

# 支持普适计算的多嵌入式软件系统研究

石为人, 古 月

(重庆大学 自动化学院, 重庆 400044)

**摘 要:** 本文紧密结合当前最新国际研究动态, 综述了普适计算的关键技术以及支持普适计算的嵌入式软件系统, 重点介绍了普适环境下多个嵌入式系统协作问题的解决方案, 并对今后的应用前景进行了展望.

**关键词:** 普适计算; 觉察上下文计算; 多嵌入式系统; 智能空间

## Research on Multi-Embedded Software System in Pervasive Computing Era

SHI Wei-ren, GU Yue

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** Analyzing the newly international research trends, this article summarizes the key technology of Pervasive Computing and Embedded Software System in Pervasive Computing era, especially the solutions of cooperation problems of Embedded system, and the prospects of application are described.

**Key words:** pervasive/ubiquitous computing; context-awaring computing; multi-embedded system; smart space

### 1 引 言

随着计算机硬件设备的低功耗、小型化、微型化和高带宽网络及无线移动网络技术的不断成熟, 把计算能力嵌入到各种设备中实现实时处理和联网使用成为现实, 并且越来越普遍. 普适计算技术在现实世界的具体化使得嵌入式系统成为普适计算应用的关键. 因此, 将普适计算模式涉及的人机交互理论, 觉察上下文理论和协作机制等理论应用于嵌入式系统中, 来管理大量联网的多个嵌入式设备, 为多嵌入式系统之间的数据交换、消息交互、服务发现、任务协调、任务迁移等提供系统级的支持, 使多嵌入式系统通过对其他对象和用户的感知来接收、执行、协作和控制众多任务和功能, 促进人与多嵌入式系统之间的交互是嵌入式软件系统需要研究的内容. 对异构的多嵌入式

系统的支持问题, 上下文信息的数据库、多嵌入式系统中透明的蕴涵式人机交互模式以及多嵌入式系统间的协作机制等相关问题的研究也正在蓬勃开展. 本文综述了普适计算模式的最新研究成果, 特别是觉察上下文计算理论、普适计算环境下的多嵌入式系统构架理论、多嵌入式系统协作理论的研究成果, 介绍了普适环境下多嵌入式系统的应用实例—智能空间的关键技术体系.

### 2 普适计算及其关键技术

普适计算(Pervasive Computing 或 Ubiquitous Computing)是继主机计算(Mainframe Computing)和桌面计算/Desktop Computing)之后的一次计算模式的新变革. 普适计算的思想最早由已故的前 Xerox PARC 首席科学家 Mark Weiser 在 1991 年提出, 并开始得到广泛关注和

基金项目: 重庆市电子信息关键技术及产业化(重大专项)项目.

作者简介: 石为人(1948—), 男, 重庆人, 教授, 博导, 主要研究方向为嵌入式系统、普适计算理论、群决策与分布式人工智能等.

接受,许多相关的研究计划纷纷启动,目前已成为国际上一个蓬勃发展的研究热点. 普适计算是信息空间和物理空间的融合,在这个融合的空间中人们可以随时随地,透明地获得数字化的服务<sup>[1]</sup>. 在普适计算时代,计算机系统中最宝贵的资源已不再是处理器、内存、磁盘,或者网络了,而是用户的注意力<sup>[2]</sup>. 普适计算提出了一种新的人机交互方式—蕴涵式人机交互,它需要系统能觉察在当时的场景中与交互的任务有关的上下文,并据此作出决策和自动地提供相应的服务. 普适计算模式下上下文将随任务而变化,而且由于工作环境是现场,其中的背景情况不但复杂而且是动态变化的,使上下文的动态性问题更加突出.

