

文章编号: 1007-4619 (2003) 02-0153-08

Agent 技术在分布式 GIS 中的应用研究

罗英伟, 汪小林, 许卓群

(北京大学 计算机科学技术系, 北京 100871)

摘要: 首先分析了分布式计算技术的发展, 详细介绍了当今主流的分布计算技术——Agent 技术、分布式 GIS 技术是以分布式计算技术为依托的, Agent 技术将为分布式 GIS 带来新的技术发展; 随后, 深入分析了 Agent 技术在分布式 GIS 中的应用, 并结合已有的研究重点介绍了基于 Agent 的分布式 GIS 建模、空间信息查找与获取、WebGIS 服务体系、空间辅助决策以及 GIS 互操作等。

关键词: 分布式 GIS; 分布式计算技术; Agent 技术

中图分类号: P208/TP39 **文献标识码:** A

1 引言

由于计算机网络和信息高速公路的飞速发展, 信息革命将人类社会推进到了信息时代, 人们从物质上的极大丰富转向对信息的极大需求; 国家空间信息基础设施(NSII)、全球空间数据基础设施(GS-DI)、数字地球(DE)等计划一一提出, 这些必然要求地理信息系统(GIS)的研究者将精力集中在基于网络的分布式 GIS 研究上来。同时, 由于 GIS 广泛地应用于国家社会、经济生活中的各个领域, 因此如何提供“分布式自适应的 GIS, 它能够根据具体问题进行适当配置而达到解问题的目的”^[1]以广泛适应不同的应用领域和不同的使用对象是 GIS 所面临的一个亟待解决的问题。

OSF/DCE 和 SUN/ONC+ 是代表 20 世纪 90 年代初分布计算技术发展水平的主流产品^[2]。进入 20 世纪 90 年代, 分布对象技术成为分布计算发展的主流方向^[2]。这两种分布计算技术都是基于经典的客户/服务器模型, 将分布式应用中的自主行为实体简单地划分为“客户”和“服务器”两类, 并且客户与服务器之间的交互关系也仅限于客户主动请求/服务器被动响应的非对等关系。

当前, 与分布计算主流相联系的一个研究热点是, 在分布式对象技术的基础上, 将人工智能等领域中有关多 Agent 系统的技术引入分布式计算环境。引入 Agent 技术后, 对基于传统的客户/服务器结构的分布式系统将产生极大的冲击, 分布式系统朝着分散对等的协同计算的理想模式发展成为可能。

分布式计算技术的发展相对应, GIS 软件从单机应用发展到基于客户/服务器结构的分布式应用, GIS 软件的运行平台也从单机环境、局域网环境发展到 Internet 网, 所采用的技术依次为文件共享模式、中间件模式、CGI 模式、插件模式及组件模式等^[3]。

Agent 技术将极大地推动分布式计算技术的发展, 同时也将为分布式 GIS 的建设提供一种新的解决方法。本文首先介绍了 Agent 技术, 随后, 深入分析了 Agent 技术在分布式 GIS 中的应用及应用前景, 并结合我们的研究重点介绍了基于 Agent 的分布式 GIS 建模、空间信息查找与获取、WebGIS 服务体系、空间辅助决策以及 GIS 互操作等。

2 Agent 技术

Agent 技术被誉为是“软件开发的又一重大突

收稿日期: 2001-06-12; 修订日期: 2001-08-20

基金项目: 本文研究得到国家自然科学基金(60073016, 60203002), 高校博士点基金(20020001015)和北京市自然科学基金(4012007)的资助。

作者简介: 罗英伟(1971—), 男, 江西吉安人。1999年7月毕业于北京大学计算机系, 获博士学位, 1999年7月至2000年12月在北京大学计算机科学技术系从事博士后研究。现为北京大学计算机科学技术系副教授, 主要研究领域为网络地理信息系统、语义网络、Agent 技术等, 已发表论文 30 余篇。E-mail: lyw@geoagent.pku.edu.cn

破”、“软件界的革命”^[4],最初是来源于分布式人工智能领域,但近年来在计算机软件的各个方面都发挥着越来越重要的作用,并作为一门软件系统的设计和开发方法的新方法已经得到了学术界和企业界的广泛关注。

2.1 Agent 的特性

在分布计算领域,人们通常把在分布式系统中持续自主发挥作用的、具有自主性、交互性、反应性和主动性等特征的活着的计算实体称为 Agent^[5-7]。在这 4 个特性中,前 3 个是基本的。人们也称具有上述前 3 个特性的计算实体为反应式 Agent。在传统的客户/服务器计算模型中,服务器就是一种典型的反应式 Agent。

