

第 3 章

数字城市的关键技术与技术创新体系

数字城市、数字地球涉及地球系统科学、计算机科学、地理信息系统、遥感、全球定位系统、通信、宽带网络、虚拟现实、数据库系统等学科和技术。具体地说,涉及地球空间数据获取、地球空间数据的存储和处理、超媒体空间信息系统、地理信息的分布式计算、空间数据仓库、无级比例尺数据库、空间数据融合、虚拟现实技术、通信、计算机网络以及元数据(metadata)等。

数字城市,即城市信息数字化,产生的数据必定为海量数据,如此庞大的数据,只能采用大容量的分布式存储、数据仓库等数据存储技术进行存储。而要实现共享,使用计算机及网络通信技术是必不可少的。另外,卫星遥感(RS)技术、全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、虚拟现实(VR)技术等也是获取信息来进行三维模拟的技术关键。

最关键的是元数据标准和空间数据仓库,这两方面的技术涉及数字城市的信息流通、共享和上级领导的决策和分析。

3.1 数字城市的关键技术

3.1.1 元数据标准

数字城市的实现需要解决的一个关键问题是空间信息共享,但真正地实现空间信息共享具有相当的难度。传统的地理信息系统从体系结构到数据格式都有着封闭的特点,不同的地理信息系统,数据存储格式不同,针对不同的应用,人们关心的属性也不同。

由此可知,要想实现空间信息共享,还要依赖于一种特殊的数据——元数据,以及对空间数据的格式、精度等属性描述的数据。而元数据的标准有多种。比较典型的有美国联邦地理数据委员会(FGDC)的空间地理元数据内容标准(Content Standard for Digital Geographic Metadata, CSDGM)、美国航空与航天局(NASA)的目录交换格式(Directory Interchange Format, DIF)、美国国际地球科学信息网络中(CIESIN)的元数据标准、英国的Dublin核心元数据标准、澳大利亚和新西兰 ANZLIC 的元数据核心元素标准,以及国际标准化组织制定的《地理信息——元数据标准》(TC211/15046-15)等。我国制定了标准《城市地理空间信息共享与服务元数据标准》(CJJ/T144—2010)。

3.1.2 空间数据仓库

空间数据仓库(space data ware house)是数据仓库(data ware house)的一种特殊形

式,是 WebGIS 的核心技术之一,其是在网络环境下,实现对异地、异质、异构不同源数据库中地理空间数据、专题数据及时间数据的统一、整合、集成处理,形成用户获取数据的共享操作模式。

要建成数字城市,整个城市的信息从矢量数据到 DEM 数据、影像数据,且都是海量的,而把这些数据利用起来,进行空间分析和决策,必须建立空间数据仓库。空间数据仓库利用多维分类机制组织大量的空间数据,建立三维或多维数据模型。维的数目根据需求来确定。地学查询一般按照时间维、空间维、主题维(属性维)来组织数据,即三维。

3.1.3 海量数据的快速处理与存储技术

由于单个计算机的 CPU 速度存在上限,海量数据的快速处理依赖于建立在多指令流、多数据流并行计算机基础上的并行处理算法。海量数据的存储主要依赖于分布式存储系统。

数字城市所需的信息不仅是遥感信息,还包括非遥感信息,例如空间图形数据和属性信息、遥测和其他方法所获得的信息,信息量巨大。这些海量信息需要进行检查或校正等处理后才能应用,尤其遥感信息需要进行快速光谱辐射校正、几何校正、影像增强和特征提取等处理。不仅如此,要满足用户要求,还必须实现快速存储和检索。

当前的技术关键在于能够将获得的遥感数据直接通过计算机进行各种处理,并进行人机交互分类。将遥感图像分类和特征提取中的疑点和难点经专家用光笔直接在屏幕上进行分类、划界、输入计算机进行存储,用户通过查询和检索可快速获取这些信息。

不论处理、存储还是检索等,都要求快的响应速度。因此要求有超大型的计算机来完成这样的任务。

分布式数据库及分布式存储的建设是数据管理的趋势。不同部门、不同行业、不同地区应分别建立自己的数据库,不但为了应用的方便,而且也为了数据采集、数据更新和数据处理与管理的方便。不同专业的数据库应由不同专业的部门建设和管理,这样才能发挥各自的特长,避免集中式系统带来的管理困难和网络拥塞。就 NASA 来说,它有 12 个数据中心,约 50 个数据库。

