

智能空间研究综述*)

余 意 易建强 赵冬斌

(中国科学院自动化所复杂系统与智能科学重点实验室 北京 100080)

摘 要 智能空间是一个将物理世界和信息空间融合起来的重要研究领域,着重于自然的人机交互、适应用户和设备的动态演化,以高效地帮助用户完成任务。本文简要叙述了智能空间的概念、目的、要求、特点和应用,介绍了其主要组成部分的硬件设备、普适网络和系统软件,并且从信息采集、上下文感知计算、中间件、智能决策和执行、安全性五个方面对研究热点进行了详细分析。在描述几个实例的基础上指出智能空间面临的挑战,最后对研究工作做了总结和展望。

关键词 智能空间,普适计算,上下文感知,中间件,智能决策

Survey on Smart Space Research

YU Yi YI Jian-qiang ZHAO Dong-bin

(Laboratory of Complex Systems and Intelligence Science, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract Smart space is an important research area which integrates the physical world and the information space. In order to help users accomplish tasks in a highly effective manner, it places emphases on natural human computer interaction, and adapts well to the dynamic evolution of users and devices. In this paper, the concept, goals, requirements, characteristics and applications of smart space are briefly narrated. Then, three primary components such as hardware devices, pervasive network and software infrastructure are presented, and we analyze the research hot spots in detail from information acquisition, context-aware computing, middleware, intelligent decision making and acting, security. Moreover, the challenges confronted by smart space are pointed out based on the introduction of several practical examples. Finally, some summaries and future directions of research work are also given.

Keywords Smart space, Pervasive computing, Context-aware, Middleware, Intelligent decision making

1 引言

自上世纪 90 年代末起,人们逐渐对智能空间(intelligent space / iSpace / smart space)展开研究,到目前为止,尚未形成明确定义。总体而言,智能空间是一种新的人机交互协作的复杂系统,它通过普适网络,把大量的多模态传感器和带有嵌入式处理器的计算、信息设备相互连接起来,从而将计算智能(computational intelligence)分布和嵌入到环境和日常工具中,以满足各种特定需求。如图 1 所示,智能空间可以看成是物理世界和信息空间的融合,具备感知/观察、分析/推理、决策/执行三大基本功能。这种融合表现为两个方面:1)物理世界中的物体将与信息空间中的对象互相关联;2)物理世界中物体状态的变化会引发信息空间中相关联的对象状态的变化,反之亦然。智能空间的目的是建立一个以人为中心的充满计算和通信能力的空间,让计算机参与到从未涉及到计算行为的活动中,让用户能像与他人一样与计算机系统发生交互,从而使用户能随时随地、透明地获得人性化的服务^[1-5]。

目前,许多国家的高校和企业研究机构对智能空间开展了广泛的研究,如美国国家标准和技术研究院的 Smart Space^[6]、斯坦福大学的 Interactive Workspace^[7]、佐治亚理工大学学院的 Aware Home^[8]、麻省理工大学的 Intelligent Room^[9]、微软研究院的 Easy Living^[10]、东京大学的 Intelli-

gent Space^[11]、庆应义塾大学的 Smart Space Laboratory^[12]、德国信息技术国家研究中心的 iLand^[13]、清华大学的 Smart Classroom^[14]等。综合这些研究,智能空间应具备的基本要求可概括为^[4-16]:1)用户及其携带的移动设备能方便地与智能空间进行交互,从而为用户的日常活动提供方便;2)能自动捕获和动态监测其中发生的活动,提供信息显示和活动记录;3)能对发生的特定事件做出合理反应并采取相应措施;4)对空间中的各种动态变化具有鲁棒性和适应性。智能空间主要包括如下特点:1)智能空间是一个庞大的系统工程,涉及的研究领域甚广,需要解决的问题繁多,须综合各种技术进行构建;2)是一个嵌入性和移动性都很高的计算环境;3)用普适网

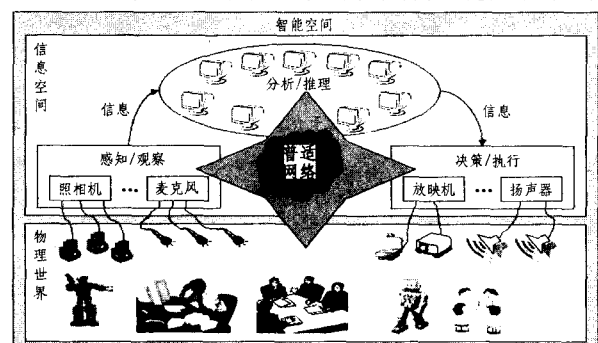


图 1 智能空间体系结构

*)本课题得到国家自然科学基金(60621001),中科院智能科学与技术联合实验室(JL0605)项目资助。余 意 博士研究生,主要研究方向为智能空间和嵌入式系统;易建强 研究员,博士生导师,主要研究方向为智能控制方法与应用;赵冬斌 副研究员,硕士生导师,主要研究方向为机器人的运动规划与控制、演化计算。

