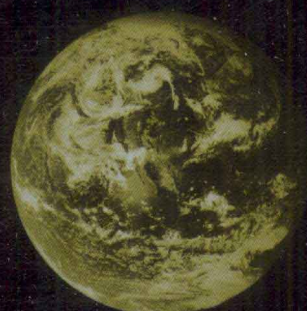


# 网络地理信息系统和服务

乐 鹏 编著

Web Geographic Information Systems and services



武汉大学出版社

# 网络地理信息系统和服务

乐 鹏 编著

Web Geographic Information Systems and services



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

网络地理信息系统和服务/乐鹏编著. —武汉:武汉大学出版社,2011.7  
ISBN 978-7-307-08857-3

I. 网… II. 乐… III. 地理信息系统 IV. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 115477 号

责任编辑:王金龙      责任校对:黄添生      版式设计:马 佳

---

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北金海印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:15.75 字数:354千字 插页:1

版次:2011年7月第1版 2011年7月第1次印刷

ISBN 978-7-307-08857-3/P·184 定价:33.00元

---

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。



# 序

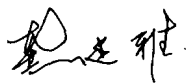
经过几十年的发展，地理信息系统从桌面地理信息系统，发展到网络地理信息系统，再到分布式地理信息服务，地理信息技术与系统的体系结构不断发展，地理信息应用的社会化程度不断提高。信息网络的发展，对方便快捷的地理信息服务提出了新的需求。地理信息服务已经成为网络地理信息系统的发展趋势。

武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室围绕网络地理信息系统和服务，展开了系统深入的研究，发展了空间信息服务的注册、发现、匹配和组合等系列方法，初步建立了我国地球空间信息网络服务标准体系，建立了相当规模的空间信息服务研究人才团队。

网络地理信息系统的教材已经很多，为网络 GIS 基础知识的介绍和成熟技术的普及起到了重要的推动作用。但现有的著作中，侧重介绍空间信息服务的著作尚不多见。本书首先对网络地理信息系统基础部分进行简要介绍，承前启后，进一步介绍了空间信息服务的基础标准和技术，然后从空间信息服务的主要类别出发，介绍了空间信息基本服务、服务集成和应用等，最后对空间信息服务的前沿进行了介绍。

本书作者多年从事地理信息系统基础软件平台 GeoStar 的研发工作，继而又在美国和国内对网络空间信息服务开展了系统深入的研究，取得了较好的研究成果。作者结合自己的研究和当前地理信息技术的发展，在武汉大学开设了“网络地理信息系统和服务”课程，为研究生系统地讲述网络地理信息系统与服务的理论与方法，在多年研究与教学的基础上进行归纳总结，编写成这部著作。

该书的出版，有助于研究生和科研人员对空间信息服务进行全面的了解，促进网络地理信息系统和服务的研究和应用。希望作者再接再厉，进一步丰富空间信息服务的内涵、理论和方法，促进地理信息更广泛的应用和服务。



2011 年 5 月于武汉

# 前 言

进入 21 世纪后,随着计算机技术、网络技术和对地观测技术的进一步发展,全球范围内地理空间数据共享的技术走向成熟,空间信息从行业应用领域进入公众应用领域。国际开放地理信息联盟(OGC)制定了一系列标准规范来实现网络环境下空间信息和处理功能的共享和互操作。层出不穷的信息技术,包括网格计算、云计算、Web2.0、语义网、网络服务、物联网等,不断更新人们获取和应用空间信息的模式,推动着地理信息系统朝着空间信息服务的方向发展。

笔者自 2008 年起,在武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室连续三年主讲研究生课程“空间信息服务”(后更名为“网络地理信息系统和服务”),旨在传统 GIS 基本理论与方法的基础上,介绍网络 GIS(特别是空间信息服务)的前沿研究热点,为 GIS 专业研究生开展前沿研究做好知识储备。在教课过程中,深感需要一本介绍当代网络 GIS 和服务现状的著作。

自 2000 年以来,作者从组件式 GIS 平台(Geo Star)软件开发开始,先后承担空间投影模块、地图制图符号模块、几何对象模型模块、空间分析和网络分析模块、空间数据库引擎模块的组件开发等,并于 2004 年 7 月至 2007 年 5 月在美国乔治·梅森大学空间信息科学与系统研究中心访问,参与美国国家地学空间情报局(NGA)和国家航空航天局(NASA)数百万美元的空间信息服务项目研究工作。空间信息服务的相关研究成果在 GIS 的核心学术期刊 *International Journal of Geographical Information Science*, *GeoInformatica*, *Computers & Geosciences*, *Computers, Environment and Urban Systems*, *Transactions in GIS* 上发表。本书的部分内容来自这些实践工作的总结。

