



黄敬峰 王秀珍 王福民 \ 著

水稻卫星遥感不确定性研究

Uncertainty in Paddy Rice Remote Sensing



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

水稻卫星遥感不确定性研究

黄敬峰 王秀珍 王福民 著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

水稻卫星遥感不确定性研究 / 黄敬峰, 王秀珍, 王福民著.
— 杭州: 浙江大学出版社, 2013. 8
ISBN 978-7-308-11539-1

I. ①水… II. ①黄… ②王… ③王… III. ①水稻—
产量—卫星遥感—研究 IV. ①S511

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 107074 号

地图审核号: 浙 S(2013)136 号

水稻卫星遥感不确定性研究

黄敬峰 王秀珍 王福民 著

责任编辑	陈静毅
封面设计	续设计
出版发行	浙江大学出版社 (杭州天目山路 148 号 邮政编码 310007) (网址: http://www.zjupress.com)
排 版	杭州星云光电图文制作工作室
印 刷	浙江印刷集团有限公司
开 本	787mm×1092mm 1/16
印 张	12.5
字 数	304 千
版 次	2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-308-11539-1
定 价	98.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式 (0571) 88925591; <http://zjdxcb.tmall.com>

序

我出生在乡村,在我的记忆中,小时候我父母从撒谷子播种、耕田插秧开始直至水稻开花抽穗、成熟的过程中,一直在叨咕当年的收成将是怎样?这生动地反映了当代面向黄土背朝天的农民们对水稻丰收的期待。但也有几分可怜天下父母心,同情他们对自家水稻田的估产凭的仅仅是经验和一双眼睛。众所周知,至今水稻还是我国的主要农作物,中国是世界上水稻产量最高的国家,基于 13 多亿人口大国的民生和国际市场的需求,在水稻生长过程中,国家需要事先估产。幸好现在有在几百公里高空的人造卫星中的“千里眼”,有卫星遥感系统(RS)、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)三大高新技术支撑,能对全国水稻总产作出估测,已在国家的粮食和国际贸易等重大决策中发挥了可喜的作用。然而估产结果无疑还有很多不确定性,这些不确定性来自“千里眼”——卫星遥感器获取遥感影像质量、数据预处理、水稻多阶段信息提取以及产量估测专题图生成等过程的传递与积累。

一直以来,人们对遥感估产的不确定性研究大都停留在对典型的十分有限的样本,实地调查验证得到一个估产精度,只是作为零散和独立事件来认识和分析不确定性。可喜的是浙江大学黄敬峰教授率领他的团队埋头十几年,不辞劳苦收集海量卫星遥感资料,通过水稻卫星遥感信息提取分区,利用数据挖掘和知识发现的水稻种植面积遥感估算,在水稻主要发育期的遥感估算、水稻主要发育期的遥感识别、水稻产品遥感预测模型研发以及水稻估产遥感系统的建立和试验应用的基础上,一丝不苟地开展水稻遥感估产不确定性的系统研究。由黄敬峰、王秀珍、王福民近期完成的《水稻卫星遥感不确定性研究》一书使水稻遥感估产一直处于有些混沌或模糊边缘的不确定现象在理论和方法层面上有了完整、清晰的认识。在我国水稻遥感技术的发展道路上又跨出了十分可喜的一大步,可歌可贺。

与国内外相关著作和成果相比,该书在以下几个方面很有特色,具有显著进展:①将知识发现的思路和数据挖掘方法引入水稻面积提取,通过分析水稻整个发育期的植被指数特征,提炼出能用于水稻面积提取的知识和规则,并用于大范围水稻面积提取,提高水稻面积提取的科学性、客观性和可重复性;②实现水稻面积遥感提取的不确定性可视化表达,提出利用分类图主图、最大概率值图、嫡值图和水稻类概率值图等系列图件表达硬分类法的水稻面积遥感估测结果的不

确定性,使得用户不仅可以获得感兴趣地物的分类结果信息,还可以判断分类结果在像元水平的可信度;③利用全局敏感性分析方法,分析水稻叶面积指数(LAI)和叶片氮素含量(NFLV)遥感估算数据误差及耦合时间对水稻生长模型ORYZA2000输出结果的影响;④研发具有自主知识产权的水稻遥感信息提取系统,能够提高数据处理效率,为开展水稻遥感业务服务提供良好基础。

该书是浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所继《水稻遥感估产》(王人潮,黄敬峰,2002年,农业出版社)、《水稻高光谱遥感实验研究》(黄敬峰,王福民,王秀珍,2010年,浙江大学出版社)又一本关于水稻遥感研究与应用的专著。著者集众贤之能,承实践之上,总结经验,挥笔习书,言理论、话技术、摆范例。作为一本内容丰富、集系统性与实用性于一体的佳作,该书不仅可为遥感从业者提供重要参考,还可作为农学、摄影测量学和卫星遥感学研究生的有益参考书籍,亦值得我国农业方面相关的专家和政府工作人员一览。

更可喜的是,品读这本专著使我看到了我国年轻一代的遥感科学工作者沿着浙江大学王人潮教授自20世纪70年代创导的农业信息化之路正在茁壮成长,祝贺他们青出于蓝而胜于蓝!

