

综合集成研讨厅的软件体系结构*

操龙兵, 戴汝为

(中国科学院 自动化研究所 复杂系统与智能科学实验室,北京 100080)

E-mail: {ruwei.dai,longbing.cao}@mail.ia.ac.cn

http://www.ia.ac.cn

摘要: 主要研究基于网络的分布式综合集成研讨厅的软件体系结构.采用了一种扩展请求器-中介器-供应器的嵌套式客户/Agent/服务器计算模式;并利用该模式给出了一个基于 Java 的智能信息 Agent 构建的宏观经济决策研讨厅框架和工作机制;综合了 Agent 移动性与消息传递机制、算法与交互能力、多种类型 Agent 和多种设计模式.与通常的 C/S 与 B/S 模型相比,该系统具有更大的灵活性、更快的响应性能、对网络性能的低需求等特性.

关键词: 智能信息 Agent;综合集成研讨厅;软件体系结构;分布式资源集成

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

复杂智能系统的一个特点是系统的分布性、全局性与交互性的增强,如 Internet 系统等.与此同时,我们所构建的处理上述问题的信息与知识系统正变得越来越开放、复杂、面向网络及需要人机协作.我国科学家称这类系统为开放的复杂巨系统^[1,2],并基于大量实践经验指出,处理这类系统的有效且可行的方法是构建综合集成研讨厅^[1].研讨厅体系的工程应用方法是综合集成法(metasynthetic engineering,简称 ME)^[3],其实质是按照研讨厅体系思想构建处理复杂问题的人机协作智能信息系统.

经济系统中的宏观经济决策是一个非常复杂而重要的问题,属于开放的复杂巨系统范畴.我们的求解方法是采用综合集成法构建支持宏观经济决策的综合集成研讨厅.近年来,人们先后采用客户/服务器与浏览器/服务器计算模式进行了原型系统的研究^[4].这些模式不足以实现研讨厅的功能,系统中人机交互、专家作用的发挥、分布计算与灵活性等均有待改善.近些年来兴起的以智能 Agent^[5]技术处理开放的、分布式、多信息的复杂智能系统,所建立的基于 Agent 的系统可以综合多种技术,使系统具有智能、分布性、反应性、移动性、人机交互与协作等能力,这为构建大规模、开放式、专家群体参与的研讨厅提供了技术基础.本文的探索是根据需要综合多种类型与功能的 Agent 技术,封装研讨厅中除资源库之外的实体与功能,并赋予研讨专家和主持人与 Agent 的交互能力,发挥 Agent 的分布计算与灵活的智能处理优势.

1 HWME(hall for workshop of metasynthetic engineering)——人机协作的综合集成智能系统

从人的心智、认知过程与当前的计算机体系结构可知,仅仅采用当前的计算机构建处理复杂问题的自主智能系统是不可行的.复杂智能系统的可行的处理方法是综合人的性智(如直觉、灵感、模式识别能力等)与计算机可以做的量智(如逻辑推理、分析等)^[3],实现从定性到定量的综合集成,构建针对特定问题的研讨厅.

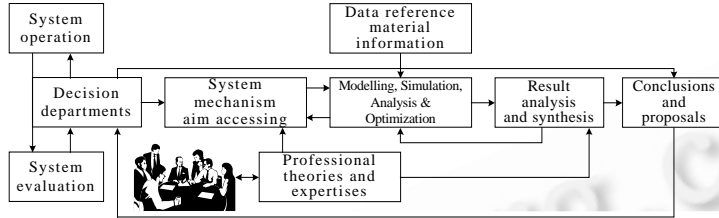
图 1 说明了综合集成的问题求解过程.在此过程中,系统建模需要理论方法、经验知识、数据与相关资料的结合;经过仿真与优化等得到的定量结果,须结合专家群体的理性和感性的科学与经验的知识,进行共同讨论

* 收稿日期: 2001-09-11; 修改日期: 2001-11-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69990580)

作者简介: 操龙兵(1969-),男,安徽安庆人,博士生,工程师,主要研究领域为计算机网络,智能系统;戴汝为(1932-),男,云南昆明人,教授,博士生导师,中国科学院院士,主要研究领域为自动控制,模式识别,人工智能,智能控制,思维科学.