当然,Agent 还可能拥有其它性质:流动能力、学习能力、可靠性和强壮性等。另外,还有一些学者对 Agent 概念赋予了更拟人化的要求,例如分布式人工智能领域的学者,要求 Agent 具有知识、信念、意图等认知特性; CSCW (Computer Supported Cooperative Work) 领域的学者,要求 Agent 具有更友好的人机交互方法^[7]。

2.2 Agent 的结构及环境

Agent 的结构是指构造一个 Agent 的方法学,它描述了组成 Agent 的基本成分及其作用、各成分的联系与交互机制、如何通过感知到的内外部状态确定 Agent 应采取的不同行动的算法,以及 Agent 的行为对其内部状态和外部环境的影响等等。目前,人们已提出的 Agent 的结构大致可分为审慎式结构 (Deliberative Structure)、反应式结构 (Reactive Structure) 和混合式结构 (Hybrid Structure) 这 3 类^[5,6]。

此外,人们还将 Agent 按其功能特点分为:合作 Agent、界面 Agent、移动 Agent、信息 Agent 以及智能 Agent 等^[2],这种划分其实也可以归到以上 3 类 Agent 中去。

MAS (Multi-Agent System) 是由多个 Agent 组成的系统,它是在 Agent 的结构的基础上重点研究 Agent 的互操作以及 Agent 间的协商和协作等问题。为 MAS 的运行和开发建立分布计算环境也非常重要,按照 Agent 的结构分类,相关的支持环境也可分为面向审慎式结构的支持环境、面向反应式结构的支持环境和面向混合式体系结构的支持环境三大类^[5,6]。

2.3 Agent 技术的特点

Agent 技术提供了一种新的计算和问题求解的思路,其技术特点有^[8,9]:

(1) 问题领域有着广泛性、繁杂性和不可预测性的特点。采用 Agent 技术可以将一个大而复杂的问题分解成许多较小、较简单的问题,使问题得以简化,这是因为 Agent 能够以灵活的、上下文有关的方式(如交互性、反应性、主动性)与外界进行交互作用,而不是通过一些预先严格确定的接口函数。

(2) 当问题领域涉及大量不同的问题求解实体(或数据资源),而这些实体在物理或逻辑上又是分布的,并且需要相互协作以解决公共问题时,Agent 技术是一种有效的选择。Agent 技术为此类问题提供了非常自然的建模方法:现实世界的实体和它们之间的关系可以直接映射成具有问题求解能力的 Agent,它们拥有自己的资源以及协作求解问题的交互能力。

(3) 多个 Agent 可以组成一个合作的小组以完成特定的复杂任务,这些 Agent 之间能够协调相互之间的行为,协商以解决相互之间的冲突,相互合作以达到共同的目标等。

(4) 单个 Agent 或一组 Agent 可以单独进行开发,并且以增量方式动态地加入到一个基于 Agent 的系统中来,从而增强该系统的能力。

(5) 每个 Agent 都是面向功能需求而设计的,利用 Agent 可以快速地搭建一个复杂的应用系统,具有很好的可重用性。Agent 的表示方式简单明了,软件的功能可以从其名字的喻义推敲出来。Agent 可以被人格化用以反映用户的偏好,并代表用户与其它 Agent 交互。

(6) 面向 Agent 的软件开发方法是为了更确切地描述复杂并发系统的行为而采用的一种抽象描述形式,与面向对象一样,是观察客观世界及解决问题的一种方法。但是 Agent 具有较强的自我控制特点,比被动对象和主动对象有更好的封装性和模块性。

2.4 Agent 技术的实现方法

目前,Agent 技术的实现方法主要有 4 个^[9]:

2.4.1 分布式对象技术

虽然 Agent 和对象具有不同的能力和不同的表现方式,但 Agent 与对象都属于对象的概念范畴,可

以将 Agent 看作是“对象+行为引擎”。通过纵向或横向扩展实现主动服务机制,使得在分布式对象环境中能够方便地实现具有自主性、交互性、反应性和主动性的 Agent。利用分布式对象技术来构造 Agent 系统也存在一定的局限性:这种方法只适合于构造确定的 Agent 系统,而不是 Agent 开发环境。用这种方法构造而成的系统,只适合特定的软、硬件平台,并且构造方法和技术复杂,一般人员难于掌握。

