

# 一种基于多 Agent 的有效负载均衡的 WebGIS 体系模型

肖文雅<sup>1</sup>, 尚艳玲<sup>2</sup>

(1. 新乡医学院 现代教育技术中心, 河南 新乡 453000; 2. 安阳师范学院 软件学院, 河南 安阳 455000)

**摘要:**针对分布式 WebGIS 中海量数据和有限带宽的网络资源之间的矛盾日益突出, 研究分析了当前 WebGIS 两种体系结构的优缺点, 引入多 Agent 技术进行合理分配协调任务, 提出一种基于智能多 Agent 的混合式的 WebGIS 体系结构模型. 经过对海量网络数据查询特点的分析, 对需要查询的数据进行过滤和精炼, 提出一种在客户端使用代价函数来优化动态矢量数据的查询方法. 实践证明, 该体系结构模型能够有效地提高查询速度, 节省带宽资源, 保持全局网络负载的良好性能.

**关键词:**分布式 WebGIS; 多 Agent; 有限带宽; 负载均衡

**中图分类号:** TP309

**文献标志码:** A

地理信息系统作为获取、处理、管理和分析地理空间数据的重要工具、技术和学科, 近年来得到了广泛关注<sup>[1]</sup>. 然而, 空间数据信息的产生与应用之间存在着不可调和的矛盾. 一方面存在着数据或信息爆炸现象, 另一方面, 社会迫切需求的信息, 因为网络带宽资源有限, 下载瓶颈问题, 即缺乏有效的下载、查询、浏览工具, 不能及时地被利用. 为了缓和空间信息产生和应用之间的矛盾, 分布式的 WebGIS 应运而生, 成为当前地理信息系统的研究热点. 分布式 WebGIS 是利用 Internet 实现空间数据的存储、显示、分析计算及输出, 并解答用户提出的问题, 进行决策支持的系统<sup>[2-3]</sup>. 分布式 WebGIS 的分布式特点主要体现在: 1) 用户分布, 即 GIS 用户分布在网络的不同节点. 2) 数据分布, 即 GIS 数据源分布在多台计算机上; 3) 处理分布, 即 GIS 软件的各个功能模块(如数据的存取与显示、查询、分析、编辑等)可能分布在多台计算机上; 然而, 当前 WebGIS 由于受到网络的传输协议、带宽、实时用户访问量等条件的限制, 用户的请求信息和返回的结果信息常常不能实现完整快速地传输, 有些任务甚至无法在用户接受等待时间内完成. 因此, 如何节省网络带宽资源? 如何保持全局网络的负载均衡? 如何提高查询速度? 本文从上述 3 个问题出发, 从研究分布式 WebGIS 的体系框架着手, 学习分析了 WebGIS 当前使用的两种策略——服务器端策略和客户端策略的优缺点, 引入多 Agent 技术, 设计了一个新的基于多 Agent 的混合式的 WebGIS 体系框架模型. 经应用测试, 该体系框架能够有效提高查询速度, 节省带宽资源, 保持全局的负载均衡的良好性能.

## 1 当前分布式 WebGIS 的体系结构及实现策略

### 1.1 WebGIS 的三层计算体系结构

WebGIS 的体系结构从客户/服务器(C/S)、浏览器/服务器(B/S)到多层结构, 都包含 3 个基本的组成部分: 客户层、服务器层、数据层<sup>[4]</sup>, 如图 1 所示. (1) 客户层: 是唯一和最终用户的交互端, 为了实现空间信息在客户端的设备上的显示而部署的功能模块. (2) 服务器层: 该层主要包括应用服务器和 Web 服务器. Web 服务器的主要功能是接收客户层的服务请求并发送到应用服务器层; 应用服务器的主要功能是接收 Web 发送来的请求并分析完成相应的空间计算操作并再次通过 Web 服务器返回请求的结果. (3) 数据层: 主要功能是对空间数据的组织管理和维护.

收稿日期: 2015-01-28; 修回日期: 2015-05-19.