与判断;而后修正模型和参数;返回重复求解过程,直至得到专家群体认为可信的结果.该结果融合了专家群体对问题解的定性描述与数据结果,具有足够的科学根据,可作为支持决策的结论和政策.这种方法是从大量实践中提炼与抽象的结果,必须有机地综合专家群体、数据与信息、各相关学科的知识与理论,特别是人的经验与智慧^[1],以上各方面组成了一个有机的整体;问题求解能力来自于以上各要素整体优势的充分发挥.可见,人机协作的策略是要在复杂智能问题的求解中综合补偿与发挥人与机器的智能.



系统运行, 数据资料信息, 决策部门, 系统机制、目的、判断, 建模、仿真、分析与优化, 结果分析与综合, 结论与建议, 系统评价, 专家专业知识与经验.

Fig.1 Process of metasynthetic engineering

图 1 综合集成过程

2 智能信息 Agent 与 Java

Agent 的定义、机理与功能在不同的研究领域可能差别较大.本文采用的智能信息 Agent(intelligent information agent,简称 IIAgent)主要关注与构建分布式系统有关的 Agent 的计算能力与 DAI 中强调的 Agent 的自主智能,希望在设计分布式智能信息系统中综合发挥这两种优势.因此,一方面,Agent 是一种具有自主与反应能力的实体,群体 Agents 之间可以交互并通过群体智能实现一定的自主处理问题能力.另一方面,Agent 具有分布式计算与移动计算能力.倍受关注的一类智能信息 Agent 是移动 Agent^[6].在目前的工作中,使移动 Agent 具有一定的自主智能,并利用它的移动计算能力支持分布式计算与分布式系统的设计.

智能信息 Agent 技术应用到信息系统中,必须在网络计算机上采用一些适当的支持 Agent 运行的技术(服务包).所选择的技术必须能够实现 Agent 的功能并体现其特点,而且具有一定的通用性.相比而言,Java 技术是目前可用的最好的工具.Java 的独特之处在于,它是一种面向对象的、安全的、与体系结构和平台无关的、轻型多线程语言,综合了编译与解释代码的能力,Java 执行码可以运行在任何安装有 Java 解释器或者 Java 使能器的 Web 浏览器的硬件平台上.这些特点使得 Java 编译类可以高效地在网络上运行与传播,已经成为以网络为中心的计算机的最具吸引力的技术,并赢得了 Agent 研究者的青睐.实际上,已经和正在开发的大多数 Agent 都采用了 Java 技术.IBM Aglet Workbench 是最早设计的基于 Java、具有代表性、支持升级、结构简洁、开放与易于扩展的移动 Agent 平台,受到相对多的欢迎.本文以它作为 Agent 的服务器与开发工具.

3 基于智能信息 Agent 的研讨厅的计算模式

我们认为,Agent 技术作为一种新的强大的计算模式,综合了基于逻辑与基于算法的交互计算能力.基于 Agent 的分布式系统处理复杂信息处理问题的优势可以归纳为 4 个方面的综合,即算法与规则的综合、跨学科的多类型 Agent 技术的综合、多种面向 Agent 设计模式的综合、多种工作机制的综合.基于 Agent 的综合集成研讨厅是一个分布式信息系统,应按需求充分发挥这些优势.研讨厅的软件环境设计策略是,采用智能信息 Agent 封装宏观经济决策的研讨厅中的任务、应用、算法、角色、控制与管理以及数据操作,并利用 Agent 的移动性与交互性计算能力.为了实现基于 Agent 的研讨厅,定义了如下几类 Agent 组件.

