



国防电子信息技术丛书

Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction
Fifth Edition

遥感数字图像 分析导论（第五版）

[澳] John A. Richards 著

张钧萍 谷延锋 陈雨时 译

国防电子信息技术丛书

遥感数字图像分析导论

(第五版)

Remote Sensing Digital Image Analysis
An Introduction

Fifth Edition

[澳] John A. Richards 著

张钧萍 谷延锋 陈雨时 译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书首先介绍了遥感图像数据源及特性,之后各章分两部分内容:第2章至第7章主要探讨遥感图像处理的基本技术和方法,包括校正和配准、增强、变换等,第8章至第12章主要探讨遥感图像处理的应用技术和方法,包括监督/非监督分类、特征减少、多源图像分析处理等。该书以易于读者理解和应用为宗旨,在侧重不同处理技术和方法的同时,充分结合了当前的新理论、新技术和新方法。特别值得指出的是,新版本在内容修订、材料补充的基础上,增加了许多图像及相关处理结果,更易于读者理解。

本书是从事遥感领域研究的高年级本科生、研究生的一部全面、完整、详细的教材,也是广大专业科技工作者应用参考、非专业人士自学遥感知识的经典之作。

Translation from the English language edition:

Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction, Fifth Edition by John A. Richards

Copyright © 2013 Springer Berlin Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg is a part of Springer Science + Business Media All Rights Reserved

Authorized Simplified Chinese language edition by Publishing House of Electronics Industry. Copyright © 2015.

本书简体中文专有翻译出版权由 Springer Science + Business Media 授予电子工业出版社。专有出版权受法律保护。

版权贸易合同登记号 图字:01-2013-6965

图书在版编目(CIP)数据

遥感数字图像分析导论:第5版/(澳)理查兹(Richards, J. A.)著,张钧萍,谷延锋,陈雨时译.

北京:电子工业出版社,2015.3

书名原文:Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction, Fifth Edition

ISBN 978-7-121-24991-4

I. ①遥… II. ①理… ②张… ③谷… ④陈… III. 遥感图象-数字图象处理 IV. ①TP751.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第278991号

策划编辑:马 岚

责任编辑:马 岚 特约编辑:姚 旭

印 刷:北京嘉恒彩色印刷有限公司

装 订:北京嘉恒彩色印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:22.75 字数:595千字 彩插:4

版 次:2009年6月第1版(原著第4版)

2015年3月第2版(原著第5版)

印 次:2015年3月第1次印刷

定 价:69.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

译者序

本书英文版第五版刚出版,作者 John A. Richards 教授就邮寄了一本送给哈尔滨工业大学的张晔教授。邮件送达的时候,我刚好在场,所以有幸第一时间读到了这一新版。我随手翻开,即发现这一版的改动相当大,不仅所有的图和表重新绘制,增加了大量新理论、新方法和新实例,而且其中的文字叙述部分也有相当多的修改。我曾参与第四版的翻译,并且讲授的研究生课程“遥感信息处理导论”也大部分取材于该书,所以对书中的绝大部分内容比较熟悉。这一版的更新幅度之大,让我在惊叹的同时,也很受感动。老先生真的很敬业!

Richards 教授曾两次受张晔老师邀请来哈尔滨工业大学访问,并被聘请担任哈尔滨工业大学客座教授,此外我在 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium 学术会议上也曾与他面对面交谈。在与 Richards 教授的多次接触中,我发现他是一位做事非常认真、做学问非常严谨的学者,并且为人谦和、诚恳,是位值得尊敬的长者。从新版如此大的变化,可以看出他对此次更新版的重视,以及所付出的辛劳和一丝不苟、精益求精的治学态度,这些都让我不由得肃然起敬。在后来的翻译过程中,我也确实亲身体会到这一点,几乎每一章、每一节的内容都经过了修订,甚至描述的语言都有变化,如此大的工作量不亚于将本书重新编写了一遍,这让我们在翻译过程中也丝毫不敢偷懒和懈怠。

这里要补充说明并且上版译者序中也曾介绍过的是,本书作者 John A. Richards 教授是 IEEE 会士和澳大利亚技术科学与工程院院士,曾任澳大利亚新南威尔士大学校长、澳大利亚国立大学副校长,是国际遥感图像处理领域的著名专家。由于不再担任行政管理职务,他把大量时间重新投入科研和著书工作,于 2009 年出版了一本新书 *Remote Sensing with Imaging Radar*, 之后又修订再版了本书,使之以崭新的面貌呈现在我们面前。

