

面向工业应用的可穿戴计算技术

陈东义, 夏侯士戟, 黄志奇, 李薪宇, 宋海涛

(电子科技大学移动计算中心 成都 610054)

【摘要】工业应用是可穿戴计算技术研究的一个热点问题。该文总结了可穿戴计算技术在各种典型的工业领域中的研究现状,对影响可穿戴计算技术在工业领域推广应用的关键问题,包括可穿戴性和可用性、可穿戴人机交互以及软件体系结构和支撑模式等进行了探讨和分析,最后介绍了面向可穿戴计算工业应用的创新车间信息环境模式——“知晓车间”,以及可穿戴现场作业辅助系统。

关键词 人机交互; 工业应用; 现场作业辅助; 软件体系结构; 可用性; 可穿戴计算

中图分类号 TP368

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2009.05.027

Wearable Computing Technology for Industry Applications

CHEN Dong-yi, XIAHOU Shi-ji, HUANG Zhi-qi, LI Xin-yu, and SONG Hai-tao

(Mobile Computing Center, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

Abstract The application of wearable computing in industry domain is a hot research topic. A brief review is first given to the research status of wearable computing in some typical industry application domains. Then, the paper discusses and analyzes some key problems which have a direct impact on the popularization and application of wearable computing, including wearability and usability, wearable human-computer interaction, software architecture and support pattern. At last, a novel workshop information environment pattern - “Aware Workshop” and wearable on-site task assistant system, which aim at the application of wearable computing in industry domain, are presented.

Key words human computer interaction; industry application; on-site task assistant; software architecture; usability; wearable computing

可穿戴计算机(wearable computer)是一类新概念、超微型、可穿戴的个人移动计算系统,它属于用户的个人空间,总是处在工作、待用和可存取状态,即“always accessible”^[1],能持续地被穿戴者控制,通过实现人机之间更加自然、方便和直接的交互来支持人员携带和使用计算系统,并持续地获得计算功能。

在讨论可穿戴计算机的历史时,一般会前溯到20世纪60年代美国数学家Edward O. Thorp为研究“轮盘赌”游戏而研制的包含4个按键的模拟计算机系统^[2]。目前,被较为认可的最早的以现代计算机为核心的可穿戴计算机是在20世纪70年代,由加拿大多伦多大学的Steven Mann基于Apple-II 6502型计算机研制而成的。该可穿戴计算机使用安装在头盔上的1.5英寸CRT作为显示设备,镶嵌在手持式闪光灯上的7个微开关作为输入设备,而整个可穿戴计算机的供电则依赖于的一组铅酸电池。Steve Mann主要

将其用于控制闪光灯、照相机和其他照相设备^[3]。可穿戴计算机的问世引起了欧美发达国家工业界和军事界的高度关注和大力推动,20世纪后期微处理器、无线通信、微型显示、计算机接口等技术的飞速发展和成熟,则为各种形态和结构的可穿戴计算机原型不断出现奠定了技术基础。

自20世纪90年代中后期,可穿戴计算机逐渐走出实验室阶段,美国卡耐基-梅隆大学设计出VuMan系列可穿戴计算机,并将其推广到C-130型运输机、F-15型战斗机等大型复杂系统的现场维护应用中^[4],Via、Xybernaut Inc、CDI等企业也率先推出了一系列可穿戴计算机商业化产品,并迅速被各国的大学、研究机构等积极应用,并推广到加工制造、生产监控、维护保障、物流后勤、作战侦察、反恐安全、医疗助残、消费娱乐等大量的领域中。

目前,IEEE主办的国际可穿戴计算学术大会(IEEE International Symposium on Wearable

收稿日期: 2009-07-31

基金项目: 国家自然科学基金(60674077); 中加政府间科技合作基金(2009DFA12100); 国家863计划(2009AA01Z310)

作者简介: 陈东义(1956-),男,博士,教授,博士生导师,主要从事可穿戴计算、移动计算、智能交互、感知计算方面的研究。

Computers)每年定期召开。大多数欧美发达国家都有相关的研究机构从事专门性的可穿戴计算技术研究工作,较著名的包括美国卡耐基-梅隆大学人机交互研究中心、麻省理工学院媒体实验室、佐治亚理工学院GVU中心、俄勒冈大学可穿戴计算实验室、加拿大多伦多大学电子与计算机工程系ePi实验室、瑞士苏黎世理工学院可穿戴计算实验室、德国帕绍大学嵌入(世界最大的民用可穿戴计算研究项目——wearIT@work的牵头单位)、芬兰Nokia研究中心和英国Essex大学等。美国军方更是投入巨资,相继启动了以可穿戴计算机为核心的数字化单兵项目——陆地勇士计划(land warrior)和未来战士计划(future force warrior)。我国也于20世纪末开展了可穿戴计算研究,全国性的可穿戴计算学术会议已举办了三届。

进入21世纪以来,嵌入式、P2P和Web services等代表性技术标志着“以人为中心”的后PC和Web 2.0时代的到来,微电子、移动计算、普适计算、情感计算、多通道人机交互等的蓬勃发展更使得可穿戴计算这一多学科交叉的计算技术面临巨大的发展机遇。

