

遥感数据接收与处理技术

冯钟葵 葛小青 张洪群 李安 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

遥感数据接收与处理技术

冯钟葵 葛小青 张洪群 李 安 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书是作者在多年从事遥感数据接收与处理技术研究成果和系统建设经验的基础上,借鉴国内外同类技术发展的成果和经验,针对遥感数据,特别是卫星遥感数据的接收、记录、处理、存储与管理等方面的技术要点,编写的一部面向遥感技术人员、遥感用户和普通读者的专著。

本书以简练的语言,全面介绍了遥感数据接收、处理以及存储管理过程中的基本原理、处理算法和系统实现过程,内容通用性强,易读、易懂,适于从事遥感技术的科研人员、遥感用户阅读,也可作为高等院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

遥感数据接收与处理技术 / 冯钟葵等编著. --北京 :
北京航空航天大学出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-5124-2013-7

I. ①遥… II. ①冯… III. ①遥感数据—数据处理
IV. ①TP751.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 309157 号

版权所有,侵权必究。

遥感数据接收与处理技术

冯钟葵 葛小青 张洪群 李安 编著
责任编辑 杨昕

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:18.75 字数:420 千字

2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5124-2013-7 定价:48.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

《遥感数据接收与处理技术》

作者名单

冯钟葵,葛小青,张洪群,李安

冯旭祥,李山山,陈勃、吴业炜,郭擎,陈俊,李宇,孙晓瑶,唐梦辉,

肖倩,张浩,柴雅琼,齐东凯,张新强,初庆伟

前 言

本书是作者团队在总结多年技术研究成果和系统建设经验的基础上,借鉴国内外同类技术发展的成果和经验,针对遥感数据,特别是卫星遥感数据的接收、记录、处理、存储与管理等方面的技术要点,整理和编写的一本面向遥感技术人员、遥感用户和普通读者的专著,以期用简练的语言,将遥感数据的接收、记录、处理、存储与管理过程中最基本的技术环节,向读者做一介绍。

本书的作者团队长期工作在遥感数据接收与处理的第一线,对遥感数据的接收、处理和系统建设有着丰富的经验,对国际上遥感数据处理技术的发展进行了长期的跟踪和深入的研究。近年来,国内外发射并运行的遥感卫星,无论是种类还是数量,都比以往增加很多,所采用的技术方法和工作流程也都有很大的变化。随着遥感技术的发展,虽然各类遥感卫星的应用目标、传感器设计以及运行模式不尽相同,但其数据接收与处理中的关键技术环节却逐渐成熟并趋向一致,工作流程中各部分的任务划分与接口也逐渐清晰。因此,有必要对其中的关键技术,特别是具有共性的算法、流程和集成方法进行整理,以便读者能对遥感数据接收与处理技术有一个基本的认识。

在数据接收方面,本书集中了作者团队在消化吸收国内外地面系统经验后总结整理的技术手段和方法;在数据处理方面,本书通过研读公开的技术资料,对美国 LANDSAT 系列卫星和法国 SPOT 系列卫星的数据处理算法和流程中的共性部分进行了整理;在数据存储与管理方面,本书总结了作者团队近年来的系统建设经验,同时也借鉴了国外同类机构的相关做法;在数据深加工处理方面,本书选择了最常用的几种处理手段,汇集了作者团队以往的工作成果。

本书共有 10 章,作者编写的分工如下:

第 1 章为绪论,由冯钟葵、李安、张洪群编写;

第 2 章为遥感卫星介绍,由葛小青、冯钟葵、陈勃和陈俊编写;



第3章为遥感卫星数据接收,由冯旭祥、张洪群编写;

第4章为遥感卫星数据记录,由吴业炜、张洪群编写;

第5章为数据存档与管理,由冯钟葵、陈俊、冯旭祥和郭擎编写;

第6章为数据的备份与容灾,由冯钟葵、冯旭祥编写;

第7章为辐射校正,由陈勃、冯钟葵编写;

第8章为几何校正,由冯钟葵、李山山编写;

第9章为产品生产,由陈勃、冯钟葵编写;

第10章为遥感数据的增值处理,由郭擎、李山山、李宇和冯钟葵编写。

全书由冯钟葵负责统稿工作。其他参与编写的作者还有唐梦辉、孙晓瑶、肖倩、张浩、柴雅琼、齐东凯、张新强、初庆伟等。

本书从构思到完成,前后花费近3年的时间。期间,对书中所涉及的技术环节,作者团队都经过反复的验证和确认,对部分业内表述不尽相同的环节,也经过反复的斟酌,以期给读者提供准确的信息。