络联系物理世界,是物理世界和信息空间的融合;4)可做出实时的、上下文敏感的决策;5)系统具有适应性,能提供便捷性的应用;6)与智能空间相结合的物理范围,已由最初的建筑物、房屋尺度,逐渐扩展到室外环境和用户涉足的其它空间(如高速公路上的汽车、表演舞台等),形成了所谓的“广域智能空间”。

从普适计算的角度看,智能空间是一类集成化的系统,因此可以作为普适计算环境的实验床,同时它 also 具有十分重要的应用价值,在供应链、环境监测、休闲体验、卫生保健、应急响应、智能交通、机器人等领域显示出广泛的应用前景^[17-25]。

2 智能空间的主要组成部分

2.1 硬件设备

智能空间中包含有大量作为“接口”的硬件设备,根据用途可以大致分为两大类:

(1)用来维持正常运行的系统设备,主要包括:获取现实物理世界中环境参数(如图像、语音、温度等)的设备,如传感器节点、照相机、麦克风等;分析环境参数以捕获信息的处理器;基于推理信息做出相应决策的执行器,如扬声器、放映机、机器人等;能量供应设备,如电池、电网装置等;

(2)用来提供日常服务的用户设备,主要包括:传统的输入输出设备,如鼠标、键盘、发光二极管等;方便用户在任何地点与智能空间进行交互的无线移动设备,如寻呼机、个人数字助理(PDA)、手机、掌上电脑等;带有自适应性的智能设备,如智能家具、生物传感器、智能机器人等。

需要说明的是,这两大类设备之间并不是严格区分的,有的设备可以同时归为系统设备和用户设备,如机器人、生物传感器等。

智能空间中的设备大都需要将嵌入式处理器和各种功能模块(如供电、传感、通信、计算等功能)集成起来,从而对硬件设备提出了新的和更高的要求^[26,27]:1)具有很强的硬件通信、信息处理、存储能力;2)要求设备尺寸多样化、重量轻量化、功耗微小化、成本廉价化;3)为设备提供充足的能量,同时要求芯片节能;4)要求用户界面富于表达情感、能与用户方便地交流。

2.2 普适网络

智能空间的一个明显特点是用普适网络(pervasive networking)连接物理世界。作为一种普遍互连的环境,智能空间包含计算机、各种物体之间以不同方式产生的相互连接。智能空间的网络环境包含互联网、自组织网络(ad hoc)、无线传感器网络等不同类型的网络。普适网络是以多种无线网和移动网接入互联网实现的异构集成网络,可视为由用户、物理世界中的感知器、嵌入计算资源、系统提供的服务这四部分共同协作所构成的空间,具有移动性、多样性、间断通信、提供动态性和暂时性服务等特点。普适网络支持异构环境和多种设备的自动互连,能感知物理的传感器节点和设备,其运作过程可看作是嵌入计算资源利用感知器的感知结果,通过计算使用户获得系统所提供的无处不在的通信服务的过程^[28-32]。要在智能空间中构建一个安全、保密、可信任的普适网络,应具备如下要求:1)能自动构建合作区域,产生可适应流动和变化的拓扑结构;2)在没有手动配置和管理的情况下,提供自动的资源发现和位置发现;3)为访问网络资源提供安全、专用、可鉴别的机制;4)对网络状况(如网络拥塞、无线传输误差等)和环境的动态变化具有适应性。当前普适网络的研究主要集中在无线和移动网络、自组织网、无线传感器网络等方面^[6-14]。

2.3 系统软件

系统软件(software infrastructure)的作用是对智能空间中大量的物体、信息设备、计算实体进行管理,为它们之间的数据交换、消息交互、服务发现、任务协调、任务迁移等提供系统级的支持。与传统分布式系统软件不同,智能空间中的系统软件主要有两个基本特点:物理集成(physical integration)和自发互操作(spontaneous interoperation)^[5]。智能空间环境具有任务动态性、资源有限性、设备异质性等特点,从而要求系统软件具有很强的适应性和自适应性,这表现为:一方面,在不中断服务和最小限度的人为干预情况下,要求系统软件能适应用户、环境、故障等;另一方面,要求系统软件具备可修改性,能被更新升级以满足用户需要。系统软件还需要解决设备与服务的发现、协作计算、有限资源下通信等问题,从而建立有效的模块间协调机制(inter-module coordination),实现对物理实体的管理,保证系统的鲁棒性和安全性^[33-35]。

