

普适计算的重定位与探讨*

於志文 周兴社
西北工业大学

关键词：普适计算

引言

2011年对普适计算来说是一个不同寻常的年份。20年前，普适计算的鼻祖马克·韦瑟（Mark Weiser）在《科学美国人》杂志上，阐述了他对未来计算的美好愿景^[1]，并称之为普适计算（ubiquitous computing）^[1]。此后几年，他进一步描绘了普适计算的蓝图，指出了普适计算的3个核心问题，即情境感知计算（context aware computing）、泛在智能（ambient/ubiquitous intelligence）和泛在实体跟踪与检测（ambient tracking/monitoring of people and things）。

马克·韦瑟提出的“普适计算”，描述了对普适计算的愿景^[1]，着重强调普适计算应该具备的“无处不在而又不可见”的特性；马克使用“calm technology”^[2]一词，强调普适计算应该具备的“以人为中心”的特性。继马克之后，IBM于1999年提出pervasive computing的概念，强调普适计算应该具备“无所不在、随时随地可访问”的特性；飞利浦公司则提出了“泛在智能”^[3]的理念，强调普适环境应该具备“智能感知与响应能力”。虽然不同名词最初突出的侧重点不同，并由此衍生出不同的国际学术会议，如UbiComp、PerCom、PERVASIVE、Aml等，但本质上而言，这些名词都隶属于广义的普适计算范畴，即追求“以人为中心、无处不在而又不可见”的计算模式。

普适计算发展历程

普适计算已经历了20年的发展。在第1个十年，普适计算的发展相对缓慢，主要受制于当时的硬件、软件和网络等技术条件，此时的学者主要关注于描绘和探讨普适计算的愿景，并尝试搭建普适计算的原型系统，缺少对于普适计算所蕴含的科学问题的挖掘与研究，对普适计算实际应用的研究更是少之又少。因此，在普适计算理念提出8年之后（1999年）才出现第一个以普适计算为主题的国际学术会议HUC'99（Handheld and Ubiquitous Computing），该会议是UbiComp的前身（2002年改名）。

进入第2个十年后，即2000年左右，随着软硬件技术的迅速发展，特别是无线网络和传感器技术的长足进步，学术界和产业界掀起了普适计算的研究浪潮。情境感知计算（context-aware computing）作为普适计算的核心研究，取得了显著的成绩，出现了许多各具特色的情境感知计算中间件，如Context Toolkit^[4]、Gaia^[5]、Aura^[6]和Semantic Space^[7]等。2002年是继1991年之后另一对于普适计算极具意义的年份，IBM和ZTH发起并组织了关于普适计算的另一学术会议PERVASIVE（International Conf. on Pervasive Computing）；IEEE计算机学会（Computer Society）创办了普适计算专业杂志《IEEE Pervasive Computing》，该杂志的影响因子自创办以来逐年上升，2009年已攀升至3.065，刊登的论文被

* 相关内容请参阅本刊2010年第11期的“普适计算技术”专题

广泛引用,包括美国《科学》杂志和英国《自然》杂志。2003年IEEE发起召开了关于普适计算的学术会议PerCom (IEEE International Conf. on Pervasive Computing and Communications)。至此普适计算领域拥有了三大顶级学术会议,即UbiComp、PERVASIVE和PerCom。

基于对三大顶级学术会议和《IEEE Pervasive Computing》杂志历年所发表论文的统计与分析,可以大致看出普适计算在不同时期的研究热点以及经历的3个阶段:

第一阶段 (1991~1998年): 提出普适计算,追求“以人为中心、无处不在而又不可见”的计算。这个阶段中,出现了一些小规模研讨会,主要关注于描绘普适计算的蓝图,探讨所应具备的基

