



# 工业互联网智能型自动生产线实训平台设计

杨国华<sup>1,2</sup>, 李海波<sup>1,2</sup>, 付琛<sup>1,2</sup>, 王正堂<sup>3</sup>

- (1. 无锡商业职业技术学院 物联网与人工智能学院, 江苏 无锡 214153;
2. 江苏省无线传感系统应用工程技术研究开发中心, 江苏 无锡 214153;
3. 无锡信捷电气股份有限公司, 江苏 无锡 214072)

**摘 要:**为适应产业转型升级对高技能人才的要求,解决现有实训教仪控制对象单一、综合训练设备少等问题,校企合作开发了“智能型自动生产线”实训平台,将自动控制、机器人及其视觉控制、计算机网络等技术有机结合,实现智能生产的控制与管理。平台以实际毛坯工件为加工载体,以机器视觉为定位引导,进行了任务输入与供料加工站、装配站、分拣站和远程监控服务与信息管理系统等产线控制的系统设计,并用于实训项目教学的运行。运行测试表明,平台系统安全可靠,适合新工科高技能人才综合技能的培养。

**关键词:**实训平台;校企合作;机器人控制;机器视觉;智能自动生产线

中图分类号: TP278

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X (2023) 06-0102-08

DOI: 10.19899/j.cnki.42-1669/Z.2023.06.016

《中国制造 2025》的出台,加快了新一代信息技术与制造业的融合,促进了现代生产方式朝柔性制造、网络制造、绿色制造、智能制造等方向变革,推动了工业设备、人、信息系统和数据之间的紧密联系,加速了工业互联网的发展和智能装备的应用普及,生产型企业向“智能制造”的转型升级<sup>[1-2]</sup>。在这一背景下,社会对自动化人才的技术跨界融合性要求越来越高,尤其对工业机器人技术、机器视觉技术、数据应用分析技术、系统集成技术、网络通信技术等

智能制造的核心关键技术融合要求越来越高。而目前市场针对以上技术的综合性实训教仪较少,只有针对某一技术的教仪产品,只强调学生某一方面的能力训练,不能全面培养学生对整个工程实践项目的整体设计和创新能力<sup>[3]</sup>。因此,对于作为复合型技术技能人才培养的主要基地——高职院校而言,应紧随科技发展脉络,依托企业设备资源和技术优势,校企合作开发综合性工控实训平台。

本实训平台依托无锡信捷电气股份有限公司

收稿日期: 2023-04-28

基金项目: 2022 年教育部科技发展中心课题“基于 5G 工业互联网边缘计算关键技术研究与应用”(项目编号: 2021FNB02004); 2021 年江苏省职业教育教师教学创新团队项目“物联网应用技术”(项目编号: JS202156)。

作者简介: 杨国华(1970—),男,江苏武进人,无锡商业职业技术学院物联网与人工智能学院副教授,研究方向: 物联网、机器学习、职业教育; 李海波(1978—),女,江苏靖江人,无锡商业职业技术学院物联网与人工智能学院副教授,研究方向: 自动控制、机器视觉、工业自动化系统集成应用推广; 付琛(1983—),男,甘肃天水人,无锡商业职业技术学院物联网与人工智能学院高级实验师,研究方向: 自动化; 王正堂(1993—),男,江苏无锡人,无锡信捷电气股份有限公司公共及教育事业部经理、工程师,研究方向: 自动化。

技术优势,利用工业网络将工业机器人、机器视觉、PLC、传送系统等紧密结合,融合实际生产线中的主要工序:供料、加工、检测、装配、分拣、管理于一体,改变现有实训设备综合性不强、与企业实际脱轨等问题<sup>[4-5]</sup>。通过平台开发,一方面能够加强校企合作深度,减小社会所需人才与学校培养人才之间的差距<sup>[6]</sup>;另一方面,能够为自动化等相关专业的学生提供一个系统性综合实训平台,提高学生对复杂工程的设计与创新能力;还可以服务于科研和社会培训等,切实提高教师业务水平。

