

低成本单伺服注塑机械手控制系统设计

王传齐^{1,2}, 孔令成², 孙 鹏², 张春霞^{2,3}

(1. 常州大学 信息科学与工程学院数理学院, 江苏 常州 213100; 2. 中国科学院合肥物质科学研究院 先进制造技术研究所, 安徽 合肥 230031; 3. 中国科学技术大学 信息科学技术学院, 安徽 合肥 230022)

摘要:在注塑行业, 注塑机械手已经逐渐替代人工操作并发挥着重要作用, 而注塑机械手的精度又直接影响到注塑机的工艺和注塑件的质量。针对目前注塑机械手存在部分问题的现状, 设计了一种基于 STM32 单片机的高精度低成本的注塑机械手控制系统, 并对其硬件系统和软件系统做了详细的介绍。经过实验测试, 注塑机械手达到了预期的功能和控制精度, 但是其价格相比工业上的注塑机械手降低了 30%。

关键词:注塑机械手; 低成本; 控制系统; STM32 单片机

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 8829(2016)06 - 0082 - 04

Control System Design of a Low Cost Single Servo Injection Manipulator

WANG Chuan-qi^{1,2}, KONG Ling-cheng², SUN Peng², ZHANG Chun-xia^{2,3}

(1. School of Information Science & Engineering, School of Mathematics & Physics, Changzhou University, Changzhou 213100, China; 2. Hefei Institutes of Physical Science, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China; 3. School of Information Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230022, China)

Abstract: In the injection molding industry, injection molding manipulator is gradually replacing manual operation and plays an important role. The precision of the injection molding manipulator affects the injection molding process and the quality of injection molding products directly. According to the high price of present injection molding manipulator, an injection molding robot control system with high precision and low cost based on STM32 microcontroller is designed. The hardware system and software system are introduced in detail. After experimental test, the expected function and control precision for the injection molding manipulator are achieved. Meanwhile, compared with the other injection molding machine manipulators, the price is reduced by 30%.

Key words: injection molding manipulator; low cost; control system; STM32 microcontroller

随着我国制造业的迅猛发展, 塑料制品的需求日益增加, 机械化生产正逐步代替人工生产^[1-3]。注塑机械手即为注塑生产自动化专门配备的机械, 它具有快速、高效、安全等优点, 已大规模运用在现阶段的注塑生产行业。它可以根据产品的需求, 从注塑机模内取出塑料制品并传输到下一加工点进行加工^[4-6]。

一般来说, 注塑机械手的控制系统有两种组成形式, 一种采用单片机作为主控制系统, 如文献[7]采用

两片 78e516 单片机作为核心微处理器构成控制系统, 能够实现机械手的基本功能, 但运行过程中稳定性和精度难以保证; 另外一种如文献[8] ~ 文献[10]等是采用 PLC 作为控制器控制机械手运动, 实现注塑机械手的自动和手动运行, 可以快速稳定地执行命令, 但总体控制成本非常昂贵。

本文介绍了一种低成本的注塑机械手控制系统, 可以很好地满足国内大部分厂商的需求。该系统采用两片 STM32 单片机作为下位机和手动控制器的控制芯片, 通过 RS458 总线进行数据传输, 对伺服电机进行控制, 使机械手按照预定指令进行操作, 在取料时可以更加精确快速。

1 控制系统总体方案

控制系统采用两片 STM32F103 单片机作为核心

收稿日期: 2015 - 01 - 13

基金项目: 江苏省科技计划产学研联合创新资金前瞻性联合研究项目(BY2014044); 常州市科技支撑计划(工业)计划项目(CE20140025)

作者简介: 王传齐(1990—), 男, 江苏南京人, 硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式系统设计; 孔令成(1965—), 男, 安徽肥西人, 研究员, 主要研究方向为机器人技术、智能系统、自动控制技术。