普适计算涉及许多重大技术革命,从软件的角度讲,其中影响最深远的莫过于觉察上下文计算(context-awaring computing). 觉察上下文的计算,要求系统能觉察在当时的场景中与交互的任务有关的上下文,并据此作出决策和自动地提

供相应的服务. 当前的上下文信息通常可从各种传感器中获取. 上下文有不同的层次:低层的和高层的<sup>[3]</sup>. 从传感器直接得到的上下文通常是低层的,与各种上下文传感器系统进行交互,把有关的上下文解释为所希望的格式. 为了把低层的传感数据处理与高层的应用分开,需要引入中间层. 它的作用是收集原始的传感器数据,把这些数据转换成应用程序能理解的格式并把它们发送到对它有兴趣的应用程序. 如果要从应用程序的工作环境中访问上下文信息就需要利用被称为“上下文工具”(context widget)的软件模块. 每个“上下文工具”有一个状态(即一组属性)和一个行为(即一组由上下文变化触发的回调函数). “上下文工具”从传感器获得上下文信息并把它们传送到解释器或服务器用于集成. 解释器和服务器向要求访问的应用程序提供简单的 API. 这方面的研究比较典型的项目有 Stick-Enotes<sup>[4]</sup>, Context Toolkit<sup>[5]</sup>, Context Fabric<sup>[5]</sup>.

