

# 地理空间知识服务概论

龚健雅<sup>1</sup> 耿晶<sup>1</sup> 吴华意<sup>1</sup>

1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

**摘要:**随着互联网的广泛应用,地理信息技术已经从地理信息系统向地理信息服务转变。人们不仅希望从网络上获取地理空间数据和信息,同时也希望在网络上获取地理空间知识。地理空间知识网络服务以互联网为平台,将已有的地学常识、规则、模型、过程等各种地学知识在网上进行注册,对各种用户提供共享服务。首先阐述了地理空间信息服务向地理空间知识服务转变的背景,在此基础上介绍了地理空间知识和地理空间知识服务的基本概念,以及地理空间知识服务所需要的技术及其实现的基本步骤。

**关键词:**知识服务;地理空间知识;地理空间信息服务;地理空间知识服务

中图法分类号:P208

文献标志码:A

现阶段,数字化的地理数据正在快速增长,包括数字地球、遥感影像和定位数据等。空间数据处理技术的滞后,使我们面临“数据海量,信息泛滥,知识难求”的局面<sup>[1]</sup>。现有的地理信息系统(GIS)还难以在国家自然灾害等重大社会问题中发挥有效的作用,在实时数据获取、数据自主处理和服务自动组合<sup>[2]</sup>中存在严重缺陷。同时,共享与重用在 GIS 应用中累积的丰富的地理空间知识和从空间数据挖掘中获得的相关知识,需要发挥空间数据基础设施(spatial data infrastructure, SDI)的功效<sup>[3]</sup>,提高地理信息的应用水平,促进地理空间知识的共享与重用。因此,有必要引入地理空间知识服务技术,将研究重点从地理信息服务转向地理空间知识服务,通过开发和提供地理空间知识服务来解决现有问题。

地理空间知识服务的目的是实现软件或 GIS 系统之间的知识共享、交换以及更深层次的应用,使软件或者 GIS 系统进行自动处理和逻辑推理。现在的地理空间知识体系中有大量的通用性知识,但是更多的是针对某一领域或者某项任务的应用性知识,比如专家知识,解决某类问题的过程性方法知识或者通过知识挖掘得到的预测性知识等。对地理空间知识进行抽取、形式化表示并提供相应的地理空间知识服务,可以使地理空间知识最大限度共享与重用,也使得软件或者 GIS 系

统能完成相对复杂的工作,有效提高计算机的分析能力,从而提高地理空间信息处理和空间决策水平<sup>[4]</sup>。目前,地理空间知识服务体系尚未发展成型,因此,有必要发展地理空间知识服务,实现以用户实用性为目的的知识服务。鉴于此,本文对地理空间知识、地理空间知识服务的基本概念,以及地理空间知识服务的实现过程进行概述和展望。

## 1 地理空间知识的基本概念

### 1.1 信息与知识

信息是从数据中提炼出来的,具有某种目的,经过处理和一定程度的解释得到的有意义的数,具有特定的结构和语义<sup>[5-6]</sup>。知识则是在信息的基础上提炼的,是人类认识事物的抽象,也是对信息的更深层次的抽象<sup>[6-7]</sup>。知识具有广泛性,即知识所表达的模式或规律可适用于或推广到很多类似的场景中。

知识是在信息的基础上形成的,信息是知识产生和更新的媒介,但是信息绝对不等同于知识。更确切地讲,信息的语义内容才是与知识之间转换的主体。知识是系统化和理论化的信息,人们可以通过已有的知识和新的信息创造出新的知识,但是只利用新的信息是无法形成新的信息或

收稿日期:2014-01-29

项目来源:国家自然科学基金资助项目(41023001,41021061);国家 973 计划资助项目(2012CB719906)。

第一作者:龚健雅,博士,教授,中国科学院院士,主要研究方向为航天摄影测量、空间信息共享与服务技术。E-mail:gongjy@whu.edu.cn

通讯作者:耿晶,博士生。E-mail:JaneGeng@whu.edu.cn

知识<sup>[8]</sup>的。从计算机学科的角度看,知识是结构化的、相互链接的、不断增长的信息,其增长来源于这些信息同人的交互<sup>[9]</sup>。这一定义表明,人脑中的知识可以通过强大的知识表现来支持,可以映射在计算机系统里,这也意味着信息技术(information technology, IT)的发展可能会改进知识的利用,并且这种改进可以通过 IT 工具来实现<sup>[10]</sup>。