2.4.2 JAVA 语言

利用 JAVA 的可移动技术可以构造可移动 Agent 系统,可以说 JAVA 就是一种 Agent 开发环境。当前程序的发展模式由整体向构件过渡, JAVA 本身就是一个跨平台的开发语言,它在集成不同语言的构件时有很大的优势。

2.4.3 Script 语言

Script 语言是一种解释性程序开发语言,它是一个分布式计算平台,在集成用不同语言实现的、分布在不同宿主、不同操作系统的构件时,具有其它语言无可比拟的优势。更重要的是,Script 语言贴近用户所熟悉的问题域,易于为不同层次的用户所掌握。

Tcl 语言(Tool Command Language)正是这样一种解释型的面向对象的 Script 语言,它与 Web 技术、Agent 技术紧密结合,并且开放代码,易于扩展,是当今 Script 语言发展的方向之一。目前,已有不少研究人员对 Tcl 语言进行扩充,以便能够方便地构建 Agent,其中有代表性的就是 Dartmouth 学院的 Agent Tcl^[10]和 UMBC 的 TKQML/Tk^[11]。

2.4.4 面向 Agent 的程序设计语言

面向 Agent 的程序设计语言(Agent-Oriented Programming Language, AOPL)是一种以计算的社会观为基础的 novel 程序设计语言,这种语言提供了一些用于 Agent 通讯的高层原语,是一种主要面向人工智能领域的 Agent 开始环境。目前 AOPL 尚处于探索试验阶段,离实用化还有很长一段距离。

3 Agent 技术在 GIS 中的应用

分布式 GIS 是一个复杂的软件系统,将 Agent 技术引入分布式 GIS 领域,为分布式 GIS 的建设及应用提供一个全新的概念和方法,有着重要的应用意义。

Agent 技术最重要的贡献就是它提供了一种全新的软件工程思想, Agent 的能力如何,采用何种实现技术并不重要。Agent 技术提供了一种概念清晰、条理清楚的分布式系统建设思想。当然, Agent 技术也带来软件系统能力的提高,这里的能力提高包括两个方面:一是能力的增加,比如合作;另外是能力的增强,比如并行和移动所带来的效率的提高等。

在分布式 GIS 里引进 Agent 技术,是为了要降低分布式 GIS 及其应用的复杂性和建设难度,解决网上空间信息服务功能以及 GIS 应用领域中的协作问题,同时也为了改善分布式 GIS 的服务能力和服务效率等。

Agent 技术可以在 GIS 服务与 GIS 应用两个层次上为分布式 GIS 提供强有力的支持,其应用方向和技术特点可以概括如下^[9, 12]:

(1) 服务领域。

① 服务领域的服务协作。利用 Agent 的协作性,开展 GIS 服务领域的服务协作研究,更好地提供 GIS 服务,提高服务效率。

② 服务领域的数据并行和应用领域的任务并行。Agent 技术为并行的实现带来了极大的便利。GIS 中有着大量的并行因素,主要包括应用领域的任务并行和服务领域的数据并行两个方面。利用 Agent 技术来处理 GIS 中的并行情况,将对提高 GIS 的效率有着重要的意义;

③ 服务领域中的信息搜索。利用 Agent 的自主性,结合空间元数据,使得对空间信息的访问不再过多地要人来控制,包括确定地理空间信息的可用性、位置等。

④ 服务领域中的信息发布。利用 Agent 的自主性,使得空间信息能够主动地送到最需要它的用户手中。

⑤ 提供基于 Agent 的更简单的分布式 GIS 的建模与实现方法,提高分布式 GIS 的能力,改变分布式 GIS 的服务方式。

⑥ 智能空间辅助决策。利用 Agent 的交互性和协作性,将复杂的空间辅助决策问题进行简化,使得空间辅助决策能够实用。

(2) 应用领域。

① 应用领域的协作。利用 Agent 实现 GIS 应用领域中需要合作才能完成的任务。

② 利用 Agent 的拟人化特性,提供一个基于 Agent 的应用系统开发模式。

③ 利用 Agent 实现个性化 GIS 应用界面。

④ 提供基于 Agent 的更简单的 GIS 应用开发方法。

不同领域的专家对 Agent 有着不同的理解和定义,在 GIS 中不同的研究方向也一样的有不同的 Agent 应用方式。结合我们的正在进行的研究,下面就 Agent 技术在分布式 GIS 建模、空间信息查找与获取、WebGIS 服务体系、空间辅助决策以及 GIS 互操作等几个方面的应用作进一步的介绍。

