

PEARSON

# 地理信息系统 导论

Introductory  
Geographic Information Systems

◇ [美] John R. Jensen Ryan R. Jensen 著

◇ 王淑晴 孙翠羽 郑新奇 等译



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

# 地理信息系统导论

Introductory Geographic Information Systems

[美] John R. Jensen 著  
Ryan R. Jensen

王淑晴 孙翠羽 郑新奇 等译



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

地理信息系统是一种特定的空间信息系统，它是在计算机软/硬件系统支持下，对整个或部分地球表层（包括大气层）空间中的有关地理分布数据进行采集、存储、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统。本书简要介绍与 GIS 相关的基本原理，主要内容包括 GIS 简介、参照系、GIS 数据、数据质量、空间数据模型和数据库、矢量和栅格数据的空间分析、网络分析、统计和空间数据测量、三维数据的空间分析、使用 GIS 制图、GIS 硬件/软件和编程、未来展望等。

本书主要为 GIS 和空间分析的初学者撰写，相对复杂的 GIS 科学原理的叙述会尽可能简单，基本不涉及数学公式。本书紧跟 GIS 技术发展的步伐，图文并茂，内容丰富，知识覆盖面宽，概念清楚，讲解生动，可作为高等学校、科研单位、技术部门、公司和政府部门相关人员的教科书或学习参考书。

Authorized translation from the English language edition, entitled *Introductory Geographic Information Systems* ISBN: 9780136147763 by John R. Jensen, Ryan R. Jensen. Published by Pearson Education, Inc., Copyright © 2013 Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any forms or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY, Copyright © 2016.

本书中文简体字版专有版权由 Pearson Education（培生教育出版集团）授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书贴有 Pearson Education（培生教育出版集团）激光防伪标签，无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字：01-2013-0468

### 图书在版编目（CIP）数据

地理信息系统导论/（美）詹森（Jensen, J. R.），（美）詹森（Jensen, R. R.）著；王淑晴等译。

北京：电子工业出版社，2016.4

书名原文：Introductory Geographic Information Systems

ISBN 978-7-121-28290-4

I. ①地… II. ①詹… ②詹… ③王… III. ①地理信息系统—高等学校—教材 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 046480 号

策划编辑：谭海平

责任编辑：谭海平 特约编辑：王崧

印 刷：三河市双峰印刷装订有限公司

装 订：三河市双峰印刷装订有限公司

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：20.75 字数：531 千字 彩插：4

版 次：2016 年 4 月第 1 版（原著第 1 版）

印 次：2016 年 4 月第 1 次印刷

定 价：65.00 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，联系及购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 [zltts@phei.com.cn](mailto:zltts@phei.com.cn)，盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线：（010）88254552，[tan02@phei.com.cn](mailto:tan02@phei.com.cn)。

# 目录

## CONTENTS

第1章 GIS简介	1	关键术语	18
1.1 什么是空间数据	1	参考文献	19
1.2 空间问题	3	第2章 空间参照系	21
1.3 GIS空间数据的组织方式	4	2.1 概述	21
1.3.1 离散型地理要素	4	2.2 基准面	21
1.3.2 连续型地理要素	4	2.3 椭球	21
1.3.3 面域型地理要素	5	2.4 大地水准面	22
1.4 矢量与栅格数据结构	6	2.4.1 水平基准面	23
1.4.1 矢量数据结构	6	2.4.2 高程基准面	23
1.4.2 栅格数据结构	6	2.5 坐标系	24
1.4.3 空间数据基础设施	6	2.5.1 笛卡儿坐标系	24
1.5 GIS标准定义与非标准定义	8	2.5.2 经度和纬度	25
1.6 对GIS的误解	9	2.6 地球仪	26
1.6.1 GIS仅是一个图形处理软件或 计算机辅助设计(CAD)程序	10	2.7 地图投影	27
1.6.2 GIS仅是一个地图制图程序	10	2.7.1 地图投影中使用的可展曲面	29
1.6.3 GIS仅是无理论基础的软件包	10	2.7.2 圆柱地图投影	29
1.6.4 传统纸质地图与GIS一样用途 广泛	10	2.7.3 方位(平面)地图投影	32
1.6.5 GIS与其他系统相比并无区别	12	2.7.4 圆锥投影	34
1.7 GIS组成	12	2.7.5 其他投影和坐标系	36
1.7.1 GIS硬件	12	2.7.6 自定义地图投影	38
1.7.2 GIS软件	13	2.8 天梭指标	39
1.7.3 人件(活件)	14	2.9 小结	41
1.7.4 GIS数据	14	复习题	41
1.8 GIS发展趋势	15	关键术语	42
1.9 GIS产业	15	参考文献	42
1.9.1 GIS软件开发行业	15	第3章 GIS数据	44
1.9.2 GIS数据采集行业	15	3.1 概述	44
1.9.3 GIS增值服务行业	16	3.2 地面数据采集	44
1.10 GIS行业就业情况	16	3.2.1 全球定位系统(GPS)	44
1.11 GIS行业投资情况	17	3.2.2 地面数据测量	50
1.12 本书的组织结构	17	3.2.3 地面数据采样或人口调查	55
1.13 小结	18	3.2.4 传统空间信息的数字化	57
复习题	18	3.3 遥感数据采集	62
		3.3.1 遥感信息处理	63

