

云计算中虚拟资源的智能多代理设计

王留洋*, 俞扬信, 周 淮

(淮阴工学院 计算机工程学院, 江苏 淮安 223003)

(*通信作者电子邮箱 wangly@hyit.edu.cn)

摘要: 针对随着网络数据传输速度和复杂性的不断增加, 网络管理变得更加困难的现状, 提出了一种虚拟资源的智能多代理模型。描述了虚拟资源的智能多代理的处理过程, 讨论了不同代理的处理机制。通过分析用户上下文和系统状态, 可实时地分析社交媒体资源。根据虚拟资源的使用类型, 对用户上下信息的需求进行分析和推断, 自动地给用户分配资源。采用云计算中虚拟资源动态调度方法及 MovieLens 系统评估该模型, 结果证明所提出的模型具有较好的性能, 可实现虚拟资源的动态调度, 动态地实现负载均衡, 使云计算中的虚拟资源得到高效的利用。

关键词: 虚拟资源; 智能多代理; 云计算; 动态调度

中图分类号: TP393.07 **文献标志码:** A

Design of intelligent multi-Agent for virtual resource in cloud computing

WANG Liu-yang*, YU Yang-xin, ZHOU Huai

(Faculty of Computer Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an Jiangsu 223003, China)

Abstract: Network management becomes more difficult for the increase of data transmission speed and network complexity, so the paper presented an intelligent multi-Agent model for virtual resource, described the process of the multi-Agent to virtual resource, and discussed the processing mechanism of different Agent. The proposed model was able to analyze social media resources in real-time by user context and system state. It automatically allocated resources suitable for users according to the virtual resource usage type and the information demand analysis of user context. The model was evaluated by dynamic scheduling method of virtual resources in cloud computing and the MovieLens system. The results show that the proposed model has better performance, can achieve the dynamic scheduling and load balancing of virtual resource, so that users can utilize efficiently virtual resource in the cloud computing.

Key words: virtual resource; intelligent multi-Agent; cloud computing; dynamic scheduling

0 引言

随着互联网、通信技术的发展和手持设备数量的快速增长, 基于社会网络服务(Social Networking Service, SNS)的各种信息服务中存在着多种形式的用户社交活动, 特别是用户交换思想、观点、经验等方面, 基于媒体内容的 SNS 起着重要作用^[1]。在这些服务环境中, 用户希望直接或随时随地接收媒体提供的信息或内容。为了满足用户的需求, 互联网服务提供商(Internet Service Provider, ISP)正在运用稳定的、高质量的 SNS 云计算服务。然而, 在云计算环境下的社交媒体服务只能根据用户的等级和受限制的资源分配资源。这种简化的资源分配方法存在着两方面的问题: 1) 为了给用户分配可用的资源, 管理员必须不间断地监控资源; 2) 增加了服务器负载和网络负载。

为了解决上述问题, 本文提出了虚拟资源的多代理模型, 该模型可给云计算环境中支撑社交媒体服务的移动设备自动地分配合适的资源, 并实时地监控资源及识别用户上下文信息。多代理根据所识别的用户行为推断用户需求, 调整虚拟资源的使用类型, 以便用户使用高可靠性的资源。由于尽可能使用了云计算系统提供给 SNS 的闲置资源, 从而提高了系

统的可用性。

1 相关研究

1.1 云计算的虚拟化

虚拟化是表示计算机资源的抽象方法。通过虚拟化可以对包括基础设施、系统和软件等计算机资源的表示、访问和管理进行简化, 并为这些资源提供标准的接口。接受输入和提供输出虚拟化技术有很多种, 比如, 网络虚拟化、内存的虚拟化、桌面虚拟化、应用虚拟化和虚拟内存等。虚拟化大致分为两种类型^[2]: Hypervisor 虚拟机(Virtual Machine, VM)和 Hosted VM。Hypervisor VM 直接运行在硬件(Bare Metal)上面, 提供接近于物理机的性能, 并在 I/O 上面做了特别多的优化, 主要用于服务器类的应用; Hosted VM 运行在物理机的操作系统上, 虽然其本身性能不如 Hypervisor(因为它和硬件之间隔了一层操作系统), 但是其安装和使用非常方便, 而且功能丰富, 比如支持三维加速等特性, 常用于桌面应用。

