

平行制造及其在纺织鞋服产业中的应用

李立军^{1,2}, 王晓^{3,4}, 商秀芹^{3,4,5}

1. 东南大学自动化学院, 南京 210096
2. 宁波慈星股份有限公司, 宁波 315336
3. 中国科学院自动化研究所, 复杂系统管理与控制国家重点实验室, 北京 100190
4. 青岛市智能产业技术研究院, 青岛 266109
5. 中国科学院自动化研究所, 北京智能技术工程研究中心, 北京 100190

摘要 分析了如何借助机器视觉、VR 等新型智能技术将工业机器人和工业物联网应用于纺织鞋服装行业, 提出平行制造的架构体系, 以此为基础打造全球化分布式的柔性供应链, 实现对传统产业的智能化转换。平行制造综合应用工业机器人、物联网、云计算和计算机视觉技术, 打造与车间高度自动化的生产设备同步进行决策管控的云端虚拟工厂, 同时与终端无人化的制衣和制鞋工厂相结合, 虚实互动、终端制造、云端管控, 构建基于工业互联网的全球化分布式协同生产管理平台。以宁波慈星股份有限公司的“云制造”平台为例, 阐释了平行制造如何使得针织鞋服产品的大规模柔性“按需”生产成为可能, 平台有效提升了劳动生产率、降低了生产成本、减少用工人数。

关键词 平行制造; 纺织鞋服产业; 虚拟工厂; 大规模柔性生产

在英国提出以机器人、3D 打印和智能传感为核心的第三次工业革命后, 德国迅速推出“工业 4.0”体系, 以网络为中心, 整合产品、服务和价值链, 成为继美国制造回流之后最为瞩目的国家制造行动。人工智能的再次兴起, 加上物联网、大数据、云计算、区块链等概念与技术的日益普及和深入, 中国在 2015、2017 年分别实施了《中国制造 2025》和《新一代人工智能发展规划》, 提出建立智能创新体系的宏大目标, 包括智能科技、智

能军事、智能经济、智能社会等, 其技术核心与产业基础就是智能制造。以新的理念和新的技术发展新时期的智能制造科技, 将是中国从制造大国到制造强国的必由之道和开路先锋^[1-7]。

现代计算机技术和信息产业能够发展到今天的程度, 70 多年前的“Church-Turing Thesis”(丘奇-图灵命题)发挥了历史性的关键作用, 同时也催生了今日的人工智能技术。之前引人关注的 AlphaGo 技术, 虽无理论

收稿日期: 2018-07-20; 修回日期: 2018-11-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(61533019, 71232006, 61233001, 61773381, 61773382, 71702182, 91520301)

作者简介: 李立军, 高级工程师, 研究方向为智能制造, 电子信箱: james.li@cxrobotics.com; 商秀芹(通信作者), 博士, 研究方向为智能制造、社会制造, 电子信箱: xiuqin.shang@ia.ac.cn

引用格式: 李立军, 王晓, 商秀芹. 平行制造及其在纺织鞋服产业中的应用[J]. 科技导报, 2018, 36(21): 48-55; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.21.005

上的原始创新,但同样具有重大的历史意义,并将对智能制造技术的发展产生深远的影响,迫使未来产业走向人、机、物一体化的技术路线,即从牛顿式的“大定律、小数据”的规模化标准生产范式,转入默顿式“大数据、小定律”的个性化智能生产范式(图1)。这就是“AlphaGo Thesis”(阿尔法狗命题):未来的智能制造和智能产业,必须以数据作为核心原料之一生产其产品,生产过程必须有将“小数据”导成“大数据”,再将“大数据”锤炼成“小规则”或“小知”,即针对个性个体的精准知识的能力^[8-16]。