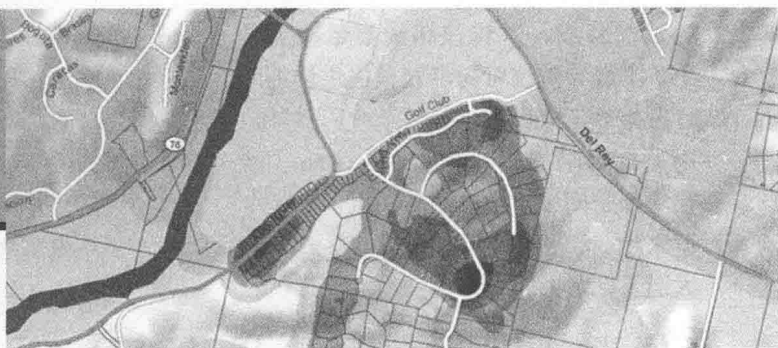
3.3.2	分辨率要求	63	5.3.3	面(多边形)要素	103
3.3.3	遥感术语	68	5.3.4	比例尺要素	103
3.3.4	航空摄影测量	69	5.3.5	拓扑属性	105
3.3.5	多光谱遥感	72	5.3.6	地理关系矢量模型	106
3.3.6	高光谱遥感	75	5.3.7	基于对象的矢量模型	108
3.3.7	热红外遥感	76	5.4	栅格数据	109
3.3.8	LiDAR 遥感	78	5.4.1	栅格单元值	109
3.3.9	RADAR 遥感	81	5.4.2	单元格大小	109
3.4	遥感数据分析	84	5.4.3	栅格地理参照系	110
3.4.1	模拟(可视)图像处理	84	5.4.4	栅格文件格式	111
3.4.2	数字图像处理	84	5.5	矢量与栅格数据模型的转换	111
3.5	小结	85	5.5.1	矢量-栅格转换	111
复习题		85	5.5.2	栅格-矢量转换	111
关键术语		85	5.6	数据库	113
参考文献		86	5.6.1	平面文件	114
<b>第4章 数据质量</b>		88	5.6.2	关系数据库	114
4.1	概述	88	5.6.3	不同的数据库关系	114
4.2	元数据	88	5.6.4	关联与连接	115
4.2.1	元数据的要素	88	5.6.5	栅格数据库	116
4.2.2	FGDC 的元数据标准	89	5.6.6	属性数据类型	116
4.2.3	元数据和 GIS 软件	89	5.6.7	添加和删除属性字段	116
4.2.4	其他元数据问题	89	5.6.8	数据输入	117
4.3	准确度和精度	90	5.6.9	外部数据库集成	117
4.4	地理空间数据的误差类型	90	5.7	数据查询	117
4.4.1	属性错误	91	5.7.1	属性查询	117
4.4.2	定位误差	94	5.7.2	位置查询	118
4.4.3	拓扑错误	95	5.7.3	数据查询的融合	118
4.4.4	时间准确度	96	5.7.4	新数据层	118
4.4.5	误差可视化	97	5.8	小结	119
4.4.6	误差传播	97	复习题		119
4.4.7	区群谬误	98	关键术语		120
4.4.8	可塑性面积单元问题	99	参考文献		121
4.5	小结	100	<b>第6章 矢量数据和栅格数据的空间分析</b>		122
复习题		100	6.1	概述	122
关键术语		100	6.2	矢量数据分析	122
参考文献		101	6.2.1	矢量数据的缓冲区分析	122
<b>第5章 空间数据模型和数据库</b>		102	6.2.2	缓冲区分析的类型	125
5.1	概述	102	6.2.3	矢量数据的叠加	127
5.2	GIS 数据模型	102	6.3	栅格数据分析	136
5.3	矢量数据	103	6.3.1	栅格距离量测运算	136
5.3.1	点要素	103	6.3.2	局部运算	139
5.3.2	线要素	103	6.3.3	邻域运算	148

6.3.4 区域运算	155	7.5.6 网络分析问题: 网络示意图	190
6.4 小结	157	7.6 小结	190
复习题	157	复习题	190
关键术语	158	关键术语	191
参考文献	159	参考文献	192
<b>第7章 网络分析</b>	<b>160</b>	<b>第8章 统计和空间数据量算</b>	<b>193</b>
7.1 概述	160	8.1 概述	193
7.2 地理编码	161	8.2 长度(距离)量算	193
7.2.1 地理编码的组成	162	8.2.1 基于勾股定理的直线 距离量算	193
7.2.2 预处理	163	8.2.2 曼哈顿距离量算	194
7.2.3 地址匹配	163	8.2.3 其他因素	195
7.2.4 地理编码质量	164	8.3 多边形周长和面积的量算	196
7.3 网络类型	165	8.3.1 周长量算	196
7.3.1 (无向)交通网络	165	8.3.2 多边形面积量算	197
7.3.2 (有向)几何设施网络	165	8.4 描述性统计	198
7.4 (无向)交通网络分析	165	8.5 描述性空间统计	200
7.4.1 建立拓扑正确的交通(无向) 网络地理数据库	165	8.5.1 均值中心	201
7.4.2 网络分析问题: 最优路线(最短 路径)	167	8.5.2 标准距离	201
7.4.3 网络分析问题: 推销员的最优 路线	172	8.6 空间自相关	201
7.4.4 网络分析问题: 最近的设施 在哪	173	8.7 点模式分析	204
7.4.5 网络分析问题: 如何确定特殊 设施的服务区域	174	8.7.1 样方分析	204
7.4.6 网络分析问题: 设施位置的区位 配置模型	178	8.7.2 最近邻点分析	206
7.4.7 网络分析问题: 最大市场 占有率	181	8.8 小结	209
7.4.8 网络分析问题: 目标市场 占有率	183	复习题	209
7.5 几何设施(有向)网络分析	184	关键术语	210
7.5.1 建立拓扑正确的几何设施(有向) 数据集	185	参考文献	210
7.5.2 网络分析问题: 设施网络中的 流向	187	<b>第9章 三维数据空间分析</b>	<b>212</b>
7.5.3 网络分析问题: 在设施网络中 追踪边、接口的上游或下游	187	9.1 概述	212
7.5.4 国家水文数据集犹他州瓦萨奇 山脉钻石叉河部分	189	9.2 三维数据的矢量表示和处理	213
7.5.5 网络分析问题: 在设施网络中 使用障碍	189	9.2.1 不规则三角网(TIN)数据 结构	213
		9.2.2 TIN表面处理	214
		9.3 三维数据的栅格表示和处理	216
		9.3.1 空间插值	216
		9.3.2 栅格三维数据的表面处理	226
		9.4 小结	228
		复习题	228
		关键术语	229
		参考文献	229
		<b>第10章 GIS制图</b>	<b>231</b>
		10.1 概述	231