## 一、智能型自动生产线实训平台总体方案设计

### (一) 实训平台总体布局

基于校企合作开发的理念,融职业精神养成与

职业技能培养于一体,以半开放的方式,打造浓缩版的“智能工厂”实训平台。实训平台开发过程中,以对接“工业 4.0”需求发展的“智能制造”核心技术训练为根本<sup>[7]</sup>,以“自动化”与“信息化”深度融合为理念,以“控制”+“管理”进行系统集成,从而将“智能工厂”中的关键工序供料、加工、检测、装配、分拣、管理等全套嵌入。实训平台采用直线流水布局方式,总体布局示意图如图 1 所示,主要由四个子站构成:任务输入与供料站;直角坐标加工站;SCARA 装配站;DELTA 分拣站。其中,每一个工作站可按功能要求独立工作,亦可连接起来组成智能生产线,同时平台还配有无线远程管控,便于进行数据管理以及状态监控。

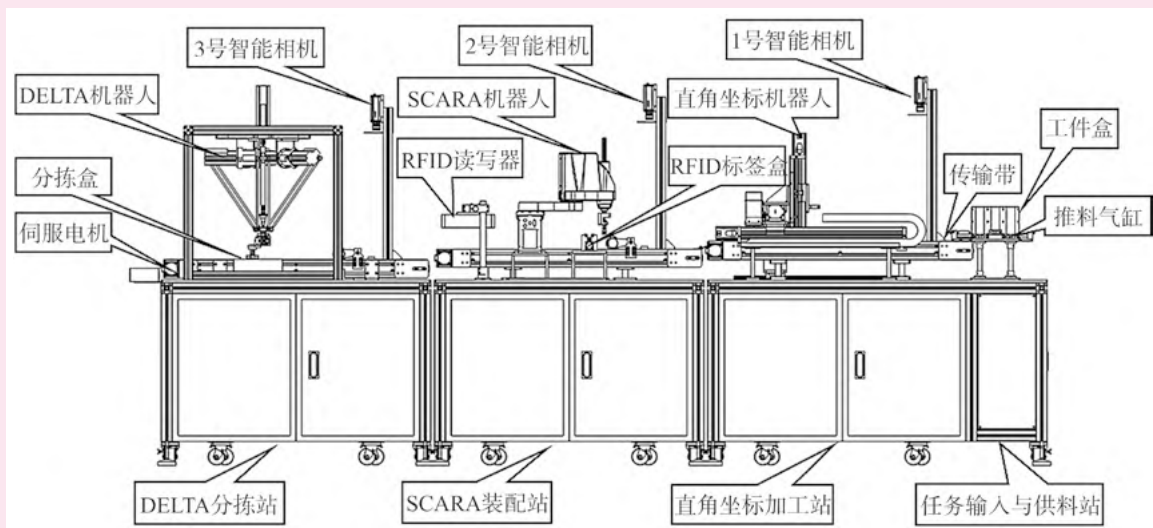


图 1 智能型自动生产线实训平台示意图

### (二) 实训平台的功能

智能型自动生产线实训平台需要满足当前工业 4.0 时代社会对工业控制系统领域人才复合型、跨学科的需求,即能够满足对机器视觉技术、变频调速控制、高精度的运动控制技术以及对于设备间的互联互通、上位信息化数据的管理与应用技术、人机交互接口技术以及基于 PC 的监控管理等方面的教学与能力训练需求<sup>[8-9]</sup>。根据自动化类专业课程标准以及人才培养目标,该平台不仅要完成单门专业课程的典型实训,还要能够进行多门课程的综合实训。因此,通过对“智能工厂”典型应用案例进行凝练,对平台的功能定义如下:

由生产计划人员通过远程 PC 下达主要的加工

任务,由生产加工人员在生产任务站选择对应加工的批次,确认加工任务。当加工任务确认后,通过供料装置(子站 1:任务输入与供料站)完成毛坯工件的推送;接着根据任务要求进行加工成型(子站 2:直角坐标加工站);加工完毕后,四关节串联 SCARA 机器人进行工件贴标装配,并完成产品相关信息的 RFID 扫描确认(子站 3:SCARA 装配站);最后成品工件由四关节并联 DELTA 机械手进行工件的分拣操作(子站 4:DELTA 分拣站)。整个过程中,伺服电机控制传送带进行物料的转运,智能相机进行工件的定位引导。生产线上所有加工流程与设备控制监管均可由上位 PC 机进行远程管理,上位 PC 机不仅可以进行工作任务下达,同时还能进行质量的分析,以利于