本特征,所需的关键技术等,并尝试搭建普适计算的原型系统,如Xerox Liveboard。总体而言,受制于硬件技术条件,总体发展较为缓慢。

第二阶段 (1999~2004年): 软硬件技术的进步,特别是传感器和无线网络技术的进步,为普适计算的发展提供了条件;IBM、微软等产业巨头的加入,学术界和产业界在普适计算领域有了实质性的结合,为普适计算的快速发展提供了动力。普适计算由此也迎来第一个研究和发展的高潮,涌现出普适计算领域的三大国际学术会议。这一阶段,情境感知计算得到了广泛的发展,包括情境的获取、传输、表示、存储、融合及推理等,都取得了显著的研究成果,也建立了较为完善的普适计算软件体系^[5-7];同时出现了智能家庭、智能教室^[8]等基于情

CCF TC

第十八届全国网络与数据通信学术会议 (NDCC2011) 征文

由CCF主办、南京邮电大学和CCF网络与数据通信专业委员会承办的第十八届全国网络与数据通信学术会议 (NDCC2011) 于2011年11月10日至12日在无锡召开。会议将以“物联网与泛在通信”为主题,研讨物联网的通信技术、联网技术和应用技术。

在大会、分会报告之外,安排专题研讨会:下一代网络、物联网技术,物联网应用。

本次大会以《南京邮电大学学报》增刊的形式出版论文集,大会的优秀论文将在《北京邮电大学学报》(EI全文检索的学术刊物)、《南京邮电大学学报》(国内核心刊物)等业界具有较高影响力的学报的正刊上发表。优秀论文在专家审稿的基础上,在参与大会、分会或研讨会交流的论文中产生。

会议主题 本次会议的主题是:物联网与泛在通信

征文范围与投稿要求 见<http://ndcc2011.njupt.edu.cn/>

投稿方式 论文投稿通过电子邮件的方式提交,并在邮件标题注明“NDCC2011投稿”。

投稿邮箱: ndcc2011@njupt.edu.cn

重要日期 论文提交截止: 2011年6月30日

论文录用通知: 2011年7月30日

会议注册截止: 2011年8月30日

联系方式 南京市新模范马路66号南京邮电大学计算机学院 (210003)

联系: 杨健 朱之宏 025-8353 5070, 025-8586 6422 ndcc2011.help@njupt.edu.cn

境感知计算的原型系统，目的是为用户提供情境感知的个性化服务，实现普适计算技术与实际应用的有效结合。

第三阶段（2005~2010年）：普适计算的研究趋于细化，多学科交叉融合的特性日益显现。全球定位系统（GPS）、蓝牙（Bluetooth）、WiFi、智能标签（如RFID）、智能手机（smart phone）与各种类型的传感器，都成为研究普适计算的重要载体，衍生出一系列的研究热点，如情境融合与推理技术、定位与导航技术、行为识别技术、智能辅助技术、人机交互技术等。由于普适计算“以人为中心、无处不在”的特性，使能耗、安全、隐私等

问题面临新的挑战。另一显著特征是普适计算与社会学、心理学等其它学科的交叉与融合，又演化出社会感知计算（social-aware computing）、情感计算（affective computing）等新的理念。在应用方面，环境监测、健康护理等成为研究的热点，并且得到了较好的应用。然而对于普适计算本质，即普适计算理论框架和体系的研究依旧没有取得显著的突破。

普适计算重定位

计算机学科诸多概念的提出，往往体现了人们

CCF组织对两所大学进行工程教育认证

根据全国工程教育专业认证专家委员会的统一安排，CCF组织专家分别于2011年5月31日~6月3日和6月8~10日对西安交通大学和大连理工大学的计算机科学与技术专业进行工程教育专业认证。

考查组专家通过审阅被认证专业的自评报告，与被认证专业负责人、教师、学生、毕业生、用人单位负责人谈话，查阅被认证专业的教学文档、学生试卷、毕业设计（论文）、实验实习报告等方式，围绕专业目标、课程体系、师资队伍、支持条件、学生发展、管理制度、质量评价七个指标，对被认证学校进行了考查核实，并提交了现场考查报告。

在对西安交通大学的考查中，首次对两类专业（计算机和机械）进行联合认证。考查专家组由机械和计算机认证分委员会（试点工作组）分别派出。两个组的专家相互协调、配合，圆满完成考查，为今后不同专业间联合考查积累了经验。

