

基于集群技术的可伸缩云 GIS 服务平台研究*

范协裕, 任应超, 杨崇俊, 唐建智, 易雄鹰

(中国科学院遥感应用研究所 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101)

摘要: 为了建立一个高可伸缩、能按需提供服务的云 GIS 服务平台, 研究了云 GIS 服务平台的特征和需求。针对这些特征, 利用可配置的服务器集群技术和分布式缓存技术, 设计并实现了一个提供 OGC 标准服务的云 GIS 服务平台。通过实验验证了平台在处理高并发、计算密集型任务方面具有高可伸缩性和良好的加速比, 并且在实际的 GIS 应用中验证了平台的可用性。

关键词: 云 GIS; GIS 服务; 可伸缩性; OGC; 集群

中图分类号: TP399 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)10-3736-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.10.034

Research on scalable cluster-based cloud GIS platform

FAN Xie-yu, REN Ying-chao, YANG Chong-jun, TANG Jian-zhi, YI Xiong-ying

(1. State Key Laboratory of Remote Sensing Information Sciences, Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: In order to build a scalable, on-demand cloud GIS platform which was able to provide OGC compliant Web services, this paper studied the features and requirements of cloud GIS. Accordingly, it leveraged server cluster and distributed cache technologies to design and implement a cloud GIS platform. The experiment testified its scalability of dealing with high-concurrency and computational intensive tasks. The result of experiment shows good speed up ratio. In addition, the platform performed well in real GIS application.

Key words: cloud GIS (geographic information system); GIS service; scalability; OGC (open GIS consortium); cluster

0 引言

云计算是一种新的分布式计算模式, 是当今 IT 界研究热点。根据美国国家标准与技术学会 (National Institute of Standards and Technology, NIST) 的定义: “云计算是一种可使服务提供者只需进行少量配置和交互操作即可快速发布共享池中的可配置计算资源, 并使用户可通过网络便利地以按需方式访问这些资源的计算模式”^[1]。越来越多的政府、研究机构和公司纷纷采用云计算来解决互联网时代面临的日益复杂的计算和存储问题^[2]。21 世纪空间信息科学面临着计算密集、数据密集、并发密集以及时空密集这四个问题, 而云计算为解决这些问题提供了一个新方向^[3]。GIS 公司如 ESRI、GIS Cloud、超图公司等已经开始研究将 GIS 迁移到云计算环境中, 而对云 GIS 服务平台的研究目前还处在起步阶段, 有待进一步发展。

Bhat 等人^[4]从应用、技术、维护、成本和数据资源等方面阐述了云 GIS 作为新一代 GIS 计算模式所具备的基本条件, 提出了由 Web 接口和 GIS server 组成的云 GIS 体系结构。可伸缩、按需、数据源无关、易扩展 (横向和纵向) 等特性是云 GIS 服务平台的重要特征^[4]。

吴边等人^[5]介绍了云 GIS 的服务层次模型, 认为云 GIS 可分为云 GIS 基础设施服务、云 GIS 平台服务和云 GIS 应用服务这三个层次, 同时介绍了异构空间数据集成等云 GIS 关键技术。

李玮顾等人^[6]将 GIS 云服务分为软件、平台、应用和业务数据这几个层面, 并认为 GIS 云服务与 GIS 平台是不同的概念, GIS 云服务提供在线服务, 而 GIS 平台则提供软件。GIS 平台是 GIS 云服务的基础组成, 是服务终端的一部分。

从提供的云 GIS 服务类型来看, 云 GIS 平台可分为: a) 提供 GIS 数据和服务的云 GIS 平台; b) 提供 GIS 数据和应用的托管平台^[6]两类。从服务提供者的角度来看, 可动态伸缩在线提供计算和存储资源的能力是云计算的一个主要特征^[7]。本文设计实现的基于集群技术的可伸缩云 GIS 服务平台属于第一类。平台可同时为大量的相互独立 GIS 应用 (用户) 提供符合 OGC 标准的 GIS 服务; 另一方面, 平台具有高可伸缩性、数据源无关、可配置及按需提供服务能力等特性。另外, 平台的负载均衡功能, 可有效解决计算密集和并发密集的问题。