本书的出版,获得了国家 973 课题“面向任务的对地观测传感网信息聚焦服务模型”(2011CB707105)、国家自然科学基金项目“空间信息服务链构建中的元数据追踪机制和空间数据起源研究”(40801153)和“空间信息智能服务理论与方法”(41023001)等科研项目的资助。国家电网 GIS 空间信息服务平台的开发来自武大吉奥信息技术有限公司的“EPGIS SERVER 平台部分功能研发”项目。作者对以上各方面的支持表示热忱的感谢!

作者衷心感谢龚健雅教授和狄黎平教授,正是他们长期以来对学生的关心和支持,促成了本书的完成。本书涉及的一些研究工作,得到了实验室朱欣焰教授、陈能成教授、陈静副教授、向隆刚副教授、王艳东教授、高文秀教授、吴华意教授等许多老师的热心支持。课程讲义的整理和 GeoPW 等空间信息服务平台的开发得到了下列学生的支

持：王倩、孙子恒、孙立志、刘欢欢、吴丽龙、周红秀、胡磊、翟曦。在此，一并表示衷心的感谢。同时，向被本书引用的文献的作者表示衷心的感谢。感谢武汉大学出版社，特别是王金龙编辑，对本书出版的大力支持。

由于作者水平有限，书中难免存在不足和疏漏之处，敬请读者批评指正。

乐 鹏

2011 年 5 月于武汉

# 目 录

|       |                          |    |
|-------|--------------------------|----|
| 第 1 章 | 概述                       | 1  |
| 1.1   | 地理信息系统概述                 | 1  |
| 1.1.1 | 地理信息系统发展历程               | 1  |
| 1.1.2 | 空间信息领域前沿热点示例             | 2  |
| 1.1.3 | 地理信息系统发展趋势               | 7  |
| 1.2   | 从地理信息系统到空间信息服务           | 8  |
| 1.2.1 | 开放式地理信息系统理论研究            | 9  |
| 1.2.2 | 开放式地理信息系统实现技术            | 14 |
| 第 2 章 | 网络地理信息系统和服务基础            | 18 |
| 2.1   | 网络地理信息系统                 | 18 |
| 2.1.1 | 网络地理信息系统概念               | 18 |
| 2.1.2 | 网络地理信息系统体系结构             | 19 |
| 2.2   | 空间信息服务                   | 20 |
| 2.2.1 | 空间信息服务概念                 | 20 |
| 2.2.2 | 空间信息服务框架                 | 20 |
| 2.2.3 | OWS 服务框架                 | 26 |
| 第 3 章 | 地理信息标准                   | 29 |
| 3.1   | 地理信息标准体系                 | 29 |
| 3.1.1 | 地理信息标准体系的概念              | 29 |
| 3.1.2 | 国际地理信息标准体系               | 37 |
| 3.1.3 | 中国地理信息标准体系               | 44 |
| 3.2   | 地理信息服务基础标准               | 44 |
| 3.2.1 | 地理信息元数据标准                | 45 |
| 3.2.2 | 地理信息共享编码——GML            | 48 |
| 第 4 章 | 网络地理信息系统和服务技术            | 53 |
| 4.1   | 网络地理信息系统技术               | 53 |
| 4.1.1 | CGI 模式                   | 53 |
| 4.1.2 | 服务器应用程序接口方法 (Server API) | 54 |