专家组成员：

西安交通大学：组长陈道蓄，专家唐卫清、臧斌宇、臧根林，秘书张守风。

大连理工大学：组长蒋宗礼，专家周明陶、张莉、王泉，秘书戴亚堂，实习秘书阳纯辉。



专家组组长陈道蓄正在考查实验课程



组织用人单位座谈



大连理工大学计算机专业认证专家组

的不同视角，如理想和愿景、系统和平台、构造和使用等等。普适计算显然是从理想和愿景的视角提出的，类似的还有人工智能、自主计算、按需计算和绿色计算等。对于这一类的研究主题，很难度量它是否已经实现了最初的构想蓝图，较为科学的说法是我们达到了何种程度或者处于哪个阶段。如人工智能从1956年提出到现在，取得了很大的进展，但是能够说我们实现了人工智能吗？

与人工智能相比，普适计算还是一个非常年轻的学科。我们相信，经过不断发展，会形成普适计算自己的理论框架和体系。

马克对普适计算愿景的描述是：

“The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabrics of everyday life until they are indistinguishable from it.”

（最具有深远意义的是那些从人们注意力中消失的技术，这些技术已经渗透到人们的日常生活中，以致与生活难以区分。）

这短短的数十个字，生动地刻画了普适计算应

该具备的特征，可以凝练为“一个中心，两个基本点，两个必要元素”。一个中心即“以人为中心”；两个基本点是“计算无处不在和计算不可见”；两个必要元素是“传感器和人”。计算是围绕人做文章，同时是基于传感数据的，二者缺一不可。

普适计算以人作为服务的目标，以不为人觉察的方式提供适时适地的个性化服务。因此，基于传感器的情境感知计算无论是过去、现在、将来，一直会是普适计算的核心。

普适计算未来研究内容的探讨

从提出至今，普适计算各种相关技术的研究都取得了一些成果。然而，其核心理论框架和体系却没有取得实质性的突破。当前的普适计算研究重点已从早期的抽象模型和框架转向具体技术和应用，例如，定位与导航技术、行为识别技术、智能辅助技术等关键技术以及环境监测、健康护理等普适应用等。

CCF@U-60：武汉理工大学



“CCF走进高校”系列活动于2011年5月27日在武汉理工大学举行。全国著名计算机教育专家谭浩强教授、CCF走进高校工作组组长清华大学杨士强教授、武汉理工大学党委副书记信思金教授、计算机学院党委副书记李洪彦老师以及300余名师生参加本次活动。报告会由计算机学院副院长刘洪星教授主持。

在全体师生热烈的掌声中谭浩强教授开始了“怎样走向成功之路”的主题报告。谭浩强教授结合自己在计算机研究和教育领域取得的成绩，讲述了如何正确处理人生发展中可能遇到的问题。他指出，一个人要想成功，必须处理好个人发展与社会发展的关系；机遇与努力的关系；平凡与不平凡的关系等10个关系。他告诫同学们“失败要沉思，成功要谨慎”，希望大家“坚忍不拔、自强不息”。

随着新型传感器的不断出现和感知规模的迅速扩大,新的研究课题将不断涌现,可以预见的是,大规模情境信息处理、异构移动环境能源有效性等将成为未来的研究课题。

普适计算的界限和范围

普适计算追求“以人为中心、无处不在而又不可见”的计算模式,其基本问题包括智能空间建模(smart space modeling),核心是智能空间的可扩展性与无缝切换;用户建模(user modeling),核心是用户行为识别、用户意图预测;情境建模(context modeling),核心是情境感知、融合、推理及自适应;透明性与不可见性(transparency and invisibility);隐私与可信(privacy and trust)等。

应该如何对普适计算进行判定呢?在定义机器智慧时,英国科学家图灵认为,如果一台机器能够通过“图灵实验”,那它就是智慧的。图灵实验的本质是,在不看外形的情况下,不能区别是机器的行为还是人的行为时,这个机器就是智慧的。