从信息和知识的定义上来看,知识和信息不能完全区分开,两者是相互交叉、关联并且相互独立的概念<sup>[11]</sup>。知识不等于信息,两者也不是简单的包含关系。

## 1.2 地理空间信息与地理空间知识

地理空间信息与地理空间知识是信息与知识在地理科学领域中的延伸。地理空间知识并不是简单地从大量的地理空间信息中产生的,而是通过对地理科学领域独特的背景、过程和结果进行解释而得到的增值信息<sup>[1]</sup>。从书本、互联网或者地图上获得的信息,只有在被用户读取和理解之后,才能成为真正的知识,而如何理解和运用信息则取决于用户的背景、专业和需求<sup>[4]</sup>。

## 1.3 地理空间知识的基本特征

地理空间知识具有典型的多学科交叉的特性,其主要学科基础是地理信息科学和知识工程。由于地理空间对象具有几何以及拓扑等方面的特性,因此,要对地理空间知识服务进行深入研究,就必须了解地理空间知识的特征<sup>[1]</sup>。

1) 空间相关性:地理空间知识的研究内容包括地理空间对象、现象及过程等。地理空间知识的空间相关性主要包括位置相关和空间关系相关,前者指的是地理空间知识的研究对象往往存在于一定的空间参考系中,后者则进一步关注这些对象之间的拓扑关系、顺序关系和度量关系等。广义的地理空间知识既包括地理空间领域本身的知识,也包括其与空间依赖相关的知识。

2) 尺度相关性:基于尺度特性可以解释更多细节,可以探究地理空间知识研究对象的抽象与演绎,概化与细化过程中所反映出的空间特性渐变规律。具体来说,地理空间知识的表示、理解和应用都必须考虑到空间、时间、语法及语义方面的尺度特征。

3) 时间相关性:时间相关性是指地理空间知识随时间变化的特性。一方面,不同类型地理空间知识真值的时间持久性是不一样的;另一方面,具体的知识时间相关性是可以传递和相互影响的,比如由于状态的变化,一个知识的真值失效,

那么基于它的其他相关知识的真值也要重新评估。

4) 不确定性:地理空间知识的不确定性主要包括模糊性、不一致性和不明确性。这些不确定性一方面来源于地理空间知识的本质、空间相关性、尺度相关性、动态性、连续性等方面,另一方面来源于地理空间领域本身的不确定性,也有主观认识过程和空间数据处理逻辑中的不确定性。

5) 语用相关性:在实际的地理空间知识应用中,语用的形式化表示(编码)、理解(解码)是一个非常复杂的过程,需要主体、客体和地理空间资源之间的反复交互。这个过程必须基于显式及隐式的语用上下文,才能完成地理空间知识的整个处理流程。

在这些特征中,空间相关性和尺度相关性是地理空间知识与其他领域知识的根本区别。另外,由于地物空间属性和非空间属性在空间认知中的紧密耦合,地理空间推理需要同时表达基于几何体的空间推理和地理语义推理,才符合人的地理空间认知。这对地理空间知识服务提出了有别于其他领域知识服务的要求。

## 1.4 地理空间知识的相关概念

### 1.4.1 地理空间知识的获取

知识获取是完整的知识管理过程中不可或缺的一部分,在整个知识管理过程中处于基础地位<sup>[12]</sup>。知识获取是指知识从外部可利用的知识源中抽取形式化知识到计算机内部的转换过程。知识源包括领域专家、领域技术文献、实验数据、实例、工程数据手册、分析模型以及建模过程等。知识获取的手段很多,如面谈法、模拟法、口语记录分析、多维度量法、概念分类法等;另外,随着机器学习技术的发展,可以利用知识获取工具获取知识<sup>[13]</sup>。

对地理空间知识的获取主要依靠经验和地学领域专家,将地学专家的知识或者经验转化为一定的地理空间知识表达形式<sup>[14]</sup>。这样的知识获取方法费时费力,不能适应实时知识获取的要求。时空数据挖掘技术的出现很好地解决了这个问题。现阶段已经出现了很多用于发现地理空间知识的算法,用户可以选择适合自己需求的算法进行合理的知识发现。

### 1.4.2 地理空间知识的组织

获取地理空间知识之后,只有对其进行组织才可以为用户提供有结构性的知识。知识组织是指对知识客体所进行的诸如搜集、整理、加工、整序、揭示、控制、提供等一系列组织化过程及其方

