

U-制造：基于 U-计算的智能制造*

唐任仲,白 翱,顾新建

(浙江大学 现代制造工程研究所,浙江 杭州 310027)

摘要:将 U-计算技术引入制造系统中,提出了新的下一代制造范式—U-制造。介绍了 U-计算技术及其应用;给出了 U-制造的概念,建立了其参考体系架构;详细论述了 U-制造涉及的关键技术;最后总结了 U-制造的优势和面临的主要挑战。

关键词:U-制造;U-计算;智能制造;物联网

中图分类号:TH166

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)01-0006-05

U-manufacturing: ubiquitous computing-based intelligent manufacturing

TANG Ren-zhong, BAI Ao, GU Xin-jian

(Institute of Manufacturing Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: A next generation manufacturing paradigm, U-manufacturing was proposed based on ubiquitous computing. Firstly, the ubiquitous computing technology and its application were introduced. Then the concept and the reference architecture of U-manufacturing were presented. The key technologies of U-manufacturing were analyzed in detail. Finally, the main advantages and challenges of U-manufacturing were summarized.

Key words: U-manufacturing; ubiquitous computing; intelligent manufacturing; Internet of thing

0 引 言

U-计算(国外称为“ubiquitous computing”、“pervasive computing”、“ambient intelligent”,国内有翻译为“普适计算”、“泛在计算”或“无所不在的计算”,本研究统一为“U-计算”)的思想最早是在 1991 年由美国施乐(Xerox)PAPC 实验室的首席科学家 Mark Weiser 提出^[1]。清华大学徐光祐教授对 U-计算给出的定义是:U-计算是信息空间与物理空间的融合,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^[2]。目前已经较为流行的计算模式如大型主机计算模式(mainframe computing)、客户机/服务器计算模式(client/server computing)、浏览器/服务器计算模式(browser/server computing)等本质上是一种“设备为中心”的计算模式,人们仍然需要考虑访问地点、访问时间、访问方式(接口)等问题;而 U-计算则是以“用户为中心”,旨在实现信息空间和物理空间的融合,以使得

人们在工作和生活的现场“随时随地”获得各类信息及 IT 应用服务成为了可能。目前,许多研究组织或团体对 U-计算展开了深入的研究,比较著名的研究项目有 MIT 的 Oxygen、卡内基梅隆大学的 Aura、加州大学伯克利分校的 Endeavour、伊利诺斯大学的 Gaia 等项目^[3]。U-计算技术包含了较为庞大、繁杂的内容,既有硬件系统,如 RFID 设备、无线传感网络、PDA、各种无线(或有线)网络设备、各类服务器等;也有软件系统,如中间件、实时数据库、嵌入式操作系统、网络传输协议等。基于 U-计算“随时随地、透明地获得 IT 服务的特点”,U-计算可应用在零售行业、工业生产与物料管理、交通运输与物流、个人识别与身份确认、医疗保健等诸多领域^[4]。

目前,已经有不少学者根据 U-计算的优势,提出了与基于 U-计算相关的制造理念、方法和模式,并将其初步应用在各类制造系统中。比较具有影响力或有代表性的主要有:香港大学的黄国全教授等提出了无

线制造 (Wireless Manufacturing, WM) 的概念^[5], 强调采用 RFID、Auto-ID、蓝牙技术、Wi-Fi、GSM、ZigBee 等手段来采集制造现场数据, 以便为生产过程的决策提供依据, 并各自研究了其在独立装配岛^[6]、自适应装配计划与控制^[7]、车间在制品管理^[8]、准时化生产^[9]等方面的具体应用; 浦项工业大学的 SUH S. H. 等人提出了 UbiDM[®] (Design and Manufacture via Ubiquitous Computing Technology) 的概念^[10], 提出采用 U-计算来获取产品全生命周期内相关信息, 包括 BOL (Beginning-Of-Life) 阶段 (含设计、生产)、MOL (Middle-Of-Life) 阶段 (含使用、维护) 和 EOL (End-Of-Life) 阶段 (含回收、处理) 的信息; 清华大学的范玉顺教授等提出了基于智能物件 (smart items) 的制造企业信息系统的概念^[11], 通过自动、实时、准确、详细地获取企业物理环境的信息, 不仅能够为企业已有的信息系统提供新的数据源, 而且能够在一定程度上改进企业的业务流程; 重庆大学刘卫宁教授等提出了基于射频识别的离散制造业制造执行系统的概念^[12], 将射频识别技术引入制造企业内部, 以解决企业资源计划的计划层与现场过程控制层间信息和管理断层的问题; 浙江大学顾新建教授等提出了智慧制造企业 (Smarter Manufacturing Enterprise, SME) 的概念^[13], 智慧制造企业充分利用了互联网、无线网和物联网, 建立在云计算及云制造的基础上, 具有更透彻的感知、更广泛的互联互通、更深入的智能化的特点。