指导生产的优化管理。

### (三) 实训系统控制方案设计

智能型自动生产线实训平台的基本控制架构如图2所示。该系统主要由三层构成:一是对智能制造生产线中的关键工序:任务输入、加工、贴标、检测、分拣的每道加工设备进行数据采集与就地控制

的现场监控层;二是用来存储与传送监控信息数据的WEB服务层;三是与用户交互的WEB终端应用层,实现用户利用PC以及手机APP对装置的工作状态进行实时监控,对生产数据进行统计分析管理等功能。



图2 智能型自动生产线实训平台的基本控制架构

该系统的数据传送主要由T-BOX、WBOX和S-BOX-T完成,其系统拓扑结构如图3所示。其中T-BOX模块采用10/100M自适应以太网模块,支持基于TCP/IP的X-NET和MODBUS TCP通信协议;WBOX模块采用了基于2.4GHz的Wifi无线通信模块;S-BOX-T是基于无线射频技术实现的超短距离无线通信模块。三台T-BOX构成一主两从的主从

通信模式,其中,主站为直角坐标供料加工站,从站1为SCARA机器人装配站,从站2为DELTA机器人分拣站。主站和从站之间通过MODBUS TCP协议通信,S-BOX-T模块和无线触摸屏配合,实现本地近距离的无线控制。WBOX通过无线网络,连接到服务器和信捷云智造平台,实现设备的远程监控。

