

文章编号: 1005-3026(2004)04-0333-04

面向普适计算设备的软件体系结构

王济勇, 赵海, 林涛, 王金东
(东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 互为目的和手段的通信与计算是面向普适计算设备软件体系结构的核心问题, 借鉴嵌入式 Internet、网格计算、Jini 的实现思想, 针对其核心问题提出了一个满足动态和静态双重可配置性的面向普适计算设备的软件体系结构, 以及配置和裁剪其内容使其能够运行于特定资源限制和功能性能要求系统的软件开发平台。旨在解决普适计算的设备与其提供服务的多样性与嵌入其中的计算机系统资源受限的矛盾, 为普适计算的上层服务提供设备级软件体系结构上的技术保证, 实现普适计算设备间互为目的和手段的通信与协作计算。

关 键 词: 普适计算; 软件体系结构; 嵌入式 Internet; 网格计算; 双重可配置性
中图分类号: TP 302.7; TP 316.2 **文献标识码:** A

随着计算机及相关技术的发展, 通信能力和计算能力的价格正变得越来越便宜, 所占用的体积也越来越小, 各种新形态的传感器、计算/ 联网设备蓬勃发展; 同时由于人类对生产效率、生活质量的不懈追求, 人们开始希望能随时随地、无困难地享用计算能力和信息服务, 由此带来了计算模式的新变革, 这就是计算模式的第三个时代——普适计算 (Ubiquitous Computing) 时代。普适计算模式强调把计算机嵌入到人们日常生活和工作环境中, 使用户能方便地访问信息和得到计算的服务^[1~4]。

本文从体系结构的角度研究有限资源条件下, 互为目的和手段的通信与协作计算, 即解决设

备与其提供服务的多样性与嵌入其中的计算机系统资源受限的矛盾。借鉴嵌入式 Internet^[5,6]、网格计算^[7]、Jini 技术^[8]实现思想, 针对普适计算有限资源条件下的核心问题, 提出了一个面向普适计算设备的软件体系结构, 为普适计算的上层服务多样化和透明地提供奠定软件体系结构上的技术基础。

1 面向普适计算设备的软件体系结构

面向普适计算设备的软件体系结构如图 1 所示。

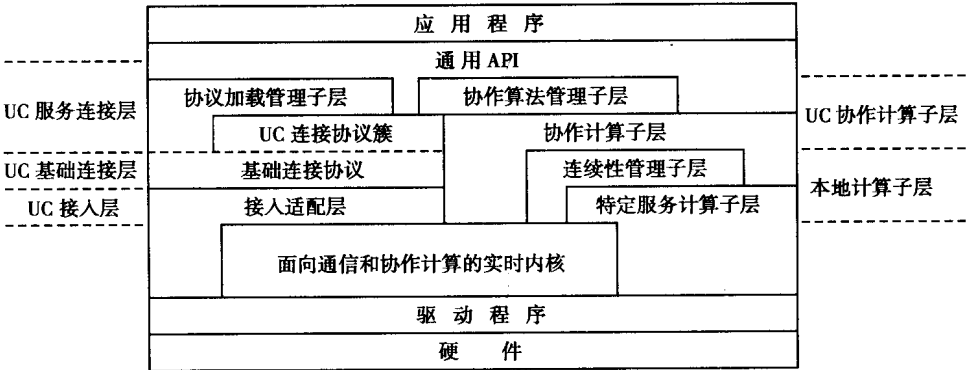


图 1 面向普适计算设备的软件体系结构
Fig. 1 Software architecture for ubiquitous computing devices

面向通信和协作计算的实时多任务内核, 是普适计算设备节点(单元)及节点之间提供有效服

务质量的保证, 除了传统实时多任务内核具有的功能, 如任务的调度、通信与同步, 还必须在内核

收稿日期: 2003-04-24
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69873007)。
作者简介: 王济勇(1975 -), 男, 山东潍坊人, 东北大学博士研究生; 赵海(1959 -), 男, 辽宁沈阳人, 东北大学教授, 博士生导师。

级别上提供对通信和协作计算的支持。因此,在内核级别上,将通信任务与协作计算任务作为两级非周期性任务,选择合适的非周期性调度服务器调度。为了满足低端设备资源受限的要求,在大多数情况下,内核的功能只能提供最有效的部分(即调度、通信与同步),内存管理、I/O 管理、文件系统等作为可选的组件,通过配置集成到内核架构中。为了实现上述目标,选择易于集成非周期性调度算法的周期性调度算法,如 RM(Rate Monotonic),实现非周期性通信与协作计算任务同内核的集成,面向对象思想指导下结合条件编译实现可配置的内核架构。