本文以可穿戴计算的工业应用这一热点为核心,简要回顾和总结了典型的工业领域和可穿戴计算应用现状及成果,对影响可穿戴计算工业应用的关键问题进行了深入分析,提出一种车间信息环境创新模式,并以其为基础构建可穿戴现场作业辅助系统。

1 典型工业应用领域

在可穿戴计算机发展早期,工业界就已经意识到其在工业领域中的潜在应用价值,可穿戴计算机具备持续(constancy)、增强(augmentation)和介入(mediation)共3种典型工作模式^[5],使得其能够在工业企业的生产活动全过程中,为移动作业的工程技术人员提供较之于传统计算设备更加持久、丰富、自然和适合的应用功能集合。

近年来,相关的研究成果不断涌现,概括起来,主要集中于下面的典型应用领域。

1.1 技术信息辅助

使用可穿戴计算机在任务现场为工程技术人员提供支持现场作业的相关技术信息,包括生产计划、场合位置^[6]、产品技术规范、图纸手册^[4]和物流信息等,如图1所示。

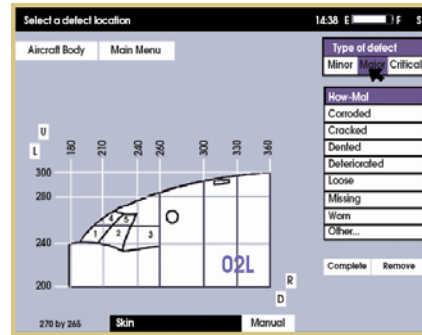


图1 文献[4]使用可穿戴计算机提供的航空设备手册信息

1.2 操作训练和绩效支持

基于可穿戴计算机实现各种虚拟或实际的企业作业任务训练系统,可以有效地支持人员作业任务的正常开展,提高其工作效率。文献[7]介绍了日本东京电力工业中心研究所基于可穿戴计算机构建的企业消防和电力设备维护作业训练系统,通过机器视觉、增强现实、位置姿态估计等技术的应用,能在虚拟的环境下为人员提供仿真训练环境,如图2所示。

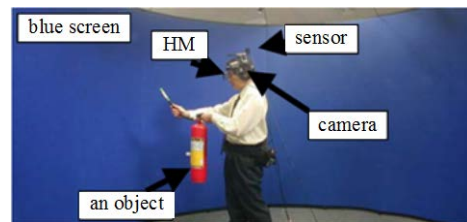


图2 文献[7]中企业消防和电力设备维护作业训练系统

与人员的紧密结合使得可穿戴计算机能够持续地监测作业过程中的人员实时状况。文献[8]首先根据人员现场维护作业的设备对象相关的领域知识,建立层次化的现场作业任务流程,并和目标设备内部的子系统或模块单元关联起来,进而能在实际作业进行过程中,根据监测到的人员操作行为,持续地评估人员绩效状况的变化,为人员提供符合其绩效状况的设备技术信息支持。

1.3 环境及设备监控

通过为可穿戴计算机配备通信网络和穿戴传感等,可以实现人员、设备和环境等信息的主动获取和感知,全面地掌握生产过程状况,满足人员相关的各种应用需求。文献[9]面向核电站从事设备维护的工程技术人员,实现了对人员所处现场辐射强度的实时监测和评估,并以可视化方式将评估结果显示在现场人员的计算机设备上,如图3所示。文献[10]通过各种穿戴传感的应用,通过心率监测、反应时间测量、睡意监测和头部运动监测等技术手段实现了一种可穿戴的告警系统,用于在危险环境中保护

企业人员健康和生命的安全。文献[11]则实现了一种通过对现场设备信息的采集和诊断来支持人员现场维护作业的设备测试和维护支持系统。

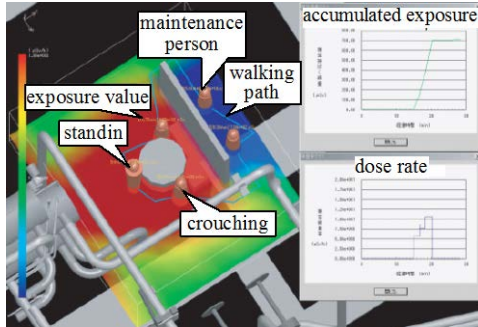


图3 文献[9]实现的人员现场环境监控应用

1.4 专家指导和团队协作支持

基于可穿戴计算机配备的各种网络通信设备,可以为现场人员提供和远程技术专家和其他团队成员之间持续的连接,进而实现专家-学徒帮助台(master-apprentice help desk)、团队维修和协助(team maintenance and collaboration)等各种典型的应用功能^[4]。文献[12]归纳了企业现场中六类典型的协同工作应用需求,包括远程觉察(awareness)、远程列席(presence)、远程提供(presentation)、远程指点(pointing)、远程监测(sensing)以及远程操控(manipulation)等。