本研究在总结上述研究成果的基础上, 将 U-计算引入制造系统中, 提出了新的下一代制造范式—U-制造。下面将首先给出 U-制造的概念, 建立其参考体系

架构; 接下来详细分析 U-制造应用于产品全生命周期中涉及的关键技术; 最后指出其主要优势和应用方面的挑战, 以便读者能够快速理解 U-制造, 为进一步研究 U-制造奠定基础。

1 U-制造的概念与参考体系架构

1.1 U-制造的概念

简单地说, 将 U-计算技术引入制造系统以此开展产品研发、采购、生产、销售、使用、维护、回收等一系列活动而形成的制造模式简称 U-制造, 即“U-制造 = U-计算 + 制造系统”。该概念主要强调两点:

(1) 对制造系统及其环境状态变化的感知: 通过 RFID、WSNs、PDA 等 U-计算技术采集到各类制造现场信息, 使得人们能够掌握制造过程 (研发、采购、加工、装配、检验、销售、使用、维护、回收等)、制造资源 (设备、物料、人员、工装、检验工具、自动导引小车等) 的信息。

(2) 对信息的智能处理: 采集的信息通过各类已有的或正在发展中的智能算法或智能处理机制 (如知识推理/知识服务、语义网、Agent、神经网络、遗传算法等), 为控制制造行为提供定量、精确的判断依据, 并和人的经验、知识和智慧结合在一起, 确保制造系统的执行性能, 实现产品全生命周期范围内的全面可视化、实时化管理。

1.2 U-制造的参考体系架构

根据对 U-制造概念的理解, 本研究提出了如图 1 所示的 U-制造系统应用的参考体系架构。

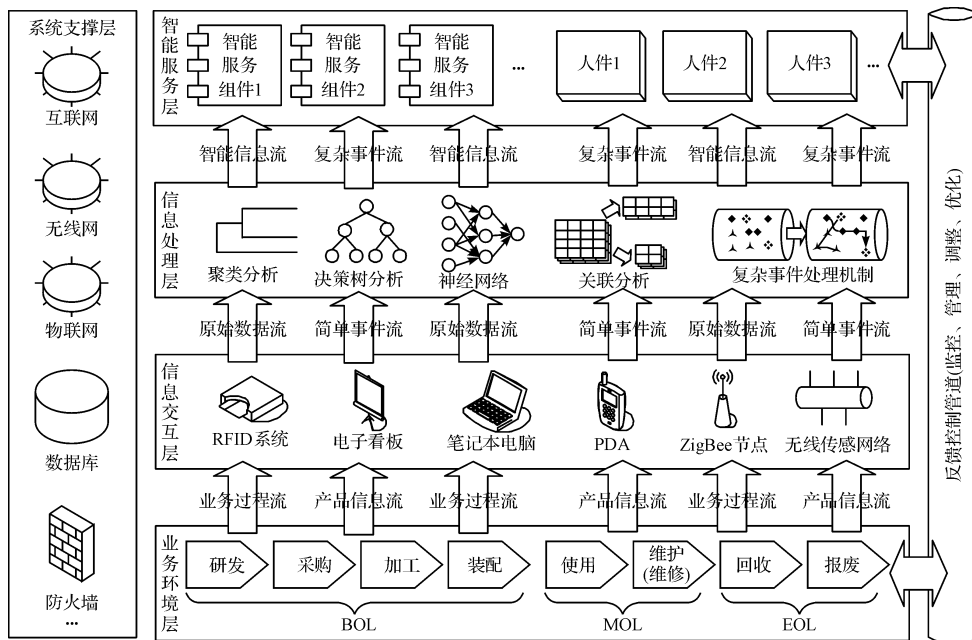


图 1 U-制造应用的参考体系架构

图 1 中的参考体系架构中包括了 5 层,分别为业务环境层、信息交互层、信息处理层、智能服务层和系统支撑层,各个层次的具体含义如下所示:

(1) 业务环境层。

业务环境层包含了产品全生命周期范围内的各个业务环节,可划分为 BOL、MOL 和 EOL 等 3 个阶段。其中 BOL 可具体分为研发、采购、加工、装配等,在这一阶段,产品主要由制造企业进行控制,供应商则负责原材料、零部件的供应;MOL 则包括使用、维护(维修)等阶段,在这一阶段,产品主要由客户进行控制,通过产品产生对客户有利的效益,制造企业可能参与进来对产品进行远程监控和维修;EOL 则包括回收、报废等阶段,这一阶段需要客户和制造企业一起参与,根据产品的具体情况,对产品进行拆卸和再利用。产品在 BOL、MOL 和 EOL 等 3 个阶段产生了大量的信息,这些信息需要按照合理的粒度和时间点进行采集。