中国工程院院士

潘德炉

2013年3月

前 言

浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所最有特色和优势的研究方向——水稻遥感研究与应用,自我的导师王人潮教授在 20 世纪 70 年代末开始进行相关研究以来,已经持续开展了 30 多年。如何深入系统地推进水稻遥感研究与应用,提高水稻遥感信息提取的科学性、准确性、可靠性和稳定性始终是我们奋斗的目标。

本书是继 2002 年王人潮教授和我合作出版的专著《水稻遥感估产》以来所做的工作总结。10 多年来,本研究陆续得到国家自然科学基金、国家高技术研究发展计划(“863”计划)、国家科技支撑计划等项目的资助,这些课题主要有:国家自然科学基金项目“基于知识发现的水稻种植面积遥感信息智能提取方法研究”(2009—2011 年)、“基于共享数据挖掘的区域水稻生长模拟模型研究”(2009—2011 年)、“水稻种植面积遥感提取的不确定性和误差传递研究”(2012—2015 年);国家“863”项目“稻麦品质遥感监测与预报技术研究”子课题“水稻品质遥感监测研究与应用”(2001—2005 年)、“国家级农情遥感监测与信息服务系统”子课题“水稻长势遥感监测及单产遥感估产模型”(2004—2005 年)、“国家粮食主产区粮食作物种植面积遥感测量与估产业务系统”子课题“水稻长势监测与产量估算统计遥感模型研究”(2006—2010 年)、“全球大宗作物遥感定量监测关键技术”子课题“全球水稻遥感定量监测关键技术”(2012—2014 年);国家科技支撑计划项目“农林气象灾害监测预警与防控关键技术研究”子课题“南方双季稻低温灾害立体监测与动态评估技术研究”(2011—2015 年);高等学校博士学科点专项科研基金项目“稻飞虱东亚迁飞场遥感监测研究”(2011—2013 年);浙江省科技厅配套项目“水稻长势监测与产量估算统计遥感模型研究”(2006—2010 年)。本书是这些项目研究成果的系统总结。

在完成以上课题的过程中,多位研究生参与研究并完成学位论文,主要有“水稻参数高光谱反演方法研究及其系统开发和水稻面积遥感提取”(王福民,2007 年)、“水稻遥感估产的不确定性研究”(陈拉,2007 年)、“基于神经网络和支持向量机的水稻遥感信息提取研究”(杨晓华,2007 年)、“利用多时相 MODIS 数据提取中国水稻种植面积和长势信息”(孙华生,2008 年)、“基于统计与 MODIS 数据的水稻遥感估产方法”(彭代亮,2009 年)、“水稻遥感信息提取系统设计与实现”(郭瑞芳,2012 年)。本书是在这些学位论文的基础上,经过加工整理和深

化提升撰写而成的。

全书共分9章。第1章根据不确定性和系统论理论,从遥感影像获取的空间分辨率、时间分辨率、波谱分辨率、背景影响,遥感影像预处理的辐射定标、大气校正、几何校正,水稻遥感信息提取的水稻面积提取、单产预报、专题制图等几个方面,详细阐述水稻遥感信息提取中的不确定性问题。第2章分析在进行大范围水稻遥感信息提取时,研究区内的地形地貌、地物结构、大气条件、水稻分布和产量等引起的水稻遥感信息提取的不确定性;根据水稻遥感信息提取的需要,以中国和湖南省作为研究区,研究水稻遥感信息提取分区的思路、方法和指标,并分析分区结果。第3章主要介绍利用 Landsat5 TM 数据,采用最小距离法、后向传播神经网络模型、概率神经网络、支持向量机网络模型等空间数据挖掘方法进行水稻面积遥感估算。结果发现用神经网络和支持向量机等非线性模型方法提取的水稻种植面积精度高于最小距离分类法等统计模型提取的水稻种植面积提取精度。第4章重点介绍基于知识发现的理念,利用地面实测光谱数据和 MODIS 数据,分析研究水稻典型发育期光谱特征,凝练出可以用于水稻面积遥感估算的知识,提出基于知识发现的水稻种植面积遥感估算方法与技术路线。然后以我国为研究区,采用 MODIS 数据,制作单季稻、早稻和晚稻的空间分布图,并进行精度验证。第5章介绍利用浙江省典型水稻种植区 TM 影像和模拟影像,采用最大似然法(MLC)、K-最邻近值法(KNN)、后向传播神经网络模型(BPN)以及模糊自适应网络(FUZZY ARTMAP)等分类方法,对各算法单独分类、多种分类算法结合以及全模糊 BP 神经网络分类等不同分类策略的结果进行比较,研究不同方法和策略引起的水稻面积遥感估算的不确定性,分析像元纯度对水稻面积遥感估算的影响,探讨水稻面积遥感估算不确定性的可视化表达方法。第6章阐述采用多时相 MODIS EVI 数据,通过傅立叶和小波低通滤波平滑后,利用转折点法、变化阈值法、最大变化斜率法等确定水稻移栽期、分蘖期、抽穗期和成熟期的思路与方法。第7章在水稻遥感估产分区、水稻面积提取的基础上,利用多时相 MOD09A1 和 MOD13Q1 数据、分县水稻单产和总产数据、湖南调查总队农业处提供的 2006 年和 2007 年早稻、晚稻及单季稻抽样调查地块实割实测标准亩产数据,建立基于多时相 MODIS 数据的水稻总产和单产遥感预报模型,以及基于像元水平 MODIS GPP/NPP 的水稻遥感估产模型。第8章主要介绍水稻生长模型 ORYZA2000 和遥感数据耦合时的多个输入变量的敏感性和模型不确定性,以及 LAI 和 NFLV 两个状态变量作为耦合数据时,其遥感估算误差和耦合数据时间对 ORYZA2000 模型输出的影响。第9章介绍采用 IDL 语言和 ENVI 二次开发技术开发的水稻遥感信息提取系统。该系统根据本研究团队多年来的研究成果,参考国内外有关水稻信息遥感提取方法,设计水稻遥感信息提取数据流程、结构和模块;开发水稻遥感信息提取预处理模块、面