2 关键问题分析

2.1 可用性与可穿戴性研究

作为一种和人员紧密结合的计算机形式,可穿戴计算机产品的可用性研究,存在一定的特殊性。即如何充分体现出可穿戴计算机相对于传统的便携式计算设备或手持计算设备等,在建立紧密人机关系方面的优势。然而,可穿戴计算机的硬件结构形式复杂、多样,同时,在人员的持续使用中,可穿戴计算机面对的又是一个同样复杂和多变的开放式外部环境,这就使得探索一般性的可用性技术,存在很大的困难和制约,需要一个明确的研究背景和前提。这也是现有的一些可穿戴计算机商业化产品(如Xybernaut公司的MA-V, VIA公司的ViA II等)的推广应用状况不佳的主要原因之一。



图4 一款典型的集中式可穿戴计算系统

图4给出了以自制样机为核心搭建的一款可穿戴计算系统。目前,工业应用中主要采用的可穿戴计算系统都是以集中式主机为基础的,根据应用需求为其配备相应的输入输出设备而构成,典型的输入输出装置如图4中的头戴显示器(head mounted display)和单手键鼠等。同时,根据前面对各种典型工业应用领域的分析,企业工程技术人员在使用可穿戴计算机时,可能处于各种复杂的任务现场之中,如大型设备内部/底部的狭小空间,高速运行的车船/飞行器内部,以及移动人员所处的不断变化的其他户内外场合等^[13]。在这些任务现场,影响上述典型可穿戴计算系统实用性能的可用性问题包括:

(1) 宽温性能问题。在复杂的工业现场,可穿戴计算机需要能适应可能存在的各种冷热环境。由于受到体积、重量、形状和移动应用等因素的影响,可穿戴计算机不具备实施有源宽温的各种措施,存在较严重的散热问题。集中式主机在这方面尤为突出^[6],需要探索各种新的散热方案,就硬件系统的结构、材料和使用方式等提出技术方案。此外,还必须考虑到自身的宽温措施对人员的影响。目前,这方面的专门性研究工作还比较缺乏,仅开展了初步研究工作^[8]。

(2) 抗震性能问题。根据任务需要,可穿戴计算机可能需要在人员各种行为状态下持续地保持运行状态,带来了较高的抗震性能需求。目前国内外针对作业系统(task system)抗震问题的研究,大多只从外界振动环境对人员的影响来开展^[14]。而在本文应用中,对于可穿戴计算机来说,人员自身的走、跑、跳等运动行为是一个更为重要的振动源。传统的计算机加固措施会在计算机的体积和质量方面付出较大的代价,不适用于可穿戴计算机,需要寻求新的技术方法来建立可穿戴计算机的抗震性能与外界环境约束之间的平衡点。

(3) 穿戴模型和评估方法。穿戴方式下,人的身体即为一块放置计算机的“工作台”,如何有效地在上面“放置”前述可穿戴计算系统中的主机和外围设备等主要硬件组成部分,是关系到人员舒适性、作业绩效乃至生理健康和生命安全的重要问题。

影响可穿戴计算机穿戴性能的主要因素包括尺寸、重量、负载部位和连接关系等。其中,尺寸和重量等可以使用形状系数(form factor)加以表征,形状系数越小,可穿戴性越好。随着微电子技术以及集成制造技术的不断发展,集中式可穿戴计算机在形状系数上虽然有了大幅度的缩减,但缩减程度受

现有技术和成本的制约很大,其可穿戴性能仍不能适应长时间使用的要求。为了克服集中式结构由于体积与重量的制约给使用者带来的不便,可采用分散式结构,将整机根据主要功能模块的不同分离开来,并结合人机工学原理分布在人体适合穿戴的部位,提供一种更为合理和舒适的穿戴形式。分布式可穿戴计算机的构建涉及智能织物^[15]、人体发电^[16]等新的研究问题,目前还处于探索阶段,还无法进入实际的工业应用。

2.2 可穿戴人机交互

在工业企业任务现场,工程技术人员需要将精力集中于任务本身,此时,在利用可穿戴计算实现对人员的信息辅助时,需要通过各种有效的人机交互方法,有效释放使用人员的手,即实现所谓的“Hands free”。研究人员寻求为可穿戴计算机配备各种先进的人机交互装置来实现这一目标,在交互输入装置方面,包括单手(臂式)键鼠、轨迹球、触摸/手写板、语音输入装置、数据手套、视线跟踪装置等;在交互输出方面,则包括头戴显示器、语音合成装置、力反馈输出装置等,图5给出了部分实物图。



图5 几类典型的可穿戴计算机交互装置

可穿戴人机交互面临的主要研究问题包括:

(1) 适应工业应用的特殊需求,改进现有的各种可穿戴人机交互手段,或提出新的可穿戴人机交互概念形式,为实现任务现场无障碍、高效和自然的人机交互奠定技术基础。文献[17]使用压电薄膜检测人员肌肉运动,配合摄像头、计步器等人员行为检测实现了一种“Hands free”的人机交互系统原型;文献[18]针对人员注意力被束缚于作业任务时,头戴显示器或腕式显示器等在信息提示方式和信息量等方面的不足,尝试以声音反馈(sound feedback)为主导方式来构建人机交互界面,并对该界面形式下的人员舒适性和交互效率等可用性问题分析;文献[19]则针对危险环境下有线的数字手套存在的安全性隐患,引入操纵杆(joystick)和射频技术等,实现了一种新的无线数据手套形式。

