

# 基于 Mobile Agent 技术的空间信息移动服务

方志祥<sup>1</sup>, 李清泉<sup>1,2</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; 2. 武汉大学 空间信息与数字工程研究中心, 湖北 武汉 430079)

## Mobile Spatial Information Service Based on Mobile Agent technology

FANG Zhixiang<sup>1</sup>, LI Qingquan<sup>1,2</sup>

(1. National Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. Research Center of Spatial Information & Digital Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** The state art of mobile spatial information service is analyzed in detail, and the technology schemes and its limitations are also described. Then the definition and application feature of mobile spatial information service are generalized on the base of the first section, and a mobile agent based mobile spatial information service model is presented, which adopted mobile agent technology, WAP, XML, SVG, SOAP, middle are and J2EE/ J2ME to provide basic function of mobile computing, separation of data and functions, and facilitate it with constructability, autonomy, mobility, collaboration, security, intelligence, parallel computing, asynchronously computing, etc. The procedure of common application algorithm is depicted by means of using this model, and shows an result of shortest path planning in order to illuminate the feasibility, superiority and efficiency. At last, this paper concludes the merits of mobile spatial information service based on mobile agent technology, and points out the future direction of mobile spatial information service, that is ones based on pervasive computing.

**Key words:** mobile spatial information service; mobile agent; middleware; pervasive computing

**摘 要:** 首先详细地分析空间信息移动服务的研究现状、技术路线和局限等问题,在此基础上概括空间信息移动服务的涵义与特征,然后提出一种基于 Mobile Agent 技术的空间信息移动服务模型。该模型集成移动代理(Mobile Agent)、WAP、XML、SVG、SOAP 和 J2EE/ J2ME 等技术,可以实现空间信息的移动计算、空间数据与服务功能的完全分离等,并且该模型还具备易构建性、自主性、移动性、协作性、安全性、智能性、并行计算和同异步处理等特性和良好的可扩展特征。针对此模型框架给出应用案例的算法描述及其结果,最后总结基于此模型的空间信息移动服务的一些优点,同时也指出向普适计算模式的空间信息服务发展的必然趋势。

**关键词:** 空间信息移动服务; 移动代理; 中间件; 普适计算

“21 世纪信息技术将取得飞速发展,并将在很大程度上改变人们的生活和工作方式,信息技术也将在未来科学技术发展中发挥巨大作

用。”<sup>[1]</sup>。现代移动通讯技术和通信业务的飞速发展成为 GIS 应用的移动化方向提供坚实的技术支撑,并指明了一种应用前景非常广阔的增值服

务: 空间信息移动服务。

## 1 空间信息移动服务研究现状

目前许多的研究机构、GIS 软件厂商和数据库软件供应商都纷纷提出自己的空间信息移动服务技术体系和解决方案,从而形成了空间信息移动服务百家争鸣的局面: Sun、Oracle 和 MapInfo 公司采取 Java2 技术和 MapXtreme 中间件技术推出 Java Location Services 平台; OGC 的 Open Location Services Initiative(OpenLS) 提出由一个开放的位置服务平台 GeoMobility Server 和若干 OpenLS Abstract Data Types (ADTs) 组成的 LBS (Location Based Service) 体系; ESRI 利用 GIS 开发平台优势, 提出由 Spatial Server, Connector, Toolkits 以及 ArcPAD 等移动终端组成的 ArcLocation 解决方案; Mapinfo 提出 Mobile Location Services 概念框架并构建 miAware™ 平台为 LBS 服务; Oracle 把 Oracle Spatial 集成于 Oracle9iAS Wireless 中, 提出 LBS 集成框架支持许多空间服务; 2000 年 Motorola, Ericsson 和 Nokia 发起的 LIF(Location Interoperability Forum) 开发和提出通用 LBS 的解决方案和基于 HTTP, SSL/TLS 和 XML 的移动定位协议 (Mobile Location Protocol); Intergraph 的 IntelliWhere LocationServer 集成 OGC, OpenLS, LIF, XML, Web Services 等工业标准提供基于 XML 的空间信息服务; 李清泉教授提出“空间信息应用服务与空间数据相独立, 空间信息服务基础平台与面向专业的平台相独立”的空间信息移动服务解决方案可以在服务平台上建立面向不同领域应用服务。总的来说, 这些空间信息移动服务基本上都采用移动通信与互联网络为其提供通信平台<sup>[1~3]</sup>, 实现三层构建模式 (表现层、中间层、数据层) 来组织移动服务系统, 为移动终端提供地理编码、邻近查询、地名查询、点击查询、范围查询、路径规划、地图服务、导航定位服务、语言提示、实时信息发布等功能<sup>[2]</sup>, 其应用领域主要是导航服务、图形服务、公众查询服务、政府职能部门服务等。这些服务或多或少都存在一些局限: 服务方式不够智能, 不易动态调整服务模式 (在线或离线); 服务过程中一直占用带宽, 通信带宽利用率较低, 形成很大程度的浪费; 由于移动终端平台或硬件的原因, 其表现模式较为单调, 不易扩展。动态决策分析能力较差: 终端设备环境变化后缺乏快速自适应机制, 自治能力