在云计算领域中最有用和最重要的技术是虚拟化, 尤其是移动云。云计算环境的移动虚拟化技术支持各种实时的服务和应用。此外, 它还保证了系统的可靠性, 满足了用户需求的多样化。移动虚拟化的目的是给用户提供服务, 使

收稿日期: 2012-07-09; **修回日期:** 2012-08-07。 **基金项目:** 江苏省教育厅高等学校哲学社会科学基金资助项目(2012SJD870001); 淮安市科技计划基金资助项目(HAC2011041, HAC2012055)。

作者简介: 王留洋(1974-), 男, 江苏淮阴人, 副教授, 硕士, 主要研究方向: 信息管理、信息系统、智能化信息处理; 俞扬信(1970-), 男, 江苏泰州人, 副教授, 硕士, 主要研究方向: 信息管理、信息系统、智能化信息处理、知识组织; 周淮(1973-), 男, 江苏淮安人, 副研究员, 硕士, 主要研究方向: 信息管理、信息系统、数字图书馆。

于用户使用资源,如处理器、内存、存储器、服务器等,解决了移动设备计算能力不足问题。在移动虚拟化研究中,具有代表性的虚拟化技术是在 Android、Windows Mobile 和 iPhone OS 的平台上运行^[3]。

1.2 上下文感知的多代理

多代理(Multi-Agent)系统是一种能够智能和灵活地对工作条件的变化和周围过程的需求进行响应的系统。多代理系统由多个代理通过共同合作来组成,其基本单元是代理,代理可以与其所在环境进行互动。代理由 3 个功能层组成^[4]:管理和组织层、协调层以及执行层。管理和组织层主要是获得目标定义或质询,以及相关约束条件,包括执行计划、功能评估和学习;协调层的任务是根据来自管理和组织层的基本过程定义、动作步骤激活动作的执行,对动作进行扩展,从而对事件进行响应;执行层是一系列动作执行,并跟随着对动作的检查。多代理有 4 个特点^[5]:自主化、智能化、流动性和社会能力。多代理使用 ACL(Agent Communication Language)技术进行消息传递或内存共享,使用 KQML(Knowledge Query and Manipulation Language)技术传递消息和协议。

近年来,研究人员已提出与移动计算环境相结合的多代理模型,该模型使用了包含上下文信息的知识库,知识库中含社交数据和用户的所在地信息。图 1 显示的是 FIPA(Foundation for Intelligent Physical Agents)代理平台。FIPA 是一种异构、交互代理和基于代理系统的计算机软件标准开发和设置机构^[6-7]。

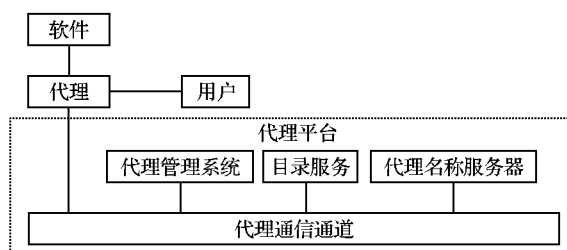


图1 FIPA代理平台

2 虚拟智能多代理

2.1 虚拟智能多代理结构

虚拟智能多代理(Intelligence Multi-Agent for Virtualization, IMAV)是一社会媒体服务多代理模型,该模型基于智能虚拟化规则对服务应用程序和合适的用户资源进行配置。IMAV 实时地管理云计算资源,并根据用户的行为重新调整资源。图 2 是 IMAV 的基本结构。

本文进行了两方面的假设:1)服务环境能提供移动云服务;2)移动设备能提供实时的社会媒体服务。为了解决记录用户使用移动设备的实时问题,以及用户在处理大数据时出现的机械故障,除移动代理外的所有代理都在服务器管理之中。移动代理记录和管理着用户的位置信息和日志文件,包括个人信息、历史服务以及访问云服务系统的请求信号。换句话说,当用户执行云应用程序时,移动代理检查日志文件中的服务信息。

2.2 用户代理

用户代理是一种对数据打包、创造分组头,以及编址、传递消息的部件^[8],它的信息包括硬件平台、系统软件、应用软件和用户个人偏好。其主要目的是接收移动代理提供的信息,同时计算社会媒体服务适用于用户人性化的相关性^[9]。计算出的信息将成为识别用户行为和信息有效虚拟化的数据。用户代理分析服务类型和访问服务类型。通过用户的位

置和数据传输率了解其访问类型,借助社会媒体服务或在其执行应用程序时需求的信息获取服务类型。执行应用程序时,用户代理所提供的信息将整合到用户的上下文中去。图 3 为用户代理结构。