法<sup>[11]</sup>。地理空间知识组织分为两个方面,一是通过领域细分建立地理空间知识的多层次分类体系,二是从语法粒度的角度来划分知识元素的类型并建立其关系。前者比较宏观,专业领域的要求性比较高;后者比较微观,但技术性强。由于目前地理空间知识研究和应用水平有限,并且对地理空间知识建模重视不够,往往没有经过严格的建模分析,而是直接采用最简单的组织方式建立一些基本的知识概念和领域规则。如果对地理空间知识组织不够严谨,知识的积累和应用的大量扩展会造成各个领域内的地理空间知识难以存储和管理,出现知识库更新不及时和冗余,知识精确度差,知识逻辑不一致等问题。因此,要想提升地理空间知识的管理和应用,就必须建立具有推理、分析和学习等知识处理和组织能力的新型地理空间知识管理系统<sup>[15]</sup>。

在地理空间知识服务组织中非常重要的一个概念是“知识元”。知识元是知识的最小功能单位、知识的控制单位,是从信息深化到信息中的数据、公理、机构、结论等更小的独立单位。地理空间知识元是地理空间知识组织的出发点,合理定义地理空间知识元对地理空间知识服务至关重要<sup>[16]</sup>。

#### 1.4.3 地理空间知识的表示

知识表示是指把知识客体中的知识因子和知识关联表示出来,以便人们识别和理解知识<sup>[11]</sup>。知识表示是用机器表示知识的可行性、有效性的一般方法,是一种数据结构与控制结构的统一体,既考虑知识的存储又考虑知识的使用。知识表示可看成是一组描述事物的约定,把人类知识表示成机器能处理的数据结构<sup>[17]</sup>。知识表示使得机器可以识别和处理知识。

地理空间知识的表示方法主要是从概念层次的抽象表示过渡到语言层次的形式化表示。概念层次的抽象表示包括产生式规则系统<sup>[18-19]</sup>,模糊逻辑<sup>[20]</sup>,框架表示法<sup>[21]</sup>,面向对象表示法等<sup>[22]</sup>,表示方法各不相同,但都没有相应的形式化语言,所处理的知识固化在程序代码中,不能实现知识重用性。针对这一问题,Prolog、Lisp等通用的逻辑程序设计语言被用来建立基于知识的智能地理信息系统<sup>[23-25]</sup>。Mancarella等还发展了一种名为MuTACLIP+的时空知识表示语言来对GIS中的知识进行表示与推理<sup>[26]</sup>。这些表示方法对于平台的要求比较严格,限制了知识的跨平台应用。语义Web的出现,可以满足用户对于地理空间知识重用性、跨平台的应用需求。语

义Web的一些相关技术和规范,特别是有关本体及多种类型规则的形式化描述语言,具有自描述性的、与领域无关的、强大的元标记语言,可以灵活地应用在地理空间知识的形式化表达和解析的过程中。

#### 1.4.4 地理空间知识的建模

地理空间的形式化表示,其实质是通过一定的编码体系将地理空间知识的概念模型映射到计算机能够存储的载体形式中。因此,地理空间知识的建模在地理空间的形式化中显得尤其重要。地理空间知识建模是高度抽象的,如何实现地理空间知识建模的核心内容是选择地理空间知识组织的形式。理论上,知识组织模式通常是一组概念和规则,这组概念和规则可以使用户对所研究的知识进行形式化表示,有助于人们对研究的领域知识进行识别、分类、表示和处理。显然,选择合理的模型至关重要,它可以保证对某个领域的内容进行一致化的描述,并可以在统一模式中对所表示的结果作出正确的选择<sup>[27]</sup>。

对于地理空间知识的建模来说,应该注意到以下两点:① 不应该基于某种特定的存储结构;② 能够方便地映射到其他知识模型中,这是地理空间知识重用和共享的基础。

#### 1.4.5 地理空间知识的推理

知识推理是指在计算机或者智能机器中,利用形式化的知识进行机器思维和求解问题的过程<sup>[28]</sup>。

智能信息系统中实现知识推理的核心部件是推理机,它根据知识的语义,对按一定策略找到的知识进行解释执行,并记录结果<sup>[29-30]</sup>。知识推理的一种重要支持手段是知识库系统。知识库系统是人工智能的一个重要分支,它以知识库为核心,是用户实现知识共享的系统。在知识库中,可以将某类有关事实以网状、树状结构组织连结在一起<sup>[31]</sup>。知识库系统可以利用数据库系统来存储知识,但是知识库系统和数据库系统最大的区别是知识库系统允许推理和知识库的一致性维护。也就是说,知识库系统解决的最关键的问题是知识的推理。