积信息提取模块、生育期识别模块、长势监测模块、产量预报模块和结果输出模块;可以提高数据处理速度,实现大面积水稻遥感信息提取。

在本书出版之际,特别感谢潘德炉院士在百忙之中为本书撰写序,衷心感谢王人潮教授审阅了全书并提出宝贵意见。感谢国家农业信息化工程技术研究中心赵春江研究员、王纪华研究员、李存军副研究员、徐新刚副研究员、顾晓鹤副研究员,中国科学院遥感与数字地球研究所吴炳方研究员、刘良云研究员、黄文江研究员,北京师范大学潘耀忠教授、刘绍民教授、朱文泉副教授,浙江省气象局俞善贤研究员、杨忠恩高级工程师、袁德辉工程师、魏平工程师,浙江大学周启发副教授、吴军副教授和浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所的各位老师,他们在研究过程中给予了大力的指导、帮助和有益的建议。在实地调查与数据获取过程中,唐延林、程乾、李军、徐俊锋、朱蕾、刘占宇、王渊、易秋香、杨晓华、陈拉、余梓木、金艳、彭代亮、邓睿、王红说、曾彩珍等同学也提供了帮助,特此表示衷心的感谢!同时,感谢杭州师范大学遥感与地球科学研究院和福建师范大学地理科学学院在经费上的支持。

黄敬峰

2013年3月

目 录

第 1 章 水稻卫星遥感不确定性分析	(1)
1.1 空间信息科学不确定性的概念和研究进展	(1)
1.1.1 空间信息科学不确定性的概念	(1)
1.1.2 空间信息科学不确定性的研究进展	(1)
1.2 遥感影像获取的不确定性	(3)
1.2.1 不同空间分辨率引起的不确定性	(4)
1.2.2 遥感影像获取时间引起的不确定性	(5)
1.2.3 不同传感器的波谱响应特征引起的不确定性	(8)
1.2.4 目标物本身及其背景参数光谱特征引起的不确定性	(11)
1.2.5 其他数据获取的不确定性	(12)
1.3 遥感数据预处理的不确定性	(12)
1.3.1 辐射定标引起的不确定性	(12)
1.3.2 大气校正引起的不确定性	(13)
1.3.3 几何校正引起的不确定性	(14)
1.4 水稻卫星遥感信息提取的不确定性	(15)
1.4.1 水稻种植面积遥感估算的不确定性	(15)
1.4.2 水稻单产遥感预报的不确定性	(16)
1.4.3 水稻遥感专题制图的不确定性	(19)
1.5 本章小结	(19)
第 2 章 水稻卫星遥感信息提取分区	(20)
2.1 中国水稻卫星遥感信息提取分区	(20)
2.1.1 分区指标	(20)
2.1.2 分区方法	(24)
2.1.3 分区结果	(25)
2.2 湖南省水稻卫星遥感信息提取分区	(26)
2.2.1 分区指标	(26)
2.2.2 分区方法	(27)
2.2.3 分区结果	(27)
2.3 本章小结	(29)