面向普适计算设备的通信协议结构分为三层,如图 1 所示,由下及上分别为 UC 接入层、UC 基础连接层、UC 服务连接层。UC 接入层包含 OSI 协议体系结构的数据链路层及其介质访问子层的协议,涉及的内容是这些协议的嵌入式版本和支持普适计算移动性相关的低层通信协议,以嵌入式 Internet 实现的 ONDC 技术对此提供支持。UC 基础连接层包含的内容是嵌入式版本的 Internet 协议簇以及协议加载管理子层所需要的连接协议。UC 服务连接层是普适计算节点可动态配置的协议部分,由两部分构成,一个是普适计算节点提供服务所需的 UC 连接协议簇,其中包括通用 Internet 应用层协议针对不同环境的嵌入式版本、支持服务移动性的命名、注册、查询等协议;协议加载管理子层根据本节点提供服务的请求,从普适计算的协议库服务器下载满足特定需求的协议或协议集^[9]。协议的动态加载部分是针对资源有限和服务多样性两者之间的矛盾设计的,这是面向普适计算设备的通信协议结构研究的主要内容。除了普适节点的动态配置方案,在此体系结构的设计中还有一个静态的配置设计,这是将这个协议结构在节点运行前由开发工具负责配置并编译、下载到目标系统。由于 Internet 所使用的绝大多数协议的原始设计就是独立的模块或组件,因此,将整个协议结构的设计成为具有静态可配置性。

本地及协作计算层包含本地计算子层和 UC 协作计算子层。这是普适计算中与通信互为目的和手段的计算所处的部分。传统意义上通信所需要的计算已经隐含在这些计算之中,但本文所要研究的核心问题,是本地特定服务提供所需的计算和与其他普适计算设备共同完成特定服务而进行的协作计算。因此,本地计算子层负责本地设备、嵌入其中的计算机系统限定的计算服务(特定

服务计算子层),和保证移动性服务的连续性管理(连续性管理子层),这是由连续性管理器通过特定服务计算子层和内核提供的服务完成。众多的普适计算设备协同工作是提供无处不在服务的前提,与通信互为目的和手段的计算实际上是指由通信协作起来的协作计算,同时为下一步的通信提供支持。UC 协作计算子层包含的两个组件的目的是扩展协作范围、更大程度上发挥普适计算设备的服务能力,与通信协议结构的设计思想类似,这是计算的动态部分。运行的普适计算节点可以根据通信和本地计算要求动态加载合适的协作算法,提供更大范围的服务。其协作算法来自普适计算的协作算法服务器。从更广义上说,普适计算的协作算法服务器也是一个普适计算节点,根据请求提供特定的协作算法。整个计算部分的结构也存在一个静态可配置的设计,这种静态配置是在普适计算节点运行之前完成的,对于某些低端的普适计算设备,动态部分可能无法满足资源的限制,而这种设备在日常生活和工作的环境中十分常见,因此,计算结构中也存在一个实现静态可配置性的设计方案。

普适计算是将计算机嵌入到工作和日常生活的环境中,其中设备的功能、形态、工作原理和接口千差万别,而且嵌入其中的计算机系统资源十分有限,这种条件决定了普适计算设备驱动程序规范是在通用性与有效性之间折衷的结果,为了使这种折衷方案更实用,要将普适计算所涉及的设备进行分类,针对每类设备制定相应的折衷方案规范。因此,研究设备分类标准是第一步工作,然后才是各类设备驱动程序规范制定的研究工作,包括每类中例程的个数、每个例程的功能、参数的数据结构等。

API 及其规范是为开发平台的建立而提供的支持。由于设备及其提供服务的多样性,将设备提供的计算服务和通信服务制定一个分类的 API 规范,以针对不同网络设备在通用性和有效性之间做出折衷,因为大多数低端的嵌入式系统,因资源限制,有效性较通用性更重要。如同上述提到的各项研究内容,在普适计算的设备级别上,将多样性的需求进行分类,在每个类层次上制定 API 规范是可行方案。因此,将普适计算的设备依据提供的服务和自身的计算能力进行了分类,然后在此基础上,对每个类层次进行研究,制定可行的 API 规范,并编写部分 API 以验证规范的有效性。

软件开发平台是针对上述的体系结构,裁剪和配置体系结构中的功能全集,使其子集能够运

行于特定资源限制和功能/性能要求的系统中,尽管上述的研究内容都包含了静态可配置和可裁剪的架构,如果没有合适的工具,实现一个这样的设备节点将是十分复杂的工作。因此,这个软件开发平台的研究内容是要开发一个配置工具和一个脚本语言,将配置工具的结果生成脚本语言,对脚本语言的解释执行生成编译和创建目标实时操作系统内核的配置和编译的相关文件。通过相应的编译器和连接程序就可以生成包含配置内容的普适计算的设备节点的软件系统。借鉴 eCos 的 IDL,设计了一个形式化描述配置结果的脚本语言,它能够将形式化描述结果翻译成源文件和编译的其他相关文件。

