基于 Agent 技术的分布式虚拟地理信息系统研究

李谦，李满春，花强
（南京大学城市与资源学系，南京　210093）

【摘　要】在传统多维 GIS 技术的基础上，结合虚拟现实技术与分布式计算技术的发展形成了新型分布式虚拟地理信息系统。分布式虚拟地理信息系统在推动虚拟现实技术和 GIS 应用的同时也提出了诸如网络资源搜索效率低下等新问题，本文从智能计算和分布式处理的角度将 Agent 技术应用分布式虚拟地理信息系统中，提出了区别于传统网络虚拟地理信息系统的系统架构，并在此基础上详细阐述了 Agent 技术在分布式虚拟地理信息系统的分布式协同计算和网络搜索方面的应用优势，最后采用 IBM 公司开发的 Aglets 系统对 Agent 技术在分布式虚拟地理信息系统中的应用作了初步的效率检验，证实了其广阔的应用前景。

【关键词】Agent；分布式；虚拟地理信息系统；ADVGIS；Aglets
【中图分类号】TP391　　【文献标识码】A　　【文章编号】1009-2307(2006)06-0121-03

1　引　言

计算机图形技术和人机接口技术的发展，改进了人与计算机信息交互的手段。而虚拟现实技术在可视化方面的优势催生了结合虚拟现实技术和地理信息技术的虚拟地理信息系统(Virtual GIS，简称 VGIS)。虚拟 GIS 与网络结合，向分布式虚拟 GIS(Distributed Virtual GIS，简称 DVGIS) 发展是当前虚拟 GIS 发展方向之一[1,2]。随着分布对象计算技术和软构件技术的发展，先后出现了 ActiveX/DCOM，JAVA/RMI 和 CORBA 标准推动着网络计算模式的发展。但是这些常规的分布式计算技术受限于经典的客户/服务器(C/S)计算模型，即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，客户与服务器之间的交互关系仅限于客户主动请求和服务器被动响应的非对等关系[3,4]。

随着结构和计算机控制技术的技术处理和系统复杂度的增加，使得传统网络计算模式作为单一结构的设计、维护以及中央控制系统的监视都变得非常困难，而分布式人工智能(Distributed Artificial Intelligent，简称 DAI) 则是很好的解决办法，Agent 技术正是在这样的背景下应运而生的。

2　Agent 技术的概念

Agent 概念来自于分布式人工智能领域，一般把分布式系统中持续自主发挥作用、具有自主性、交互性、反应性和主动性特征的，活着的计算实体称为 Agent。Agent 技术最重要的作用是它提供了一种全新的软件设计思想，它可以在改进分布式系统的协同性，空间信息查找与获取以及辅助决策方面发挥其特殊的优势[3]。

移动 Agent 分布计算模式是代码移动相关模式的最新发展，和经典代码移动相比，具有更强的能力和更灵活的弹性(图1)。Agent 迁移主要是计算状态和计算上下文(Context)按照迁移信息进行物理转移的过程，因此在迁移前 Agent 必须将运行状态和运行上下文进行封装，借助于网络的数据传输能力和协作信息缓存、缓冲、转发以及容错处理的支持进行迁移[5]。Agent 可以实现在网络环境中连续运行，不断自主地寻找网络上的资源来完成自己的任务，具有很强的智能性。同时由于 Agent 是一种代码移动，它将功能和数据封装起来带到各个主机上进行局部交互，大大减轻了网络负载。并且因为移动 Agent 支持间断计算，所以其可以避免因为网络问题而失效。

3　Agent 技术在 DVGIS 中的应用

分布式虚拟 GIS 的技术难点在于如何能够真正实现共享空间和多用户操作，以及如何更好地实现分布式协同和群体决策等方面。因此，Agent 技术在分布式虚拟 GIS 中大有作为，每个 Agent 可作为分布式虚拟 GIS 中的化身(Avatar)高度智能化地在异构网络中自主移动，寻找合适的资源并在当地主机上处理后再返回到本地，而且若干个 Agent 可以在网络中相互通信和合作，共同完成某一任务[6,7]。本文采用 Java 语言开发各种原型系统，探讨 Agent 技术支持下的分布式虚拟地理信息系统(Agent-based Distributed Virtual Geographic Information System，简称 ADVGIS) 的工作原理、系统设计以及系统结构。