## 2 地理空间知识服务

### 2.1 知识服务

在现代信息技术环境下,随着信息资源的普及,信息的获取更加方便,传统的信息服务在用户活动中的影响逐渐淡化,这就需要一种新的信息

服务更加融入用户解决问题的全过程,更加针对具体问题和个性化环境,更加直接地帮助用户解决问题,知识服务就是在这样的背景下产生的<sup>[32]</sup>。

目前对知识服务的概念尚未完全统一。张晓琳等认为知识服务是认识和组织服务的观念,根据用户的问题和环境,以知识的获取、整合、集成、创新的能力为基础,将知识融入用户解决问题的过程中,从而提供能够有效支持知识应用和知识创新的服务<sup>[32]</sup>。董颖等从IT角度理解知识服务,认为其是将知识资产转化成知识产品及服务,通过Internet对知识产品和服务加以销售和推广,并且在同用户进行交互的过程中,为用户提供知识服务<sup>[10]</sup>。朱晔等根据知识生命周期,将知识服务经历的阶段分为知识获取、知识组织、知识分布、知识共享、知识创新、知识利用和知识更新等。总的来说,知识服务应该具有共享化、专业化、个性化、集成化以及用户驱动等特征<sup>[33]</sup>。

知识服务是一种面向知识内容和解决方案的服务,是一种用户目标驱动的服务,它所提供的知识资源应该是面向实际需要的、有效的和有针对性的<sup>[15]</sup>;并且,知识服务的对象已经从原来的人类用户逐步扩展到计算机软件系统。基于软件系统的知识服务有效地提高了基于知识的智能化信息处理水平,语义Web等相关技术可以促进知识服务的应用。

## 2.2 地理空间知识服务

地理空间知识服务并不像数字图书馆那样仅针对人类普通用户,其服务对象主要是GIS软件系统及应用地理信息和知识的用户。在地理空间知识服务中,主要的服务类型可以分为元数据服务、知识内容服务和知识处理功能服务三个层次。这三个层次的服务不断促进并相互结合,实现面向GIS系统的地理空间知识服务,才能在地理空间知识服务基础上提高地理信息自动化处理水平和空间决策支持的水平。

对如今的GIS系统来说,仅仅理解地理空间知识服务的类型并不能实现地理空间服务平台与知识应用客户端之间的交互,必须提出相应的服务模式才能实现这种交互。现有的服务模式主要有集中服务模式、分布式服务模式和基于移动代理的服务模式<sup>[1,34-35]</sup>等。这些模式中,分布式的服务模式可以更好地适应用户的需求。在分布式的服务模式中,用户不需要了解地理空间知识服务的知识元、知识内容以及提供的地理空间知识服务的具体位置,只要通过相应的URL链接即

可获取相关知识,这可以充分体现地理空间知识服务方便用户,以人为本的思想。

## 2.3 地理空间知识服务的技术基础与共享平台

对于地理空间知识服务,要完全实现机器语言的形式化表达、自动识别和自动组合,需要相关技术来支撑。知识的严格形式化表达是面向计算机软件的地理空间知识服务的前提,这需要约定语义Web中有关知识的相关标准和规范。地理空间知识的存储、共享和推理需要以知识库系统相关理论作为基础。地理空间知识服务的交互需要使用Web Service技术等网络服务技术。在此基础上,还需要提供架构模型,根据用户需求,通过网络对松耦合粗粒度的应用组件进行分布式部署、组合和使用。此外,地理空间知识服务也需要通过给定的注册机制,依据相应规范注册到架构模型中,使其可以被模型使用,并被其他用户调用。

地理空间服务网(Geospatial Service Web, GSW)<sup>[36]</sup>以Web Service技术为基础,借助中间件整合多样化的地理信息资源,实现异构信息资源的整合与互操作。GSW可以定义为通过网络来整合多样的地理相关资源的地理中间件,为地理信息资源的实时发现、检索、处理和整合提供了一个系统框架<sup>[37]</sup>。为了实现地理空间知识的共享服务,需要将GSW作为其共享平台。典型的GSW原型实现如GeoSquare<sup>[38]</sup>。GeoSquare集成了包括开放式遥感图像处理平台(OpenRS)<sup>[39]</sup>提供的诸多Web Services,包括注册中心、地理信息服务链组合工具(GeoChaining)<sup>[40]</sup>等模块,借用地理信息公共服务软件平台(GeoGlobe<sup>[41]</sup>)实现可视化。