(2) 信息交互层。

信息交互层建立在业务环境层的基础上,其中包含了大量的 U-计算设备,主要是对产品全生命周期范围内业务过程流里的数据进行实时采集、传输、预处理和访问。典型的 U-计算设备包括 RFID 系统、无线传感网络、电子看板、笔记本电脑、PDA、ZigBee 节点等,通过这些设备,能第一时间采集到各种信息。同时,制造系统中的管理人员、操作工等可以通过这些 U-计算设备,按照自己的需求,设定访问或查询条件,访问制造资源、制造过程的状态信息,访问的结果多以图形和报表的形式返回。

(3) 信息处理层。

信息处理层主要是对信息交互层产生的原始数据和简单事件进行进一步的加工、处理,提取其语义信息。对数据和事件的处理依赖于一系列的智能算法和技术,如针对数据进行挖掘和分析的有效方法有聚类分析(Clustering Analysis, CA)、决策树分析(Decision Tree Analysis, DTA)、神经网络(Neural Network, NN)、关联规则分析(Association Rule Analysis, ARA)等;而针对简单事件进行处理的方法则有复杂事件处理技术(Complex Event Process, CEP)^[14],目前已经在事件驱动的架构(Event-Driven Architecture, EDA)中得到广泛应用。通过这些智能算法,使得大量简单的原始数据和事件映射和转换为高层的信息、复杂事件及知识,为进一步实现对制造系统的反馈控制奠定基础。

(4) 智能服务层。

第 4 层为智能服务层,主要根据经过处理的信息或知识对制造系统进行必要的反馈控制和调整。智能

服务层中包含了两种类型的智能体:一是智能服务组件(Intelligent Service Component, ISC),智能服务组件以面向服务的架构(Service-Oriented Architecture, SOA)实现,每个智能服务组件实际上就是一个存储在计算机系统智能模型,服务组件提供一个接口,可以响应外部的服务请求,被外部服务请求者调用,不同的服务组件还可以按照一定的服务规则进行编排,从而组合完成更多样化、更复杂的服务请求;二是所谓人件(Human-Ware, HW),人件中包括了人(尤其是专家)的思维、知识和经验,并且具有良好的学习能力和适应能力,对智能服务组件是一种极佳的补充,能较好地弥补智能服务组件的局限性。人件和智能服务组件一起共同构成了 U-制造系统的大脑,能根据信息进行快速决策,动态地对制造系统的行为进行控制。

(5) 系统支撑层。

第 5 层为系统支撑层,主要包含了互联网、无线网、物联网等网络系统、数据库和防火墙。系统支撑层提供了 U-制造运行的保证:通过互联网、无线网、物联网等网络系统,制造业务人员能通过各种类型的 U-计算设备随时随地访问所需要的资源、获取所需要的服务,而不受到设备、场所的限制;通过数据库,U-制造中的各类原始数据、智能信息能被有效、合理地进行存储,一般对大型集团公司的 U-制造系统,其数据可存储在企业自备的服务器集群中,对于中小企业,可存储在信息服务提供商(典型的如 Google、Amazon 等)的云存储端;通过防火墙等信息安全措施,能切实保证 U-制造系统应用的安全性,尤其是对 RFID 标签进行有效保护,防止信息泄露。

2 U-制造涉及的关键技术

U-计算引入制造系统中形成了 U-制造,应用到产品全生命周期内则有如下关键技术或问题需要进一步研究和解决:

(1) 制造资源、制造过程的全面可视化技术。

对制造资源,人们通过携带的微型交互设备(如 PDA、手机、智能手表等),可查找一定范围内(小到工厂,大到一个特定的地理区域)所有资源的信息,如资源当前所在位置、上一时刻的状态、当前时刻的状态、下一时刻可能的状态、所参与或涉及的过程等,这些资源可以是人员、物料、工具等;对制造过程,可访问某一具体制造任务目前的进度、质量状况、未来状态、所涉及的资源等。如对某一装配订单,能否访问到该订单已经进展到那个工位、合格数、不合格数、质量缺陷原因、什么时候能够完成(系统自动计算)、是否按期交