(1) Role Agent. Aglet 类扩展,针对专家、主持人、管理员 3 个角色提供不同的权限、功能、资源等支持界面与工具;具有主从、公私等地位之别.

(2) Interface Agent.提供 Role Agent 完成研讨所需的研讨模板、方式、记录、报告显示、数据分析、信息

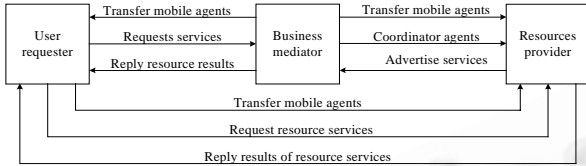
显示、资源调用、可视建模、知识开发等交互界面。

(3) Administrator Agent.Aglet 类扩展,位于主持人所在的中介端执行控制与业务逻辑调度,进行全局交互.如研讨启停、角色与权限的定义与控制、流程与状态管理、业务逻辑与资源调度等。

(4) Application Agent.Aglet 类扩展,位于特定资源节点上封装模型、方法、意见综合等算法,以及这些资源的信息交互与管理等。

(5) Cordinator Agent.Aglet 类扩展,由 Role.Interface.Mediator 等调度(静态)或以个体/包的形式派遣到相应节点上(移动),执行请求、发布或搜索信息、报告服务、执行 workflow,根据所达节点的需求,可能还会移动到其他节点上执行特定功能(如秘密研讨)。

(6) Resource Gateway Agent.位于各资源端,与进入的资源请求 Agents 协作,与资源库和/或应用服务交互完成资源请求。



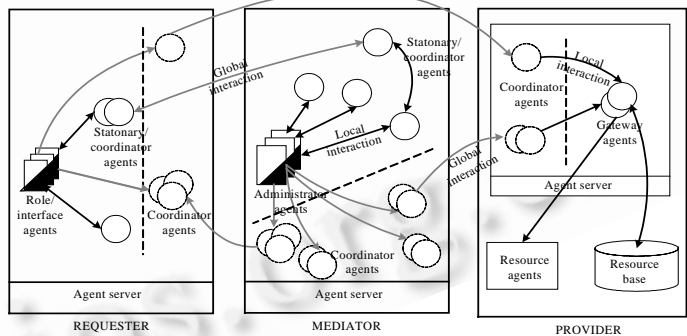
用户请求端, 发送移动 Agent, 调用服务, 回复服务结果, 业务中介端, 协调 Agent, 广播服务, 资源供应端, 请求资源服务, 回复服务结果。

Fig.2 Requester-Mediator-Provider model

图2 Requester-Mediator-Provider 模型

系统采用了请求器-中介器-供应器 (requester-mediator-provider)^[7]计算模型(如图2所示),并扩展成嵌套的 client/agent/server 计算模式(如图3所示),即请求层、中介层、供应层.该嵌套的多层计算模式的工作机理如下.请求层是用户与机器的交互端,完成用户请求/响应;研讨所需的移动 Agents 是从中介层以移动包发送到请求层;

这些移动 Agents 与本地静态 Agents 交互,或者继续传递到下一节点.中介层是主持人端,控制研讨进程与业务逻辑调度;由多个 Administrator 和 Coordinator Agents 组成,是研讨厅中移动 Agents 的发源地与控制中心,而且是分布计算与应用集成的调度器与业务逻辑中心;发布移动 Agents 到目标节点,管理移动 Agents 的状态、巡游计划与生命周期;注册资源与服务;协调请求层与供应层的协作.供应层包括多种资源服务与管理,向中介层报告应用与数据服务;通过 Gateway/Coordinator Agents 与相关节点协作,提供决策支持服务,给请求端返回结果.同时,网络上的每台计算机也都构成了 client/agent/server 三层模式:一个预装的 Tahiti Aglet^[8]服务器构成本机的计算服务器;客户服务是本地静态 Agents 和/或到达的移动 Agents,运行在 Agent 服务器上;一个由 Coordinators 组成的 Agent 中间层用于全局交互。