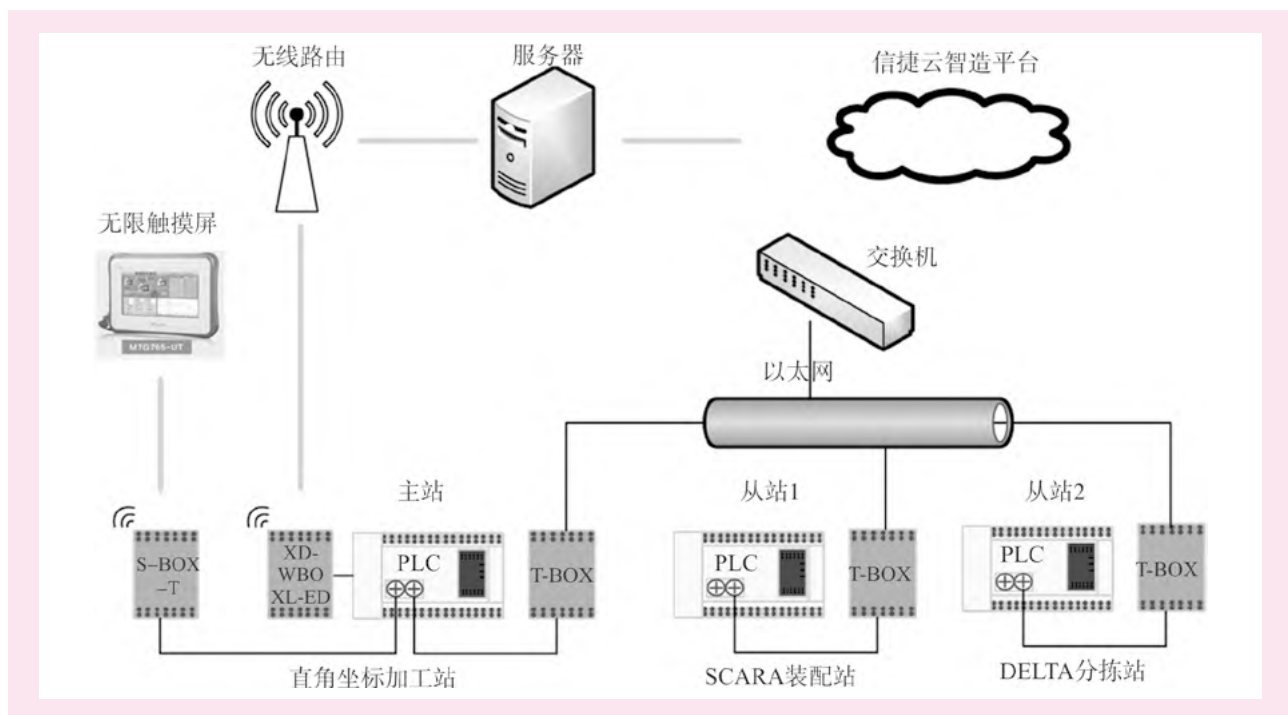


图3 系统通信拓扑结构

## 二、智能型自动生产线实训平台子站设计

### (一) 任务输入与供料站

任务输入与供料站主要功能设计如下:由客户根据生产计划要求,由推料气缸将工件盒中的毛坯工件推送到传输带。为了提高学生兴趣,贴合生产线实际,同时在保证人身安全的情况下对毛坯工件

进行了具体设计,其工件样式如图4所示。按轮廓形状不同划分为圆形、矩形、五边形工件三类,具体使用方法如下:在加工站,直角坐标机器人带动“加工笔”按轮廓形状进行描线作业,模拟切削加工过程,此过程既不产生铁屑也没有实际刀具,在安全的前提下能一定程度模拟切削加工过程;在装配站,



SCARA 机器人通过吸盘将 RFID 标签准确放入各类工件的凹槽内,模拟装配过程,此过程中放入凹槽的 RFID 芯片可反复读写并能方便取出;在分拣站, DELTA 机器人通过吸盘,准确找取各类工件中心点,按轮廓形状的不同,分别放入分拣盒内,模拟分拣过程。



图4 工件样式

### (二) 直角坐标加工站

直角坐标加工站主要功能设计如下:通过机器视觉检测工件的具体参数信息,进行模拟切削加工。比如圆形轮廓的加工,机器视觉检测对应的半径、边长、中心坐标等,以图案的形式载入触摸屏中进行保存。然后由操作员选择加工任务批次,按下启动按钮后,该站传输带运行,带动工件至加工位置,由 PLC 控制直角坐标型的机械手动作,根据加工工件的具体参数信息实现圆形、矩形等轮廓的模拟加工。

直角坐标加工站示意如图 5 所示。

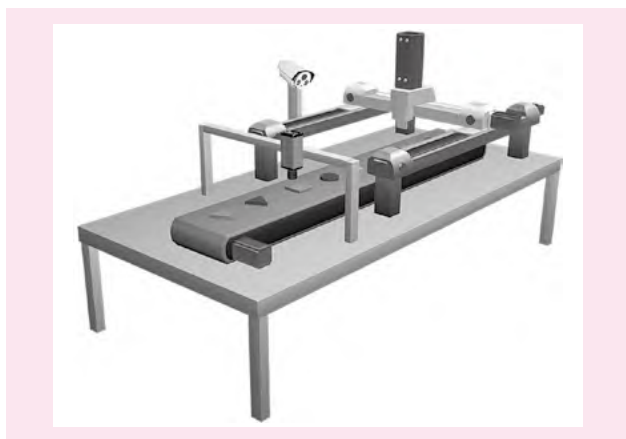


图5 直角坐标加工站立体结构

直角坐标加工站的控制核心为 PLC,工件识别定位主要利用智能相机进行图像采集,然后 X-sight 内置图像预处理、图案定位、脚本等工具进行工件类型识别以及边缘轮廓识别,通过 MODBUS 协议通信,实现 PLC 对工件具体参数的采集<sup>[10]</sup>。工件传输以及模拟加工主要利用伺服电机驱动,通过 X-net 总线协议方式,运用单轴控制模式下的运动控制 MOTO 指令以及机器人模式下的运动指令 RBPATH 分别实现工件的传输以及对输入工件的边缘运动路径模拟切削加工的作业。系统控制的架构如图 6 所示。

