

© 国家高技术研究发展计划

(863 计划) 支持成果

倪金生
谭靖 编著
颜伟

空间信息技术集成 应用与实践



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

地球空间信息技术丛书

空间信息技术集成应用与实践

倪金生 谭 靖 颜 伟 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书论述了空间信息技术的基本理论、方法及应用现状。书中结合实际工程案例，分别阐述了空间信息技术在数字城市、土地资源管理、数字农业、导航、位置服务、港口信息化中的应用。本书面向空间信息技术领域的工程实践，提供了空间信息工程项目的方案设计、技术实施方面的案例经验。

本书可供空间信息技术领域的工程师参考，也可作为高等院校地理信息类专业的教学参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

空间信息技术集成应用与实践/倪金生，谭靖，颜伟编著. —北京：电子工业出版社，2010.12
（地球空间信息技术丛书）

ISBN 978-7-121-12432-7

I. ①空… II. ①倪… ②谭… ③颜… III. ①地理信息系统 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 232997 号

策划编辑：万子芬

责任编辑：曲 昕

印 刷：

装 订：北京中新伟业印刷有限公司

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：11.25 字数：288 千字

印 次：2010 年 12 月第 1 次印刷

印 数：3 000 册 定价：28.00 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 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前 言

自 20 世纪 60 年代加拿大人 Roger Tomlinson 建立第一个地理信息系统 (GIS) 以来, 以地理信息系统、遥感 (RS)、全球导航卫星系统 (GNSS) 为核心的空间信息技术应用越来越广泛。我国从 20 世纪 80 年代初开展遥感研究与应用, 通过 30 年的发展, 已建立起较为完备的空间信息技术学科体系, 应用领域也从最初的科学研究, 拓展到国土、交通、农业、林业、海洋、气象、国防、卫生、城市管理、公共安全等行业领域, 导航、位置服务等更是已深入普通民众生活, 成为空间信息技术服务于大众的先行者。

近年, 我国在科技领域的一系列重大计划为空间信息技术的应用提供了前所未有的机遇和更加广阔的发展空间。根据《国家中长期科学和技术发展规划纲要 (2006—2020 年)》, 我国设立了“高分辨率对地观测系统”重大科技专项, 重点发展基于卫星、飞机和平流层飞艇的高分辨率先进观测系统; 形成时空协调、全天候、全天时的对地观测系统; 建立对地观测数据中心等地面支撑和运行系统, 提高我国空间数据自给率, 形成空间信息产业链。在以数据为产业链驱动的空间信息技术领域, 这一专项的实施无疑将为行业发展注入大量新活血液, 促进行业跨越式发展。

此外, 为摆脱对国外导航定位系统的依赖, 我国已分步建设实施了北斗卫星导航定位系统, 目前已发射 6 颗北斗卫星, 最终将建成独立自主、开放兼容、技术先进、稳定可靠的覆盖全球的北斗卫星导航系统。这将促进我国自主卫星导航系统产业链的形成, 推动北斗卫星导航在国民经济社会各行业的广泛应用, 成为空间信息行业发展的又一推进剂。

企业是我国空间信息技术行业应用的主要推动力和实施者, 他们在实施过程中积累的经验对整个行业的发展具有积极的意义。然而, 当前的现状是企业大多专注于业务拓展, 总结自身经验, 与同行分享尚难顾及。北京东方泰坦科技股份有限公司作为一家十余年来一直从事空间信息技术研究、产业化的高科技企业, 时刻以推动我国空间信息产业为己任, 乐于将企业自身的经验与同行分享。

我们在对企业自身历史资料进行梳理、总结, 建立资料库的过程中, 萌生出将行业应用经验总结成册的想法。在电子工业出版社的支持下, 得以正式出版面世, 与同行分享。本书的编著团队均拥有多年的空间信息技术研究与行业应用经验, 倪金生撰写了第 1、2、6 章并全书统稿, 第 3 章由颜伟撰写, 第 4、5、7、8 章由谭靖撰写。在本书的编著过程中, 得到东方泰坦公司技术团队的大力支持, 在此深表感谢。

本书可作为空间信息技术领域工程师参考用书, 也可作为高等院校地理信息类大中专院校学生的教学参考用书。由于作者水平有限, 不足之处恳请指正。

目 录

第 1 章 空间信息技术概述	1
1.1 全球导航卫星系统 (GNSS)	1
1.1.1 GNSS 的概念	1
1.1.2 GNSS 的发展及应用现状	2
1.1.3 GNSS 的发展趋势	4
1.2 遥感 (RS) 技术	5
1.2.1 RS 的概念	5
1.2.2 RS 的发展及应用现状	5
1.2.3 RS 的发展趋势	6
1.3 地理信息系统 (GIS)	7
1.3.1 GIS 的概念	7
1.3.2 GIS 的发展与应用现状	7
1.3.3 GIS 的发展趋势	8
1.4 空间信息技术集成及应用	9
1.4.1 空间信息系统集成原理与方法	9
1.4.2 空间信息技术集成概念	10
1.4.3 空间数据集成	11
1.4.4 空间信息集成的模式	12
1.4.5 空间信息技术集成的应用	13
第 2 章 空间信息技术在数字城市中的应用	15
2.1 数字地球与数字城市概述	15
2.1.1 “数字地球”及其意义	15
2.1.2 空间信息资源开发	16
2.1.3 “数字城市”及其意义	17
2.2 数字城市的发展历程与趋势	18
2.3 数字城市的理论框架与技术体系	22
2.4 数字化市政设施管理系统建设实践	24
2.4.1 系统总体框架	24
2.4.2 系统主要功能模块	25
第 3 章 空间信息技术在数字林业中的应用	28
3.1 数字林业概述	28