全书由哈尔滨工业大学张钧萍教授对译稿进行统稿,并负责翻译前言、第 1 章、第 2 章、第 11 章和第 12 章及全部附录,谷延锋教授负责翻译第 3 章、第 8 章至第 10 章,陈雨时讲师负责翻译第 4 章至第 7 章。另外,在整个翻译过程中,张晔教授给予了大力支持,邹斌教授提供了很多帮助,博士研究生石翠萍和陆小辰,硕士研究生李彤、马文静、张桂录、郑贺、王宏、林洲汉、吴蓓芬、程臻、王玉亭、赵兴和刘冬华等在资料整理和校对等方面做了大量工作,在此对他们表示衷心的感谢。

由于时间仓促,加之译者水平有限,书中难免有错误或不妥之处,敬请读者批评指正。

张钧萍

2014 年 7 月于哈尔滨工业大学

前 言

本书的第一版出版于 25 年前。从那时起,可用于分析遥感图像数据的计算资源取得了极大的进展,并且目前有更多的遥感项目和传感器正在实施和运行中。用于遥感图像处理和分析的算法也取得了重大进展。尽管如此,许多基本原理大体上还是相同的。编写这个新版本的目的,就是提供从那时起到现在依然保留其价值的材料,以及那些可以纳入遥感数据分析的运行机制的新技术。

这本书既可以作为高年级本科生和研究生的教材,也可以为那些在遥感中使用数字图像处理技术从事研究的专业人员提供基本的方案。讲解的水平主要是针对非数学专业人员。由于大量的遥感操作人员来自于地球科学领域,本教材定位于与他们的专业背景相当的水平。这一点很重要,因为在数字图像分析文献中认可的权威们往往来自于工程、计算机科学和数学领域。尽管不可避免地要熟悉一定程度的数学和统计学的知识,但是这里的处理是通过仔细分析来进行的,并且伴有大量的解释说明,因此即使那些数学基础相对薄弱的人员仍然可以从中受益。附录中包括了一些比较重要的数学和统计学概念,但前提是读者熟悉微积分。

从可操作的角度看,重要的是不要把图像分析的技术和算法与对遥感基本原理的理解分割开来。领域知识指导待分析数据的选择,并挑选最适合当前任务的算法。这样的一种操作方式是本书讲解的一个特点。本书覆盖的内容从图像数据的来源和特点概述开始,然后是地表物质的反射和发射特性,这是为那些没有关于遥感原理方面的详细知识和实践经验的读者准备的。接下来,本书介绍了图像校正、图像增强和图像分析,因此数字化数据处理也恰好位于其应用领域。

在融入了一些新材料的同时,我们也决定删除以前版本中包含的一些专题。具体来说,包含在前三个版本的正文中和第四版附录中的卫星计划和传感器特点的详细纲要,现在都被删除了。这么做有两个原因。首先,在光学和微波遥感领域,新的卫星和航空任务的出现比书籍(如本书)的面市更为迅速,不仅如此,现在通过互联网资源获得所有的相关材料也更容易。另外,遥感数据压缩部分的详细介绍也被删除了。

本版的另一个变化是关于引用方面的惯例。现在的参考文献包括在脚注里,而不是像科技文献中更常采用的在每一章的结尾给出注释。这样做是为了使读者对参考文献引用来源的跟踪更容易,当参考文献在正文中出现时更方便注释和评论。尽管如此,每章的结尾都还有一些关键的参考书目、评论,以及那一章所述专题的最重要的文献资料。使用这种脚注的应用之一就是标准术语 *ibid* 的引入,它表示参考文献引用如前, *loc. cit.* 表示引用上述最新的一组脚注。

我要感谢许多人,他们为本书的完成付出了时间,提供了观点和数据。我的同事和前学生, Xiuping Jia(贾秀萍)博士,也是本书第三版和第四版的合作者,感谢她在我任行政管理工作的行政管理工作中而没有足够的时间完成这两个版本的具体出版工作时,所提供的非常值得

称道的贡献。这一次，贾博士本人表示不能再参加这项再版工作。但是这里我仍要写下对她自以前版本一直到这一版书中所做贡献的真诚感谢，并对她在我们多年合作中所进行的关于遥感图像分析研究的富有成效的讨论致以衷心的感谢。