基金项目: 国家自然科学基金(61403003); 河南省教育厅自然科学基金(14A520003).

作者简介(通信作者): 肖文雅(1980-), 女, 河南邓州人, 新乡医学院实验师, 主要从事教育技术应用研究, E-mail: 403447906@qq.com.

## 1.2 当前分布式 WebGIS 的实现策略

GIS 中有两大重要的元素: GIS 数据和 GIS 计算<sup>[5]</sup>. 分布式 WebGIS 的实现实际上就是在互联网上如何合理的分布 GIS 数据和 GIS 计算. GIS 计算由服务器端和客户端两个部分组成. 服务器端和客户端分别对应不同的策略方式. 实现分布式 GIS 的策略<sup>[6]</sup>主要有服务器端策略和客户端策略两种方式. 服务器端策略, 即处理客户端用户提交的数据和分析请求, 然后把处理结果再返给客户端. 而客户端策略则是对用户的数据进行本地操作和分析<sup>[7]</sup>.

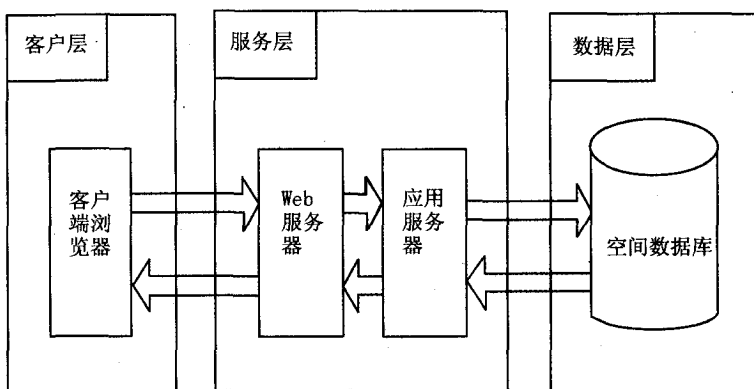


图1 WebGIS三层体系结构图

而客户端策略则是对用户的数据进行本地操作和分析<sup>[7]</sup>.

### 1.2.1 服务器端策略

在服务器端策略中, 客户端计算机通过客户端或者浏览器向服务器端 Web 服务器发出如图像缩小、放大、空间分析、漫游、专题图生成以及属性查询等服务请求, 这些服务请求通过 Web 服务器的 CGI\ISAPI\ASP 等接口被送到后端的应用服务器, 应用服务器按照客户机的请求要求对数据进行处理<sup>[8]</sup>, 将处理结果以 JPEG 或者 GIF 格式反馈给远端的用户浏览器. 在这种 GIS 体系结构中, 客户机的作用仅仅是发出服务请求和显示服务器的最终处理结果, 而服务器负责对所有数据的处理工作, 这对服务器的性能提出了很高的要求, 是一种典型的胖服务器、瘦客户的模型.

### 1.2.2 客户端策略

在客户端策略中, 服务器通过向客户端发送交互程序, 让用户和这个程序交互来完成简单的数据请求, 如地图的缩小、放大、开窗等, 而不是服务器本身去处理所有的数据请求. 当客户端需要矢量数据时直接向服务器申请. 在操作过程中如果客户端遇到高级、复杂的操作自身无法处理, 才会去请求服务器端来处理, 并将处理结果实时的以矢量数据形式返回到客户端. 显而易见, 在客户端策略中, GIS 服务器的操作速度明显比较快, 服务器负担相对小, 网络传输的速度也比较快. 而客户端机器的软件功能通常比较简单, 客户端的数据处理能力和客户机自身的性能密切相关, 因此, 可能会有一些操作因受制于客户端的软硬件性能而导致无法完成.