(2) 针对企业任务现场存在的噪音、光照、温湿

度等复杂、多变的环境因素对人机交互过程的影响,借助于各种穿戴传感的应用来尽可能多地获取人机交互空间内的各类上下文(Context)信息,用于指导人机交互过程,提高现有交互装置的可靠性、准确性以及实时性等;并尽可能地实现多类交互装置的有效融合和集成,提高其实用价值。可以利用的技术包括数据获取/处理、特征提取、训练和识别方法等。文献[20]针对现有的基于眼动跟踪的人机交互在复杂环境下的抗干扰能力弱的问题,基于发光二极管构建了一种IR Tag,并将其引入视觉跟踪系统,提出了一种轻量级的校准方法,如图6所示。眼动跟踪系统判断出用户的凝视动作后,从捕获到的用户瞳孔图像中识别出所携带的IR Tag编码信息,用于指导计算机和人员的交互过程。文献[21]综合利用了时钟、声强、语音、加速度、生理等传感器(模块)构建传感阵列,结合k-均值、隐马尔科夫、主成分分析等算法实现人员行为识别,能在无人员主动介入的情况下获取各种典型的用户上下文信息,从而使得计算机能够提供恰当的,符合人员需求的交互信息。



图6 文献[20]中基于眼动跟踪的人机交互

(3) 传统的基于WIMP/GUI的人机界面无法充分利用各种特殊的可穿戴人机交互装置,需要以多通道交互(multimodal interaction)为基础,探索适合可穿戴计算机应用需求的人机交互界面的构建、控制、导航和绩效评估等问题。与增强现实、介入现实以及虚实融和技术等的结合,是这方面研究工作的热点问题,这一类人机界面将人员所看到的真实外界环境和计算机所提供的虚拟信息有机的融合在一起,从而特别适用于复杂机器设备的装配、维护和维修等相关的作业辅助或训练^[22-24]。其构建涉及位置跟踪(position tracking)、方位跟踪(orientation tracking)、标记识别(mark recognition)以及虚拟信息的校准(calibration)和配准(registration)等关键技术。

2.3 软件体系结构与支撑模式

可穿戴计算机结构形式和工业应用需求的多样性和复杂性对可穿戴计算机软件的设计和实现带来了

诸多的困难和挑战。在早期研究工作中,研究人员注意到可穿戴计算的移动性对其持续地获得信息支持带来的困难,提出了“可穿戴计算环境(wearable computing environment)”的概念^[25]。其基本任务是主动为可穿戴计算机提供简单的软件功能获取服务,这就引出了“感知(aware)”的概念。针对可穿戴计算自身的软件系统如何有效地感知、表示、理解和利用环境,研究人员开展了一系列研究工作,较有代表性的包括:(1)美国俄勒冈大学研究人员提出的一种面向企业技术人员团队协作应用的软件系统框架——NETMAN^[26]。它将整个系统框架划分为应用程序管理器、应用程序模块、会话管理等独立运作的组成部分,支持各种应用功能以模块的形式加载到整个系统中,在应用程序管理器中进行配置、管理,并通过会话管理器支持异步和同步等典型运行机制。(2)芬兰Nokia研究中心研究人员提出的一种开放、动态和分布式的可穿戴计算软件体系结构模型——MEX^[27]。它以服务(service)、代理(agent)等方式来描述软件功能模块。类似的研究成果还包括英国Essex大学研究人员提出的多模态应用集成框架——Sulawesi^[28],德国慕尼黑大学研究人员提出的面向日常室内外导航应用的软件系统框架——DWARF^[29]等。

近年来,随着SOA(service-oriented architecture)和云计算新技术的逐步兴起,软件服务已成为企业分布式计算领域基本的软件设计和开发理念。对于面向工业应用的可穿戴计算软件而言,如何在复杂和动态多变的企业现场,以服务的方式构建和部署应用功能,并根据人员作业空间内的上下文状况为可穿戴计算系统提供恰当的服务支持,以及相应的服务质量和安全性、可靠性保障,这是一个典型的上下文感知计算(context aware computing)问题^[30]。一般认为,构建上下文感知计算系统的关键问题包括:(1)上下文的分类法(taxonomy)和统一的表述(uniform representation)。(2)用于设计、实现和演进上下文感知应用的基础结构构建。(3)上下文感知应用的发现、竞争、决策和交互策略^[31]。

上下文感知计算在普适计算^[32]研究领域同样是一个重要的研究课题,然而,普适计算技术所追求的计算的无处不在(ubiquitous)和计算机在环境中的“消失”,以及可穿戴计算机所专注的构建紧密的人机关系存在本质上的区别,使得在上述给出的上下文感知计算关键问题方面,两个领域的研究存在一些明显的差异:

