

# 普适计算系统架构的研究

徐文拴 辛运伟 卢桂章 陈秋双

(南开大学信息技术科学学院 天津 300071)

**摘要** 目前,普适计算已经成为计算机科学中的一个研究热点,而关于普适计算系统整体体系架构的研究工作还不多见。针对普适计算环境的特点,认为普适计算系统架构是一个开放的复杂大系统,可以利用大系统的控制论方法来解决这个分布式系统架构的一些关键问题,并提出了一种新的构建普适计算智能控制系统架构的方法,为问题的解决提供了一种新的研究思路。

**关键词** 普适计算,复杂大系统,智能控制系统,系统架构

## Research on the System Architecture for Pervasive Computing

XU Wen-shuan XIN Yun-wei LU Gui-zhang CHEN Qiu-shuang

(College of Information Technical Science, Nankai University, Tianjin 300071, China)

**Abstract** At present, pervasive computing has become one of the hot research fields in computer science. However, there is few research work on the integrated architecture of the intelligent system for pervasive computing. Based on the characteristics of pervasive computing environment, the system architecture for pervasive computing is a large-scale open complex system. Most key problems can be solved well by those solutions for large-scale system in cybernetics. A novel method for buliding the architecture of intelligent control system for pervasive computing was presented. Actually, it is a new research idea for the solving of the problem.

**Keywords** Pervasive computing, Large-scale complex system, Intelligent control system, System architecture

## 1 引言

随着普适计算相关技术的发展,目前已开展了一些关于普适计算系统架构的研究工作,大部分的研究则关注于普适计算系统架构设计涉及的关键技术及其实现,如中间件技术<sup>[1-3]</sup>、安全控制技术<sup>[4,5]</sup>、QoS度量机制<sup>[6,7]</sup>等,而对于普适计算智能控制系统的整体系统架构的研究工作比较少。

与传统的系统架构相比,普适计算系统具有其独特性,如分布式、上下文感知能力、动态变化性、用户需求的多样性、不可见性等,因此普适计算系统需要比较高层的智能控制决策。这可以由一个控制器来完成,比如识别复杂的普适计算环境的动态变化状况等。这个智能控制系统平台在一个大规模的普适计算环境中提供应用,若对环境中的各类资源、服务进行自动控制与操作,至少应该包括3部分功能:感知、建模与问题求解(即决策)和执行。

传感、决策和执行3个模块正是传统的控制系统的观点。基于此,本文提出利用大系统的控制论方法来构建普适计算智能控制系统体系架构,解决这个分布式系统架构的关键问题,为问题的解决提供一种新的思路和方法。

## 2 相关工作

目前已有的关于普适计算系统架构的研究对整体体系架构的设计思想的考虑还不多见,大部分工作集中于体系架构的实现方案方面,如中间件技术、组件技术、安全控制技术等。

Gaia<sup>[1,2]</sup>和MARKS<sup>[3,10-14]</sup>中间件均提供了一系列服务,在普适计算环境中提供应用。服务可以看作为一系列“执行机构”,而管理单元则扮演“决策者”的角色,对环境的感知则可以由上下文服务模块完成。

文献[4,8]主要探讨了组件技术在普适计算系统架构中的应用集成方法,这在普适计算系统中是非常重要的。融合“即插即用”的设计思想,对普适计算系统可扩展性的提高是非常有益的。

文献[6,7]从QoS(Quality of Service,服务质量)的角度衡量普适计算系统的性能,基于QoS判断系统的状态,根据QoS性能评价选择最佳的系统运行方案。其中文献[6]重点考虑了QoS的度量机制以及评价服务组合技术的机制;文献[7]则将QoS和资源管理服务集成到普适计算应用中,利用QoS管理器分析选择最佳的QoS运行方案。

到稿日期:2008-05-23 本文受天津市应用基础研究计划(自然科学基金)项目(06YFJMJC00200),天津市科技发展计划项目(06YFGZGX05900)资助。