由此看出, 每一种策略都有其自身的优点和缺点, 单纯使用任何一种策略都不能高效地解决问题<sup>[9]</sup>. 服务器端策略遇到数据传输任务繁重时, 传输效率会明显受到网络带宽的影响. 在客户端策略中, 当客户的处理请求比较高, 计算机处理能力有限时, 某些任务就可能运行很慢或者根本无法完成. 因此, 把服务器端策略和客户端策略有机组合将会是一种很好的解决问题的方案. 混合策略模型考虑客户机、服务器的计算能力和网络的通信量, 适当地分布 GIS 任务, 以充分使用客户端和服务器的计算功能, 提高互操作性和系统性能. 如果数据操作量较大、任务分析比较复杂, 就交给计算能力比较强的服务器来处理. 而当任务的用户交互较多时, 则合理的分配数据和数据处理程序到服务器和客户机, 以便更好地共享服务器和客户机的性能和处理能力, 使系统的整体性能发挥到最佳.

## 2 Agent 技术

Agent 技术是封装在某个分布式环境中的一个计算实体<sup>[10]</sup>. 这个计算实体掌握一定的知识、有自己的目标和解决问题的能力, 是一个独立的、具有特定完整功能的、高度智能化的个体.

### 2.1 智能 Agent 的特征

智能 Agent 既可作用于自身, 也可作用于环境, 同时接收环境的反馈信息, 从而重新评估自己的行为. 它的基本特征如下<sup>[11]</sup>: 1) 自治性 (Autonomy), Agent 不仅能被动接受外部系统的信息还能根据外界系统的变化对自身的行为和状态及时调整, 具有很强的主动性, 能自我管理并调节自身的能力. 2) 反应性 (Reac-

tive),对外部信息刺激和交流能做出反应的能力. 3)主动性(Proactive),表现在对于外部系统的变化, Agent 能主动调整自己并积极采取相应活动的能力. 4)社会性(Social),主要表现在 Agent 之间相互合作协调能力. 每个 Agent 可根据自己的意愿或目的与其他 Agent 进行交流,以其达到最终问题的解决. 5)进化性, Agent 能积累或学习经验和知识,并修改自己的行为以适应新环境.

### 2.2 智能 Agent 在 GIS 应用中的优势

Agent 技术具有的智能性、自主性、反应性等特点使它在系统任务分配和并行处理等方面起到至关重要的作用,为软件工程提供了一种全新的思想<sup>[12]</sup>. 在 GIS 应用领域,信息处理经常要面临大量的空间数据. 用户对某些信息资源或者程序模块的调用可能会引起数据在客户端和服务端之间大规模迁移,严重占用带宽,在此情况下,可通过智能多 Agent 合理有效分配协调任务,避免网络上的大量空间数据的迁移,减轻网络计算和服务器的负担,从而提高系统性能.

## 3 基于智能多 Agent 的分布式 WebGIS 体系模型的提出

分布式 WebGIS 的最终目的是通过分布式处理来实现基于网络的各种服务操作和海量数据的共享. 因此,在 WebGIS 中,为保证各项任务的高效完成,必须合理的分配和部署各项任务,使服务器端和客户端能够方便协调各项任务,从而较好地达到两者的负载均衡. 它不仅要继承已有的成果和空间数据,还要满足当前庞大的空间数据的处理要求,更需要能够容纳未来的空间数据. 综合以上分析,由于服务器端策略和客户端策略都存在相应的弊端,不能完成当前 WebGIS 的目的和功能, Agent 技术的特点和性能为合理的解决分布式地理信息系统提供了依据,因此本文引入 Agent 技术,提出了混合策略结构模型,该模型结合 Agent 技术和实现 WebGIS 的混合策略设计合理的概念模型如图 2 所示. 该模型从理论上和技术上针对根据 WebGIS 负载不均衡,网络负担重的问题给出了一个很好的技术方案. 1) 数据层:主要由空间数据库(DataBase)和 GIS 元数据库构成. 分别保存所属对象的数据信息. 2) 服务器层:主要是由 GIS 元服务器、GIS 服务器和 GIS 服务的智能 Agent 构成. GIS 元服务器主要管理服务器层的 GIS 数据,一方面为客户提供 GIS 数据检索、查询等服务;另一方面提供将查询的结果通过 GIS 服务发送到客户端. GIS 服务器主要是由为远程网络客户提供各种地理服务的软硬件系统的组成,主要是完成客户的 GIS 的服务请求,分析服务请求,并转化为 Web 页面或者直接经 GIS 服务 Agent 发送至客户端. 3) 客户层:主要通过 Web 浏览器,使用 IE 标准与 GIS 服务器代理来通信以获取 GIS 应用数据和应用逻辑;通过用户 Agent,实现客户端的 GIS 计算和部分操作.