请求层, 中介层, 供应层, Agent 服务器, 静态或协调 Agent, 全局交互, 本地交互, 资源库。

Fig.3 Nested 3-tier client/agent/server computing scheme

图3 嵌套的3层 client/agent/server 计算模式

4 基于智能信息 Agent 的宏观经济决策研讨厅

基于智能信息 Agent 构建的支持宏观经济决策的综合集成研讨厅,是一个基于网络的分布式智能系统。

4.1 研讨厅构架

基于网络的分布式研讨厅的功能层次可分为6层,自上而下分别是界面层、决策层、综合集成层、网关层、资源层与基础设施层.界面层是专家与其 Role/Interface Agents 进行交互的地方,这些 Agents 支持大量的用户接口,如可视化的查询工具、建模工具、知识开发器、数据分析工具等.决策支持层为决策目标与分析服务,如提

供年度经济预报等.研讨厅中的资源服务包括数据库及其管理系统、模型方法库与管理系统、知识库与管理系
统,由不同的 Application/Gateway/Coordinator Agents 协作访问.进行分主题研讨的分布式研讨厅通过分厅协作
网关连接,并经中介层进行封装协作,确定哪个资源具有相关的研讨信息,分解并发出请求,综合从分布资源得
到的部分结果.研讨厅所运行的
基础平台由 Internet 与 Intranet 组成.

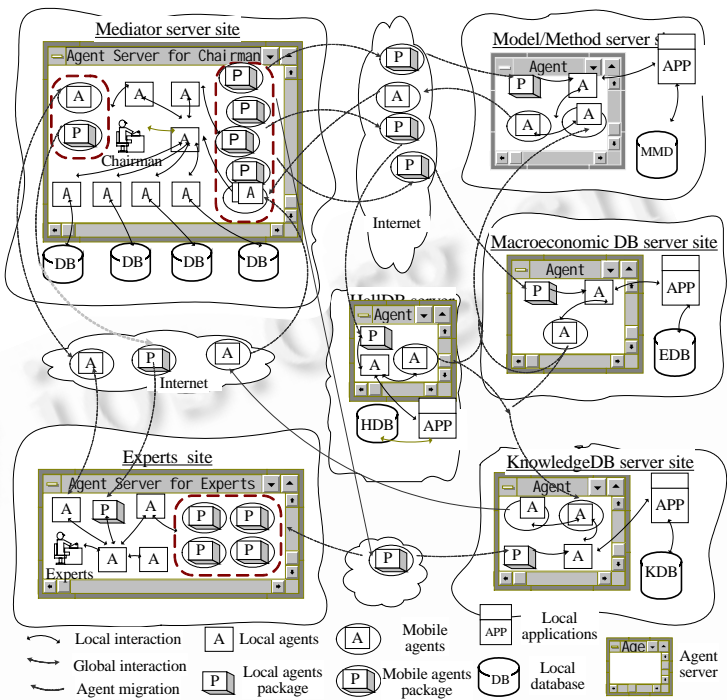
基于智能信息 Agent 的宏观
经济决策研讨厅按照上述功能层
次与嵌套的 client/agent/server 计
算模式设计,研讨厅包括主持人
端、专家端、模型/方法库、知识
库、经济数据库与系统数据库端
等,通过 Internet 分布于多个节点
(如图 4 所示),每个节点是一个
Intranet 或者位于一个 Intranet 上;
节点上的每台计算机安装一个
Agent 服务器.主持人通过移动
Agents 包向专家端发送研讨支持
服务,各端利用 Coordinators 进行
信息检索、查询与协作,请求与响
应的传递.系统工作机制参见第
4.2 节中说明.值得指出的是,专
家与主持人是系统的组成要素,参
与在线研讨,并通过代理 Role
Agents 与厅中其他 Agents 进行
交互,授权 Role 实施自己的计
划与动机.为了降低对系统网络连
接性与带宽等性能需求,提高系
统灵活性,分别在相关的数据库与
资源服务器上建立数据库网关与应
用 Gateway Agents.Gateway 等候
在相关资源节点,监视与服务进
入的请求 Agents 的动机与需求.
作为供应端向中介端广播相关服
务功能、接口与本地的变化.