澳大利亚 HyVista Corporation Pty 有限公司的总经理 Terry Cocks 博士非常爽快地提供了西澳大利亚珀斯市的 HyMap 高光谱图像，使得这一版所包含的许多实例得以生成。美国普度大学的 Larry Biehl 博士极其耐心地帮助我学习使用 MultiSpec 软件，并使我达到了中等专业水平。该软件是 Larry Biehl 博士和 David Landgrebe 教授多年逐步开发的一款非常好用并且界面友好的图像分析程序包，起源于 20 世纪 60 ~ 70 年代进行遥感数字图像处理研究时大多采用的最初的 LARSYS 系统。他们把该系统移植到个人计算机，达到了与遥感分析人员和应用专家水平相近的实质性的专业处理能力。

最后，怀着强烈的感激之情，我要对我妻子 Glenda 的宽宏大度表示感谢，感谢她在我准备这一新版期间给予的支持，以及在我的整个学术生涯中给予的持续不断的大力支持。有时候，写作任务是很残酷的，对此贡献最多的就是朋友和家人，他们的鼓励以及对家庭活动时间的占用，使得这项任务最终得以完成。我认为我的确很幸运。

John A. Richards

2012 年 2 月于澳大利亚堪培拉，ACT

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

① J. J. Schaefer, Learning Machines, 2nd-Gen. Ed., N. Y., 1968

② R. D. Davis, F. E. Hart and R. L. Stark, Pattern Classification, 2nd ed., John Wiley & Sons, N. Y., 1970

③ R. D. Davis and R. L. Stark, eds., Pattern Recognition: The Computer Approach, McGraw-Hill, N. Y., 1972

目 录

第 1 章 遥感图像数据来源及特性	1
1.1 能量来源及波长范围	1
1.2 原始数据特性	3
1.3 遥感平台	4
1.4 地球表面的哪些特性能够测量	8
1.5 通常的空间数据源与地理信息系统	13
1.6 数字图像数据的尺度	15
1.7 数字地球	16
1.8 本书的结构安排	17
1.9 关于遥感图像数据来源及特性的参考文献	18
1.10 习题	19
第 2 章 校正与配准图像	22
2.1 引言	22
2.2 辐射失真源	22
2.3 仪器误差	23
2.4 太阳辐射曲线和大气对辐射测量的影响	25
2.5 补偿太阳辐射曲线	26
2.6 大气的影响	26
2.7 大气对遥感图像的影响	29
2.8 校正宽波段系统的大气影响	30
2.9 校正窄波段系统的大气影响	31
2.10 经验的、数据驱动的大气校正方法	35
2.11 几何失真源	37
2.12 地球自转的影响	38
2.13 平台高度、姿态和速度变化的影响	39
2.14 传感器视场的影响：全景失真	40
2.15 地球曲率的影响	41
2.16 仪器特性造成的几何失真	42
2.17 几何失真校正	43
2.18 利用映射函数进行图像校正	44
2.19 几何失真的数学表示及校正	50
2.20 图像到图像的配准	52
2.21 其他图像几何操作	55

2.22	关于校正和配准图像的参考文献	55
2.23	习题	56
第3章	解译图像	61
3.1	引言	61
3.2	图像解译	61
3.3	量化分析:从数据到标签	64
3.4	量化分析和像片解译的对比	64
3.5	量化分析的基础	65
3.6	子类和光谱类	70
3.7	非监督分类	71
3.8	关于解译图像的参考文献	72
3.9	习题	72
第4章	图像的辐射增强	74
4.1	引言	74
4.2	图像直方图	74
4.3	对比度修正	75
4.4	直方图均衡	79
4.5	直方图匹配	84
4.6	密度分割	87
4.7	关于图像辐射增强的参考文献	89
4.8	习题	90
第5章	几何处理与增强:图像域技术	93
5.1	引言	93
5.2	图像滤波的邻域操作	93
5.3	图像平滑	95
5.4	锐化和边缘检测	98
5.5	边缘检测	103
5.6	线检测和点检测	103
5.7	细化和连接	103
5.8	作为卷积运算的几何处理	104
5.9	图像域技术和傅里叶变换方法的比较	106
5.10	图像的几何特性	107
5.11	形态学分析	110
5.12	形状识别	114
5.13	关于图像域技术的几何增强的参考文献	115
5.14	习题	115