10.2	地理学家/制图师	231	10.10.2	控制的摄影地图和影像 地图	259
10.3	制图学的历史	231	10.10.3	正射相片、正射相片地图、 正射影像和正射影像地图	260
10.3.1	最古老的地图	232	10.11	小结	262
10.3.2	中世纪的 TO 地图	232	复习题	262	
10.3.3	公元 150 年托勒密的 《地理》	232	关键术语	263	
10.3.4	探索、打印和地图集的 时代	233	参考文献	264	
10.3.5	现代地图制作	235	第 11 章 GIS 硬件/软件和编程	266	
10.4	制图过程	236	11.1	概述	266
10.5	要素类型和测量尺度	237	11.2	GIS 硬件	266
10.5.1	要素类型	237	11.2.1	计算机类型	266
10.5.2	地理测量尺度	238	11.2.2	中央处理器 (CPU)	267
10.6	地图设计基础	239	11.2.3	存储器 (只读和随机存取)	268
10.6.1	地图组成 (布局)	240	11.2.4	操作系统	268
10.6.2	标题	240	11.2.5	显示器	268
10.6.3	排版	240	11.2.6	输入设备	268
10.6.4	专题内容和图形背景关系	241	11.2.7	输出设备	269
10.6.5	指北针与罗盘	242	11.2.8	GIS 实验室	269
10.6.6	比例尺	242	11.2.9	GIS 数据的存储与组织	269
10.6.7	图例	243	11.3	GIS 软件注意事项	270
10.6.8	格网或参考网格	243	11.3.1	GIS 软件	270
10.6.9	地理空间元数据	244	11.3.2	成本	272
10.7	点状数据制图	244	11.3.3	操作系统	272
10.7.1	使用简单符号的点状制图	244	11.3.4	数据采集和数据格式	272
10.7.2	渐变色点状制图	245	11.3.5	矢量、栅格和 GPS 数据 融合	273
10.7.3	比例或渐变符号点状制图	245	11.3.6	数据库管理	273
10.7.4	标准化点状符号	246	11.3.7	制图输出	273
10.8	线状数据制图	247	11.3.8	GIS 软件支持	273
10.8.1	使用简单线状符号和颜色的 线状制图	248	11.3.9	手持 GIS	275
10.8.2	使用渐变 (比例) 线状符号的 流量图	249	11.4	编程和 GIS	275
10.8.3	等值线制图	250	11.4.1	何时进行编程	276
10.9	面状数据制图	252	11.4.2	计算机编程基础	276
10.9.1	无行政单元边界限制的空间 数据的专题制图	252	11.4.3	GIS 编程集成	278
10.9.2	具有行政单元限制的空间数据 专题制图: 等值区域制图	254	11.4.4	独立 GIS 编程的应用	278
10.10	摄影地图、正射摄影地图、影像 地图、正射影像地图	258	11.5	小结	280
10.10.1	无控制摄影地图 (相片镶嵌) 和影像地图	258	复习题	280	
			关键术语	280	
			参考文献	280	
			第 12 章 展望未来	282	
			12.1	概述	282

12.2 GIS 职业和教育.....	282	附录 A 地理空间信息来源.....	303
12.2.1 公共与私营部门的 GIS		A.1 目录.....	303
职业.....	282	A.1.1 联邦地理空间数据库.....	303
12.2.2 专业组织协会.....	284	A.1.2 开源自发地理信息库.....	303
12.2.3 其他测绘科学(地学技术)		A.1.4 数字高程数据.....	303
知识.....	286	A.1.5 水文数据.....	303
12.2.4 GIS 证书、认证和许可.....	286	A.1.6 土地利用/土地覆盖和生物多	
12.2.5 继续教育.....	288	样性/栖息地数据.....	303
12.3 GIS 技术发展趋势.....	288	A.1.7 网络(道路)和人口统计	
12.3.1 云计算和 GIS.....	288	数据.....	304
12.3.2 网络 GIS.....	289	A.1.8 遥感数据.....	304
12.3.3 移动 GIS.....	291	A.2 联邦地理空间数据库.....	304
12.3.4 自发地理信息.....	291	A.2.1 USGS EarthExplorer.....	304
12.3.5 数据格式和标准的改进.....	292	A.2.2 USGS 的 The National Map.....	304
12.3.6 三维可视化.....	293	A.2.3 Geo.Data.gov.....	305
12.4 地理空间公共访问和法律问题.....	293	A.2.4 美国人口统计局.....	306
12.4.1 公共数据访问.....	293	A.3 开源自发地理信息库.....	307
12.4.2 GIS 数据有限责任.....	296	A.4 商用地理空间数据库.....	308
12.4.3 第四隐私权修正案的思考.....	297	A.5 数字高程数据.....	308
12.5 遥感和 GIS 的集成.....	298	A.6 水文数据.....	309
12.5.1 数据采集平台的发展.....	299	A.7 土地利用/土地覆盖和生物多样性/	
12.5.2 遥感系统的发展.....	299	栖息地数据.....	309
12.5.3 数字图像处理进展.....	299	A.8 网络(道路)和人口统计数据.....	309
12.6 小结.....	300	A.9 遥感数据.....	309
复习题.....	300	A.10 各州的 GIS 数据交换中心.....	309
关键术语.....	300	参考文献.....	310
参考文献.....	301		





## GIS 简介

许多人或许并未意识到，在地球上居住了一段时间后，实际上已掌握了相当多的地理信息知识。之前，大家可能听说过地理信息系统（GIS）这个名词，但不完全了解它是什么，或者如何使用它来进行科学调查或改进决策。也许公司老板知道地理信息系统的实用性，并希望员工了解 GIS 的基本知识，进而提升员工的价值。或许很多人已经在使用 GIS 并想进一步学习，以使自己更有市场竞争力。本书的目的是用简单直观的方式介绍 GIS 的基本原理。

### 1.1 什么是空间数据

空间数据具有唯一的地理坐标或其他空间标识，以便在地理空间中定位（Jensen et al., 2005）。年龄或体重等非空间数据不包含地理信息。读者很可能已经通过地图、航拍像片或卫星影像图，特别是下面给出的互联网地图服务，对空间信息有了大致的了解：

- 必应地图 ([www.microsoft.com/maps/default.aspx](http://www.microsoft.com/maps/default.aspx))
- 谷歌地球 ([www.earth.google.com](http://www.earth.google.com))
- 谷歌地图 ([www.maps.google.com](http://www.maps.google.com))
- MapQuest ([www.mapquest.com](http://www.mapquest.com))
- 雅虎地图 ([www.maps.yahoo.com](http://www.maps.yahoo.com))

因此，地理信息分析仅仅是许多已有经验的延伸。例如，读者是否曾经想过：

- 遇到紧急事件拨打 911 时会发生什么？调度人员可通过地理数据库立刻定位具体的地址。理想情况下，调度人员可以在地图或空中影像图上看到事件位置并了解该位置附近的所有应急车辆（如消防车、警车、急救车），如图 1.1 所示。如果配置得当，GIS 紧急响应软件会为应急车辆前往住所或工作场所提供最佳路线。因此，高质量的地理数据和有效的 GIS 软件可以挽救生命。
- 当把邮政编码给当地百货公司收银员时，会发生什么？通常情况下，邮政编码及与其相关的地理信息坐标，会连同所购买产品和产品价格等相关信息一起，被传输到电子地理数据库中。经过业务与 GIS 技术培训的人员，每天都会积累数百万名顾客的此类信息，并利用这些信息：①将新店设在社区内可实现最大利润的最佳位置；②在店中储备附近居民最可能购买的特定产品。
- 导航设备、手机和 iPad 如何帮助识别从 A 地到 B 地的最短距离或最快路线？在美国，上述设备任何时刻都可利用全球定位系统（GPS）技术确定地球上的位置。这种空间信息和目的地（位置 B）的坐标都存储在地理空间数据库中。然后使用 GIS 的特殊功能找到到达位置 B