参与在线研讨,并通过代理 Role
Agents 与厅中其他 Agents 进行
交互,授权 Role 实施自己的计
划与动机.为了降低对系统网络连
接性与带宽等性能需求,提高系
统灵活性,分别在相关的数据库与
资源服务器上建立数据库网关与应
用 Gateway Agents.Gateway 等候
在相关资源节点,监视与服务进
入的请求 Agents 的动机与需求.
作为供应端向中介端广播相关服
务功能、接口与本地的变化.

4.2 基于智能信息Agent的分布式资源集成

基于智能信息 Agent 的分布式资源集成系统的工作过程如图 5 所示.系统包括宏观经济数据库、系统运行
数据库和宏观经济知识库服务器、多个决策支持应用工作站(如模型 Model1,Model2,Model3,方法
Method1,Method2,意见整合应用 CBApp)、一个中介服务器和多个专家客户机等.图中以访问宏观经济预测模
型 Model2 为例,说明系统采用的多层计算模式的工作机制.

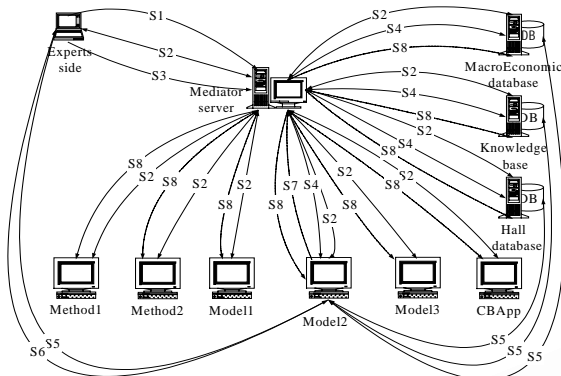
系统的工作过程如下.调用 Model2 的专家在请求端通过 Interface Agent 向中介端发送 Startup 请求移动
Agent(s1);中介端收到后检查支持该请求端运行的所有研讨服务 Agents 是否已经发送,并检查是否所有的供应
端均已注册并报告了可用资源服务信息(如网络位置、安全证书等);如果没有,则向相应的供应端并行地发送
Register Agents,通知各端立即进行注册与服务广播,中介器对所收到的供应端信息进行分类处理,并向上述请
求端发送准备好信息(s2);请求器接收并向中介端传送用户输入参数和调用 Model2 的服务请求(s3);中介器辨
识并检验请求的有效性,将服务请求分解为对应系统数据库、宏观经济库、知识库和 Model2 应用的多个操作



中介服务器端, 模型/方法服务器端, 宏观经济数据库端, 知识库端,
研讨专家端, 系统数据库端, 因特网, 本地交互, 全局交互, Agent
迁移, 本地 Agent, 本地 Agent 包, 移动 Agent, 移动 Agent 包, 本地应
用, 本地数据库, Agent 服务器.

Fig.4 Framework of intelligent information agents-based HWME
图 4 基于智能信息 Agents 的 HWME 框架

请求,然后向各服务端发送 Coordinator(s4);到达各服务端的 Coordinator 与本地 Agents 进行交互,执行 Model2;



专家端, 中介服务器, 宏观经济数据库, 知识库, 系统端.