在混合策略 WebGIS 体系模型中,与传统的 WebGIS 模型相比,设计添加了用户 Agent 和 GIS 服务 Agent.

用户 Agent:它位于客户端,主要包括通信模块和查询信息描述模块. 其功能是接受用户的空间分析或查询任务,进行任务分解,利用 Agent 之间的通信机制交由 GIS 服务 Agent 完成功能,并完成用户指定的计算,返回最终结果.

GIS 服务 Agent:它位于 GIS Plug-In/ActiveX/Java, Applet、GIS

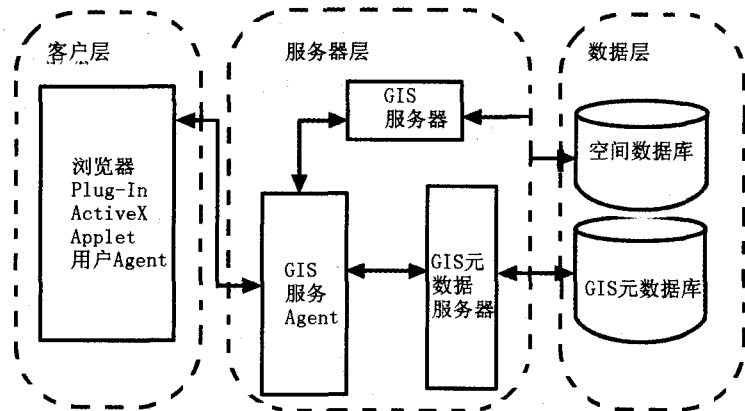


图 2 混合策略 WebGIS 体系模型

服务器和 GIS 元数据服务器之间,协调服务器端 GIS 软件、GIS 数据库和 GIS 应用程序间的通信. 它主要完成客户端和服务端的任务协调分配并接受客户端用户 Agent 发送的 GIS 服务请求,传递给 GIS 服务器或

GIS元数据服务器,同时把结果送回用户的功能;为了完成客户端和服务端的任务协调与分配,充分发挥服务器端策略和客户端策略的优点,我们把GIS服务Agent进行分层设计,初步设计包含三层.最高层为通信层,实现客户层Agent和计算机进行通信功能;中间层为信息和服务导航层,目的是设置任务Agent的任务目录,实现信息与服务的查找和定位.最低层为综合操作层,目的是为了分解任务,进行消息格式的转换,从而确定任务如何执行与协调,最终完成客户Agent交给的任务.

基于多Agent的混合策略WebGIS体系模型通过GIS服务用户Agent和Agent的通信交互能力,合理分布空间信息处理能力,从而实现空间信息处理任务在服务器和客户端之间的负载均衡.鉴于客户端策略和服务器端策略各自不同的特点,把数据抽取率低、需用时间长的数据分布在服务器端,充分发挥服务器端数据量大且运算速度快的特点,同时把数据抽取率高、需用时间短的任务分布在客户端,以便减少数据的重复传输,从而有效地提高查询速度,节省带宽资源,减轻网络负载,保证系统负载均衡的良好性能.

## 4 空间数据库层的空间矢量对象的优化

GIS系统通常采用三层模式:服务层、数据层和表现层.服务层体现在服务器端,数据层体现在空间数据库,表现层体现在客户端.空间数据的处理主要是在数据层.基于上述多智能Agent的分布式WebGIS体系模型的提出,因空间查询的过程比较繁杂,会涉及处理比较复杂的数据类型,通常采用两步算法(如图3)来高效的预处理空间对象.