3.1　ADVGIS 的原理

当前分布式系统使用最多的分布计算模式 Remote Procedure Call(RPC)是使用“模式”概念进行 Message Processing(MP)的“封装”，简化了原 MP 的使用，但是它不够灵活、坚定性不强。随着 Internet 的迅速普及，分布式虚拟 GIS 对信息检索、网络管理和协同工作提出了更高的要求，原有的分布计算技术越来越不能适应快速发展的网络技术。移动 Agent 概念的提出，为有效地解决上述问题提供了理想的途径，所以 ADVGIS 作为综合了网络和人工智能等新技术的系统，利用了 Agent 的移动性、主动性、跨平台运行等特性，使得网络在逻辑上可以看作是一个巨大的信息体，而不管其内部的信息是如何组织的，来达到网络信息搜索的智能化和真正的信息共享[3,8]。

引入 Agent 技术后，分布式系统正朝着分散对等的协同计算的理想模式发展，ADVGIS 的结构总体上还是分成客户与服务器两大部分，其中 ADVGIS 将尽量减少对客户在软、硬件方面的要求，而在服务器端则借助于移动 Agent 技术以对等网络(Peer-to-Peer，简称 P2P) 的方式实现网络资源的高效共享和互操作。网络上的各个移动 Agent 以服务器代理的身份彼此互相通信并能为对方提供必要的服务，并且 ADVGIS 采用混合式 P2P 方式(图2)，即网络上存在一

作者简介：李谦(1982-)，男，江苏人，硕士研究生，主要研究方向为 GIS 设计与应用、虚拟现实等。
E-mail：poplee1982@yahoo.com.cn

收稿日期：2006-02-27
基金项目：教育部“高校青年教师奖”资助

个结点负责存储网络资源和功能分布等黄页信息以方便搜索与共享，从而有效利用了 Agent 技术将整个网络有机地联系起来，实现服务器之间的协同运行。

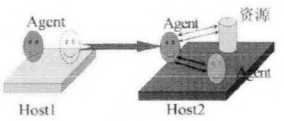

图1 分布计算模式

图2 混合式 P2P 网络体系结构

在 ADVGIS 中，用户登陆 ADVGIS 的服务器并通过身份验证后，服务器将向用户发送一个包括图形用户界面(GUI)的 Applet，GUI 帮助用户提交查询等操作。当服务器收到用户的请求后，它将首先在本机上搜索资源以完成任务，如果本地不能完成任务，服务器将会发送 Agent 到网络上以 P2P 方式去自主地搜寻所有可能的资源来完成任务，而在搜索过程中，各个 Agent 之间还可以互相通讯来实现协同、高效地工作。当所有 Agent 完成任务带着结果返回后，它们将共同为用户提供服务，将结果以 Java 脚本或 Applet 形式传送回用户。然后客户端一般只需通过外部应用接口(External Application Interface，简称 EAI) 实现各种 JAVA 脚本或 Applet 在浏览器(如 VRML/X3D) 上的显示和操作，这样用户就可以方便地实现人机交互，完成各种任务。

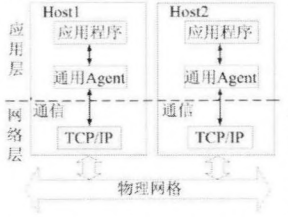

图3 ADVGIS 分层体系结构图

3.2 ADVGIS 的系统设计

ADVGIS 在物理网络上的应用主要分为网络层和应用层两部分。网络层上仍然采用 TCP/IP 协议实现物理网络上的通讯，而在应用层上则是在传统分布式系统基础上改进交互协议，利用 Agent 技术实现各个主机之间的互操作(图3)。

通用 Agent 是本系统的关键，一般包括移动 Agent 应用、移动 Agent 和移动 Agent 环境三部分，它将虚拟环境中的各个化身(Avatar)设计成互操作的个体，将其设计成 Agent 个体并通过多 Agent 系