## 2.4 地理空间知识服务的实现

地理空间知识服务的实现应完成地理空间知识获取、组织、表示、建模和推理的自主组合等功能,利用地理空间知识库系统以及相关技术,用户可以在不同情况下方便地使用地理空间知识服务系统。

目前对知识服务较为系统的研究主要集中在图书馆学科和计算机学科两个领域中,研究内容覆盖了知识服务的完整流程,从基础理论到框架模型都已有了一定的研究基础。在图书馆学科中,大量学者详细研究了基于语义Web中知识服务系统的理论基础<sup>[16]</sup>。在计算机学科中,很多学者实现了自定义的知识服务系统。刘豫徽等提出了基于Agent主动式知识服务系统,利用Agent代替用户去查找知识<sup>[42]</sup>,并提出了这个构想的系

统框架和技术平台。张德海等研究的知识服务平台 WFBK-Service, 实现了工作流和知识管理的结合, 同时提出了相对完整的知识服务的流程<sup>[43]</sup>。

而对于地理空间知识服务实现的研究, 主要集中在理论层面。依靠语义 Web 技术, 基于本体概念实现地理信息服务的组合。但目前提出的实现多为模型理论框架, 真正完整地实现地理空间知识服务的系统尚不多见。刘瑜等研究了地理空间地名库的建立, 属于地理空间知识服务中知识库建立的范畴, 其地名库的理论和实现可以在空间关系表示、推理和地理事物定位等方面起到一定作用<sup>[44-47]</sup>, 为实现地理空间知识服务提供基础条件。陈崇成等提出了地理知识云的概念, 实现了地理知识云服务平台 GeoKSCloud<sup>[48]</sup>。该研究侧重于云服务技术为用户提供地理知识服务, 局限于其界定的知识云范围内<sup>[49]</sup>, 未能较好地体现地理空间知识服务良好的移植性以及平台无关性。在平台工作流中, 用户注册自主性还有较大的提升空间, 在标准和规范的云化定义中还需要依据地理空间知识的标准规范。这些都是地理空间知识服务研究亟需突破的问题。

本文认为, 实现地理空间知识服务, 应利用这些已经成形的理论基础, 同时参考已经实现的知识服务系统。地理空间知识服务的组织可以按照“地理空间知识发现→地理空间知识获取→地理空间知识建模→地理空间知识推理”的步骤进行。利用数据库系统、人工智能等技术完成地理空间知识发现; 利用地理空间知识自身的特点, 使用地理空间地图标示技术, 完成地理空间知识获取; 参考机器学习等基于本体的建模方式实现地理空间知识建模; 使用本体描述机制和推理机进行相关推理, 实现地理空间知识推理。同时, 在地理空间知识服务共享平台, 如 GeoSquare 上实现相应的地理空间知识的注册、查找, 在其提供的 GeoChaining 中实现地理空间知识服务的建模, 形成地理空间知识服务的树状结构, 实现地理空间知识的表示、查找和存储, 进而真正实现对地理空间知识的共享服务与有效利用。

### 3 结 语

由地理信息服务转向地理空间知识服务已经成为地理空间科学必然的发展趋势, 但是, 当前在地理信息系统中还没有提出一套完整的地理空间知识服务体系, 这成为现代地理信息系统发展的

一大障碍。

本文阐述了建立地理空间知识服务体系的重要意义, 详细介绍了地理空间知识以及地理空间知识服务体系及其实现所需要的关键技术, 介绍了现有的地理空间知识服务体系并简单地分析了其中不足。地理空间知识服务体系的研究还不完善, 还缺乏可用的支撑系统, 这也是今后需要不断努力的方向。