较弱, 高层次的决策分析难以进行; 服务扩展机制不完善, 基本上不具备移动计算能力等等。

鉴于以上的这些局限性, 许多研究者纷纷采用 Mobile Agent 技术来解决类似的问题: 北京大学的 GeoAgent 作为地理信息服务的载体, 动态装配应用所需的功能, 提供个性化的服务, 具备共享和可操作特性<sup>[4]</sup>; 武汉大学的 MADGIS(基于移动 Agent 的分布式 GIS) 解决了动态互联网中分布存储的海量地理信息的检索、分析和共享问题<sup>[5~7]</sup>; San Diego State 大学的 GEOAGENT 提供全球范围内访问可利用的地理信息和分布式地理信息服务<sup>[8]</sup>。GeoAgent<sup>[4]</sup>和 GEOAGENT<sup>[8]</sup>本质上是用 Agent 来取代 GIS 组件的功能, MADGIS 利用移动 Agent 的移动性、自主性和灵活性来克服传统数据访问方法在 (移动) Internet 环境下的局限性<sup>[7]</sup>。本文将利用 Mobile Agent 技术来构建空间信息移动服务框架, 探索在移动通信网络下空间信息服务的技术路线, 实现移动通信网络和 Internet 网络逻辑无缝集成应用, 提供支持固定终端和移动终端的空间信息移动服务。

## 2 空间信息移动服务概念与特征

### 2.1 概念

尽管目前空间信息移动服务研究较热, 但是还没有形成统一的定义。本文结合空间信息移动服务应用需求、体系结构和支撑技术等方面给出一个初步概念: 空间信息移动服务是集成现代移动通讯、互连网络、GIS、GPS 以及多媒体等信息技术, 高度融合移动空间信息与移动通信信息, 利用高性能服务体系群 (包括通讯网络、互连网络、服务器群、信息网格等) 为各种移动服务终端设备提供多分辨率、多类型、多层次、多范畴的与空间相关信息的服务系统和集成体系。

### 2.2 特征

空间信息移动服务存在如下的特征:

1. 移动性: 满足用户在移动环境下的服务需求;
2. 动态 (实时) 性: 满足用户环境变化需求, 实现实时动态空间信息的支持;
3. 强大的应用服务支持: 提供多样化、服务于多个领域的应用服务<sup>[2]</sup>;
4. 对位置信息的依赖性: 系统采用多种定位方式为用户提供与位置信息相关的服务<sup>[1,2]</sup>;

5. 移动终端的多样性: 用户终端可以是车载设备、手机、PDA、寻呼机、智能手表等<sup>[3]</sup>。

### 3 基于 Mobile Agent 技术的空间信息移动服务模型

本文在对目前各种空间信息移动服务方案进行优缺点进行系列比较后, 在吸取各自服务技术体系的精髓的基础上, 提出一种较新的空间信息移动服务技术模式和应用范例: 采用 Mobile Agent 技术在移动计算体系框架内实现移动空间信息的高质量(High QoS)服务。

#### 3.1 Mobile Agent 技术

“移动代理(Mobile Agent)是一个代替人或其他程序执行某种任务的程序, 它在复杂的网络系统中能自主地从一台主机移动到另一台主机, 该程序能够选择何时、何地移动, 在移动时, 该程序可以根据要求挂起其运行, 然后转移到网络的其他地方重新开始或继续执行, 最后返回结果和消息。”<sup>[9]</sup>