的最优路线，并将该路线显示在屏幕上。车载导航仪可向驾驶员提供详细的行驶指令，如图 1.2(a)所示。同样，启用了 GPS 功能的手机 [见图 1.2(b)] 可在地理空间中定位。图中手机位于南卡罗来纳州哥伦比亚市的 George Rogers 大道 [见图 1.2(c)]。用户也可通过搜索

数据库来找到该地区附近其他感兴趣的地物(如哥伦比亚市的 Williams-Brice 体育场)，并确定它们与手机所在位置的距离。位置信息可以使用传统制图符号 [见图 1.2(c)] 表示，也可以叠加在高分辨率卫星图像或数字航空影像 [见图 1.2(d)] 上。

911 调度人员使用 GIS 和遥感技术

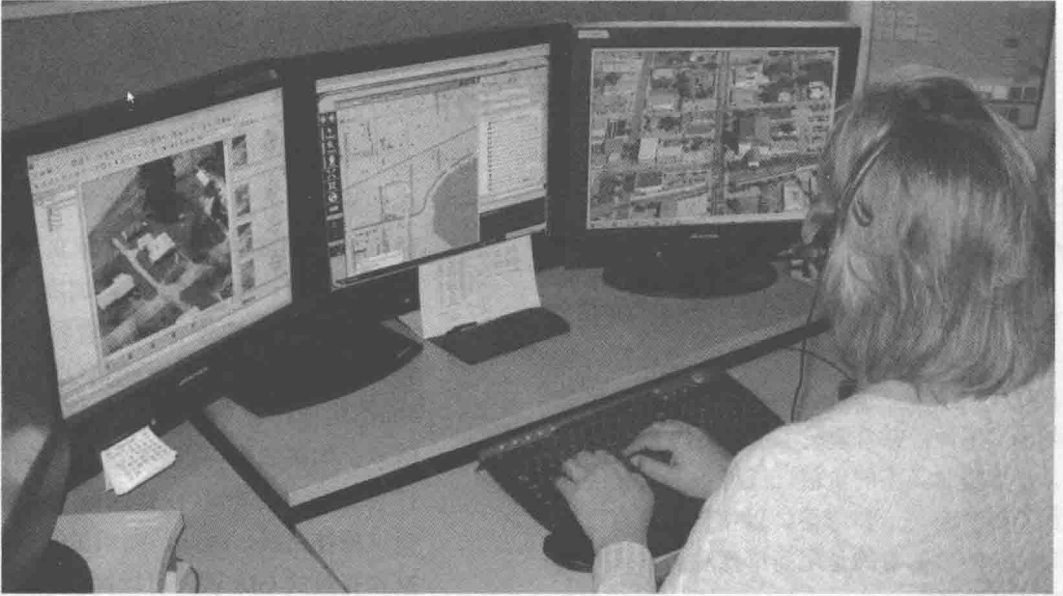


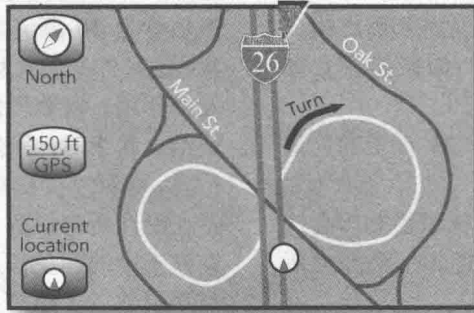
图 1.1 911 调度人员接到来电。地理信息数据库中存储的 GIS 数据可自动分析并识别呼叫者的地理位置。调度人员可在数字地图或数字航空影像图上看到呼叫者的位置。GIS 中也可能包含每位应急者(如警察、消防人员、医护人员等)的当前位置信息，调度人员或 GIS 系统可选择能最快到达呼叫者所在地的应急者(图像由 Pictometry International 提供)

- 如何使欠发达地区的湿地等环境敏感区域在环境恶化的趋势下得到保护? 通常使用 GIS 中的地理空间信息对这些敏感区域进行研究与建模，例如现存湿地的空间分布、周围土地利用/覆盖情况、分区规则建议、地形坡度和高度、水文站网以及现有交通网络等。GIS 在同一时间对全部空间数据进行分析，并预测所建议的土地利用类型对现存湿地的影响。

上述各种应用都需要空间数据和空间数据分析。空间数据和空间数据分析已出现很长时间，但仅在近 30 年才开始对民众的日常

生活产生重要影响。有趣的是，地理信息和分析正变得非常普通，以致社会经常会对它们熟视无睹。例如，大部分人在使用网上地图(如必应地图、谷歌地图、雅虎地图等)或个人导航设备(如 iPhone)时，并不关心他们到特定位置的最快路径是怎样被确定的，而只关心其是否能正常工作。因此，进行 GIS 分析的技术人员在工作中做到精确高效是当务之急。本书介绍了许多地理空间应用和方法，它们可使地理信息系统在改善保护人民生命的决策和环境可持续发展方面做出贡献。本书适用于那些想要恰当使用地理数据和地理信息系统的人们。

安装在汽车仪表板上的使用  
GPS技术的导航设备



(a) 导航设备上显示的典型信息

组合使用GPS、Wi-Fi和蜂窝数据塔三角  
定位技术, 手机可定位它们的位置(x, y)



(b) 带地图应用的  
iPhone



(c) 平面地图显示了iPhone  
和Williams-Brice体育  
场的位置



(d) 叠加iPhone位置  
和地图信息后的  
卫星图像

图 1.2 (a)GPS 导航设备通常装在汽车仪表板上。显示的典型信息包括导航设备所在位置、行驶方向(北、南、东、西)、道路名称和特定位置的方向。(b)自带地图功能的手机。框线标出的 iPhone 地图应用程序利用 GPS、Wi-Fi 和基站等来定位它在地表的位置。(c)使用谷歌地图技术, 位于南卡罗来纳州哥伦比亚市 George Rogers 大道的 iPhone 的位置显示为一个点。用户也可搜索地理空间数据库来确定该地的其他地物, 如 Williams-Brice 体育场, 并确定它们与手机所在位置的远近。位置信息可使用(c)传统制图符号表示, 或(d)叠加在卫星影像、航空摄影照片上

## 1.2 空间问题

不同行业的从业人员, 每天都会遇到大量的空间问题。下面给出一些例子:

- 执法者: 城市中最大的毒品犯罪拘捕地是哪里? 暴力犯罪最严重的地区是哪

里? 这两个变量间是否存在空间关系?