(1)过滤.通过过滤步骤对空间矢量对象进行比较简单的近似.即采用最小外包矩形(Minimum Bounding Rectangle, MBR)表示要查询的空间矢量对象.对于拓扑关系的判断,采用计算代价小的方法.例如:计算一个查询区域和一个矩形之间的交运算比计算一个查询区域和一个任意的不规则的空间区域代价要小很多.通过这种近似过滤得到包含原始查询条件的候选集,并且能够确保过滤结果中的精确几何体的元组不会被误排除.

(2)精炼.精炼步骤是把过滤步骤所得的查询条件的候选集使用精确的几何条件处理,即对候选集中所有元素的几何信息和空间谓词进行精确的检查.这是一个计算代价高的过程,通常采用CPU密集型的算法.精炼步骤允许在空间数据库以外的程序中进行,因此可以把它放在客户端处理.

## 5 查询优化器移植入客户端的查询优化方法

### 5.1 查询优化器

#### 5.1.1 查询优化器

查询优化器(query optimizer)是数据库查询系统软件中的一个模块,其主要功能是逻辑转换和动态规划.首先从系统目录中获取相应的信息,结合启发式规则和动态规划技术制定查询合适的策略.其模式如图4所示,首先语法分析器扫描声明语句并将语句转换为查询树.查询树中的叶节点为查询涉及的关系,内部节点为查询的基本操作.查询中,从查询树的叶节点开始,遍历到根节点,完成操作.利用这种方法得到查询树来制定下一步的策略,其中的连接操作的花费代价十分庞大,故应设法减少连接操作所涉及的关系.逻辑转换步骤中,把语法分析器所得的查询树利用形式化规则将其转换为等价的查询树,再利用空间或非空间的启发式规则过滤掉不是最终执行策略的候选集,大大降低查询中的连接操作的代价.

#### 5.1.2 动态规划

动态规划技术是利用代价函数的推导方法从一组制定的策略中选出最优策略的技术,把逻辑转换步骤中所得的查询树进行自底向上的优化策略,从可能的查询计划中得到代价相对较小的计划.把每个计划利用代价函数进行评估,代价最小的计划作为最优计划.在动态规划中,需要关注查询树的每个节点和该节点所有可能的执行策略,每一个节点的查询策略就组成了查询空间,查询空间的基数通常很大,我们就是利用动态规划技术,选择一个相对较好的计划.

动态规划的核心是如何制定好的代价函数来评估每一个策略,从而帮助我们选择一个相对较好的计划.如何制定代价函数,需要考虑诸多因素,借鉴CPU分配任务的代价函数,考虑如下因素:①读取代价:从内

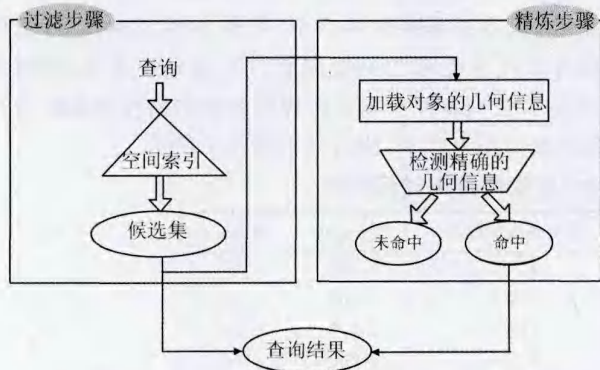


图 3 多步处理

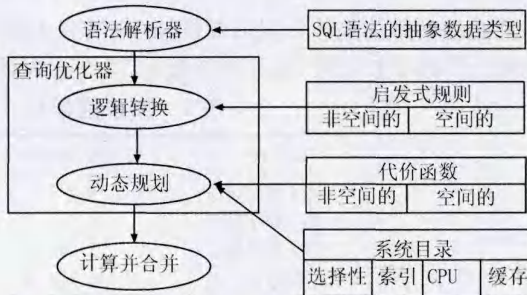


图 4 查询优化器的模式

存中读取并传输数据的代价。② 存储代价:进行存储查询的执行策略所产生的临时关系的代价。③ 计算代价:执行任务的 CPU 代价。④ 传输代价:信息从 CPU 传输到二级存储结构,再发送到客户端之间传输代价。诸多因素中,读取代价和传输代价在所有的查询中占主导地位。故在空间矢量数据库和分布式 GIS 中,主要考虑读取代价、计算代价、传输代价作为代价函数的主要因素。