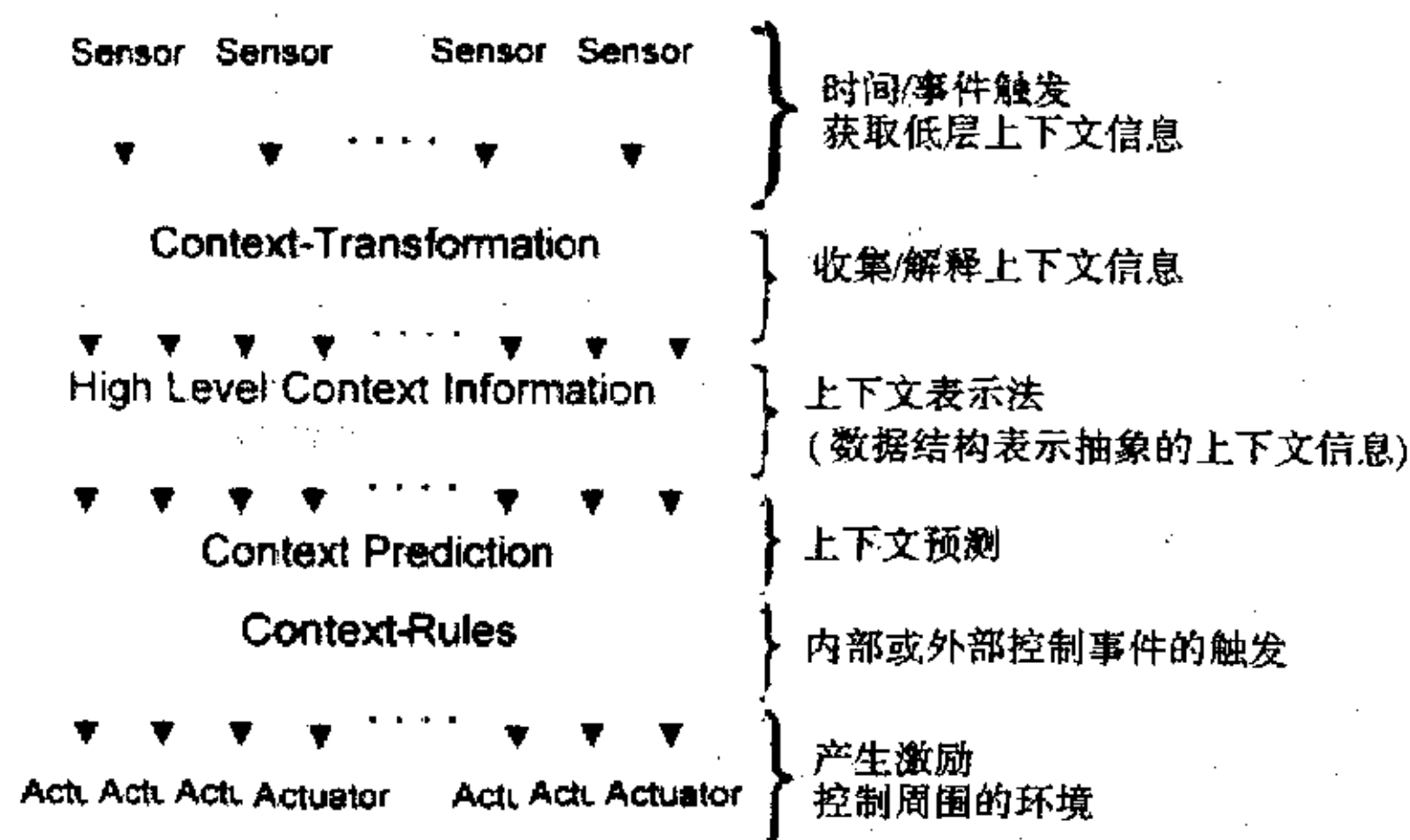


图1 觉察上下文系统的体系结构

在觉察上下文计算方面,有利用上下文信息来进行流水线式人机交互理论的研究<sup>[6,7]</sup>;有采用 Bayesian 网络作为概率框架,根据来自传感器的数据,推理查询上下文变量的研究<sup>[8]</sup>;有采用 Kohonen Self Organizing Map 人工神经网络的方法,用概率的有限自动机对输入的传感器数据进行标记、分类并校验的研究<sup>[9]</sup>;还有把从传感器获得上下文信息传送到解释器或服务器用于集成的“上下文工具”的研究<sup>[10-13]</sup>. 这些研究中都涉及到对上下文信息的获取,表示及应用. 现在,觉察上

下文计算的重要性已为越来越多的研究者所认识,其本质上是一种协助其他应用提高性能的信息基础支持工具. 普适计算的系统软件要实现对物理实体的统一管理,系统的自适应性,系统之间的互发现与协调,都需要一种统一的上下文信息模型来解决在开发应用系统的过程中遇到的上下文种类的多样性、数据格式和精度的互异性、时间的异步性等一系列难题.

### 3 支持普适计算的嵌入式软件系统需求

在未来的普适计算时代,服务是最重要的,因此嵌入式软件的地位也愈加重要.普适计算环境下嵌入式软件系统对普适计算中大量的嵌入式设备进行管理,为它们之间的数据交换,消息交互,服务发现,任务协同,任务迁移等提供系统级的支持.普适时代对软件提出新的要求:

(1)服务发现:由分布式嵌入式系统组成的混合网络要求节点间在没有预备知识的前提下互相熟悉,协作<sup>[14]</sup>,为理解节点间的相互“认识”,现有的一些软件技术,如 Jini、Upnp、Salutation、Jet-Send 等可选的对等连通技术和 Bluetooth-SDP 技术等,都致力于开发允许设备在混合网络中申明其存在和了解其他设备的能力.

(2)自适应:第一,程序界面能够自适应于用户所采用的设备;第二,程序能够自适应于可使用的服务;第三,能够在不同的时间和不同的设备上提供连续性的服务.移动技术和网络.

在过去几年,以嵌入式为核心的智能设备智能提供简单的功能,现在具有互联功能的嵌入式芯片越来越多. IPv6 的应用解决了地址容量不足的问题,从 WebPAD 到智能家电,每个设备都可以分配到一个 IP. 未来许多无处不在的设备将会随着用户的移动而在不同的工作环境间转换,需要获取持续的网络连接. 全无线移动通信网络(ad hoc networking)的应用,使用户可以跨越路由器进行漫游,不必手工配置网络地址和无线网络名称(ESSID). 将要到来的普适计算时代,无处不在的移动和固定智能设备将通过发达的移动和网络技术尽快被定位并访问适当的信息和资源,协作完成特定的任务.

(3)对物理实体的管理:当物理实体嵌入有传感、计算、效应能力时“必须提供对它们的高层接口”即相当于传统的驱动程序.

(4)模块间的协调能力:在普适计算时代,人们关注的是如何让多个分布式计算实体(进程或设备)互相协作,共同为人类提供服务. 这就是协调机制的作用. 屏蔽计算任务是由哪个计算实体具体执行的细节而展现出一个统一的服务界面,

这就是支持普适计算的软件平台和中间件研究要完成的任务.

(5)高安全性和高可靠性:嵌入式设备往往对安全性和可靠性要求很高,这要求作为基础软件的嵌入式操作系统具有高安全性和高可靠性.

(6)嵌入式软件的构造是支持自我配置,动态更新:为了解决可裁剪这一灵活性问题,最新的组件技术也正在被下推到嵌入式操作系统环境之中. 组件技术还可以解决网络环境下对于程序动态下载运行模式的新要求. 新一代的移动设备不可能在出厂时预先安装和存储所有可能会用到的程序,因此必须能够动态寻找和加载程序. 而这种寻找和加载对用户应该是透明的.