第 6 章 图像光谱域变换	117
6.1 引言	117
6.2 图像算术和植被指数	117
6.3 主成分变换	119
6.4 噪声调整的主成分变换	135
6.5 Kauth-Thomas 缨帽变换	137
6.6 核主成分分析	139
6.7 HSI 图像显示	142
6.8 全色锐化	143
6.9 关于光谱域图像变换的参考文献	143
6.10 习题	145
第 7 章 图像的空间域变换	147
7.1 引言	147
7.2 特殊函数	147
7.3 傅里叶级数	150
7.4 傅里叶变换	152
7.5 离散傅里叶变换	153
7.6 卷积	156
7.7 采样定理	158
7.8 图像的离散傅里叶变换	160
7.9 利用傅里叶变换对图像进行处理	162
7.10 二维卷积	164
7.11 其他傅里叶变换	164
7.12 频谱泄漏和窗函数	165
7.13 小波变换	166
7.14 图像的小波变换	175
7.15 小波变换在遥感图像分析中的应用	176
7.16 关于空间域图像变换的参考文献	176
7.17 习题	177
第 8 章 监督分类技术	179
8.1 引言	179
8.2 监督分类的基本步骤	179
8.3 最大似然分类	181
8.4 高斯混合模型	188
8.5 最小距离分类器	192
8.6 平行六面体分类器	195
8.7 马氏距离分类器	196

8.8	非参数分类	196
8.9	查表分类	197
8.10	k 近邻分类器	197
8.11	光谱角制图	198
8.12	非参数分类——几何方法	198
8.13	训练线性分类器	199
8.14	支持向量机: 线性可分类别	199
8.15	支持向量机: 类别重叠情况	203
8.16	支持向量机: 线性不可分数据和核函数	205
8.17	用两类分类器进行多类别分类	207
8.18	分类器委员会	208
8.19	网络分类器: 神经网络	210
8.20	基于上下文的分类	218
8.21	关于监督分类技术的参考文献	226
8.22	习题	229
第 9 章	聚类与非监督分类	231
9.1	聚类的应用	231
9.2	相似性度量与聚类准则	231
9.3	k 均值聚类	233
9.4	Isodata 聚类	234
9.5	初始聚类中心的选择	235
9.6	k 均值和 Isodata 的聚类代价	235
9.7	非监督分类	236
9.8	一个关于 k 均值算法聚类的例子	236
9.9	单通聚类技术	238
9.10	分层聚类	240
9.11	其他聚类指标	241
9.12	其他聚类技术	242
9.13	聚类空间分类	242
9.14	关于聚类与非监督分类的参考文献	245
9.15	习题	246
第 10 章	特征减少	248
10.1	特征减少的必要性	248
10.2	处理高维数据的一些注意事项	248
10.3	可分性度量	249
10.4	离散度	250
10.5	Jeffries-Matusita 距离	252

10.6	变换离散度	254
10.7	用于最小距离分类的可分性度量	255
10.8	通过光谱变换进行特征减少	255
10.9	协方差矩阵块对角化	267
10.10	通过正则化提高协方差估计	271
10.11	关于特征减少的参考文献	272
10.12	习题	272
第 11 章	图像分类实践	275
11.1	引言	275
11.2	分类概述	275
11.3	采用最大似然规则的监督分类	277
11.4	混合的监督/非监督方法	280
11.5	聚类空间分类	284
11.6	采用支持向量机的监督分类	284
11.7	评价分类精度	286
11.8	决策树分类器	299
11.9	通过光谱学和光谱库搜索的图像解译	306
11.10	端元与解混	307
11.11	是否存在最好的分类器	308
11.12	关于图像分类实践的参考文献	312
11.13	习题	314
第 12 章	多源图像分析	316
12.1	引言	316
12.2	堆栈向量分析	317
12.3	统计多源方法	317
12.4	证据理论	321
12.5	基于知识的图像分析	324
12.6	可操作的多源分析	331
12.7	关于多源图像分析的参考文献	333
12.8	习题	335
附录 A	卫星高度和周期	337
附录 B	十进制数的二进制表示	339
附录 C	向量和矩阵代数中的基本结果	340
附录 D	概率与统计的一些基础知识	347
附录 E	最大似然决策准则惩罚函数的推导	350