第3章 基于数据挖掘的水稻种植面积遥感估算	(30)
3.1 研究区数据获取与处理	(30)
3.1.1 研究区数据获取	(30)
3.1.2 遥感影像预处理	(31)
3.2 基于穗帽变换的水稻面积遥感估算	(32)
3.2.1 遥感影像分类特征变量的确定	(32)
3.2.2 基于穗帽变换的水稻面积遥感估算结果	(33)
3.2.3 基于穗帽变换的水稻面积遥感估算精度验证	(34)
3.3 基于神经网络和支持向量机的水稻种植面积遥感信息提取	(36)
3.3.1 遥感影像分类特征变量的确定	(37)
3.3.2 基于神经网络和支持向量机的水稻种植面积遥感估算与精度检验	(41)
3.4 本章小结	(45)
第4章 基于知识发现的水稻种植面积遥感估算	(46)
4.1 水稻生长发育期光谱特征分析	(46)
4.2 基于知识发现的水稻种植面积遥感估算方法与技术路线	(49)
4.3 时间序列 MODIS 数据去噪处理	(50)
4.4 基于多时相 MODIS 数据提取的中国水稻空间分布	(53)
4.5 基于多时相 MODIS 数据提取的中国水稻种植面积精度检验	(57)
4.5.1 基于统计数据的中国水稻种植面积遥感估算精度验证	(57)
4.5.2 基于中等空间分辨率遥感解译结果的空间位置匹配检验	(57)
4.6 本章小结	(69)
第5章 水稻面积遥感估算的不确定性研究	(71)
5.1 研究区分类影像数据和研究方法	(71)
5.1.1 遥感模拟影像	(71)
5.1.2 训练样本和分类参数选择	(72)
5.1.3 分类结果评价	(73)
5.1.4 分类不确定性可视化表达	(73)
5.2 分类方法引起的水稻面积遥感估算的不确定性	(74)
5.2.1 基于不同分类器单独硬分类的水稻面积遥感估算结果比较	(74)
5.2.2 基于部分模糊分类和全模糊分类水稻面积估算结果比较	(77)
5.2.3 基于多分类器结合的水稻面积遥感估算结果比较	(81)
5.3 像元纯度引起的水稻面积遥感估算的不确定性	(83)
5.3.1 研究区 TM 影像的像元纯度分析	(83)
5.3.2 像元纯度对分类精度的影响	(84)
5.4 参考专题图尺度扩展处理后各类别面积的不确定性分析	(86)
5.5 水稻面积遥感估算不确定性的可视化表达	(87)

5.6 本章小结	(89)
第 6 章 水稻主要发育期的遥感识别	(90)
6.1 样点的选择	(90)
6.2 增强的植被指数时间序列重构	(91)
6.3 水稻主要发育期遥感识别的算法与技术路线	(92)
6.4 水稻主要发育期遥感识别的结果	(96)
6.5 本章小结	(100)
第 7 章 水稻产量遥感预报模型研究	(101)
7.1 湖南省水稻总产遥感预报模型研究	(101)
7.1.1 水稻总产遥感预报模型	(101)
7.1.2 水稻总产遥感预报模型拟合结果评价	(104)
7.1.3 水稻总产遥感预报模型预测结果评价	(105)
7.2 基于统计抽样调查地块实割实测数据的水稻单产遥感估算模型	(106)
7.2.1 湖南省水稻产量统计抽样地块的空间分布	(107)
7.2.2 基于 MOD13Q1 与 MYD13Q1 水稻各发育期的 EVI 计算	(107)
7.2.3 水稻单产遥感预报模型及误差分析	(110)
7.3 基于像元水平 MODIS GPP/NPP 的水稻遥感估产模型	(112)
7.3.1 研究区概况	(112)
7.3.2 基于 GPP/NPP 的水稻遥感估产方法	(113)
7.3.3 水稻像元纯度对估产精度的影响	(114)
7.3.4 基于像元水平 MODIS GPP/NPP 的县级水稻遥感估产结果分析	(116)
7.4 本章小结	(118)
第 8 章 基于水稻遥感数值模拟模型的产量预报不确定性研究	(120)
8.1 ORYZA2000 模型	(120)
8.2 水稻遥感数值模拟模型的不确定性分析方法	(121)
8.2.1 模型的全局敏感性分析方法	(121)
8.2.2 输入变量的不确定性和模拟采样	(121)
8.3 ORYZA2000 的敏感性和不确定性分析	(123)
8.3.1 ORYZA2000 输出变量对输入变量的敏感性分析	(123)
8.3.2 ORYZA2000 输出变量的不确定性	(132)
8.4 ORYZA2000 耦合遥感估算的 LAI 和 NFLV 数据的敏感性 和不确定性分析	(134)
8.4.1 输出变量 WSO 和 WAGT 对 ORYZA2000 单独耦合遥感估算的 LAI 和 NFLV 的敏感性分析	(134)
8.4.2 输出变量 WSO 和 WAGT 对 ORYZA2000 同时耦合遥感估算的 LAI 和 NFLV 的敏感性分析	(136)

8.4.3 输出变量 WSO 和 WAGT 对 ORYZA2000 耦合遥感估算的 LAI 和 NFLV 的不确定性分析	(136)
8.5 本章小结	(137)
第 9 章 水稻遥感信息提取系统设计与实现	(139)
9.1 水稻遥感信息提取系统设计	(140)
9.1.1 系统数据流程设计	(140)
9.1.2 系统功能模块设计	(141)
9.1.3 系统界面设计	(142)
9.1.4 系统帮助设计	(144)
9.1.5 系统主界面	(144)
9.2 水稻遥感信息提取数据预处理	(145)
9.2.1 图像镶嵌	(145)
9.2.2 图像裁剪	(147)
9.2.3 参数计算	(150)
9.2.4 影像去噪	(152)
9.3 水稻面积信息遥感提取	(154)
9.3.1 水稻面积信息提取方法 1	(154)
9.3.2 水稻面积信息提取方法 2	(160)
9.3.3 精度评价	(163)
9.4 水稻生育期遥感识别	(166)
9.5 水稻长势遥感监测	(169)
9.6 水稻产量遥感预报	(171)
9.7 水稻遥感信息提取成果表达	(176)
9.8 本章小结	(178)
参考文献	(179)
索 引	(186)

