

# 面向普适计算的动态自适应中间件模型<sup>①</sup>

曾宪权

(许昌学院 计算机科学与技术学院, 许昌 461000)

**摘要:** 为了提高普适计算系统的开发效率, 设计了一个基于 OSGi 框架的动态普适计算中间件模型. 该中间件模型以 OSGi 框架为基础, 建立移动管理器管理用户和服务的移动, 利用上下文管理器来管理上下文, 动态调整自己的行为, 支持上下文感知应用. 通过标准的接口实现各种异构普适设备间的互操作性. 实验结果表明该中间件能够满足通用普适计算环境的要求, 对于普适计算系统的开发具有一定的借鉴意义.

**关键词:** 自适应中间件; 普适计算; 上下文; OSGi 框架

## Dynamic and Adaptive Middleware Model in Ubiquitous Computing

ZENG Xian-Quan

(School of Computer Science and Technology, Xuchang University, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** In order to improve development efficiency of pervasive computing system, an OSGI-based framework middleware for pervasive computing is designed. The middleware is implemented under the OSGI framework. The mobile manager is designed to manage the mobility of user and service, and context manager is used to manage context and support context-aware application. The middleware has realized interoperation among the heterogeneous ubiquitous devices by applying standard interface technologies. Results of experiment show that middleware is feasible, and satisfies the characteristics and requirements of the pervasive computing environment very well.

**Key words:** adaptive middleware; ubiquitous computing; context awareness; OSGi framework

普适计算的目标是把计算机融入人们的日常工作和生活中, 形成一个无时无刻不在, 无处不在而又不可见(in all time, everywhere, invisible)的计算环境, 让计算机本身从人们的视线中消失, 让人们注意的中心回归到要完成的任务本身<sup>[1]</sup>. 在普适计算环境中, 用户可以通过各种计算设备(如 PDA、可穿戴计算机、笔记本、个人电脑以及智能电子设备等)无障碍地联入网络, 随时随地获取所需要的信息. 普适计算是分布式计算、移动计算的延伸和扩展, 继承了分布式计算、移动计算的一些特点, 又具有泛在性、不可见性和自适应性. 泛在性表现为各种各样的计算设备、广泛存在的环境感知和无处不在的网络接入; 不可见性表现为用户以最自然甚至不察觉方式享受丰富的计算服务; 自适应性表现为应用程序能

够感知上下文并适应其变化<sup>[2]</sup>. 针对普适计算环境的特点, 研究支持普适计算的基础软件架构是实现普适计算系统的关键技术.

普适计算基础软件通常采用中间件技术来支持普适计算系统的开发. 中间件是分布在应用程序和网络操作系统之间的一个服务层, 可以屏蔽普适设备的异构性, 给用户提供一个透明的、不可见的计算环境. 现有的普适计算中间件系统大多是在传统分布式中间件(如 CORBA、COM/DCOM 等)的基础上开发的, 侧重于对普适计算某些特定的非功能性需求提供支持, 不能完全适应普适计算环境的动态性和异构性需求<sup>[3]</sup>, 满足普适计算环境的要求. 因此, 我们提出了一个基于 OSGi(Open Service Gateway Initiative)框架的普适计算中间件.

<sup>①</sup> 收稿时间:2012-09-27;收到修改稿时间:2012-11-04

## 1 相关技术

### 1.1 普适中间件的概念

普适计算中间件是传统中间件技术在普适计算环境的应用和延伸,是普适网络与运行在普适设备上的应用程序之间的一个软件层,用于屏蔽普适计算环境的异构性和动态性,协调用户和普适网络之间的交互,使用户浸没于普适计算环境中,支持用户、计算设备和环境的融合,实现“以人为本”的计算需求.普适计算中间件作为底层泛在的基础设施(物理设备及/或操作系统)和上层的普适计算应用之间的一类基础软件,通过标准的接口、协议、应用程序框架等形式封装了普适计算软件的某些共性机制,为其高效开发和便捷运行提供直接的支持.普适计算中间件一方面将泛在的异构普适计算平台抽象为易于编程的实体,另一方面则在软件体系结构、公共服务等维度支持普适计算便捷性的实现.

普适计算中间件是传统网络中间件与新的软件运行环境和应用模式相碰撞的产物.与其前身不同,普适计算中间件的设计必需在屏蔽环境异构性与暴露上下文信息之间权衡,在适应资源受限环境与提供服务质量保证之间权衡.普适计算中间件需满足以下需求:

(1) 支持用户和服务的移动.在普适计算环境中,计算实体和用户在智能空间中频繁移动,为了减少分散用户注意力,有效地满足用户对各种资源的不同方式的需求,使得用户可以在不同网络环境中使用同一服务,中间件需要支持服务的移动,实现计算服务的无缝迁移.