- 开发商: 本地区的土地坡度是什么类型? 这种坡度对开发建设来说是否太陡?
- 房地产经纪: 这个小区的房屋均价相对于周边小区怎样?
- 大学招生负责人: 大部分申请人生活在

哪里？贫困地区在哪里？如何吸引更多来自这些地区的申请人？

- 援助工作者：人类遭受苦难和财产损失最严重的地区是哪里？如何提升救助工作的影响力？
- 送货司机：我今天运送 25 件货物的最佳路径是什么？
- 立法委员：我们应该在哪里绘制国会选区边界才会使得各大城市在国会中所占的地位相同？
- 疾病防控中心：目前感染疾病的人群在地理上是如何分布的？在这次紧急事件中有多少附近居民可能会受到影响？

不论他们是否认识到这一点，这些问题都需要用空间数据和空间分析来回答。空间数据分析的结果可能会影响人们的生活（Koch, 2005; Green and Pick, 2006）。因此，以准确的方式收集、存储和分析数据十分重要。地理信息系统就是基于这一目的开发的。

### 1.3 GIS 空间数据的组织方式

如上所述，空间数据是一种具有空间相关性的数据（Morrison and Veregin, 2010）。这表表人们知道地理要素位于  $x$ 、 $y$  甚至  $z$  空间的何处。位置信息可通过通用球体或球面坐标系（如纬度/经度）、投影坐标系（如横轴墨卡托地图投影）、局部坐标系（如某建筑物的专属空间坐标系）等来描述，也可用街道地址（如第五大道 222 号）等简单方式来表述。这种空间构成可使 GIS 用户将属性要素标注在地图上，并对其进行空间分析。在前面描述的例子中，邮政编码信息可以帮助百货公司总结出购物者的聚居区域。就百货公司而言，商业交易（如所购产品及消费总额）等非空间数据信息只有与购物者的地址结合分析时，才具有较高的利用价值。一旦结合完成，这些数据连同从其他用户处得到的信息，就可用于分析新商场的最佳位置。

对许多其他类型的数据而言，这一原则同样适用。例如，假设当地有一名估税员，他必须确保各项税务评估公正、征收公平。此外，假设该评估员充分了解镇上琼斯一家的家庭

用地，尤其了解这栋房子有 278.7 平方米的使用面积，占地 2025 平方米，上一纳税年度房产估价为 30 万美元。上述信息属于非空间信息。这种非空间信息必须与空间信息结合才能发挥作用。将地理位置（地址）与琼斯的土地地块结合起来时，所有非空间信息就变为了空间信息。这种空间信息可使得琼斯的土地能表示在财产所有权图（地籍图）上。同时可将琼斯土地的相关信息进行今昔对比，还可将其与周围邻近土地信息进行比较，以保证该土地评估的公正性（Cowen et al., 2007）。

空间数据通常分为离散型数据、连续型数据和面域型数据。下述章节将依次介绍它们。

#### 1.3.1 离散型地理要素

离散型地理要素包括：点、线和面。

离散点要素通常用点符号表示。例如，南卡罗来纳州博福特县私人住房的地理位置显示为圆形点状符号，如图 1.3(a)所示。若有需要，点状符号的大小也可根据每栋住房的价值来调整，这里的价值是指与街道地址相关的额外属性信息。

线要素通常用具有起点、中间点和终点的线条（矢量）来表示。博福特县的部分交通网络在图 1.3(b)中表示为矢量集。道路名称通常作为一个属性来存储。

具有地理区域特征的地表通常由一系列闭合线段（矢量）组成的面要素表示。例如，图 1.3(c)中显示了南卡罗来纳州博福特县所有合法注册的地块。地块交角的精确地理坐标、所有者名称及地块所占平方英尺数都是与之相关的典型属性。由于图 1.3(d)中所有地块的每栋建筑覆盖区都占据地理空间，因此其地理区域也具有面特征。

#### 1.3.2 连续型地理要素

景观中连续存在的一些现象称为连续型地理要素，如高程（Maidment et al., 2007）、温度、相对湿度、太阳辐射量、风速、重力、大气压等。科学家、测量人员及其他人员经常收集离散点位的相关变量数值，并利用插值法

将数据填充到栅格图中。例如，博福特县同一地理区域的高程，在图 1.3(e)中用网格（常称为栅格）表示。每个大小为  $30\text{m}\times 30\text{m}$  的单元都仅包含一个具有颜色编码的高程值。颜色越

深，表示海拔越高。注意，地表被各单元连续贯穿，即地表覆盖无间隙。图 1.3(d)中的区域信息与图 1.3(e)中的高程数据叠加，可得到如图 1.3(f)所示的一幅合成地图。