本文首先分析可伸缩的云 GIS 服务平台的特征和需求; 然后针对这些特征和需求, 介绍本文设计的云 GIS 服务平台的体系结构及具体实现方法; 接着对平台进行测试并分析了实验结果; 最后进行总结并对未来的工作作出展望。

1 可伸缩云 GIS 服务平台的特征

作为云 GIS 服务平台, 除了必须具备引言中所述的几个特征如可伸缩、按需服务等外, 还应具备以下一些 GIS 服务平台特有的特征。

收稿日期: 2012-03-29; **修回日期:** 2012-05-07 **基金项目:** 国家“863”计划资助项目 (2012AA12A401)

作者简介: 范协裕 (1985-), 男, 福建永春人, 博士研究生, 主要研究方向为网络空间信息系统 (xunbei100@yahoo.com.cn); 任应超 (1980-), 男, 山西太原人, 副研究员, 博士, 主要研究方向为网络空间信息系统; 杨崇俊 (1954-), 男, 四川资中人, 研究员, 主要研究方向为网络空间信息系统; 唐建智 (1985-), 男, 湖南永州人, 博士, 主要研究方向为网络空间信息系统; 易雄鹰 (1979-), 湖北黄冈人, 博士, 主要研究方向为网络空间信息系统。

1.1 可伸缩性

在本文中,可伸缩性是指空间服务能力及空间数据存储能力的可扩展性。从扩展方式方面又可分为横向可扩展和纵向可扩展。从服务对象方面,一方面指对多个用户不同的服务和存储能力可扩展性,如快速满足不同用户不同需求或者高并发请求的能力;另一方面指对同一个服务,其服务强度(如空间服务的计算复杂度和空间数据量)的可伸缩性。

1.2 透明的 GIS 数据访问接口

作为 GIS 服务提供者,平台的空间数据操作方式对用户来说是透明的。平台向下必须支持多种异构空间数据源,向上对用户透明、统一和标准的空间数据服务。用户通过统一的空间数据源配置方式来访问数据源中的空间数据。

1.3 可配置的按需服务能力

平台的服务能力必须是可配置的,可通过配置来按需增加或减少平台提供的服务能力。可配置的服务能力由多个层次组成,包括:

a)参与提供服务的空间服务器节点数。平台作为一个整体,向用户提供服务,而平台本身是由一个或多个服务节点组成。

b)各服务节点提供的服务实例数,每个服务节点通过具体的服务实例来提供空间服务。服务实例是运行在服务节点上的服务进程。

c)平台发布的空间服务。空间服务是平台向用户提供服务的一个逻辑单元,由各种空间信息操作服务、空间处理服务以及其他综合管理服务组成。作为一个云服务平台,平台必须能够向不同的用户提供相互独立、互不影响的服务实体。

d)空间服务的服务能力。一个空间服务单元可提供多种具体的空间服务,如可提供空间要素操作服务、空间分析服务等。这些服务能力都应通过配置来注册或注销。

e)空间服务中提供的空间要素。空间要素就是通常所说的图层,空间服务是对空间要素的操作、处理和分析。管理员可注册或注销空间服务操作的对象——空间要素(图层)。

以上各个层次组成了平台的服务能力,在平台中所有的这些服务能力都必须是可配置的。通过以上空间服务能力具体组成的可配置化来最终实现按需提供的平台服务能力。

1.4 标准化的空间服务

云计算的一个重要特点是将各种 IT 资源以服务的方式通过互联网提交给用户。而对应于云 GIS 空间服务平台,就是通过互联网将空间数据资源和空间处理能力以服务的方式交付给用户。空间信息共享和互操作的发展结果是 GIS 服务的标准化。开放地理信息系统联盟致力于制定空间信息的共享和互操作的规范^[8]。OWS(OGC Web services)是 OGC 提出的可扩展的、能无缝集成各种在线空间信息处理和位置服务的框架。框架包含了能够支持各种空间信息共享和互操作的服务、接口和标准的规范,主要包括网络地图服务(Web map service, WMS)、网络要素服务(Web feature service, WFS)、网络覆盖服务(Web coverage service, WCS)和网络处理服务(Web processing service, WPS)。OGC 制定的标准和规范已成为业界的标准,各大研究结构和企业都对 OGC 标准实现了支持。提供符合 OGC 标准规范的空间服务已经成为业界必然的选择。