Mobile Agent(缩写为 MA)是随着国际互联网的快速发展, 移动终端设备接入技术日趋成熟, 而产生的在动态网络应用服务时被提出来的

新型分布式计算工具, 它集成通信技术和分布计算技术成为分布式计算的一个重要发展方向。MA 具有自主性、移动性、协作性、安全性、智能性等特征<sup>[10, 11]</sup>。在计算方面具备如下的优势: MA 移动到服务器工作, 并把最终数据返回终端, 节省通信网络的带宽<sup>[9, 12]</sup>, 减少网络的传输负荷量; 把大数据量的工作放在本地, 节省计算时间<sup>[12]</sup>; 避免在计算中发生数据延迟, 可以实现异步工作模式<sup>[12]</sup>; 具有良好跨平台特征, 方便实现和优化负载平衡<sup>[9, 12, 13]</sup>; MA 能感知环境变化, 动态调度分布在不同地方的功能和维持最优的配置<sup>[12]</sup>; 具有高度自治性能, 支持离线、在线操作<sup>[9]</sup>; 提高了复杂问题的处理能力; 具有较强的并行处理与简化理解能力; 扩大了应用服务的同、异步协作能力<sup>[13]</sup>; 改进了系统容错处理功能和互操作性能; 自主依据环境变化状况进行动态决策, 适应性较强等。

#### 3.2 空间信息移动服务模型

基于 Mobile Agent 技术的空间信息移动服务模型(见图 1)分为 3 部分: 服务端模型、中间层模型和客户端模型。

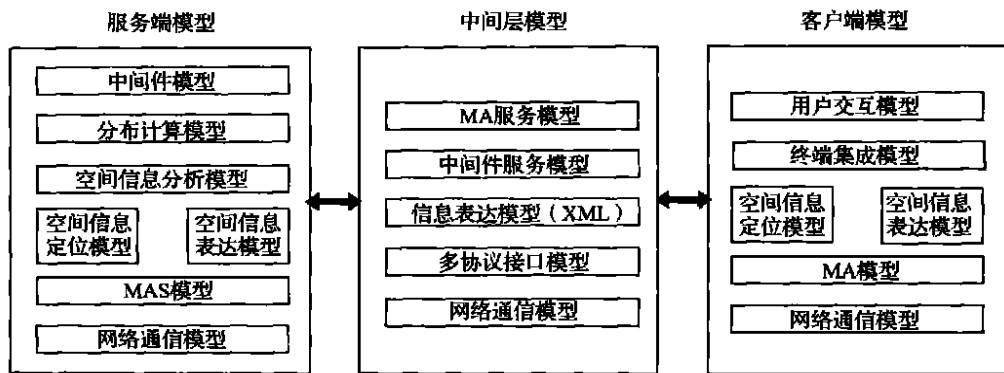


图 1 基于 Mobile Agent 技术的空间信息移动服务模型

Fig. 1 Mobile spatial information service logic model based on mobile agent technology

##### 3.2.1 服务端模型

服务端模型负责服务器端空间信息的表达、服务任务间的通信和运算, 是最重要的组成部分, 由中间件模型、分布计算模型、空间信息分析模型、空间信息定位模型、空间信息表达模型、MAS (Multi-Agent System) 模型、网络通信模型等组成。中间件模型根据用户请求处理事件的抽象、查找、访问、调度、复合组装、计算、注销等事务, 能够屏蔽操作系统和网络协议的差异, 为应用程序

提供多种通讯机制以满足不同领域中的服务需要。分布计算模型用来处理大运算量或资源位置分布情况下的服务请求, 可以提高运算效率和运行、响应速度。空间信息分析模型是面向空间信息的移动服务应用分析模型, 主要针对与空间要素相关的空间分析和空间信息查询。空间信息定位模型描述空间信息的索引机制、元数据机制、图形属性关联机制、空间信息发布机制等, 是空间信息移动服务信息链中空间信息的供应者。空间信

息表达模型用于空间信息结构化分析、系统化组织、智能化解译、可视化表达、加密/解密模式以及动态维护等运作机制,提供统一的表达平台。MAS(Multi-Agent System)模型定义了MA(Mobile Agent)运行系统一系列必需的模型<sup>[9]</sup>:代理模型、计算模型、安全模型、通信模型、迁徙模型、命名和定位模型、服务定位模型等,为空间信息移动服务提供运行环境。网络通信模型概括不同通信环境和协议下的信息交换机制以及MA通信机制——以KQML<sup>[14]</sup>通信语言来规范agent消息表达和处理,遵循BDI模型为agent提供知识共享体系结构,方便MA同设施(facilitator)进行交流和同其他MA形成交互。