徐文拴 博士研究生,主要研究方向为普适计算、信息自动化, E-mail: xuws@robot.nankai.edu.cn; 辛运伟 博士,教授,主要研究方向为普适计算、信息加密技术; 卢桂章 教授,博士生导师,主要研究方向为信息自动化、智能机器人系统; 陈秋双 教授,博士生导师,主要研究方向为供应链管理、物流系统优化、先进生产计划与调度理论、CIMS。

已有的这些研究工作针对普适计算系统的不同方面分别提出了相应的解决方案,而对完整的普适计算系统架构的考虑并不多见。本文认为普适计算是一个开放的复杂大系统,从控制论的角度进行考虑,可以利用大系统的控制论方法解决普适计算分布式系统架构中的一些关键问题,并在此基础上提出一种新的构建普适计算智能控制系统体系架构的方法,通过原型系统的实现验证其可行性和有效性。

### 3 开放的普适计算复杂大系统

开放的复杂大系统涉及广阔的研究领域及众多学科理论。复杂大系统的复杂性不但体现在系统本身,而且体现在其所处的环境等各个方面。

#### 3.1 开放的复杂大系统的概念

戴汝为先生认为,概括起来,一个开放的复杂大系统具有如下特性:开放性、多层次性、涌现性和巨大性<sup>[9]</sup>。

其中,开放性是指系统同所处的环境具有物质、能量和信息的交互;多层次性是指组成系统的子系统具有多种等级层次结构和功能;涌现性是整体的一种现象和特性,在系统科学中是指整体具有而部分不具有的一种特性;巨大性则是指系统由大量的子系统构成,各子系统的结构复杂,关联程度比较高。

比如,普遍认为 Internet 就是一个开放的复杂大系统。

#### 3.2 开放的普适计算复杂大系统的含义及特点

普适计算环境是一个传感器密集、各种异构资源、服务大量存在的智能空间,它的“传感器”和“执行器”嵌入在环境中的各个角落;用户、资源、环境是动态变化的,而且用户需求多种多样,交互方式繁多多变;“决策机构”根据用户的多样化任务需求进行问题的求解,最小化用户干预,为用户提供各种透明的不可见的服务。普适计算环境的以上特点决定了普适计算系统架构必然是一个开放的复杂大系统。

这里,我们将开放的普适计算复杂大系统理解为:为了解决普适计算环境中的某些问题,形成“无时不在、无处不在而又不可见”(Anytime, Anywhere, Invisible)的计算环境,达到普适计算环境和人类的工作、生活与学习环境相融合的目标而必须处理的一系列复杂实体所组成的体系。这里的实体包括众多因素,既可以是实物实体,如用户、资源、环境等,也可以是虚拟实体,如多样化的服务、各类子系统等。总结起来,开放的普适计算复杂大系统的特征是:普适计算系统本身与普适计算环境有大量信息的交换,所以是“开放的”;系统包含众多的子系统,因此是“大系统”;子系统的种类繁多,层次、结构多变,所以是“复杂的”。此外,普适计算系统整体表现出来的现象和特性(如无处不在、不可见性等)是各子系统不具有的,因此呈现出了一种“涌现性”,而涌现性正是复杂系统的一个重要特征。

普适计算环境是一个开放的复杂大系统,因此可以利用复杂大系统的思想来指导构建普适计算智能控制系统体系架构,解决该分布式系统架构中的若干关键问题,如相互之间的协同、反馈等,为问题的解决提供一种新的思路。

### 4 普适计算复杂大系统平台架构的建模

在普适计算复杂大系统的平台架构中,为了达到不可见性的计算目标,需要有效地解决分布式系统架构中各部分之

间的协调问题,容易进行相互之间的协同、反馈等,同时对于时效性的要求也需要有较好的考虑。

目前已有的文献中,对各部分之间协调的操作处理有各种各样的解决方法,如 Gaia 中的通信中间件(基于 CORBA)、MARKS 中间件中的对象请求代理(ORB)等。