|              |                           |            |
|--------------|---------------------------|------------|
| 4.1.3        | Plug-in 插件模式 .....        | 54         |
| 4.1.4        | GIS ActiveX 控件技术 .....    | 56         |
| 4.1.5        | GIS Java Applet .....     | 57         |
| 4.1.6        | Web 2.0 技术 .....          | 58         |
| 4.2          | 空间信息服务技术 .....            | 62         |
| 4.2.1        | 面向服务体系结构 .....            | 62         |
| 4.2.2        | Web Services 核心技术 .....   | 62         |
| 4.2.3        | 网格服务 .....                | 70         |
| 4.2.4        | Restful Service .....     | 71         |
| <b>第 5 章</b> | <b>空间信息注册服务 .....</b>     | <b>74</b>  |
| 5.1          | OGC 目录服务抽象规范 .....        | 74         |
| 5.1.1        | 目录服务概述 .....              | 74         |
| 5.1.2        | 目录服务核心模型 .....            | 75         |
| 5.1.3        | 目录服务抽象模型 .....            | 76         |
| 5.2          | OGC 目录服务实现规范 .....        | 77         |
| 5.2.1        | 目录抽象信息模型 .....            | 77         |
| 5.2.2        | 通用目录接口模型 .....            | 81         |
| 5.2.3        | 网络目录服务规范 CSW .....        | 83         |
| 5.3          | OGC 目录服务应用纲要 .....        | 87         |
| <b>第 6 章</b> | <b>空间数据服务和可视化服务 .....</b> | <b>89</b>  |
| 6.1          | 空间数据服务 .....              | 89         |
| 6.1.1        | 网络地图服务 .....              | 89         |
| 6.1.2        | 网络要素服务 .....              | 91         |
| 6.1.3        | 网络覆盖服务 .....              | 92         |
| 6.2          | 可视化服务 .....               | 95         |
| 6.2.1        | 可视化服务概述 .....             | 95         |
| 6.2.2        | ISO19117 地理信息图示 .....     | 95         |
| 6.2.3        | OGC 符号编码实现规范 .....        | 96         |
| 6.2.4        | WMS 的样式化图层描述规范 .....      | 97         |
| 6.2.5        | 虚拟地球 .....                | 99         |
| 6.2.6        | Keyhole 标记语言 .....        | 101        |
| <b>第 7 章</b> | <b>空间信息处理服务 .....</b>     | <b>103</b> |
| 7.1          | 空间信息处理服务规范 .....          | 103        |
| 7.1.1        | WPS 简介 .....              | 103        |
| 7.1.2        | WPS 基本操作 .....            | 106        |



|               |                                  |            |
|---------------|----------------------------------|------------|
| 7.2           | GeoPW 空间信息处理服务系统 .....           | 110        |
| 7.2.1         | GeoPW 简介 .....                   | 110        |
| 7.2.2         | GeoPW 设计与实现 .....                | 111        |
| 7.2.3         | GeoPW 示例 .....                   | 113        |
| <b>第 8 章</b>  | <b>空间信息组合服务和分发服务 .....</b>       | <b>123</b> |
| 8.1           | 服务组合 .....                       | 123        |
| 8.1.1         | 描述 Web 服务组合的方式 .....             | 123        |
| 8.1.2         | 组合服务方法 .....                     | 124        |
| 8.1.3         | 网络服务业务流程执行语言 (BPEL) .....        | 126        |
| 8.2           | 地球空间信息处理流程服务模型设计 .....           | 128        |
| 8.2.1         | 空间信息处理流程模型 .....                 | 128        |
| 8.2.2         | 虚拟数据产品 .....                     | 129        |
| 8.2.3         | 空间数据类型和空间服务类型 .....              | 130        |
| 8.2.4         | 抽象空间信息处理流程模型实例化 .....            | 131        |
| 8.2.5         | 空间信息目录服务扩展 .....                 | 132        |
| 8.2.6         | 空间信息处理流程建模工具 GeoPWDesigner ..... | 133        |
| 8.3           | 分发服务 .....                       | 136        |
| 8.3.1         | 分发服务基本概念 .....                   | 136        |
| 8.3.2         | 中国网络化基础地理信息分发服务体系 .....          | 140        |
| 8.3.3         | 从分发服务到在线地理信息公共服务 .....           | 141        |
| <b>第 9 章</b>  | <b>网络地理信息系统和服务应用 .....</b>       | <b>143</b> |
| 9.1           | 国家地理信息公共服务平台 .....               | 143        |
| 9.1.1         | 总体设计 .....                       | 143        |
| 9.1.2         | 天地图 .....                        | 145        |
| 9.2           | 国家电网 GIS 空间信息服务平台 .....          | 147        |
| 9.2.1         | 系统设计 .....                       | 148        |
| 9.2.2         | 实现 .....                         | 151        |
| <b>第 10 章</b> | <b>传感器服务 .....</b>               | <b>155</b> |
| 10.1          | OGC 传感器网实现架构 .....               | 157        |
| 10.1.1        | 总体介绍 .....                       | 157        |
| 10.1.2        | 概念与实例 .....                      | 159        |
| 10.2          | SWE 标准 .....                     | 160        |
| 10.2.1        | 信息模型 .....                       | 162        |
| 10.2.2        | 服务接口 .....                       | 171        |
| 10.3          | 传感网典型工作流 .....                   | 181        |