(2) 屏蔽计算环境的复杂性.在普适计算环境中,由于计算实体和网络结构的多样性,中间件需要屏蔽计算环境的异构性和动态性,保证用户在任何时候、任何地方都能无障碍地享用计算机资源和数据.

(3) 支持上下文感知应用.为适应高度演化的普适计算环境,提高应用程序的服务质量,普适计算中间件要能够感知当前物理空间和信息空间的上下文变化,收集、传输和聚合各种上下文信息,并为上层应用提供标准的上下文访问接口,以便上层应用程序获取相应的上下文信息.当然,在这一过程中,普适计算中间件还要在屏蔽环境异构和提供上下文支持之间进行折衷平衡<sup>[3]</sup>,因为如果中间件完全掩藏了底层的异构性和动态性,上层应用将无法适应环境的变化.

### 2.2 OSGi 简介

OSGi(Open Service Gateway initiative)服务平台是由非盈利组织 OSGi 联盟制定的一个基于 Java 语言的服务规范<sup>[4]</sup>.它最初的目的就是为各种嵌入式设备提供通用的软件运行平台,屏蔽设备操作系统与硬件区别的中间件平台.通过这个平台,可以对不同软件商提供的应用进行组件的生命周期管理的能力,如应用组件可以从运行中被安装、升级或者移除而不需要中断设备的操作,应用组件可以动态的发现和使用的其他库或者应用程序.由于 OSGi 技术具有服务组件模块化、动态加载应用等优点,正被越来越多的领域关注,如嵌入设备制造业、汽车制造业、企业应用等.

OSGi 服务平台主要由三个组件构成: Bundle、服务(Service)和框架(Framework)<sup>[5]</sup>.服务是 OSGi 中最小的功能单位.每一个注册到 OSGi 框架的服务就相当于一个 Java 对象,可以被其他的应用程序使用. Bundle 是 OSGi 中最小的可发布的应用程序,是 OSGi 应用中具体实现应用的基本单位.一个 Bundle 就是一个 Jar 文件,其中包含所需要的类文件和资源文件,并包含一个描述文件.一个 Bundle 是一组合作服务的集合. OSGi 框架是一个综合的信息服务平台,是 OSGi 规范的核心组件.这个框架为应用程序提供一个安全的、标准的执行环境,动态地调整 Bundle 的生命周期.

## 2 普适计算中间件研究现状

国外对普适计算中间件的研究开展较早,除了专门的 Gaia、RCSM 等面向普适计算的中间件项目外,普适计算原型系统项目也大多拥有专门的中间件层基础设施,例如麻省理工大学 Oxygen 项目中的 MetaGlue、斯坦福大学 Interactive Space 项目中的 iRos 等<sup>[6]</sup>.国外该领域内一些知名项目概况如表 2 所示.

表 2 国外知名普适计算中间件项目

项目名称	开发者	目标
One world	华盛顿大学(美)	为普适计算环境下的自适应应用提供软件基础设施
Gaia	伊利诺斯州大学(美)	在具有良定义物理边界的“活动空间(Active Space)”内为普适应用提供软件基础设施
Aura	卡耐基梅隆大学(美)	构建一个可以释放人们注意力的普适计算基础设施
iRos	斯坦福大学(美)	为特定的普适应用场景(多人合作)设计软件基础设施
PCOM	斯图加特大学(德)	在自适应通信中间件的基础上使用构件技术构造自适应的普适应用

前述项目中的大多数都已不再活跃, 尽管它们未能最终将普适计算中间件推向实用, 但为后续的研究和探索积累了宝贵的经验与教训; 在 UbiCom、PerCom 等普适计算会议上及各类普适计算期刊上, 普适计算中间件的新的项目及其研究成果如雨后春笋一般涌现, 在与软件体系结构、分布计算、人机交互、移动通信和传感器网络等领域的最新研究进展交叉和碰撞以后, 它们展现出了前所未有的活力<sup>[7]</sup>。

目前, 国内对普适计算中间件的研究非常广泛。根据普适计算的特点, 研究人员采用不同的技术实现了许多普适计算中间件原型<sup>[8]</sup>。这些普适计算中间件主要关注于上下文感知、服务发现、安全控制、屏蔽计算环境异构性以及适用于资源受限的设备的处理等方面, 不能全面支持普适计算系统的要求<sup>[9]</sup>。