在第 3 节中提到,普适计算系统架构平台是一个开放的复杂大系统,而且在该分布式系统架构下,对环境的感知、对信息的获取、存储与处理以及为适应各种情况而做出的优化、决策和执行等,都需要信息论、控制论和系统论参与作用,并相互渗透。

因此,本文提出利用大系统的控制论方法来解决这个分布式系统架构中的问题:首先利用大系统的控制论方法进行普适计算复杂大系统建模,然后重点解决该普适计算分布式系统架构中的一些关键问题,如协同、反馈、时效性等。

#### 4.1 普适计算复杂大系统平台的整体架构

一个开放的体系架构,首先应该具备感知外部环境变化的能力。普适计算环境下,用户、资源、环境均是动态变化的,因此需要根据多信息源的感知,进行环境的自适应处理与问题的求解和处理。

其次,对于复杂大系统而言,问题的处理方式多种多样,这就需要根据感知到的信息进行物理应用建模,进行问题的分析与处理,进而根据经验知识或预定义的规则由决策器做出决策,进行任务分配。

最后,决策器发布指令,由执行机构完成具体任务并将处理结果反馈给外部环境。这里应该注意,如果是多任务协同操作,各执行机构之间应该通过通信控制和交互控制接口完成相关任务的协调与集成,以及相关操作对时效性要求的有关控制处理。

因此,一个完整的普适计算智能控制系统平台的体系架构包括:环境信息感知模块、信息融合模块、信息处理模块、决策与任务分配模块、执行模块、规则知识库、系统接口模块等。以上模块通过提供一种形式化的定义和组合,就能具体实现和应用于普适计算智能控制系统,便于未来的系统扩展及多方的融合处理。其中,感知模块、决策模块和执行模块是整个系统架构的核心组成部分。图 1 给出了普适计算智能控制系统平台的体系架构示意图。

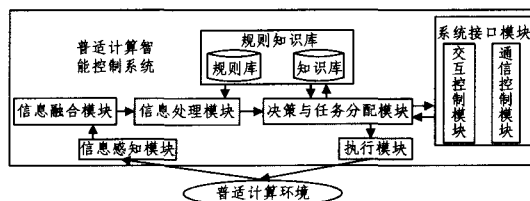


图 1 普适计算智能控制系统平台体系架构示意图

#### 4.2 各功能模块的分析与设计

下面对各功能模块分别进行说明。

##### 4.2.1 信息感知与信息融合模块

为了支持多样化的智能交互,普适计算智能控制系统平台必须具备感知外部环境的能力,即“无处不在的感知”,这种感知体现在对环境、用户和资源的感知。对环境的感知体现在对环境的动态变化情况的感知以及物理应用环境的建模上;对用户的感知包括用户的身份识别、位置定位和行为感知

等;对资源的感知包括感知资源的分布情况、处理能力以及变化情况。

信息融合模块对感知模块中感知到的多源信息进行分析、联想和合成处理,得出有用信息,进行信息的整合和挖掘,为信息的处理和决策进行预处理。

#### 4.2.2 信息处理模块

信息处理模块根据当前感知到的信息进行建模,基于用户的多样化需求采用不同的建模方法,进行问题处理,如服务发现与调用、服务协调与控制等。

#### 4.2.3 决策与任务分配模块

决策与任务分配模块用于完成问题的判断和智能控制,根据信息处理模块生成的行动规划和规则知识库中的决策规则以及相关知识,决定当前的动作并且进行任务分配。

#### 4.2.4 执行模块

执行模块是普适计算智能控制系统平台的“执行机构”,根据传入的动作指令执行相应的动作,具体完成问题,并将处理结果反馈给普适计算环境。

普适计算环境中的各种资源、设备及应用服务可以利用分布式组件技术实现,各类智能机器人也可以看作是一个功能组件,作为“执行机构”而存在,通过服务描述、服务匹配、服务发现、服务组合等组件模块提供及完成相关服务。在这里,融合“即插即用”的思想,各服务组件能够自动地集成到普适计算智能控制系统平台中提供应用。