### 3.2.2 中间层模型

中间层模型是服务端模型在服务层次上的延伸和扩展,为服务端模型和客户端模型提供更高层次技术支持服务。MA服务模型以服务端模型中MAS模型为准则,实现MA的通信(MA间通信、MA同宿主机的通信、MA同其他MAS通信、任务协商等)、迁徙、服务定位、安全防护等功能。中间件服务模型将定义Web Services中间件服务体系:开发、部署、注册、发现和使用Web服务等,实现以企业应用整合(Enterprise Application integration)为基础的二级支撑构架体系。多协议接口模型集成多种通信协议(TCP/IP, WAP, SOAP等)和规范协议(XML, SVG, CORBA, Web Services等)提供统一接口平台和交互手段。网络通信模型在移动通信和互联网等网络保障体系中实现实时空间信息的双向双线(有线和无线)通信。

### 3.2.3 客户端模型

客户端模型是空间信息移动服务的表达与实现模型,嵌入在多操作系统、多硬件和多运行平台之中。其中用户交互模型描述用户一般交互模式。终端集成模型实现在不同硬件环境(掌上电脑、PDA和手机等)和平台(Windows CE, Palm OS, EPOC, 嵌入式LINUX, QNX, VxWorks, J2ME等)下实现空间信息移动服务在终端的集成。空间信息定位模型在这里主要包括两个方面:客户终端设备定位和服务空间信息定位,前者主要是GPS定位模式和基站(BTS)定位模式,该模型是空间信息移动服务的主要定位信息源。空间信息表达模型针对各种移动终端设备特点定义合适的轻量级表达空间信息的模型,该模型采用

SVG和XML集成表达模式,适合于用户交互、通信和应用的不断扩展。MA模型也针对不同用户终端特征采用轻量级的MA计算模型<sup>[15]</sup>,负责简单的MA事务。网络通信模型综合运用无线通信和有线网络技术,实现用户服务需求的开放式的快速传输与获取。

## 4 基于MA技术的空间信息移动服务实施框架及其应用

空间信息移动服务“随着移动通信数据传输速度的不断提高,……将实现随时(anytime)、随地(anywhere),为所有人(anybody)和事(anything)提供实时服务的4A服务”<sup>[11]</sup>。一般说来,基于MA技术的空间信息移动服务实施框架(见图2)由MA计算方案、空间定位方案、信息通信方案、终端集成方案、服务器端构建方案等组成。<sup>1</sup> MA计算方案<sup>[12,16]</sup>由MA实体、Agent运行环境、Java虚拟机、通信层等组成。MA实体是Agent运行环境中基本的和完整的计算单元,内含结构集、状态集、接口集、功能集等基本的计算要素,具有自治处理、交互、感应、移动等能力,可以智能地完成分配的计算任务。Agent运行环境是Java虚拟机中划出的相对独立的供SA(Stationary Agent)和MA(Mobile Agent)运行的环境,负责Agent的创建、安全验证、派遣、接收、销毁等事务以及同宿主机、其他环境的交互、通信。<sup>④</sup>空间定位方案包括GPS定位、BTS定位、混合定位等3种方式实现主动或被动式定位。<sup>④④</sup>信息通信方案则采用GSM/GPRS/CDMA等通信网络与Internet网络的无缝集成,实现基于WAP和TCP/IP网络协议的相互连接与数据交换,分别针对不同终端采用HTTP、SOAP、XML、SVG、UDDI等协议或标准实现空间信息通信,另一方面MA则采用ATP(Agent Transfer Protocol)进行通信和传输。<sup>¼</sup>终端集成方案:采用通用中间件技术屏蔽不同终端硬件中Windows CE、Palm OS、EPOC、嵌入式LINUX、QNX、VxWorks、J2ME等运行系统差异,实现透明式的访问和交互响应。<sup>½</sup>服务器端方案:合理划分和组织中间件服务器、空间信息服务器、网络服务器、数据库服务器等实现数据和服务功能的分离,可以提高系统的可扩展性能。