第 1 章 遥感图像数据来源及特性

1.1 能量来源及波长范围

在遥感中，来源于地球表面的能量是通过安装在航空或航天平台上的传感器测量的。这种测量用于构建平台下方场景的图像，如图 1.1 所示。

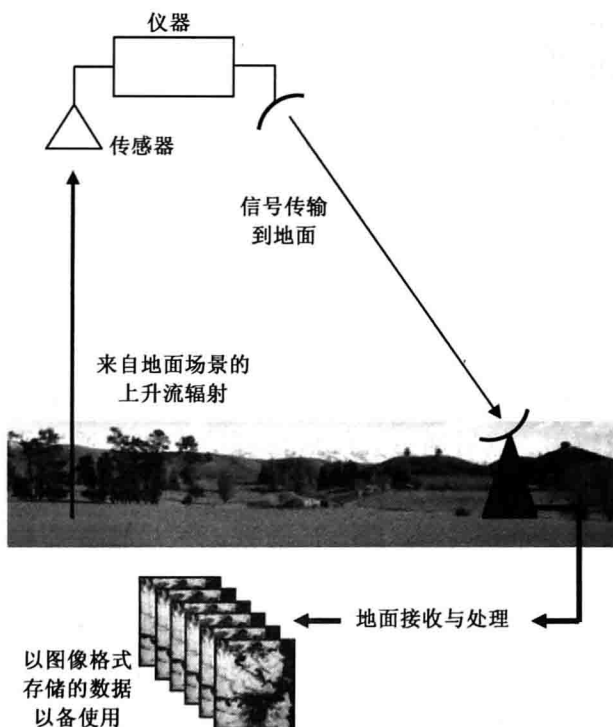


图 1.1 遥感系统中的信号流

原则上，来自地球表面的任何能量都可以用于形成一幅图像。最常见的能量来源是反射的太阳光，所以尽管遥感所用的波长常常在人类的视觉范围以外，但所记录的图像在许多方面仍然类似于我们从飞机上观看地球表面的景象。另外，获得的能量也可能来自于地球本身，由于其自身的有限温度，也可以作为辐射源。或者，还可能通过如激光或雷达等人工源辐射到地表后散射到传感器的能量。

只要能够获得能量源，几乎所有的波长均可用于成像，以表示地球表面的特性。然而，这会有一些根本的限制，特别是当从航天的高度来成像的时候。地球的大气并不允许所有波长的辐射通过，一些波长的能量会被大气分子吸收。那些很少或没有被吸收的波长形成了所谓的大气窗口 (atmospheric window)。图 1.2 给出了在很宽的电磁波谱范围内空-地之间路径上的地球大气层透过率。很显然，在光谱的可见光和红外区域存在着大量的大气窗口，同样地，在无线电波波长下大气几乎是完全透明的。遥感中用于成像