### 4 普适计算环境下多嵌入式系统的协作问题

普适计算的提出对原有的计算机科学理论体系提出新的考验. 为便于进行讨论和分析普适计算系统,目前,美国国家标准和技术学会(NIST)的信息技术实验室(ITL)<sup>[15]</sup>和德国达姆施塔特大学(Darmstadt University)<sup>[16]</sup>分别提出了类似于 OSI 参考模型的普适计算层次化模型(LPC, Layered Pervasive Computing Model). 同时,美国斯坦福大学(Stanford University)提出了普适计算环境服务构架<sup>[17]</sup>,它为用户和普适计算服务提供了交互界面. 美国卡耐基-梅隆大学对普适计算环境中针对用户移动性的结构框架进行研究. 瑞士福里堡大学(University of Fribourg)也提出了一种普适计算协作模型 XCM(X Coordination Model)<sup>[18]</sup>,XCM 能够根据上下文的行为反应协作处理普适计算中的抽象概念(如环境、实体、约束、规则等).

目前,解决普适计算环境下协作问题的方法有各种分布式组件结构(如 CORBA、EJB、RMI 等)、SUN 公司提出的 Jini(Java Intelligent Network Infrastructure)技术和多智能体技术等.

对于分布式组件结构,清华大学的徐光佑教授指出由于用对象来抽象普适计算中的模块是不合适的,这种缺陷导致用各种分布式组件结构来直接支持普适计算也是不合适的<sup>[19]</sup>.

Jini 技术为解决普适计算中的协作问题提供



了新的解决方案<sup>[20-23]</sup>。但是,由于 Jini 技术对嵌入式系统资源要求较高,并且一些嵌入式应用中的底层通信协议也不支持 Jini。所以,如何使嵌入式系统加入到 Jini 网络,就成为应用 Jini 技术解决普适计算协作问题的关键,目前主要有三种解决方法:一种是提高嵌入式设备的资源,这样嵌入式系统可以完全支持 Jini;另外一种方法是采用 Jini 代理体系结构,不要求设备自身支持 Java 和 Jini 技术;第三种方法是将 Jini 进行移植。

多智能体技术的出现,为解决普适计算中协作问题提供了更好的选择<sup>[19,24-26]</sup>。Agent 具有自律性(Autonomy)、社会性(Social ability)、反应性(Reactivity)、自发性(Pro-activeness)等优良特性,适合于解决普适计算环境下的协作问题<sup>[27-30]</sup>。例如,麻省理工的 Oxygen 计划<sup>[24]</sup>和清华大学的 Smart Platform 计划<sup>[19]</sup>都在研发基于多 Agent 系统的软件平台,解决普适计算环境下的协作问题。目前,由于嵌入式系统本身资源有限,Agent 技术应用于嵌入式系统同样存在资源限制的问题。在利用 Agent 技术来解决多嵌入式系统协作问题时,必须考虑协作过程中 Agent 对系统资源的要求。

## 5 普适计算环境下多嵌入式系统的应用实例——智能空间与全球智能空间

智能空间是指“一个嵌入了计算信息设备和

多模态的传感器的工作空间”。智能空间应具备的功能和为用户提供的服务包括:能识别和感知用户以及他们的动作和目的,理解和预测用户在完成任务过程中的需要;用户能方便地与各种信息源进行交互;用户携带的移动设备可以无缝地与智能空间的基础设施交互;提供丰富的信息显示;提供对发生在智能空间中的经历及以后检索回放;支持空间中多人的协同工作以及与远程用户的沉浸式的协同工作。

许多学术界以及工业界的研究机构都有自己的“智能空间”研究计划。MIT 实验室的 Intelligent Spaces<sup>[31]</sup>项目的 Cricket v2—室内定位系统(Indoor Location System)开发了基于 TinyOS 的新的软件包,利用先进的嵌入式网络设备和无处不在的网络连接,实现特定范围内的普适环境下连续的目标跟踪,并于今年投入商业应用。NIST 的 Smart Space 实验室在支持语音交互、手写输入,宽屏显示,形状敏感设备,目光跟踪,手势识别,声音识别,声音探测,声学成像,语音识别,传感器互容等方面的研究已取得初步成效,其著名的应用范例如 Smart Meeting Room<sup>[32]</sup>。在这个方面比较著名的还有:MIT 媒体实验室的 SmartRooms<sup>[33]</sup>计划、KidsRoom<sup>[34]</sup>计划,Stanford 大学的 Interactive Workspaces 计划<sup>[35-36]</sup>,Gatech 大学的 AwareHome 计划<sup>[37]</sup>,IBM 公司的 DreamSpace 计划<sup>[38]</sup>等等。