并行计算通常是指一个任务的各个部分并行,同时进行计算,而不是顺序地执行。这种计算要求各部分的数据相关性小。如果各部分有前后的因果关系,即一个部分的计算结果(输出)必须作为另一部分的输入,则不能进行并行计算。在图像处理中,通常一幅图像的各部分的相关性小,没有时间上的因果关系,可以作并行处理。在地理空间信息处理中,也有很多情况可以用并行处理方法。

并行计算可以在高性能并行计算机系统上进行,也可以在分布式计算机系统上进行,下面介绍这两种计算机系统。

(1) 高性能并行计算机系统通常由多个 CPU 进行紧耦合,通过总线或交叉开关共享存储器,这种处理机系统属于多指令流、多数据流(MIMD)结构范畴,可形成大型机和巨型机,例如我国研制的曙光一号并行计算机。另外,大规模并行处理巨型机(Massively Parallel Processing Super Computers, MPP)由一组相对并不昂贵的 CPU 构成,一个高速

互网络将它们组成一个单元,利用一套系统应用软件使这些器件像一个系统那样运行。MPP 能够提供强大的计算能力,已经成为高速科学计算的主要硬件平台,是巨型机的发展方向。

(2) 分布式计算机系统是多个分散的计算机经互网络连接而成的多计算机系统。其中,各个资源单元(物理或逻辑的)既相互协同,又高度自治;既能在全系统内进行宏观资源管理,动态地进行任务分配或功能分配,又能并行地运行分布式程序。分布式处理系统具有模块性、并行性和自治性。分布式计算机系统是多机系统,特别是并行处理系统的一种新形式,是计算机网络技术领域迅速发展的一個方向。由于微机的性能价格比优于大型机,将若干台微机构成分布式多机系统,采用分散处理的方式取代集中式大型主机结构,开拓了计算机应用的新途径。

此外,还有神经网络计算机。神经网络计算机为第六代计算机,与传统计算机相比,其特点有大规模并行分布处理;高度的容错性,任何局部错误不会影响整体结果;具有适应性,自学习能力,具有思维联想能力。

对于数字城市的海量数据的处理,要充分利用上述这些计算机体系,研究并行处理算法,如研究基于 MIMD 的遥感图像处理算法等。

地理空间数据量巨大,纳米技术、激光全息存储、蛋白质存储等方面的研究也已有了较大的进展。

3.1.4 高速计算机信息技术

海量数据的存储需要分布式数据库,部门对信息的应用及相互合作需要信息共享。分布式数据库需要高速计算机信息网络的连接才能实现充分的共享。随着社会经济的全球化,资源环境的监测、预报及研究的全球化,信息共享与合作都需要高速计算机网络来实现信息的交流。为使数字地球服务于社会各领域,甚至服务于每个人,必须有高速网络才能实现海量数据的传输。

高速计算机网络,即国家信息基础设施的通信网络,可分为有线网络和无线网络两大类。

有线网络是电缆或以光纤组成的光缆与通信设备和计算机共同组成的网络系统。个人计算机通过连接音频和视频设备等形成多媒体综合计算机,通过网络设备与光缆或电缆相连接,使计算机中的多媒体信息组成的一个个数据包或信息包在光缆上传输,如同高速公路上的车辆一样川流不息。数据包或信息包经过一个又一个网络节点驿站在网络中流动。每一个节点驿站都有路由信息,通过网络协议进行路由选择和传输,同时进行信息分流或加入。有线光缆可以分为窄带光缆、宽带光缆、波分光缆等。

第二代因特网(Internet II),即宽带网络是美国 100 多家大学组成的合作群体的智慧产物,计划要以比因特网快 100~1000 倍的速度传递信息。它以每秒 600 兆比特以上的速度传递分布式数据库中的信息。这种速度足以在不到一秒钟的时间内传输一部百科全书。由 34 所大学组成的“高级因特网公司”的总裁范豪威灵博士指出,因特网距离真正的信息高速公路不远了。

新的通信网络,即采用波分复用技术的网络(WDM),可以不用铺设新的光缆,就能增加现有网络的带宽。该技术在同一条光缆上,同时发送不同波长的光信号。每一个波长光信号形成一条能够运载各自信息流的独立通道。采用密集波分复用技术,在同一条光纤上可以传输多达 80 个波长的信号。