的波长无疑受限于这些大气窗口。这些波长包括有覆盖了可见光和红外的所谓的“光学”波长、热波长,以及用于对地表进行雷达和被动微波成像的无线电波波长。

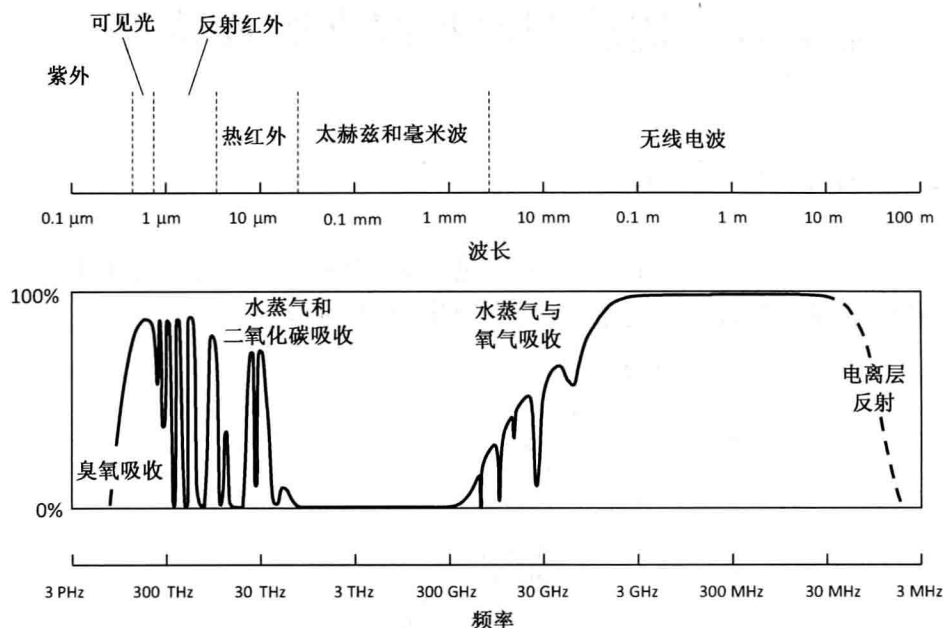


图 1.2 电磁波谱和地球大气层的透过率

无论对地球表面成像的波长范围有多大,整个系统都是一个复杂的系统,包括源自地球表面的能量散射或辐射,然后通过大气传输到达安装在遥感平台上的仪器,仪器记录的数据再传回到地面,之后处理成图像产品以备用户应用。该数据链如图 1.1 所示。从图像获取往前是本书所关注的内容,即一旦数据以图像格式获得之后,我们希望了解数据是如何被解译的。

我们经常将记录的图像称为“图像数据”,因为它是我们从中提取可用信息的原始数据来源。航空或航天平台上传感器获取的图像数据的重要特性之一,就是其易于以数字的形式应用。在空间上,数据由离散的图像元素或像素(pixel)组成。辐射(即亮度)上,它被量化成离散量级。

遥感系统所提供的图像数据的最重要的特征可能就是在图像获取过程中所使用的波长,或波长范围。如果被测量的是反射的太阳辐射,那么原则上在紫外、可见光、近红外到中红外的波长范围都可以获取图像。但是,由于较强的大气吸收,如图 1.2 所示,在航天器高度不进行紫外测量。最常用的光学遥感系统从可见光到近红外及中红外范围记录数据,典型的波长覆盖范围约为 0.4 ~ 2.5 μm。

地球本身在热红外波长范围辐射的能量,也可以被分解成不同的波长,这种分解有助于理解被成像的地表特性。图 1.3 解释了为什么这些波长很重要。太阳作为主要的能量来源,温度约为 5950 K。从理论上讲,它辐射的能量作为波长的函数,可由普朗克黑体辐射定律来描述。在图 1.3 中可以看到,在略小于 1 μm 的波长处有最大的输出,在早前提到的 0.4 ~ 2.5 μm 范围有中等强度的辐射。

地球也可以被看作是一个黑体辐射物,其温度为 300 K。如图 1.3 可见,其辐射曲

线在 10 μm 附近达到最大值。因此，用来测量表面温度的遥感仪器典型的工作范围是 8 ~ 12 μm 。图 1.3 还显示了对应温度为 1000 K 的火焰的黑体辐射曲线。正如我们所观察到的，其最大输出在 3 ~ 5 μm 的波长范围内。因此，典型地为绘制地球表面燃烧的大火而设计的传感器就工作在该范围。

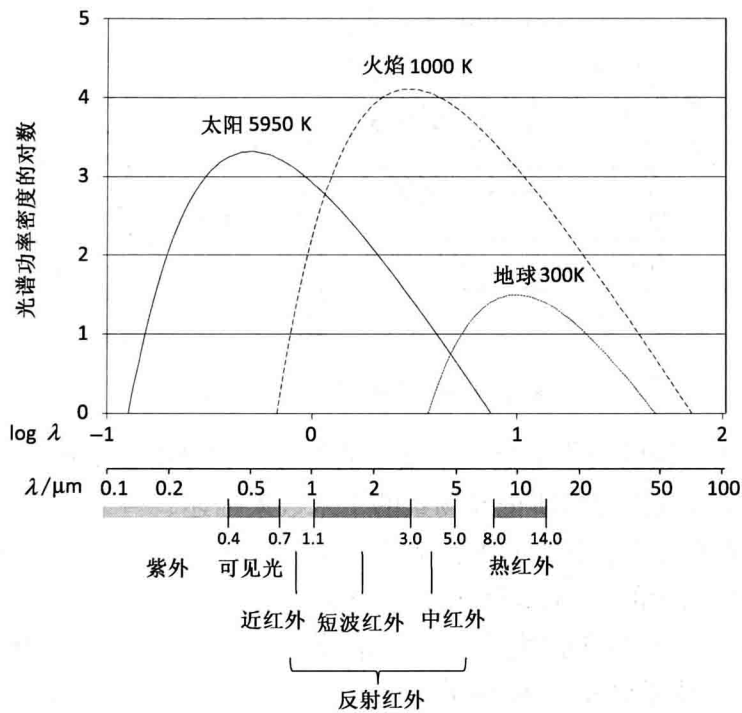


图 1.3 在地球表面测量时黑体的相对能级；太阳辐射由于经过了从太阳到地球的传播距离，太阳曲线的幅度已被衰减；该图也给出了在光学遥感中使用的不同波长范围之间的分界线