作者团队在编写本书的过程中,得到所在工作单位领导和同事的大力支持,书中一些技术环节的表述是在与同事讨论过程中逐渐形成的,部分技术过程的验证也是由工作单位的运行团队完成的。此外,还有10余名研究生的工作也为本书的编写提供了素材。对大家的支持和帮助,作者团队在此一并致谢。

由于作者团队在技术水平和工作经验上的局限,本书难免会有各种缺陷和不足,敬请读者谅解并提出宝贵意见。

作者
2015年9月

重要缩略语

- ACCA: Automatic Cloud Cover Assessment, 自动云量评估
- AIT: Advanced Intelligent Tape, 先进智能磁带
- CC: Convolutional Code, 卷积码
- CCSDS: Consultative Committee for Space Data Systems, 空间数据系统咨询委员会
- CCD: Charge Coupled Device, 电荷耦合器件
- CCT: Computer Compatible Tape, 计算机兼容磁带
- CBERS: China Brazil Earth Resource Satellite, 中巴地球资源卫星
- DAS: Direct Attached Storage, 直接附加存储
- DEM: Digital Elevation Model, 数字高程模型
- DLT: Digital Linear Tape, 数字线性磁带
- EIRP: Equivalent Isotropic Radiated Power, 等效全向辐射功率
- ETM: Enhanced Thematic Mapper, 增强型主题成像仪
- ETM+: Enhanced Thematic Mapper Plus, 再增强型主题成像仪
- FC: Fiber Channel, 光纤通道
- GRS: Global Reference System, 全球参考系 (SPOT 卫星数据的分景网格系统)
- HDDT: High Density Data Tape, 高密度磁带
- HRV: High Resolution Visible, 高分辨率可见光传感器
- HRG: High Resolution Geometric, 高分辨率几何成像仪
- HRS: High Resolution Stereoscopic, 高分辨率立体成像仪
- HRVIR: High Resolution Visible Infra-Red, 高分辨率可见光近红外传感器
- HSI: Hyper-Spectral Imager, 超光谱成像仪
- IRMSS: Infrared Multispectral Scanner, 红外多光谱扫描仪
- IAT: International Atomic Time, 国际原子时
- LDCM: Landsat Data Continuity Mission, 陆地卫星后续任务
- LDPC: Low Density Parity Check, 低密度奇偶校验码



- LHCP: Left Hand Circular Polarity,左旋圆极化
- LTO: Linear Tape Open,开放线性化磁带
- MSS: Multi-Spectral Scanner,多光谱扫描仪
- NAS: Network Attached Storage,网络附加存储
- NASA: National Aeronautics and Space Administration,美国国家航空航天局
- NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration,国家海洋与大气管理局
- NORAD: North American Aerospace Defense Command,美国北美防空司令部
- OLI: Operational Land Imager,陆地成像仪
- RAID: Redundant Arrays of Independent Disks,独立硬盘冗余阵列
- RBV: Return-Beam Vidicon,返束光导摄像管摄像机
- RHCP: Right Hand Circular Polarity,右旋圆极化
- RS: Reed - Solomon Codes,里德-所罗门码
- SAN: Storage Area Network,存储区域网络
- SAR: Synthetic Aperture Radar,合成孔径雷达
- SAS: Serial Attached SCSI,串行连接 SCSI
- SCSI: Small Computer System Interface,小型计算机系统接口
- SDLT: Supper DLT,超级线性化磁带
- SLC: Scan Line Corrector,扫描行校正器
- SPOT: Satellite Pour l'Observation de la Terre,法国遥感卫星
- ST: Sidereal Time,恒星时
- SWIR: Short Wave Infra-red,短波红外
- TAI: Temps Atomique International,国际原子时的另一种写法
- TEM: Transverse ElectroMagnetic,横向电磁波
- THEOS: Thailand Earth Observation Satellite,泰国对地观测卫星
- TLE: Tow Line Element,两行轨道根数
- TIRS: Thermal Infrared Sensor,热红外传感器
- TM: Thematic Mapper,主题成像仪
- USGS: United States Geological Survey,美国地质调查局
- UT: Universal Time,世界时
- UTC: Universal Time Coordinated,协调世界时
- VAR: Voltage Axial Ratio,电压轴比
- WRS: World Reference System,世界参考系(LANDSAT 卫星数据的分景网格系统)
- XPD: Cross Polarization Discrimination,交叉极化鉴别率
- XPI: Cross Polarization Isolation,交叉极化隔离度