统的固有属性构造出多 Agent 协作模式，达到实体间互操作和实体重用的目标。而 Agent 作为 Avatar 的代理，它接受用户请求，查询自己的知识库，如果本地能实现用户的任务，就直接调度本地资源实现用户请求，否则将到网络上寻找合适的资源完成任务并返回结果给用户。移动 Agent 是将整个网络作为计算平台的，很可能在不同的计算环境中自主地执行。ADVGIS 利用 Agent 技术将功能和数据封装成独立的单元，这种单元 Agent 屏蔽了异构环境带来的互操作问题，因为它们本身采用基于本体论(Ontology)的语义匹配实现 Agent 交互中可能发生的语义冲突，达到互操作软件实体间基于语义的接口匹配，从而能够提供数据转换和相应功能接口。

3.3 ADVGIS 的系统结构

ADVGIS 的重点在于服务器的内部结构，分布于网络上的各个服务器如何能够实现资源共享与互操作都要凭借内部结构的合理组织来实现[9]。

ADVGIS 中的服务器一般由 Web Server、VGIS Server 和 Mobile Agent Server 组成，此外还包括系统管理员、空间数据库等部分(图4)。这里 Web Server 主要负责服务器与客户端之间的交互，接受用户的请求，监控访问过程以及记录访问日志等。VGIS Server 主要是采用紧耦合的方式将 GIS 和 VR 系统集成起来，二者通过空间数据引擎共享空间数据库，GIS 则负责空间数据的存储、管理、处理以及空间分析和决策，而 VR 系统通过资源管理、场景管理、协同交互管理、时间管理和事件管理等模块完成三维场景动态建模，协同交互以及多用户操作的任务。

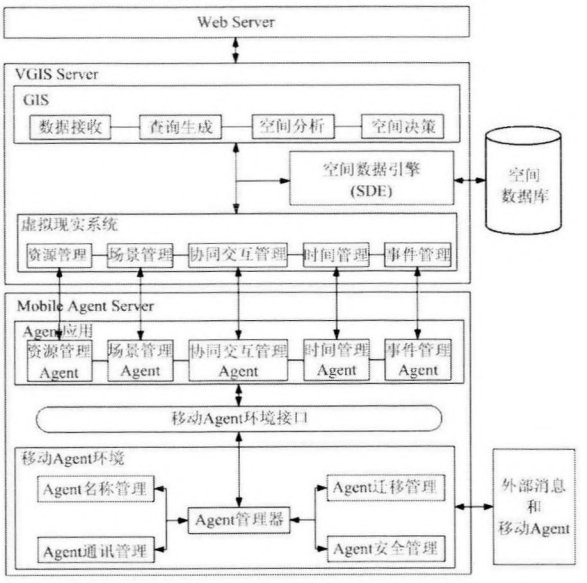

图4 ADVGIS 服务器结构图

在 ADVGIS 中 Mobile Agent Server 是重点，通过设立与 VR 系统对应的 Agent 来扩展传统的虚拟现实系统的功能，利用 Agent 的智能性增强虚拟 GIS 处理基于地学过程模型的虚拟环境的能力，同时 Agent 管理器可以帮助实现分布式协同工作，推动虚拟 GIS 更好地为群体决策服务。其中，Agent 在网络迁移中可以智能地代表 Avatar 通过知识获取操作语言(Knowledge Query and Manipulation Language，简称 KQML) 等技术实现彼此的协同交互来更高效、合理地完成各种任务。

4 ADVGIS 的性能评价

当前应用较多的移动 Agent 系统有 Aglets、Concordia、Agent Tcl 和 Mole 等，ADVGIS 采用了 IBM 公司的 Aglets 系统进行开发，它应用 applet 的流动性来增强系统中 Agent 的移动性，同时还借助 applet 的上下文技术来拓展自身的 AgletContext，并提供了很实用的消息机制。