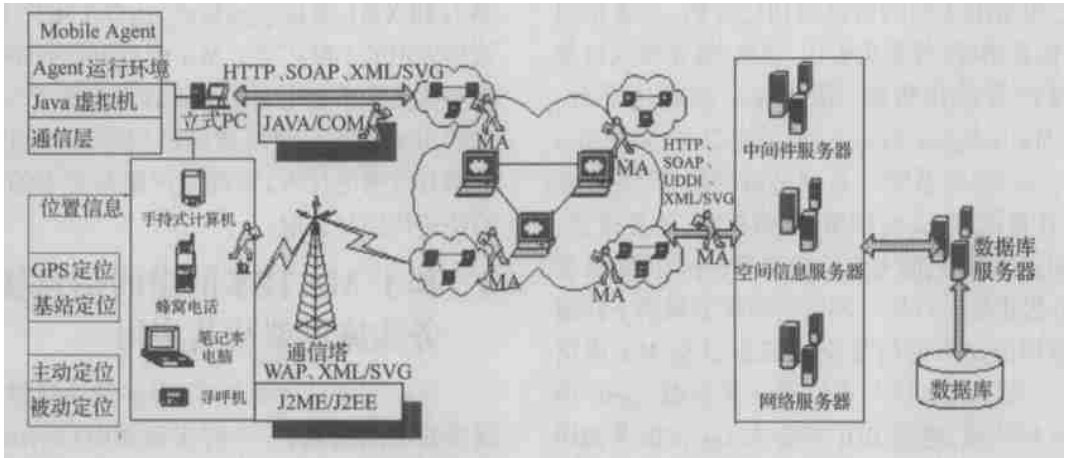


图2 基于 Mobile Agent 技术的空间信息移动服务实施框架

Fig.2 Mobile spatial information service implementation framework based on mobile agent technology

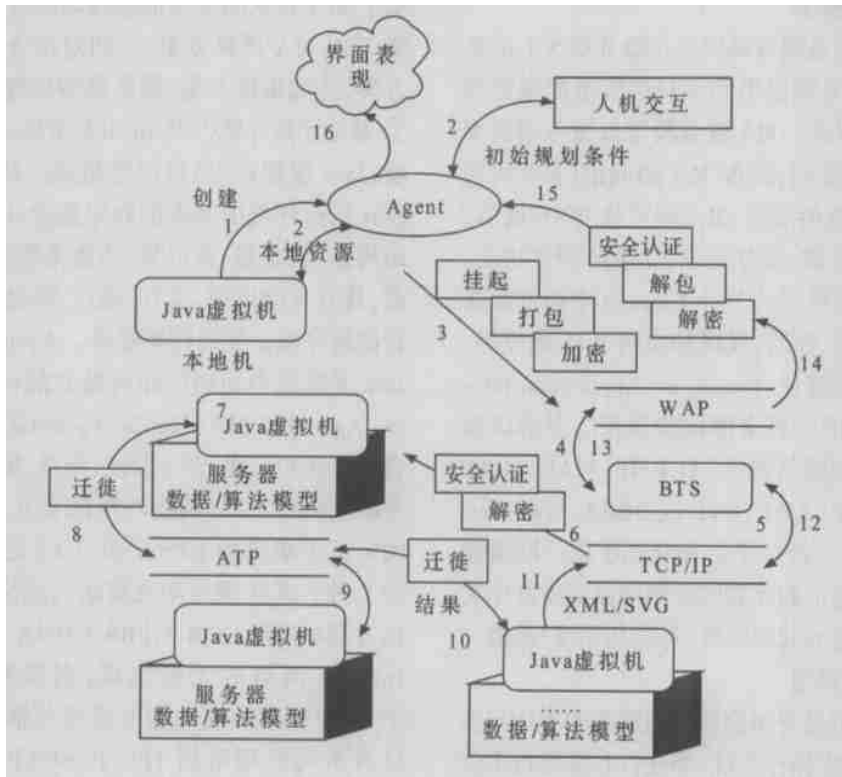


图3 一个基本空间信息移动服务的过程

Fig.3 The common process of a mobile spatial information service

基于 MA 技术的空间信息移动服务的一般算法过程如图 3 所示。<sup>1</sup> 在用户发送指令后,系统 Java 虚拟机(JRE)中 Agent 运行环境( ARE)创建 Agent 体; ④创建的 Agent 与用户进行交互获得完成指令必须的初始信息,接着判断本地资源是否满足数据需求; ④Agent 挂起、打包转为加密的序列化数据体,通过 ATP 协议离开 Agent 环境; ¼ 采用 WAP 通过 BTS 把信息传到通信网络接入设备; ½ 接入设备把信息转至网络服务器;