微处理器,其中手动控制器主要负责 LCD 页面显示、串口通信、键盘扫描、紧急制动等;主控制板是整个系统的中枢,主要由电源模块、调位电机模块、伺服控制模块、串口通信模块、信号的输入输出模块等构成,它还负责控制机械手自动控制流程的状态转换、手动操作指令的执行以及实时传送数据到伺服驱动器和手持器等功能。控制系统的结构框图如图 1 所示。

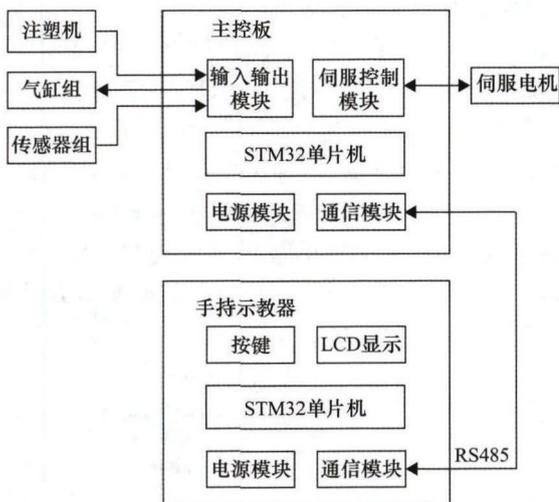


图 1 控制系统结构框图

市场上利用 PLC 作为主控制器的机械手价格高昂,难以满足中小企业的要求。本文所介绍的控制系统成本约在 500 元,是以 PLC 为主控制器的控制系统的 1/6,大大降低了硬件成本,可以满足国内厂家的需求。

2 控制板硬件设计

根据主控制板的功能要求分析,对各个部分进行了系统模块化的设计,使每个部分都能够独立稳定地工作,并且各个组件之间可以协调运作,完成系统功能。单个模块可以独立设计、分步调试,不仅提高了系统开发的成功率、缩短了调试时间,同时也保证了系统工作的稳定性。

根据注塑机取料机械手的具体功能要求,主控制板硬件电路可划分为以下几个模块。

2.1 CPU 处理模块

选用 STM32F103 作为下位机以及手持器的 CPU 处理模块,其时钟频率达到 72 MHz;与传统的单片机电机控制相比,它具有处理速度快、功能完善等优点。STM32 根据传入的传感器信号操控电机运转并获取电机工作状态,还可以实时地和上位机以及注塑机通信、传送指令。

2.2 存储模块

由于指令需要写入内部 RAM 并且具备断电保存

功能,所以选择了铁电存储器 FM25V02。它不仅可以在嘈杂的环境下向 E²PROM 写数据而且任何时间系统状态改变,都将写入新的状态。这样可以在电源关闭后,在可用的时间很短或立即失效的状态下,将有用数据写入存储器。

2.3 开关量输入输出模块

在机械手的运动控制中,主要由数字电路根据注塑机返回的信号产生相应的开关量变化,再由 CPU 计算这些信号并传送指令给机械手,实现主臂上行、横移、侧姿、吸抱等功能。输入输出模块包括 25 路的数字输入和 25 路的数字输出。

2.4 伺服电机控制模块

由于注塑机械手要求高精度、高稳定性的同时还需要在发生故障时立即停止,因此选择松下 A5 系列伺服电机和伺服驱动器。伺服电机控制模块利用单片机发送高速脉冲到伺服驱动器,再从伺服电机读取编码器产生的信号形成闭环控制。为了避免干扰在单片机与端口间加入光耦进行隔离。

2.5 通信模块

在注塑行业中,由于实际工作环境的制约,各种细小的干扰都会造成通信出错率的上升,继而对产品甚至对人身安全造成损害。RS485 属于半双工异步通信总线,由于其接口电路简单、成本低,并且具有良好的稳定性,已被广泛应用于工业现场。基于上述原因,本系统选择 RS485 通信模块。

2.6 电源模块

在本系统中,输入输出需要接 24 V 电压、外围电路需要 5 V 电压、STM32 芯片需要 3.3 V 电压,所以本系统通过加入电源稳压模块,使 24 V 转 5 V、5 V 转 3.3 V 能够顺利实现。