3.2 数字林业国内外研究现状	29
3.2.1 国外研究现状	29
3.2.1 国内研究现状	29
3.3 空间信息技术在数字林业中的应用模式	30
3.4 森林资源管理信息系统建设实践	31
3.4.1 建设背景	31
3.4.2 系统总体设计	32
3.4.3 系统的使用层次	33
3.4.4 数据库设计	34
3.4.5 系统功能简介	37
3.5 森林防火地理信息系统建设实践	40
3.5.1 建设背景	40
3.5.2 系统总体框架设计	41
3.5.3 系统功能简介	43
第4章 空间信息技术在土地资源管理中的应用	47
4.1 土地管理概述	47
4.1.1 土地调查	47
4.1.2 土地利用总体规划	48
4.2 土地管理与信息化的结合	48
4.2.1 土地利用和土地管理信息化的发展趋势	49
4.2.2 土地利用与土地管理信息化的趋势特征	51
4.2.3 土地管理信息化的技术支持	52
4.3 空间信息技术在土地管理中的应用概述	53
4.3.1 应用现状	53
4.3.2 应用趋势	55
4.4 土地利用变化监测实践	56
4.4.1 土地利用结构变化	56
4.4.2 土地利用动态变化	57
4.4.3 土地利用类型转化	58
4.4.4 耕地动态变化	59
4.4.5 建设用地动态变化	60
4.5 土地整理遥感监测系统建设实践	62
4.5.1 系统总体结构	62
4.5.2 系统特点	64
4.5.3 技术实现	68

第 5 章 空间信息技术在数字农业中的应用	73
5.1 数字农业	73
5.1.1 “数字农业”及其意义	73
5.1.2 “数字农业”的特点	74
5.2 数字农业的理论基础	75
5.3 空间信息技术在数字农业中的应用概述	75
5.3.1 农业资源调查、监测与保护	76
5.3.2 农作物估产和监测	77
5.3.3 农业灾害监测和损失评估	77
5.4 全国农业资源空间信息管理系统建设实践	77
5.4.1 系统建设背景	77
5.4.2 系统总体框架	78
5.4.3 系统数据库	78
5.4.4 系统功能	79
5.4.5 系统特点	86
5.5 内蒙古退耕还林(草)数字化信息管理系统建设实践	86
5.5.1 系统建设背景	86
5.5.2 系统总体结构	87
5.5.3 系统主要功能	88
5.5.4 系统特点	101
第 6 章 网络导航综合服务应用实践	102
6.1 导航服务概述	102
6.2 自主导航技术现状与发展趋势	102
6.3 网络导航综合服务体系的兴起	104
6.3.1 发展现状	104
6.3.2 发展趋势	107
6.4 网络导航综合服务的关键技术体系	107
6.4.1 网络导航技术	107
6.4.2 高可靠性电子地图发布服务	108
6.4.3 导航地图展现技术	109
6.4.4 基于网络服务架构的增值服务内容加载框架	109
6.4.5 网络导航核心组件的技术突破	109
6.4.6 海量空间数据的高效存储管理和快速索引技术	110
6.4.7 大规模并发请求的高效负载均衡技术	111
6.4.8 通用嵌入式导航软件开发平台的开发	111
6.4.9 导航电子地图及相关数据的动态更新技术	111
6.4.10 实时交通路况信息的高效接入	111

6.5 基于实时交通信息网络导航系统建设实践	112
6.5.1 系统总体架构	112
6.5.2 功能结构部署	112
6.5.3 数据组织结构	113
6.5.4 系统功能简介	115
第7章 移动位置服务应用实践	117
7.1 概述	117
7.2 国内外研究现状和发展趋势	117
7.3 基于位置的空间信息智能服务平台的框架设计	118
7.3.1 移动位置智能服务平台框架设计	118
7.3.2 基于位置的网格服务组合、装配与调度	121
7.4 智能位置服务系统应用实践	124
7.4.1 设计思想与原则	124
7.4.2 iLBS 原型系统设计	126
7.4.3 系统开发实现	130
7.4.4 系统应用实例	132
7.4.5 成果转化及产业化发展前景	138
第8章 空间信息技术在港口信息化中的应用	141
8.1 港口信息化发展现状	141
8.1.1 国外港口企业信息化建设	141
8.1.2 国内港口信息化的发展	142
8.2 内外港口企业信息化建设及发展趋势	143
8.2.1 内外港口企业信息化建设特点	143
8.2.2 内外港口企业信息化建设发展趋势	144
8.3 天津东疆港区工程项目建设管理系统建设实践	145
8.3.1 系统建设背景	145
8.3.2 系统总体设计	147
8.3.3 系统功能	149
8.4 天津东疆港区地下管线管理系统建设实践	158
8.4.1 系统建设背景	158
8.4.2 系统目标	159
8.4.3 系统总体设计	160
8.4.4 系统功能	162
参考文献	171