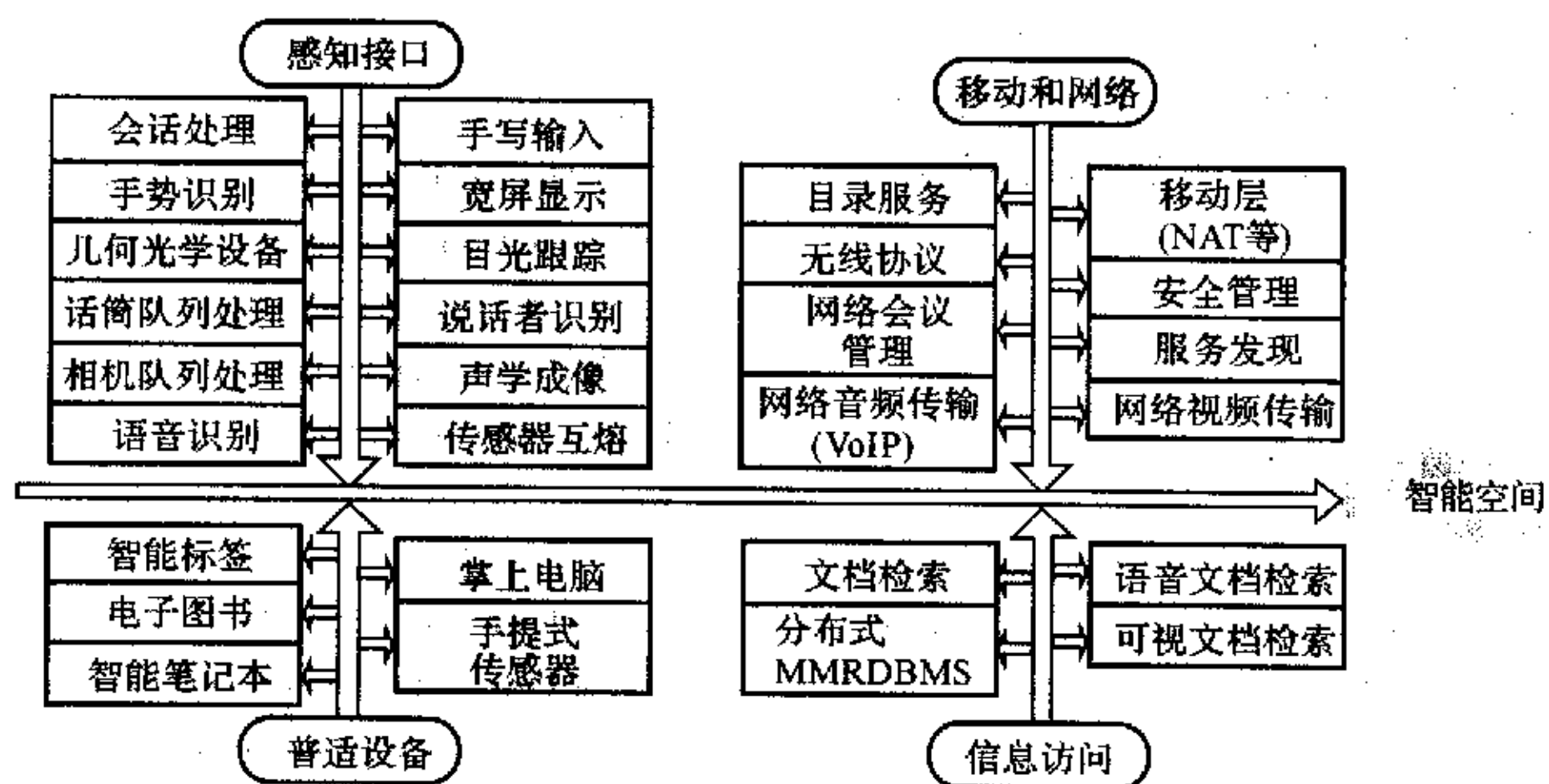


图 2 智能空间的关键技术体系

在移动技术飞速发展的今天,人们不再满足于在某个固定空间里才拥有智能化服务,我们要这种智能随着我们的移动而无处不在. 移动计算技术(Mobile Computing)与智能空间相结合,使人们能够在智能空间中自由活动,享受无所不在的信息服务,并能从一个智能空间移动到另一个智能空间,这就是普适计算. 但是,每一个智能空间只能覆盖一定范围,网格计算(Grid Computing),能像电力网络输电一样传输计算和信息,于是,在网格计算的支持下,由智能空间构成的网格使全球智能空间(Global Smart Space)<sup>[39]</sup>终成可能.

## 6 结 语

嵌入式系统支持普适计算的基础. 如一个新的应用范例无疑给嵌入式软件的主要研究方法带来冲击. 但实现普适计算仍有很长的路要走. 目前仍缺少被广泛接受的工业标准,比如自我配置,服务发现等需要统一的标准;缺乏为自我组织服务和域间而建立的基础结构,缺少一种表示上下文信息的通用数据结构等. 由于种种原因,我国错过了从主机到桌面计算模式的创新工作,这是造成我国的信息产业在总体上落后于西方国家的原因之一. 目前,国际信息技术界正在酝酿着普适计算模式的第三次浪潮. 这对我们来说,现在正是一个难逢的历史机遇,但同时也提出了严峻的挑战. 研究嵌入式技术发展具有提升作用的关键性理论和技术,并应用于嵌入式系统开发,必将使我国嵌入式系统开发水平得到跨越式发展,使之符合未来普适计算发展需求.

## 参考文献

- [1] 徐光佑,史元春,谢伟凯. 普适计算. 计算机学报, 2003,26(9):1042—1050.
- [2] M. Weiser, J. S. Brown. The Coming Age of Calm Technology. In *Beyond Calculation: The Next Fifty Years of Computing*. Springer-Verlag, 1997.
- [3] Alois Ferscha. Coordination in Pervasive Computing Environments. *Proceedings of the Twelfth IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises*, 2003.
- [4] The Context Toolkit <http://www.cs.berkeley.edu/~dey/context.html>
- [5] Context Fabric <http://guir.berkeley.edu/projects/confab/>
- [6] G. D. Abowd, B. N. Schilit. Ubiquitous Computing: The Impact on Future Interaction Paradigms and Hciresearch. In: *Proceeding of CHI'97 Workshop2*, Atlanta, USA, 1997.
- [7] G. D. Abowd, A. K. Dey, P. J. Brown, N. Davies, M. Smith, P. Steggles. Towards a Better Understanding of Context-Awareness. In: Gellersen H W ed. *Handheld and Ubiquitous Computing*. Berlin: Springer, 1999. 304—307.