货(系统自动判断)、有哪些工人、哪些供应商、哪些设备参与了对此过程的支持。

(2) 销售订单的智能执行技术。

在客户端,客户通过各种U-计算设备随时随地输入销售订单,系统基于实时现场数据(包括业务过程数据和设备工况数据),自动计算当前制造车间可用工作能力,并与订单完成所需要的能力进行比较,以此判断订单是否可以被接受,如果订单可以被接受,则提交该订单。在企业端,针对客户已经提交的订单,系统根据车间当前和未来一段时间的作业情况自动排产,生成生产任务单,并发送实时消息给各个业务部门(如采购部、生产部、质保部等)的相关人员做好准备。在订单执行过程中,系统可对订单进行全程跟踪,包括其是否领料、到达哪个工位、加工或装配质量状况如何等,并及时通知客户;当订单交付后,出现质量问题,客户能随时随地进行质量追溯。

(3) 生产过程的知识服务技术。

在产品生产过程中,如某道工序完成后,根据产品的信息自动提示搬运工需要将半成品送到规定的工序上,并根据相同工序中各个工位的当前负荷能力计算哪道工序空闲能力较多,可承接更多的生产任务,并自动选择各种调度规则,从而实现了生产过程的实时调度;此外,工人配备某些可穿戴式装置,根据加工装配的物料随时自动检索对应的装配作业指导书,指导工人进行有效作业,缩短其学习时间。

(4) 生产(含加工、装配)过程的防错(主动提醒与纠正)技术。

大批量定制(Mass Customization, MC)^[15]将成为未来制造业的最主流生产模式,而模块化设计则是大批量定制的核心和基础。在此条件下大量相似的零件、部件、模块在有限的生产线上进行组合,极易出现物料错装、漏装的现象,造成无谓的返工、拆卸等浪费,在U-制造环境下,系统能自动判断这些错误,以声音、光线等形式提醒操作者。需注意的是,这种提醒不是事后的提醒,而是事件发生前就开始提醒,避免时间的浪费和返工拆卸的损失。

(5) 生产事件的自动处理和消息推送技术。

将生产过程中每道工序的料废信息(因供应商责任引起的物料报废)第一时间通过短信息的形式发送到供应商手机上,告知质量缺陷情况,提醒供应商加强质量管理,吸取教训,并及时补充物料,防止物料报废而产生的物料短缺风险;将产品中每道工序的完工信息及时报告给客户,使得客户能够远程跟踪订单;将生产过程中的各类与设计有关的缺陷信息及时发送到设

计者手中,并与产品设计知识库相对接,将缺陷信息汇集起来,分类归并,为今后的设计提供经验和参照。

(6) 制造现场的环境感知技术。

工人需要有适宜的工作环境才能高效率地工作,减少错误的发生,有些设备不能在高湿、高温的环境下长期工作。通过部署在现场的传感器采集到生产现场环境信息,如照明度、风速、空气温度、湿度、有害气体含量、甚至电磁辐射等信息,及时反馈给上层决策系统,以实现生产现场的环境干预,如开空调降温或升温、通过换气机及时更换空气、调整光线的亮度等,从而构建一个和谐、适宜的制造环境。

(7) 采购定单的全过程跟踪技术。

供应商交货的及时性关系到能否按期交付销售订单。当外购(包括外协)定单下达后并经过供应商确认后,企业能远程地对采购定单的执行情况进行跟踪,查询定单的执行情况,如定单采购物料的到齐情况、是否已经领料出库、已经加工到哪个工位、在生产的过程中发生了哪些质量问题、是否已经完工入库、是否已经发货等,并通过全球卫星定位(Global Position System, GPS)系统对运输环节进行跟踪。在此过程中如果有问题或存在交付不及时可能的时候,及时发送提醒消息给相关供应商。

(8) 设备的可穿戴式检(查)(维)修技术。

一些复杂、重要、关键的制造设备配置了RFID标签(芯片)以存储其维修历史记录等信息,当人们戴上可穿戴装置靠近该设备时,只要获得了访问接入权限,眼睛前的屏幕上便可自动显示该设备的编码、型号、设备名称、维修历史、关键零部件等信息,甚至还可通过无线网络从远程中央数据库中自动读取该设备的维修指导手册,并根据故障情况自动定位到手册对应的页或段落,以帮助维修人员在现场快速定位故障、以正确的方法修理设备。

(9) 设备或复杂产品突发故障的临界辨识与判断、风险评估技术。

对企业而言,设备(如数控加工中心、高档数控机床等)是最重要的制造资源,根据设备上各类传感器采集的信息,自动判断设备的健康状况,对于处于亚健康状态的设备,自动提醒管理者,并对由此产生的风险进行评估,及时做好生产任务的调整工作,如生产任务的外包、外协、物料的直接采购等;对于客户而言,复杂产品(如大型汽轮机、水力发电机、中央空调等)是其最重要的生产设施,通过各类传感器,制造企业可以对自己生产的产品远程、在线地进行监控、诊断,当产品存在故障隐患时,以短信息方式通知相关维修人员和