第 1 章 空间信息技术概述

在人类的文明从自然经济社会过渡到工业化社会,继而迈向知识经济时代的过程中,人们不断通过对自然的认识开拓视野。从微观的基本粒子到广阔无边的宇宙,凭借科技的进步人们正无限地延伸着自己的感官能力和改造自然的能力。人类的社会结构、生产生活方式都发生了深刻的变化,空间信息技术的发展应用即是人类进入信息化社会的直接体现^[1]。

空间信息技术是全球导航卫星系统(GNSS)、地理信息系统(GIS),以及遥感(RS)技术的总称。三者常常集成为一个综合的应用系统,其中 GNSS 进行实时定位,RS 进行数据采集更新,GIS 进行空间分析和综合处理等,三者既相对独立,又密切关联。空间信息技术在工业、农业、国防、交通、环保等众多领域得到广泛应用,并且不断拓展范围,取得了巨大的社会效益和经济效益,受到世界各国的重视和社会公众的关注,是当前 IT 界及相关应用行业的热门技术之一^[2]。

空间信息技术通常是指以航天航空遥感、卫星定位技术和地理信息系统技术为核心的技术体系,是当前人类快速获取大区域地球动态和定位信息的唯一手段。空间信息技术的应用改变人类观测地球和信息处理的方式,大大开拓了人类的视野,极大增强了人类认识世界的能力,将对 21 世纪人类的世界观、生活、生产,以及信息交流方式产生深远的影响。

1.1 全球导航卫星系统(GNSS)

GNSS 是 Global Navigation Satellite System 的缩写,即全球导航卫星系统,包含了美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、中国的 Compass(北斗)、欧盟的 Galileo 系统,可用的卫星数目达到 100 颗以上。

1.1.1 GNSS 的概念

20 世纪 90 年代中期,国际民航组织、国际移动卫星组织以及欧洲空间局等倡导发展完全由民间控制的全球导航卫星系统(GNSS),该系统将由多卫星导航系统组成,并结合区域导航定位系统进行导航定位,同时提供卫星的完备性检验信息和足够的导航安全告警信息。1992 年 5 月,在国际民航组织(ICAO)未来导航系统(FANS)会议上,全球导航卫星系统(GNSS)被定义为:它是一个全球性的位置和时间测定系统,包括一种或几种卫星星座、机载接收机和系统完好性监视^[3]。全球导航卫星系统 GNSS 又称天基 PNT(Position、Navigation、Timing,定位、导航、授时)系统,是指利用在太空中的导航卫星对地面、海洋和空间用户进行导航定位的一种空间导航定位技术^[4]。卫星导航定位技术目前已基本取代了无线电导航、天文测量和传统大地测量技术,并推动了全新导航定位领域研究的发展。当今 GNSS 系统不仅成为世界各国重大的空间和信息化基础设施,也成为体现现代化大国地位和国家综合国力的重要标志。GNSS 技术已在航

空、航天、航海、军事、地质、石油、勘探、交通、测绘等领域得到广泛的应用。

1.1.2 GNSS 的发展及应用现状

自 1957 年 10 月第一颗人造地球卫星（以下简称卫星）发射成功以来，航天技术在通信、资源勘察、气象、导航、遥感、测绘、地球动力、天文和生物等各个学科领域得到极其广泛地应用，对政治、经济、军事，以及人类社会生活都产生了广泛而深刻的影响，促进了现代科学技术的进步^[5]。通过第一个人造地球卫星，人们发现了多普勒定位原理，推动产生了美国的海军导航卫星系统——子午仪（Transit），进而出现了美国的 GPS 和苏联的 GLONASS。GNSS 定位导航系统由全球设施、区域设施、用户部分，以及外部设施构成，其中，全球设施是 GNSS 的主要组成部分，是 GNSS 最基础性的设施组件。在当前 GNSS 发展过程中，欧盟的 GALILEO 计划、GPS 现代化、GLONASS 现代化和中国“北斗二号”都将起到关键作用。

1) 欧盟的 GALILEO 计划

1998 年，欧盟（EU）决定建立一个独立于 GPS、专门为全球民用用户设计的卫星导航系统。从 2002 年起，欧盟开始筹建这种卫星导航系统，称为伽利略（GALILEO）卫星导航系统。其星座部分包括 30 颗 GALILEO 卫星，它们均匀地分布在 3 个以地球为中心，与赤道平面成 56° 夹角的椭圆轨道上，轨道高度 23 000 km。每个椭圆轨道均匀地分布 10 颗卫星，每颗卫星环绕地球一周的时间为 14 h。

伽利略卫星定位系统是一个独立的卫星导航系统，但同时又在和其他系统，特别与 GPS 的共用方面进行了优化。使伽利略卫星系统能够和其他系统互用的关键驱动程序是用户的需求和进入未来 GNSS 市场的根据。三个与其他系统互用的主要目标已经确定，如下：