### 参 考 文 献

- [1] Huang Hong. Study on Key Technologies for Geospatial Knowledge Web Services[D]. Wuhan: Wuhan University, 2008(黄鸿. 地理空间知识网络服务关键技术研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2008)
- [2] Gong Jianya. The Development Trend in Technology and Application of Virtual Earth[J]. *Education of Geography*, 2012, 3: 1(龚健雅. 虚拟地球技术与应用的发展趋势[J]. 地理教育, 2012, 3: 1)
- [3] Christian K, Klaus G, Christian H. Requirements for Next Generation Spatial Data Infrastructures—Standardized Web Based Geoprocessing and Web Service Orchestration [J]. *Transactions in GIS*, 2007, 11(6): 819-834
- [4] Longley P. Geographic Information Systems and Science[M]. USA: John Wiley & Sons, 2005
- [5] Rob Van der S, Andre S. Knowledge Management: Dealing Intelligently with Knowledge[J]. *Knowledge Management and Its Integrative Elements*, 1997: 31-59
- [6] Chun W C. Information Management for the Intelligent Organization: The Art of Scanning the Environment[M]. New Jersey: Information Today Inc, 2002
- [7] Neki F. Knowledge Management for E-Governance [C]. Second Balkanic Conference on Informatics, Ohrid, 2005
- [8] Huang Ruhua. A Survey of the Studies on Information Organization in Foreign Countries [J]. *The Journal of the Library Science in China*, 2002, 1: 63-66(黄如花. 国内外信息组织研究述评[J]. 中国图书馆学报, 2002, 1: 63-66)
- [9] Ren Yan. Research on Knowledge Services Modeling Methods for C2 Organizations in Network Centric Warfare[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2006(任彦. 网络中心战条件下 C2 组织的知识服务建模方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2006)
- [10] Dong Ying. Research on the Mechanism for Knowledge Services[D]. Beijing: Institute of Software in

- Chinese Academy of Sciences, 2003(董颖. 知识服务机制研究[D]. 北京: 中国科学院软件研究所, 2003)
- [11] Li Jiaqing. Approaches and Strategies of Knowledge Organization[J]. *Library and Information Service*, 2005, 5: 41-44(李家清. 知识组织方法及策略研究[J]. 图书情报工作, 2005, 5: 41-44)
- [12] Wei Yuli. Research on Knowledge Acquisition[J]. *Journal of Information*, 2004, 4: 41-43(韦于莉. 知识获取研究[J]. 情报杂志, 2004, 4: 41-43)
- [13] Tang Wenxian, Tao Shanxin, Li Limin. Research and Implementation on Product Developing System Based on Knowledge Driven[J]. *Computer Engineering and Application*, 2003, 22: 129-131(唐文献, 陶善新, 李莉敏. 基于知识驱动的产品开发系统研究与实现[J]. 计算机工程与应用, 2003, 22: 129-131)
- [14] Luo Jiancheng, Zhou Chenghu, Liang Yi, et al. Theoretical and Technical Issues on Intelligent Processing and Analyzing Models for Temporal and Spatial Data[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2001, 6(9): 836-841(骆剑承, 周成虎, 梁怡, 等. 时空数据智能化处理与分析的理论和方法探讨[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(9): 836-841)
- [15] Gao Wenxiu, Gong Jianya. Research on Knowledge-based Thematic Data Generalization in GIS[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2005, 30(5): 400-404(高文秀, 龚健雅. 基于知识的GIS专题数据综合的研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(5): 400-404)
- [16] Luo An, Wang Yandong, Gong Jianya. A Semantic Matching Method for Geospatial Information Service Composition Based on Context[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2011, 36(3): 368-372(罗安, 王艳东, 龚健雅. 顾及上下文的空间信息服务组合语义匹配方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2011, 36(3): 368-372)
- [17] Shi Chunyi, Huang Changning, Wang Jiabin. The Principle of Artificial Intelligence[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1993(石纯一, 黄昌宁, 王家璇. 人工智能原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993)
- [18] Zhu Honglei, Mao Zanyou. Knowledge Based Image Classification Approach Supported by a GIS[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 1997, 26(4): 328-336(朱洪磊, 毛赞猷. GIS辅助下的基于知识的遥感影像分类方法研究——以土地覆盖/土地利用类型为例[J]. 测绘学报, 1997, 26(4): 328-336)
- [19] Wu Fang, Qian Haizhong, Guo Jian, et al. Spatial Data Checking with Generalization Knowledge[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2006, 35(2): 184-190(武芳, 钱海忠, 郭健, 等. 基于制图综合知识的空间数据检查[J]. 测绘学报, 2006, 35(2): 184-190)
- [20] Keith M R, Jensen M, Andreasen J, et al. Knowledge-based Assessment of Watershed Condition[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2000, 27(1): 315-334
- [21] Fu Wei. A Study of the Expression Approach to Expert Knowledge Based Frame Network Structure[J]. *Geographical Research*, 2002, 21(3): 357-364(付伟. 地理专家知识表示的框架网络模型研究[J]. 地理研究, 2002, 21(3): 357-364)
- [22] Sha Zongyao, Bian Fulin. Object-oriented Spatial Knowledge Representation and Its Application[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(2): 165-171(沙宗尧, 边馥苓. 基于面向对象知识表达的空间推理决策及应用[J]. 遥感学报, 2004, 8(2): 165-171)
- [23] Fischer M M. From Conventional to Knowledge-based Geographic Information Systems[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1994, 18(4): 233-242
- [24] Ubbo V, Heiner S, Gerhard S, et al. Ontologies for Geographic Information Processing[J]. *Computers & Geosciences*, 2002, 28(1): 103-117
- [25] Ma Ainai. Formalization of Geographical Knowledge[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2001, 26(4): 8-12(马蔼乃. 地理知识的形式化[J]. 测绘科学, 2001, 26(4): 8-12)
- [26] Mancarella P, Raffaetà A, Renso C, et al. Integrating Knowledge Representation and Reasoning in Geographical Information Systems[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2004, 18(4): 417-447
- [27] Kong Fansheng. The Principle of Knowledge Base System[M]. Zhejiang: Zhejiang University Press, 2000(孔繁胜. 知识库系统原理[M]. 浙江: 浙江大学出版社, 2000)
- [28] Huang Zunnan, Liao Daiwei, Lin Yinzhong, et al. Design of Inference Engine in Expert System for Molecular Design of Catalyst[J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 1996, 35(3): 389-392(黄遵楠, 廖代伟, 林银钟, 等. 催化剂分子设计专家系统推理机的设计[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1996, 35(3): 389-392)
- [29] Zhan Zipeng, Li Longshu. Construct the Expert System Knowledge Base with XML[J]. *Computer Technology and Development*, 2007, 17(7): 31-34(詹子鹏, 李龙澍. 用XML建造专家系统知识库[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(7): 31-34)
- [30] Yuan Liang, Wei Hui. Application of Decision Sup-