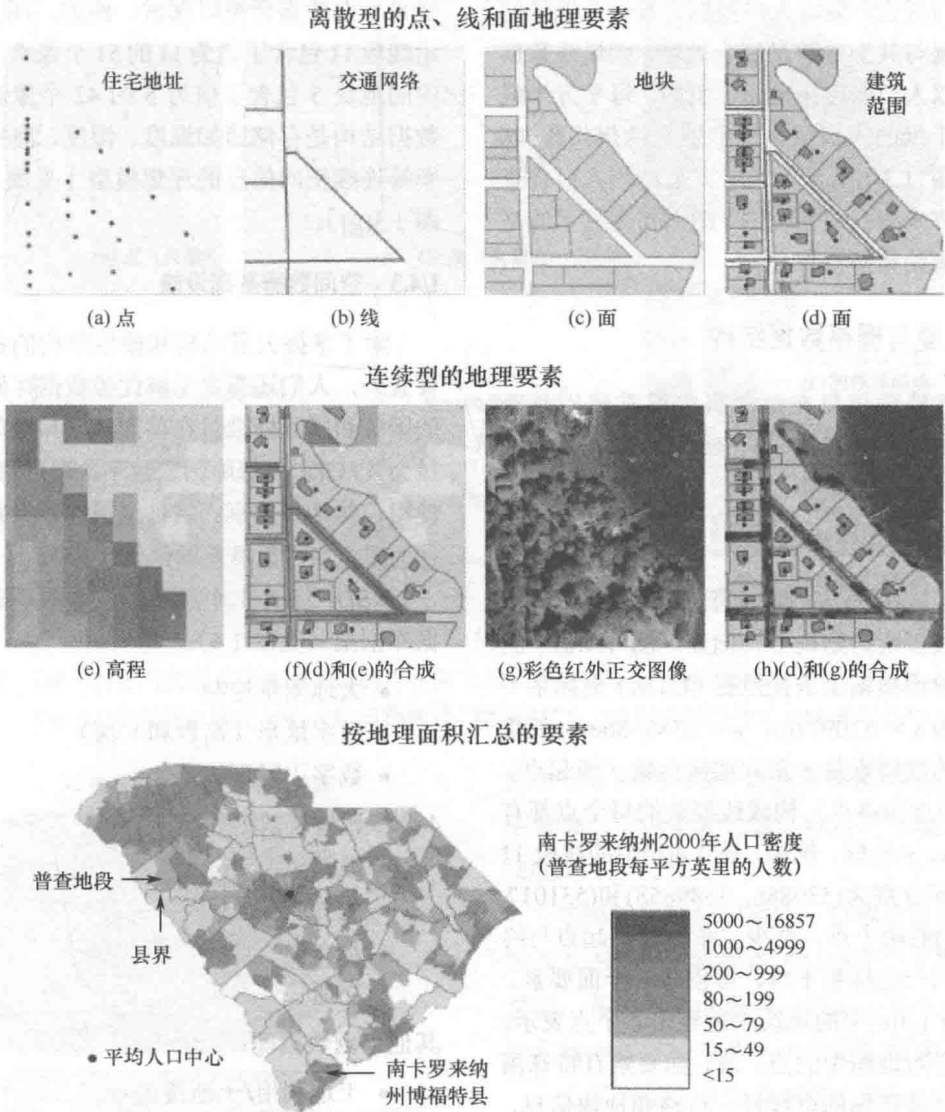


图 1.3 (a)~(d)南卡罗来纳州博福特县部分区域的点、线、面要素；(e)~(h)高程及彩红外正射影像通常为连续型数据；(i)面域型要素可根据人口密度表示，本图为 2000 年南卡罗来纳州人口普查密度图 [(a)~(h)由博福特县 GIS 部门提供，(i)由美国人口统计局提供]

多数遥感数据在性质上是连续的 (Warner et al., 2009)。例如，在白天，地形持续反射近红外、红、绿、蓝等光线。图 1.3(g)是由反射的近红外、红光及绿光所构成的彩红外航片。图 1.3(d)所示的区域信息与彩红外正射影像叠加

后，结果如图 1.3(h)所示。

### 1.3.3 面域型地理要素

地理数据的另一种重要形式表现为：在一个地理区域（如一个多边形）内进行一定数量

的离散点测量,然后用与该区域相关的某种单一变量对所得数据进行汇总处理。例如,人口及其他社会、经济数据通常按地理区域汇总。美国人口统计局以街道、社区、县及州的形式进行人口普查,编辑人口数据。若一个地区的人口数据与其土地数量结合处理,则最终数据很可能以人口密度来表示。例如,每平方米或每平方千米的人口数。南卡罗来纳州共有 46 个县。图 1.3(i)所示为南卡罗来纳州人口普查区每平方米的人口密度图。图上高亮显示的是南卡罗来纳州博福特县。

## 1.4 矢量与栅格数据结构

上述地理信息在计算机中通常使用具有本质区别的两种数据结构来表示,即矢量数据结构与栅格数据结构。

### 1.4.1 矢量数据结构

根据其固定  $x$ 、 $y$  坐标的性质,点要素通常存储在矢量数据结构中。例如,图 1.4(a)中的点 2 在通用横轴墨卡托投影(UTM)坐标系下的坐标为  $x = 530971\text{m}$ ,  $y = 3589686\text{m}$ 。矢量结构中的线要素是一系列连接点集(即起点、 $n$  个中间点和终点)。构成线要素的每个点都有固定的  $x$ 、 $y$  坐标。例如,图 1.4(b)中的线段 11 包括坐标分别为(530886, 3589858)和(531017, 3589342)的两个点。至少三条线段的起点与终点都在同一坐标系下时,可创建一个面要素。例如,图 1.4(c)中的地块 5 需要由 4 个点表示。若使用者对地图中的点、线、面要素有特殊需求,如需要详细的电线杆、道路和地块信息,则最好以矢量格式收集和分析数据。

### 1.4.2 栅格数据结构

点、线、面数据也可以存储在栅格(矩阵)格式文件中。坐标为(530971, 3589686)的点 2 的房屋在图 1.4(d)中显示为栅格格式,所在地即其正确的平面位置。然而,栅格化过程会使得点被符号化为方形元素(即像素)。像素在  $x$ 、 $y$  方向的尺寸相同,如  $10\text{m} \times 10\text{m}$ 。除非所得空

间分辨率非常高,通常情况下,栅格化会严重破坏线性要素,降低其空间精度并产生锯齿图,如图 1.4(e)所示。栅格格式的面要素也会出现这种情况[见图 1.4(f)],但专题信息的线要素和面要素会得以保留。例如,图 1.4(e)所示线段 11 包含了值为 11 的 51 个像素,图 1.4(f)中的地块 5 包含了值为 5 的 42 个像素。栅格数据结构是存储诸如温度、湿度、海拔、反射率等连续空间信息的理想模型[见图 1.3(e)和图 1.3(g)]。

### 1.4.3 空间数据基础设施

除了掌握矢量结构和栅格结构的各种地理要素外,人们还需要了解此类数据存储与共享的国家和国际标准。在美国,联邦地理数据委员会(FGDC)保障国家数字地理信息的发布、使用、传播和共享。这种全国性数据发布措施称为国家空间数据基础设施(NSDI)。

NSDI 包括 3 个经专利注册的基础空间数据库框架(见图 1.5):

- 大地测量控制
- 数字地形(高程和水深)
- 数字正射影像图

4 个专题框架数据库:

- 地籍
- 边界或行政区
- 水文
- 交通

其他专题数据库:

- 土地利用/土地覆盖
- 植被
- 土壤
- 地质
- 人口信息等

许多国家利用全球空间数据基础设施(GSDI)所提供的数据来组织本国的空间数据。GSDI 协会是一个包容性的组织,其成员包括世界各地的机构、企业及个人。目的在于促进国际合作,支持地方、国家及国际空间数

矢量和栅格数据结构 (拓扑结构)