Fig.5 IIAgents-Based distributed resources integration
图 5 基于智能移动 Agent 的分布式资源集成

在此执行过程中,Model2 上的 Coordinator 采用消息机制与该应用所涉及的数据库端和发出调用的请求端上 Coordinator 协作执行 Model2 所需的数据与规则等(图中以虚线表示)(s5);模型 Model2 的执行结果报告到发出请求的请求端,并以可视化的形式显示在用户界面上(s6);通知中介端本次访问操作结束(s7),中介端决定是否销毁所有发出的移动 Agents 而退出系统(s8)或者继续执行其他的请求.从 s6~s8 的操作主要通过消息机制完成.系统对其他资源的请求的执行过程或多或少地类似于上述工作过程.

驻留在各数据库上的 Gateway Agents 可以动态地获得所采用的 JDBC 驱动程序、数据源和安全信息等,充当所进入的 Coordinators 与数据库

管理系统之间的媒介,并与数据库管理系统进行交互.应用 Gateway Agents 驻留在资源服务器端,维护该应用运行所需的数据信息,向中介端广播服务与变化信息等,监视并协助进入的 Coordinators 执行应用,响应用户请求.

5 设计考虑

在利用上述嵌套的多层计算模式设计分布研讨厅时,必须灵活设计强健而高效的工作机制与面向 Agents 的设计模式^[9,10],综合多种 Agent 技术优势,以便得到较高的分布计算性能.在研讨厅的分布式信息访问与资源集成中,综合了 Agent 的移动性与消息传递机制.移动 Agent 实现的移动计算能力集成到分布式计算中.但是,当移动 Agents 到达目的地后,许多功能是通过消息传递机制完成的.另外,系统综合应用了多种针对 Agents 旅行、任务实施和交互的设计模式以优化系统性能,如执行任务的主从模式、Agent 旅行的巡游模式和 Agent 交互的信使模式等的集成应用.系统中的移动 Agents 具有复制性与层次性,即一个移动 Agent(父 agent)可以根据需要克隆出多个 Agents,或者产生子移动 Agents(子 agent).这些性能使得动态、灵活地组织 Agent 执行相应的任务成为可能.

系统对哪些功能应由移动 Agents 执行而另一些功能由静态 Agents 或消息传递完成进行了分工.用户端不像传统的客户/服务器模式中那样“肥”而且专门化,变得轻便而且可移动.在初始化阶段,多种功能性的移动 Agents 通过多线程的并行机制被发送到相关的客户;在运行过程中的信息交换与任务的实施可以通过消息机制完成,这样就降低了网络带宽与响应时间.在分布式体系结构方面,计算模型中的中介层是研讨厅主持人角色的需要,充当用户请求与服务供应之间的媒介,将所有相关的资源与应用关联起来,是移动 Agents 的调度器与生命周期的管理器,是分布式计算的业务逻辑中心;新增的处于 Agent 层的各端间的 Coordinators 处理全局性操作,使得系统虽然有一个 Mediator 层但是各 Agent 的活动却是相对自由的,从而削弱了分布式计算中存在一个主导进程与流程的控制中心的弊端.而那些 Gateways 为远程用户访问异种资源提供了透明网关,可以避免异种数据库 JDBC 驱动程序的下载与连接信息的初始化,并避免经常从中介端下载移动 Agents,使得系统支持弱连接网络,并且增强了通用性.智能信息 Agent 是智能的主动组件,具有自主与反应能力,可以根据动态网络环境调整路线与活动,如当数据库信息变化或者 Agent 服务器服务失效时,Agent 可以自行决定如何处理.