### 5.2 分布式 GIS 的代价函数提出

从以上的分析看出,查询优化技术主要应用在数据层,代价函数的选择主要考虑计算代价、读取代价。但对于本文提出的优化查询模型,不仅考虑到每个逻辑层的查询方法更要考虑到信息传输的代价的比重。在数据层,主要考虑计算代价和读取代价。故定义空间数据库的第  $n(n \geq 1)$  次代价函数:

$$DataLayerCost(n) = \text{Exp}(\text{records-examined}) + K * \text{Exp}(\text{pages-read})$$

其中,  $\text{Exp}(\text{records-examined})$  为预计读取的记录数,作为 CPU 时间的度量;  $\text{Exp}(\text{page-read})$  为预计从外存读取的页数,作为读取时间的度量。影响因子  $K$  用来度量 CPU 资源相比读取资源的比重。

在客户层,移植数据层的查询优化模块到客户端。在客户端用户首次查询时,首先利用第 5 章提供的过滤——精炼步骤处理所读取的空间矢量对象。最终将查询所得的结果集,保存到当前客户端的缓存机制中,当用户再次或进行多次查询时,利用当前要查询的数据和已经存在在缓冲区中的数据进行拓扑集运算,只需要将差集中的数据从服务器端读取即可。同时,以此代价作为传输代价来考虑。客户层第  $n(n \geq 2)$  次查询代价函数定义为:

$$ClientCost(n) = DataLayerCost(n) - \sum_{i=1}^{n-1} DataLayer\ cost(i)$$

定义的此代价函数应用在客户端,在动态规划中选择出一个相对较优的查询计划,同时,也作为数据层第  $n+1$  次查询时,数据层中的代价函数的一个参考值。定义数据层中代价函数如下:

$$DataLayerCost(n+1) = \text{Exp}(\text{records-examined}) + I * \text{Exp}(\text{pages-read}) + J * ClientCost(n),$$

其中,因子  $I$  和因子  $J$  表示相应代价的比重,  $I+J=1$ ;将此客户端和数据层端的代价函数应用在我们提出的查询优化模型当中,可以适当调整影响因子  $I$  和  $J$  的值,提高查询速度。

空间数据的查询,由于存在数据的不规则性和数据量大的特点,造成客户端和服务器端数据查询速度慢、网络负载均衡的问题,本文从两个方面改进:从系统的结构上,吸取当前 GIS 系统的两种服务端和客户端实现策略,结合两种策略的优势,摒弃两种策略的缺陷,利用 Agent 技术,实现具有查询速度快,网络负担小的混合策略的体系模型系统。在此模型结构基础上,针对目前矢量数据查询具有几何数据对象不规则、数据量大和多样性的特点,利用在服务器和客户端移植数据层的查询优化器,结合定义动态规划的代价函数,实现多重数据拓扑差集的查询。

## 6 结束语

WebGIS 是解决地理数据、软件及硬件等资源共享和进行远程互操作和互运算的有效途径,并可以进行在线(Online)分析和数据挖掘(Data Mining),是当前地理信息系统领域研究的热点。针对当前实现 WebGIS

的两种体系结构模型优劣,利用 Agent 技术在解决分布式系统中问题的优越性,提出并实现了基于智能 Agent 的分布式的负载均衡的 WebGIS 框架模型,实践证明,该方法具有使用简单、部署方便、对网络带宽要求低、网络负担小、查询速度快等特点,使得客户机和服务器在性能和数据处理能力方面相互共享,相得益彰,从而达到系统整体性能的最优化.该模型及查询优化的方法在新乡医学院多媒体教学网络控制系统运行中测试,以第 2 教学楼、第 3 教学楼等 71 个多媒体教室的数据作为样本,测试结果如表 1 所示.