#### 4.2.5 规则知识库

规则知识库包括规则库和知识库两个部分,可以用于信息处理、决策与任务分配模块,为信息处理和决策生成提供必要的相关知识和规则。在运行过程中,根据感知到的环境和资源的动态变化以及获取的经验知识,可以逐步修正和完善规则知识库,以提升决策的效能。

#### 4.2.6 系统接口模块

系统接口模块用于完成各普适计算智能控制子系统之间的通信和交互功能,可以完成各智能控制子系统之间的协作和协商功能。在该处理模块中,需要重点考虑各子系统相互之间的协同、反馈等,以及各子系统不同的时效性要求。

显然,基于大系统的控制论方案为协同和反馈等问题的解决奠定了很好的基础,比如可以采用分散控制、集中控制、递阶控制以及“多级控制”(以上基本控制结构的组合或集成)等解决方案实现良好的通信、协同和反馈等。

### 4.3 系统架构的进一步考虑

为了更好地体现普适计算系统机构的分布式以及无处不在的特性,进一步考虑普适计算系统架构各个模块的部署方案,如图2所示。

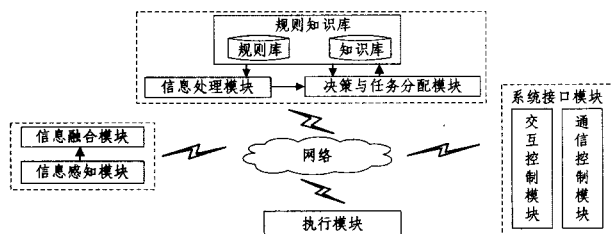


图2 普适计算智能控制系统架构部署方案示意图

感知与融合模块、处理与决策模块、执行模块以及系统接口模块进行分布式部署,分别嵌入在普适计算环境中提供服

务,各系统模块之间通过有线或无线网络进行通信,构成一个更加一般化的普适计算分布式智能控制系统架构平台,为用户提供便捷的无处不在的服务。

## 5 原型系统实现及进一步工作

这里,以普适计算环境中的服务发现过程为例说明以上普适计算智能控制系统平台原型的实现方案。

普适计算环境中,存在大量的多样化的资源及应用服务,因此智能控制系统必须能够发现存在的可用资源、设备和服务,进而确定各设备提供服务的能力。在这里,采用组件技术实现以上开放的普适计算复杂大系统,各个系统模块利用组件技术实现。

信息感知模块感知到用户的服务请求,经过信息融合模块到达信息处理模块及决策与任务分配模块。这里,信息处理及决策与任务分配模块由一个完整的服务发现过程组成,具体处理过程如图3所示。

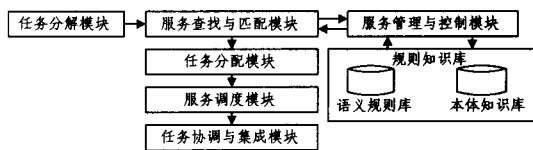


图3 服务发现处理过程示意图

经过感知和融合模块的处理,可以分解感知到的环境中的用户请求;再经过服务查找与匹配模块,可以进行服务的发现、匹配;进一步,经过服务管理与任务分配模块,通过预先设定的任务分配规则,如QoS要求、各“执行机构”(服务提供者)的执行能力等,可以确定具体的任务执行实体;然后,经过服务调度模块,可以发出动作指令,由该执行机构完成任务;最后经过任务协调与集成处理,可以将结果反馈给用户。