- [8] P. Castro, R. Muntz. Managing Context Data for Smart Spaces. *IEEE Personal Communication*, 2000,7(5): 44—46.
- [9] A. Schmidt, et al. Advanced Interaction in Context. In: *Proceedings of the 1st International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, Karlsruhe, Germany, 1999. 89—101.
- [10] W. N. Schilit. A System Architecture for Context-aware Mobile Computing [Ph D dissertation]. Department of Computer Science, Columbia University, USA, 1995.
- [11] J. Pascoe. The Stick-Enote Architecture: Extending the Interface Beyond the User. In: *Proceedings of International Conference on Intelligent User Interfaces*, Orlando, USA, 1997. 261—264.
- [12] A. K. Dey, D. Salber, G. D. Abowd. A Conceptual Framework and a Toolkit for Supporting the Rapid Prototyping of Context-aware Applications. *Human-Computer Interaction*, 2001, 16(2—4): 97—166.
- [13] J. I. Hong, J. A. Landay. An Infrastructure Approach to Context-aware Computing. *Human-Computer interaction*, 2001,16 (2—4).
- [14] LI MIN, Wang Hui, Li Ping. Embedded System Engineering in Pervasive Computing Era: A Software Approach. *Proceedings of IEEE TENCON'02*.
- [15] L. Ciarletta, A. Dima. A Conceptual Model for Pervasive Computing. *Parallel Processing*, 2000. *Proceedings. 2000 International Workshops on*, 21—24 Aug. 2000. 9—15.
- [16] M. Muhlhauser. Ubiquitous Computing and Its Influence on MSE Multimedia Software Engineering. *Proceedings. International Symposium on*, 11—13