3.1 基于 Agent 的分布式 GIS

结合分布式地理信息系统技术和 Agent 技术,我们探讨了基于 Agent 技术的分布式地理信息系统构造方法,建立了一个基于 Agent 技术的分布式地理信息系统模型 Geo-Agents。如图 1 所示,在 Geo-Agents 系统中,包括 Facilitator、通用 Agent、GIS 功能 Agent 和 GuServer 4 类 GIS Agent,它们协同地完成 GIS 任务^[9,13]。



图 1 Geo-Agents 的体系结构

Fig.1 The architecture of Geo-Agents

在 Geo-Agents 系统中, GIS Agent 是一个具有活动能力的对象类,它带有脚本解释器,可以解释执行 GeoScript 语言。每个活动的 GIS Agent 实际上是 Agent 类的一个实例。当用户需要完成一个任务时,可以将该任务用 GeoScript 语言描述成一段 GeoScript 语句,Geo-Agents 系统则创建一个相关 GIS Agent 类的实例,接收并执行这段 GeoScript 语句,这段 GeoScript 语句指明了一个 GIS Agent 实例的工作任务目标、工作规则和约束等。当 GIS Agent 实例接收到一段 GeoScript 语句后,可以主动地解释执行这段 GeoScript 语句,并根据需要通过人机界面与人进行交互,同时,还可以用消息通信与其他 GIS Agent 进行灵活多样的交互,能够有效地与其他 GIS Agent 协同

工作,最后得到并返回任务的结果。例如,当某一个 GIS Agent 发现所需的计算资源不在本地时,它可以根据算法,请求其他 GIS Agent 协助获得资源,或者将任务交给能更加方便地访问资源的 GIS Agent 去完成等。

按照上述模型,我们采用多线程技术和 DCOM 技术实现了一个 Geo-Agents 原型系统,并在此基础上构建了一个城市规划管理应用系统^[9]。同时,我们对城市规划管理中的几个代表性的任务(道路改造拆迁管理、地下管线查询、地下水质量评价、管网规划一致性检查和管网规划总体情况查询等)进行了测试。

- (1) 每个任务都能正确完成。
- (2) 在不同主机上同时运行不同的任务时各任务所需的时间与整个系统只有一个任务时的运行时间相差不大,这说明系统有着很好的并行性。
- (3) 由于 Agent 之间可以协作并且支持运行结果的重用,同一个任务在执行一次后,再次执行时所需的时间明显减少。

系统的顺利完成以及相关的运行结果表明,Geo-Agents 系统是可行的,并且具有潜在的良好性能^[9]。

(1) 系统集成简单。用户可以很方便地建立起一个分布式 GIS 系统。只要在相互连接着的计算机上安装 Geo-Agents 系统即可。

(2) 应用简单。当一个用户需要完成一个空间分析任务时,他只需将这个任务用 GeoScript 语言描述出来就可以,并且 GeoScript 语言类似于自然语言,简单易学,用户很快就可以掌握。

(3) 透明性。用户关心的事情少,并不需要知道数据在哪里、用哪个机器上的 Agent 来完成任务等。

当然,由于系统设计和实现技术的局限性,目前,Geo-Agents 模型及应用系统正在进一步完善和实现中。

3.2 基于 Agent 的空间信息查找与获取

随着 GIS 应用的进一步扩展,越来越多的空间信息被发布到网上,可供别人使用,但是这些空间信息却很难直接为人们所用。人们并不知道在什么地方有空间信息、有什么样的空间信息可以使用、如何使用空间信息等。

结合空间元数据,利用 Agent 进行空间信息定位和获取,是分布式空间信息处理的一个有效的方

法。利用 Agent 进行空间信息查找要达到两个目标:首先,对用户提供一种简单的数据请求描述规范,方便他表达对空间信息的要求;其次,对应用系统提供一个虚拟的空间信息库。用户只须按照规范描述他所需要的数据,具体的查找工作则交给 Agent 来完成。

首先,我们设计了一个基于网络环境的多层次空间元数据库框架,来管理网络上分布的空间数据库、图层和各种组合的地图,包括空间数据库级空间元数据库、区域级空间元数据库以及全局级空间元数据库^[9,14]。然后,在多层空间元数据框架的基础上,根据用户的不同需求构建了不同的 Agent,如图 2 所示,包括位置查找 Agent、数据读取 Agent、数据读取控制 Agent、位置查找控制 Agent 和数据映射 Agent。这些 Agent 分布在网上,在空间元数据的帮助下,自主地对网上分布的地理空间信息进行查找、定位以及获取或过滤。必要的时候,这些 Agent 还可以进行交互,共同协作得到空间信息的分布情况^[9,14]。