（1）与其他 GNSS 系统（主要是 GPS）在用户层面达到互用，尤其表现在对频率、信号结构、时间参考框架、椭球基面的研究和选择上；

（2）和其他非 GNSS 系统的共用。例如，地面导航系统、移动通信网络等，通过提供联合定位服务达到弥补 GNSS 系统缺陷的目的；

（3）使伽利略卫星定位系统和电信系统共同提供导航、通信服务。这是一个增强通信能力的附加功能（如大数据量传输），它能使 GNSS 具备提供增值服务的能力。例如，将会对未来 GNSS 市场产生重大影响的基于地域的服务。使伽利略卫星定位和其他系统组合运用，不仅要求在伽利略卫星定位系统的全球部分，而且在地面部分和用户设备上都具备互用性。

GALILEO 系统一旦建成，将向全球用户提供多种形式的服务。计划中的六项服务是^[6]：

（1）公开服务，与 GPS 的 SPS 类似。这种服务免费提供给全球的使用者。

（2）商业服务，它是对公开服务的一种增值服务，以获取商业回报。比如，在公开服务中添加加密的数据，通过伽利略导航定位系统和无线通信网络的结合实现航空通信；将增值数据结合到高精度的定位中去等。

（3）生命安全（SOL）服务，可提供完好性信息。这种服务一般只用于交通运输、船只入港、铁路运输管制和航空管制等。

(4) 公共规范服务, 只提供给欧盟成员国。它提供了与欧洲密切相关的军事、工业和经济服务, 比如, 国家安全、紧急救援、治安、警戒, 以及紧急的能源、交通和通信等。其卫星信号更为可靠、耐用, 并受成员国控制。

(5) 对搜救服务的支持。它与国际通用的卫星搜索救援系统 (CosPaS-Sarsat) 原理相同, 但在性能上有了很大的提高。

(6) 地区性组织提供的导航定位服务。该服务根据用户的特殊要求, 通过区域性增强系统向用户提供更精确的定位和授时服务。

2) GPS 现代化

GPS 现代化最初是 1999 年 1 月 25 日美国副总统以文告的形式发表的。文告中只提出了几项民用 GPS 导航技术的改进和发展, 但其整个 GPS 现代化的实质是要加强 GPS 在美军现代化战争中的支撑和保持全球民用导航领域中的领导地位。随后美国军方和波音公司 (GPS 系统主要制造商) 发表的文章都阐明了 GPS 现代化的内涵。

GPS 现代化计划的具体措施, 可根据其作用对象的不同分为军事方面和民用方面两部分, 其中, 军事部分的具体举措如下:

(1) 增加 GPS 卫星发射的信号强度, 以增加抗电子干扰能力。

(2) 在 GPS 信号频道上, 增加新的军用码 (M 码), 并与民用码分开。M 码将有更好的抗破译的保密和安全性能。

(3) 军事用户的接收设备将比民用的有更好的保护装置, 特别是抗干扰能力和快速初始化功能。

(4) 发展新的技术, 以阻止和阻扰敌方使用 GPS。

民用部分的具体措施如下:

(1) 用 GPS-IIRM 卫星替代目前的 GPS-IIRM 卫星。该卫星在 L2 频道上增加第二民用码, 即 CA 码。这样用户就可以有更好的多余观测, 以提高定位精度, 并有利于电离层的改正。

(2) 发射 GPS-IIF 卫星。该卫星将增加 L5 频段的 L5C 民用信号, 采用更先进的星载原子钟, 这有利于提高民用实时定位的精度和导航的安全性。

除此之外, 美国还提出了更先进的 GPSIII 计划。当前的 GPS 现代化工作能使星座维持运行到 2010 年, 为了满足到 2030 年的军、民用要求, 美国已着手开发 GPSIII 和相关的地面控制网, 以便在 2010 年后使用。GPSIII 计划的目标是, 提供能满足当前和未来军、民两用需要的 GPS 结构方案。从 2004 年起, 美国国防部开始研究 GPSIII 的结构概念, 以便验证系统要求。GPSIII 将选择全新的优化设计方案, 放弃现有的 24 颗中轨道卫星, 采用全新的 33 颗高轨道加静止轨道卫星组成。GPSIII 的卫星首次发射计划定于 2009 年, 全部卫星在轨运行将在 2015~2020 年实现。据悉, 与现有 GPS 相比, GPSIII 的信号发射功率将提高 100 倍, 信号抗干扰能力提高 1 000 倍以上, 授时精度将达到 1 ns, 定位精度提高到 0.2~0.5 m。

GPS 现代化举措主要包括取消 SA 政策、新增民用 L2C 码和军用 M 码、提高控制部分性能、研制并发射新型的 BlockIIF 卫星和 BlockIII 卫星。

3) GLONASS 现代化

GLONASS 是前苏联 20 世纪 80 年代初开始建设的与美国 GPS 类似的卫星定位系统,

也由卫星、地面监控站和用户设备 3 部分组成, 现由俄罗斯空间局管理。为了改善系统总体性能、提升系统服务质量以及提高系统市场竞争力和影响力, 俄罗斯也正实施 GLONASS 系统现代化。2001 年 8 月起, 俄罗斯在经济复苏后开始计划恢复并进行 GLONASS 现代化建设工作, 同时印度也参与到 GLONASS 的系统重建工作中。借助于成熟的一箭多星技术, 计划 2011 年达到系统全部可操作性, 包括 24 颗工作卫星, 其中包括现代化卫星 GLONASS-M 和下一代卫星 GLONASS-K^[7], 从而实现全球覆盖。截至 2009 年 3 月, 在轨工作卫星已增加到 20 颗, 其中包括 3 颗现代化卫星 GLONASS-M, 计划在 2010 年发射利用 CDMA 编码的 GLONASS-K, 实现与 GPS/GALILEO 在 L1 频点上的兼容与互用。此外, 拟在 GLONASS MII 卫星上, 增设第二个民用导航定位信号, 以扩展 GLONASS 的民用服务领域。其现代化计划预计在 2011 年完成, 星座卫星数量将达到 30 颗。