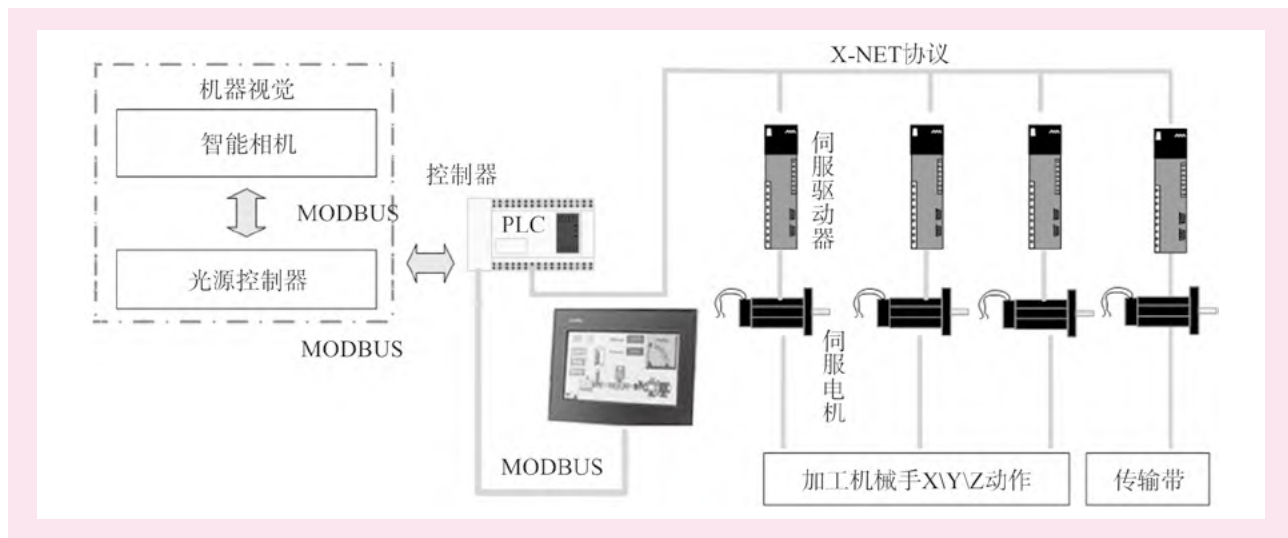


图6 直角坐标加工站控制系统架构

### (三) SCARA 装配站

SCARA 装配站主要功能设计如下:工件加工完毕后, SCARA 机器人由机器视觉引导自动执行贴标工作;贴标动作完成后,到达 RFID 读写器指定位置,实现工件标签扫描,进行工件信息存储。系统由 PLC 根据工件到位信号控制 SCARA 机器人执行贴

标作业,完成后,利用 PLC 与 RFID 读写器之间的自由口通信,实现对工件射频标签的读取,以利于后期进行生产流程以及质量追踪。SCARA 装配站示意如图 7 所示。

SCARA 装配站的核心技术要点主要在于以下两个方面:一是手眼系统的坐标变换。二是 PLC 与

RFID 读写器之间的数据通信。



图 7 SCARA 装配站立体结构

### 1. 手眼系统的坐标变换技术实现

如图 8 所示,假设工件在机器人空间中的坐标  $A(X,Y,Z)$ ;物体在相机拍摄中的空间坐标  $a(x,y,z)$ 。根据空间两坐标的转换公式并代入物体在空间中的两齐次坐标<sup>[11]</sup>:

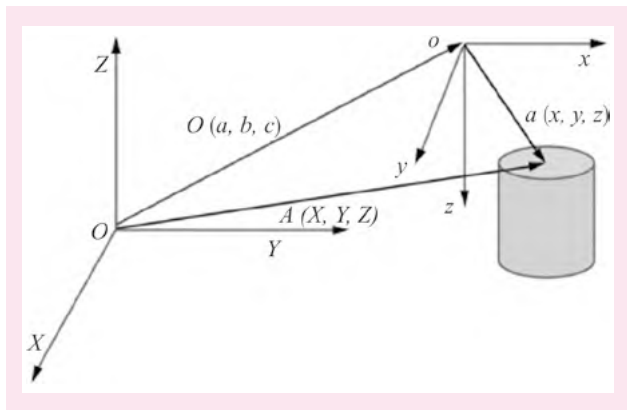


图 8 工件在不同坐标系下的点位示意

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ 1 \end{bmatrix} \cdot f \quad \text{式(1)}$$