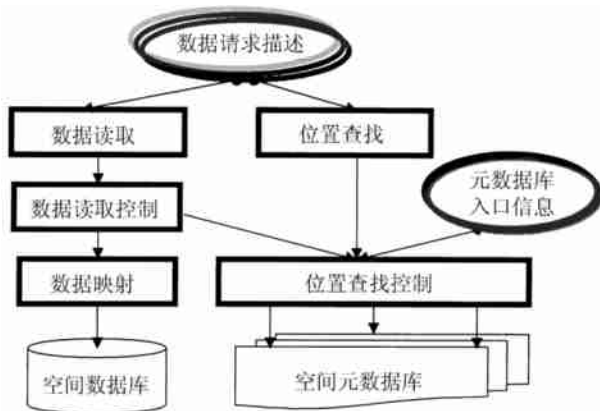


图 2 基于 Agent 的空间信息查找与获取

Fig.2 Spatial information locating and retrieving based on agent

数据读取 Agent 和位置查找 Agent 接受数据请求描述,将它解释成一个计算机可识别、可比较的数据请求任务。数据读取 Agent 将数据请求任务传给数据读取控制 Agent,然后等待数据读取控制 Agent 返回目标数据。而位置查找 Agent 则将数据请求任务传给位置查找控制 Agent,后者返回的结果是目标数据的图层组成及其位置信息。

数据读取控制 Agent 首先将数据请求任务传给位置查找控制 Agent,获得目标数据的图层组成和位置信息后,再将所得结果交给数据映射 Agent。数据映射 Agent 根据图层位置信息及相关要求,与空间

数据库进行交互,得到目标数据并返回给数据读取控制 Agent。由于目标数据可能分布在不同的空间数据库中,数据读取控制 Agent 可以按照图层的位置信息将图层按照所属的空间数据库进行归类,并据此将数据读取任务进行划分,将这些数据读取任务交给不同的数据映射 Agent 分别访问不同的空间数据库以获得目标数据。这些数据映射 Agent 可以并行地执行,从而提高了数据读取的效率。

位置查找控制 Agent 得到数据请求任务后,根据空间元数据入口信息,可以同时连接多个空间元数据库,在各空间元数据库中并行地查找匹配目标数据的图层组成及位置信息。

在 GIS 中,任何一个任务都需要空间数据,而且可能需要多种空间数据,因此数据搜索是一个频繁发生的事情。这样一来,不同的任务可能有相同的数据请求。为相同的数据请求进行重复查找是没有必要的,数据搜索 Agent 的执行结果应该加以充分利用。我们为空间数据请求设计了描述规范,这使得数据搜索 Agent 的结果重用是可能的^[9]。上面 5 种数据搜索 Agent 中,数据读取控制 Agent 和位置查找控制 Agent 正是最值得重用也能够重用得两个数据搜索 Agent。首先,它们并不直接面对用户,因而这种重用对用户是透明的;其次,它们控制着整个数据搜索的关键过程,并且直接获得用户所需的结果;最后也是最重要的一点,驱动它们的任务是经过解释的数据请求任务,是可识别、可比较的。

3.3 面向多用户群的 WebGIS 服务体系

目前,几乎所有的 Web 应用系统(如政府办公、企业管理、数字社区、各种电子商务系统等)都有对空间信息的需求,而且这种需求越来越迫切;并且,不同的应用系统虽然要求的 GIS 功能不尽相同,但可能都要使用相同的空间信息基础设施;与此同时,不同的应用系统存在不同的用户群,它们使用的接入方式不同(无线、IP、PSTN)。现行的解决办法是为不同的应用系统、不同的用户群分别建立一个特定的 WebGIS 系统,但这种做法存在一系列致命的问题,如:建设难度大,建设周期长;重要建设,浪费严重;维护困难等。

针对这种情况,我们基于 Agent 技术构建了一个简捷的公共 WebGIS 服务体系,同时为不同应用系统的不同用户群提供 GIS 服务^[15](图 3)。

用户层与应用层之间可以通过不同的连接方式(无线、IP、电话线)进行连接;应用层与服务层之间

则只通过 IP 连接。应用层中不同的应用系统在构建时,可以根据其需要从服务层中选用合适的 WebGIS 服务搭建其应用,WebGIS 服务是以一种非常简单且容易控制的方式嵌入应用中的;同时也可以向服务层定制 WebGIS 服务。服务层中的 WebGIS 服务是用 Java 开发的一个 Agent,这使得我们可以方便地通过 Internet 发布 WebGIS 服务。