4) 中国北斗卫星导航计划

北斗卫星导航定位系统是国家重要基础设施, 也是国际导航系统的重要组成部分, 发展独立自主的卫星导航系统是国家的重大国策。我国自行研制的“北斗一号”卫星导航定位系统, 可提供包括我国大陆、东部沿海在内的快速导航定位、授时等服务。以较低投入、较短周期建成了我国自主的区域卫星导航定位系统。为了进一步提高北斗卫星导航系统的能力, 中国正在北斗一代的基础上进行北斗二代系统的建设。北斗卫星导航系统从有源双星定位的 BD-1 号试验系统, 步入无源定位的 BD-2 先区域、后全球的新的发展阶段。北斗一代是区域卫星导航系统, 北斗二代卫星可实现全球的定位与导航。北斗二代 COMPASS 将计划建成包含 35 颗卫星、覆盖全球的卫星导航定位系统。在计划的 35 颗卫星中, 包括目前 4 颗北斗一代卫星在内共有 5 颗地球同步轨道卫星 GEO (轨道高度 36 000 km)、3 颗倾斜同步轨道卫星 IGSO (轨道高度 36 000 km) 和 27 颗中轨 MEO 卫星 (轨道高度 21 500 km)。不同于国外卫星导航定位系统, 我国北斗二代 COMPASS/BD-2 空间部分拟采用 GEO/IGSO/MEO 三种轨道混合的星座结构, 这种星座结构的优点是能够用最少的星座实现较优的区域导航定位能力。2007 年 4 月 14 日, 我国成功发射了北斗二代系统首颗试验卫星 COMPASS-M1, 其工作在高度为 21 500 km、倾角为 55° 的 MEO 圆轨道上, 同时也拉开了第二代北斗导航系统布网建设的序幕。2009 年 4 月 15 日, 我国成功将第二颗北斗导航卫星 COMPASS-G2 送入预定轨道, 也是 COMPASS 建设计划中的第二颗组网卫星, 是地球同步静止轨道卫星。2010 年 1 月 17 日将第三颗静止轨道北斗导航卫星送入预定轨道, 这标志着北斗卫星导航系统工程建设又迈出重要一步, 卫星组网正按计划稳步推进。中国北斗二代系统将于 2015 年之前完成建设并投入运行, 计划于 2010 年前发射 10 颗北斗卫星, 使整个星座的在轨卫星数达到 15 颗, 并开始向中国及周边地区提供定位服务。北斗二代无论是导航方式, 还是覆盖范围都和美国 GPS 有很多相似之处, 但是保留了北斗一代的双向短信通信功能, 这也是北斗和其他 GNSS 系统竞争的一个优势。

1.1.3 GNSS 的发展趋势

GNSS 具有多功能、高效率、高精度的特点, 可在全球任意地点, 为任意多个用户提供几乎是瞬时的三维测速、三维定位服务, 将极大地改变传统的定位技术和导航技术。

全球卫星导航系统及其产业的发展趋势具有三个特点:

(1) 从单一的 GPS 时代朝着多星座并存兼容的 GNSS 新时代转变, 这样的结果将导致卫星导航体系全球化和增强多模化;

(2) 处于从以卫星导航为应用主体到发展 PNT (定位、导航、授时) 与移动通信和因特网等信息载体融合的新阶段, 这将促使信息融合化和产业一体化;

(3) 从经销应用产品为主逐步转变为运营服务为主的新局面, 这使应用规模化、服务大众化。

三大趋势发展的直接结果是使应用领域扩大, 应用规模跃升, 大众化市场和产业化服务迅速形成。

1.2 遥感 (RS) 技术

1.2.1 RS 的概念

RS (Remote Sensing) 即遥感, 是在高空或远距离处, 利用传感器接收物体辐射的电磁波信息, 经加工处理成可识别的图像或电子计算机用的记录磁带, 揭示被测物体的性质、形状和变化动态。遥感技术包括传感器技术, 信息传输技术, 信息处理、提取和应用技术, 目标信息特征的分析与测量技术等。遥感技术可应用于气象、地质、地理、农业、林业、陆地水文、海洋、测绘、污染监测及军事侦察等领域。

遥感通常按其承载传感器的平台不同分为航天遥感、航空遥感、地面遥感。根据获取的电磁波波段不同, 可分为可见光遥感、红外遥感、微波遥感、紫外遥感。遥感具有可获取大范围资料、信息量大、快速、周期短和受限制少等特点, 目前遥感技术正经历着从定性向定量、从静态向动态的发展变化。