1.5 友好的用户接口

友好的用户接口包括提供良好的管理接口和良好的二次开发接口两个方面。

以上构成了云 GIS 服务平台的基本特征。

2 平台的设计和具体实现

2.1 平台的总体设计

2.1.1 总体设计

Bhat 等人提出的云 GIS 软件体系结构分为 GIS server 和 Web 接口两个层次。本文设计的 GIS 云计算平台也包括 GIS server 和 Web 接口,但是为了实现可伸缩、按需服务的特性,本文设计的平台采用对等式分布式集群来提供统一的空间服务。如图 1 所示,物理上,平台是以可扩展的集群的形式存在,而逻辑上,整个集群是一个虚拟的空间服务层,向用户提供统一的空间服务。用户通过前端的 Web 服务器提供的管理接口来管理服务平台,以完成空间服务的注册、发布和数据源、空间要素的注册和注销等管理操作。同时前端的 Web 服务器还具有分发用户请求以实现集群的负载均衡的功能。

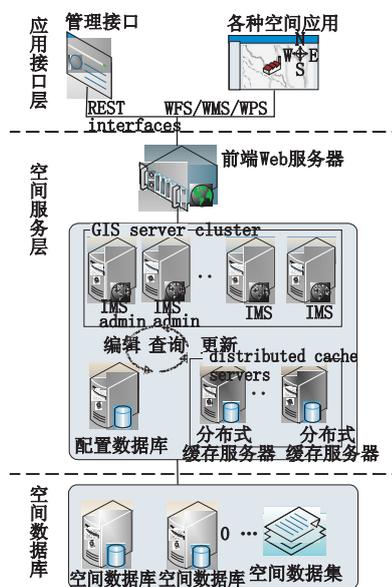


图1 平台体系结构

集群中的 GIS server 相互之间是对等的,对整个平台而言每个节点都不是不可替代的,进而保证了平台的健壮性。平台在某一时刻的服务能力和状态称为平台的服务状态。平台服务状态不会因为某个节点的失效而发生改变。如图 1 所示,为了实现平台服务状态的一致性以及其与单个节点的无关性,平台服务状态单独存储在配置数据库中。平台的状态更新和管理由不止一个的加载运行了管理实例(admin 实例)的 GIS server 来完成;而加载了空间服务实例(IMS 实例)的 GIS server 则负责实现各种空间服务。空间服务实例是各种标准的空间服务,即 WFS、WMS 和 WPS 等空间服务的提供者。通过前端 Web 服务器的请求路由功能把服务状态管理相关的请求重定向到配置加载了 admin 实例的 GIS server 中,以此实现对平台的服务管理。而所有的空间服务请求则通过前端 Web 服务器根据配置的负载均衡算法分发到各个 GIS server 中进行处理。常见的负载均衡模式有哈希模式、公平模式和交替轮询模式等。由于平台具有统一的服务状态,保

证了不同的 GIS server 对同一个空间服务请求的处理结果的一致性。

对每个服务请求, GIS server 首先都要查询配置数据库以验证请求的合法性。为了减少 GIS server 在查询服务状态时对配置数据库的压力, 并且为了防止出现多个 GIS server 对配置数据库进行同时访问而造成的系统瓶颈, 平台通过建立缓存服务器集群来缓解配置数据库的压力, 缓存集群也可向应用层提供缓存服务。一方面, 由于管理进程不是平台的空间服务提供者, 压力较小, 因此只需配置少量的 GIS server 节点运行管理实例来负责更新配置数据库及其对应的缓存记录; 另一方面, 空间服务实例在接收到请求需要查询服务状态时, 首先会试图从缓存服务器来获取服务状态, 当失败后再查询配置数据库, 然后把得到的记录条目保存在缓存服务器中。因此对同一服务单元且相同图层的请求实例而言, 只需操作一次配置数据库, 此后针对同一服务和图层的请求配置信息则可直接从缓存服务器中获取, 进而避免对配置数据库产生过大的压力。GIS server 通过分布式缓存客户端与缓存服务器进行通信。可根据平台 GIS server 节点的增加而增加分布式缓存服务器的数量, 进而保证在 GIS server 节点数量很大的情况下缓存服务器的快速响应能力。可配置数量的缓存服务器保证了集群的横向扩展能力。