- port Ssystem in Setting up Urban Bus Lanes for BRT[J]. *Application Research of Computers*, 2008, 25(2): 607-609(袁良, 危辉. 辅助决策系统在城市快速公交专用道设置中的应用[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(2):607-609)
- [31] Chen Yabing, Sun Jiqing. Design and Implementation of Expert Referring System Based on Knowledge Base[J]. *Computer Engineering*, 2007, 33(16): 196-198(陈亚兵, 孙济庆. 基于知识库的专家咨询系统设计与实现[J]. 计算机工程, 2007, 33(16): 196-198)
- [32] Zhang Xiaolin. Toward Knowledge Services: Seeking for the Development Opportunities for Library and Information Services in the 21st Century[J]. *Journal of Library Science in China*, 2000, 5: 32-37(张晓林. 走向知识服务-寻找新世纪图书情报工作的生长点[J]. 中国图书馆学报, 2000, 5: 32-37)
- [33] Zhu Ye. Status Quo and About Architecture Research of Knowledge Services in China[D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2007(朱晔. 我国知识服务现状分析和体系架构研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2007)
- [34] Chen Yanping, Wu Yaqiang, Li Zengzhi, et al. Web Service Composition Based on Mobile Agents[J]. *Journal of Southeast University (Natural Science Edition)*, 2008, 38(A01): 284-287(陈彦萍, 武亚强, 李增智, 等. 基于移动代理的 Web 服务组合[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2008, 38(A01): 284-287)
- [35] Li Birong, Xiao Debao. Network Management Based on Intelligent Mobile Agent[J]. *Mini-Micro Systems*, 2001, 22(7): 864-867(李碧蓉, 肖德宝. 基于智能移动 Agent 的网络管理思想模型的研究[J]. 小型微型计算机系统, 2001, 22(7): 864-867)
- [36] Gong Jianya, Wu Huayi, Gao Wenxiu, et al. Geospatial Service Web[J]. *Geospatial Technology for Earth Observation*, 2009, 355-379
- [37] Gong Jianya. Work Together to Promote the Development of Geospatial Web Services Technology[J]. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2013, 1: 2(龚健雅. 携手共进, 推动地理空间信息网络服务技术的发展[J]. 测绘科学技术学报, 2013, 1: 2)
- [38] Gong Jianya, Wu Huayi, Zhang Tong, et al. Geospatial Service Web: Towards Integrated Cyberinfrastructure for GIScience[J]. *Geo-spatial Information Science*, 2012, 15(2): 73-84
- [39] Guo Wei, Gong Jianya, Jiang Wanshou, et al. OpenRS-cloud: A Remote Sensing Image Processing Platform Based on Cloud Computing Environment[J]. *Science China Technological Sciences*, 2010, 53(1): 221-230
- [40] Gui Zhipeng, Wu Huayi, Wang Zun. A Data Dependency Relationship Directed Graph and Block Structures Based Abstract Geospatial Information Service Chain Model[C]. The 4th International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management(NCM08), Korea, 2008
- [41] Gong Jianya, Xiang Longgang, Chen Jing, et al. GeoGlobe: A Virtual Globe for Multi-source Geospatial Information Integration and Service[M]. London: CRC Press, 2011
- [42] Liu Yuhui, Zhou Liang. The Proactive Knowledge Service System Based on Agent[J]. *Manufacturing Information Engineering of China*, 2008, 37(10): 16-19(刘豫徽, 周良. 基于 Agent 的主动式知识服务系统[J]. 中国制造业信息化, 2008, 37(10): 16-19)
- [43] Zhang Dehai, Sha Yuelin. Ontology and Workflow-based Knowledge Service System[J]. *Computer Engineering*, 2009, 35(19): 75-77(张德海, 沙月林. 基于本体与工作流的知识服务系统[J]. 计算机工程, 2009, 35(19): 75-77)
- [44] Liu Yu, Gong Yongxi, Zhang Jing, et al. Representation and Reasoning of Spatial Relations in Geographical Space[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2007, 23(5): 1-6(刘瑜, 龚咏喜, 张晶, 等. 地理空间中的空间关系表达和推理[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(5): 1-6)
- [45] Zhang Yi, Wu Yang, Gao Yong, et al. On the Description-based Spatial Positioning and the Associated Uncertainty[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2013, 1: 38-45(张毅, 邬阳, 高勇, 等. 基于空间陈述的定位及不确定性研究[J]. 地球信息科学学报, 2013, 1: 38-45)
- [46] Liu Yu, Zhang Yi, Tian Yuan, et al. On General Place Names and the Associated Ontology[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2007, 23(6): 1-7(刘瑜, 张毅, 田原, 等. 广义地名及其本体研究[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(6): 1-7)
- [47] Zhang Yi, Wang Xingguang, Chen Min, et al. A Semantics-based Method for Extracting Geographic Scopes of Texts[J]. *High Technology Letters*, 2012, 22(2): 165-170(张毅, 王星光, 陈敏, 等. 基于语义的文本地理范围提取方法[J]. 高技术通讯, 2012, 22(2): 165-170)
- [48] Lin Jiexiang, Chen Chongcheng, Wu Xiaozhu, et al. GeoKSGrid: A Geographical Knowledge Grid with Functions of Spatial Data Mining and Spatial Decision[C]. IEEE International Conference on Spatial Data Mining and Geographical Knowledge