式(1)中: $(X,Y,Z,1)$ 为物体在机器人空间坐标系中坐标  $A$  的齐次坐标; $(x,y,z,1)$ 为物体在相机拍摄空间坐标系中坐标  $a$  的齐次坐标; $(a,b,c,1)$ 为相机拍摄空间坐标系原点  $O$  在机器人空间坐标系中的齐次坐标; $f$ 为相机焦距。

则对于手眼系统坐标变换而言,主要通过代入

机器人示教得出的对应坐标点,从而求解式(1)获得  $\theta$ 、 $a$  和  $b$  如式(2)所示。然后将相应计算关系预存进 PLC 的 SD 寄存器中,程序设计时直接调用相关标定函数即可。

$$\begin{aligned} \theta &= \arccos^{-1} \frac{[(X_1 - X_2) / (y_1 - y_2) - (Y_1 - Y_2) / (x_1 - x_2)]}{[(x_1 - x_2) / (y_1 - y_2) - (y_1 - y_2) / (x_1 - x_2)]} \\ a &= X_1 / f + y_1 \cdot \sin \theta - x_1 \cdot \cos \theta \\ b &= Y_1 / f - y_1 \cdot \cos \theta - x_1 \cdot \sin \theta \end{aligned}$$

式(2)

### 2. PLC 与 RFID 读写器之间的数据通信技术实现

PLC 与 RFID 读写器之间主要通过自由串行通信的方式实现数据交互<sup>[12]</sup>。通信的数据帧自定义为:一个起始位,8 个数据位,一个停止位,CRC 校验,波特率为 57600bps。假设写入的标签号由形状代码,序号,日期时间,质量状态等四部分组成。例如 10012019041015131,其第一位数字代表形状代码,1 为圆形,2 为正方形,3 为五边形。之后的三位 001,表示当前形状的序号,三种产品的序号分别计数。1001 表示圆形的第一个产品。201904101513 表示生产产品的时间为 2019 年 4 月 10 日 15 时 13 分。最后一位数字代表质量状态,1 代表合格,2 代表不合格。那么在进行信息写入时,主要通过调用自由口通信指令 SEND 以及 RCV 指令进行命令发送以及写入状态读取。其中,关键要素需要进行 CRC 校验码的计算,因为一旦计算错误,RFID 读写器将不能正常进行读写作业。为此,编写的 CRC 校验函数如下:

```
void CRC8404 ( WORD W ,BIT B)
{
#define PRESET_VALUE 0xFFFF
#define POLYNOMIAL 0x8408
int ucl,ucJ;
unsigned int uiCrcValue = PRESET_VALUE;
W[40] = W[50] - 2;           //计算 CRC 校验码位数
for (ucl=0; ucl < W[40]; ucl++)
{
    uiCrcValue = uiCrcValue ^ W[0+ucl];
    for(ucJ=0; ucJ< 8; ucJ++)
    {
        if(uiCrcValue & 0x0001)
        {
            uiCrcValue = (uiCrcValue >>1) ^ POLYNOMIAL;
        }
        else
        {
            uiCrcValue = (uiCrcValue >> 1);
        }
    }
}
```

```

W[41] = uiCrcVaue;           //CRC 校验计算结果
W[42] = W [41] & 0x00FF;     //CRC 校验计算结果低位
W[43] = W [41] & 0xFF00 >> 8; //CRC 校验计算结果高位
//将 CRC 计算结果赋值到字符串尾部
W[0+W[40]] = W[42];          //低位赋值
W[1+W[40]] = W[43];          //高位赋值
}

```

#### (四) DELTA 分拣站

当工件由传输带运至机器视觉检测位置,根据原定计划输入参数比对,判定质量合格与否,对合格品,则根据加工工件的不同种类 分类码放到分拣盒中;若不合格工件,直接由传输带送出至废件箱。在执行分拣作业时,由于采用的是四轴并联型的 DELTA 机械手。因此,在进行其分拣点位运动控制时,同样是按照机器人模式下,利用 RBPATH 指令执行。为了安全起见,在进行工业机器人控制时,首先必须进行机器人的校零作业。DELTA 分拣站示意如图 9 所示。