### 3 普适计算中间件MucOSGi的设计

MucOSGi 以 OSGi 基础框架为基础, 通过构建服务移动和上下文管理器来管理普适计算环境的上下文和服务, 支持用户和服务的移动以及上下文感知计算, 通过 OSGi 提供的标准接口实现了异构普适设备的互通性和集成性, 其结构如图 1 所示。其中, 上下文管理器用于收集、管理、融合和传输上下信息, 支持上下感知应用; 服务发现管理器根据服务的语义实现服务的匹配和整合; 服务移动管理器管理服务移动, 支持用户和服务在多个 OSGi 框架中移动, 实现计算的无缝迁移。如果服务迁移到一个新的 OSGi 框架, 服务发现管理器登记该服务的描述信息, 以便于进行服务匹配和整合。

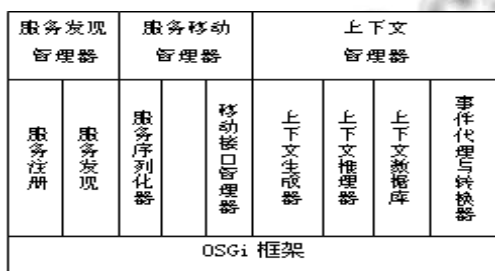


图 1 MucOSGi 的体系结构

为了支持用户和服务的移动, 需要扩展 OSGi 框架管理的 Buddler 基本状态: 安装(Installed)、解析(Resolved)、启动(Starting)、活动(Active)、停止(Stopping)和卸载(Uninstalled)<sup>[10]</sup>。这里, 增加了僵死

(Dead)、可移动(Movable)和已移动(Moved)三种状态, 当服务收到移动请求时, 系统要检查相关服务信息, 这时 Buddler 的状态转变为 Dead; 当服务从一个 OSGi 框架移动到另外的 OSGi 框架时, Buddler 处于 Movable 状态。服务移动到目的 OSGi 框架后, 服务被卸载, Buddler 的状态变为 Moved 状态。

#### 3.1 服务移动管理器

服务移动管理器用来管理服务移动, 由移动接口、服务序列化器和 SOAP 管理器组成。移动接口管理用户和服务的移动, 服务序列化器实现服务信息序列化或逆序列化, SOAP 管理器管理 SOAP 消息的发送和接收。当移动接口收到某个服务 buddler 的移动请求时, 它管理该 buddler 的生命周期。在进行服务移动之前, 服务序列化器将服务的状态信息序列化为一个标准的 XML 格式文档, SOAP 管理器发送 SOAP 消息给另一个 OSGi 框架。目的端的 BuddlerInstaller 加载类文件, 服务序列化器解析 SOAP 消息并启动服务。服务移动管理器的工作流程如下:

(1) 如果收到移动请求, 执行中的 Buddler 停止执行, 服务的状态转变为 Dead 状态, 服务序列化器将服务状态信息序列化为 XML 格式文档, 服务移动请求被发送到 SOAP 管理器。

(2) SOAP 管理器验证目的端地址, 生成一个 SOAP 消息, 并调用 SOAPService 将消息发送到目的端, 此时服务的状态为 Moveable。如果移动成功, 从服务注册中删除该服务;

(3) 目的端 SOAP 管理器接收消息和序列化的数据, 并将消息和数据传给服务移动管理器。移动管理器通过远程的 BuddlerInstaller 安装 buddler。一旦安装成功, 接收的对象被逆序列化, 服务恢复到移动前的状态, 服务的状态变为 Starting, 并在服务注册中注册。

#### 3.2 上下文管理器

上下文管理器将从传感器收集到的原始数据进行建模、推理和融合, 形成高层次的上下文, 向上层应用传输这些上下文信息。对上下文信息的表示方式及其逻辑关系建模是中间件对上下文进行处理的前提和基础。依据数据结构的不同, Strang 等将上下文模型划分为键值对模型、标记模型、图形模型、对象模型、基于逻辑的模型、基于本体的模型。其中, 基于本体的模型因具备较好表达能力及易于实现基于本体的上下文推理的特点, 近年来被广泛地使用<sup>[11]</sup>。因此, MucOSGi



适计算中间件。该普适计算中间件具有以下优点:

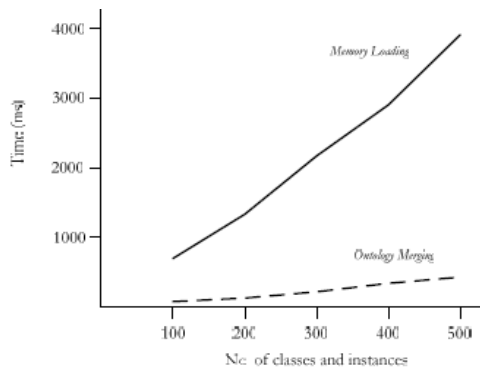


图3 上下文本体的整合效率图

(1) 以 OSGi 框架为基础, 利用标准的接口实现了各种设备的通信和控制, 是一个与平台无关的轻量级中间件, 既可以用在资源受限的设备上, 也可以用在资源丰富的 PC 上。