3 智能空间的研究热点

目前开展的计划从不同方面对智能空间进行了研究。综合已发表的文献看,研究工作主要集中在以下几个方面。

3.1 信息采集

从智能空间环境中获取信息是为用户提供服务的前提。人们通过在环境中的不同位置(如人、物体、建筑物的任何地点等)布置大量多样化的感知设备(如移动和可穿戴传感器、嵌入式传感器等)来实现无处不在的感知(ubiquitous sensing)^[36],从而有效地捕获、采集环境中的有用数据,然后将这些数据进行适当处理,为推理分析做必要准备。采集的信息分为两大类:一类是物理信息(如语音、图像、方向、位置、姿势变化等),大多通过物理传感器(如触觉和压力传感器、光学和声音传感器等)和其它装置(如照相机、麦克风等)来采集;另一类是逻辑信息(如用户的交互习惯、交互历史和设备状态等),主要通过逻辑传感器获取。目前,许多研发机构主要通过传感网络来完成信息采集^[18,37,38]。

综合目前已开展的研究,信息采集方面的主要特征有^[6-14,39-42]:第一,要求所使用的感知设备“不显眼”(unobtrusive),这意味着大多数情况下硬件应该是微型的和无线的;第二,要求能估计和跟踪大量物体的位置和方向;第三,要求能捕获图像,侦查和获取“有趣的”(interesting)事件或活动;第四,要求建立有效机制,获取设备和人机交互的相关信息;第五,要求感知设备之间具有协作能力,通过资源共享来实现信息融合(例如基于信号强度的音频的多时段定位法能用来作为一个附加的传感机制,来定位说话者的位置)。要完全达到以上要求,信息采集方面将面临一系列挑战^[43-45]。

3.2 上下文感知计算

上下文(context)即用来描述实体环境的信息,可分为低层和高层两种:低层上下文(如图像、位置等)是进行上下文推理的素材;高层上下文是将低层上下文按一定逻辑规则进行推理得到的启发性知识,具有能揭示系统深层次关系、体现用户真实目的等特点,因此它是上下文感知计算的重要决策依据。上下文感知(context-awareness)是智能空间的重要特征,是提高计算系统交互智能性的核心技术。上下文感知计算是指根据已记录的历史信息(如有关用户、计算、物理、历史等方面的上下文),实时地分析已采集的上下文海量信息,自动地判断当前的上下文环境,准确地预测未来的需要,有效地执行相应的预操作^[4,5,46-48]。它需要解决两大问题:如何从环

境中提取和处理上下文信息;如何协调和控制上下文与高层应用之间的通信^[49]。

图2是上下文感知计算的一般功能示意图^[46-51],它包括上下文信息、上下文处理单元、上下文感知应用三部分,其中上下文处理单元是核心。

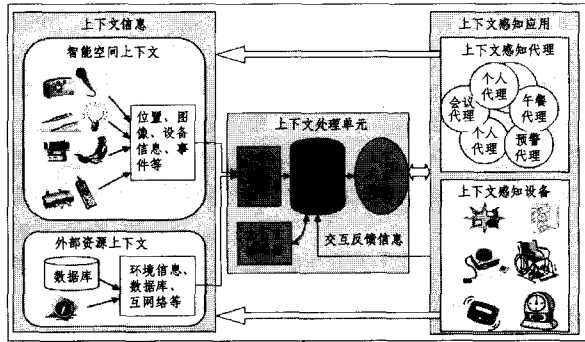


图2 上下文感知计算的一般示意图

系统中的上下文包括内部的智能空间上下文和外部资源上下文。前者包括信息采集单元得到的所有上下文信息,后者指系统之外的服务,如互联网上的数据库、天气预报服务等。上下文处理单元由四部分组成:

(1)上下文集合器。由于实时采集的原始数据具有类型和表示方式不一致、语义信息不明确等特点,需要通过提炼、合并等方式对其进行适当预处理,以便有效地减少大量的数据,为上下文知识库提供新鲜的上下文;

(2)上下文知识库(context knowledge base)。其一,完成上下文信息本体(ontology)的构建,将上下文的历史记录和用户与高层感知应用的交互反馈信息相结合,构成知识库学习和调整的依据;其二,持久地贮藏上下文知识,为上下文查询机和上下文推理器的相关操作提供接口;

(3)上下文推理器。用来挖掘基本的感知信息之间的内在联系,根据具体应用和库中存储的本体演绎推理出抽象的高层上下文,实现上下文元素融合;

(4)上下文查询机。协调和控制上下文与高层感知应用的通信,为上下文高层应用提供抽象接口,使它们能在上下文知识库中提取期望的上下文。

高层的上下文感知应用包括上下文感知代理和上下文感知设备等。用户与其交互产生的影响,一方面反馈给上下文知识库,为其学习提供支持,另一方面反馈到环境中,改变其中的上下文参数。

3.3 中间件

智能空间是一个异构、动态、多样的计算环境,其中包含着由不同系统软件(如不同的操作系统、数据库、语言编译器等)和多种风格各异的用户界面实现的、采用不同的网络协议和网络体系结构连接的多种硬件系统平台(如计算机、伺服机构等)。如何将这系统无缝集成起来并开发新的应用,是一个非常现实而困难的问题。中间件是为解决这一问题而设计的。