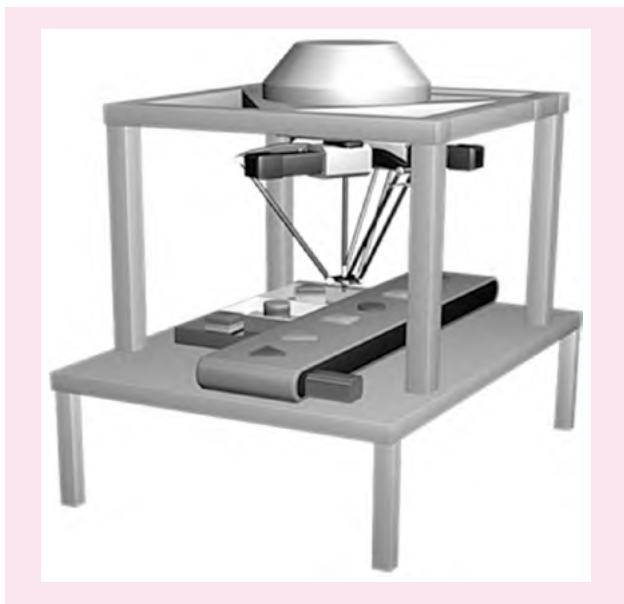


图 9 DELTA 分拣站立体结构

#### (五) 远程监控与生产管理站

远程监控与生产管理站主要是实现本地的无线触摸屏管控,以及基于 WEB 平台下的网络管控。一方面能够对设备的状态进行监视,另一方面能够远程下达计划,对设备进行远程启停等。远程监控与生产管理系统主要由 3 部分构成<sup>[13]</sup>:表示层和 Restful 接口提供应用的交互界面,权限控制用于定义设备管理上的约束;数据中心用于定义应用系统范围内 PLC 设备及其状态变量,为上层应用下发的命令提供解析和执行,解决应用数据与设备数据的同步问题;DCOM 通信层通过 DCOM 接口,将 PLC

的数据按 OPC 规范与 OPC Sever 进行相互的通信<sup>[14]</sup>。这里主要利用信捷云智造平台搭建网络监控与管理系统。同时,利用 4G 模块,基于 Android 系统开发移动监控系统<sup>[15]</sup>,从而满足用户基于 PC 以及移动客户端进行设备管控的需求。通过校企双方的紧密合作,最终完成智能型自动生产线的软硬件系统设



图 10 智能型自动生产线实物图



图 11 手机监控主画面



计,其设备硬件实物如图 10 所示,手机端的监控画面如图 11、12 所示。



图 12 工作站运行状态手机监控主画面

## 三、智能型自动生产线实训平台特色与创新

在“互联网+”行动指南下,在“工业 4.0”概念的指引下,以资源共享、优势互补的方式,校企合作共同研发一种融视觉技术、运动控制技术、互联网技术、移动互联技术以及各类工控设备通信技术、数据可视化与分析管理技术等于一体的综合化实训平台,不仅再现了智能生产的控制与管理现场,使师生率先接受到前沿的技术,为将来就业提供了较好的技术基础,同时更重要的是围绕“工业 4.0”时代前沿产业“智能制造”以及“智能工厂”的人才所需进行了建设规划,为自动化类专业教学、创新创业提供了平台,充分体现了“信息化”与“工业化”的集成创新。该平台面向电机与电气控制、PLC 编程技术、工

业通信与组态技术、工业互联网“1+X”考证培训等课程,支持开设“基于机器视觉的物料识别、检测、定位”“基于工业机器人的物料分拣、贴标”“PLC 与 PLC、RFID 等智能设备之间的串行通信、以太网通信”等基础实训,同时也支持开设综合类的一体化实训项目。

## 四、结语

本平台从智能制造以及数字化转型升级对人才培养需求出发,将视觉开发应用技术、工业机器人技术、工业通信技术、自动控制技术有机结合,紧密联系生产实际,是校企深度合作实现研发创新的具体应用。该实训平台目前承担了自动化类专业群的综合实训任务,能够完成对学生从单项能力到综合能力的训练。学生通过从简单到复杂,从单机到联机,从本地到远程云端的智能型自动生产线创新实训项目的训练,学生的综合能力明显提升,达到了“做中学”“学中做”的教学目标,不仅让学生增加了感性认识,同时强化了学生解决实际问题的实践操作能力,培养了学生的创新意识以及创新精神。