2.7 故障检测模块

在生产过程中,微小的故障都可能会造成严重的生产事故。本系统针对这类情况,设置了多重故障检测参数,如同服报警、机械手横移到内极限、下行时伺服位置不安全等参数。

根据以上功能要求设计的主控制板如图 2 所示。

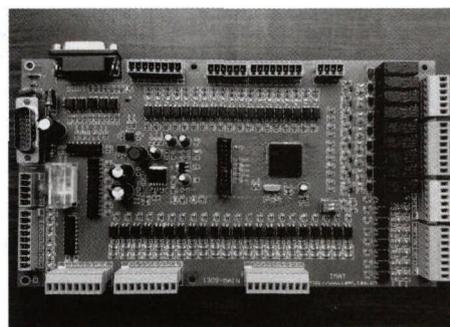


图 2 主控制板实物图

3 主控制板软件设计

在注塑机械手的工作运行中必须要有精确的路径规划和一套详细的运动流程。除此之外还要有相应的安全保护措施,如手动急停、注塑机急停等。在软件编程中,还需添加看门狗程序、掉电保护、热启动时的系统恢复等软件抗干扰措施。

在本设计中,需同时运行的进程较多,为了防止重要进程和普通进程在运行时出现冲突,系统各进程需遵循一个可靠的运行模式,在保证正常流程运行的同时,又能保证那些实时性要求比较高的程序能够及时得到响应。在程序设计时采用了内、外层嵌套的程序设计思想,如图3所示。

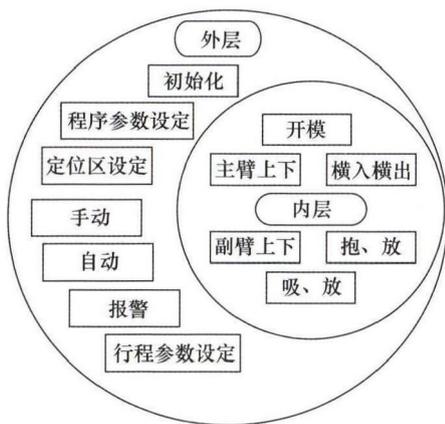


图3 内外层嵌套示意图

软件系统分为手动和自动两种模式。手动模式可以实现参数设置、程序选择、示教编程及单步运行等功能,自动模式可以实现全自动运行和单步循环两种功能,系统的流程图如图4所示。

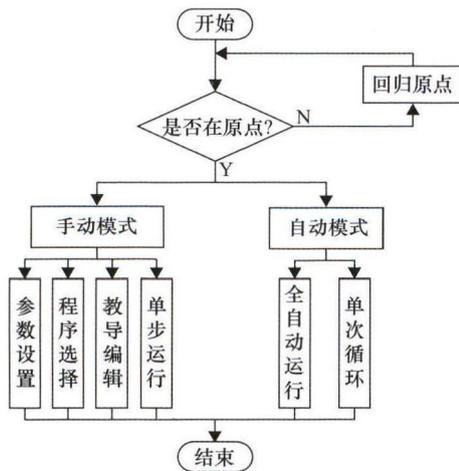


图4 控制系统流程图

4 通信协议

本系统采用 Modbus TCP 协议,通过串口实现手持

器和下位机通信。手持器和下位机之间的通信距离在 1.5 m 左右,但是由于主控板和伺服驱动器都装在控制箱内,很容易产生不必要的干扰,因此必须要使用可靠的方式进行串口通信。负责人机交流的单片机作为主设备,负责控制的单片机作为从设备。主设备对从设备采集的信号进行分析并显示出来,由不同按键输入相应的指令,从设备接收主设备发出的指令数据,控制外围执行设备做出相应的动作。