6 结 论

在信息系统中,有关开放的复杂智能系统的研究越来越受到关注,支持宏观经济决策的综合集成研讨厅就是一个例子.研讨厅综合了计算机网络技术、数据融合、知识与信息以及专家群体智能的优势.Multi-Agents 技

术是处理这类系统的一种可行而有效的新方法.本文按照综合集成研讨厅体系思想,采用基于 Java 的智能信息 Agent 技术设计基于网络的分布式研讨厅,提出了一种扩展请求器-中介器-供应器模型的嵌套式多层客户/Agent/服务器计算模式,阐述了基于该计算模式的支持宏观经济决策的研讨厅的框架结构与工作机制,介绍了采用 Agent 技术进行分布式系统设计所应考虑的问题.该系统将移动 Agent 实现的移动计算集成到分布式计算中,灵活地综合了 Agent 的移动性与消息机制、算法与交互、多种类型的 Agent 技术、多种 Agent 设计模式.这种基于智能信息 Agent 的分布式系统的设计模式,与通常的客户/服务器和浏览器/服务器计算模式相比,具有更大的灵活性、更快的响应性能、对网络性能的低需求等优点,对处理分布式复杂智能信息系统是有效的.

References:

- [1] Qian, Xue-sen, Yu, Jing-yuan, Dai, Ru-wei. A new discipline of science: the study of open complex giant system and its methodology. *Nature Journal*, 1990,13(1):3~10 (in Chinese).
- [2] Wang, Shou-yuan, Yu, Jing-yuan, Dai, Ru-wei. *Open Giant Complex Systems*. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1995 (in Chinese).
- [3] Dai, Ru-wei, Wang, Jue, Tian, Jie. *Metasynthesis of Intelligent Systems*. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1995 (in Chinese).
- [4] AI Laboratory of CASIA. Human-Computer cooperated hall for workshop of metasynthetic engineering for macroeconomic decision support system. Research Report, 1999 (in Chinese).
- [5] Matthias, K. *Intelligent Information Agents*. Berlin: Springer-Verlar, 1998.
- [6] Harrison, C.G., Chessm, D.M., Kershenbaum, A. Mobile agents: are they a good idea? Research Report, IBM Research Division, 1995.
- [7] Decker, K., Sycara, K., Williamson, M. Middle-Agents for the Internet. In: *Proceedings of the IJCAI-97*. 1997.
- [8] IBM Aglets Workbench Page. <http://www.trl.ibm.co.jp>.
- [9] Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., *et al.* *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Reading, Mass.: Addison Wesley, 1998.
- [10] Aridor, Y., Lange, D.B. Agent design patterns: elements of agent application design. In: *Proceedings of the Autonomous Agents'98*. New York: ACM Press, 1998.

附中文参考文献:

- [1] 钱学森,于景元,戴汝为.一个科学的新领域——开放的复杂巨系统及其方法论.自然杂志,1990,13(1):3~10.
- [2] 王寿云,于景元,戴汝为,等.开放的复杂巨系统.杭州:浙江科学技术出版社,1995.
- [3] 戴汝为,王珏,田捷.智能系统的综合集成.杭州:浙江科学技术出版社,1995.
- [4] 中国科学院自动化研究所人工智能实验室.基于人机协作的综合集成研讨厅的宏观经济决策支持系统.研究报告,1999.

Software Architecture of the Hall for Workshop of Metasynthetic Engineering*

CAO Long-bing, DAI Ru-wei

(Complex Systems and Intelligence Science Laboratory, Institute of Automation, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

E-mail: {ruwei.dai,longbing.cao}@mail.ia.ac.cn

<http://www.ia.ac.cn>

Abstract: This paper focuses on the software architecture of the network-based Hall for Workshop of Metasynthetic Engineering. A nested client/agent/server computing scheme-incorporated Requester-Mediator-Provider model is deployed. The framework and its working mechanism of an HWME (hall for workshop of metasynthetic engineering) for macroeconomic decision-making through Java-based intelligent information agents on the basis of above scheme are discussed. Combinations of mobility of agents and message-passing mechanism, algorithm and interaction, multiple types of agent technology and multiple design patterns are flexibly used in this system. Compared with the other client/server and the browser/server computing schemes, this system is more flexible, and has less response time and lower requirement for network performance.

Key words: intelligent information agent; hall for workshop of metasynthetic engineering; software architecture; distributed resources integration

* Received September 11, 2001; accepted November 27, 2001

Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.69990580