表 1 新乡医学院 4 个教学楼实时查询时间结果

教学楼	首次查询时间/s	再次查询时间/s	节省时间	效率/%
第 1 教学楼	8.575	4.512	4.063	47
第 2 教学楼	7.959	5.621	2.338	29
第 3 教学楼	7.562	4.978	2.584	34
院系楼	8.916	4.684	4.232	47

测试结果表明:在不同地理位置的信息数据查询和传输上,结合多 Agent 技术的混合策略结构的体系模型在大量数据查询中有效地解决了空间信息处理在每个教室客户端和多媒体教学网络总控室服务器之间的负载均衡问题.

### 参 考 文 献

- [1] 谢 瑞,肖海红. 基于 GIS 的配电网拓算法的研究与实现[J]. 河南师范大学学报:自然科学版,2010,38(2):45-48.
- [2] Gao X R, Xu D, Lei Y. Development of WebGIS System based on Flex and REST Service[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(2): 123-128.
- [3] 陶雪丽,赵晓焱,李思嘉. 一种基于对策论的多 Agent 协作方法[J]. 河南师范大学学报:自然科学版,2013,41(4):158-161.
- [4] Wu H Y, Zhang H W, QoGIS. Concept and Research Framework[J]. Genomics and information science of Wuhan University, 2007, 32: 385-388.
- [5] 李影洁,朱秀丽. 一种新的基于 Agent 流程建模方法[J]. 河南师范大学学报:自然科学版,2012,4(3):62-65.
- [6] 尚艳玲,肖文雅. 多 Agent 系统的 Q 值强化学习算法[J]. 河南师范大学学报:自然科学版,2013,41(2):158-160.
- [7] Wang T B, Wang E Q, Lu H, et al. WebGIS Client Based upon Silverlight[J]. Geo-Information Science, 2010, 12(2):69-75.
- [8] 王 轶,周 迅,周 伟,等. 基于 WebGIS 的离散时序空间数据动态可视化研究[J]. 国土资源遥感,2012(2):143-147.
- [9] 李光敏. 基于 .NET 和 ArcIMS 的农用地定级信息发布系统设计与研究[J]. 国土资源遥感,2008(2):109-111.
- [10] Nora H, Behrouz H F. Application of Intelligent Agent Technology for Knowledge Management Integration[J]. IEEE computer Society, 2004(3):2190-2195.
- [11] 罗英伟,汪小林,许卓群. Agent 技术在分布式 GIS 中的应用研究[J]. 遥感学报,2003,7(2):153-160.
- [12] 夏满民,李怀诚. 智能软件 Agent 在分布式信息管理中的应用[J]. 南京航空航天大学学报,2000,32(5):592-597.

## A Loading-Balancing Framework for Distributed WebGIS Based on Multi-Agent

XIAO Wenya<sup>1</sup>, SHANG Yanling<sup>2</sup>

(1. The Modern Educational Technology Centre, Xinxiang Medical University, Xinxiang 453003, China;

2. School of Software Engineering, Anyang Normal University, Anyang 455000, China)

**Abstract:** With the development of distributed WebGIS, the contradiction between massive data and the limited bandwidth is serious, this paper investigated both advantages and disadvantages of current WebGIS architecture. Combined with the Multi-Agent technology in the field of Distributed WebGIS, we put forward a kind of WebGIS framework based on Hybrid Strategy. Based on the analysis of the characteristics of the vast amounts of network data inquiry, this paper filters and refines the query data, and then presents a vector data query method using of cost function. Finally, It proved that the new framework was effective on improving the inquiry speed, saving bandwidth resources and maintaining a good network-load performance.

**Keywords:** distributed-GIS; Multi-Agent; limited bandwidth; load-balancing