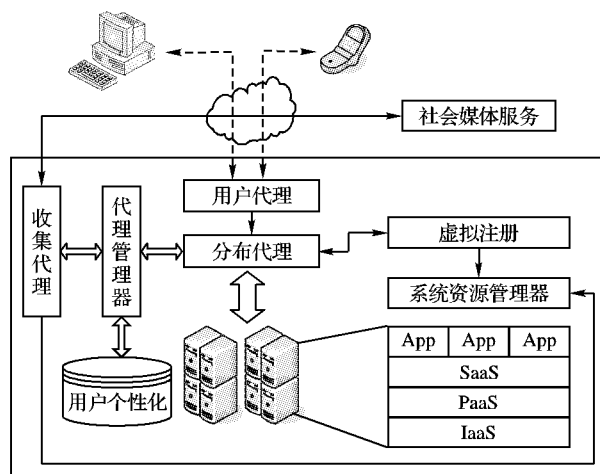


图2 虚拟智能多代理结构

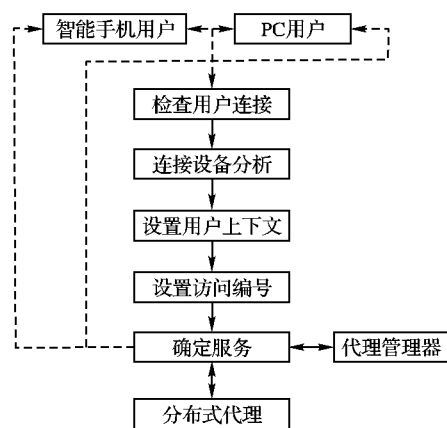


图3 用户代理

根据智能虚拟化规则,为了充分地分配系统资源,用户代理的结果将发送到分布式代理中去。用户代理也向用户提供服务范围。也就是说,用户代理创建用户的上下文,并将用户连接的设备信息和连接信息进行整合。通过创建的上下文数据,分析用户访问行为和服务连接方式。

2.3 分布式代理

分布式代理在进行社会资源分配时,将考虑用户和服务之间的相关性。此外,通过不断地识别用户的服务需求和状态,分布式代理有助于资源的智能虚拟化。分布式代理使用多层感知(Multi-Layer Perceptron, MLP)和支持向量机(Support Vector Machine, SVM)对系统的资源进行虚拟,包含验证和处理资源信息方面的虚拟化模块。图 4 为分布式代理结构。

用于虚拟资源的分布式代理信息由用户代理发送的用户上下文信息和系统资源管理器发送的系统上下文信息组成。用户上下文信息含有判断系数,该判断系数用于确定提供给用户何种服务。

除系统的物理资源外,分布式代理可推荐可替换的系统资源。为了支持和维护可靠的服务,系统管理员会收到特定用户关注的资源清单并将其重新排序。系统资源的重新排序可扩大物理资源的范围。通过系统上下文信息进行聚类,可以充分发挥每个用户的虚拟化模块。包含虚拟 ID(Identity)的虚拟化信息在虚拟时注册。分布式代理负责发

送用户状态,而虚拟化方面的监控信息则取决于代理管理的在线时间。

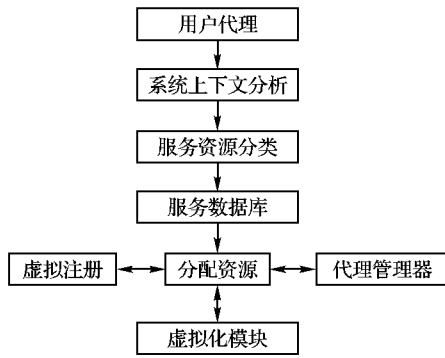


图4 分布式代理

2.4 收集代理

收集代理的作用是收集服务信息和系统所需的社会媒体数据。网站上收集到的服务信息提供社会媒体服务和与云系统中应用程序注册相关的服务数据。收集数据的范围仅限于社会网站,如 UCC(Universal Cycle) 自行车的博客和微博, SNS 和新闻。收集代理适用于收集代理搜索引擎的 Trend Watching(媒体平板)。此外,在并行处理大量数据时,在 Hadoop MapReduce 的基础之上使用 MapReduce。