由于有线网络技术受到光缆敷设的限制,它只适宜在经济发达地区和人口稠密地区使用。对于大洋、大沙漠、大山、大森林等人员少的地区,铺设光缆不便,也不经济,采用无线网络技术是最佳选择。

3.1.5 超媒体与分布式空间信息系统技术

数字地球系统的主要任务之一是要实现数据或信息的共享和发布。遥感技术是获取数据和更新数据的主要手段;分布式数据库、信息系统与高速计算机信息网络为信息共享创造了条件,而互操作是实现共享的关键技术之一。地球信息的互操作需要通过网络 GIS(如 WebGIS,ComGIS)以及互操作规范(OpenGIS)实现。WebGIS 与 ComGIS 是针对同构系统(即相同的软件平台)的分布式信息系统的数据库、软件及硬件等资源的共享和互操作。不同软件平台(如 ARC/INFO 与 MAPINFO)之间,即异构系统之间的互运算、互操作可以通过 OpenGIS 规范实现。OpenGIS 是开放 GIS 标准和规范。下面介绍超媒体网络 GIS 技术(WebGIS)和构件式 GIS(ComGIS)。

1. 超媒体网络 GIS 技术

Web 是 1989 年欧洲高能粒子协会(CERN)为在网络上传送文字、图形、影像和音频数据而开发的超媒体服务系统。而 GIS 系统出现较早,已经过几个不同的发展阶段。

在早期只有一台主机和少数终端以及单一的数据库的 GIS 系统中,主机是系统功能的中心,用户通过终端共享主机的 CPU 能力、数据与外设等资源,由主机进行各种数据处理;PC 机出现后,基于 PC 机的 GIS 没有多个终端,全部功能集中在单机上进行;局域网 GIS 是由多台主机、多个数据库与多个终端组成的网络系统,它以服务器(servers)为中心,在网络管理软件的支持下,不同用户可以共享系统资源及处理能力,但系统内部基本上处于独立运行状态,相互之间几乎没有协同工作的方式和能力;WebGIS 是由多主机、多数据库与多台终端,通过 Internet/Intranet 连接而组成的。实际上,WebGIS 是由多主机、多数据库与多台终端,并通过 Internet/Intranet 连接大量的、分布在不同地点的不同部门的独立的 GIS 系统组成的。

WebGIS 为客户/服务器(client/server)结构。客户机具有获得信息和各种应用的功能,服务器具有提供信息或系统服务的功能。

WebGIS 由 4 部分组成: WebGIS 浏览器(browser)可以通过 Web 服务器连通到任何地点的另一个数据服务器上,读取各种多媒体空间信息;WebGIS 信息代理(information agent)是空间信息网络化的关键部分,主体(agent)是信息代理机制和信息代理协议,提供直接访问数据库的功能;WebGIS 服务器能解释中间代理请求及操作数据库服务器,实现浏览器和服务器的动态交互;WebGIS 编辑器(editor)具有可视化、交互

式、多窗口的功能,能建立 GIS 对象、模型和进行空间数据的编辑及显示。

开发 WebGIS 的工具具有 Java、ActiveX 等。Java 是 Sun 公司专为因特网设计的计算机编辑语言;ActiveX 是微软公司专为因特网制订的技术标准。WebGIS 具有分布式处理、分布式数据库和分布式应用的功能以及跨平台、跨网络、全球化、大众化的特征。

面向对象的超媒体网络 GIS 是 1997 年 6 月出现的一种面向分布式对象的 Web 方案。基于面向对象的超媒体网络规范的 WebGIS 称为 Object WebGIS,是 GIS 发展的新方向,它避免通用网关接口形成的瓶颈,允许客户机直接调用服务器,这样方便操作,也加快了速度。

WebGIS 简单的交互方式虽然可以实现网络环境中 GIS 简单的通信,但无法满足频繁交互、复杂分析和动态变化的应用要求,而 Object WebGIS 可满足这种要求。其关键是将分布式对象和对象代理方法引入 WebGIS,解决了 WebGIS 的地学应用问题,提高了 WebGIS 的功能。分布式对象方式正在成为分布式应用系统研究、开发的指导思想。

2. 构件式 GIS

比尔·盖茨于 1997 年提出:“组件式软件技术已经成为当今软件发展的趋势之一。基于组件开发是软件开发的一次革命。基于组件开发不只是一种新的分布式的计算方法,而是一种广泛的体系结构,支持包括设计、开发和部署在内的整个生命周期的计算概念。”