目前，分布式虚拟 GIS 正向着海量数据的方向发展，数据量呈现几何级的增加，这样对计算机设备的计算能力和网络性能提出了更高的要求。在硬件设备方面，传统的分布式系统由于采用主从式模式，这就要求改造网络，增加带宽来扩展服务；而 ADVGIS 则利用了 Aglets 系统所拥有的 P2P 模式来增加网络利用密度，提高网络利用率，对计算机的要求也相对较低。在计算性能上，传统方法以传输数据为主，需要处理的数据量很大，服务器硬件条件一定的情况下，其服务时间长，而当用户数量大量增加时还会使得任务等待处理时间大为增加。与之相反，ADVGIS 中的 Agent 技术传输的是运算程序，其传输的数据量远小于传统方式，服务器的服务时间和任务等待时间都会大量缩短。为了检验传统分布式系统和基于 Agent 技术的分布式系统的性能，本文假定同时有 100 位用户在网络条件完全相同的情况下进行同一空间分析并三维显示结果的任务，应用 ADVGIS 系统对服务器响应时间进行了模拟。结果显示随着用户数的增加，ADVGIS 响应时间的增长速度远低于传统系统，而在实际应用中网络条件并不一定能一直保持理想状态，用户数也无法确定，Agent 技术在这些方面还有更为突出的优势，所以基于 Agent 技术的分布式虚拟 GIS 在性能上比传统的分布式系统有着显著的优势。

(下转第79页)

点、多数控制点(检查点)都能达到精度要求，而且精度较高，平面反求点(检查点)一般不超过 1m。

此外，我们也对外业非常规的布点(距影像边缘不足 1.0cm) 进行了检查反求，根据检查结果表明，反求的精度较高，说明数码影像的影像边缘变形不大，控制点可以布设在靠近影像边缘的地方，整片影像可以尽量使用。

以下是 P012、P016 当做控制点时的解算结果

3016　382152.069　2776227.230　3.380　HV 3　0.270　0.832　0.273

3012　379090.717　2776250.588　30.785　HV 3　-0.072　-0.063　-0.083

以下是 P012、P016 当做检查点时的解算结果

3016　382152.069　2776227.230　3.380　HV 3 -> TP 3　0.578 *　1.241 *　0.007 *

3012　379090.717　2776250.588　30.785　HV 3 -> TP 3　-0.399 *　0.302 *　-0.253 *

3) 模型连结强度分析

外业像控控制点点数共 209 个，其中 6 度重叠的控制点有 151 个，占总数的 72%，3、4 度重叠的控制点有 58 个，点总数的 28%。

空三加密点点数约 4900 个，其中 6 度重叠的加密点约 750 个，约占总数的 15.3%，2 度重叠的加密点约 260 个，约占总数的 5.3%，3 度重叠的加密点约 3050 个，占总数的 62.2%，4、5 度重叠的加密点约 840 个，约占总数的 17.2%。

从以上的统计数据可以看出，数字空中三角测量的模型连结强度是很强的，不仅表现在加密点数量多，而且高重叠度加密点的数量也很多，有利于模型的连结。

根据对实验结果的分析，在这次利用泉州 4000km^2 的新航摄的 DMC 数码航摄影像制作数字正射影像图时，我们认为可以采用以下布点方法进行外业像控联测，为内业空三加密提供外业控制成果。即 15 条基线、5 条航线的四个角位处布设平高点，中间加测一个高程点或平高点。

3.6　与现行技术规范不一致性的技术分析

航摄 1:16000 影像资料制作 1:5000 正射影像图，以 1:16000比例尺、1:5000 成图精度、120mm 航摄主距，根据传统技术规范进行估算，航向基线跨度为 5 ~ 6 条，旁向控制点间的跨度丘陵地不大于 2 条航线。而在这次实验区中，根据实验结果，外业像控按 15 条基线、5 条航线、中间加布一个高程点或平高点即可达到规范的精度。根据分析我们认为，数字摄影测量的空三加密，上下、左右模型之间的连接强度大大增强，相对定向的点数大大增加，模型连接点及加密点的数量大大增加，刺点及转点的精度大大提高，基于自动匹配的观测值精度大大提高，加上 DMC 影像幅面较小，像对的基线较短(基线长不到传统航摄资料的一半)，因此，把基线长提高到与传统航摄资料接近的长度，空三加密也可达到精度要求。根据已有规范，外业像控点距相片边缘不得小于 1cm(18cm × 18cm)，这主要考虑到影像的边缘变化较大，对空三加密的成果有影响，而对 DMC 影像而言，由于影像是由四张影像拼接而成的，加上相机的镜头较小，影像的边缘变形就很小，控制点布设在影像边缘不会影响空三加密成果，这与实验的结果是相一致的。