2.5 代理管理器

代理管理器的主要作用是管理每个代理的创建、注册、事件和删除。此外,代理管理器为每个代理提供知识库,并根据社会资源的使用类型监控全体代理,包括每个代理活动的控制能力。监控功能是记录代理间的事件状态以及给系统管理员提供故障数据。

代理管理器只能从用户代理那里获取用户日志信息与上下文信息间的关联信息,此信息决定分布式代理创建的事件和提供给用户的服务项目。根据系统的在线时间,代理管理器定期生成和删除分布式代理创建的事件、活动。控制信号的结构由代理的 ID、控制信息、介质访问控制(Media Access Control, MAC)地址和 Trap 等组成^[10]。分布式代理的控制信号由用户代理(User Agent, UA)的系数、RequestID 和 Trap 组成。UA 系数包含提供给用户的虚拟 ID 和与之相匹配的信息。RequestID 由 UA 提供。Trap 含有分布式代理的行动状态值以及从信息系统接受到的相关事件的状态值。图 5 为代理管理器结构。

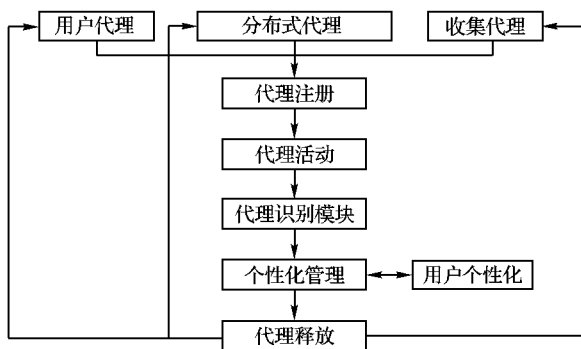


图5 代理管理器结构

2.6 虚拟注册

虚拟注册管理着分布式代理分配的社会资源虚拟信息,同时管理系统资源和系统资源状态的利用率,并提交给系统管理员。虚拟注册定期分析虚拟化的日志信息,有助于系统资源的有效管理。

与分布式代理同步的虚拟注册管理着从虚拟创建到其释放的日志数据。虚拟注册的日志数据由分配给用户的虚拟资源编号 ID、资源列表、优先的信息和关联权重组成。当系统虚拟时,提供给用户系统资源的优先级决定其关联权重。利用率 r_s 通过式(1)计算确定,其中系统资源(System Resources, SR)是由用户上下文(User Context, UC)配置的。

$$r_s = \frac{\sum_{i=1}^n (SR_i \times UC_i)}{\sum_{j=1}^m MSE(UC_j)} \quad (1)$$

为了识别多代理的权重需更新与之相关的权重。因此当资源重新分配时,多代理可提前预测虚拟方式,提供重新分配给用户的资源。另外,在系统服务历史资料中记录着全体用户重新配置的服务。系统服务历史资料与提供给其他用户的资源相比,多代理可以设置服务等级。图 6 为虚拟注册结构。

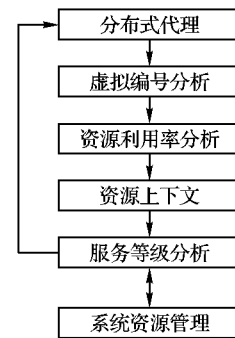


图6 虚拟注册结构

2.7 系统资源管理器

记录在虚拟注册表中的信息由系统资源管理器控制。系统资源管理器根据虚拟注册表管理着给用户提供的资源,系统管理员可通过系统资源管理器的分布状态直接或间接地控制系统资源。图 7 为系统资源管理器结构。

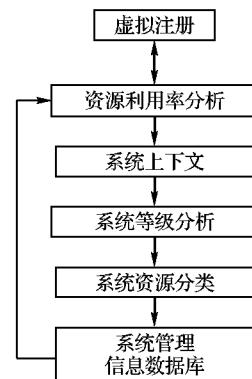


图7 系统资源管理器结构

系统资源管理器结构由系统利用率分析(u_s)、系统上下文(System Context, SC)、系统等级分析、系统资源分类及系统管理信息数据库组成。系统资源管理器可监控和管理云计算系统中的物理和逻辑资源。 u_s 使用 max-min 算法^[11]对其进行分析,由式(2)计算所得:

$$u_s = \min \left(\max \left(\frac{\sum_{i=1}^n SC \times r_s}{\sum_{i=1}^n SC} \right) \right) \quad (2)$$