构件式 GIS(Component GIS,ComGIS)是指基于组件对象平台的、一组具有某种标准通信接口的、允许跨语言应用的由软件构件组成的新一代的 WebGIS,是 WebGIS 的发展方向。它具有很强的可配置性、可扩展性、开放性、使用更灵活性和二次开发更方便等特征。ComGIS 是面向对象技术和组件式软件技术在 GIS 软件开发中的应用。

软件构件思想和构件对象是指含有数据及其操作方法的独立模块,是数据和行为的统一体。每一个对象具有唯一的标识,表明其存在独立性;一组描述特征的属性,表明对象在某一时刻的状态,一组标志表示行为的方法和可以改变的对象,一旦构件对象被创建,就可以反复使用。构件具有如下特点。

(1) 构件对象的抽象性。抽象是指对象的数据是隐含的,对象的使用者不可以直接存取对象的数据,必须通过对象的接口。

(2) 构件对象的多态性。多态是指一个客户可以以同样的方式访问或处理若干不同的对象,而这些对象可以有正常的表现。

(3) 构件对象的继承性。对象按分类体系可划分为类、亚类、子类等,具有层次关系和树状结构,上层对象所具有的属性和特征可以延续到下层对象,从而免除信息的冗余。

(4) 构件对象的接口。构件对象间的交互是通过对象支持的接口交互使用对象的功能,每个构件支持一个或多个接口,而每个接口可以支持实现若干方法。接口是指不同对象间的通信手段。每个接口都有自己唯一的标识符,一个接口可以继承另一个或多个接口。

(5) 构件对象的隐蔽性。即构件对象是封装的。

GIS 在发展过程中,经历了由集中式模式到分布式模式,即由主机终端系统到局域网系统;从简单的客户/服务器到多层客户/服务器,从局域网到广域网以及 Internet/Intranet 的连续发展过程。即从单机 GIS 发展到 LANGIS(局域网 GIS);从 LANGIS 发展到 WANGIS(广域网 GIS)和 WebGIS(超媒体网络 GIS);从 WebGIS 发展到 Object WebGIS(面向对象的超媒体网络 GIS)、ComGIS(构件式 GIS)。GIS 系统发展过程如表 3.1 所示。

表 3.1 GIS 系统的发展

| 版本的发展 | 单机 GIS | LANGIS | WANGIS、WebGIS | Object WebGIS | ComGIS |
|-------|--------|--------|---------------|---------------|---------|
| 功能描述 | 简单 C/S | 多层 C/S | Internet Web | 面向对象技术 | 组件式软件技术 |

3.1.6 空间数据仓库模型与数据挖掘理论研究

空间数据仓库模型与数据挖掘理论研究分为研究现状和研究内容两方面进行介绍。

1. 研究现状

基于数字地球的应用具有数据量巨大、包含多维空间属性和时间属性及相关的特殊操作等特点。对数字地球的数据进行系统的整理、管理和深入的分析是数字地球基础研究的一个重要内容,是数字地球的基础研究及应用的重要前提之一。

具体来说,数字地球的空间数据仓库模型与数据挖掘理论研究的研究目的是综合运用数据库系统、统计学、人工智能、机器学习、模式识别等领域的理论和研究方法,深入研究以虚拟地球为对象的空间数据仓库模型与数据挖掘理论,建立空间数据仓库、空间数据联机分析和空间数据挖掘的基础理论框架及三者有机集成的基本原理,探索有效可行的关键技术,为数字城市的基础研究和应用提供前提和有利的支持,为空间信息的开发运用提供理论和核心技术。

数字城市的空间数据仓库模型与数据挖掘理论研究具有重要的理论意义和深远的应用潜力和价值。具体来说,至少包含如下 3 方面。

(1) 空间数据仓库模型与数据挖掘理论是空间信息资源开发的重要支柱。大量的调查研究和预测表明,空间信息资源将成为备受重视的关键战略资源,对空间信息资源的开发将在一定程度上影响一个国家的综合实力,决定一个国家的竞争力。

(2) 我国将大力进行空间信息资源的开发,发展国土资源信息化和空间信息交换,而空间数据仓库模型与数据挖掘理论的基础研究是一个必不可少的前提。

(3) 大规模的空间信息的深入分析能力对未来的自然资源开发与利用、自然灾害预测与防治、国防与战争、国民经济建设与管理、政治、空间开发等多个方面都是至关重要的,而空间数据仓库与空间数据挖掘是对大规模空间信息进行深入分析的主要途径。