如图3所示,智能空间的中间件用来连接普通网络和应用程序,让用户潜意识意识和空间交互,支持上下文分析,为智能空间提供系统支持^[52]。与智能空间中间件相关的问题^[53,54]表现为:一方面,它具有和传统中间件相似的问题,如异构性、扩展性、统一的编程接口等;另一方面,由于智能空间的规模更大,问题更复杂,它还面临一系列新的问题,如不可见性、自

适应性、上下文敏感性(context sensitive)、对自组网络的支持、动态可配置、可裁剪等特殊问题。

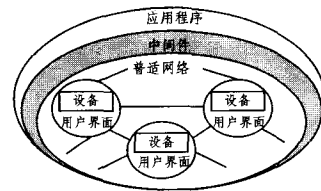


图3 中间件示意图

智能空间中间件的设计要求一般包含以下几个方面^[52-57]:

(1)屏蔽设备和环境的复杂性。采用中间件技术屏蔽设备的异构性(如功能、形态等方面的差异)和应用执行环境的差异性(如适用场合、用户情景等),支持应用迁移,创造能支持和协调多应用的可动态调整的运行环境,使不同的网络服务之间进行交互,从而提高系统的扩展性,实现有效的资源管理;

(2)为上下文敏感应用提供支持。要求中间件能分析动态的情景,允许异构自主的智能体以语义的方式理解上下文信息,支持上下文感知及其应用的开发、维护、部署和执行等;

(3)为普通网络提供支持。提供特定用途的数据处理,为普通网络提供应用的信息,支持普通网络的动态性、自动重组、容错等;

(4)为高层应用开发提供支持。如各种应用功能的改换与扩展、系统更新与升级、资源重复再利用等性能的实现;

(5)满足智能空间中的某些特殊要求。如提供异构环境中的信息共享和服务质量(QoS)保障,解决大规模普通计算应用所面临的问题等。

目前,关于智能空间的中间件还处于探索阶段,主要表现为:一是智能空间的构建本身正处于研究探索阶段,不断有新技术和新设备加入其中;二是不同研究机构设计的应用场景各不相同,其间的用户需求差异很大;三是目前实现的中间件过于专有,缺乏公开统一的技术规范和标准。具备上述能力并提供统一开发支持的中间件技术是智能空间的重要研究内容。

3.4 智能决策和执行

智能决策和执行是智能空间设计中相当重要的环节。因为要实现为用户随时随地、透明地提供人性化服务的目的,智能设备必须能实时地做出正确的决策并予以执行。幸运的是,嵌入式、微机电系统、机器人^[58]等技术的发展使这一要求成为可能。该环节的实质是要建立一个能根据系统提供的信息实时地作出和执行决策的闭环控制机制,而核心问题是如何处理一个动态不确定的系统。无线传感执行网络(wireless sensor and actor networks, WSAAns)为控制系统提供了一个可行的解决思路,它是由无线媒介连接的传感器和执行器组成的网络。作为一种由传感器网络衍生而来的全新的信息获取和处理技术,它可以实现分布式的传感并执行相应任务。其中,传感器用来获取物理世界的信息,执行器则根据这些信息做出适当的决策并对环境施加控制。而如何在传感节点-执行节点和执行节点-执行节点之间建立有效的协调和通信机制,实现智能决策和执行,尚亟待更好的解决^[43,59-61]。

智能空间的一个发展趋势是使物理嵌入系统能自组织,具有自治能力。自组织,特别是空间自组织要求多尺度的可

变性。随着智能空间复杂度的不断提高,所需传感器、执行器的种类与数量愈来愈多,与此相关的兼容与接口、网络互操作性等问题会日益突出。同时,智能空间系统存在固有的随机延迟和其它不确定性,因此将闭环控制机制有效地应用于其中是一个巨大的挑战。

3.5 安全性

智能空间具有非常广阔的应用前景,但前提是其安全问题必须得到妥善而彻底的解决。与传统的有线网络相比,智能空间面临更加严峻的安全问题:1)智能空间是物理世界和信息空间的融合,这导致物理世界中的用户及设备将面临和信息空间中的信息、数据一样的安全威胁;2)入侵者完全可以利用智能空间主动为人提供服务的特点,随时随地以任意方式更为高效地对系统进行破坏;3)以人为中心的智能空间中存储着大量的用户隐私和保密性很强的信息,若被人恶意利用或无意泄漏,都将给社会的安全和稳定带来严重危害。

为智能空间提供安全问题解决方案,是一个重要的研究课题。从技术层次讲,以下一些方面值得重点关注^[62-65]:第一,如何建立基于认证和信任的安全机制。智能空间在提供服务前必须进行身份认证,对不同的用户提供不同安全等级的访问控制策略,以确保信息传输的秘密性和安全性。身份认证不再局限在人与人之间身份的确认,而应扩展到在实体间进行相互认证的双向认证机制。第二,如何保护个人隐私。智能空间几乎记录了个人的所有信息,其中一部分是不可触犯的隐私。怎样让用户从他人处获取适当的信息、保护用户自己的关键信息、使用户对拥有的信息具有决定权限等都是需要考虑的关键问题。第三,如何加强对软件系统和通信协议的管理。智能空间里含有大量的软件系统,怎样扫描漏洞、入侵检测、防止恶意代码执行以及病毒的防治等。针对各种通信协议,如何解决其中存在的隐患。第四,如何建立层次化、可定制、可扩展和可互操作的安全机制。智能空间的安全机制须在不同层次上提供安全的信息服务,多种安全机制之间应能相互协同,即具有互操作性。此外,从社会角度讲,安全性问题是一个道德问题。制定相关法律来约束和规范人们的行文是必需和必须的。