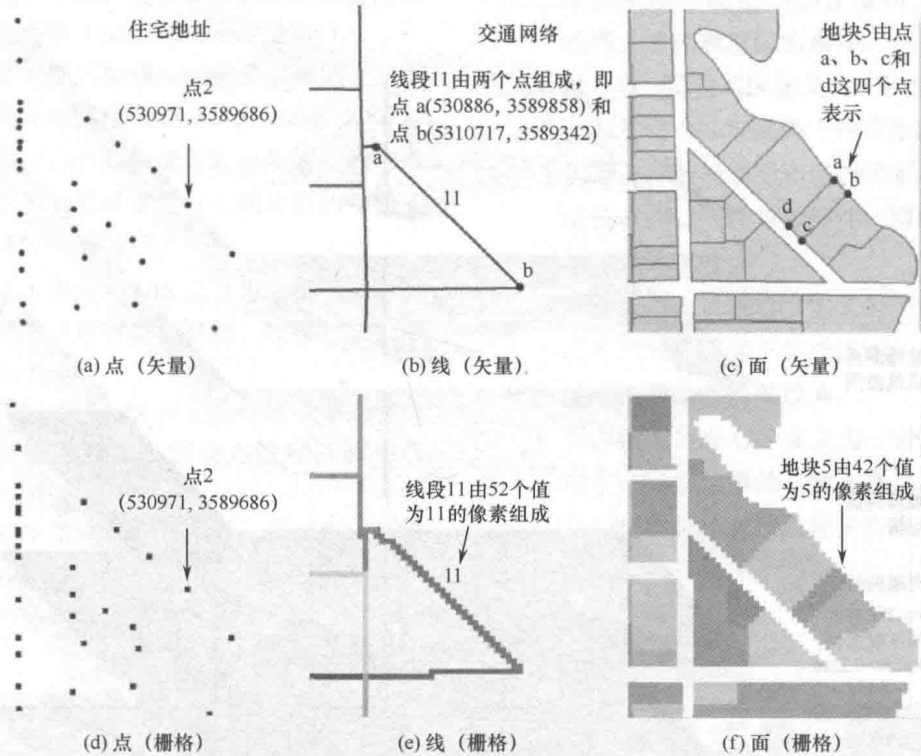


图 1.4 (a)~(c)使用矢量数据结构表示的南卡罗来纳州博福特县部分地区的点、线、面信息。  
(d)~(f)使用栅格数据结构表示的相同点、线、面信息(数据由博福特县 GIS 部门提供)

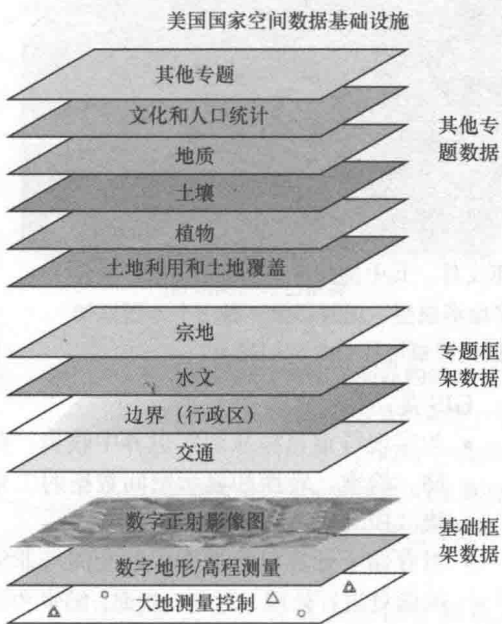


图 1.5 美国的 NSDI 包括基础框架数据、专题框架数据和其他专题数据

据基础设施的发展,以使各国能够迅速且有效地解决当下的重要社会、经济和环境等问题。(GSDI, 2011)。

美国的大部分州政府、县政府依据 FGDC 准则及 NSDI 逻辑理论进行地理信息的设计、组织,并提供 GIS 服务。例如,图 1.6 为南卡罗来纳州博福特县的 7 个专题数据库。

根据 FGDC 准则及 NSDI 规范,这类数据存储在博福特县的 GIS 数据库中。注意,该数据库包含控制测量信息、数字地形、正射影像、道路交通信息及地块、建筑范围等地籍信息。博福特县 GIS 数据库中包含数以百计的专题覆盖地图,工作人员利用此类信息规划该县各领域的工作,包括消防、安全、紧急响应(911)、公共事业管理、防洪等。大部分空间数据通过互联网免费向公众开放。