2.1.2 GIS server 设计

平台的每个 GIS server 既可单独对外提供服务, 也可作为平台的一个节点提供空间服务(WFS、WMS 和 WPS)。当作为单独服务器对外提供服务时, 使用本地持久化配置文件或数据库代替网络关系数据库作为配置数据库。

GIS server 由用户接口层、空间信息服务层、空间数据操作层和空间数据层四层组成。用户接口层接收用户的请求, 由于平台提供符合 OGC 标准的空间信息服务, 所处理的请求都符合 OWS 中制定的标准。空间信息服务层负责解析请求——KVP(key value pair) 和 XML 模式, 并通过空间数据操作层访问空间数据, 然后进行封装(WFS)、处理(WPS)或绘图(WMS), 最后以符合 OGC 标准的格式返回。

为了保证异构空间数据源对用户透明, GIS server 根据简单要素访问标准(simple features standard, SFS)中设计的空间要素的数据模型开发了空间数据操作层^[9]。空间数据操作层包含支持各种异构空间数据库的空间数据操作引擎, 获取的结果集根据 SFS 设计的空间要素模型进行封装。对上层模块来说, 空间要素是一系列使用 WKT(well-known text)或 WKB(well-know binary)表示的点、线或面数据组成的对象或对象集合。对于用户来说, 空间数据源只是一个标志字符串。标志字符串包含了空间数据库类型标志符、服务器地址、端口、登录名及口令这些字段。

2.1.3 Web 接口设计

由于平台提供的是符合 OGC 标准的空间信息服务(WFS、WMS 和 WPS), 因此能处理符合标准的服务请求。OGC 服务的请求有 KVP 和 XML 两种方式。用户可在自己的应用平台中构造标准的 HTTP 请求, 并通过 get 或 post 方法来发送请求。本文最后将展示利用平台提供的服务作为二次开发接口实现的具体应用。平台提供的管理操作接口是通过 HTTP 这种 REST 方式(representation state transfer)提供的。

2.2 具体实现

2.2.1 技术路线

如图 1 所示, 一方面平台的前端 Web 服务器必须能够实现请求的重定向、分发及负载均衡, 并且能够实现服务节点的按需配置; 另一方面, 平台的服务节点也必须实现服务实例的可配置。Lighttpd 是一款优秀的开源反向代理服务器, 可以利用它来搭建基于反向代理的服务器集群^[10]。在接收到并发请求时, 可根据 Lighttpd 服务器配置的算法, 将请求分发到集群的各个节点中。FastCGI 是基于多线程的常驻内存的 Web 开发模块, 结合了 CGI 和 Server API 的多进程、服务器无关性以及支持分布式集群等优点^[11]。因此, 本文选用 Lighttpd + FastCGI 作为开发平台, 同时利用 C++ 开发 FastCGI 模式的空间服务实例。Memcached 是一款性能优秀的开源分布式内存对象缓存系统, 通过在内存中缓存对象来减少数据库读取的次数^[12], 并在客户端实现了分布式存储功能, 本文选用 Memcached 来构建分布式缓存集群。

2.2.2 具体实现方法介绍

可配置的服务节点和服务实例可通过 Lighttpd 提供的配置功能来实现。同时 Lighttpd 提供了内置的请求重定向和负载均衡功能, 可支持前段 Web 服务器的实现。

GIS server 是平台服务的运行实体。本文开发的空信息服务 IMS 实现了 WFS、WMS 和 WPS 三个标准服务模块。IMS 以插件方式加载各个模块, 每个服务模块都包含有请求分析、处理和结果封装三个子模块。空间数据操作层实现了可对多种数据源进行操作的空间数据引擎, 支持 PostGIS、ArcSDE、SuperMap 等空间数据库和 Shapefile 文件, 与 IMS 一样, 也是以插件形式开发, 以实现按需配置加载。