4 几个具体实例

目前,智能空间正处于探索的初期阶段,要提出一整套完整的技术和体系结构还为时尚早。下面我们给出几个具体智能空间研究实例进行简单说明。

4.1 NIST 的 Smart Space^[6]

美国国家标准技术研究院(NIST)的任务是为提高劳动生产率、促进贸易和改善生活质量而发展和提高计量、标准和技术。NIST 的 Smart Space 计划致力于为数据格式、传输、分布式计算和元数据(metadata)开发工具,并使用这些工具为智能会议室建立带有注解的多模态研究语料库(corpora)和测量算法。Smart Space 计划从事以下方面的研究:1)高数据速率的传感器数据传输和处理;2)智能空间需要的特殊传感技术;3)语音信号质量测试。该计划已为多模态结构研制出一系列硬软件工具,如智能数据流系统(smart data flow system)、语音信噪比测量法、Mark-III 麦克风阵列等。该计划由 DARPA、NSF、BBN、IBM 等部门和企业支持。

4.2 GIT 的 Aware Home^[8]

“能否创造一种能感知用户行踪及活动的家庭环境?”,“如果构建了这样的家庭环境,为提高用户的生活质量或帮助

老年人维持生活独立,该怎样提供服务?”。佐治亚技术理工学院(GIT)的 Aware Home Research Initiative(AHRI)着力于解决由以上问题引出的基本的技术、设计和社会方面的挑战。AHRI 建造了一个三层面积为 5040 平方英尺的“Aware Home”,将其作为跨学科设计、开发和评估的逼真住宅实验室。AHRI 研究议程横跨四个互补的主题:1)用户设计,包括社会交往(social communication)、记忆辅助(memory aids)和日常家庭助理(everyday home assistants);2)技术工艺,包括室内定位服务、行为识别、多相机眼睛和头部跟踪、音频和视频传感器融合、户外麦克风和扬声器辨认、大规模投影显示器、多样分布式显示器控制;3)软件工程,包括上下文感知计算、生动经历的自动捕获、个人信息的安全存储、交互多媒体的时空记忆提取等;4)文化含义(social implications),主要探究与隐私和自治权相关的社会、政治、法律、经济利益等。该计划得到 NSF、Hewlett-Packard、Intel、Motorola 等的大力协助。

4.3 东京大学的 Intelligent Space^[11]

在发展机器人技术中,长期的目标是提高机器人的智能。但是,在诸多场合中,仅靠提高单个甚至多个机器人的智能是远远不够的。与传统的思想不同,智能空间朝着相反的方向发展,让机器人工作的环境而不是机器人本身拥有更多的智能。该 Intelligent Space 的突出特点是与移动机器人密切联系,通过构建分布式智能网络设备(distributed intelligent networked device, DIND)的网络平台,将机器人与用户日常生活结合起来。研究的主要内容包括:使用分布式视觉传感器实现多目标跟踪、移动目标的位置估计、DIND、基于人类观察运动的控制策略、移动机器人导航、智能空间平台、空间学习记忆、工业机器人编程、使用小传感器的医疗智能空间等。未来如果将智能机器人和智能空间结合起来,则可以更好地控制和协调机器人的工作,推动机器人技术的发展。

5 面临的挑战

智能空间是一个充满挑战的研究视角,在其实现的道路上面临着许多困难和障碍,主要体现在技术问题和社会经济因素两个方面:1)从技术方面看,智能空间是一个庞大的复杂系统,涉及到包括自动化、计算机、通信等研究领域。研究人员在设计系统各个组成部分以及构建整个系统体系结构时,需要能有效地支持智能空间尺度状态的伸缩性、形态功用的异构并存性、多用户自然交互的并发性、信息设备的动态相关性、用户任务的无缝移动性。这将面临一系列突出的技术难题,如怎样管理大量相互连接的计算机和设备之间的复杂通信与交互、如何解决无线传感网络中的中间件设计问题、如何保证普适网络的安全和隐私等等;2)从社会经济角度看,智能空间可能面临着更加严峻的挑战^[3]。任何技术研究的最终目的都是将其投入实际应用。选择合适的应用对象、将研究成果产品化、发展有效的商业模式,对于智能空间系统的实施成功与否是至关重要的,然而目前实际中并没有万分火急的“杀手级应用”(killer application),并且用户还会担心比如资金、安全、隐私等经济和社会问题。要使智能空间研究保持良性的可持续发展,必须努力克服以上两个方面带来的挑战。