|               |                          |            |
|---------------|--------------------------|------------|
| 10.3.1        | SWE 服务发现 .....           | 181        |
| 10.3.2        | SWE 服务注册 .....           | 181        |
| 10.3.3        | 离散的观测数据请求 .....          | 182        |
| 10.3.4        | 观测数据流请求 .....            | 182        |
| 10.3.5        | 访问传感器描述信息 .....          | 184        |
| 10.3.6        | 使用 SensorML 进行数据处理 ..... | 184        |
| 10.3.7        | 订阅和接收传感器预警 .....         | 185        |
| 10.3.8        | 为传感器系统指派任务 .....         | 186        |
| <b>第 11 章</b> | <b>位置服务 .....</b>        | <b>189</b> |
| 11.1          | 位置服务简介 .....             | 189        |
| 11.2          | 核心服务 .....               | 190        |
| 11.2.1        | 目录服务 .....               | 191        |
| 11.2.2        | 网关服务 .....               | 191        |
| 11.2.3        | 位置基本设施服务 .....           | 192        |
| 11.2.4        | 表现服务 .....               | 193        |
| 11.2.5        | 路线服务 .....               | 197        |
| 11.2.6        | OpenLS 信息模型 .....        | 198        |
| • 11.3        | 导航服务 .....               | 198        |
| 11.3.1        | 功能需求 .....               | 198        |
| 11.3.2        | 路径规划功能 .....             | 200        |
| 11.3.3        | 定位功能 .....               | 200        |
| 11.3.4        | 请求和返回 .....              | 201        |
| 11.4          | 追踪服务 .....               | 201        |
| 11.4.1        | 追踪更新 .....               | 202        |
| 11.4.2        | 追踪查询 .....               | 203        |
| 11.4.3        | 追踪监听 .....               | 204        |
| <b>第 12 章</b> | <b>网络地理信息服务前沿 .....</b>  | <b>206</b> |
| 12.1          | 服务质量 .....               | 206        |
| 12.1.1        | 软件质量 .....               | 206        |
| 12.1.2        | 网络服务质量 .....             | 207        |
| 12.1.3        | 服务质量应用 .....             | 208        |
| 12.2          | 语义服务 .....               | 209        |
| 12.2.1        | 语义网 .....                | 209        |
| 12.2.2        | 地理空间语义网 .....            | 211        |
| 12.2.3        | 语义网络服务 .....             | 212        |
| 12.3          | 网络信息搜索 .....             | 218        |

---

|            |                          |     |
|------------|--------------------------|-----|
| 12.3.1     | 网络搜索引擎 .....             | 218 |
| 12.3.2     | 空间信息搜索 .....             | 218 |
| 12.3.3     | 空间信息搜索案例 .....           | 219 |
| 12.4       | 云计算服务 .....              | 222 |
| 12.4.1     | 云计算相关概念 .....            | 222 |
| 12.4.2     | 基于云计算模式的空間信息服务开发实例 ..... | 223 |
| 参考文献 ..... |                          | 229 |

# 第1章 概述

## 1.1 地理信息系统概述

地理信息系统 (Geographical Information System) 简称 GIS。GIS 与一般信息系统的区别在于 GIS 管理的是与空间位置相关的信息, GIS 与制图系统的区别在于 GIS 提供了空间分析功能 (Burrough 和 McDonnell, 1998)。从计算机科学角度看, GIS 可以分为计算机硬件、软件、数据、用户四大组成部分 (龚健雅, 2002)。从功能上划分, GIS 提供了空间和地理分布有关数据的采集、表达、管理、分析、显示和应用等功能。

### 1.1.1 地理信息系统发展历程

地理信息系统起源于 20 世纪 60 年代, 发展迅速, 大致可以分为以下四个发展阶段。

第一阶段是起步阶段。20 世纪 50 年代末 60 年代初, 计算机获得了较为广泛的应用。在地理资源管理、土地利用等行业, 开始利用计算机对空间数据进行存储和管理。在这个背景下, 60 年代末, 加拿大建立了世界上第一个地理信息系统。进入 70 年代以后, 计算机软硬件技术的飞速发展, 特别是大容量的存取设备——磁盘的出现, 为空间数据的录入、存储、检索和输出提供了强有力的手段。用户屏幕和图形、图像卡的发展增强了人机对话和图形显示功能, 促使 GIS 迅速发展。如美国地质调查局发展了多个地理信息系统, 用于处理地理、地质、水资源等领域的空间信息。瑞典、法国、日本等发达国家也建立了自己的地理信息系统。