¾ 网络服务器采用 TCP/ IP 协议把数据传输到空间信息服务器; ⑧在空间信息服务器 JRE 的 ARE 中对其解密和安全认证<sup>9, 171</sup>,空间信息服务器分析和解译请求,得到相关的处理中间件信息和空间信息, MA 同 ARE 交互请求 ARE 提供相关的数据和算法模型,接着对请求进行处理; ⑦如果需要其他服务器的支持,则通过 ATP 协议迁徙到其他的服务器; ⑤迁徙到可以提供数据和功能服务(中间件、数据库等)的服务器上继续

进行未完成的计算; ⑤通过前面一系列服务器的处理, 最终得到了完成一个服务描述所需要的所有信息(属性用 XML 表达、矢量图形用 SVG 表达); ①通过 MA 的接口整合可以运算所有信息, 然后通过中间件模型的计算得到结果信息, 把结果信息结合空间信息表达模型用 XML 或 SVG 的形式表达出来; ②通过 TCP/IP 协议网络迁徙到离客户终端最近的移动通信网络接入设备; ③、④、⑤通过 BTS 采用 WAP 方式把携带结果的 MA 反馈给移动设备终端; ⑥移动设备终端接收 MA 并对其安全认证, MA 恢复在 ARE 中运行, 然后把结果反馈给界面层, 界面层根据空间信息表达模型在界面中把这些信息解译现实出来, 这样用户就可以直接在界面中看到该次服务的结果。

本文仅以交通导航信息服务中路径规划为例来说明基于 MA 技术的空间信息移动服务是切实可行的和实用的。交通导航移动终端一般是车载电脑、手持式计算机或 PDA 等, 可以采用 J2EE/ J2ME 和 EVC 等开发环境来开发基本的交通导航信息服务。为验证以上算法过程的正确性, 本文按照表 1 和表 2 设定测试环境: 3 个服务器都安装 IBM Aglets2.0 系统, 其中 1 个服务器安装 Tomcat4.1 作为应用服务器, 然后在 3 个服务器上分别部署某市的 3 个市区道路数据, 服务端执行服务请求过程中一个查询的中间结果如图 4 所示。终端采用 COMPAQ iPAQ H3000(操作系统 WinCE3.0), 装载使用 Microsoft 的开发工具 Embedded Tools3.0 开发包二次开发的自主软件, 通过交互确定起始和终止位置, 发送交通导航信息服务中路径规划服务请求, 返回的结果如图 5。

表 1 试验软件使用情况

Tab. 1 Software list

使用软件类型	软件名称
应用服务器	Tomcat4.1
Agent 系统	Aglets2.0
终端系统	WinCE
开发软件	EVC3.0, JBuilder

表 2 数据分布

Tab. 2 Data distribution

服务器	数据分布
服务器 1	1 市区地图数据
服务器 2	2 市区地图数据
服务器 3	3 市区地图数据



图 4 路径分析结果

Fig. 4 Path planning result.



图 5 终端查询的一个结果

Fig. 5 A result in terminal

### 5 结论与展望

总的来说, 基于 Mobile Agent 技术的空间信息移动服务除了具备空间信息移动服务一般特性, 还具有以下优点: ① MA 迁徙完毕后, 所使用的带宽可以释放, 因此 MA 使用带宽时间短不会造成带宽浪费; ④具备移动计算的功能, 移动计算是终端设备环境有限条件下必须具备的服务要求; ④服务方式可以动态调整, MA 具备自治能力, 能够响应环境变化, 从而采取相应的策略, 动态调整不同环境中的服务方式; ④系统可扩展性能好, 在中间件服务器上注册好新应用中间件后, 其他服务器就可以检索其需要的中间件, 进行适时更新; ⑤基于 Java 技术体系的 MA 具有良好的跨平台特征; ⑥ MA 具有自然的平行计算特性<sup>[18, 19]</sup>, 可以提高服务速度; ⑧动态决策分析能力较强<sup>[19]</sup>, MA 的优点和良好机制可以保障空间信息移动服务在基于知识库的基础上形成动态决策。

随着移动通信、计算机、网络和信息等技术的发展, 计算能力和通信能力必将有很大的发展, 从

而促成能随时随地、简便容易地享受计算能力和信息服务的普适计算模式<sup>[20]</sup>。普适计算将使用户更加容易地利用移动计算环境中的通信能力和计算能力,使信息空间和物理空间融为一体,从而实现人与计算机的自然统一,而这也恰恰是空间信息移动服务发展所必须具备的特性。从技术发展和实际应用的角度来看,本文认为基于 Mobile Agent 技术的空间信息移动服务是普适计算一项重要支撑技术体系,将促进空间信息增值服务的广泛应用。