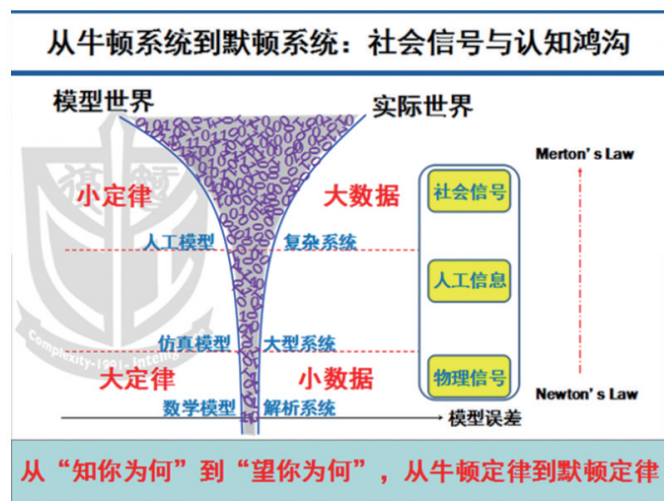


图1 从大数据、小定律到小数据、大定律

Fig. 1 From big data, small law to small knowledge and big law

计算机程序 AlphaGo 宣告人类社会已进入新 IT 时代,IT 不再代表信息技术 information technology,那已是旧 IT;从今往后,IT 代表智能技术 intelligent technology。同时,200 年前 IT 曾被人们称为革命性的工业技术 industrial technology,今日可称“老”IT 了。未来的智能产业,一定是“老、旧、新”3 个 IT 并立平行的新时代,从大原料、大生产、大市场的当代工业到大数据、大计算、大决策的智能制造。

1 平行理论赋能传统制造

人类世界的发展是一个不停建“网”的过程,以物理世界为主体的交通物流网(Grids 1.0);从物理到心理的电力能源网(Grids 2.0);以心理世界为主体的信息互联网(Grids 3.0);从心理到人工的物联网(Grids 4.0);还有正在兴起的以人工世界为主体并虚实合一的智联网(Grids 5.0)^[8]。这 5 张“网”,将 3 个世界整合在一起,

形成一个智联世界,让我们从被联到在联,再到主联,由此形成的工业物联网,这为智能制造提供了坚实有效的智能连通基础。

对应 Grids 1.0 到 Grids 5.0,产业形态也将从工业 1.0 进入工业 5.0,其中以电动机和电力为核心的工业 2.0 和以路由器及网络为核心的工业 4.0 是过渡的阶段,稳定的将是以物理、心理和人工世界为主体的工业 1.0、工业 3.0 和工业 5.0^[6-8]。实际上,ICT (information and communication technology,信息与通信技术)和 CPS (Cyber-Physical-Systems,信息物理系统)同为工业 4.0 和工业 5.0 的核心内容。然而,在工业 4.0 中,I (information) 为信息,C (communication) 为通信,S (systems) 为系统,这仍是工业自动化的思维方式。但在工业 5.0 中,I (intelligence) 为智能,C (connectivity) 为连通性,而 S (societies) 代表社会,即人及其社会文化关系的总和,加上系统就是 CPSS (cyber-physical-social systems,社会信息物理系统),从信息物理系统变为信息物理社会系统,这是知识自动化的思维方式,使人及其对应的人工人,即知识机器人或软件定义的机器人,成为系统的显式分子。

智能社会的基础设施以各种各样的 CPSS 为主,形成“人机结合、知行合一、虚实一体”的“合一体”智能生产、智能经济和智能社会。其中,人工定义的系统规则和流程,确定描述性智能;计算化实验通过各类评估和优化,从小数据导出大数据,形成预测性智能;最后通过虚实互动的平行执行方式,落实特定场景的“小”规则精准知识,实现引导性智能。这就是工业 5.0 或平行制造的运行方式,制造过程及其应用在物理、心理和人工这 3 个世界同时平行展开,数据不但是原料,也是制造的产品,并以平行区块链的形式加以应用,让制造走向个性化智能制造和可持续绿色生产的社会制造新模式^[19-20]。

2 中国纺织鞋服产业的现状

中国是鞋服产品的生产大国,有着巨大的市场和劳动力资源。纺织鞋服产业在中国一直是最为传统的行业之一,劳动密集,自动化程度非常低,从业人口众多,却是国民经济的基础产业之一。但近年来,随着劳动力成本的大幅增加,中国的人口红利逐渐丧失。大量鞋服行业订单被转至人力成本更低的东南亚国家,

由于该产业的经济总量庞大,对中国传统制造业形成了巨大的冲击,导致中国的纺织鞋服产业制造空心化趋势明显。

互联网的出现极大地促进了流行和时尚信息的传播速度,导致鞋服产品流行趋势的变化亦产生了很大的变化,最为明显的特点就是快。按传统的制作方式,服装大货的生产都需要提前半年的时间,即初夏时工厂已经在开始生产明年春季的服装。这种情况下,设计师面临着巨大的挑战,需要提前预测明年的流行趋势。然而,由于信息时代中市场趋势变化迅速、趋势与时尚的流行具有很大的随机性和不确定性,如一个网红款的衣服突然非常流行,这个趋势是无法通过历史数据预测的,所以6个月以前生产的产品,6个月以后可能已经过气。一言以概之,传统的生产模式已难于适应现今流行趋势快速变化的市场形势。

平行制造利用大数据和工业物联网技术,针对各类时尚社区、公众号、媒体平台数据进行感知、爬取并解析,提取关键流行特征,实时获取重点关注网红的动态,借助计算实验的手段,快速计算流行趋势并传递给定制化的云制造平台(图2),可有效应对流行趋势快速变化无法精确预测的问题。

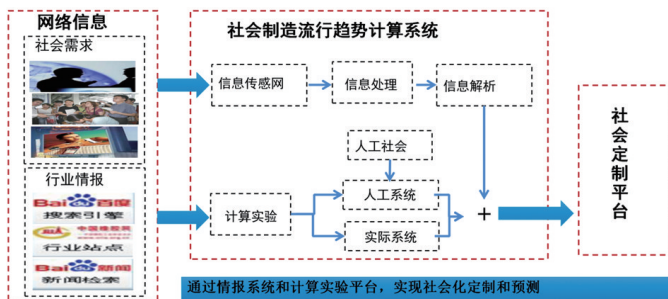


图2 基于开源数据的社会需求解析流程

Fig. 2 Social demands analysis based on open source data

3 纺织鞋服产业的智能化提升

通过平行制造理念改造传统纺织鞋服产业,可以很大程度提升劳动生产效率、减少用工、实现快速反应,并有效降低库存。平行制造通过利用大数据和工业物联网技术,突破物理世界资源有限的约束,将各个工艺流程并行化、透明化、扁平化,设计研发、原材料采购、生产制造、市场营销等工作可以同步开展,从而降低运营成本、提升生产效率、缩短生产周期,同时也减少了公共资源的使用和消耗^[21-22]。平行制造将现实世界中的实体工厂与云端的虚拟工厂进行映射,两者相

互影响、相互促进,最终使“云制造”(cloud manufacturing)成为可能,将线下的资源(原材料、生产设备、生产车间、资本以及工人等生产要素)整合到线上,吸引价值链上下游的不同企业广泛参与到设计、生产、服务等环节中,实现各种资源的共享与互补(图3)。“云制造”是一种基于工业互联网的制造新模式和新手段,将整个生产过程互联化、服务化、个性化。

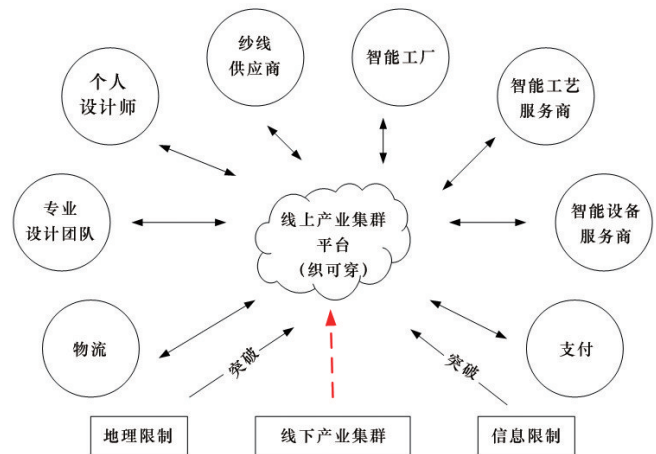


图3 纺织鞋服云制造平台

Fig. 3 Cloud manufacturing platform for textile, footwear and garment industries

以“云制造”为基础获取实时数据预测用户需求及流行趋势,在具体的生产环节中再引入高度自动化的生产装备,将革命性地改变纺织鞋服产业传统的生产模式,打造基于C2M(customer-to-manufacturer)技术的柔性“按需”供应链。C2M是围绕终端消费者的一种商业模式,以消费者为中心,凭借提供预设的标准化模块(或消费者自定义的非标模块)供消费者选择性地组合,是一种“拉动式”的供应链体系,然后通过智能制造实现低成本、多SKU(stock keeping unit, 库存量单位)商品的快速定制化生产。

4 慈星的产业实践:平行制造助力全球便捷化个性生产

宁波慈星股份有限公司(以下简称慈星)是全球领先的智能针织装备解决方案商,电脑横机占全球市场份额的30%。通过将上述以平行智能理论及体系引入纺织鞋服这一传统制造行业,利用大数据和云计算快速获取目标用户需求及爱好数据,同时借助工业互联网和物联网技术大同生产制造的各个环节、优化生产

流程,慈星打造面向整个工厂的整套的平行制造解决方案(图4)。

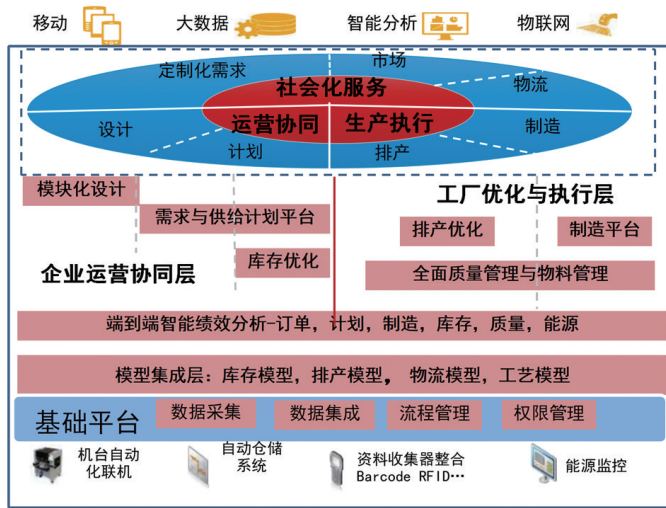


图4 虚拟智能工厂的智慧排单与生产
Fig. 4 Smart order rowing and production in virtual smart factories of parallel manufacturing

2014年,慈星启动了名为“云制造”的研发项目,以对平行制造理论进行具体应用实践。该项目将线下所有的实体制造环节数字化,对所有的信息(包括从客户需求的搜集到整个制造环节的建模)集成在一起构建了一个云端的虚拟化制造工厂,这一虚拟工厂与实际生产环节完全打通,通过对云端数据的分析、计算和评估,平行地指导生产和决策。该平台于2017年下半年完成了测试平台的建设与验证,验证结果表明,平台实现了生产管理的信息化和智能化,优化了生产、调度和物流效率,极大地节省了人力成本。

传统的生产制造模式下每个工序都是比较离散的,通过网络化,慈星把生产数据实时传输云端的后台,并在此基础上进行数据模式分析、特征挖掘和集成管理,结果用于指导实际生产,实现虚实互动、实时反馈的一体化全生命周期的生产制造管理。在平台后端的智能制造环节,慈星成功开发了多项新技术,每一个子项目分别由集团下属不同的研发团队牵头,除了国内宁波、北京、深圳等地的研发团队,慈星在瑞士、意大利的研发中心也深度参与,各项软硬件由不同的研发团队在各地协同开发。最终,成功打造了一个虚实互动、平行执行的智能制造生产云平台。

4.1 分布式共享工厂实现跨地域“按需”制造

在消费品制造领域,基于产业物联网的C2M是未

来的发展趋势,基于云制造的C2M生产模式如图5所示。未来互联网产业的发展重点是产业物联网,即传统制造业+物联网。在制造层面,目标就是C2M,用终端客户的实际需求来驱动制造工厂的生产,最终实现市场需求的快速响应。

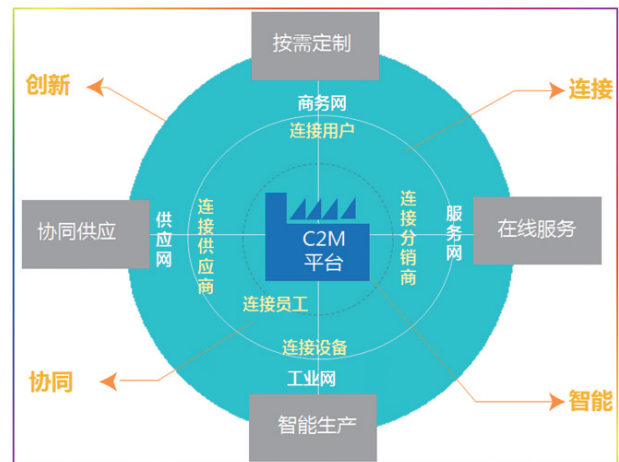


图5 基于云制造的C2M生产模式
Fig. 5 C2M production mode based on cloud manufacturing

基于云制造的C2M生产模式具有快速响应、敏捷制造、按需生产的特点。在实施生产前,借助大数据技术先把客户的需求实时提炼出来,结合当下流行趋势优化设计,采用高度智能化的装备快速地进行生产,以虚拟工厂中的设计和决策指导实际生产制造过程,使整个生产过程充满柔性 and 弹性,使得工厂甚至可以等拿到了确切的订单后再排产,实现去库存化。这就使得原来工厂可能一下就需要做50万件的库存,现在只需要做5万件,后续加单可快速补单。这一过程就是图6所示的全球化分布式生产体系。

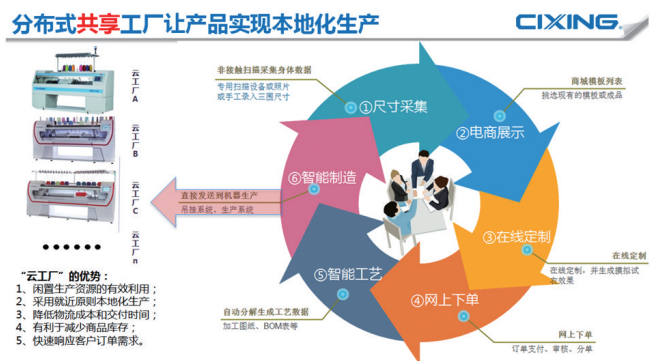


图6 基于云制造的分布式共享工厂
Fig. 6 Distributed and shared factory based on cloud manufacturing

例如一位纽约的设计师设计了一款新衣服,放在电商平台上推广,这个设计师的设计对云制造平台而

言只是一段代码;假设一位米兰的客户看中了这件衣服,并且希望在这件衣服上增加自己个性化的元素,如纹样、颜色、色块的组合等,此时她可以直接在基于云制造的分布式共享平台 APP 上进行个性化元素添加;而平台通过集成设计师的源代码+客户个性化的数据,即生成客户最终希望购买的这款经过个性化设计的衣服所对应的一段代码;后台在收到订单信息后自动做分析和处理,生成一个上机文件,这个文件随后将被自动下发给距离客户最近的一家代工厂进行生产,工厂将使用如图 6 中左侧所示智能设备进行生产。若衣服是单色,该机器甚至可以做到一根纱线进去,45 min 编织成型,这也是目前全世界最先进的成衣技术之一。如此一来,尽管这件衣服的设计来自于纽约的设计师,但因为客户来自于米兰,这件衣服的生产就会被安排在离客户所在地最近的位于佛罗伦萨地区普拉多的代工厂完成。最终,米兰的客户只需 3~5 天即可拿到这件从纽约设计师处个性化定制的衣物。

4.2 信息化与云端化打通设计、制造与生产全链条

鞋服产品平行制造的核心首先是信息化,通过把所有的数据云端化,打通设计、制造与生产环节间的数据壁垒。其次是智能化,整个过程自动地、流程化地、时序地由机器完成,无需任何人员参与,并且一次成型,极大地提高了劳动生产效率,降低人员生产成本。要实现平行制造,需要实现产品开发的数字化、生产的智能化、管理的信息化,以及决策的数据化。慈星的云制造平台通过大数据挖掘主动获取流行趋势,积极响应用户需求,自动化排单并安排生产,以云端计算指导实际生产,提升工厂效率。

在生产制造物流全生命周期优化流程的基础上,慈星开发了如图 7 所示的基于云制造平台的服装个性化定制服务。用户可通过 3D 扫描仪实现身材尺寸自动采集,5 s 完成全身 60 多个关键数据的特征提取,随后用户可直接参与设计,在云端实时生成衣服的 3D 模型,并在电视屏幕或者手机进行虚拟试穿。该 3D 模型可自由缩放并实现照片级的视觉效果,还可以联通 AR(增强现实)、VR(虚拟现实)的设备与系统中(图 8 为慈星自主研发的基于 VR 技术的全景虚拟试衣商店),使得用户身临其境地感受服装试穿效果。满意后可直接在云制造平台订购,系统后台的智能工艺模块像打印机驱动程序一样,自动生成智能生产设备兼容的数据文件,并根据客户信息找到离客户最近的签约工厂。无论工

厂是在意大利的佛罗伦萨、孟加拉国的达卡,还是中国的山东,只要是经过认证的智能生产设备,符合平台的数据格式和规范,即可完成衣服生产。

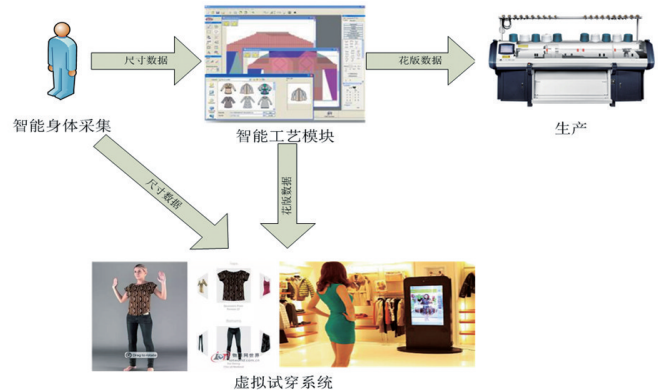


图 7 服装个性化定制流程

Fig. 7 Garment customization manufacturing process

基于VR技术的全景虚拟商店



图 8 基于 VR 技术的虚拟商店

Fig. 8 Virtual store based on VR technology

4.3 机器视觉+力反馈,赋能无人化智能制造

平行制造本质是把生产制造的实体工厂和云端虚拟工厂一一映射,通过虚拟实验来指导实体生产,从而优化生产、提升效率。对于一台鞋面机而言,无论原料是棉花、羊毛或化纤,只要是呈纱线,均可制成无需裁剪缝合的鞋面,一次成型、配上预制鞋底即完成制造。图 9 对比了传统制鞋厂的工作场景与采用慈星智能装备的生产车间。鞋面完成生产后,须将鞋面和鞋底涂上胶水。原本这一工序由工人拿着毛刷完成,现在可通过一个基于工业机器人的自动化流水线来完成。近来,机器视觉、尤其是 3D 视觉技术已被导入到该工业生产中。

生产过程的高度自动化是平行制造的核心要求,特别是在柔性制造场景中,非标、小批量、多批次等因素对执行环节提出了很大挑战,如何实现机器人等执

无人化是传统制造业转型升级的重要途径

CIXING



传统网布鞋面生产车间 vs 智能针织鞋面生产车间

图9 传统生产工艺与自动化生产工艺的对比

Fig. 9 Comparison of traditional and automated production

行部件的闭环控制就显得非常关键,机器视觉^[17-18, 22-24]则是一个重要的解决手段,在智能制造的实施过程中,无论是缺陷检测、工件定位,还是产品尺寸测量,都是非常有价值的。

通过在应用中加入机器视觉和力反馈,把多种传感器和机器人的运动控制进行闭环,使得机器具备“学习”的能力,在特定应用场景下甚至不需要做事先编程,就能实时完成最优化的路径规划。原本将机器人应用于制鞋工艺场景,编程和示教是非常麻烦的事情。导入3D视觉技术之后,一个鞋底经3D扫描即可由系统自动生成位姿信息,实时传送给涂胶工位上的机器人,6~7s就能完成一个鞋底的扫描和涂胶,整个生产工序一气呵成,实现“傻瓜化”的生产。有研究表明,人类获取的外界信息,60%以上来自于视觉,类比一下,在机器人的世界里,真正要实现柔性的智能制造,对工作环境的感知是非常重要的。未来的智能制造^[25-28],很大程度上会是机器人+环境传感器,尤其是视觉。

图10展示了一个机器视觉+机器人的应用案例,该智能鞋底涂胶工作站已经被用于某国际一线鞋类品牌的生产工厂,工人只需把鞋底放到流水线上,机器人就

人工智能+机器人+物联网=智能制造

CIXING

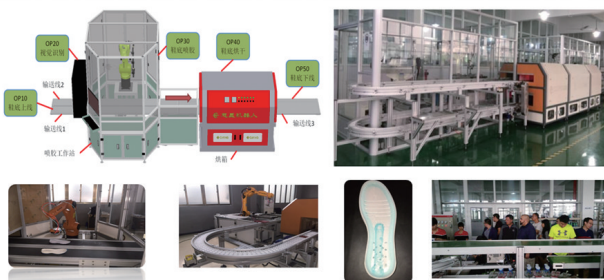


图10 基于机器人的鞋品智能化生产线

Fig. 10 Robot based intelligent production line for shoes

能自动进行生产,不需要人工干预,如果前端上料也是自动化,整个生产工序就能完全实现无人化生产。

5 结论

用平行制造理念改造和提升传统制造业是实现智能制造的重要途径,慈星在纺织鞋服产业的应用实践尽管尚处于探索阶段。根据分析及研究,可以推断未来智能制造将具备以下3个特点:一是个性化定制和规模化生产可以一致,真正实现企业生产的低成本、零库存、高效益;二是利用分布式的全球化、网络化协同生产,有效发挥潜在生产力功能,极大提高设备利用率,体现新时代新经济的显著特征,即共享经济、数字经济、绿色经济的统一;三是中国未来制造业的产业结构,必定是在保持中国特色的基础上,立足于国内市场,通过技术升级,使纺织鞋服等传统产业实现产品高端化、生产智能化,提升效率与水平,增强企业核心竞争力。

参考文献 (References)

- [1] 周佳军, 姚锡凡, 刘敏, 等. 几种新兴智能制造模式研究评述[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(3): 624-639.
Zhou Jiajun, Yao Xifan, Liu Min, et al. State-of-art review on new emerging intelligent manufacturing paradigms[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, 23(3): 624-639.
- [2] 张益, 冯毅萍, 荣冈. 智慧工厂的参考模型关键技术[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(1): 1-12.
Zhang Yi, Feng Yiping, Rong Gang. Reference model and key technologies of smart factory[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(1): 1-12.
- [3] 张祖国. 面向社会化协同的智能制造体系结构[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(7): 1779-1788.
Zhang Zuguo. System architecture for SNS-based collaborative intelligent manufacturing[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(7): 1779-1788.
- [4] 肖莹莹, 李伯虎, 侯宝存, 等. 智慧制造云中供应链管理的计划调度技术综述[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(7): 1619-1635.
Xiao Yingying, Li Bohu, Hou Baocun, et al. Planning and scheduling technology review supply chain management in smart manufacturing cloud[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(7): 1619-1635.
- [5] 吕佑龙, 张洁. 基于大数据的智慧工厂技术框架[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(11): 2691-2697.

- Lü Youlong, Zhang Jie. Big-data-based technical framework of smart factory[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2016, 22(11): 2691-2697.
- [6] 邓建玲, 王飞跃, 陈耀斌, 等. 从工业 4.0 到能源 5.0: 智能能源系统的概念、内涵及体系框架[J]. *自动化学报*, 2015, 41(12): 2003-2016.
- Deng Jianling, Wang Feiyue, Chen Yaobin, et al. From industries 4.0 to energy 5.0: Concept and framework of intelligent energy systems[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2015, 41(12): 2003-2016.
- [7] 王飞跃, 孙奇, 江国进, 等. 核能 5.0: 智能时代的核电工业新形态与体系架构[J]. *自动化学报*, 2018, 44(5): 922-934.
- Wang Feiyue, Sun Qi, Jiang Guojin, et al. Nuclear energy 5.0: New forms and architectures of nuclear power industry in the intelligent age[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2018, 44(5): 922-934.
- [8] 贾常艳. 智能制造的未来: 迈向平行时代的工业 5.0[J]. *电器工业*, 2015(2): 10.
- Jia Changyan. The future of intelligent manufacturing: Step to industrial 5.0 in parallel age[J]. *China Electrical Equipment Industry*, 2015(2): 10.
- [9] 王飞跃, 张俊. 智联网: 概念、问题和平台[J]. *自动化学报*, 2017, 43(12): 2061-2070.
- Wang Feiyue, Zhang Jun. Smart network: Concepts, problems and platforms[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2017, 43(12): 2061-2070.
- [10] 桂卫华, 刘晓颖. 基于人工智能方法的复杂过程故障诊断技术[J]. *控制工程*, 2002, 9(4): 1-6.
- Gui Weihua, Liu Xiaoying. Fault diagnosis technologies based on artificial intelligence for complex process[J]. *Control Engineering of China*, 2002, 9(4): 1-6.
- [11] 王飞跃. 平行系统方法与复杂系统的管理和控制[J]. *控制与决策*, 2004, 19(5): 485-489.
- Wang Feiyue. Parallel system methods for management and control of complex systems[J]. *Control and Decision*, 2004, 19(5): 485-489.
- [12] 王飞跃. 计算实验方法与复杂系统行为分析和决策评估[J]. *系统仿真学报*, 2004, 16(5): 893-897.
- Wang Feiyue. Computational experiments for behavior analysis and decision evaluation of complex systems[J]. *Journal of System Simulation*, 2004, 16(5): 893-897.
- [13] 王飞跃. 人工社会、计算实验、平行系统——关于复杂社会经济系统计算研究的讨论[J]. *复杂系统与复杂性科学*, 2004, 1(4): 25-35.
- Wang Feiyue. Artificial societies, computational experiments and parallel systems: A discussion on computational theory of complex social-economic systems[J]. *Complex System and Complexity Science*, 2004, 1(4): 25-35.
- [14] 王飞跃. 平行控制: 数据驱动的计算控制方法[J]. *自动化学报*, 2013, 39(4): 293-302.
- Wang Feiyue. Parallel control: A method for data-driven and computational control[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2013, 39(4): 293-302.
- [15] 王飞跃. 软件定义的系统与知识自动化: 从牛顿到默顿的平行升华[J]. *自动化学报*, 2015, 41(1): 293-302.
- Wang Feiyue. Software-defined systems and knowledge automation: A parallel paradigm shift from Newton to Merton[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2015, 41(1): 293-302.
- [16] 李力, 林懿伦, 曹东璞, 等. 平行学习——机器学习的一个新型理论框架[J]. *自动化学报*, 2017, 43(1): 1-8.
- Li Li, Lin Yilun, Cao Dongpu, et al. Parallel learning: A new framework for machine learning[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2017, 43(1): 1-8.
- [17] 白天翔, 王帅, 沈震, 等. 平行机器人与平行无人系统: 框架、结构、过程、平台及其应用[J]. *自动化学报*, 2017, 43(2): 161-175.
- Bai Tianxiang, Wang Shuai, Shen Zhen, et al. Parallel robotics and parallel unmanned systems: Framework, structure, process, platform and applications[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2017, 43(2): 161-175.
- [18] 王坤峰, 苟超, 王飞跃. 平行视觉: 基于 ACP 的智能视觉计算方法[J]. *自动化学报*, 2016, 42(10): 1490-1500.
- Wang Kunfeng, Gou Chao, Wang Feiyue. Parallel vision: An ACP-based approach to intelligent vision computing[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2016, 42(10): 1490-1500.
- [19] 王飞跃. 机器人的未来发展: 从工业自动化到知识自动化[J]. *科技导报*, 2015, 33(21): 39-44.
- Wang Feiyue. On future development of robotics: From industrial automation to knowledge automation[J]. *Science & Technology Review*, 2015, 33(21): 39-44.
- [20] 袁勇, 王飞跃. 区块链技术发展现状与展望[J]. *自动化学报*, 2016, 42(4): 481-494.
- Yuan Yong, Wang Feiyue. Blockchain: The state of the art and future trends[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2016, 42(4): 481-494.
- [21] 张益, 冯毅萍, 荣冈. 面上智能制造的生产执行系统及其技术转型[J]. *信息与控制*, 2017, 46(4): 452-461.
- Zhang Yi, Feng Yiping, Rong Gang. Intelligent manufacturing-oriented technical transformation of manufacturing execution system[J]. *Information and Control*, 2017, 46(4): 452-461.
- [22] Wang F Y, Zhang J, Wei Q, Li L. PDP: Parallel dynamic programming[J]. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 2017, 4(1): 1-5.
- [23] Zhang N, Wang F Y, Zhu F H, et al. DynaCAS: Computational experiments and decision support for ITS[J]. *IEEE Intelli-*

- gent Systems, 2008, 23(6): 19–23.
- [24] Wang F Y. Parallel control and management for intelligent transportation systems: Concepts, architectures, and applications[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010, 11(3): 630–638.
- [25] Li L, Wen D. Parallel systems for traffic control: A rethinking [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2016, 17(4): 1179–1182.
- [26] Wang F Y, Wang X, Li L X, et al. Steps toward parallel intelligence[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2016, 3(4): 345–348.
- [27] Shang X Q, Wang F Y, Xiong G, et al. Social manufacturing for high-end apparel customization[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2018, 5(2): 489–500.
- [28] Xiong G, Wang F Y, Nyberg T R, et al. From mind to products: Towards social manufacturing and service[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2018, 5(1): 47–57.

Parallel manufacturing for textile, footwear and garment industries

LI Lijun^{1,2}, WANG Xiao^{3,4}, SHANG Xiuqin^{3,4,5}

1. School of Automation, Southeast University, Nanjing 210096, China
2. Ningbo Cixing Co., Ltd., Ningbo 315336, China
3. The State Key Laboratory of Management and Control for Complex Systems; Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
4. Qingdao Academy of Intelligent Industries, Qingdao 266109, China
5. Beijing Engineering Research Center of Intelligent Systems and Technology; Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract This paper concerns how to apply machine vision and virtual-reality technologies into industrial robots and Internet of Things and to combine big data and cloud computing to construct a parallel manufacturing infrastructure. A worldwide flexible supply chain of footwear and garment industries is introduced to demonstrate the workflow and efficiency of parallel manufacturing. Firstly, a virtual factory is constructed in the cloud, where management policies and decision control data are synchronized with the data generated by highly automated production equipment in the workshop. The virtual factory, executing in parallel with the physical one, supplies tested and optimized decisions and guides the production process in physical factories. To provide worldwide service, a global and distributed cooperative production management platform is built based on the industrial Internet of Things, namely CIXING's cloud manufacturing platform. It operates with low production cost, high work efficiency and reduced labor numbers. It has also been listed as one of the national intelligent manufacturing pilot demonstration project by the Chinese Ministry of Industry and Information Technology.

Keywords parallel manufacturing; textile, footwear and garment industries; virtual factory; large-scale flexible production ●



(责任编辑 傅雪)