(1) 上下文分类法和统一表示。普适计算领域中,由于移动人员所配备的计算设备通常只是一些类似标签(tag)的嵌入式设备,计算能力严重受限,往往只能携带一些基本的上下文信息,如人员身份、任务日程和日志信息等,上下文类型比较简单,也无需使用各种复杂的形式化描述方法加以表示。计算设备在现场仅需要和支撑环境完成信息交互,环境所提供的各种服务支持也运行在环境中嵌入的各种计算设备上,无需人员所配备的计算设备参与。而在工业企业任务现场,基于可穿戴计算机需要实现较多复杂的辅助应用功能,而影响这些应用功能的上下文因素主要来自于任务现场的设备、物理环境和人员自身状况等,需要可穿戴计算机具备较强的复杂领域知识的抽取、分类和统一表示能力。文献[33]分析了可穿戴计算机用于现场人员辅助时的典型上下文需求,文献[34]对可穿戴计算支撑环境的各种典型上下文类型进行了评估和定义,但均没有建立起一个统一的上下文表示框架。

(2) 设计、实现和演进上下文感知应用的基础结构。普适计算领域的上下文感知计算寻求建立一个能有效支持环境中所有具备感知、计算、通信能力的计算设备的基础环境平台,并开展相关的关键技术研究来支持这些异构的计算设备之间的“交互”和“绑定”等,以实现计算的普适和“无处不在”。而可穿戴计算领域的上下文感知计算则以运作在可穿戴计算机上的基础支撑环境为核心,强调其具备较独立和完备的行为模式、演化机制和评估方法等,并拥有较强的和外部环境的交互和协作能力。文献[35]讨论了两者在一些具体约束上的差异。总的来说,这方面的对比分析研究见诸报道的还较少,还存在很多有趣的争论和研究问题。

(3) 上下文感知应用的发现、竞争、决策和交互。可以明确的是,可穿戴计算所面临的工业应用需求使得在实时性、个性化服务、绩效支撑能力和环境适应能力等方面,对基于支撑环境最终构建起的目标应用有着较高的要求,对基于可穿戴计算环境的上下文感知应用的发现、竞争、决策和交互策略和方法等的研究都提出了较大的挑战。

3 “知晓车间”及可穿戴现场作业辅助系统

根据前述分析,为了在企业任务现场构建良好的上下文支撑环境,引入无线传感网络(wireless sensor network, WSN)、无线局域网(wireless local

area network, WLAN)和个人域网络(personal area network, PAN)等无线通信技术,提出一种新的工业企业现场信息基础环境模式——“知晓车间”(aware workshop)。

定义 1 知晓车间是一种新的车间环境,它能够通过车间现场内和车间内人员身体上部署的各种具备无线网络通讯能力的智能标签,快速获取和车间现场内的工业设备、物理环境以及车间内人员等实体相关的信息,以服务的方式为车间内的可穿戴计算机等各类移动计算系统提供信息服务,并能根据其不同层次的上下文需求进行信息处理和知识抽取。

图7给出了针对“知晓车间”原型设计的一款基于WSN的无线智能标签,图7a为标签的外观,图7b为标签内部未连接传感器时的硬件节点。该节点工作在2.4 GHz这一开放的ISM频道,符合IEEE802.15.4/Zigbee协议规范,运行专用TinyOS操作系统,具备统一外部接口以供快速扩充温度、压力、硬度、加速度、声强、皮温、皮电、气体等外部传感器(模块),具备路由能力,支持星型、树型和网状网络等多种拓扑结构网络的动态构建,具备一定的数据处理能力和250 kb/s的网络数据传输速率,基本胜任了定义1中对智能标签提出的数据采集、处理和传输功能需求。



a. 标签外观 b. 标签内部电路硬件

图7 一款无线智能标签



图8 一款可穿戴计算机的实际穿戴图

图8为针对“知晓车间”自制的一款可穿戴计算机,整个计算机系统由主机、穿戴子系统、头戴显示子系统和单手持输入装置构成。其中:主机配备Transmeta TM5800处理器,主频达800 MHz,具

备GPS、WLAN、WSN等无线定位和网络通讯模块;穿戴子系统外观上为一套支持人员快速便捷穿戴计算系统的马甲;头戴子系统如图9所示,它包括一款自制单目头戴显示器、数字摄像头和耳麦;单手持输入装置为一款自制单手持鼠标。



图9 一款单目头戴显示器

本文围绕“知晓车间”原型和可穿戴计算样机,在可穿戴性、可穿戴人机交互、支撑环境和上下文感知应用构建方面开展了一系列的工作,包括:

(1) 结合典型的工业应用需求,抽取和分类归纳了和“知晓车间”内的设备、人员和物理环境等相关的典型上下文类型,引入描述逻辑和知识本体(ontology)方法构建起层次化的上下文信息服务框架,并以其为基础提出了一种新的现场作业辅助模式^[36],如图10所示。