技术支持人员做好服务准备、仓库管理员备好需更换的零部件,随时待命,一旦发生故障,及时赶赴现场进行维修,确保产品工作性能。

3 结束语

本研究将 U-计算技术引入制造业中,提出了 U-制造的概念。U-制造是一种新的下一代制造范式,具有如下诸多优势:

(1) 协助制造系统的相关人员随时随地、透明地、无缝地访问制造资源、制造过程,而不受到时间、地点的约束和限制;

(2) 由于完成了物理空间向信息空间的映射,因此能构建上层管理和底层制造过程之间的数字化通道,有利于实现制造过程的监控、调度和优化;

(3) 由于能实时地了解制造系统的状态,因此缩小了管理的时间因子,减低了管理的滞后性,为构建实时企业提供了坚实保障;

(4) 实现了对产品全生命周期范围内相关信息(尤其是使用信息、维修信息)的采集,更好地实现产品全生命周期管理,尤其是在产品的 MOL 和 EOL 阶段,有助于为客户提供更好的制造服务。

当然,U-制造也面临着不少挑战:

(1) 标准问题。以 RFID 系统为例,当前就存在 EPCglobal、ISO、UID、AIM global、IP-X 等组织制定的标准,这可能直接影响 U-制造系统的异构互操作性和集成性。

(2) 成本问题。当前 U-制造系统的应用成本仍然不能算低,除非制造企业能看到明确的投资回报率或者整个行业已经形成了明显的应用 U-制造的趋势,否则还没有多少企业愿意大规模应用 U-制造系统。

(3) 安全问题。大量的芯片直接附着在物品上,芯片中存储了企业的核心商业机密,需要有效地对芯片加以保护,保证其信息只被合法或通过验证的人访问到。

参考文献 (References):

[1] WEISER M. The computer for the twenty-first century[J]. *Scientific American*,1991,265(3):94-104.
[2] 徐光祐,史元春,谢伟凯. 普适计算[J]. 计算机学报,

2003,26(9):1042-1050.

- [3] 郑增威,吴朝晖. 普适计算综述[J]. 计算机科学,2003,30(4):18-22,29.
[4] FRIEDEWALD M, RAABE O. Ubiquitous computing: an overview of technology impacts[J]. *Telematics and Informatics*,2010(28):55-65.
[5] HUANG G Q, WRIGHT P K, NEWMAN S T. Wireless manufacturing: a literature review, recent developments, and case studies[J]. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*,2009,22(7):1-16.
[6] HUANG G Q, ZHANG Y F, JIANG P Y. RFID-based wireless manufacturing for walking-worker assembly islands with fixed-position layouts[J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*,2007,23(4):469-477.
[7] HUANG G Q, ZHANG Y F, JIANG P Y, et al. RFID-enabled real-time wireless manufacturing for adaptive assembly planning and control[J]. *Journal of Intelligent Manufacturing*,2008,19(6):701-713.
[8] HUANG G Q, ZHANG Y F, JIANG P Y. RFID-based wireless manufacturing for real-time management of job shop WIP inventories[J]. *International Journal of Advanced Manufacturing System*,2008,36(7-8):752-764.
[9] ZHANG Y F, JIANG P Y, HUANG G. RFID-based smart Kanbans for Just-In-Time manufacturing[J]. *International Journal of Materials and Product Technology*,2008,33(1-2):170-184.
[10] SUH S H, SHIN S J, YOON J S, et al. UbiDM: a new paradigm for product design and manufacturing via ubiquitous computing technology[J]. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*,2008,21(5):540-549.
[11] 臧传真,范玉顺. 基于智能物件的制造企业信息系统研究[J]. 计算机集成制造系统,2007,13(1):49-56.
[12] 刘卫宁,黄文雷,孙棣华,等. 基于射频识别的离散制造业制造执行系统设计与实现[J]. 计算机集成制造系统,2007,13(10):1886-1890.
[13] 顾新建,祁国宁,唐任仲. 智慧制造企业—未来工厂的模式[J]. 航空制造技术,2010(12):26-28.
[14] LUCKHAM D. The Power of Events: An Introduction to Complex Event Processing in Distributed Enterprise Systems [M]. Boston: Addison Wesley,2002.
[15] 杨青海,祁国宁. 大批量定制原理[J]. 机械工程学报,2007,43(11):89-97.

[编辑:张翔]