目前已经基于该原型系统提出了一种基于负载均衡技术的服务发现算法<sup>[15]</sup>和一种基于信任机制的服务发现算法<sup>[16]</sup>,相关算法的实验结果证明了该原型系统的可行性及有效性。

进一步的工作在于完善该原型架构,尝试应用Agent技术,将各组件模块部署到Agent智能体中,使之适用于规模更为庞大的动态变化的普适计算复杂大系统。此外,对该模型的优化,如决策规则的优化配置、基于语义的信息处理模型的构建等,也是我们下一步需要重点考虑的内容。

**结束语** 综合普适计算环境的特点,认为普适计算系统是一个开放的复杂大系统,利用大系统的控制论方法可以有效解决普适计算分布式系统架构中的一些关键问题,据此提出了一种新的构建普适计算智能控制系统平台体系架构的方法,为问题的解决提出了一种新的研究思路。此外,基于该原型系统设计了两种服务发现算法,相关结果表明了该研究方案的可行性和有效性。

## 参考文献

- [1] Romfin M, Hess C, Cerqueira R, et al. Gaia: A middleware infrastructure to enable active spaces. *IEEE Pervasive Computing*, 2002, 1(4): 74-83
- [2] Romn M, Hess C, Cerqueira R, et al. Gaia: A middleware platform for active spaces. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing*

[3] Sharmin M, Ahmed S, Ahamed S I. MARKS (Middleware Adaptability for Resource Discovery, Knowledge Usability and Self-healing) for mobile devices of pervasive computing environments// Proceedings of the Third International Conference on Information Technology; New Generations (ITNG 2006). Las Vegas, Nevada, USA, April 2006; 306-313

[4] Lewellyn-Jones D, Merabti M, Shi Q, et al. A security framework for executables in a ubiquitous computing environment// Proceedings of Globecom 2004. Dallas, USA, November 2004; 2158-2163

[5] Hill R, Al-Muhtadi J, Campbell R, et al. A middleware architecture for securing ubiquitous computing cyber infrastructures. IEEE Distributed Systems Online, 2004, 5(9): 1-14

[6] Kalasapur S, Kumar M, Shirazi B. Evaluating service oriented architecture (SOA) in pervasive computing// Proceedings of the Fourth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2006). Pisa, Italy, March 2006; 276-285

[7] Shirazi B, Kumar M, Sung B Y. QoS middleware support for pervasive computing applications// Proceedings of the 37th Annual Hawaii international Conference on System Sciences (HICSS' 04). Big Island, Hawaii, USA, January 2004; 294-303

[8] Liu R, Wang Y, Yang H, et al. An evolutionary system development approach in a pervasive computing environment// Proceedings of the 2004 International Conference on Cyberworlds (CW'04). Tokyo, Japan, November 2004; 194-199

[9] 戴汝为. 社会智能科学[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2007; 22-25

[10] Sharmin M, Ahmed S, Ahamed S I. SAFE-RD (Secure, Adaptive, Fault Tolerant, and Efficient Resource Discovery) in pervasive computing environments// Proceedings of the IEEE Inter-

[11] Ahamed S I, Zulkernine M, Anamanamuri S. A dependable device discovery approach for pervasive computing middleware// Proceedings of the International Conference on Availability, Reliability and Security (AreS' 06). Vienna, Austria: IEEE CS Press, April 2006; 66-73

[12] Sharmin M, Ahmed S, Ahamed S I. An adaptive lightweight trust reliant secure resource discovery for pervasive computing environments// Proceedings of the Fourth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2006). Pisa, Italy, March 2006; 258-263

[13] Ahmed S, Sharmin M, Ahamed S I. Knowledge usability and its characteristics for pervasive computing // Proceedings of the 2005 International Conference on Pervasive Systems and Computing (PSC-05) in Conjunction with the 2005 International Multi-conference in Computer Science and Engineering. Las Vegas, NV, USA; CSREA Press, June 2005; 206-209