第二阶段为发展阶段。进入 20 世纪 80 年代后, 地理信息系统在理论、方法和技术上取得突破和趋于成熟。随着计算机的发展, 图形工作站和个人计算机等性能价格比大为提高的新一代计算机逐渐推出。软件开发工具的广泛应用和数据库技术的推广, 提高了 GIS 的数据处理和空间分析能力, 使得 GIS 的应用更加深入。许多机构或组织开始投入 GIS 软件的研制和开发, 一些代表性的 GIS 基础平台软件和应用软件开始涌现, 并可以在工作站或微机上运行。

第三阶段为行业普及阶段。20 世纪 90 年代是地理信息系统在行业普及应用的阶段。微机和 Windows 操作系统的迅速发展, 推动了计算机在全世界的普及, 在此基础上开发的桌面地理信息系统开始为行业用户广为接受, GIS 成为许多机构, 特别是政府决策部门必备的工作系统。随着因特网, 特别是万维网 (Web) 的发展, 各软件厂商开始研究基于 Web 的地理信息系统, 网络地理信息系统的雏形开始出现。中国的 GIS 软件

产业也在这个时期成长起来，在 GIS 平台软件市场上，涌现了一批国产 GIS 基础软件品牌，市场份额不断扩大，成为国内市场的一支主要力量。

第四阶段为大众化服务阶段。进入 21 世纪初期后，随着计算机技术和网络技术的进一步发展，以虚拟地球为平台，进行全球范围地理空间数据共享的技术走向成熟。地理信息产品广泛地被社会大众所使用，空间信息从行业应用领域进入公众应用领域。国际开放地理信息联盟（OGC）制定了一系列标准规范来实现网络环境下空间信息和处理功能的共享和互操作。层出不穷的信息技术，包括网格计算、云计算、Web 2.0、语义网、网络服务、物联网等，不断更新人们获取和应用空间信息的模式，推动着地理信息系统朝着空间信息服务的方向发展。

### 1.1.2 空间信息领域前沿热点示例

#### 1.1.2.1 谷歌地球

美国谷歌（Google）公司 2005 年推出谷歌地球（Google Earth）产品，它利用宽带技术与三维（3D）技术，整合卫星图片、航拍图片与电子地图，为用户展现一个三维的地球模型（图 1.1）（Google，2005）。用户可以下载客户端软件到自己的电脑上，然后免费浏览全球各地的高清卫星图片。空间数据放在 Google 服务器上，能够为用户提供总体性能很高的网络空间数据服务，成熟的数据流和缓存技术提高了用户浏览的效率。