管理操作接口使用 Flex 开发, 通过平台提供的 REST 管理接口实现对平台的服务、服务的图层, 以及数据源的注册、注销、增加和删除等管理功能。

3 应用实例和分析

3.1 平台伸缩性及性能分析

为了验证平台的伸缩性和处理高并发、大计算量请求的能力, 设计了在不同节点数和并发数下对平台的空间服务请求实验, 使用 WMS 绘图请求进行测试。WMS 是根据用户的查询条件获取空间要素并进行地图绘制和渲染的服务, 是典型的计算密集型的空间服务。在高并发情况下, 处理 WMS 请求的能力能较好地反映空间服务平台的服务能力。

平台使用 7 个安装了 64 位 CentOS 5.5 操作系统作为节点, 各节点配置一致, 内存为 4 GB, CPU 是主频为 2.49 GHz 的双核处理器。其中 1 个节点作为前端 Web 服务器, 另外 6 个安装了 GIS server。每个 GIS server 都装载并配置了 5 个 IMS 服务实例, 并且其中有 2 个 GIS server 同时作为分布式缓存服务器提供对配置数据库的缓存服务。使用一台配置了 2.66 GHz 四核处理器、4 GB 内存且安装有 PostgreSQL 8.4.4 + PostGIS 1.5 空间数据库的服务器作为空间数据源。WMS 绘制的是一张包含城市、国家边界和河流的世界地图, 数据概况如表 1 所示, 效果如图 2 所示。

图 3 是配置了不同数目的 GIS server 时, 处理不同并发数请求的平台平均响应时间和多 GIS server 相对于单 GIS server

在处理相同并发数请求时的加速比。

表1 WMS绘图使用的空间数据

图层	类型	记录数
cities	点	607
countries	面	164
rivers	线	101



图2 WMS地图绘制结果

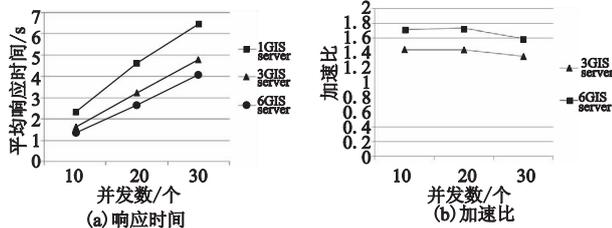


图3 并发请求处理响应时间和加速比

如图 3 所示,平台作为一个并行服务系统在处理同样的请求业务时(把多个并发的请求作为一个业务),其加速比随着参与服务的 GIS server 数目的增加而增加(加速比从 1.4 左右增加到 1.77 左右),并且对不同计算量(并发数量不一样)的并发业务而言,其加速比比较稳定。

例如处理 10 个并发与 20、30 个并发业务相比较,加速比并没有随着并发量而发生显著下降。考虑到所请求的 WMS 服务需要首先从空间数据库中获取空间数据,在高并发情况下,空间数据库的并发响应会成为平台的瓶颈。例如平台中有 6 个 GIS server 时,每个 GIS server 配置运行 5 个 IMS 空间服务实例,在高并发负载下,同时会有 30 个数据库连接,势必影响到平台的总体服务能力。而在作为空间服务平台时,同时向不同用户提供使用不同数据源的服务,可避免类似的性能瓶颈。