1.2.2 RS 的发展及应用现状

遥感作为一门综合技术是美国学者在 1960 年提出来的。为了比较全面地描述这种技术和方法, Pruitt EL 把遥感定义为“以摄影方式或以非摄影方式获得被探测目标的图像或数据的技术”^[8]。广义地讲, 遥感技术的发展是从 19 世纪初期 (1839 年) 出现摄影术后开始的。19 世纪中叶 (1858 年), 就有人使用气球从空中对地面进行摄影。1903 年飞机问世以后, 便开始了可称为航空遥感的第一次试验。自 19 世纪初莱特兄弟发明人类历史上第一架飞机起, 航空遥感就开始了它在军事上的应用, 此后, 航空遥感在地质、工程建设、地图制图、农业土地调查等方面得到了广泛应用。第二次世界大战中, 由于伪装技术的不断提高, 促使军事遥感出现了彩色、红外和光谱带照像等技术。随着空间技术、无线电电子技术、光学技术和计算机技术的发展, 到 20 世纪中期, 遥感技术有了很大发展。遥感器从第一代的航空摄影机, 第二代的多光谱摄影机、扫描仪, 很快发展到第三代固体扫描仪 (CCD); 遥感器的运载工具, 从收音机很快发展到卫星、宇宙飞船和航天飞机, 遥感谱从可见光发展到红外和微波遥感。作为一种空间探测技术, 它经历了地面用感、航空遥感和航天遥感三个阶段。随着传感器技术、航空航天技术和数据通信技术的不断发展, 现代遥感技术已经进入一个能动态、快速、多平台、多时相、高分辨率地提供对地观测数据的新阶段。

我国已初步建成全国卫星遥感信息接收处理分发体系。20年来我国已建立起4个国家级遥感卫星数据接收和服务系统:由国家卫星气象中心建设的我国气象卫星应用系统,承担着极轨气象卫星与静止气象卫星资料的接收、处理、应用和存档服务任务;由中国科学院建立的中国遥感卫星地面站是根据邓小平同志1979年访美期间签订的中美科技合作备忘录而建立的,于1986年建成并投入正式运行;由中国资源卫星应用中心建设的资源卫星应用系统,于1991年10月开始筹建,已具备接收、处理和分发我国自行研制的资源卫星数据的能力,并投入运行服务;由国家卫星海洋应用中心建设的海洋卫星应用系统将从“海洋一号”卫星地面应用系统建设开始,逐步建立具备接收国内外海洋卫星和其他遥感卫星数据的能力,能够进行数据接收、处理、产品制作、存档和产品分发的业务化运行系统。我国遥感科技与空间信息科技方面的成就,主要是FY气象卫星、CBERS地球资源卫星、HY海洋卫星等卫星系统,初步建立了对地观测应用体系,并在国土资源调查、灾害监测、农作物监测与估产、城市规划、海洋监测等领域得到广泛应用。

当前,我国民用遥感卫星技术水平不但与发达国家之间存在较大的差距,而且落后于印度等发展中国家。我国遥感卫星及其地面基础设施发展迅速,但整体水平与世界先进水平之间存在较大差距,而且呈现差距加大的趋势,不能满足各行各业对遥感信息越来越高的需求。到目前为止,我国各个应用领域使用的卫星遥感数据90%以上来自美、法、加等国的遥感卫星。气象卫星已发射多颗,但工作稳定性较差、寿命较短,难以满足国内气象部门和有关单位对其数据的要求,因此国外卫星仍是目前业务应用的主要数据源。陆地卫星资源1号虽已发射成功,但其有效载荷仍缺乏足够的稳定性和定量化,还未能形成向主要用户提供及时、完整的标准产品的规模化能力。从整体上看,与国外先进的资源卫星相比,我国的资源卫星在技术、效益和管理方面仍有较大差距,特别是国民经济建设和新兴产业发展迫切需要的多波段高空间、高光谱分辨率卫星,全天候的雷达卫星数据在我国尚属空白。

1.2.3 RS的发展趋势

国际上对地观测技术在不断发展,预计未来的15年,人类将进入一个多层、立体、多角度、全方位和全天候的对地观测的新时代^[9]。各种高、中、低轨道相结合,大、中、小卫星相互协同,高、中、低分辨率互补的全球对地观测系统,将能快速、及时地提供多种空间分辨率、时间分辨率和光谱分辨率的对地观测海量数据。在空间分辨率上,目前商业上已可得到分辨率为0.61m的全球对地观测遥感图像数据。在时间分辨率上,气象卫星已奠定了低分辨率数据源每天两次以上覆盖的基础,预计未来5年内可获得每天覆盖一次的中分辨率光谱对地观测数据和雷达遥感数据,以满足自然灾害和农作物长势监测、全球环境变化监测与研究的需要。同时,多角度测量、测高和成像技术也正逐步走向实用,目标探测将由二维向三维拓展。这些发展成就与趋势,为空间技术的综合应用和产业化发展提供了充足的空间信息源。

为协调时间分辨率和空间分辨率这对矛盾,小卫星群计划将成为现代遥感的另一发展趋势。例如,可用6颗小卫星在2~3天内完成一次对地重复观测,可获得高于1m的高分辨率成像光谱仪数据。除此之外,机载和车载遥感平台,以及超低空无人机载平台等多平台的遥感技术与卫星遥感相结合,将使遥感应用呈现出一派五彩缤纷的景象^[8]。