可见光、反射红外和热红外的波长范围只代表了遥感中的部分内容。我们也可以在微波或无线电波，这些典型地应用于移动电话、电视、调频收音机及雷达技术中的波长范围来对地球成像。尽管地球的确发射一些其自身的微波辐射，但对于大多数遥感用途来说，通常这种辐射太小而不能被测量到。相反，能量是从平台辐射到地球表面的。在微波波段的图像数据是通过测量散射回平台的能量来记录的^①。由于能量源是由平台自身或伴随平台提供的，这样的系统称为“主动系统”。比较而言，依赖于如太阳或地球本身等能量源的遥感测量系统称为“被动系统”。

1.2 原始数据特性

在图像处理和分析中，具有重要意义的数字化图像数据的特性包括：光谱测量(波段或通道)的个数和位置、由像素大小所描述的空间分辨率及辐射分辨率(radiometric resolution)，如图 1.4 所示。辐射分辨率描述的是离散亮度值的范围和可辨别的亮度值个数，有时也称其为“动态范围”，与所用探测器的信噪比有关。辐射分辨率常常以表示

^① J. A. Richards, *Remote Sensing with Imaging Radar*, Springer, Berlin, 2009. (关于微波波长的遥感处理)

有效亮度值范围所必需的二进制数字的位数或者比特为单位来表示。这样，具有 8 比特辐射分辨率的数据有 256 个灰度级，而具有 12 比特辐射分辨率的数据有 4096 个灰度级（见附录 B）。

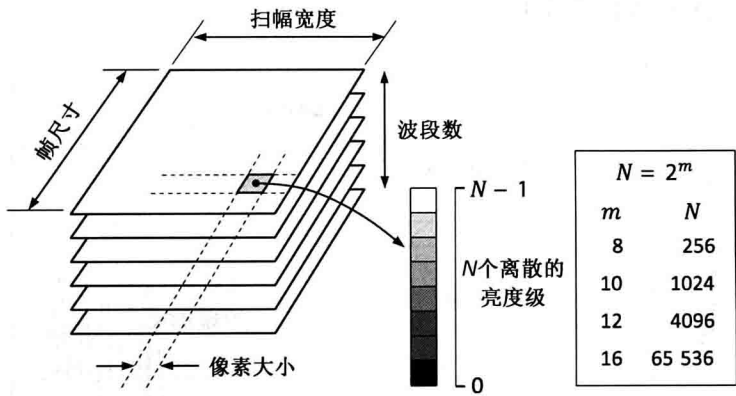


图 1.4 数字图像数据的技术特性

记录下来的图像帧的大小也是一个重要的特性。它是由整个帧、或者“扫幅”的像素个数来描述的，也可以由覆盖所记录场景的千米数来描述。一个特定传感器所生成的数据量，是由图像帧的大小、谱带个数、辐射分辨率和空间分辨率共同决定的。这也就决定了将要处理的数据量的大小，至少从原理上是这样。

图像特性如像素大小和帧大小，与记录数据所使用的传感器的技术性能直接相关。如图 1.5 所示，传感器的瞬时视场 (instantaneous field of view, IFOV) 是其最精细的角分辨率。当从平台的工作高度向地球表面投影时，瞬时视场根据等效地面米数定义了最小的可分辨单元，我们也称之为“像素大小”。类似地，同样如图 1.5 所示，传感器的视场 (field of view, FOV) 是它所能横跨地球表面的可视角度范围。当以这个角度投影到地表时，它以等效地面千米数定义了扫幅宽度。随着遥感平台向前移动，大部分图像是以连续条带的形式记录的。一般来讲，特别是对于航天计划，条带被分隔成段，每段的长度与扫幅宽度相等，因此产生了方形的图像帧。对于航空系统，数据会保留原始的条带格式，以得到指定飞行任务的完整航线。