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 什么是遥感	1
1.2 遥感的基本过程	1
1.3 遥感数据处理	2
1.4 遥感地面系统	3
第 2 章 遥感卫星介绍	5
2.1 遥感卫星的轨道	5
2.1.1 卫星轨道	5
2.1.1.1 轨道高度	6
2.1.1.2 近地点和远地点	6
2.1.1.3 星下点	6
2.1.1.4 升交点和降交点	6
2.1.1.5 轨道周期	7
2.1.1.6 重复周期	7
2.1.1.7 重访周期	7
2.1.1.8 卫星轨道参数	7
2.1.2 卫星轨道类型	7
2.1.2.1 太阳同步轨道	8
2.1.2.2 地球同步轨道	8
2.2 遥感卫星类型	8
2.2.1 陆地卫星	9
2.2.2 气象卫星	9
2.2.3 海洋卫星	10
2.3 国内外主要遥感卫星	10
2.3.1 美国陆地卫星系列	10
2.3.1.1 LANDSAT-1	10
2.3.1.2 LANDSAT-2	11



2.3.1.3	LANDSAT-3	11
2.3.1.4	LANDSAT-4	11
2.3.1.5	LANDSAT-5	12
2.3.1.6	LANDSAT-6 和 LANDSAT-7	12
2.3.1.7	LANDSAT-8	13
2.3.2	法国 SPOT 卫星系列	15
2.3.2.1	SPOT-1/2/3	15
2.3.2.2	SPOT-4	17
2.3.2.3	SPOT-5	17
2.3.2.4	SPOT-6/7	19
2.3.3	加拿大雷达卫星	22
2.3.3.1	RADARSAT-1	22
2.3.3.2	RADARSAT-2	23
2.3.4	欧空局环境卫星	25
2.3.5	泰国卫星	26
2.3.6	中巴地球资源卫星	28
2.3.7	中国资源卫星	29
2.3.7.1	资源一号 02C 卫星	29
2.3.7.2	资源三号卫星	30
2.3.7.3	环境与灾害监测预报卫星	31
参 考 文 献		33
第 3 章 遥感卫星数据接收		34
3.1	卫星轨道及其相对地面的定位	34
3.1.1	卫星轨道预报	34
3.1.2	地面站的接收覆盖范围	36
3.2	遥感卫星数据接收技术基础	38
3.2.1	信号频段	39
3.2.1.1	S 频段	40
3.2.1.2	X 频段	40
3.2.1.3	Ka 频段	40
3.2.2	信号极化	41
3.2.3	调制方式	42
3.2.3.1	BPSK	42
3.2.3.2	QPSK	43

3.2.3.3	UQPSK	43
3.2.3.4	OQPSK	44
3.2.3.5	8PSK	44
3.2.3.6	16QAM	45
3.2.4	编码方式	45
3.2.4.1	RS 码	46
3.2.4.2	卷积码	46
3.2.4.3	LDPC 码	47
3.2.4.4	级联码	49
3.2.4.5	编码增益	49
3.2.5	天 线	50
3.2.5.1	天线的主要电参数	50
3.2.5.2	天线反射面	51
3.2.5.3	天线座架	52
3.3	星地链路计算分析	53
3.3.1	星地链路计算公式	53
3.3.2	EIRP	53
3.3.3	传输损耗	54
3.3.3.1	自由空间传播损耗	54
3.3.3.2	极化损耗	54
3.3.3.3	指向损耗	55
3.3.3.4	大气损耗	55
3.3.4	接收系统的 G/T 值	55
3.3.5	计算示例	56
3.4	遥感卫星跟踪原理与模式	57
3.4.1	遥感卫星跟踪原理	57
3.4.2	遥感卫星跟踪模式	58
3.4.2.1	自动跟踪	58
3.4.2.2	程序跟踪	59
3.5	遥感卫星接收的基本原理	60
3.5.1	信号接收与放大	60
3.5.2	信号变频	60
3.5.3	数字解调和信道译码	62
3.6	遥感卫星数据接收系统	63