20 世纪 90 年代以来,以美国为首的发达国家积极开展数据仓库技术、数据挖掘技术和空间信息处理技术的基础理论研究和应用研究。进入 90 年代中期以后,更进一步加强

空间数据仓库、空间数据联机分析和空间数据挖掘的研究。美国启动了一个空间信息处理项目(Earth Overview System, EOS), 2003年实现了细粒度地监测地面每平方公里发生的情况, 该项目对巩固美国在全球的竞争优势具有重要的作用。该项目的主要组成部分之一就是空间数据的联机分析与挖掘技术的研究。IBM的Almenden实验室、北美和德国的一些大学的实验室在这个领域的研究中处于领先地位。

2. 研究内容

空间数据仓库模型与数据挖掘研究的主要内容包括如下5项。

(1) 支持数字地球的空间数据仓库模型与体系结构, 根据虚拟地球对多维度和时空特性的要求, 研究如何运用数据仓库技术高效地支持以虚拟地球为对象的基于数据分析的数据挖掘, 主要包括如下4方面:

- 空间数据仓库的概念模式;
- 空间数据仓库的存储模式;
- 空间数据仓库的设计模型;
- 空间数据仓库的体系结构。

(2) 支持数字地球的空间数据联机分析处理技术, 根据数字地球的联机分析要求, 研究如何高效地进行空间数据的联机分析, 主要包括如下两方面:

- 空间数据 cube 的高效计算方法;
- 运用空间数据 cube 的联机分析处理技术。

(3) 支持数字地球的空间数据挖掘技术, 根据数字地球深层次数据分析和知识获取的需要, 研究如何高效地进行与空间有关的数据挖掘, 主要包括如下4方面:

- 空间数据关联分析;
- 空间数据聚集分析;
- 空间数据分类算法;
- 空间数据联机集成挖掘。

(4) 空间数据仓库和空间数据联机分析的因特网发布, 研究把空间数据仓库中的信息和空间数据联机分析、空间数据挖掘的结果通过因特网进行发布, 主要包括如下两方面:

- Web 空间数据仓库的模型与机制;
- 基于 Web 的联机空间数据分析处理。

(5) 空间数据仓库、数据联机分析处理和数据挖掘的原型研制, 把有关基础理论和技术的研究成果用原型加以检验和集成, 为产业化奠定基础, 主要包括如下3方面:

- 基于三层客户/服务器体系结构, 面向 Web 和客户端浏览器应用的空间数据仓库原型;
- 基于 Web 的联机分析处理系统原型;
- 空间数据联机集成挖掘工具原型。

空间数据的知识挖掘(knowledge mining), 也称数据挖掘(data mining), 是数字地球

科学中计算科学的主要内容之一。空间数据的知识挖掘是指由已知的空间数据经过分析、对比或其他处理来产生新的空间数据,或新的空间知识的过程。空间数据的知识挖掘是一种计算机分析方法,包括空间数据的深层挖掘、空间数据的关联分析、空间数据的聚集分析、空间数据的分类算法、空间数据的联机集成挖掘、知识模型、知识代理结构模型及智能技术等方法。由于这是一种全新的科学计算方法,尤其是与空间数据相结合,因此存在着许多不完善之处,尚待进一步研究。

空间数据的知识挖掘与智能性的研究内容主要包括如下 6 项。

(1) 空间数据的深层挖掘。

有些空间数据除了显露的或明显的含义外,还有丰富的隐含的意义,需要通过分析和挖掘才能显示。例如,数字高程模型(DEM)属于最常见的空间数据,它除了反映高度(程)状况的知识外,经过分析,它还具有或荷载了地质岩性与构造方面的知识。

对于数字高程模型来说,它反映的高度状况是显露的知识,而它反映的地质岩性与构造等隐含的知识,则需要经过挖掘才能认识。同样,以土壤域植物来说,它们的种类或类型是显露的知识,容易认识;但它们还反映了气候状况的知识,需要通过挖掘才能获得。

(2) 空间数据的关联分析。

有些空间数据的隐含的知识需要通过关联分析后才能获得,即它不可能从单个类型通过挖掘而获得,而是需要通过若干个不同类型的物体的组合关系,经关联分析后才能获得隐含的知识。