## 参考文献:

- [1] 温国强,常文爽,杨健,等.“中国制造 2025”视域下自动化生产线实训室建设方略[J].实验技术与管理,2019(1):266-269.
- [2] 陈鹏,薛寒.中国制造 2025 与职业教育人才培养的新使命[J].西南大学学报(社会科学版),2018(1):77-83.
- [3] 徐飞,黄国泰,曲晓海,等.面向智能制造工程专业的本科生实训平台建设[J].实验技术与管理,2021(4):285-289.
- [4] 刘爱云.基于机电控制可重组模块的工业控制训练平台开发[J].宁夏大学学报(自然科学版),2019(3):233-239.
- [5] 禹隆隆.柔性生产线教学设备的研究及教学开发[D].广州:华南理工大学,2014:30-41.
- [6] 石伟平,郝天聪.产教深度融合 校企双元育人——《国家职业教育改革实施方案》解读[J].中国职业技术教育,2019(7):93-97.
- [7] 闫纪红,李柏林.智能制造研究热点及趋势分析[J].科学通报,2020(8):684-694.
- [8] 赵巨峰,高秀敏,崔光茫.结合生产线的视觉检测实验系统设计[J].实验室研究与探索,2016(4):59-62.
- [9] 李明枫,贺晓莹,陆佳琪,等.基于机器视觉的机器人智能分拣实验平台开发[J].实验技术与管理,2019(4):87-91.
- [10] 徐伊岑,曹小兵,樊鉴乐.一种基于机器视觉的绘图机器人设计[J].内燃机与配件,2019(24):243-248.
- [11] 田鹏飞,杨树明,吴孜越,等.结合精度补偿的机器人优化手眼标定方法[J].西安交通大学学报,2020(8):99-106.
- [12] 冯韶霞.西门子 PLC 与 RFID 读写器的串行通信[J].机械工

程与自动化,2020(2):198-200.

[13] 赵晓峰.基于OPC技术的Web工控系统的研究与实现[J].计算机应用,2016(2):62-64.

[14] 徐晨.基于4G和OPC UA的工厂设备监控系统设计[D].南

京:南京信息工程大学,2019:24-32.

[15] 俞霞,郭琼,谢彬彬.基于信捷PLC的称重包装机控制系统优化设计[J].电工技术,2020(24):3-6.

[责任编辑:詹华西]

## Design of Training Platform for Intelligent Automatic Production Line

YANG Guohua<sup>1,2</sup>, LI Haibo<sup>1,2</sup>, FU Chen<sup>1,2</sup>, WANG Zhengtang<sup>3</sup>

(1.School of Internet of Things and Artificial Intelligence, Wuxi Vocational Institute of Commerce, Wuxi, Jiangsu, 214153, China; 2. Jiangsu Wireless Sensor System Application Engineering Technology Research and Development Center, Wuxi, Jiangsu, 214153, China; 3. Wuxi XINJE Electric Co., Ltd. Wuxi, Jiangsu, 214072, China)

**Abstract:** In order to meet the requirements of industrial transformation and upgrading for highly skilled talents, and to solve the problems of single control object of the existing training instrument and insufficient comprehensive training equipment, the training platform of Intelligent Automatic Production Line has been developed through the university-enterprise cooperation, which organically combines the technologies of automatic control, robot and its visual control, computer network, etc., and realizes the control and management of intelligent production. Taking the actual blank workpiece as the processing carrier and machine vision as the positioning guide, the platform carries out the system design of production line control, such as task input and feeding processing station, assembly station, sorting station and remote monitoring service and information management station, and is used for the practical training program teaching. The operation test shows that the platform system is safe, reliable and suitable for the cultivation of comprehensive skills of highly skilled talents in new engineering disciplines.

**Key words:** training platform; school-enterprise cooperation; robot control; machine vision; Intelligent automatic production line