- Services (ICS DM), Beijing, 2011
- [49] Wu Jianwei, Chen Chongcheng, Wu Xiaozhu, et al. Cloud Service for Seismic Influence Field Analysis Based on GeoKSCloud: A Case Study in Fujian Province[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2013, 5:695-704(巫建伟, 陈崇成, 吴小竹, 等. 基于 GeoKSCloud 的地震影响场分析云服务研究——以福建省为例[J]. *地球信息科学学报*, 2013, 5:695-704)

## Geospatial Knowledge Service: A Review

GONG Jianya<sup>1</sup> GENG Jing<sup>1</sup> WU Huayi<sup>1</sup>

1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,  
Wuhan University, Wuhan 430079, China

**Abstract:** Geographic information technology is evolving from a Geographic Information System to a Geographic Information Service, given the increasingly widespread use of the Internet. Not only are geospatial data and information shared online, but also geospatial knowledge is disseminated via the Internet. Geosciences' rules, models, and processes can be registered to the web, and provided to various users through geospatial knowledge web services based on the Internet. In this paper, the background for this transition from geospatial information to geospatial knowledge services is introduced, and key concepts of geospatial knowledge, geospatial knowledge services and the technologies are elaborated. Finally based on this foundation, an implementation of a geospatial knowledge services is discussed.

**Key words:** knowledge services; geospatial knowledge; geospatial information services; geospatial knowledge services

**First author:** GONG Jianya, PhD, professor, Academician of the Chinese Academy of Sciences, specializes in photogrammetry and spatial information sharing. E-mail: gongjy@whu.edu.cn

**Corresponding author:** GENG Jing, PhD candidate. E-mail: JaneGeng@whu.edu.cn

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41023001, 41021061; the National Program on Key Basic Research Project of China(973 Programs), No. 2012CB719906.