在 Modbus TCP 协议中,有 ASCII 协议和 RTU 协议。Modbus 的 ASCII 协议和 RTU 协议相比,Modbus ASCII 协议拥有开始和结束标识,而 Modbus RTU 却没有,所以 ASCII 协议的程序中对数据包的处理更加方便。Modbus ASCII 协议的 DATA 域传输的都是可见的 ASCII 字符,因此在调试阶段就显得更加直观,另外它的 LRC 校验程序也比较容易编写。所以本设计选用 ASCII 码来编写通信协议。

表1 LRC 部分程序校验

Address	FUNC	ADDRL	ADDRH	DATA	LRC	说明
01	06	00	00	00 01		归零
01	06	00	01	00 02		横入
01	06	00	02	00 03	LRC	横出
01	06	00	03	00 04	校验	主臂 X +
01	06	00	04	00 05		主臂 X -
01	06	00	05	00 06		副臂 X +
01	06	00	06	00 07		副臂 X -

表1为部分的 ASCII 码程序。以横入的数据为例,“01 06 00 01 00 10 LRC 校验”表示将数据 0010H 写入站号位 01H 的地址 0001H 中。主控模块会根据收到的指令,遵循一定协议发送给驱动控制模块或者远程 I/O 模块,完成对各轴控制以及末端执行器的操作。

5 仿真与实验

5.1 系统的建模仿真

对于点对点信号,要实现平滑的轨迹输出,可以通过在轨迹规划中设置合适的速度和加速度上界来实现。点对点的理想轨迹生成模块以最大加速度、最大速度和移动距离作为输入参数,使轨迹输出实现点到点的最快到达。编写其 S-Function,如图5所示,封装后即图7中的 point-to-point 模块。

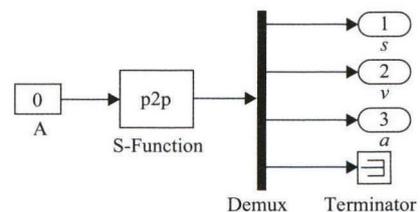


图5 点到点信号生成模型图

考虑到电机伺服系统的动力学特性,为安全起见,设置最大加速度为 $a = 20 \text{ m/s}^2$,最大速度 $v = 0.6 \text{ m/s}$ 和移动距离 $s = 0.4 \text{ m}$ 。点对点的轨迹规划如图 6 所示。