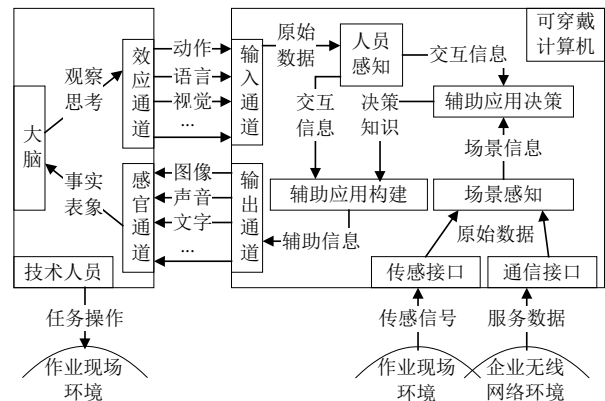


图10 基于可穿戴计算的现场作业辅助模式

在该模式下,上下文感知和辅助应用决策基于领域知识本体推理进行,决策知识将用于驱动建立模块化的现场作业辅助软件系统的高级Petri网模型,进而映射到实际的高级语言程序,从而保障了现场作业辅助应用软件系统的模块化、层次化、开放性、可重配置型和可验证性等特征,能够较好地适应工业企业任务现场复杂多变的上下文特征对构建高效的作业辅助应用提出的挑战^[36]。

(2) 围绕上述现场作业辅助模式的实施和评估,构建了一系列实际的现场作业辅助应用功能,如图11所示的企业设备运行监控与故障诊断辅助系统,以及如图12所示的现场设备维修辅助系统等^[36],并在多家合作单位开展了应用实验。

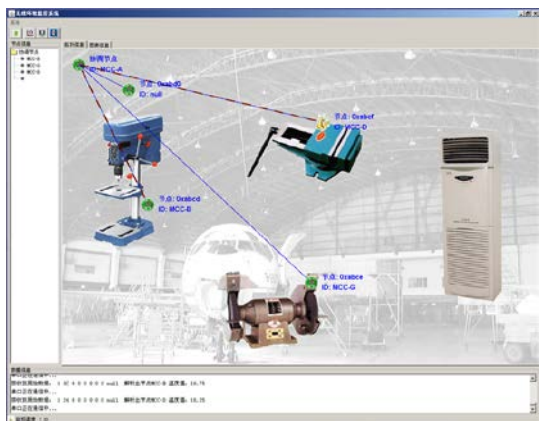
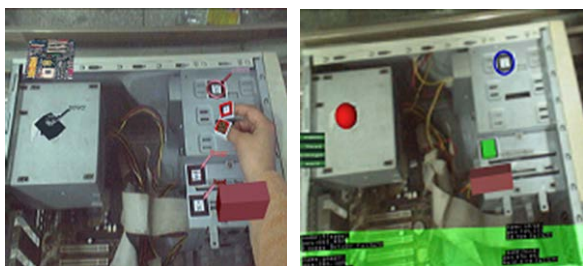


图11 企业设备运行监控与故障诊断辅助系统



a. 手势交互 b. 语言交互

图12 现场设备维修辅助系统, 分别支持语音和手势交互控制的增强现实人机界面

(3) 针对穿戴子系统的具体使用方式, 基于多目标模糊决策建立了可穿戴决策模型, 开展应用实验, 确定了如图13所示的8个人体典型穿戴部位优先级关系, 以满足工业应用中, 人员不同行为状态和姿态下的穿戴使用需求^[37]。

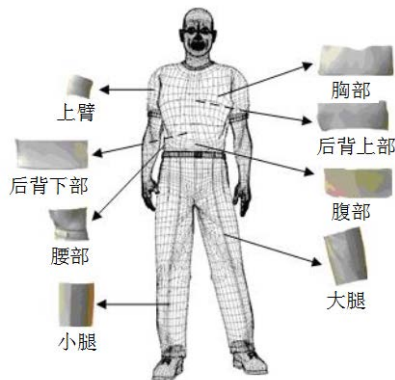


图13 典型的人体穿戴部位

(4) 针对“头戴显示+单手键鼠”的可穿戴计算基本人机交互方式, 设计了头戴显示器视场受限条件下的指点操作任务绩效实验, 如图14所示。分析了视场大小、目标尺寸与布局、人眼单双目视觉形式因素对于指点任务绩效影响的显著性, 为后续可穿戴现场作业辅助系统中各项应用功能的人机界面构建提供经验指导。

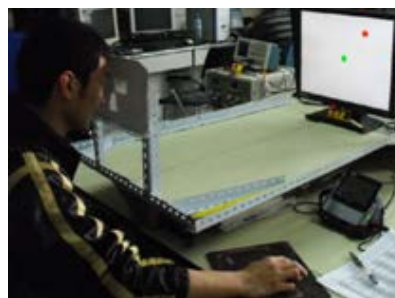


图14 指点操作任务绩效实验

4 总结与展望

本文对可穿戴计算的工业应用现状进行了简要的总结, 侧重分析了影响可穿戴计算工业应用推广的一些关键问题, 最后介绍了“知晓车间”和可穿戴现场作业辅助系统相关的一些研究成果。作为一个“以人为中心”, 追求“人机合一”的多学科交叉和融合的新技术, 可穿戴计算在人需要信息辅助的任何领域, 都有着重要的应用价值和广阔的应用前景。它的不断发展需要计算机硬件、网络、人机工程、计算机视觉、人机交互、认知心理学等多学科的介入和共同努力, 同时还需要坚持以应用为导向的原则, 加强高校、科研院所和企业间的紧密合作, 加强国际交流和合作, 大力培养可穿戴计算人才, 以期能产出一批源头性的高新技术成果, 推动我国工业、军事领域的跨越式发展。