2 原型实现方案

面向普适计算设备的软件体系结构的核心组件是面向通信和协作计算的实时多任务内核,其他研究内容都是在其架构基础上的可配置组件,因此,可配置、可裁剪架构的实时多任务内核是该研究的第一步工作。

从量化实时多任务内核各个功能层面的代码结构和数据结构开始,确定最小的功能子集,依次添加通信与同步功能、解决固定优先级分配策略中优先级倒置问题的协议;改换动态优先级分配策略;添加非周期性调度算法。进而,用随机生成任务集的方法评估这些非周期性任务服务器分别在不同功能层面的内核中的可调度性、响应时间和额外开销(如调度开销、抢占开销)。这个过程中包含了内核从简单到复杂的机制融合过程,因此,从这个过程中,能够得到一系列可添加组件的内核结构,即可裁剪、可配置的内核结构。在此基础上,在特定的硬件平台上对它们的原型予以实现,为了保证整个系统的功能和实时性能,依据集成各非周期性任务调度服务器算法评估的结果,进而评估各种网络环境下,对网络事件响应的实时性能、整个系统的实时性能以及额外开销情况。这些测试的结果成为描述特定内核的属性,在开发平台中作为用户或/和系统开发人员配置内核的依据,这样就形成了一个可裁剪、可配置的内核架构。

面向普适计算设备的通信协议结构依据嵌入式 Internet 在设备的 Internet 互连上提供的技术支持,先解决 UC 接入层和 UC 基础连接层。这两部分内容主要是 Internet 相关协议的不同环境要求的嵌入式版本,是静态可配置性的主要内容。UC 服务连接层是研究的重点内容,在此借鉴网

格计算和 Jini 实现的思想,先将协议重构成面向特定目标的嵌入式版本协议集,然后对其属性进行量化描述,这样,面向特定目标的协议集就类似于 Jini 计算环境中的服务。进而,依据 Jini 实现的方法,实现通信协议的动态配置。面向普适计算设备的计算层的特定服务计算子层受限于特定设备,预先选定几个实验室的特定设备,以其为原型实现相应的特定服务计算。借鉴于 SIP (Session Initiation Protocol)^[10]实现移动性的思想,实现连续性管理器,这样就实现了 UC 本地计算子层的一个原型。对于 UC 协作计算子层,同样采用 Jini 实现的思想,量化地描述协作算法,实现协作计算的动态部分。

设备驱动程序、API 及其规范是设备本身的功能和嵌入其中普适计算节点计算机系统功能二者融合后结果功能及其提供形式的准则。因此,API 的规范实际上是其功能描述的规范,每个 API 都有一系列属性描述其功能,如本地计算、通信、协作计算等。这些 API 的实现都依赖于具体的设备,提供的服务层次也不同,如通信类 API 可以在应用层(注册、通知等),也可以在传输层,依据此规范,OEM 厂商能够明确提供给应用程序开发人员 API 所支持的服务。

软件开发平台是为普适计算设备节点开发人员开发特定目标系统的软件系统而提供的工具,上述研究内容都提供了可配置、可裁剪的架构,该开发平台将这些架构变成实际的系统。首先是配置工具,以友好的用户界面表达开发人员的需求描述,然后转换成条件编译所需要的变量;对于面向对象程序设计,配置所需要的条件编译选项较少,以文件形式选择配置居多。配置工具涉及用户需求的形式化描述,及这种描述到源代码文件和编译的相关文件的翻译。其次是编译和调试工具,绝大多数的这类工具使用已存在的版本,除了面向自主设计的一款 CPU (它的任务切换由硬件实现)的编译和调试工具、下载工具,根据目标系统的不同,采用硬件厂商和第三方提供的硬件/软件工具,对于一些支持在系统可编程的芯片,可以软件作为下载工具,如 AVR 8 位系列微控制器。作者自主设计的这款 CPU 是软件开发平台测试的特定硬件平台之一。

以网络化的 UPS (不间断电源)为例,说明这个普适计算设备软件系统的构架及其实现。网络化 UPS 的软件系统为了连接到以太网与外界通信并监控设备(UPS),需要两个驱动程序,即以太网卡驱动程序和监控 UPS 的驱动程序。为了给

系统提供时限保证,采用了一个抢占式的实时内核.系统的 UC 接入层和 UC 基础连接层采用了以太网之上的嵌入式 TCP/IP 协议栈.将 UPS 的监控功能实现后,网络化 UPS 就具备了一个普适计算设备连接外界和本地计算的能力,根据特定的目标环境,用户可以配置系统并开发自己的应用程序.这样,一个普通的 UPS 被嵌入式系统改造成一个普适计算设备,可以与其他设备联合完成复杂的任务.