如对遥感影像分析时,位于河边的建筑物可能是码头(河与建筑物相关联),位于山顶的建筑物可能是天文台(山顶与建筑物相关联),这样的例子很多。又如铁路、公路一定有车站,道路过河一定有桥梁或渡船,学校一定有操场(至少多数学校有操场)等都是关联分析的知识挖掘。

(3) 空间数据的聚类分析。

空间数据的聚类分析具有如下 3 层含义。

① 某些不同属性的空间数据之间差别不大,单类难识别,只有将它们放在一起进行对比分析,才能区别。如马尾松与油松,外形相似,只有将它们对比后,才发现它们的针叶有长有短,虽然差别不大,但是有差别。

② 在遥感影像上判别一条河流是否发生了洪水,单凭一个时相的影像难以确定,需要通过枯水期、平水期的影像进行对比分析,叠加比较才能得出结论。

③ 一般图像处理或模式识别中的聚类分析的含义。

(4) 空间数据的分类算法。

在遥感影像的模式识别或自动分类中使用的算法,包括最小距离分类、相似分类、线性判别分析;最大自然比分类、比较识别分类及集群分析等算法,都可以认为是知识挖掘方法。

(5) 空间数据的联机集成挖掘。

在 WebGIS、ComGIS 环境与 OpenGIS 规范的支持下,对分布式的数据库与信息系统进行集成挖掘。一种是 WebGIS、ComGIS 正常运行过程中的知识挖掘,另一种为了进

行空间数据的知识挖掘而进行的,特别从分布数据库或信息系统中进行提取所需的数据进行关联分析、聚集分析和各种分类算法,以达到知识挖掘的目的。

(6) 空间数据的知识挖掘的智能代理。

在空间数据的知识挖掘过程中,一般要用如下的方式。

① 知识模型。大多数的空间数据的知识挖掘具有知识模型的特征,如空间数据 DEM 的数据挖掘,需要有关知识,需要建立 DEM 知识挖掘的模型,主要是概念模型或物理模型,如 DEM 与岩性的关系、与构造的关系、与地貌的关系、与气候的关系及与土地利用的关系模型等。

② 知识代理结构模型。

③ 智能技术。

3.2 数字城市技术创新体系

数字城市的建设涉及基础库建设、城市信息资源的管理、集成与应用、数据与应用的共享及互操作等多个层面。作为一项国家战略,数字城市建设将促进如下几方面的技术创新,增强国家的科技实力。

(1) 城市基础空间数据生产、管理、更新与服务的实用化、产品化与产业化,城市基础空间数据以及城市空间信息基础设施是数字城市的数据基础和核心。数字城市的建设将促进城市大比例尺空间数据产生、管理、更新与服务技术的实用化、产品化和产业化,促进我国全数字空间数据生产的技术进步,加速技术的实用化、产品化以及城市空间数据生产服务的产业化。

(2) 城市空间数据基础设施的标准化与规范化。长期以来,城市空间数据存在多头采集、生产、更新体系。测绘、规管、房管、土地、市政等部门重复生产,彼此数据格式、信息编码、精度要求等互不兼容,造成极大的浪费。数字城市的建设将促进城市空间数据基础设施的标准化与规范化,融合多方资源,完善城市空间数据基础设施生产和更新体系,从技术、体制两方面保证城市基础空间数据的共享与互操作,减少低层次的重复建设与浪费。

(3) 分布式异构数据的管理、共享与互操作。数字城市的数据层,包含城市基础空间数据、人口信息数据、组织机构数据、经济信息数据、政策法规数据、各行业各领域的业务数据等多个层面的数据,数据量巨大。这些数据分布在不同的部门,由各自的应用系统更新和维护。为了实现这些数据资源的共享与互操作,必须有一种方法能对这些数据资源进行有效的集中管理,数字城市的建设将促进以元数据为核心的分布式异构空间数据的管理、共享与互操作方面的技术创新。

(4) 异构多源数据的集成与融合。数字城市建设以城市基础空间数据为基础,通过地理编码与地址匹配实现空间数据与非空间数据的集成与融合,赋予非空间数据以地理空间参照概念,以支持非空间数据的空间分析与决策。数字城市的建设将促进基于地理编码与地址匹配技术的异构多源数据的集成与融合方面的技术创新,促进地理编码与地址匹配技术的实用化。