然而,判定普适计算系统较之判定一个机器是否拥有智慧要更复杂。单就智能空间的判定而言,我们关心的不仅是一个智能空间是否具有智慧,而是它的智慧程度:“Which smart space is smarter?”目前,针对普适计算系统的判定问题,有学者提出了一些评价体系和度量标准^[9-10],例如舒尔茨(Scholtz)和肯索沃(Consolvo),提出了评价普适计算系统的9个度量标准(attention、adoption、trust、conceptual models、interaction、invisibility、impact and side effects、appeal、application robustness),并

给出了每个度量标准的具体定义。总体而言,普适计算系统的评价尚未取得突破性的成果。

社会感知计算

2005年美国科学家亚历克斯·彭特兰(Alex Pentland)发表了题为“Socially Aware Computation and Communication”的论文^[11],首次提出社会感知计算的思想。社会感知计算强调利用先进计算机科学技术感知现实世界个体行为和群体交互,理解人类社会活动模式,并为个体和群体交互提供智能辅助和支持^[12]。

社会感知计算极大地拓宽了普适计算的范畴,特别是将传统的单一、封闭的智能空间拓宽至整个人类社会空间,给普适计算的研究带来了新的机遇和挑战,激发了一系列新的研究课题。

大规模情境感知与管理是社会感知计算带来的代表性课题之一。社会感知计算环境下,情境感知与管理面临新的挑战:情境信息呈现大规模、多元化、多尺度等特性;情境数据呈现更强的动态与分布特性。如何实现情境信息的准确获取、高效管理与充分共享将是大规模情境感知与管理必须解决的难题。为此需要深入分析物理空间和社会空间的特征,根据实体情境的特征,针对不同类型的情境,研究面向大规模情境的多通道实时获取技术、情境的语义表示和关联,以及适用于大规模情境的高效融合与推理机制,构建有效的大规模情境感知与管理^[13]。

另外,移动社会网络(mobile social networking)、参与感知(participatory sensing)和机会感

CCF财务预决算获得通过

CCF九届七次常务理事会议认真审议了CCF 2010~2011财政年度决算和2011~2012财政年度预算草案,以举手表决的方式通过了决算及预算。常务理事会议指出,学会经营状况良好,通过学会上下的努力和创新运营模式,超额完成了年度财务预算收入的任务,保证了学会各项工作及一些公益活动的开展。秘书处今后应加强一些项目的实施力度,把应该花的钱花出去、用好。预决算明细已发给会员接受监督和质询。

知 (opportunistic sensing) 也是社会感知计算带来的研究课题。

面向未来普适计算的软件平台技术

普适计算使得软件运行环境与应用模式发生了根本性的变革。其本身所具备的计算泛在性和服务便捷性要求软件平台技术在两个维度上提供支撑：在物理维度上将各类计算设备及应用软件抽象为易操作的情境实体；在应用维度上支持软件自适应，保证其在复杂运行环境下为用户提供最自然甚至不为用户觉察的应用模式。

普适计算的应用模式趋向于对用户高满意度的追求，除了所关注的上下文管理、自适应软件体系结构和资源发现等公共服务问题，如何在应用设计阶段对用户需求或偏好进行解读，以及在评估阶段如何快速获得用户对软件的反馈进而修正设计，都是软件平台面临的新挑战。这里的研究问题包括：快速原型构建技术、测试/部署技术、原型构建工具等。

普适计算的能源有效性

各类传感器和移动设备一般都是由电池供电

的，这使得普适计算环境下的能耗问题显得很突出。2010年IEEE PerCom最佳论文就是关于能源有效性研究方面的。

为了提供自适应的前摄性 (adaptive and proactive) 情境感知服务，移动设备上的各类传感器都需要处于不间断工作的状态，以便及时检测情境变化并进行相应的情境融合与推理，而这些都带来较高的能源消耗。我们需要在保证服务质量的同时，尽可能地减少能耗。因此，需要研究普适环境下的低能耗情境检测机制。目前，研究者已经开展了普适计算能源有效性的相关研究，基本思想是引入触发机制，即只有符合预定义触发条件的事件发生时，相应的传感器才被触发，以进行情境的采集或传输。