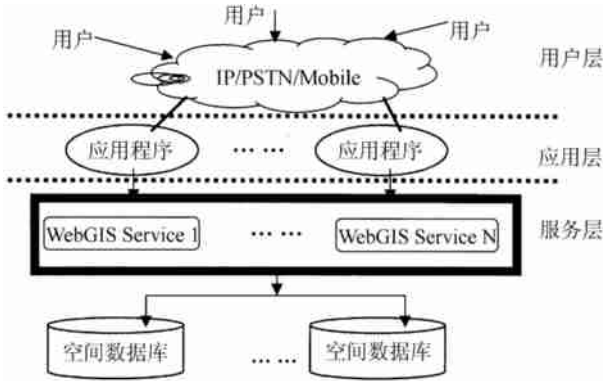


图 3 面向多用户群的 WebGIS 服务体系
Fig.3 Multi-user oriented WebGIS services

3.4 基于 Agent 的空间辅助决策

传统的空间决策支持系统一般由以下几部分组成:模型管理、GIS、DBMS、专家系统、人工智能工具以及用户界面等,相互之间关联紧密,缺乏灵活性、开放性和通用性。由于系统结构和计算模式的限制,传统的空间决策支持系统在处理复杂的协作性空间决策问题以及应付突发问题方面存在很大的局限。根据空间决策支持系统的特点及要求,为了解决或避免传统空间决策支持系统所存在的局限,采用 Agent 技术建立基于 Agent 的分布式智能空间决策支持系统是空间决策支持系统领域的一个新的有意义的研究方向。我们设计了一个基于 Agent 的空间决策支持系统的体系结构,它是一个由多个 Agent 合作以完成空间决策支持任务的联邦系统^[1,16](图 4)。

界面 Agent 与用户进行交互,接受用户决策任务,并将任务交给问题求解 Agent;最后再与用户进行交互,对问题的中间结果或最终解决方案予以选择或确认。

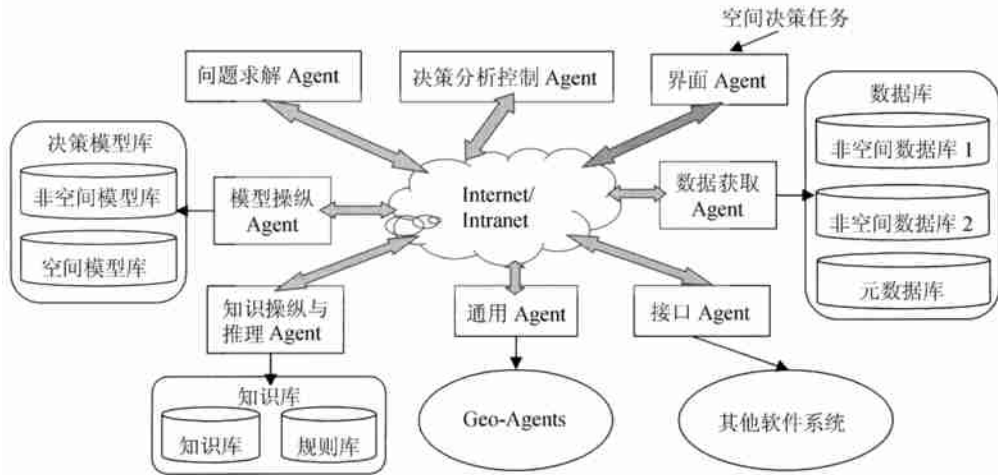


图 4 基于 Agent 的空间决策支持系统体系结构
Fig.4 The architecture of Agent-based spatial decision-support system

决策分析控制 Agent 协调、控制与其他 Agent 之间的交互和通讯。

问题求解 Agent 根据用户决策任务,对任务进行分解,组织其他 Agent 完成各子任务,并对各个 Agent 的完成结果进行综合最终形成问题的解决方案。

模型操纵 Agent 根据具体的决策子任务,从决策模型库中选择一个适当的模型进行解释执行。模型的完整执行可能需要与其他 Agent (如知识操纵与

推理 Agent、通用 Agent、数据获取 Agent 以及接口 Agent 等进行协作。决策模型库中的模型可以是空间决策模型,也可以是非空间决策模型。

知识操纵与推理 Agent 根据决策任务或模型执行的需要,利用知识或规则进行推理,以获得完成决策任务所需的目标知识或应采取的动作。在推理的过程中,也需要与其他 Agent 进行协作。