自博福特县的空间数据基础设施中选取的数据库

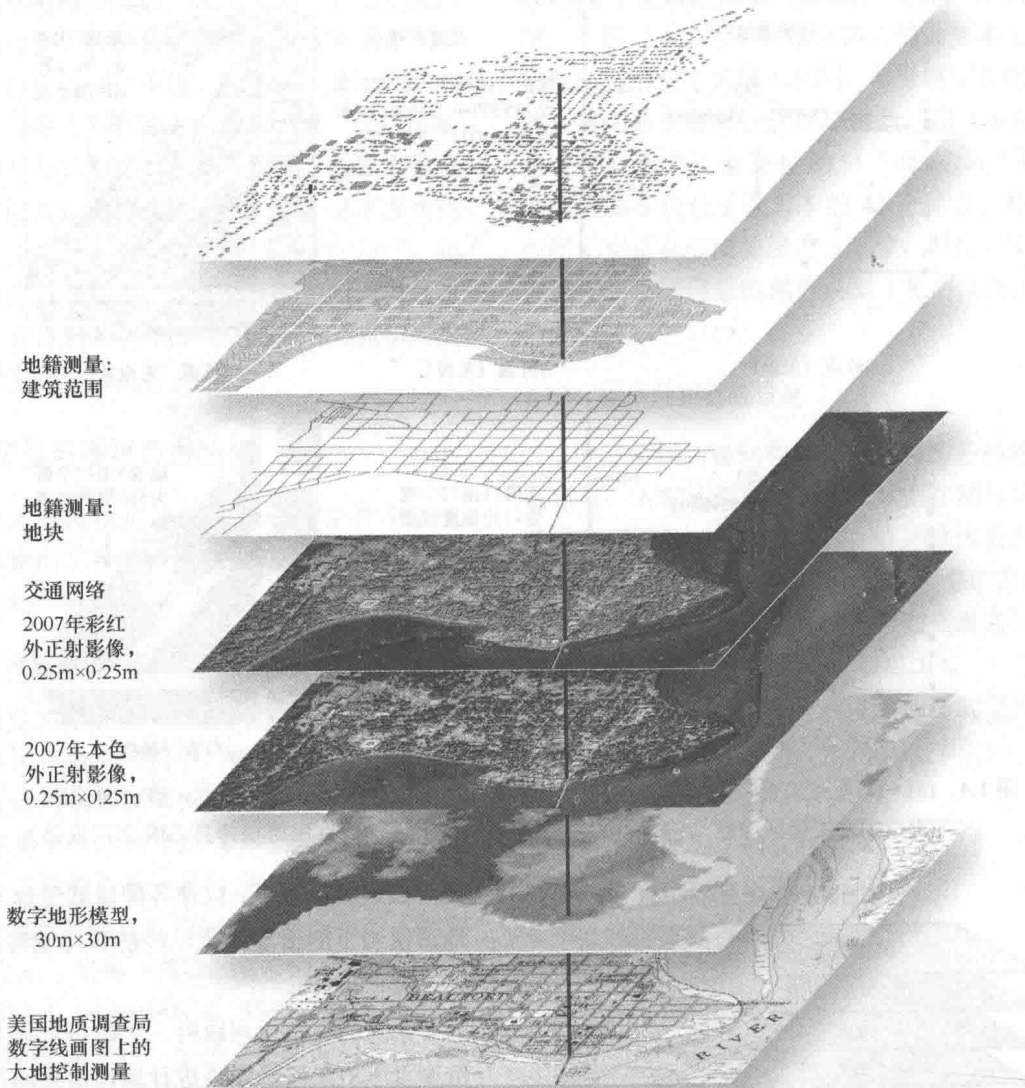


图 1.6 博福特县 GIS 部门维护着数百个空间数据文件。其中部分符合 NSDI 规范。包含三个基础框架文件（大地控制测量、数字地形模型、正射影像）和三个专题框架文件（交通运输、地籍、建筑范围）（数据由博福特县 GIS 部门提供）

## 1.5 GIS 标准定义与非标准定义

在初步认识地理要素（离散型要素、连续型要素、面域型要素），了解其数据存储形式分为矢量与栅格结构，并掌握其空间数据结构组成后，就可给出 GIS 的标准定义。GIS 在多学科领域的广泛适用性使其具有多种定义。例如，考虑如下关于 GIS 的几种定义。

GIS 是：

- 为实现特定目标从现实世界中收集、存储、检索、转换和显示空间数据的工具集（Burroughs, 1986）。
- 对存储于计算机数据库中的空间与非空间信息进行处理、汇总、查询、编辑和可视化的信息系统（Goodchild, 1997）。
- 为规划、管理、监测自然和社会经济环境而进行空间数据采集、管理、分析及



可视化的数字系统 (Konecny, 2003)。

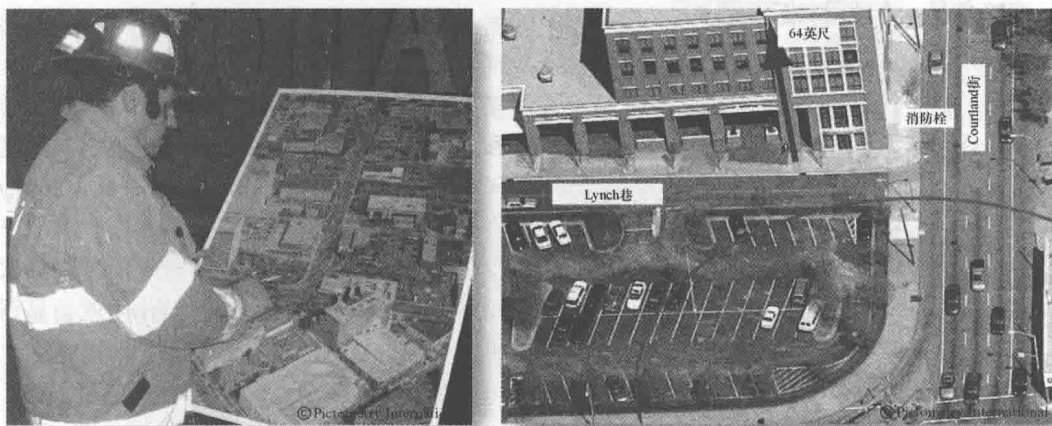
- 获取、存储、检索和分析空间数据的自动化系统 (Slocum et al., 2005)。
- 管理和使用地理空间数据来求解空间问题的计算机系统 (Lo and Yeung, 2007)。

如何定义 GIS 系统通常取决于人们的使用方式。以下各例是经常进行空间分析的专业人员对 GIS 的非标准定义：

- 道路工程师将 GIS 定义为一种用来对交通网络进行维护、更新、建模和成图的空间系统。
- 生物学家将 GIS 定义为一种用来对物种和生态系统的空间动态进行监测与成图的系统。
- 地理学家将 GIS 定义为一种对空间数据进行存储、检索和分析以识别其空间模式的系统。

- 动物学家将 GIS 定义为一种用来对选定生态系统中动植物的迁徙和分布进行成图、建模和追踪的系统。
- 城市规划师将 GIS 定义为一种分区工具。
- 估税员将 GIS 定义为一种用来对不动产价值进行准确成图和监控的系统，以保证税收的公平性与合理性，同时标识非法建筑的开发。
- 电话公司职员将 GIS 定义为一种用来对已有电线杆和地下管线成图的系统，以便维护和改善基础设施。
- 紧急接线员将 GIS 定义为一种工具，可用于：(a)定位事故、紧急事件或犯罪现场；(b)确定最有效路径使合适的资源能及时到达 (见图 1.7)。

### 紧急响应



(a) 消防员评估报警区域的纸质影像图

(b) 使用专用 GIS (含有详细的建筑物高程数据和其他属性信息, 如街道名称和消防栓位置) 显示的倾斜航空照片

图 1.7 紧急车辆调度与引导所花的时间对求援者会有很大的影响。如果自身或至亲急需消防员或救护车, 人们希望专家可运用一切方式使救援者尽快达到相关位置。(a) 消防员正在检查报警区域的地图。(b) GIS 中的详细数字信息可用于定位 Lynch 巷和 Courtland 街拐角处的建筑物, 求出其高度 (64 英尺), 配备带有合适云梯的消防车到达现场, 并在到达前确定最近的消防栓 (红色三角形) 的位置 (图片由 Pictometry International 公司提供)

几乎所有定义都包含有关分析空间数据的内容, 但不存在能被人们普遍接受的 GIS 定义。没有标准 GIS 定义的缺点之一是, 人们对 GIS 的误解会继续存在下去。

## 1.6 对 GIS 的误解

以下是人们对地理信息系统性质和用途的一些误解。