参 考 文 献

[1] STEVE M. Humanistic computing: WearComp as a new framework and application for intelligent signal[C]// Proceedings of the IEEE. [S.l.]: IEEE, 1998: 2123-2151.

[2] THORP E O. The invention of the first wearable computer[C]//In Second International Symposium on Wearable Computers. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1998: 4-8.

[3] STEVE M. An historical account of the ‘WearComp’ and ‘WearCam’ inventions developed for applications in Personal Imaging[C]//In the First International Symposium on Wearable Computers. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1997: 66-73.

[4] SIEWIOREK D, SMIALAGIC A, STARNER T. Application design for wearable computing[J]. Synthesis Lectures on Mobile and Pervasive Computing, 2008, (3): 1-66.

[5] MANN S. Wearable computing: Toward humanistic intelligence[J]. IEEE Intelligent Systems and Their Applications, 2001, 16(3): 10-15.

[6] CRISTINA H A, JAY S N, DANIEL P S. Concurrent design and analysis of the Navigator wearable computer system: The thermal perspective[J]. IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing

- Technology-part A, 1995, 18(3): 567-577.
- [7] SARWAL A, BAKER C, FILIPOVIC D. Head-worn display-based augmented reality system for manufacturing [C]//In Proceedings of SPIE. Bellingham WA: SPIE, 2005, 5800: 115-122.
- [8] BRUSILOVSKY P, COOPER D W. Domain, task, and user models for an adaptive hypermedia performance support system[C]//In International Conference on Intelligent User Interfaces, Proceedings IUI. [S.l.]: ACM Press, 2002: 23-30.
- [9] YUKIHARU O, MITSUKO F, KIYOTAKA S. A system for the calculation and visualisation of radiation field for maintenance support in nuclear power plants[J]. Radiation Protection Dosimetry, 2005, 116(1-4): 592-596.
- [10] KAEFER G, PROCHART G, WEISS R. Wearable alertness monitoring for industrial applications[C]//In the Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers. [S.l.]: IEEE Computer Society, 2005: 254-255.
- [11] MATHIAS H J, MARC V. Using wearables in maintenance: a modular test platform[C]//In the Conference on Telecommunications and Mobile Computing. [S.l.]: [s.n.], 2003: 1-2.
- [12] BAUER M, HEIBER T. A collaborative wearable system with remote sensing[C]//In Proceedings of International Symposium on Wearable Computers. [S.l.]: IEEE Computer Society, 1998: 10-17.
- [13] XIAHOU S J, CHEN D Y. Application of wearable computing in the manufacture and other related domain[C]//In Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. [S.l.]: SPIE, 2005, 6041: 1-5.
- [14] PADDAN G S, GRIFFIN M. J. Whole-body vibration injuries[J]. Journal of sound and vibration, 2002, 253(1): 195-213
- [15] STANLEY M P. Modeling, analysis and self-management of electronic textiles[J]. IEEE Transactions on Computers, 2003, 52(8): 996-1010.
- [16] JOSEPH A P, STARNER T. Energy scavenging for mobile and wireless electronics[J]. Pervasive Computing, 2005, 4(1): 18-27.
- [17] HIYAMA T, TANIKAWA M H. Hands-free input interface using mimetic muscle movements for wearable computer [C]//In Proceedings of 8th Asia-Pacific Computer- Human Interaction. [S.l.]: Springer Verlag, LNCS, 2008, 5068: 311-320.
- [18] PARK Y H, Han K H. Information display of wearable devices through sound feedback of wearable computing[C]//In Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Platforms and Techniques. [S.l.]: Springer Verlag, LNCS, 2007, 4551(2): 1200-1209.
- [19] BAE J, VOYLES R M. Wearable joystick for gloves-on human/computer interaction[C]//In Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. [S.l.]: SPIE, 2006.
- [20] SMITH J D, SMITH R, VERTEGAAL C S. View pointer: Lightweight calibration-free eye tracking for ubiquitous handsfree deixis[C]//In Proceedings of the Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. Seattle, WA, USA: ACM, 2005: 53-61.
- [21] KRAUSE A, SMAILAGIC A, SIEWIOREK D P. Context-aware mobile computing: Learning context-dependent personal preferences from a wearable sensor array[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2006, 5(2): 113-127.
- [22] SARWAL A, BAKER C, FILIPOVIC D. Head-worn display-based augmented reality system for manufacturing[C]//In International Society for Optical Engineering. Bellingham WA: [s.n.], 2005, v5800: 115-122.
- [23] BOULANGER P. Application of augmented reality to industrial tele-training[C]//In First Canadian Conference on Computer and Robot Vision. London, Ontario, Canada: IEEE Computer Society, 2004: 320-328.
- [24] THOMAS B H, SANDOR C. What wearable augmented reality can do for you[J]. IEEE Pervasive Computing, 2009, 8(2): 8-11.
- [25] STEPHEN F, GERD K, ZARY S. Software organization for dynamic and adaptable wearable systems[C]//In Proceedings of First International Symposium on Wearable Computers. Cambridge, Massachusetts, USA: IEEE Computer Society, 1997: 13-14.
- [26] GERD K, MARTIN B, ZARY S. NETMAN. The design of a collaborative wearable computer system[J]. Journal on Mobile Networks and Applications, 1999, 4(1): 49-58.
- [27] LEHIKONEN J, HOLOPAINEN J. MEX: a distributed software architecture for wearable computers[C]//In the Third International Symposium on Wearable Computers. San Francisco, California, USA: IEEE Computer Society, 1999: 52-57.
- [28] NEWMAN N. CLARK A F. Sulawesi: A wearable application integration framework[C]//In the Third International Symposium on Wearable Computers. San Francisco, California, USA: IEEE Computer Society, 1999: 170-171.
- [29] PAPAGIANNAKIS G. Mixing virtual and real scenes in the site of ancient Pompeii[J]. Computer Animation and Virtual Worlds, 2005, 16(1): 11-24.
- [30] DEY A K, ABOWD G D, SALBER D A. Conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications[J]. Human-Computer Interaction, 2001, 16(2-4): 97-166.
- [31] BENERECETTI M, BOUQUET P, BONIFACIO M. Distributed context-aware systems[J]. Human - Computer Interaction, 2001, 16(2-4): 213-228.
- [32] SCHMIDT A, SPIEKERMANN S, GERSHMAN A, et al. Real-world challenges of pervasive computing[J]. IEEE