## 参考文献:

- [1] LI De-ren, LI Qing-quan, XIE Zhi-ying, *et al.* The Technique Intergration of the Spatial Information and Mobile Communication[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2002, 27(1): 1-8. (in Chinese)
- [2] XIE Zhi-ying, LI Qing-quan, ZUO Xiao-qing, *et al.* Design and Implementation of an Open Location Service System Based on SVG[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2003, 28(1): 74-79. (in Chinese)
- [3] YU Tao-ping, YAN Li, XIE Zhi-ying, *et al.* Client-side Implementation of Mobile Spatial Information Service[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2003, 28(1): 80-85. (in Chinese)
- [4] LI Qi, HUANG Xiao-bin. GeoAgent-based Geographic Information Service for Digital City[A]. *Theories and Practice of Digital City*[C]. Guangzhou: Guangdong World Publishing Co Ltd, 2001. 680-685. (in Chinese)
- [5] GUAN Ji-hong, CHEN Xiao-long, CHEN Jun-peng, *et al.* Querying Distributed Geographic Information Based on Mobile Agent[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2003, 28(1): 39-44. (in Chinese)
- [6] GUAN Ji-hong, ZHOU Shui-geng, ZHOU Aoying. Mobile agent Based Distributed Web GIS[A]. *Proceedings of 9th International Conference on Cooperative Information Systems(CoopIS' 2001)* [C]. Trento: Springer-Verlag, 2001. 53-66.
- [7] GUAN Ji-hong. Mobile Agent Based Distributed WebGIS[D]. Wuhan: Wuhan University, 2002. (in Chinese)
- [8] GeoAgent. Introduction to GeoAgent [EB/OL]. <http://map.sdsu.edu/geoagent/>, 2003-11-11.
- [9] ZHU Miao-liang, QIU Yu. A Survey of Mobile Agent System[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2001, 38(1): 16-25. (in Chinese)
- [10] LÜ Jian, ZHANG Ming, LIAO Yu, *et al.* Research on Componentware Framework Based on Mobile Agent Technology[J]. *Journal of Software*, 2000, 11(8): 1 018-1 023.
- [11] TAO Xian-ping, LÜ Jian. Design and Implementation of a Mobile Agent Structured Migration Mechanism[J]. *Journal of Software*, 2000, 11(7): 918-923. (in Chinese)
- [12] LUO Zheng-hu, YANG Jing-an, LUO Xiang-feng, *et al.* Research on Distributed Computation Paradigm Based on Mobile Agent [J]. *Mini-micro System*, 2002, 23(3): 300-304. (in Chinese)
- [13] MA Jun-tao, LIU Ji-ren. Architecture and Technology of Mobile Agent System[J]. *Mini-micro Systems*, 1998, 19(2): 7-14. (in Chinese)
- [14] AMY L. MURPHY. Reliable Communication for Highly Mobile Agents[J]. *Autonomous Agents and Multi-agent Systems*, 2002, 5(1): 81-100.
- [15] PAULO M, LUIS S, *et al.* Building Binary Software Components for Supporting Mobile-agent Enabled Applications[J]. *Autonomous Agents and Multi-agent Systems*, 2002, 5(1): 103-111.
- [16] PIETRO P, NICHOLAS R J, TIMOTHY J N. Formalizing Collaborative Decision-making and Practical Reasoning in Multi-Agent Systems[J]. *J Logic Computat*, 2002, 12(1): 55-117.
- [17] VOLKER R, MEHRDAD J S. Access Control and Key Management for Mobile Agents[J]. *Comput & Graphics*, 1998, 22(4): 457-461.
- [18] DANNY B L. Introduction to Special Issue on Mobile Agents[J]. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 2002, 5(1): 5-6.
- [19] PYNADATH, D V, TAMBE M. The Communicative Multiagent Team Decision Problem: Analyzing Teamwork Theories and Models[J]. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 2002, 16: 389-423.
- [20] WANG Qi-zhi, Development of Computing [EB/OL]. [http://www.ccw.com.cn/html/news/it/deep/02\\_6\\_20\\_2\\_2.asp](http://www.ccw.com.cn/html/news/it/deep/02_6_20_2_2.asp), 2003-5-1. (in Chinese)