结束语 综上所述,智能空间是一个将物理世界和信息空间融合起来的重要研究领域,着重于自然的人机交互、适应环境的动态演化,以协助用户高效地完成任。过去十来年,国外的学术界、产业界、政府部门纷纷积极投身于智能空间研

究的洪流中,投入巨大的人力物力财力来进行相关研究,而国内到目前为止开展的研究项目却堪称凤毛麟角。令人欣慰的是,国家“863计划”在2007年度正式立项,开始支持智能空间的关键技术及原型系统的研究工作。作为一门新兴的正在孕育发展的研究领域,智能空间把物理世界和信息空间融合起来,对计算机、信息科学的发展产生了重要的影响。它正在改变人们对计算和信息技术的认识,引导技术发展朝着“以人为本”的方向前进。虽然人们现在还没能克服面临的挑战,但智能空间的大部分基本技术框架都已略显雏形,其梦幻般的应用也初露锋芒。可以预见的是,伴随着研究工作的不断深入,一方面,智能空间将不断促进新兴技术的出现,逐渐改善未来的生活和工作方式而成为人们生活的一部分,这将给未来世界带来新的商业契机,对人类社会产生巨大的影响;另一方面,智能空间自身会朝着更为开放的方向发展,以住房、教室、超市、交通工具等离散环境为基础的智能空间,将逐步实现互连并最终扩大至全世界。

参考文献

- [1] Statyanarayanan M. Pervasive computing, vision and challenge. *IEEE Personal Communications*, 2001, 8(8): 10-17
- [2] Lee J H, Hashimoto H. Intelligent Space, its past and future // *Proceedings of the 25th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, California, USA, IEEE, 1999; 126-131
- [3] Wright S, Steventon A. Intelligent spaces - the vision, the opportunities and the barriers. *BT Technology Journal*, 2004, 22 (3): 15-26
- [4] Trivedi M M, Huang K S, Mikic I. Dynamic context capture and distributed video arrays for intelligent spaces. *IEEE Transaction Systems, Man, and Cybernetics Part A*, 2005, 35 (1): 145-163
- [5] 徐光佑, 史元春, 谢伟凯. 普适计算. *计算机学报*, 2003, 26 (9): 1042-1050
- [6] NIST. Smart space project [Online]. Available at: <http://www.nist.gov/smartspace>, July 4, 2007
- [7] Stanford University. Interactive workspaces project [Online]. Available at: <http://graphics.stanford.edu/projects/iwork>, July 4, 2007
- [8] GIT. The aware home project [Online]. Available at: <http://www-static.cc.gatech.edu/fce/ahri/>, July 4, 2007
- [9] MIT. Project oxygen [Online]. Available at: <http://oxygen.lcs.mit.edu>, July 2007
- [10] Microsoft Research. Easy living project [Online]. Available at: <http://research.microsoft.com/easyliving/>, July 2007
- [11] Tokyo University. Intelligent space [Online]. Available at: <http://dfs.iis.u-tokyo.ac.jp/-leejooho/ispac/>, July 2007
- [12] Keio University. Smart space laboratory [Online]. Available at: <http://www.ht.sfc.keio.ac.jp/SSLab/>, July 2007
- [13] Streitz N A, GeiBler J, Holmer T, et al. i-LAND: An interactive landscape for creativity and innovation. *Human Factors in Computing Systems (CHI 99)*. ACM press, 1999, 15(20): 120-127
- [14] Tsinghua University. Smart classroom project [Online]. Available at: <http://media.cs.tsinghua.edu.cn/-pervasive/projects/classroom/index.html>, July 2007
- [15] Shi Y C, Xie W K, Xu G Y. The smart classroom: merging technologies for seamless tele-education. *IEEE Pervasive Computing*, 2003, 2(2): 47-55
- [16] Coen M H. Design principles for intelligent environments // *Proceedings of the Fifteenth National/tenth Conference on Artificial Intelligence/Innovative Applications of Artificial Intelligence*, Madison, Wisconsin, USA, 1998; 547-554
- [17] RFID Journal [Online]. Available at: <http://www.rfidjournal.com/>, July 2007
- [18] Agre J, Clare L. An integrated architecture for cooperative sensing networks. *IEEE Computer*, 2000, 33(5): 106-108
- [19] Cerpa A, Elson J, Estrin D, et al. Wireless and mobility; Habitat monitoring; application driver for wireless communications technology. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 2001, 31(2, suppl.): 21-41
- [20] City and buildings centre [Online]. Available at: <http://www.nextwave-interface.org.uk/index.htm>, July 4, 2007