(2) 支持用户和服务的移动以及上下文感知应用, 满足普适计算环境的要求。

(3) 采用本体来对上下文进行建模, 有利于上下文的共享和重用。

(4) OSGi 基础服务平台的使用简化了中间件安全管理和重新配置。

### 参考文献

- 徐光祜, 陶霖密, 史元春, 张翔. 普适计算模式下的人机交互. 计算机学报, 2007, 30(7): 1041-1053.
- 贺建立, 陈榕, 康钦马. 一种普适计算环境下自适应中间件. 计算机科学, 2009, 36(7): 103-106.
- 徐照旻. 面向服务的普适计算中间件若干技术研究. 杭州: 浙江大学, 2008.
- 史殿习, 吴元立, 丁博, 等. StarOSGi: 一种 OSGi 分布式扩展中间件. 计算机科学, 2011, 38(1): 162-189.
- Redondo RPD, Vilas AF, Cabrer MR, et al. Enhancing residential gateways: a semantic OSGi platform. IEEE Intelligent Systems, 2008, 23(1): 32-40.
- 丁博, 王怀民, 史殿习. 普适计算中间件技术. 计算机科学与探索, 2007, 1(3): 241-251.
- 徐文拴, 辛运韩, 卢桂章. 普适计算中间件技术的研究与进展. 计算机科学, 2007, 34(11): 1-4.
- 李俊, 陶先平, 卜颖毅, 等. FollowMeLite: 用于普适计算的轻量级中间件平台. 计算机科学, 2007, 34(1): 17-20.
- 廖宇俊. 基于上下文感知计算的 RFID 中间件安全决策技术研究. 上海: 上海交通大学, 2009.
- Lee S, Lee J. Dynamic Context Aware System for Ubiquitous Computing Environment. Proc. of PRIMA2006, LNAI 4088. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2006: 409-419.
- Zhou L, Xiong NX, Shu L, et al. Context-Aware Middleware for Multimedia Services in Heterogeneous Networks. IEEE Intelligent Systems, 2010, 25(22): 4047.
- Open Services Gateway Initiative. <http://www.osgi.org>
- Knopflerfish. <http://www.knopflerfish.org>
- Stottinger J, Sebe N, Gevers T. Colour interest points for image retrieval. Proc. of the 12th Computer Vision Winter Work shop. 2007.
- 孙君顶, 崔江涛, 毋小省, 周利华. 基于颜色与形状特征的彩色图像检索方法. 中国图像图形学报, 2004, 9(7): 820-827.
- 张笃振. 一种基于颜色自动相关图与小波变换的图像检索算法研究. 计算机工程与科学, 2009, 31(1): 41-43.
- Zheng XF, Scott A, Sherrill-Mix, Gao O. Perceptual Shape-Based Natural Image Representation and Retrieval. IEEE Computer Society, 2007, 9: 622-629.
- 周雪梅. 基于颜色特征与形状特征的图像检索技术研究. 焦作: 河南理工大学, 2010.
- Mallat S. A theory for multiresolution signal decomposition. The wavelet representation, IEEE Trans. on PAML, 1989, 11(7): 674-693.
- 李国辉, 柳伟, 曹莉花. 一种基于颜色特征的图像检索方法. 中国图像图形学报, 1999, 4(3): 249-255.
- 陈景伟, 王向阳, 于永健. 基于边缘直方图的彩色图像检索算法研究. 小型微型计算机系统, 2010, 31(5): 978-983.

(上接第 156 页)

- Stottinger J, Sebe N, Gevers T. Colour interest points for image retrieval. Proc. of the 12th Computer Vision Winter Work shop. 2007.
- 孙君顶, 崔江涛, 毋小省, 周利华. 基于颜色与形状特征的彩色图像检索方法. 中国图像图形学报, 2004, 9(7): 820-827.
- 张笃振. 一种基于颜色自动相关图与小波变换的图像检索算法研究. 计算机工程与科学, 2009, 31(1): 41-43.
- Zheng XF, Scott A, Sherrill-Mix, Gao O. Perceptual Shape-Based Natural Image Representation and Retrieval. IEEE Computer Society, 2007, 9: 622-629.
- 周雪梅. 基于颜色特征与形状特征的图像检索技术研究. 焦作: 河南理工大学, 2010.
- Mallat S. A theory for multiresolution signal decomposition. The wavelet representation, IEEE Trans. on PAML, 1989, 11(7): 674-693.
- 李国辉, 柳伟, 曹莉花. 一种基于颜色特征的图像检索方法. 中国图像图形学报, 1999, 4(3): 249-255.
- 陈景伟, 王向阳, 于永健. 基于边缘直方图的彩色图像检索算法研究. 小型微型计算机系统, 2010, 31(5): 978-983.