第1章 水稻卫星遥感不确定性分析

不确定性作为科学的哲学思想指处于混沌边缘或模糊边缘的现象。混沌边缘指介于有序与无序之间,或有序和无序并存的现象。模糊边缘是指介于清楚与模糊之间,或清楚和模糊并存的现象。不确定性存在于自然科学技术的各个领域,同时存在于社会经济和人文科学的各个领域,世界充满了不确定性。

对水稻卫星遥感的不确定性研究目前还是一个全新的课题,本章的主要目的在于,把目前水稻卫星遥感的研究和应用工作对不确定性的零散、独立甚至被忽略的认识和分析,整合为在理论和方法论层面上的一个完整、清晰的系统,引起大家的重视,希望能为今后水稻卫星遥感的不确定性研究和应用抛砖引玉。

1.1 空间信息科学不确定性的概念和研究进展

1.1.1 空间信息科学不确定性的概念

对于空间信息科学技术来说,研究方法的正确性和错误性并存,空间数据的正常和异常并存、精确和粗糙并存、高质量和低质量并存都属于不确定性现象,空间数据不可能是全部正确或全部错误的,多数情况是两者并存,但是哪些是正确的、哪些是错误的在未经检验之前是未知的,这就是不确定性(Foody 和 Atkinson, 2002)。空间信息科学不确定性的概念具体表现为以下几点:

(1)凡是人工模拟的产品,不论是数字模拟还是物理模拟的产品(各种地图、遥感影像、生长模型和拟合公式等)与客观真实世界不可能完全一致,只可能无限逼近;

(2)凡是运用仪器对客观真实世界进行测量,所得的数据都存在一定的误差(Error),或带有一定的噪声(Noise);

(3)在不同的时间、空间或者应用不同的辐射分辨率对同一个客观事物进行观测所得到的结果往往是不一致的,“一种尺度,一个世界”,具有明显的不确定性;

(4)对于不同的研究对象,不同研究目的要求的数据精度是不同的;

(5)对于研究对象的规律的认识是一个漫长的逐步深化的过程,也是逐步减少不确定性的过程;

(6)研究对象间的过渡往往是连续变化的,没有明显边界。

1.1.2 空间信息科学不确定性的研究进展

在空间信息科学中,不同学者使用很多基本概念和术语表示空间的不确定性,但目前还

没有统一的认识。测绘制图中的“误差”和电子信号测量中的“噪声”最早用来代表人工模拟产品和客观真实世界的不一致性。但是随着人们对客观世界复杂性的进一步认识和发现,需要一些新的概念和表示,因此出现了对空间不确定性的表述问题。Heuve-link 和 Burrough(1993)把不确定性作为误差的同义词;Guptill(1995)把不确定性看作比误差更为一般的数据质量问题,即不确定性比误差的含义更广泛;Congalton 和 Green(1999)则认为空间不确定性包括属性和位置数据的准确度(Accuracy)、统计精度(Statistical Precision)和偏差(Bias),更主要包括位置和属性的误差;Fisher(1997)将空间数据不确定性的研究工作划分为误差、模糊性、歧义性和不一致四个方面。本书将不确定性当作更一般的概念,误差和精度等都是它的一种特殊表现形式。

(1)误差:指真实值与预测值之间的差异。遥感分类精度或误差评价的文献中,分类误差指某一像元被赋予的类型与此像元所代表的真实类型的差别。

(2)准确度或精度:指观测、计算或估计值与真实值之间的接近程度(Closeness)(AGI, 1991)。在统计意义上,精度也可以理解为观测、计算或估计的均值与真实均值之差(Burrough, 1986)。在这个意义上,为了评价数据的精度,就必须有一个更高精度的数据作为“真值”。但是,正如 Drummond(1995)所指出的那样,“真实状况也许永远无法得到……”。在模型的预测中,一般以均方根误差(Root-Mean-Square Error, RMSE)代表预测的精度。Aronoff(1985)将遥感分类精度定义为:“……给地图上某一位置赋予的类别为该位置真实类别的概率。”这个定义强调统计意义上的精度。Story 等(1986)将分类精度分为总体精度(Overall Accuracy)、制图精度(Producer's Accuracy)和用户精度(User's Accuracy)。1983年, Congalton 和 Mead 将 Kappa 系数引入遥感数据处理,来评判遥感数据的解译结果与验证数据的一致性。Burrough(1986)、Goodchild 和 Gopal(1989)对空间数据误差的重要研究成果进行了系统总结。