3.6.1 系统组成	63
3.6.1.1 天伺馈子系统	64
3.6.1.2 跟踪接收子系统	64
3.6.1.3 监控管理子系统	64
3.6.1.4 测试子系统	64
3.6.1.5 技术支持子系统	65
3.6.2 应用示例	65
参考文献	67
第4章 遥感卫星数据记录	68
4.1 数据采集	68
4.1.1 基于电平信号的数据采集	68
4.1.2 基于网络数据协议的数据采集	69
4.2 遥感卫星数据的去格式处理	70
4.2.1 同步及信道编码子层处理	71
4.2.1.1 维特比卷积码	72
4.2.1.2 数据帧同步	74
4.2.1.3 PN解扰	76
4.2.1.4 Reed-Solomon译码	77
4.2.1.5 循环冗余校验	80
4.2.2 数据链路协议子层处理	81
4.2.2.1 高级在轨系统帧格式解析	81
4.2.2.2 CCSDS无损压缩	82
4.3 遥感卫星图像移动窗显示	84
4.3.1 移动窗数据处理	84
4.3.2 移动窗数据显示	85
4.3.2.1 基于计算机图形编程接口的实现	85
4.3.2.2 基于流媒体技术的实现	86
4.4 0级数据生成	88
4.5 遥感卫星数据记录系统	88
4.5.1 系统硬件的组成	88
4.5.2 系统软件的组成	90
4.5.2.1 任务管理单元	90
4.5.2.2 数据记录及移动窗显示单元	91
4.5.2.3 0级数据生成单元	93

4.5.3 系统工作界面	94
参考文献	96
第5章 数据存档与管理	97
5.1 概 述	97
5.2 数据存储	98
5.2.1 数据存储对象	98
5.2.2 数据存储技术	98
5.2.2.1 磁带存储技术	98
5.2.2.2 磁盘阵列技术	101
5.2.2.3 数据共享	103
5.2.2.4 光盘技术	103
5.2.3 分级存储	104
5.3 数据编目	106
5.3.1 数据分景	106
5.3.2 浏览图	108
5.3.3 云量评估	109
5.3.4 元数据生成	111
5.4 数据管理	111
5.4.1 数据存储管理	111
5.4.1.1 数据命名	111
5.4.1.2 分层存储	112
5.4.1.3 数据迁移	114
5.4.2 元数据管理与检索	115
5.4.2.1 元数据管理	115
5.4.2.2 浏览图管理	122
5.4.2.3 数据检索	122
5.4.3 数据访问控制管理	126
5.5 数据服务	127
5.5.1 数据分发	127
5.5.1.1 共享分发	127
5.5.1.2 协议分发	127
5.5.1.3 个性化分发	128
5.5.2 产品定制	128
5.5.3 在线数据服务	129



5.6 数据存储与管理系统	129
5.6.1 系统组成	129
5.6.2 应用实例	130
参考文献	131
第6章 数据的备份与容灾	132
6.1 概述	132
6.2 遥感数据的安全考虑	133
6.3 遥感数据的特点与备份容灾机制	134
6.4 遥感数据容灾的建立	135
6.4.1 远端站点的选择	135
6.4.2 远端站点存储系统的建立	136
6.4.3 数据备份准备	136
6.4.4 数据在远端站点的建立	137
6.5 遥感数据的容灾管理	137
6.5.1 两地数据的一致	138
6.5.2 数据的互检索与互备份	138
6.5.3 数据存储状态的检查	139
6.5.4 数据的恢复	139
6.6 遥感数据容灾系统	140
6.6.1 系统组成	140
6.6.2 应用实例	141
参考文献	142
第7章 辐射校正	143
7.1 基本概念	143
7.2 辐射校正概述	143
7.3 星上定标处理	145
7.3.1 探测器偏置	145
7.3.1.1 可见光/近红外波段	145
7.3.1.2 热红外波段	147
7.3.2 探测器增益	149
7.3.2.1 可见光/近红外波段	149
7.3.2.2 热红外波段	149
7.4 辐射校正处理	150
7.4.1 前置处理	150