在未来的 10 年,我国将建立以气象卫星系列、资源卫星系列、海洋卫星系列和环境与灾害监测小卫星群组成的长期稳定运行的卫星对地观测体系,实现对中国和周边地区以及全球的陆地、大气、海洋的立体动态监测。

随着遥感技术的发展,测绘将不仅仅停留在地球上,还将向外层空间发展。联合国有一个和平利用外层空间的计划,要在全世界普及空间技术。外层空间是人类的第四环境,从陆地、海洋、大气层到外层空间是一个逐步扩展的过程。

1.3 地理信息系统 (GIS)

1.3.1 GIS 的概念

GIS (Geographic Information System) 即地理信息系统,是以地理空间数据库为基础,在计算机软、硬件的支持下,用于空间和地理有关的数据的采集、存储、提取、检索、分析、显示、制图,实现综合管理和分析应用的技术系统。GIS 可应用于测绘、勘探、管线、水利、环保、军事、资源利用、城市规划和管理、土地利用与管理、自然灾害预测、人口统计等领域。GIS 是空间数据的管理系统,是空间数据和属性数据的综合体。它可以管理海量数据,浏览、查询,进行空间分析(路径分析、包含分析、断面分析、格网分析、专业分析、生成数字模型、制图等)。从系统论和应用的角度出发,地理信息系统被分为 4 个子系统,即计算机硬件和系统软件、数据库系统、数据库管理系统,以及应用人员和组织机构。

GIS 融合了多门学科成果,包括计算机科学、地理学、测绘遥感学、环境科学、城市科学、信息论、应用数学、管理科学等。它的主要任务是空间分析,具有知识维、逻辑维、时间维的三维结构。从学术观点来看,人们对 GIS 有三种观点^[2]:地图观,数据库观,以及空间分析观。它们分别来自景观、制图学派,计算机学派,地理学派。而 GIS 的空间分析功能是它与 CAD、MIS 等系统的主要区别之一,也是 GIS 理论和技术方法发展的动力。

1.3.2 GIS 的发展与应用现状

GIS 始于 20 世纪 60 年代的加拿大与美国^[10],而后许多国家相继投入了大量的研究工作。1963 年,加拿大学者 R. F. Tomlinson 首先提出了地理信息系统这一概念,并开发出了世界上第一个地理信息系统 (CGIS)。随着计算机软、硬件和通信技术的不断进步,地理信息系统的理论和技术方法已得到了飞速的发展,其研究和应用已渗透到自然科学及应用技术的很多领域,并日益受到各国政府和产业部门的重视。自 20 世纪 80 年代末,地理信息的处理、分析手段日趋先进,GIS 技术日臻成熟,已广泛地应用于环境、资源、石油、电力、土地、交通、公安、急救、航空、市政管理、城市规划、经济咨询、灾害损失预测、投资评价、政府管理和军事等与地理坐标相关的几乎所有领域。

中国地理信息系统协会 (GIS 协会) 于 1994 年 4 月 25 日在北京成立。1996 年在美国成立了开放地理信息联合会 (Open GIS Consortium, OGC), 现有十几个国家的 100 多个成员, 主要研究和建立了开放式地理数据交互操作规程 (Open Geodata Interoperability Specification, OGIS)。美国 ESRI 是目前唯一支持全系列操作系统的 GIS

厂商, 其 ArcGIS 系列是当今世界最完整的全系列 GIS 平台, 包括 ArcInfo、ArcEditor、ArcView、ArcExplorer、ArcIMS、ArcSDE、ArcServer、ArcGIS Engine、MapObjects 等; 美国的 MapInfo 公司的 MapInfo Professional、MapInfo ProServer、MapInfo MapX、SpatialWare 等; 制图和 GIS 分析软件 AutoCAD Map2000; 美国 Intergraph MGE 大型 GIS 系统等。我国的 GIS 软件, 有 TITAN GIS 系列, GeoStar 系列, MapGIS 系列, GROW 企业级 GIS 应用平台, SuperMap 系列, MapEngine 系列等。

经过“九五”科技攻关, 国产地理信息系统软件产品和软件产业从无到有, 从小到大, 取得了长足的进步。在地理信息系统软件平台方面, “九五”期间已经成功研制开发了两个成熟的基础软件产品和一个应用开发平台, 在市场上占有一定的份额, 有相当的知名度。例如, 基础软件 TITAN GIS 可对数字、文字、地图、遥感图像、GPS 定位数据等多源地学数据进行有效的采集和一体化管理、综合空间分析和可视化表示, 已经形成了一个完整、成熟的地理信息系统基础软件, 每年销售上百套。整体水平与国外同类软件相当。特别是它的空间分析性能, 较国外优秀软件有明显的优势。又如, 基础软件 GeoStar 具有面向对象的空间数据管理, 包括数据采集、转换、处理、查询、分析、制图等功能。它的 DEM 处理能力, 在精度方面已经超过国外同类优秀软件, 在我国 1:10000 七大江河流域 DEM 数据生产上发挥了重要的作用。除了基础软件, AM/FM 应用开发平台 Grow 具有大数据量管理和高效的实时三维显示, 具备动态拓扑实时重构、面向对象建模、支持网络浮动用户管理与设备全生命周期管理、与实时通信底层紧密耦合等。AM/FM 领域特殊要求的功能, 可以在广域环境中组织多级分布式多用户协同工作, 整体技术上达到国际先进水平, 在多次与国外软件竞标中获胜。在空间数据获取和加工生产方面, 数据加工软件 TITAN ScanIn、Geoway、EPS2000 系列和数字正射影像处理软件 TITAN Image、PhotoMapper 等支持地图扫描数字化、野外直接采集数字化地理数据、利用卫星和航空遥感图像生产数字正射影像图, 形成了完整的空间数据采集、加工生产平台, 基本上占领了我国空间数据生产方面的地理信息系统软件市场。在地图出版领域, 国产地图出版软件“方正智绘”和 MapCAD 在功能和性能上已经超过了国外同类软件, 牢牢地占据了国内工程地图出版市场。此外, 在地理信息系统互联网应用方面, 国产软件已经填补了国内在这一领域的空白, 已经广泛地应用于国内地理信息发布、交通旅游、房地产销售和物流配送等方面, 在奥运申办、数字北京、昆明世博会等工作中产生了很大的影响。GeoBeans、Geosurf、AF InternetGIS 等是其中的佼佼者。另外, 大型组件式 GIS 软件 TITAN GIS 等已形成了 GIS 软件系列, 尤其适于作为二次开发平台。