[14] Ahmed S, Sharmin M, Ahamed S I. ETS (Efficient, Transparent, and Secured) self-healing service for pervasive computing applications. International Journal of Network Security, 2007, 4 (3): 271-281

[15] Xu W, Xin Y, Lu G. A lightweight, fault-tolerant, load balancing service discovery and invocation algorithm for pervasive computing environment// Proceedings of the 3rd International Conference on Innovative Computing Information and Control (ICICIC2008). Dalian, China, June 2008

[16] 徐文拴, 辛运韩, 卢桂章, 等. 普适计算环境下信任管理模型的研究[J]. 计算机科学, 2009, 36(2): 103-106, 113

(上接第 245 页)

PA 比 CSPA 平均提高了 0.36%, 最高提高了 1.0%; 加权 EA 比 EA 平均提高了 2.0%, 最高提高了 2.9%; 加权 WsnnG 比 WsnnG 平均提高了 2.8%, 最高提高了 4.3%。在策略二中, 加权 CSPA 比 CSPA 平均提高了 0.44%, 最高提高了 1.1%; 加权 EA 比 EA 平均提高了 1.24%, 最高提高了 2.5%; 加权 WsnnG 比 WsnnG 平均提高了 4.56%, 最高提高了 5.9%。与无噪声的情况相比, 在有噪声的情况下, 加权融合比单次融合提高的幅度更大。

**结束语** 聚类融合算法对多个聚类结果进行融合, 从而得到比单一算法更为优越的聚类结果。然而, 质量差的聚类成员和噪声的存在会对融合结果产生不良的影响。本文提出了一种基于属性重要性的加权聚类融合 (SoA-WCE) 方法, 由粗糙集理论中的属性重要性度量来衡量聚类成员对融合的重要性, 并据此对其赋予权重, 生成加权共生矩阵, 进而得到融合结果。实验结果表明, 本文提出的方法能较好地处理聚类成员间的质量差异, 并能有效地消减噪声对融合的影响, 从而得到更好的聚类融合结果。本文中选用的融合算法均是基于共生矩阵的, 但只要能合理定义聚类成员的加权方式, 本文提出的 SoA-WCE 方法能扩展到其他融合算法。软聚类的加权融合方法是进一步研究的目标。

### 参 考 文 献

[1] Jain A K, Flynn P J. Data Clustering, A Review. ACM Computing Surveys, 1999, 31(3): 264-323

[2] 阳琳赞, 王文渊. 聚类融合方法综述[J]. 计算机应用研究, 2005,

12: 14-16

[3] Fred A L. Finding Consistent Clusters in Data Partitions// Proceedings of the Second International Workshop on Multiple Classifier Systems, 2001. Volume 2096 of Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2001; 309-318

[4] Strehl A, Ghosh J. Cluster ensembles—a knowledge reuse framework for combining multiple partitions. Journal of Machine Learning Research, 2003, 3(3): 583-617

[5] Karypis G, Kumar V. A fast and high quality multilevel scheme for partitioning irregular graphs. SIAM Journal on Scientific Computing, 1998, 20(1): 359-392

[6] Fred A L, Jain A K. Data clustering using evidence accumulation // Proceedings of the 16th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2002). volume 4, 2002; 276-280

[7] Ayad H, Kamel M. Finding natural clusters using multi-clusterer combiner based on shared nearest neighbors// Proceedings of the 4th International Workshop on Multiple Classifier Systems (MCS'03), 2003. Volume 2709 of Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2003; 166-175

[8] 王国胤. 粗糙集理论与知识获取[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2001

[9] Merz C, Murphy P. UCI repository of machine learning databases. <http://archive.ics.uci.edu/ml/>

[10] Larson B, Aone C. Fast and effective text mining using linear-time document clustering// Conference on Knowledge Discovery in Data, Proceeding of the fifth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 1999; 16-22