通用 Agent 是与 Geo-Agents 进行交互的接口,通过通用 Agent,可以完成地理空间数据的查找、基本

的空间查询与空间分析,以及面向应用领域的空间查询与空间分析。

数据获取 Agent 获取模型执行或推理过程中所需的非空间数据,这些数据可能存在不同地点的不同数据库及数据仓库中。在这里,元数据库可以为非空间数据的访问提供各种便利,这些便利包括定位数据,如何访问数据等。

接口 Agent 与其他软件系统或 Agent 系统进行交互,以解决本决策系统所不能完成的动作或不能解决的任务。

基于 Agent 的空间决策支持系统在系统的结构、工作方式以及实现的方法等方面更加简单、清晰,各 Agent 之间相对独立性比较高,相互之间的关系可以在运行阶段进行设定而不是在系统设计时预先确定。更为重要的是,这种体系结构对最终用户的支持有明显的增强。用户可以根据自己的应用领域往决策模型库、知识库以及 Geo-Agents 中动态添加领域相关的空间或非空间决策模型、知识和规则以及各种 GIS 功能 Agent。用户甚至可以不添加自己所需的各种模型、知识、规则以及 GIS 功能 Agent,决策支持系统可以自己去寻找用户所需的各种决策资源,只要在整个决策网络中的某个地方能找到这些决策资源。所有的这一切工作对用户来说都是透明的。

3.5 基于 Agent 的 GIS 互操作

异构 Agent 之间互操作的关键是通过 Agent 通讯语言(Agent Communication Language, ACL)来使不同的 Agent 能够相互通讯,通讯的具体内容则由通讯的 Agent 相互约定。在 OpenGIS 中, GIS 系统的互操作则是通过规范地理空间数据的格式和规范地理空间服务的接口来获得的。很明显, OpenGIS 和 ACL 很难完整地统一起来,因此,要使得基于 Agent 的分布式 GIS 系统能够达到互操作,需要有新的互操作规范——面向 Agent 的 GIS 互操作规范。面向 Agent 的 GIS 互操作规范应该是这样一种规范^[9,14]:

- (1) 有公共的地理空间数据接口;
- (2) 有公共的 GIS 专用 Agent 描述规范;
- (3) 有公共的 Agent 通讯方式。

遵从这样一个规范而建成的不同 GIS Agent 系统,可以很方便地通过 Agent 的通讯而达到互操作的目的。

随着 Agent 技术的进一步发展,将会有更多的 GIS 开发商使用 Agent 技术来开发他们的 GIS 产品,

因此,面向 Agent 的 GIS 互操作规范将发挥巨大的作用。可以想象,总有一天 GIS 的用户们能够通过 Agent 方便地获取网上任意所需的地理空间数据资源,并可以让不同的 Agent 为他完成各种空间分析任务,那将是怎样一件令人兴奋的事情!

4 结 论

当今信息领域正发生着广泛而深刻的技术变革,Internet 不断完善和发展,地球信息科学、数字地球、电子商务等新概念的出现, GIS 网络化、全球化和大众化已是必然趋势。网络 GIS 将在人们对空间信息的查询、综合分析和辅助决策中发挥越来越大的作用。本文探讨了 Agent 技术在分布式 GIS 的应用,我们看到, Agent 技术为分布式 GIS 及其应用提供了一种更为简单的一体化的解决方案。引入 Agent 技术分布式 GIS 在原有的基础上,增加了分布式控制的智能化特点,能够有效地解决传统分布式计算模型在网上应用的局限性。

当然,由于 Agent 技术亟待进一步的发展,并且人们在应用 Agent 技术时存在一些问题和误区,因此,基于 Agent 的应用系统距离实用还有很长一段距离。但随着 Agent 技术的进一步发展,将会有更多的 GIS 研究者加入到基于 Agent 的分布式 GIS 的研究中来,我们相信,基于 Agent 的分布式 GIS 将会在地球信息科学、数字地球等领域中显示出强大的生命力。

参 考 文 献 (References)

- [1] Vijayan Sugumaran. A Distributed Intelligent Agent-Based Spatial Decision Support System. Department of Business Administration, Le Moyne College, <http://www.isworld.org/ais.a.98/proceedings/geographic.htm>.
- [2] WANG Huaimin, et al. Agent-based Distributed Computing Environment [J]. *Chinese Journal of Computers*, 1999, 19(3):197-201. [王怀民等. 基于 Agent 的分布式计算环境[J]. 计算机学报, 1999, 19(3):197-201.]
- [3] LUO Yingwei, et al. The Components Design for WebGIS [J]. *Journal of Image and Graphics*, 1999, 4(A):79-84. [罗英伟等. WebGIS 的构件设计[J]. 中国图像图形学报, 1999, 4(A):79-84.]
- [4] Ovum. Intelligent Agents; the New Revolution in Software [R]. Ovum Report, London: Ovum Publications, 1994
- [5] SHI Zhongzhi, et al. The Research Actuality and Development Trend of Intelligent Agent [AN]. *Computer World Technology Edition*, 1998-01-26. [史忠植等. 智能主体研究现状与发展趋势[N]. 计算机世界, 技术专题版, 1998-01-26.]