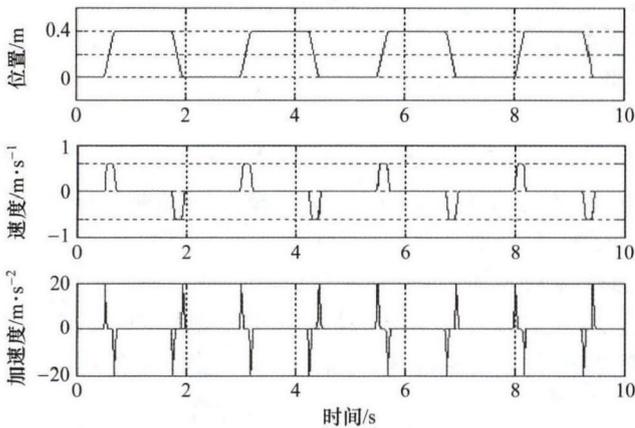


图 6 位置跟踪信号

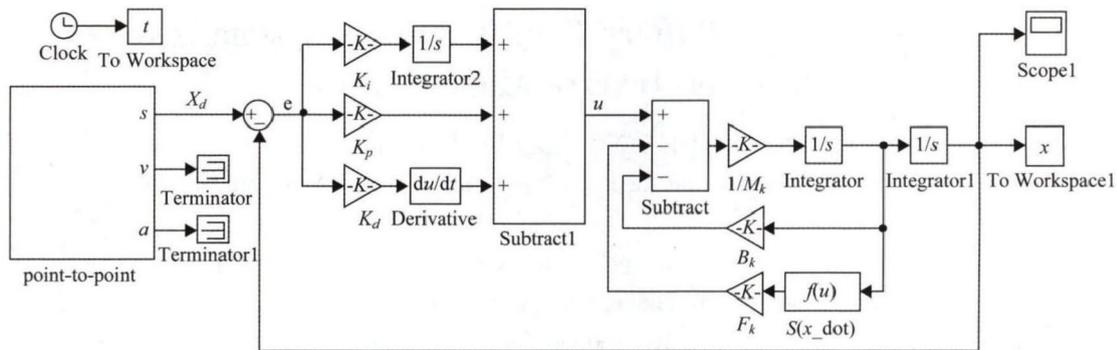


图 7 控制系统仿真框图

采用 Matlab/Simulink 仿真工具搭建 PID 控制器模型、电机仿真模型,整体控制模型如图 7 所示,仿真结果如图 8 所示。

从上述仿真结果图中,可以得出:在到达设定距离 $x = 0.4 \text{ m}$ 的过程中,全局最大瞬态误差为 $5.4343 \times 10^{-5} \text{ m}$;稳态时相当于进行定位指令跟踪,系统给定位置指令保持不变,电机位置的变化情况反映了系统保持原有位置的能力,可以看出控制器能实现零稳态误差。仿真得到的结果完全满足注塑机械手需要的精度,可以在工厂中运用。

5.2 实验结果

利用图 9 所示的注塑机械手开展实验,实验中手持示教器通过 RS485 总线将脉冲的频率和数量发送给主控板,主控板接收到控制指令后进行协议解析,产生对应的脉冲和方向来控制伺服驱动器。

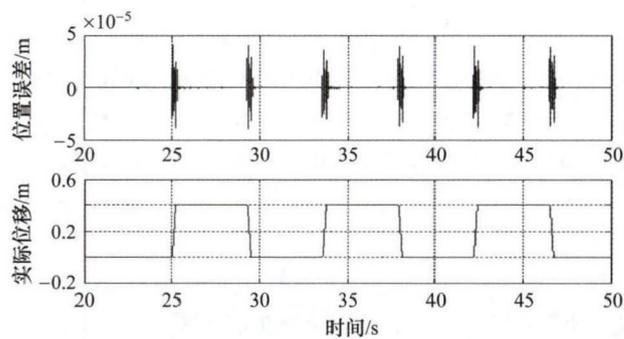


图 8 仿真结果图

的要求。

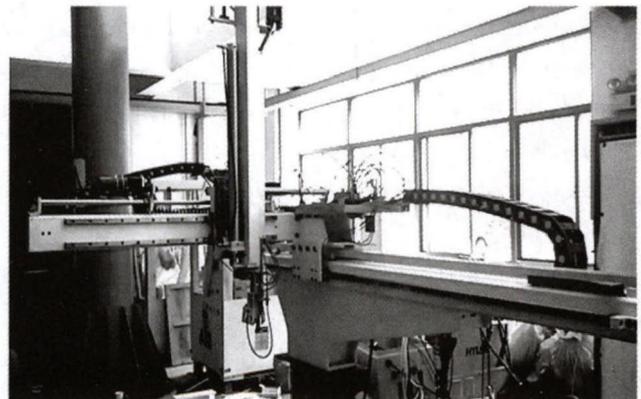


图 9 配套的注塑机械手

根据激光干涉仪 Renishaw XL-80 测量得到的测试数据见表 2。实验总共分为 6 组进行,平均每组 50 次,取平均误差。第 1、2、3 组实验测试起始位置相同而距离不同时,注塑机械手在运行时的误差;第 4、5、6 组实验测试距离相同而起始位置不同时,注塑机械手运行的误差。

从表 2 中可以看出在距离原点 1~3 m 时,误差为 0.3~0.4 mm;当行程为 1 m 时,误差为 0.3 mm。相对于仿真数据,可以看出实际应用中的干扰、误差源相对复杂,但测试数据已经符合注塑机械手行程精度

表 2 测试数据

编号	起始位置/m	终点位置/m	平均误差/mm	编号	起始位置/m	终点位置/m	平均误差/mm
1	0	1	0.3	4	1	1.5	0.3
2	0	2	0.3	5	2	2.5	0.3
3	0	3	0.4	6	3	3.5	0.3