Pervasive Computing, 2006, 5(3): 91-93.

- [33] SMAILAGIC A, SIEWIOREK D, REILLY D. CMU wearable computers for real-time speech translation[J]. IEEE Personal Communications, 2001, 8(2): 6-12.
- [34] BRISTOW H W, BABER C, CROSS J, et al. Defining and evaluating context for wearable computing[J]. International Journal of Human Computer Studies, 2004, 60(5-6): 798-819.
- [35] BRADLEY J, NELSON M, JOSH W. Wearable computing meets ubiquitous computing: Reaping the best of both worlds[C]//In The International Symposium on Wearable Computers. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1999: 141-149.
- [36] 夏侯士戟, 陈东义, 黄志奇. 基于可穿戴计算的现场作业辅助模式[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(11): 2269-2275.
XIAHOU Shi-ji, CHEN Dong-yi, HUANG Zhi-qi. On-site task assistant pattern based on wearable computing[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS, 2007, 13(11): 2269-2275.
- [37] 黄志奇, 陈东义, 王厚军. 可穿戴计算机所处的人体振动环境研究[J]. 振动与冲击, 2007, 26(3): 146-150.
HUANG Zhi-qi, CHEN Dong-yi, WANG Hou-jun. Study on vibration environment of a wearable computer[J]. Journal of Vibration and Shock, 2007, 26(3): 146-149.



陈东义, 博士, 教授, 博士生导师, 电子科技大学移动计算中心主任。

1993年重庆大学第一届跨世纪优秀青年骨干教师。1997年底至1999年初多伦多大学电气及计算机工程系做访问科学家, 开始介入可穿戴计算机相关的学习与研究工作。2002年9月至2003年10月在美国佐治亚理工学院GVU中心做访问教授, 与McIntyre

Blair 和Thad Starner等知名教授合作进行可穿戴计算和增强环境等方面的研究, 并保持经常性的访问和合作。2003年12月回国, 受电子科技大学重点学科建设项目资助组建移动计算研究中心, 在“计算机应用技术”和“检测技术及自动化装置”学科担任博士生导师, 长期从事自动控制及计算机两个学科方向的科研与教学工作。

目前主要研究方向包括: 可穿戴计算、移动计算及工业应用、增强现实和人机交互、超低功耗DSP和工业无线传感网络等。近年来承担与可穿戴计算相关的省部级和特殊单位课题项目10余项(其中, 国家高技术研究发展863计划项目2项, 国家自然科学基金项目2项, 中国与加拿大政府间科技合作基金项目1项); 在国内外学术期刊及会议上发表论文40余篇, 其中SCI/EI收录16篇。近年来先后在第一届中国情感计算及智能交互学术会议(ACII'03)大会, 第一届(2001年7月)和第二届(2003年9月)全国可穿戴计算技术学术会议, 以及国际学术会议ICMIT 2005担任程序委员, 在国际学术会议ACII 2005任Publicity Co-Chairs, 在第三届全国可穿戴计算与移动计算学术会议任执行主席。

编辑 漆蓉