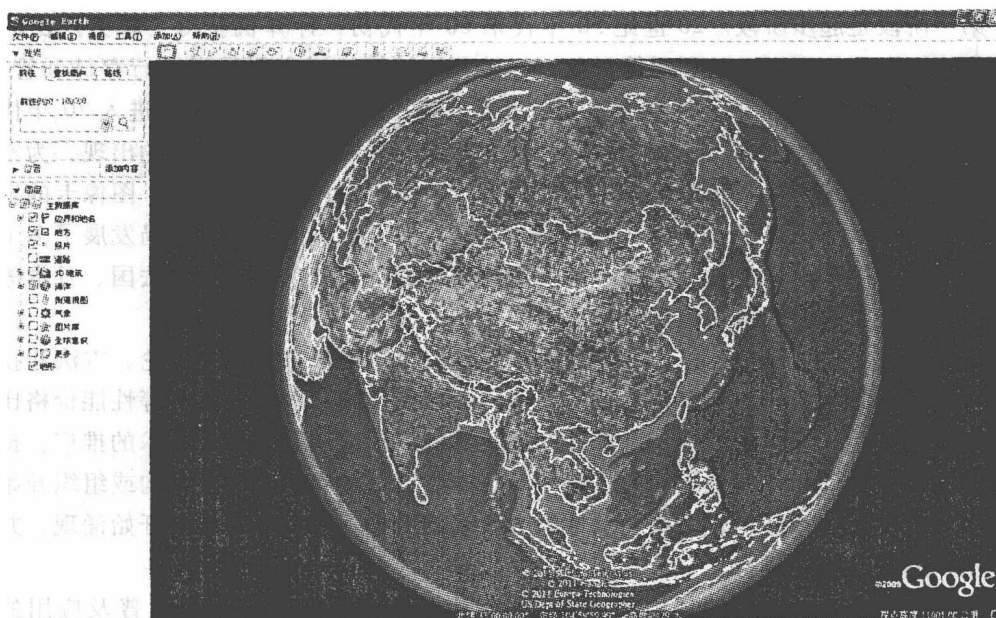


图 1.1 谷歌地球软件客户端

Google Earth 提供的区域查找功能能够让用户查询饭店、宾馆、行车路线，使用多

图层功能可以查询公园、学校、医院、机场和商场等，这些传统的 GIS 功能通过 Google Earth 走向千家万户。除了浏览之外，Google Earth 提供了诸多交互功能，如距离/面积量测、地名标注与图片上传等，允许标注信息的导入和导出，使得 Google Earth 的使用交流非常便利。在收购建模软件 SketchUp 之后，Google Earth 可导入自建三维建筑模型。

类似 Google Earth 之类的软件还有美国微软的 Virtual Earth、美国国家航空航天局 NASA 的 World Wind 等，这类软件产品统称为虚拟地球（Virtual Globe）软件。全世界数以千万的用户下载和使用这些虚拟地球产品，这些工具用户界面友好，以直观的方式让用户感知空间世界，极大地促进了空间信息在公众生活中的应用。传统局限于行业内应用的 GIS 也逐渐为大众所了解和使用（Butler，2006）。

#### 1.1.2.2 城市空间信息网格化集成和服务

网格化集成的理念来自于计算机领域的网格（Grid）技术。网格技术是构筑在互联网上的一种新兴技术，它试图实现互联网上所有资源的全面连通，实现计算资源、存储资源、通信资源、软件资源、信息资源、知识资源的全面共享（Foster 和 Kesselman，2004）。简单地讲，网格技术旨在将整个因特网整合成一台巨大的超级计算机，实现各种资源的全面共享，消除资源孤岛。其核心是解决广域环境下各种计算资源的共享和协同工作，因此网格技术与空间信息技术的结合，可以很好地解决地理空间信息的共享、资源有效利用和协同工作等问题（陈述彭等，2002；李德仁等，2003）。

城市空间信息网格化集成和服务是中国城市管理走出的一条特色化道路。它将计算机领域的网格概念和模式应用到城市管理领域，利用现代信息技术和各网格单元间的协调机制，在网格单元之间实现有效地信息交流，透明地共享组织的资源，最终实现整合组织资源、提高管理效率的现代管理思想（王元放和裘薇，2006）。

2004 年 10 月，北京东城区在全国率先推出了城市的网格化管理新模式，建立网格化城市管理信息平台（图 1.2），采用万米单元网格管理法和城市部件管理法相结合的方式，改变原有的粗放式管理模式，实现了城市管理空间细化和对象对象的精确定位（陈平，2005）。这一新模式提高了城市管理的效率，北京市已经开始在全市推广东城区的经验。此外建设部于 2005 年 7 月在北京召开了数字化城市管理现场会，部署了推广数字化城市管理的意见和推广方案，决定在深圳市、成都市、杭州市、武汉市、扬州市、烟台市、北京市朝阳区、上海市长宁区、卢湾区、南京市鼓楼区等十个城市（区）展开网格化管理的试点工作（范况生，2006）。到 2010 年，已有 51 个国内城市和城区进入试点，这一数字还在不断扩大。“城市网格化管理”已经成为国内各地建设数字城市的模板。

#### 1.1.2.3 传感网

20 世纪 90 年代末，美国麻省理工学院提出网络无线射频识别（RFID）系统——把所有物品通过射频识别等信息传感设备与互联网连接起来，实现智能化识别和管理。2005 年国际电信联盟（ITU）在突尼斯举行的信息社会世界峰会（WSIS）上正式提出了“物联网”（Internet of things）的概念（ITU，2005）。顾名思义，物联网就是物物相连的互联网：