系统上下文为系统等级分析提供基本的数据。形成的上下文信息根据用户实际情况重新配置系统状态。系统等级分析为提供给用户的每个资源设置等级。对提供给用户具体资

源的整个资源进行分析,所得到的结果是系统等级分析。通过分析系统资源的可用性,系统等级分析根据资源是否有高或低的可用性确定系统等级。给用户确定等级是系统资源的附加判断。

3 性能评价

在对本文提出的 IMAV 模型进行测试时,使用了基于动态重配置虚拟资源的云计算资源调度方法^[12]及 MovieLens 系统。MovieLens 是历史最悠久的推荐系统。它由美国 Minnesota 大学计算机科学与工程学院的 GroupLens 项目组创办,是一个非商业性质的、以研究为目的的实验性站点^[13]。MovieLens 主要使用 Collaborative Filtering 和 Association Rules 相结合的技术,向用户推荐他们感兴趣的电影。

本文使用的云计算网络分两个层次:第一个层次是云计算系统的资源,第二个层次是用户请求的虚拟资源。云计算网络包括云应用监视器、云应用负载管理器、重配置管理器和资源动态分配器。多代理根据用户上下文信息和系统状态使用虚拟资源。步骤如下:

第 1 步 云应用监视器监视云应用的运行状态、用户请求和访问连接,从云应用负载管理器收集云应用的负载信息。

第 2 步 云应用监视器将收集的云应用负载信息发送给重配置管理器。

第 3 步 重配置管理器根据收集的云应用负载信息进行资源重配置管理,确定是否需要为云应用增加和减少资源。

第 4 步 重配置管理器将资源动态分配的管理信息发送给资源动态分配器。

第 5 步 如果资源动态分配器收到增加资源的管理信息,则从虚拟资源列表中分配一个虚拟资源给云应用,然后把增加的虚拟资源信息发送给云应用负载管理器;云应用负载管理器将云应用部署到新增加的虚拟资源上,然后启动该云应用实例,转入第 6 步;如果资源动态分配器收到减少资源的管理信息,则通知云应用负载管理器删除一个云应用实例;云应用负载管理器删除一个云应用实例,并通知资源动态分配器回收该云应用实例的虚拟资源;资源动态分配器回收虚拟资源,即将相应的虚拟资源加入到虚拟资源列表中。

第 6 步 重复执行以上步骤,直到云应用终止运行。

图 8 为分布式资源调度 (Distributed Resource Scheduler, DRS) 运作方式。

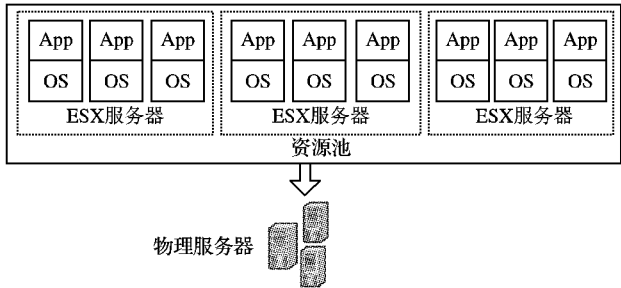


图 8 DRS 在虚拟机中自动智能地平衡资源

DRS 可以持续不断地监控主机集群中资源池的利用率,并能够根据需要在虚拟机中智能地分配其所需的资源。将虚拟机迁移到另外一台具有更多合适资源的服务器上,或者将该服务器上其他的虚拟机迁移出去,从而为该虚拟机腾出更多的“空间”。虚拟机在不同物理服务器上的实时迁移由 VMotion 来实现。在自动模式中,DRS 自行进行判断,拟定虚拟机在物理服务器之间的最佳分配方案,并自动地将虚拟机

迁移到最合适的物理服务器上。通过动态分配和平衡计算资源,能够整合服务器,降低信息技术成本,增强灵活性;减少停机时间,保持业务的持续性和稳定性;减少需要运行服务器的数量以及动态地切断当前未使用的服务器的电源,提高了能源的利用率。一旦客户将服务器整合到资源较少的物理主机上,虚拟机的资源需求往往会成为意想不到的瓶颈,全部资源需求很有可能超过主机的可用资源。根据提供的自动化机制,通过持续地平衡容量将虚拟机迁移到有更多可用资源的主机上,确保每个虚拟机在任何节点都能及时地调用相应的资源,可以显著地降低数据中心的成本与运营费用。表 1 是多代理设定的测试条件。