7.4.2	焦平面温度校正	151
7.4.3	辐射校正	151
7.4.4	反射率和地面温度的计算	152
7.4.4.1	反射率的计算	152
7.4.4.2	地面温度的计算	154
	参 考 文 献	154
第 8 章	几何校正	155
8.1	卫星成像几何误差的来源	155
8.2	几何校正的基础	156
8.2.1	时间系统	156
8.2.1.1	世界时	156
8.2.1.2	国际原子时	156
8.2.1.3	协调世界时	157
8.2.1.4	恒星时	157
8.2.2	坐标系统	157
8.2.2.1	焦平面坐标系	157
8.2.2.2	传感器坐标系	158
8.2.2.3	航行参考坐标系	158
8.2.2.4	惯性参考单元坐标系	159
8.2.2.5	轨道坐标系	159
8.2.2.6	地心惯性坐标系	160
8.2.2.7	地心旋转坐标系	160
8.2.2.8	大地坐标系	161
8.2.2.9	地图投影坐标系	161
8.2.3	坐标系的转换	162
8.2.3.1	航行参考坐标系到轨道坐标系的转换	162
8.2.3.2	轨道坐标系到地心惯性坐标系的转换	163
8.2.3.3	地心惯性坐标系到地心旋转坐标系的转换	163
8.2.3.4	地心旋转坐标系到大地坐标系的转换	163
8.2.3.5	大地坐标系到地图投影坐标系的转换	164
8.2.4	星历数据插值	165
8.2.5	重采样	166
8.3	严密成像模型	166
8.4	星历和姿态数据的处理	169



8.4.1	确定数据行的成像时间	169
8.4.2	确定数据行的星历参数	169
8.4.3	确定数据行的卫星姿态	170
8.4.3.1	常规姿态处理	170
8.4.3.2	姿态抖动提取	172
8.5	系统级几何校正	173
8.5.1	正向模型	174
8.5.1.1	视线矢量 LOS 的计算	174
8.5.1.2	视线矢量的坐标系转换	175
8.5.1.3	求解视线矢量在地面上的坐标	175
8.5.2	反向模型	176
8.5.2.1	建立输出空间	177
8.5.2.2	建立基准网格	177
8.5.2.3	将输入空间的基准网格映射到输出空间	178
8.5.2.4	SPOT 卫星反向模型	179
8.5.2.5	LANDSAT 卫星反向模型	179
8.6	几何精校正	181
8.6.1	几何精校正的原理	181
8.6.2	几何精校正的实现	182
8.7	正射校正	185
8.7.1	正射校正的一般原理	185
8.7.2	正射校正的实现	186
8.7.2.1	重建正向及反向模型	186
8.7.2.2	SPOT 卫星的正射校正	187
8.7.2.3	LANDSAT 卫星的正射校正	189
参考文献	190
第 9 章	产品生产	192
9.1	产品分级	192
9.1.1	光学遥感卫星数据的产品分级	192
9.1.2	雷达遥感卫星数据的产品分级	194
9.2	产品承载形式	195
9.3	产品数据格式	196
9.3.1	BSQ、BIL 和 BIP 格式	196
9.3.2	FAST 格式	197

9.3.3	CEOS 格式	200
9.3.4	DIMAP 格式	204
9.3.5	GEOTIFF 格式	207
9.3.6	HDF 格式	208
	参考文献	210
第 10 章	遥感数据的增值处理	211
10.1	数据分类	211
10.1.1	分类简介	211
10.1.1.1	遥感数据自动分类的特点	212
10.1.1.2	遥感数据的分类步骤	212
10.1.1.3	分类结果的精度评价	213
10.1.2	遥感数据的分类体系	215
10.1.2.1	基于单一光谱特征的图像分类	215
10.1.2.2	整合空间相关性与光谱特征的图像分类	215
10.1.2.3	整合纹理特征与光谱特征的图像分类	215
10.1.2.4	多特征融合的图像分类	216
10.1.3	光谱-空间分类器	216
10.1.3.1	马尔科夫随机场模型	216
10.1.3.2	最大后验马尔科夫随机场模型框架(MAP-MRF)	217
10.1.3.3	马尔科夫随机场模型能量最优化搜索算法	219
10.1.4	整合支持向量机与马尔科夫随机场的分类方法	220
10.1.4.1	支持向量机	220
10.1.4.2	最优分类超平面	220
10.1.4.3	支持向量机的核函数	222
10.1.4.4	支持向量机马尔科夫随机场模型	223
10.2	图像镶嵌	223
10.2.1	一般方法	224
10.2.2	多景镶嵌	225
10.2.3	存在的问题	225
10.2.4	采用统一空间坐标系的图像镶嵌	227
10.3	数据融合	228
10.3.1	概 述	228
10.3.2	融合方法的划分	228
10.3.2.1	按融合层次划分	228