1.3.3 GIS 的发展趋势

GIS 发展的重要趋势是与全球定位系统 (GPS) 和遥感 (RS) 的集成, 从而构成实时、动态的 GIS。GPS 为 GIS 的快速定位和更新提供手段, 遥感技术的多谱段、多时相、多传感器和多分辨率的特点, 为 GIS 不断注入“燃料”, 反过来又可利用 GIS 支持从遥感影像数据中自动提取语义和非语义信息。

3S 技术整体结合所构成的系统是高度自动化、实时化的 GIS 系统。这种系统不仅具有自动、实时地采集, 处理和更新数据的功能, 而且能够分析和运用数据, 为各种应用提供科学的决策咨询, 并回答用户可能提出的各种复杂问题。GIS 技术依托的主要工具和平台是计算机及其相关设备。进入 20 世纪 90 年代以来, 随着计算机技术的发展, 计

计算机微处理器的处理速度越来越快,性能价格比更高,其存储器能实现将大型文件映射至内存的能力,并且能存储海量数据。此外,随着多媒体技术、空间技术、虚拟实景、数字测绘技术、数据仓库技术、计算机图形技术、三维图形芯片、大容量光盘技术及宽频光纤通信技术的突破性进展,特别是消除数据通信瓶颈的卫星互联网的建立,以及能够提供接近实时对地观测图像的高分辨、高光谱、短周期遥感卫星的大量发射,这些为 GIS 技术的广泛深入应用展示了更加光明的前景。同时,也使当前的 GIS 无法满足信息时代、数字时代的要求,目前 GIS 总体上呈现网络化、开放性、虚拟现实、集成化、空间多维性、数据标准化、系统智能化等发展趋势。

随着计算机硬件性能的提高以及面向对象、网络和数据挖掘等主流 IT 技术的发展,在科技部有关部门的倡导下,目前国内学术界又提出了第 4 代 GIS 技术^[11]的概念。第 4 代 GIS 技术将主要包括以下特点:

(1) 支持“数字地球”或“数字城市”概念的实现,从二维向多维发展,从静态数据处理向动态发展,具有时序数据处理能力;

(2) 基于网络的分布式数据管理及计算、WebGIS 和 B/S 体系结构,用户可以实现远程空间数据调用、检索、查询、分析,具有联机事务管理(OLTP)和联机分析(OLAP)管理能力;

(3) 面向空间实体及其相互关系的数据组织和融合,具有矢量和遥感影像数据互动等多源数据的装载与融合能力,多尺度比例尺数据无缝融合、互动;

(4) 具有统一的海量数据存储、查询和分析处理能力、基于空间数据的数据挖掘和强大的模型支持能力;

(5) 具有与其他计算机信息系统的整体集成能力。例如,与 MIS、ERP、OA 等各种企业信息化系统的无缝集成;微型、嵌入式 GIS 与各种掌上终端设备集成,如 PDA、手机、GPS 接收设备等。

(6) 具有虚拟现实表达及自适应可视化能力,针对不同的用户出现不同的用户界面及地图和虚拟现实效果。

1.4 空间信息技术集成及应用

1.4.1 空间信息系统集成原理与方法

系统是指有组织的或被组织化的整体(韦氏大辞典),集成的本意是指异构或分布对象之间的互操作。系统集成则是为实现某一目标而形成的一组元素的有机结合,而系统本身又可作为一个元素单位参与多次组合的过程。信息系统是一种由人、计算机(包括网络)和管理规则组成的集成化系统,信息系统集成是指按照用户需求,对众多的技术和产品进行合理选择,最佳配置各种软件和硬件产品与资源,组合成完整的、能够解决客户具体应用需求的集成方案,使系统的整体性能最优。

空间信息系统是信息系统的一种,其集成工程遵循信息系统集成的一般性原理和方法,一般实现过程为:定义集成接口关系——进行集成变换操作——进行整体优化处理。定义集成接口关系是系统集成的关键技术,包括软硬件接口,系统—子系统级—模块级递阶控制接口,机—机接口,人机接口等,这些接口对应关系全部可以连接为同构/