表 1 多代理设定的测试条件

测试条件	值
时间	1 000 s
频率	0.6 GHz
数据 VS 测试数据	4:1
输入节点数	12
隐藏节点数	6
识别率	0.15

实验时,分别测试了用户上下文 UC 和系统上下文 SC 在 Accuracy、查准率 (Precision)、查全率 (Recall) 和 F-measure 方面的用户相关性,其结果如表 2 所示。

$$Accuracy = R/A$$

$$Precision = (R_a * t)/A$$

$$Recall = (R_a * l)/R$$

$$F-measure = \frac{k * Precision * Recall}{Precision + Recall}$$

其中:A 是系统提供的系统资源集,R 是系统分配给用户的资源集, R_a 是用户获得的资源集, t 是用户资源的优先级, l 是 t 决定的用户资源关联度, k 是系统资源的利用率。

表 2 UC 和 SC 的测试结果

指标	UC	SC	DR
Accuracy	78.1	71.3	80.3
Precision	82.9	69.2	85.1
Recall	83.5	72.6	87.2
F-measure	83.0	71.3	86.5

在虚拟注册时,分布式代理管理着系统资源和系统资源状态。系统资源的利用率则是根据用户实际情况进行重新配置,提供给用户系统资源的优先级决定其关联权重,从而确定提供给用户什么样的系统资源。系统资源初始时并没有考虑其他用户和系统状态,因而用户个性化的查准率、查全率相对来说就偏低。分布式资源 (Distributed Resource, DR) 显示用户和系统资源之间推荐服务的结果。图 9 是在多代理模型中应用分布式资源的结果。

多代理根据用户的上下文给用户推荐服务资源。第一层是云系统的服务资源;第二个层按照用户请求进行资源虚拟化。如图 9 所示,多代理模型给 H3、H5 和 H7 提供虚拟化服务资源。因此,在云计算环境中根据用户需求为用户推荐虚拟化服务资源是可行的。

4 结语

本文提出了虚拟资源的多代理模型,该模型自动地为云 (下转第 3298 页)

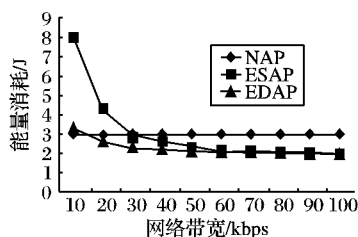


图6 不同网络带宽的电能消耗比较

4 结语

本文针对移动设备电量有限的特点,提出并实现了一个节约移动设备电量的动态程序分割算法,该算法通过在原始的分割框架中增加电量消耗图构建模块,不再直接对对象关系图进行分割,增加了算法的通用性。另外 EDAP 也考虑将移动设备类型和网络带宽作为随机变量,不仅能够根据设备类型选择分割方案,而且能根据网络环境变化调整分割方案。例如,EDAP 在带宽很低的情况下比现有的静态算法节约更多的电量。

参考文献:

- [1] KUMAR K, LU Y H. Cloud computing for mobile users: Can off-loading computation save energy? [J]. Computer, 2010, 43(4): 51-56.
- [2] 徐光, 史元春, 谢伟凯. 普适计算 [J]. 计算机学报, 2003, 26(9): 1042-1050.
- [3] AHMED J, CHAKRABARTI C. A dynamic task scheduling algorithm for battery powered DVS systems [C]// Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Piscataway: IEEE, 2004: 813-816.
- [4] LI ZHIYUAN, WANG CHENG, XU RONG. Computation offloading to save energy on handheld devices: a partition scheme [C]//

Proceedings of International Conference on Compilers, Architecture, and Synthesis for Embedded Systems. New York: ACM, 2001: 238-246.