Foody 和 Atkinson(2002)认为遥感技术不确定性研究的主要方向包括:空间分辨率对遥感调查的影响、地面控制点的不确定性、尺度和点扩散函数的不确定性、遥感预测和分类准确度的不确定性、传感器定标的不确定性、几何校正的不确定性、不确定性可视化。

水稻卫星遥感主要是运用遥感技术、地理信息技术和全球定位技术开展水稻种植面积估算、长势监测、灾害损失评估和产量预测。根据不确定性的普遍性原理,可以想象遥感技术、地理信息技术和全球定位技术中存在很多不同类型和不同程度的不确定性,都会在水稻卫星遥感过程中被引入并在随后的各种处理过程中传播,最终的总不确定性则是各种不确定性不断传递积累的结果。图 1.1 是水稻卫星遥感中信息的传递与处理流程图。流程图中的每一线段都代表一个数据处理传递过程,通过这个过程实现前面的变量到后面目标变量的变换,可以将此过程用公式简单表达为:

$$Z_r(l) = f(y_r(x), p) \quad (1.1)$$

其中, Z 代表信息传递处理后的数据值, y 为传递处理前的信息自变量, r 为变量的影响范围, l 和 x 代表地理位置, f 为数据变换模型, p 为模型的各种参数向量。水稻卫星遥感信息提取可以看作由多个简单数据变换模型(f)顺序连接组成的复杂链状系统,前一步的模型输出(Z)会变为下一步的模型输入(y),每一步模型的属性变量(Z, y)、影响范围(r)、位置信息(l, x)和参数(p)都可能引入不同类型的不确定性,从应用的角度分为位置误差(Location Error)和属性误差(Attribute Error)。

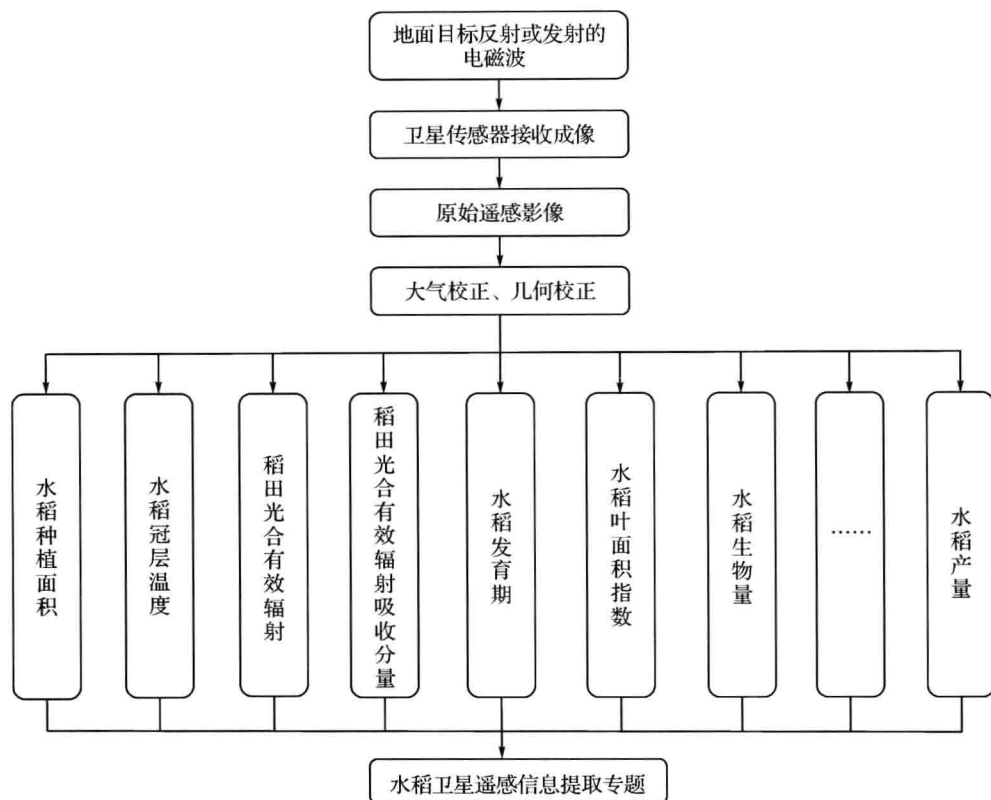


图 1.1 水稻卫星遥感中信息的传递和处理流程

Fig. 1.1 Flowchart of information transferring and processing in paddy rice remote sensing

可以看出,水稻卫星遥感中信息传递可以分为遥感影像获取—遥感数据预处理—水稻遥感信息提取—生成水稻遥感专题图等几个顺序传递过程,下面几节就根据流程图的顺序分析水稻卫星遥感中存在的 uncertainty。

