件介绍与下载、科学团队介绍、图像资料、研究人员介绍, 以及其他一些有用的链接等。其中, 以数据产品为主, 还提供了产品的规格、产品生产的算法文档、产品的验证等方面的详细内容。

1.2.2 MERIS 定量遥感产品体系

MERIS (medium resolution imaging spectrometer) 是欧洲空间局 (ESA) 搭载在极轨对地

观测卫星 Envisat 上的中分辨率图像光谱仪。其是起初主要用于海色观测的传感器，后来将其科学目标扩展到了大气和陆表相关的研究。其光谱设置见表 1.3。

表 1.3 MERIS 波段设置

波段	中心波长 /nm	波宽 /nm	主要应用方向
1	412.5	10	黄色物质
2	442.5	10	叶绿素吸收最大值
3	490	10	叶绿素及其他颜色
4	510	10	悬浮物、赤潮
5	560	10	叶绿素吸收最小值
6	620	10	悬浮物
7	665	10	叶绿素吸收和叶绿素荧光
8	681.25	7.5	叶绿素荧光峰值
9	708.75	10	大气校正
10	753.75	7.5	植被和云
11	760.625	3.75	氧气吸收
12	778.75	15	大气校正
13	865	20	植被和大气水汽
14	885	10	大气校正
15	900	10	大气水汽和陆地探测

MERSI 的产品体系较 MODIS 简单，且产品类型也较 MODIS 少。2 级产品分为海洋产品、云产品、陆地产品。海洋产品包括归一化的离水辐射亮度 / 反射率、藻类色素指数、悬浮物、黄色物质、光合有效辐射、海洋气溶胶光学厚度、气溶胶 Angström 指数等；云产品包括云光学厚度、云顶气压、云反射率、云类型和云反照率等；陆地产品包括地表反射率、气溶胶光学厚度、气溶胶 Angström 指数、大气水汽含量、全球植被指数、陆表叶绿素指数等。3 级产品主要包括全球海洋叶绿素 a 年平均、全球大气水汽含量年平均，以及全球气溶胶光学厚度（865nm）年平均。