另外，对于异构移动环境而言，用户在不同的场景下具有不同的行为规律，而某一特定用户在某一特定场景下可能采取的行为是有限的，向用户提供的情境感知服务也是有限的；与之相应，与用户在该场景下可能采取的行为及所需的情境感知服务相关的传感器也是有限的。因此，可以研究基于用户行为规律的自适应情境检测机制，以实现较低的能源消耗。

CCF TC

国际著名专家应邀来华探讨传感网未来发展

由CCF主办，CCF传感器网络专业委员会协办，清华大学和中科院软件所联合承办的第五届中国传感器网络学术会议 (CWSN2011) 暨传感器网络专委会五周年庆典活动将于2011年9月26-27日在北京国家会议中心举行。会议邀请到国际著名专家出席会议。这些专家包括：美国工程院院士、IEEE Fellow、TinyOS发明人、加州大学伯克利分校 (UC Berkeley) David Culler教授，美国美国工程院院士、IEEE Fellow、美国伊利诺伊大学香槟分校 (University of Illinois, Urbana-Champaign) 电子与计算机工程系P.R.Kumar教授，以及瑞士联邦理工学院 (ETH Zurich) Roger Wattenhofer教授。他们将就传感网及其相关领域的国际发展动态发表精彩演讲，并和与会者就传感网、物联网、CPS，嵌入式传感与控制等方向的理论、算法、系统与实践进行交流研讨。

欢迎业内各界人士踊跃参与。

详情请关注<http://conference.iis.tsinghua.edu.cn/CWSN2011/>。

普适计算中的隐私保护

普适计算，特别是社会感知计算，需要通过各类传感器收集与人类社会活动紧密相关的情境数据。这些情境数据属于敏感信息，可以分析人类的移动和交互特性，帮助人们解决很多社会问题，但是在享受情境数据带来利益的同时，要最大程度地保护用户的隐私。因此，普适计算系统的设计需要考虑保护用户的隐私，确保情境数据的正确使用。

文献[14]提出，在进行情境数据采集时，需要将用户原始的较小粒度的情境数据转化为较大粒度的信息。不是去关注某一个个体的轨迹，而是监测群体的移动，从而在信息需求和隐私保护之间达到某种程度的平衡。另外，在使用和共享情境数据之前，可以对其进行匿名化处理，或者在个人情境数据记录中插入一些随机干扰，防止反向推测用户身份。

普适计算的杀手级应用

经过20年的研究与发展，普适计算技术已有一些成功的应用，其中情境感知系统和智能家庭系统是较具代表性的案例。然而，迄今为止普适计算尚未拥有真正意义的杀手级应用（killer application）。

《IEEE Pervasive Computing》编委文斯·斯坦福（Vince Stanford）指出，基于普适计算的老年人生活辅助技术将成为未来解决老年人日常生活问题最有效、最具活力的技术之一^[15]。较之传统意义下的老年人生活辅助，基于普适计算的老年人生活辅助具有下述三方面的革新^[16]：从共性化的老年人生活辅助向个性化的老年人生活辅助发展；从简单、固定模式的辅助向智能化的辅助发展；从单一、封闭式环境的辅助向多元、开放式环境的辅助发展。

目前，关于老年人生活辅助的研究大多在家居环境进行，以智能家庭为载体对老年人进行生活辅助。然而，与老年人生活密切相关的环境又不仅仅局限于家庭，还包括医院、商场和社区活动中心等。如何将辅助技术从家庭辐射到更多元、更开放的环境中，除了考虑老年人的独立生活辅助外，还