1.2 遥感影像获取的不确定性

水稻卫星遥感的本质是利用各种传感器接收到的电磁波信息,经过加工处理提取水稻种植面积,估算水稻冠层温度、吸收的光合有效辐射分量、覆盖度等,开展水稻发育期、长势和灾害监测,最终预报水稻产量。由于不同遥感平台及其搭载的传感器物理参数各不相同,因此利用这些遥感平台及传感器获取的遥感数据也有所差别,具有不确定性。正如有诗云“横看成岭侧成峰,远近高低各不同。不识庐山真面目,只缘身在此山中”。不同高度的遥感平台,不同传感器的时空分辨率、天顶角和方位角,固然可以使我们从不同高度和角度观测现实世界,但也会带来片面性,就像盲人摸象,以点代面、以偏概全。需要注意,对于地球这头“象”,不同遥感平台、不同传感器观测到的都只是一个方面,只有清楚认识到这个问题,避免夸大研究结果,那么经过反复综合、比较,才能一点一点地扩大对地球这头“象”的认识,逐步逼近真实的地球。

不同传感器获取的遥感数据,其实质是依据传感器系统特定的物理参数,经过对复杂的多维地表信息简化后的二维信息数据。既然是运用仪器对客观真实世界测量所得的数据,就会存在一定的误差或带有一定的噪声,因此卫星遥感数据天然具有不确定性。这种不确定性包括传感器与地面的几何关系(观测天顶角、观测方位角)引起的不确定性,传感器物理参数所决定的遥感影像的空间分辨率、光谱分辨率(波段位置和宽度设置)、辐射分辨率引起的不确定性,传感器运行周期决定的遥感影像时间分辨率引起的不确定性,以及传感器信噪比引起的不确定性等多方面。下面分别从不同方面对这些不确定性进行分析。

1.2.1 不同空间分辨率引起的不确定性

遥感影像空间分辨率是指遥感影像上每个像元所代表的地面实际范围的大小,即扫描仪的瞬时视场,或地面物体所能分辨的最小单元。空间分辨率是评价传感器性能和遥感信息的重要指标之一,也是识别地物形状大小的重要依据。

遥感影像空间分辨率(像元的大小)是由传感器特性决定的,如 MODIS1、2 波段像元面积为 $250\text{m} \times 250\text{m}$, Landsat5 的 TM 影像像元面积为 $30\text{m} \times 30\text{m}$, 而 IKONOS 全色波段影像像元面积为 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 。每一个像元无论大小都是只记录一个 DN 值,在地表地物类别面积较小、种类较多的情况下,较高的空间分辨率可以获取较为纯净的像元;当传感器的空间分辨率较低时,一个像元内往往包含多种地物类别,出现混合像元现象,引起遥感数据属性和位置的不确定性。因此,空间分辨率的变化直接导致混合像元的出现概率发生变化,空间分辨率的高低直接影响遥感数据的不确定性程度,通常空间分辨率越高不确定性越小,它们之间成非线性反比关系。在中国南方地区,农村居民点和湖泊多而密集,道路河流纵横交错,低空间分辨率的遥感影像难以直接分类提取水稻面积,可行的办法是在遥感估算的技术基础上再进行推算。

目前用于水稻卫星遥感的资料主要有: MODIS、AVHRR、MSS、ETM、ETM+、SPOT HRV 等。这些卫星数据具有不同的空间分辨率,所获取的水稻信息也会有所不同,正如“一千个人眼里会有一千个哈姆雷特”一样,对于同一个水稻参数,比如水稻种植面积,在同一个研究区域,“一百种空间分辨率可以获取一百个水稻种植面积信息”。图 1.2 为利用不同卫星获取的遥感影像。由于空间分辨率不同,可以直观地看出,空间分辨率越高,线状河流和道路越清晰;空间分辨率越低,线状河流和道路越模糊。在空间分辨率为 $150\text{m} \times 150\text{m}$ 的环境 1B IRS 影像上,就看不清楚线状河流和道路,在 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 分辨率的 MODIS 数据上,这些线状河流和道路就更不可分,而且其中一些小的居民点和湖泊坑塘水面也是无法识别的。因此,这些遥感数据提取的水稻面积必然存在误差,即不同空间分辨率引起了水稻面积信息提取的不确定问题。这种不确定性的存在对利用不同的卫星遥感数据进行水稻种植面积估算是一大挑战。

所以,根据研究范围、目的和需求,需要选择合适的空间分辨率数据。在目前的条件下,并不是空间分辨率越高越好,不同应用领域以及应用研究的不同层次对遥感数据的空间分辨率有不同需求。对于小区域而言,IKONOS、QuickBird 等高空间分辨率数据可以获得精细的水稻信息;但是有时候需要提取全国甚至全球的水稻信息来进行总体评价,这时使用 IKONOS、QuickBird 等高空间分辨率数据可能就会“只见树木,不见森林”,而采用 MODIS、AVHRR、SPOT VEGETATION 数据也许更能体现宏观趋势。