- [21] Barger T S, Brown D E, Alwan M. Health-status monitoring through analysis of behavioral patterns. *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics Part A*, 2005, 35 (1): 22-27
- [22] Stanford V. Using pervasive computing to deliver elder care. *IEEE Pervasive Computing*, 2002, 1(1): 10-13
- [23] Wang F Y, Zeng D, Yang L Q. Smart cars on smart roads; An IEEE intelligent transportation systems society update. *IEEE Pervasive Computing*, 2006, 5(4): 68-69
- [24] Wang F Y. Driving into the future with ITS. *IEEE Intelligent System*, 2006, 21(3): 94-95
- [25] Lee J H, Hashimoto H. Controlling mobile robots in distributed intelligent sensor network. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2003, 50 (5): 890-902
- [26] Want R, Pering T, Borriello G, et al. Disappearing hardware. *IEEE Pervasive Computing*, 2002, 1(1): 36-47
- [27] MIT. AIRE group projects [Online]. Available at: <http://aire.csail.mit.edu/index.shtml>, July 2007
- [28] Estrin D, Celler D, Pister K, et al. Connecting the physical world with pervasive networks. *IEEE Pervasive Computing*, 2002, 1(1): 59-69
- [29] Benini L, Farella E, Guiducci C L. Wireless sensor networks; Enabling technology for ambient intelligence. *Microelectronics Journal*, 2006, 37(12): 1639-1649
- [30] Soheil A, Kalogeraki V, Gunopulos D. Sensor networks; Spatial queries in sensor networks // *Proceedings of the 13th annual ACM international workshop on Geographic information systems*. Bremen, German, 2005; 61-70
- [31] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. Wireless sensor networks; a survey. *Computer Networks*, 2002, 38(4): 393-422
- [32] Eltoweissy M, Wadaa A, Olariu S, et al. Group key management scheme for large-scale sensor networks. *Ad Hoc Networks*, 2005, 3(5): 668-688
- [33] Abowd G D. Software engineering issues for ubiquitous Computing // *Proceedings of the 21st international conference on Software engineering*. Los Angeles, CA, USA, 1999; 75-84
- [34] Tatsuo N, Lchiro S. A software infrastructure for supporting spontaneous and personalized interaction in home computing environments. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2006, 10(6): 379-391
- [35] Kindberg T, Fox A. System software for ubiquitous computing. *IEEE Pervasive Computing*, 2002, 1(1): 70-81
- [36] Essa I A. Ubiquitous sensing for smart and aware environments. *IEEE Personal Communications*, 2000, 7(5): 47-49
- [37] Akyildiz I F, Weilian S, Sankarasubramaniam Y, et al. A survey on sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, 2002, 40(8): 102-114
- [38] Tsai H W, Chu C P, Chen T S. Mobile object tracking in wireless sensor networks. *Computer Communications*, 2007, 30(8): 1811-1825
- [39] Lin C Y, Peng W C, Tseng Y C. Efficient in-network moving object tracking in wireless sensor networks. *IEEE Transaction on Mobile Computing*, 2006, 5(8): 1046-1056
- [40] Shang Y, Ruml W, Fromherz M P J. Positioning using local maps. *Ad Hoc Networks*, 2006, 4(2): 240-253
- [41] Niculescu D, Nath B. Ad hoc positioning system (APS) using AOA // *Proceedings of Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*. San Francisco, CA, USA IEEE, 2003; 1734-1743
- [42] Haro A, Flickner M, Essa I. Detecting and tracking eyes by using their physiological properties, dynamics, and appearance // *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Hilton Head Island, SC, USA, 2000; 163-168