- [6] LIU Dayou, *et al.* The Research Actuality and Development Trend of Agent [J]. *Journal of Software*, 2000, **11**(3):315–321. [刘大有等. Agent 研究现状与发展趋势[J]. 软件学报, 2000, **11**(3): 315–321.]
- [7] Wooldridge M, Jennings N R. Intelligent Agents: Theory and Practice [J]. *Knowledge Engineering Review*, 1995, **10**(2):115–152.
- [8] Wooldridge M, Jennings N R, Kinny D. A Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design, <http://www.cosm.ecs.soton.ac.uk/nrj/pubs.html>.
- [9] LUO Yingwei. A Study on Agent-based Distributed GIS [D]. PhD Dissertation. Peking University, Beijing, 1999. [罗英伟. 基于 Agent 的分布式地理信息系统研究[D]. 北京大学博士学位论文, 北京, 1999.]
- [10] Dartmouth University, Agent Tcl, <http://www.cs.dartmouth.edu/~agent/>.
- [11] R. Scott Cost, *et al.* TKQML: A Scripting Tool for Building Agent, <http://www.cs.umbc.edu/>.
- [12] Amanda Rodrigues and Jonathan Raper, Defining Spatial Agents, <http://www.dh.lnec.pt/ghi/asrodrig/>.
- [13] LUO Yingwei, *et al.* The Research on Geo-Agents [J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2000, **37**(12):1504–1512. [罗英伟等. Geo-Agents 研究[J]. 计算机研究与发展, 2000, **37**(12):1504–1512.]
- [14] WANG Xiaolin, LUO Yingwei, *et al.* A Study on Spatial Metadata and its Application [J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2001, **38**(3):321–327. [汪小林, 罗英伟等. 空间元数据研究及其应用[J]. 计算机研究与发展, 2001, **38**(3):321–327.]
- [15] LUO Yingwei, *et al.* Design of a Framework for Multi-User/Application Oriented WebGIS Services [A]. Proceedings of IEEE ICCNMC '2001 [C]. Beijing, 2001, 10, IEEE Press.
- [16] LUO Yingwei, *et al.* Agent and Decision-supporting based on Spatial Information [J]. *Journal of CAD&CG*, 2001, **13**(7):666–672. [罗英伟等. Agent 及基于空间信息的辅助决策[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, **13**(7):666–672.]

Study on Applying Agent Technology into Distributed GIS

LUO Yingwei, WANG Xiao-lin, XU Zhuo-qun

(Dept. of Computer Science and Technology, Peking University, Beijing, 100871, China)

Abstract: Distributed GIS is a complicated software system. Applying Agent technology into distributed GIS will provide a new concept and method to construct distributed GIS system and applications. In this paper, modeling distributed GIS, searching and retrieving spatial information on Internet, constructing service framework for WebGIS, building spatial decision-support system and interoperating in GIS are introduced.

Firstly, an agent-based distributed GIS model named as Geo-Agents is studied, which consists of four types of GIS agent: Facilitator, general agent, GIS functional agent and GUServer. All of these agents cooperate to complete GIS tasks.

Combining agent technology and spatial metadata to locate and retrieve spatial information is an effective method to process distributed spatial information. A hierarchical spatial metadata database framework is designed to manage spatial databases, layers and maps on network. With the help of spatial metadata, five agents are constructed to distribute on network, search, locate, retrieve and filter distributed spatial information initiatively and cooperatively.

Then, an agent-based common WebGIS service framework is introduced, which is divided into three layers: user layer, application layer and service layer. It can provide GIS services for different applications and different groups of users at the same time.

Also, an agent-based intelligent spatial decision-supporting system is presented, which is a federal system consisting of many agents. All of these agents cooperate to complete spatial decision-supporting tasks.

Finally, an agent-oriented GIS interoperating specification is explored, which has common spatial data interface, common GIS agent descriptive specification and common agent communication mode.

Key words: distributed GIS, distributed computing technology, agent technology