另一方面,平台的整体服务能力随着参与的 GIS server 数量的增加而增强。图 4 是平台在不同并发下的平均吞吐量,可以看到其平均吞吐量的增加。

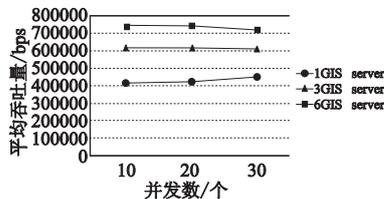


图4 平台的平均吞吐量变化

3.2 云 GIS 服务平台特征分析

本文第 1 章介绍了云 GIS 服务平台的五个特征,下面将对对比这五个方面来分析本文实现的云 GIS 服务平台。如 3.1 节实验所示,平台具有很强的横向扩展能力,而在纵向扩展方面,特别是对海量空间数据的支持方面仍然依赖于空间数据库的支持。平台的空间数据访问层可支持多种空间数据源的操作和访问,插件式的架构提供了支持更多空间数据源的可扩展能力。如图 5 所示,平台的管理界面提供了服务、服务支持的能力(WFS、WMS 或者 WPS)、图层和数据源的可配置接口,简单易用。而对平台的横向扩展的配置,需要修改相应的配置文件,并重启集群相应的节点。标准支持方面,平台提供的是 OWS 框架下标准的 WFS、WMS 和 WPS 服务,因此也能提供相应的标准调用和操作接口。

3.3 平台应用实例

图 5 展示了使用平台管理界面发布的空间服务。图 6 展

示了利用该平台发布的 WFS 服务开发的应用系统,该系统目前在线上运行,并取得了良好应用效果。

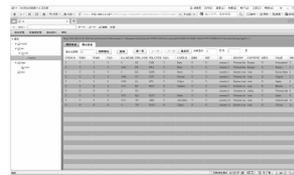


图5 平台管理界面



图6 具体应用实例效果

4 结束语

本文分析了云 GIS 服务平台的需求和特征,设计开发了一个可伸缩的云 GIS 服务平台。实验及结果显示,平台具备了所述的大部分需求和特征,即具备了可伸缩、按需、数据源无关、易于横向扩展等特征,同时也能处理高并发、计算密集型请求。最重要的是平台具备按需向不同用户提供相互独立的 GIS 服务的能力。

平台还存在两方面的不足:a)虽然可通过增加扩展 GIS server、服务实例和服务单元数量、请求负载均衡等来实现横向扩展,但是当面对单个服务空间数据海量增长的问题时,还依赖于空间数据源提供的扩展能力;b)平台 GIS server 和空间服务实例横向扩展的在线配置功能还有待实现。这两方面都是未来需要继续深入研究的重点。

参考文献:

- [1] MELL P, GRANCE T. The NIST definition of cloud computing (draft) recommendations of the national institute of standards and technology[J]. NIST Special Publication,2011,145(6):1-2.
- [2] FOSTER I, ZHAO Yong, RAICU I, et al. Cloud computing and grid computing 360-degree compared[C]//Proc of Grid Computing Environments Workshop. Austin, Texas: IEEE Press, 2008:1-10.
- [3] YANG Chao-wei, MICHAEL G, HUANG Qun-ying, et al. Spatial cloud computing: how can the geospatial sciences use and help shape cloud computing[J]. International Journal of Digital Earth,2011,4(4):305-329.
- [4] BHAT M A, SHAH R M, AHMAD B. Cloud computing: a solution to geographical information systems (GIS) [J]. International Journal of Computer Science and Engineering,2011,3(2):594-600.
- [5] 吴边,吴信才. Cloud GIS 关键技术研究[J]. 计算机工程与设计, 2011,32(4):1342-1346.
- [6] 李玮,郝香山,程俊来. GIS 云服务平台体系架构与技术实现[J]. 测绘与空间地理信息,2011,34(Supp):58-63.
- [7] SCHFFER B, BARANSKI B, FOERSTER T. Towards spatial data infrastructures in the clouds[C]// Proc of the 13th AGILE International Conference on Geographic Information Science. Guimaraes, Portugal: Springer,2010:399-418.
- [8] The OGC home [EB/OL]. <http://www.opengeospatial.org/>.
- [9] HERRING J R. OpenGIS® implementation specification for geographic information-simple feature access-part 1: common architecture [EB/OL]. [2006]. http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=25355.
- [10] The lighttpd website[EB/OL]. <http://www.lighttpd.net/>.
- [11] 唐建智,任应超,杨崇俊,等. 基于 FastCGI 的分布式集群 WebGIS 研究[J]. 计算机应用研究,2011,28(8):2978-2981.
- [12] The memcached home[EB/OL]. <http://memcached.org/>.