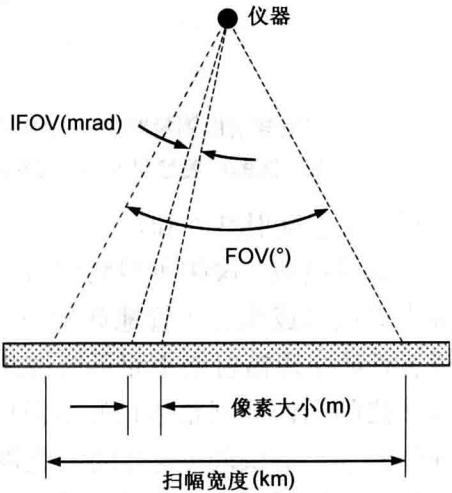


图 1.5 图像空间特性的定义及常见的表示单位

1.3 遥感平台

在遥感中，既可以在卫星、也可以在机载平台上进行成像。两者的传感器在很多方面有相似的特性，但它们在高度和稳定性上的不同会导致不同的图像特性。

有两大类卫星项目：第一类卫星位于地球表面上空一定高度，在与地球相对位置保持不变的轨道运行，这类卫星一般用于天气和气候的研究；第二类卫星围绕更靠近地球表面的轨道运行，它们一般用于地表和海洋的观测。地球低轨卫星通常是在太阳同步轨道，这意味着轨道平面的设计要使得其围绕地球进动的速度与太阳穿越地球表面的速度同步。以这种方式，卫星在每个轨道上，于大约相同的当地时间获得数据。

地球低轨卫星也可用于气象研究。尽管高度上有差异，但对地同步和地球轨道卫星所用的波段与气象和地球观测卫星所用的波段是非常类似的。它们所提供的图像数据的主要差别一般是有效的空间分辨率。以地球资源为目的得到的数据，像素大小为 10 m 左右的数量级，而以用于气象为目的（无论是与地球同步的，还是更低轨道的）所得到的数据有更大的像素尺寸，通常的数量级为 1 km。

用于卫星遥感的成像技术形式多样，从传统的相机到扫描仪。后者是通过移动横跨地表记录上升流能量的仪器的瞬时视场来记录地球表面图像的。扫描仪技术的典型应用是 Landsat 系统，该系统中的机械扫描仪在与卫星运动方向相垂直的角度上记录数据，产生光栅扫描数据。卫星的前向运动使得可以通过光栅扫描逐渐获得数据条带。该过程如图 1.6 所示。

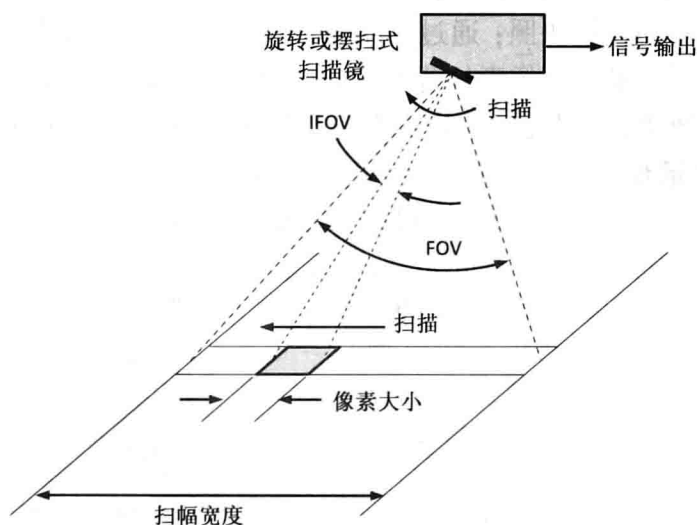


图 1.6 通过机械线扫描形成图像

尽管传感器的指向随卫星的轴向变化^①，一些气象卫星通过卫星自身的旋转来扫描地球表面，然后以光栅扫描方式记录图像数据。

随着基于电荷耦合器件 (charge coupled device, CCD) 技术的可靠探测器阵列的实用化，另一种图像获取机制利用的是通常称为“推扫式”的技术。用这种方法，可将一个线性的 CCD 成像阵列，如图 1.7 所示，垂直于平台的移动方向，放置在卫星上。随着卫星向前移动，该阵列以条带的形式记录图像数据，条带的宽度等于阵列的可视视场。每个单独的探测器记录一个条带，其宽度等于一个像素的大小。由于采用推扫技术时，接收从

^① www.jma.go.jp/jma/jma-eng/satellite/history.html.