要考虑到老年人的社会生活辅助，这将是未来老年人生活辅助的一个发展方向。

结语

在过去的20年里，普适计算从无到有，其理念被越来越多的人接受并且被不断丰富和完善，关键技术也在不断突破。

展望普适计算的第3个十年，我们需要将更多的精力集中在研究普适计算的本质上，要建立较为完整的普适计算基础理论框架和体系，攻克新的研究课题，为实现普适计算的美好愿景构筑坚实的基础。■

致谢

本文得到国家自然科学基金（60903125）、教育部“新世纪优秀人才支持计划”（NCET-09-0079）和陕西省自然科学基金基础研究计划项目（2010JM8033）的资助。



於志文

CCF高级会员、本刊编委，2006CCF优秀博士学位论文奖获得者。西北工业大学教授。主要研究方向为普适计算，情境感知系统和智能信息技术。
zhiwenyu@nwpu.edu.cn



周兴社

CCF常务理事。西北工业大学教授。主要研究方向为嵌入式计算、普适计算、网格计算。
zhouxs@nwpu.edu.cn

参考文献

- [1] M. Weiser. The Computer for the 21st Century. Scientific American, 1991, 265(3): 94 ~ 104
- [2] M. Weiser and J. S. Brown. The Coming Age of Calm Technology. P. J. Denning and R. M. Metcalfe: Beyond Calculation: The Next Fifty Years of Computing, 1997: 75 ~ 85, Springer-Verlag, New York
- [3] E. Zelkha, B. Epstein, S. Birrell, C. Dodsworth. From Devices to “Ambient Intelligence”. Digital Living Room Conference, 1998

- [4] A. K. Dey. Providing Architectural Support for Building Context-Aware Applications. Georgia Institute Technology, Doctoral Thesis, 2000
- [5] M. Roman, C. K. Hess, R. Cerqueira, A. Ranganathan, R. H. Campbell, K. Nahrstedt. A Middleware Infrastructure to Enable Active Spaces. *IEEE Pervasive Computing*, 2002, 1(4), 74 ~ 83
- [6] P. S. Joao and D. Garlan. Aura: An Architectural Framework for User Mobility in Ubiquitous Computing Environments. In Proc. Of IEEE/IFIP Conf. on Software Architecture, 2002, 29 ~ 43
- [7] X. Wang, J. Dong, C. Chin, S. Hettiarachchi, D. Zhang. Semantic Space: An Infrastructure for Smart Spaces. *IEEE Pervasive Computing*, 2004, 3(3): 32 ~ 39
- [8] Y. Shi, W. Xie, G. Xu, The Smart Classroom: Merging Technologies for Seamless Tele-education, *IEEE Pervasive Computing*, April-June 2003, 2(2): 47 ~ 55
- [9] J. Scholtz and S. Consolvo. Toward a Framework for Evaluating Ubiquitous Computing Applications. *IEEE Pervasive Computing*, 2004, 3(2): 82 ~ 88
- [10] H. Yang, C. Chen, B. Abdulrazak, S. Helal. A Framework for Evaluating Pervasive Systems. *Pervasive Computing and Communications*, 2010, 6(4): 432 ~ 481
- [11] A. Pentland. Socially Aware Computation and Communication. *IEEE Computer*, 2005, 38(3): 33 ~ 40
- [12] 於志文, 周兴社. 社会感知计算, 中国计算机学会通讯, Vol. 6, No. 9, 2010年9月, pp. 51 ~ 54
- [13] Y. Jeong, E. Song, and G. Chae. Large-Scale Middleware for Ubiquitous Sensor Networks. *IEEE Intelligent Systems*, 2010, 25(2): 48 ~ 59
- [14] A. Kapadia, N. Triandopoulos, C. Cornelius, D. Peebles, and D. Kotz. AnonySense: Opportunistic and Privacy-Preserving Context Collection. *PERVASIVE' 08*, 280 ~ 297
- [15] V. Stanford. Using Pervasive Computing to Deliver Elder Care. *IEEE Pervasive Computing*, 2002, 1(1): 10 ~ 13
- [16] 周兴社, 於志文. 面向老年人生活的智能辅助. 中国计算机学会通讯, 2010, 6(6): 57 ~ 67