- ital Signatures and Public-Key Cryptosystems. *Communications of the ACM*, 1978, 21(2): 120-126
- [2] Nielsen M A, Chuang I L. *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press, 2000
- [3] Wang X, Yin Y L, Yu H. Finding Collisions in the Full SHA-1. *CRYPTO*, 005
- [4] Wang X, Yu H. How to Break MD5 and Other Hash Functions. *EUROCRYPT*, 2005
- [5] Pollard J M. A Monte Carlo method for factorization. *BIT Numerical Mathematics*, 1975, 15(3): 331-334
- [6] Brent R P. An Improved Monte Carlo Factorization Algorithm. *BIT*, 1980, 20: 176-184
- [7] Pollard J M. Theorems of Factorization and Primality Testing. *Cambridge Philosophical Society*, 1974, 76: 521-528
- [8] Williams H C. A $p+1$ method of factoring. *Mathematics of Computation*, 1982, 39: 225-234
- [9] Lenstra H W Jr. Factoring integers with elliptic curves. *Annals of Mathematics*, 1987, 126(2): 649-673
- [10] Lehmer D H, Powers R E. On Factoring Large Numbers. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 1931, 37: 770-776
- [11] Morrison M A, Brillhart J. A Method of Factoring and the Factorization of F7. *Mathematics of Computation*, 1975, 29 (129): 183-205
- [12] Dixon J D. Asymptotically fast factorization of integers. *Mathematics of Computation*, 1981, 36: 255-260
- [13] Pomerance C. The Quadratic Sieve Factoring Algorithm. *EUROCRYPT1984*// Pomerance C, ed. *A Tale of Two Sieves*. *Not. Amer. Math. Soc.*, 1996, 43: 1473-1485
- [14] Contini S. Factoring integers with the self-initializing quadratic sieve. Masters thesis. University of Georgia, 1997
- [15] Lenstra A K, Lenstra H W Jr, Manasse M S, et al. The Number Field Sieve// *ACM Symposium on Theory of Computing*. 1990: 564-572
- [16] Knuth D E. *The Art of Computer Programming*. Third Edition. Addison Wesley, 1998, 2
- [17] Feynman R P. Simulating physics with computers. *International Journal of Theoretical Physics*, 1982, 21: 467-488
- [18] Shor P W. Algorithms for quantum computation; discrete logarithms and factoring. *New Mexico: IEEE Computer Society Press*, 1994: 124-134
- [19] Cormen T H, Leiserson C E, Rivest R L, et al. *Introduction to Algorithms*, Second Edition. The MIT Press, 2001
- [20] Menezes A J, van Oorschot P C, Vanstone S A. *Handbook of Applied Cryptography*. CRC Press, 1997
- [21] Brent R P. Recent Progress and Prospects for Integer Factorisation Algorithms. *COCOON*, 2000
-
- (上接第 5 页)
- [43] Akyildiz I F, Kasimoglu I H. Wireless sensor and actor networks: research challenges. *Ad Hoc Networks*, 2004, 2(4): 351-367
- [44] Chong C Y, Kumar S. Sensor networks: evolution, opportunities, and challenges// *Proceedings of the IEEE*. 2003, 91(8): 1247-1256
- [45] Estrin D, Govindan R, Heidermann J, et al. Next century challenges: Scalable coordination in sensor networks// *Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*. Washington, USA, 1999: 263-270
- [46] Smith D, Ma L, Ryan N. Acoustic environment as an indicator of social and physical context. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2006, 10(4): 241-254
- [47] Abowd G D, Mynatt E D. Charting past, present and future research on ubiquitous computing. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 2000, 7(1): 29-58
- [48] Castro P, Muntz R. Managing context data for smart spaces. *IEEE Personal Communications*, 2000, 7(5): 44-46
- [49] 岳玮宁, 王悦, 汪国平等. 基于上下文感知的智能交互系统模型. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2005, 17(1): 74-79
- [50] Chen H, Finin T, Joshi A, et al. Intelligent agents meet the semantic web in smart spaces. *IEEE Internet Computing*, 2004, 8(6): 69-79
- [51] Voids S, Mynatt E D, MacIntyre B, et al. Integrating virtual and physical context to support knowledge workers. *IEEE Pervasive Computing*, 2002, 1(3): 73-79
- [52] Saba D, Mukberjee K. Pervasive computing: A paradigm for the 21st century. *IEEE Computer*, 2003, 36(3): 25-31
- [53] Yau S S, Karim F, Wang Yu, et al. Reconfigurable context-sensitive middleware for pervasive computing. *IEEE Pervasive Computing*, 2002, 1(3): 33-40
- [54] Yu Y, Krishnamachari B, Prasanna V K. Issues in designing middleware for wireless sensor networks. *IEEE Network*, 2004, 18(1): 15-21
- [55] Soldatos J, Pandis I, Stamatis K, et al. Agent based middleware infrastructure for autonomous context-aware ubiquitous computing services. *Computer Communications*, 2007, 30(3): 577-591
- [56] Romm M, Hess C, Cerqueira R, et al. A middleware infrastructure for active spaces. *IEEE Pervasive Computing*, 2002, 1(4): 74-83
- [57] Romer K, Kasten O, Mattern F. Middleware challenges for wireless sensor networks. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 2002, 6(4): 59-61
- [58] Ollero A, Boverie S, Goodall R, et al. Mechatronics, robotics and components for automation and control. *IFAC milestone report. Annual Reviews in Control*, 2006, 30 (1): 41-54
- [59] Rezgui A, Eltoweissy M. Service-oriented sensor-actuator networks: promises, challenges, and the road ahead. *Computer Communications* (to be published)
- [60] 徐振阳, 窦文华. 无线传感反应网络综述. *计算机科学*, 2005, 32(9): 26-30
- [61] Liu J, Chu M, Liu J, et al. State-centric programming for sensor-actuator network systems. *Pervasive Computing*, 2003, 2(4): 50-62
- [62] Pietro R D, Mancini L V, Jajodia S. Providing secrecy in key management protocols for large wireless sensors networks. *Ad Hoc Networks*, 2003, 1(4): 455-468
- [63] Kagal L, Finin T, Joshi A. Trust-based security in pervasive computing environments. *IEEE Computer*, 2001, 34(12): 154-157
- [64] Perrig A, Stankovic J, Wagner D. Security in wireless sensor networks. *Communications of the ACM*, 2004, 47(6): 53-57
- [65] Dritsas S, Gritzalis D, Lambrinouidakis C. Protecting privacy and anonymity in pervasive computing: trends and perspectives. *Telematics and Informatics*, 2006, 23(3): 196-210