4　总结

通过本次的实验和分析，我们得出以下结论：

1) 丘陵地区 1:16000 DMC 数码航摄影像在制作数字正射影像图时，可以采用以下布点方法进行外业像控联测，为内业空三加密提供外业控制成果。即 15 条基线、5 条航线的四个角点处布设平高点，中间加测一个高程点或平高点。

2) 基于数字摄影测量系统的自动空三加密，不必严格按照传统解析空三的区域布点要求，可大大提高控制点间的基线数和航线数，1:16000 DMC 数码航摄影像可采用 15 条基线、5 条航线的四个角点处布设平高点，中间加测一个高程点或平高点的方案进行作业。其他航摄比例尺的 DMC 数码航摄影像可参考本次实验结果及成图比例尺要求进行综合考虑。

3) DMC 数码影像在影像边缘变形不大，可不必考虑传统航空影像对影像边缘的一些严格规定，即外业像控点可布设在影像的边缘或靠近影像边缘的位置。

参考文献

[1]　张祖勋．航空数码相机及其有关问题［J］．测绘工程,2004，(4)：1-5.

[2]　VirtuoZo AAT 使用指南［Z］．武汉：武汉适普软件有限公司，1998.

[3]　GB/T13990-92.《1:5000、1:10000 航空摄影测量内业技术规范》［S］．北京：中国标准出版社，1993.

[4]　GB/T13977-92《1:5000、1:10000 航空摄影测量外业技术规范》［S］．北京：中国标准出版社，1993.

(上接第 122 页)

5　结束语

移动 Agent 技术是一门新兴的分布式计算技术，本文在分析了基于 Agent 技术的分布式虚拟 GIS 的工作原理后，对该系统从系统设计到系统结构进行了详细阐述，利用 Agent 技术的特点和优势，克服现有分布式虚拟 GIS 在协同交互、资源共享和互操作等方面的缺点，为分布式虚拟 GIS 的推广应用提供一种灵活高效的技术手段。

网络系统日益复杂，本文只是初步探讨了 Agent 技术在分布式虚拟 GIS 中的应用，很多诸如地学知识与 Agent 知识库的结合、Agent 间的智能通讯等问题还有待于进一步研究与实践。

参考文献

[1]　戚铭尧，舒广，池天河．基于 Agent 多用户参与的虚拟地理环境［J］．系统仿真学报,2004，16(5)：1092-1095.

[2]　龚建华，林珲．分布式地学虚拟环境研究［J］．中国图象图形学报,2001，6A(9)：879-885.

[3]　程显毅．Agent 计算［M］．哈尔滨:黑龙江科学技术出版社，2003.

[4]　谢传节，周成虎，林珲．基于 XML 和 CORBA 的网络虚拟 GIS 设计［J］．测绘科学,2002，(1)：66-70.

[5]　陶先平，吕建，马晓星，胡昊．移动 Agent 系统基准模型的研究［J］．电子学报,2002，30(12A)：2119-2121.

[6]　李琦，黄晓斌．基于 GeoAgent 的地理信息服务［J］．测绘通报,2002，(6)：44-47.

[7]　王英杰，袁勘省，余卓渊．多维动态地学信息可视化［M］．北京:科学出版社，2003.

[8]　吕建，张鸣，廖宇，陶先平．基于移动 Agent 技术的构件软件框架研究［J］．软件学报,2000，11(8)：1018-1023.

[9]　Jihong Guan, Shuigeng Zhou, Aoying Zhou. Mobile-Agent Based Distributed WebGIS［J］. Lecture Notes in Computer Science, 2001, 2172: 53-66.