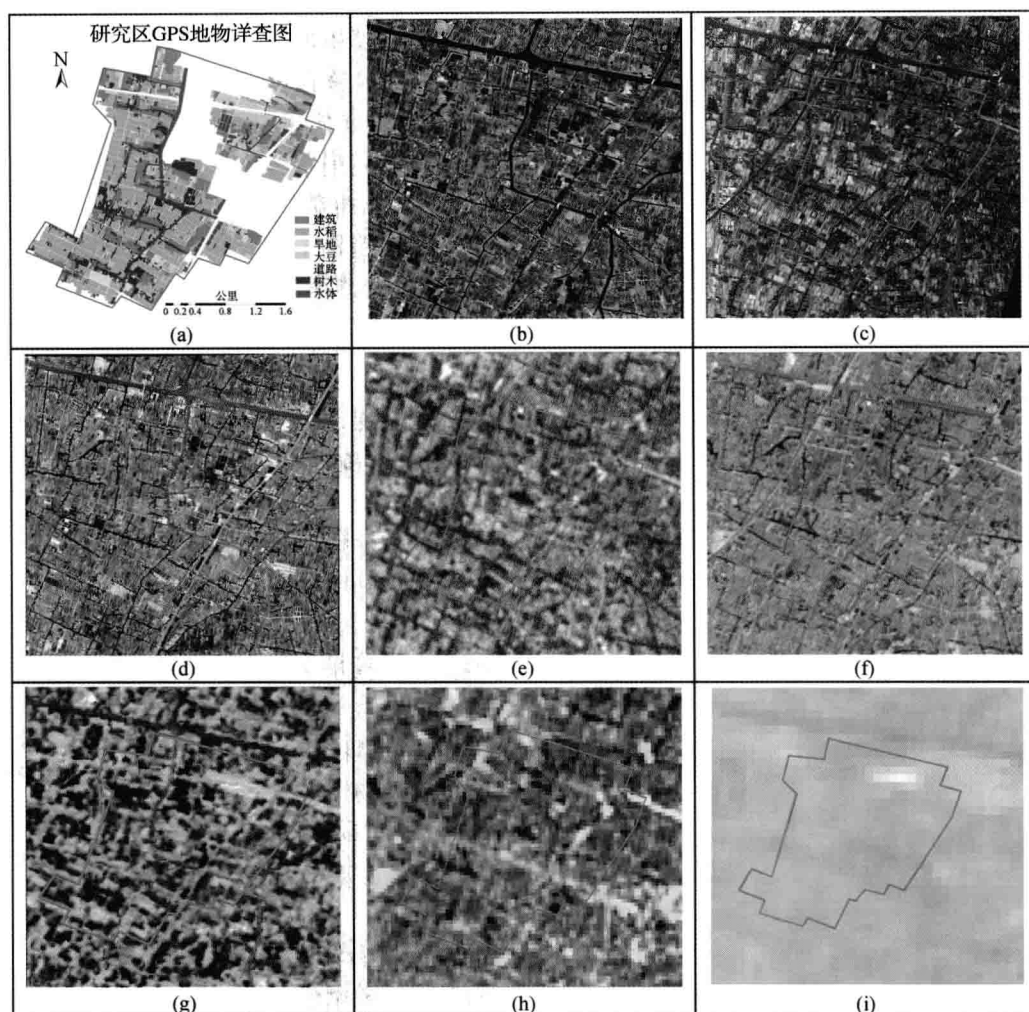


图 1.2 浙江省海盐研究区实测矢量数据和不同空间分辨率的遥感影像

(a)实测数据,(b)空间分辨率为 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 的全色 IKONOS 影像,(c)空间分辨率为 $2.36\text{m} \times 2.36\text{m}$ 的中巴资源 02B HR 影像,(d)空间分辨率为 $4\text{m} \times 4\text{m}$ 的 IKONOS 多光谱影像,(e)空间分辨率为 $19.5\text{m} \times 19.5\text{m}$ 的中巴资源 02B CCD 相机影像,(f)空间分辨率为 $23\text{m} \times 23\text{m}$ 的 IRS-P6 多光谱传感器 LISS3 影像,(g)空间分辨率为 $30\text{m} \times 30\text{m}$ 的 Landsat5 TM 影像,(h)空间分辨率为 $56\text{m} \times 56\text{m}$ 的 IRS-P6 AWIFS 影像,(i)空间分辨率为 $150\text{m} \times 150\text{m}$ 的环境 1B IRS 多光谱影像

Fig. 1.2 Vector data measured by GPS and corresponding images with different spatial resolutions for study area in Haiyan County, Zhejiang Province

(a) Vector data measured by GPS, (b) $1\text{m} \times 1\text{m}$ resolution IKONOS PAN image, (c) $2.36\text{m} \times 2.36\text{m}$ resolution CBERS02B HR image, (d) $4\text{m} \times 4\text{m}$ resolution IKONOS multispectral image, (e) $19.5\text{m} \times 19.5\text{m}$ CBERS02B CCD image, (f) $23\text{m} \times 23\text{m}$ resolution IRS-P6 multispectral image, (g) $30\text{m} \times 30\text{m}$ resolution Landsat TM image, (h) $56\text{m} \times 56\text{m}$ resolution IRS-P6 AWIFS image, (i) $150\text{m} \times 150\text{m}$ resolution HJ-1B IRS multispectral image

1.2.2 遥感影像获取时间引起的不确定性

自然植被一般具有春季开始返青、夏季生长旺盛、秋季开始发黄、秋末冬初落叶的周期