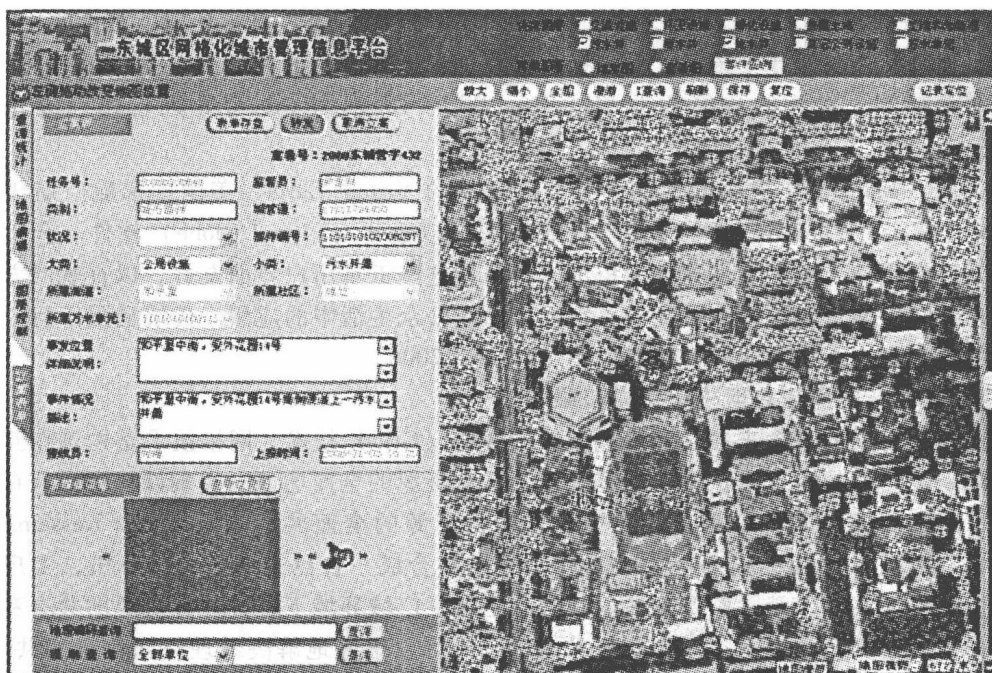


图 1.2 北京东城区网格化城市管理信息平台

(1) 物联网的核心和基础仍然是互联网，是在互联网基础上的延伸和扩展的网络；

(2) 其用户端延伸和扩展到了任何物体与物体之间，进行信息交换和通信。

因此，物联网的定义是：通过射频识别（RFID）、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备，按约定的协议，把任何物体与互联网相连接，进行信息交换和通信，以实现对物体的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络（温家宝，2010）。传感器网络（Sensor Network）将传感器节点通过有线或无线通信方式进行自组织联网，协作完成大规模复杂的监测任务，可以认为是物联网的一部分（孙其博等，2010）。

传感网（Sensor Web），特别是对地观测传感网，是对地观测领域的应用概念。它将传感器以及传感器网络与万维网（Web）相结合，利用标准协议与接口对传感器与观测进行发现和访问（Botts 等，2006a）。图 1.3 显示了 OGC 提出的传感网的概念图。在传感网环境下，空天地传感器具有以下特点：

- 所有的传感器都会报告它的位置信息；
- 每个传感器都连到万维网上；
- 注册传感器的元数据信息以方便查找；
- 可以远程读取传感器观测的数据；
- 可以对部分传感器进行规划与控制。

传感网的建设为实时或准实时获取和处理对地观测数据提供了基础。2006 年《自



图 1.3 OGC 传感网概念图

然》(Nature) 杂志将传感网作为 2020 年的计算远景, 认为观测网将实现首次大规模地实时地获取现实世界的的数据, 帮助科学工作者验证科学假设, 自动分析事件和自主调整适应变化的环境 (Butler, 2006)。

#### 1.1.2.4 云计算

随着虚拟化、分布式存储等计算机技术的发展, 产生了一种新的计算模式——云计算 (Vaquero 等, 2009)。“云”是互联网或大型服务器集群的一种比喻, 由分布的互联网基础设施 (网络设备、服务器、存储设备、安全设备等) 等构成, 提供一种动态的、易扩展的、且通常是通过互联网提供的虚拟化的按需付费的资源计算方式 (Armbrust 等, 2009)。用户的计算机除了通过浏览器给云发送指令和接收数据外基本什么都不用做, 便可以享受到云服务提供商的计算资源、存储空间和各种应用软件。