- [5] BALAN R K, SATYANARAYANAN M, PARK S, *et al.* Tactics-based remote execution for mobile computing [C]// Proceedings of the 3rd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. New York: ACM, 2003: 273-286.
- [6] 张立, 韩银和, 袁小龙. 一种基于 Android 系统网络模块功耗的评估和分析 [J]. 计算机科学, 2012, 39(6): 289-292.
- [7] EDUARDO C, ARUNA B, DAEKI C. MAUI: Making smart phone last longer with code offloading [C]// Proceedings of the 8th International Conference on Mobile Systems, Application, and Services. New York: ACM, 2010: 49-62.
- [8] KEMP R, PALMER N, KIELMANN T, *et al.* CuCkoo: A computation offloading framework for smartphones [C]// Proceedings of the 2th International ICST Conference on Mobile Computing, Application, and Services. New York: ACM, 2010: 1-20.
- [9] CHUN B G, IHM S, MANIATIS P, *et al.* Clone Cloud: Elastic execution between mobile device and cloud [C]// Proceedings of the 6th Conference on Computer System. New York: ACM, 2011: 301-314.
- [10] 牛利民. 移动计算设备电能消耗设计 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2008.
- [11] EINARSSON A, DAM-NIESLEN J. Soot [EB/OL]. [2012-05-20]. <http://www.sable.mcgill.ca/soot/>.
- [12] 于利前, 王林章, 雷斌, 等. 静态结合的 Java 程序不变性分析方法 [J]. 计算机学报, 2010, 33(4): 736-746.
- [13] WANG L, FRANZ M. Automatic partitioning of object-oriented program with multiple distribution objectives [C]// Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Parallel and Distributed System. Piscataway: IEEE, 2008: 369-376.

(上接第 3294 页)

计算环境中的移动设备提供合适的资源。通过分析用户上下文和系统状态,可高效地使用虚拟资源。此外,模型可实时地分析社会媒体服务资源,识别虚拟的用户上下文。多代理模型给用户提供了合适的服务,用户可根据自己的实际情况使用可靠的服务;可防止服务资源瓶颈,从而提高资源的可用性;防止由于数据互传网络的传输速度和复杂性不断增加,使网络管理变得更加困难。

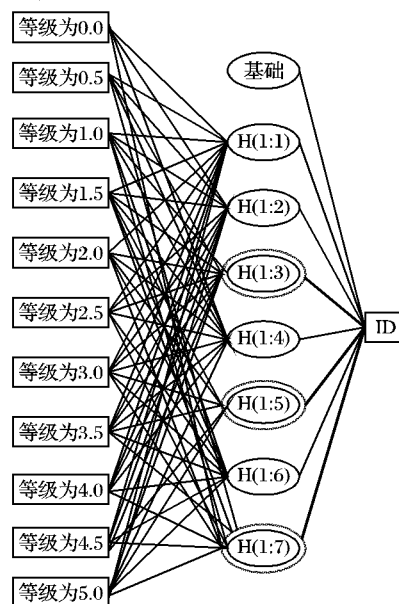


图9 虚拟化服务资源推荐

参考文献:

- [1] ANGELO F. Social media change the rules [J]. Communication World, 2007, 24(1): 9-10.
- [2] 李强, 郝沁汾, 肖利民, 等. 云计算中虚拟机放置的自适应管理与多目标优化 [J]. 计算机学报, 2011, 35(12): 2253-2264.
- [3] 张伟哲, 张宏莉, 张迪, 等. 云计算平台中多虚拟机内存协同优化策略研究 [J]. 计算机学报, 2011, 35(12): 2265-2277.
- [4] 汪良主, 张申生, 李彪, 等. 多代理系统的安全性研究 [J]. 中国机械工程, 2002, 20(13): 1745-1748.
- [5] 张书亭, 杨建军, 郭学礼. 敏捷制造执行系统的调度策略研究 [J]. 机械设计与制造, 2001, 30(3): 40-42.
- [6] 余文广, 王维平, 李群, 等. 模型驱动的组件化 Agent 仿真模型开发方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2011, 34(8): 1907-1912.
- [7] YOON H, LEE M, GATTON T M. A multi-Agent based user context Bayesian neural network analysis system [J]. Artificial Intelligence Review, 2010, 34(3): 261-270.
- [8] 用户代理 [EB/OL]. [2011-12-29]. <http://baike.baidu.com/view/1510829.htm>.
- [9] 俞扬信. 个性化网络学习的语义信息检索研究 [J]. 情报学报, 2012, 31(1): 18-22.
- [10] BHARADWAJ K K, AL-SHAMRI M Y H. Fuzzy computational models for trust and reputation systems [J]. Electronic Commerce Research and Applications, 2009, 8(1): 37-47.
- [11] 刘文红, 杨小亮, 张宏科. 带权快速 Max-Min 公平分配算法 [J]. 北京交通大学学报, 2006, 32(2): 33-35, 47.
- [12] 李旭鹏. 一种云计算网络中虚拟资源动态调度方法及系统: 中国, 201110101957 [P]. 2011-08-31.
- [13] MovieLens [EB/OL]. [2011-12-29]. <http://baike.baidu.com/view/5005130.htm>.