3 结 语

本文提出的面向普适计算设备的软件体系结构具有双重可配置性,重点解决有限资源条件下通信和协作计算互为目的和手段的核心问题,其特色和创新之处如下.

(1) 具有双重可配置性的面向普适计算设备的体系结构,包括静态和动态可配置的通信协议结构和协作计算结构、静态可配置的内核架构.

(2) 将通信协议集和协作算法作为统一服务对象的动态配置实现方案,在静态配置的基础上能够实现适应运行环境的可动态配置系统.

(3) 充分使用和借鉴成熟的技术,增强了其可实现性.

(4) 设备级的软件开发平台,这是一个与体系结构及其组件相辅相成的软件开发平台,能够充分发挥体系结构及其组件的优势.其配置工具能够形式化地描述开发人员由交互界面输入的需求,并将其翻译成相应的源代码和编译所需的相关文件.

可配置的结构和开发工具的结合实现了这个软件体系结构的静态可配置性,而作为可扩展的

协作计算基础的动态可配置性由普适计算设备与相关服务器的交互完成.本文只给出了动态可配置性在普适计算设备端(客户)的需求及实现机制,因此,动态可配置性所需的服务器及其相关的交互协议是下一步的主要研究工作.

参考文献:

- [1] Weiser M. Hot topics: ubiquitous computing [J]. *IEEE Computer*, 1993, 26(10): 71 - 72.
- [2] Weiser M. Some computer science problems in ubiquitous computing[J]. *Communications of the ACM*, 1994, 36(7): 74 - 83.
- [3] Tandler P, Streitz N A, Prante T. Roomware: moving toward ubiquitous computers[J]. *IEEE Micro*, 2002, (11/12): 36 - 47.
- [4] Abowd G D, Mynatt E D. Charting past, present and future research in ubiquitous computing[J]. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction. Special Issue on HCI in the New Millenium*, 2002, 7(1): 29 - 58.
- [5] 赵海,陈飞鸣. Embedded Internet 的体系结构及其 ONDC 模型的实现[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 1999, 20(3): 257 - 259.
(Zhao H, Chen F M. Embedded Internet architecture and establish of the ONDC module[J]. *Journal of Northeastern University(Natural Science)*, 1999, 20(3): 257 - 259.)
- [6] Lee B H. Embedded Internet systems: poised for take off [J]. *IEEE Internet Computing*, 1998, 2(3): 24 - 29.
- [7] Foster I, Kesselman C, Tuecke S. The anatomy of the grid: enabling sealable virtual organizations [J]. *Int J High Performance Computing Applications*, 2001, 15(3): 200 - 222.
- [8] Waldo J. The Jini architecture for network-centric computing [J]. *Communications of the ACM*, 1999, 42(7): 76 - 82.
- [9] 王济勇,林涛,李传鹏,等. 一个嵌入式移动计算平台: WebitAgent 系统模型[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2002, 23(5): 421 - 424.
(Wang J Y, Lin T, Li C P, et al. Embedded mobile computing platform: WebitAgent system model[J]. *Journal of Northeastern University(Natural Science)*, 2002, 23(5): 421 - 424.)
- [10] Schulzrinne H, Wedlund E. Application layer mobility support using SIP [J]. *ACM Mobile Computing and Communications Review*, 2000, 4(3): 47 - 57.

Software Architecture of the Ubiquitous Computing Devices

WANG Ji-yong, ZHAO Hai, LIN Tao, WANG Jir-dong

(School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China. Correspondent: WANG Ji-yong, E-mail: buyi@mail.neu.edu.cn)

Abstract: At the core of the problem of the ubiquitous computing devices is the fact that communication has a reciprocal purpose and means with computing. By virtue of the idea implementing embedded Internet, grid computing and Jini, a software architecture is therefore proposed to be configurable statically and dynamically, together with a software development platform which can configurate and prune the architecture components to run on the purpose-specific systems with their unique resource and function constrained. The architecture intends to solve the contradiction between the diversity of services to be provided by ubiquitous computing devices and the resource limitation of the computers embedded in them, thus implementing the communication and collaborative computing when there is a reciprocal purpose and means of communication with computing among the ubiquitous computing devices.

Key words: ubiquitous computing; software architecture; embedded Internet; grid computing; dual configurability

(Received April 24, 2003)