云计算最初的概念是由 Google 提出的, 目前, IBM、Google、微软、Amazon 等 IT 巨头公司大力推广云计算及其应用, 云计算已经从科学研究进入到行业应用阶段, 而早先 Amazon 在云计算上提供的成功商业模式则更加推动了云计算的热潮。常见的云计算平台有: Windows Azure、Google App Engine、Amazon EC2&S3, 以及开源软件平台 Hadoop 等。

云计算的最终的目标是将计算、服务和应用作为一种公共设施提供给公众。用户可以购买主要 IT 厂商提供的云服务, 把自己的业务逻辑托管到云平台上, 通过网络以按需、易扩展、低成本的方式获得所需的服务。云计算的典型服务模式包括基础设施即服务 (IaaS)、平台即服务 (PaaS) 和软件即服务 (SaaS) 等 (NIST, 2009)。

### 1.1.2.5 空间信息基础设施

进入 21 世纪以来, 网络化信息基础设施的建设为科学研究提供了一个信息化的科研环境 (Hey 和 Trefethen, 2005), 地理信息科学研究开始进入一个网络时代。与此同时, 科学研究工作也面临一些新的挑战。科学研究对象从原有的孤立系统发展到现在跨学科的、覆盖范围更大的科研问题; 模拟和大规模的计算成为科学研究过程中分析和预测的主要手段之一; 跨组织、跨地域、跨学科的交流与合作成为科研活动的主流。科研的信息化环境发生了重大变革, 科学研究与主流信息技术紧密集成, 向开放的协作研究环境发展。

信息基础设施 Cyberinfrastructure (简称 CI) 基于先进的计算、信息和通信技术, 将人、科学仪器与装置、计算工具和信息联结在一起, 提供了协同工作的环境。科学研究的经典方法——理论分析和实验观察——与信息基础设施上的计算模拟并存; 科学家可以利用原始数据以及各种来源的新模型, 使用最新的工具去分析、可视化, 以及模拟复杂的相互关系; 可以突破传统的学科界限, 进行环境、气候、天文、社会等学科的协作研究; 可以利用高端的计算资源, 建立科学模型, 例如基于地球系统模型模拟全球气候系统及其复杂过程; 所有的原始数据和最新研究成果可以方便的分享, 不仅限于同一个研究团体或机构, 而是在所有的学科和地域之间分享。信息基础设施为科研活动提供了革命性的新模式, 从而大大促进了科研活动中的信息共享、合作与交流, 促进了学科的交叉, 提高了工作效率和创新发现能力。

美国国家科学基金会 2003 年发布了《通过 Cyberinfrastructure 促进科学和工程的革命》报告, 2007 年发布了 2006—2010 年科研信息化基础设施的发展规划, 认为信息基础设施正在革命性地改变科学和工程研究以及教育的方式, 并计划建立一个国家的信息化基础设施框架, 把高性能计算环境和国家数据框架集成到该框架中, 使得端到端的信息化服务系统能够得到开发、部署、发展和持续的支持 (NSF, 2007)。国际上已经出现了许多大型的以 CI 为基础的虚拟科研组织, 例如美国的长期生态学研究网络 LTER, 大气科学研究网络环境 LEAD, 地球科学研究网 GEON, 地震工程模拟网 NEES, 环境研究的协作大范围工程分析网络 CLEANER, 英国的 e-Science 计划, 欧洲的分布式欧洲超级计算机应用基础设施 DEISA, e-Infrastructure 计划等。它正在成为科研活动方式中大型研究的主流组织形式, 对跨组织、跨地域、跨学科的合作研究起到了重大推动作用。

空间信息基础设施 (Geospatial Cyberinfrastructure) 的建设旨在信息基础设施的基础上支持地理空间信息的采集、管理、使用等, 服务于跨学科的科学研究的 (Yang 等, 2010)。通过信息化基础设施, 可以有效地将传感器、空间数据、计算机和人结合起来, 提供传感器观测、数据存储、数据挖掘、数据可视化以及地学计算和信息处理服务等。

### 1.1.2.6 智慧地球

2008 年年底, IBM 公司在全球范围内首次提出“智慧地球 (smart planet)”概念 (IBM, 2008)。智慧地球的核心是以一种更智慧的方法, 利用新一代信息通信技术来改变政府、公司和人们相互交互的方式, 以便提高交互的准确性、灵活性和响应速度。智慧地球所指的“智慧”具有三个方面的特征: