

# 基于 3C 行业自动化智慧工厂应用

刘 畅<sup>1</sup>, 葛达明<sup>1</sup>, 徐振伟<sup>2</sup>, 赵志强<sup>1</sup>

(1. 沈阳新松机器人自动化股份有限公司, 辽宁 沈阳 110000;

2. 浙江水利水电学院, 浙江 杭州 310000)

**摘要:**随着新一轮工业技术的发展,在 3C 行业传统的工业自动化已经不能满足其生产要求,机器人自动化技术的无人工厂已成为发展趋势,它具有节省人力,提高生产效率,降低生产成本,便于高效管理等优势。通过对 3C 行业工艺的调研,基于自动化,智能化,无人化的方向,结合 3C 行业产品更新迭代快等特点,设计了一条微型自动化无人生产线。该生产线在传统自动化基础上,使用协作机器人、信息化控制系统、数字孪生系统等技术,打造出全新的无人化智能工厂。目前微型无人工厂已经稳定运行,真正实现了无人自动化,其技术水平处于行业领先,对于打造车间里的无人化智能工厂具有指导意义。

**关键词:**自动化;机器人;智能工厂;控制系统;数字孪生

中图分类号:TP278

文章编号:1000-0682(2024)02-0044-05

文献标识码:A

DOI:10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.02.008

## Application research of automated smart factory based on 3C industry

LIU Chang<sup>1</sup>, GE Daming<sup>1</sup>, XU Zhenwei<sup>2</sup>, ZHAO Zhiqiang<sup>1</sup>

(1. SIASUN ROBOT & AUTOMATION CO., LTD., Liaoning Shenyang 110000, China;

2. Zhejiang Institute of Water Resources and Hydropower, Zhejiang Hangzhou 310000, China)

**Abstract:** With the development of a new round of industrial technology, the traditional industrial automation in the 3C industry has been unable to meet its production requirements, and the unmanned factory of robot automation technology has become a development trend, which has the advantages of saving manpower, improving production efficiency, reducing production costs, and facilitating efficient management. Through the investigation of 3C industry process, based on the direction of automation, intelligence and unmanned, combined with the characteristics of 3C industry product update and iteration, a miniature automated unmanned production line has been designed. On the basis of traditional automation, the production line uses collaborative robots, information control system, digital twin system and other technologies to create a new unmanned intelligent factory. At present, the micro-unmanned factory has been running stably, truly realizing unmanned automation, and its technical level is leading in the industry, which has guiding significance for creating unmanned intelligent foreman in the workshop.

**Keywords:** automation; robotics; smart factories; control systems; digital twin

## 0 引言

随着新一轮工业革命的到来,制造业正在加速

转型升级,自动化和智能化已成为大势所趋。目前,在汽车、半导体、3C 电子这些重要领域,产品更新换代的速度越来越快,对产品质量、效率、可靠性和稳定性的要求也越来越高。同时随着自动化行业的兴起,应运而生的协作机器人的应用也越来越广泛<sup>[1]</sup>。目前绝大多数的协作机器人仍然采用人工现场示教器进行操作,工作较为繁琐,耗费大量人力且并不能第一时间掌握产线上协作机器人的实时运行工况,只有发生了异常之后,才可以做出相应的对

收稿日期:2023-10-25

第一作者:刘畅(1992—),男,辽宁省昌图人,硕士研究生,中级机械工程师,研究方向为机器人技术与应用。

E-mail: gcliuchang@sina.com

通信作者:葛达明(1990—),男,硕士研究生,软件工程师,研究方向为 SCADA 软件开发。E-mail: gedm@aliyun.com

策,存在重大的安全隐患。如何实现制造业的物理世界与信息世界的互联互通,以及智能化操作是当前国内外实现智能制造的瓶颈之一<sup>[2]</sup>。

单一的非标自动化产线虽然在节省人力成本,和保证工件产品质量上有突出的表现,但是在智能化、信息化、时效性等方面已经不能够满足生产工厂的需要,且生产线维护成本高,排查故障困难,因此全自动的无人化或者人机协作的生产方式成为目前生产工厂的迫切需求<sup>[3]</sup>。

尤其在信息化处理方面,快速全面的数据处理和精准的故障排查处理成为目前急需解决的问题。该文以 3C 行业自动化工厂为例,介绍了自动化工厂的生产工艺布局、主要组成、控制系统及未来发展方向等内容。

## 1 整体方案设计

该文主要模拟 3C 工厂的真实情况,以内存条装配主板为例,模拟出微型的全自动化生产线,主要包括自动化物流系统、自动分拣工作站、自动装配工作站、AGV 自动运输系统、机器视觉系统、信息化数据采集分析、数字孪生系统等多系统融合,打造出全自动数字化智能工厂。总体要求是从产品的原材料入厂开始,到产品加工装配、检测,最后成品出厂,实现生产过程可控、一机一码,主要生产工艺参数可追溯,可实现订单和批量生产模式。同时,数据处理系统加入反向数据处理模式,实时分析生产工艺参数,将生产数据处理分析后反哺于生产系统,实时调整生产系统参数,使设备生产工艺处于最优状态。

其主要生产工艺流程如下:零部件组对→零部件入库绑定条码→入库完成→生产信息确认→配对好的零部件出库→分拣工作站将零部件放到装配托盘→AGV 将装配托盘运送到装配工位→机器人进行零部件装配→装配完成→AGV 将成品运送到分拣工位→成品入库。

### 1.1 机械结构设计

如图 1 所示,为自动化生产线的三维建模,其中立体仓库采用提升机和四向穿梭车形式,能够适用于小批量多品种的生产,具有占地空间小,响应高效等优点,物流转运系统使用 AGV 和传输线结合的方式,通过运输承载托盘,使工件在各个工位流动,AGV 使用双舵轮差速驱动,激光导航控制方式,具有机动灵活、节省厂房空间、柔性高、提高生产效率等特点。

物流分拣工位采用协作机器人和机器视觉,由

视觉系统引导机器人工作,能够实现工件的无定位抓取,同时机器人夹具使用快换夹具,能够兼容不同形状、尺寸的零件,具有高柔性、高自动化的特点。自动装配工位使用协作机器人和机器视觉,配合六维力传感器,能够保证机器人在无定位抓取的同时,防止机器人抓取和装配时损坏工件。模型中考虑实际生产节拍需要,使用两台 AGV 同时工作,两个自动化装配工位。

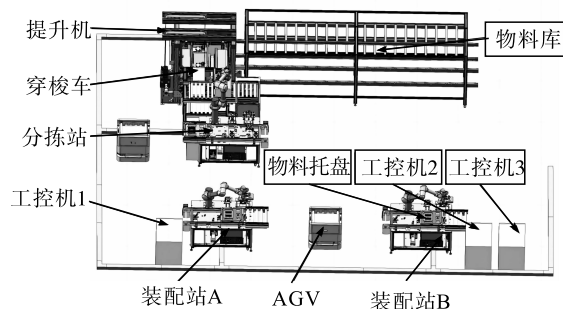


图 1 三维模型

## 2 整体控制系统概述

该文所述控制系统包括立体仓库控制系统、AGV 物流运输系统、装配和分拣工位控制系统、视觉系统、机器人控制系统等。控制系统是整体设备的核心单元,该文所述设备均采用西门子的 S7 - 1500 系列 PLC 作为控制中枢,采用总站加从站和远程 I/O 的连接方式,现场总线进行扩展。采用工业以太网协议串联整个生产系统,实现设备的互联互通<sup>[4]</sup>。上位机是整体系统的控制核心,将各个控制系统无缝衔接在一起,通过 PLC 反馈的设备运转参数,进行信息集中处理后,再将需求信息反馈给各设备控制系统,进而控制设备动作,以达到各设备相互配合的目的。

整体控制系统分为高、中、低三级控制结构,其中最低级控制系统为设备上各种类型的传感器,主要作用是监测设备的运动状态、反馈运动信号,使各执行机构能够相互配合运动<sup>[5]</sup>。中级控制系统为过程控制中枢,包括 PLC 和上位机控制系统,中级控制系统具有上传下达的功能,对下接收底层控制系统的反馈信号、控制执行原件的驱动器,且通过工业以太网能够将每个单一设备串联起来;对上能够将生产数据反馈给上位机进行分析、存储,同时能够将输入到上位机的工艺参数反馈到设备上生产、监控生产设备、进行信息追溯、设备故障报警等。高级控制系统为制造执行系统(MES 系统),是面向车间生产的管理系统。主要应用于产品工单的管

理,便于统计订单的生产信息,管理物料,降低生产成本,追述产品的生产状态,从源头把控产品质量。

每个工位均采用西门子触摸屏模块,能够兼容手动调试和自动运行两种模式,同时设置声光报警系统和运动部件安全互锁机制,防止误触伤人,设置急停按钮,触发后强制断电,减少人员伤亡,其触摸屏操作界面如图 2 所示。



图 2 触摸屏操作界面

## 2.1 立体仓库控制系统

立体仓库控制系统同样分为三级控制系统:硬件控制系统,仓库调度系统和仓储管理系统。

该文中所述硬件控制系统采用西门子 PLC S7-1500,主要控制提升机和穿梭车电机的启停,传感器信息的读取,信号交互数据的传递。同时通过工业以太网与智能分拣工作站进行信号交互,以保证整线的串联运行。

仓库调度系统(WCS)是介于仓储管理系统(WMS)和硬件控制系统(PLC)之间的中间控制系统<sup>[6]</sup>。WCS系统通过PLC系统采集的传感器状态信息,监视整体仓库的运行状态、库存信息等,为智能分拣工作站提供信息交互接口,以保证整线的串联运行。并将数据信息上传给WMS系统,同时,接收来自WMS系统的信息,并将其发送给PLC系统,从而驱动立体仓库产生相应动作。

WMS是仓储管理系统,系统是通过入库、出库、调拨和管理等功能,包括综合批次管理、物料、盘点、质检、即时库存管理等综合运用的系统,有效控制并跟踪物流和成本管理全过程,实现企业仓储全面管理。该管理系统独立执行,与其他系统的单据和凭证相结合,可提供完整全面的企业业务流程和财务管理信息<sup>[7]</sup>。

## 2.2 AGV 调度系统

AGV调度系统是对AGV实行中央监管和控制

的系统,具体如图3所示,该文中主要实现对2台AGV进行路径规划、上下料顺序的控制、自动充电等功能,同时与上位机进行信息交互,保证整线串联互通。该文中设备采用MOXA AWK-1137C系列无线AP作为调度系统和AGV本体的连接桥梁,其能够克服恶劣的工业环境,具有抗强磁干扰、抗冲击和震动能力的特点。导航系统采用倍福R2000-HD激光扫描仪,能够实现360度全景扫描,具有高扫描分辨率、高测量精度等特点。

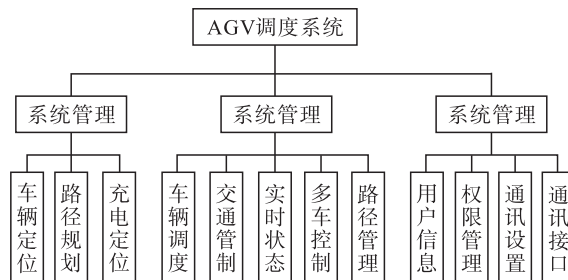


图 3 AGV 调度系统

## 2.3 机器人控制系统

该文应用新松多可GCR20协作机器人,具有20 kg大负载,工作半径1100 mm,工作重复定位精度 $\pm 0.05$  mm,应用自主研发的控制算法和动力学算法,带有基于动力学的拖拽示教、碰撞检测和动力学前馈功能,可以平滑、柔顺地进行拖拽示教并可以记录、回放轨迹。可轻松进行快速编程,柔性度高,有效降低意外伤害,主动安全与被动安全双重保障,同时机器人控制系统对于兼容ATI六维力控制器算法进行了二次开发,能够配合六维力传感器模块进行快速编程应用,尤其适用于类似于3C行业对于工件尺寸精度一致性差,工件定位精度低的应用场合,能够保证工件的装配质量和保护工件在装配过程中不被损坏。

## 2.4 视觉系统

该文应用海康视觉MV-CE200-10GMGC千兆以太网工业面阵彩色相机,拥有2000万高像素,分辨率高、图像清晰、传输距离远,配合海康MV-LBES-180-180-W中孔面光源,能够取得机器人运动过程中的图像,减少工作站的节拍损失。应用海康视觉自主研发的视觉控制系统,其编程软件如图4所示,图形化的交互,拖拽式的流程编辑方式,只需进行初始标定和简单的初始化图像处理,即可快速建立流程文件使用,使用时通过对初始文件的比对产生距离差值,引导机器人进行快速准确的抓取和装配动作。该文中由于相机与机器人法兰工具不同轴,采用12点标定法,首先建立相机与机器人

的通讯关系,标定出机器人坐标系和相机坐标系的相对位置关系,使两个平面 $X,Y$ 坐标系完全重合,在设定物料初始位置模板后,对其进行拍照保存,通过对其他物料的拍照,计算出与初始物料位置的差值,引导机器人移动位置进行抓取。



图4 视觉编程软件

## 2.5 信息处理系统

信息处理系统是各控制系统传递信息的桥梁,该文中采用自主研发的信息处理系统,能够兼容立体仓库系统、AGV 调度系统、智能工作站的控制系统的信息接口,充分调动各系统的能动性,使各系统相互配合工作。该文中信息系统还融入了人脸识别系统和视频采集系统,系统包含了订单管理、产量统计、不良品统计、节拍分析、SPC 分析、合格率与线体效率统计等功能。

管理人员可以通过系统内的 SPC 分析模块找出生产过程中出现问题的环节,通过对指定生产指标进行分组分析,选取合适的分组依据后,系统可自动给出该生产指标的过程能力是否达标,以及不达标的问题点,方便后续依据系统分析的结果对生产线的过程能力进行提升。

通过班组管理和人员管理模块在系统内维护产线员工的个人工作情况以及工站能力雷达图,将能力分为不可工作、学习中、能够独立操作、能够作为讲师培训他人几个维度。系统可以根据人脸识别的数据快速校验当前登录的员工是否具备在当前工站工作的能力,保证每个设备都会有最熟悉的管理人员进行设备维护和生产。

每个生产工位可配备摄像系统,进行图像存储,以保证设备出现生产质量问题或者设备故障等问题时,进行视频回溯,查找原因。系统支持按照自然时间、生产工序、产品条码等多种查询条件,快速定位查找视频记录,与传统的视频存储方式相比,大幅提升了视频回溯的效率。

数据统计功能通过对生产过程中的关键数据进

行统计分析,可用作优化产品重要组成参数,检测产品来料质量,亦可根据数据优化和评估设备状态。例如该文中对内存天装配的压装力进行采集统计,限定最低和最高压装力大小,对于过高和过低的压装力产品进行二次检测,过多不合格的产品进行设备检修,来料批次质量检查,能够节省排查故障时间,防止不合格产品流入市场。其信息系统显示界面如图 5 所示。

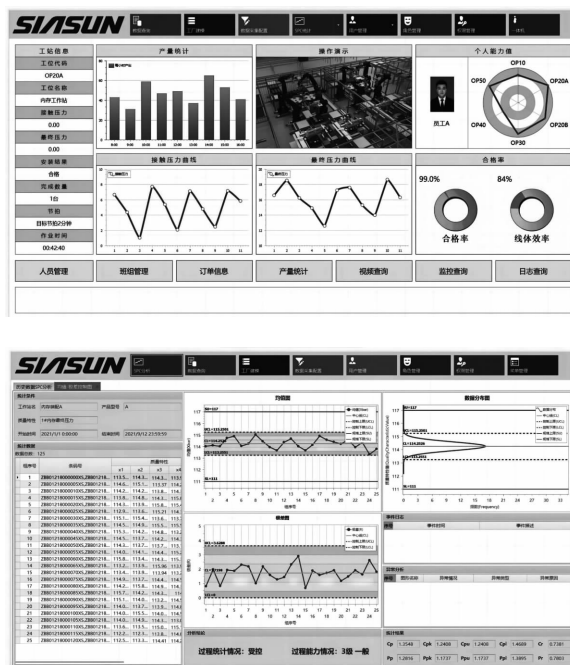


图5 信息系统显示界面

## 3 数字孪生系统

数字孪生系统是连接虚拟和现实环境的一道门户,是利用数字化技术将真实场景等比例重现在系统中,能够进行模拟仿真,通过模拟真实场景的实际状态,减少加工生产自动化设备时的成本,减少人力的浪费。由于 3C 行业产品升级迭代快,可以在不打断原有生产的同时应用数字孪生系统在原有设备数模的基础上进行迭代建模、虚拟调试,通过在虚拟环境中对设备以及产品的装配过程进行仿真调试,将设备的运动轨迹以及程序记录下来,待产品定型、生产线完成机械结构改造以后,直接将虚拟调试的程序导出,加载到真实的设备之中,快速完成生产线对于新型号的产品的适配工作。此举能够快速适应生产产品更新,快速部署设备升级,同时能够检查设计过程中设备的缺点,以达到最优效果。此外,真实设备的数据接口也会连接数据孪生系统,监控设备的运转状态,可以实现设备故障的精确查找,监控各

运行参数是否稳定。数字孪生生态系统以实时、高效、智能服务为导向,充分集成模型、数据、智能技术为一体,驱动制造企业高效、智能地运行<sup>[8]</sup>。

如图 6 所示,为该文三维模型数字孪生系统的实时画面,其中能够实时显示各机构系统的状态,且机构动作能够从外接屏幕清晰的展示出来,各工位的报警信息、重要参数、机器人运动角度、路径曲线等信息都可以在外接屏幕上进行展示,工艺人员可以从运行参数等设备指标监控设备运行状态,以用来维护、维修生产设备,保证生产质量。



图 6 数字孪生系统

## 4 结论

该文结合自动化行业的发展趋势,提出无人自动化工厂概念,以 3C 行业为例,模拟 3C 行业自动化生产过程,以典型的自动化装配工作站为基础,结合立体仓库系统、AGV 调度系统、机器视觉系统,以自主研发设计的信息化系统和数字孪生系统作为支柱,建造最新的无人自动化工厂,详细介绍了微型自动化无人工厂的布局、三维建模设计、控制系统组成、各控制系统的软件设施、信息化系统和数字孪生系统的作用和应用。通过建立微型无人自动化工厂,不仅能够将整个微型工厂搬进学校,进行教学研究实践,而且对于设计建造真正车间的大型无人自动化工厂具有指导意义。该文所述设备已在 2021 年北京世界机器人大会进行展示,同时实施项目已在工厂落地生产,受到各方关注,填补了 3C 行业无人化工厂的空白。当然,该文中仍存在不足,该文所述的各控制系统都是独立的组织架构,启动设备时各控制系统需全部单独启动,才能保证整体设备的稳定运行,这样虽然能够保证各控制系统所控制的机构单独使用时也能独立运行,但对于整体无人自动化工厂而言,如何将各控制系统融合在一起,设计出简单易操作的控制系统将是下一步的研究方向。

## 参考文献:

- [1] 韩庆元,潘恩彩,刘思远. 基于自动化机械加工生产线的堆垛总体结构设计[J]. 金属加工(冷加工),2023,(01):69-72.
- [2] 陆康,武嘉年,李红. 基于 Unity3D 的 UR5e 协作机器人的数字孪生系统[J]. 绿色科技,2022,24(12):247-251+254.
- [3] 李峰,窦媛,宋文,等. 自动化生产线数字化工艺设计[J]. 机械制造,2020,58(06):71-76.
- [4] 卫兵,赵蕾,朱鹏涛,等. 叉车结构件自动化焊接生产线[J]. 制造业自动化,2022,44(08):111-113+122.
- [5] 呼玉东,文啸,张楚,等. 基于 S7-1200 PLC 的 AGV 控制系统的设计与实现[J]. 机床与液压,2018,46(05):16-20+63.
- [6] 胡建伟. 环形穿梭车运行调度系统研究与开发[D]. 南京:南京理工大学,2016.
- [7] 石柏军,章雪华,陈奥林,等. 小型汽车零部件自动化立体仓库方案设计与研究[J]. 机床与液压,2017,45(23):110-119+25.
- [8] 陆剑峰,夏路遥,张浩,等. 制造企业数字孪生生态系统的研究与应用[J]. 计算机集成制造系统,2022,28(08):2273-2290.
- [9] 焦健. 自动化立体仓库运行中 AGV 小车的应用研究[J]. 中国储运,2023(08):183-184.
- [10] KOZAK N, STAS A, OBUKHOV A. Automation of the process of determining the errors of the installation of blanks for CNC machines in unmanned industries[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 709(4):044061-044061.
- [11] 谢坤. 基于新能源汽车制动器总成的智能制造工厂设计[J]. 汽车工艺与材料,2020(10):36-46.
- [12] LEE J, BAGHERI B, KAO H. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems[J]. Manufacturing Letters, 2015, 3:18-23.
- [13] 萧笋,程书培,郑东伟,等. 数字孪生驱动的车间自动导引车路径规划[J]. 计算机集成制造系统,2023,29(06):1905-1915.
- [14] 张旭辉,张超,王妙云,等. 数字孪生驱动的悬臂式掘进机虚拟操控技术[J]. 计算机集成制造系统,2021,27(06):1617-1628.
- [15] 周滢. 基于仓储搬运 AGV 的技术分析与应用[J]. 数字技术与应用,2023,41(05):137-139.
- [16] 白岩,张云峰,金文海,等. 基于数字孪生技术的微型智慧工厂物理和虚拟交互平台设计[J]. 机床与液压,2022,50(06):108-113.