- Dec. 2000.
- [17] Shankar R. Ponnekanti, Brian Lee, Armando Fox, Pat Hanrahan, Terry Winograd. A Service Framework for Ubiquitous Computing Environments, Stanford University.
- [18] João Pedro Sousa, David Garlan. Aura: An Architectural Framework for User Mobility in Ubiquitous Computing Environments, 3rd Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture, Montreal, 2002.
- [19] Xie Weikai, Shi Yuanchun, Xu Guanyou. Smart Classroom-An Intelligent Environment for Tele-education. In Proceedings of the 2nd IEEE Pacific Rim Conference On Multimedia, Beijing, China, 2001, 662-668.
- [20] R. Gupta, S. Talwar, D. P. Agrawal. Jini Home Networking: A Step Toward Pervasive Computing. Computer, IEEE, 2002, 35(8):34-40.
- [21] L. Smith, C. Roe, K. S. Knudsen. A Jini (tm) Lookup Service for Resource-constrained Devices, Proceedings of the 4th International Workshop on Networked Appliances, Gaithersburg, 2002. 135-144.
- [22] C. E. McDowell, K. Shankari. Connecting Non-Java Devices to a Jini Network, Proceedings of the 33rd International Conference on Technology of Object-Oriented Languages, Mont-Saint-Michel, France, 2000. 45-56.
- [23] S. Rose, K. Bowers S. Quirolgico, K. Mills, Improving Failure Responsiveness in Jini Leasing, DARPA Information Survivability Conference and Exposition, 2003. Proceedings, 2003. 22-24.
- [24] H. Michael. Coen, Brenton Phillips, Nimrod Warshawsky, Luke Weisman, Stephen Peters, and Peter Finin, Meeting the Computational Needs of Intelligent Environments: The Metaglu System, Proceedings of MANSE'99. Dublin, Ireland, 1999.
- [25] Masanori HATTORI, Kenta CHO, Akihiko OHSUGA, Masao ISSHIKI, Context-Aware Agent Platform in Ubiquitous Environments and its Verification Tests, Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'03), 2003.
- [26] Johannes Kepler, Universität Linz, Institut für Praktische Informatik, Coordination in Pervasive Computing Environments, Proceedings of the Twelfth IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE'03), 2003.
- [27] M. V. Nagendra Prasad, Victor R. Lesser. Learning Situation-Specific Coordination in Cooperative Multi-agent Systems, Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 1999, (2):1387-2532.
- [28] Nicholas R. Jennings, Katia Sycara, Michael Wooldridge. A Roadmap of Agent Research and Development, Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 1998, (1):275-306.
- [29] M. Wooldridge, N. R. Jennings, Intelligent agents: theory and practise, Knowledge Engineering Review, 1995, 10(2):115-152.
- [30] Michael Wooldridge. Semantic Issues in the Verification of Agent Communication Languages, Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 2000, (1):1387-2532.
- [31] MIT Project Oxygen E21: Intelligent Spaces), 2003. <http://www.oxygen.lcs.mit.edu/E21.html>
- [32] Smart Spaces <http://www.nist.gov/smartspaces/smartSpaces/#technologies> [33] MIT Media Lab, Smart Rooms <http://vismod.www.media.mit.edu/vismod/demos/smartroom/>
- [34] MIT Media Lab, KidsRoom, <http://vismod.www.media.mit.edu/vismod/demos/kidsroom/>
- [35] Stanford Interactive Workspaces Project, <http://graphics.stanford.edu/projects/iwork>
- [36] Fox, Armando, et al. Integrating Information Appliances into an Interactive Workspace, IEEE CG&A, 2000.
- [37] Georgia Tech, Aware Home Project, 1999 <http://www.cc.gatech.edu/fce/house>
- [38] IBM Research. DreamSpace Project <http://www.research.ibm.com/natural/dreamspace/index.html>
- [39] 孙贤和, 何晓珊. Nehal Mehta, 普及计算 — 让信息服务像空气一样无所不在.