(下转第 89 页)

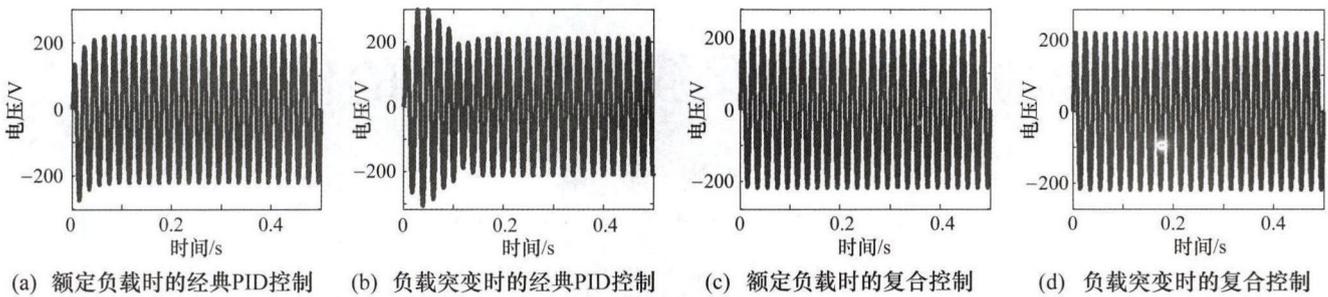


图6 额定负载及负载突变情况下的经典PID控制和复合控制的电压输出波形图

由以上仿真结果可知,在额定负载情况下,经典PID控制器控制下的电压输出波形稳定时间为0.86 s,复合控制器控制下的电压输出波形稳定时间为0.07 s;当电网负载突然增加时,经典PID控制器控制下的输出电压超调量为38.8%,复合控制器控制下的输出电压超调量为0.05%。传统的PID控制超调量过大,调节时间长,而复合控制策略大大地抑制了超调量,消除了振荡,缩短了调节时间,综上所述,采用复合控制策略的控制器能够有效改善被控系统的稳态特性。

5 结束语

本文将基于SVM的逆模型控制理论结合PID控制器组成复合控制系统,能够较好地改善储能电源逆变输出的电能质量。仿真结果表明,在储能电源逆变控制中,采用复合控制策略的控制器在恒定负载以及突变负载情况下具有很强的鲁棒性和抗干扰能力,输出超调量小,控制量平稳,有效地解决了传统PID控制

器收敛速度慢、自适应能力有限、抗干扰能力差的不足。
参考文献:

- [1] 周林,黄勇,郭珂,等.微电网储能技术研究综述[J].电力系统保护与控制,2011,39(7):147-152.
- [2] 胡雪峰,谭国俊.应用神经网络和重复控制的逆变器综合控制策略[J].中国电机工程学报,2009,29(6):43-47.
- [3] 杨云虎,周克亮,卢闻州.三相PWM逆变器鲁棒重复控制策略[J].东南大学学报(自然科学版),2011,41(4):750-756.
- [4] 罗海波.PID控制器设计与仿真研究[J].计算机仿真,2012,29(2):345-348.
- [5] 黄银蓉,张绍德,季民.一种基于LS-SVM与PID复合的逆控制系统[J].机电工程,2010,27(2):75-78.
- [6] 王兆安,刘进军.电力电子技术[M].5版.北京:机械工业出版社,2009:164-176.
- [7] 高镇,谢英俊.基于SVM逆系统控制方法的电液变气门系统的升程控制[J].传感器与微系统,2011,30(4):54-56.

□

(上接第85页)

6 结束语

本文基于STM32单片机设计了注塑机械手控制系统的硬件和软件,利用RS485总线进行数据的通信与传输。该控制系统共有10台在浙江台州滨海集团生产现场进行了试运行,实际运行效果表明本系统可以让机械手稳定高效地完成动作要求,重复定位精度达到0.3~0.4 mm。该系统反响良好,不仅可以代替工人手工操作而且只需在初始化阶段设定好程序,机械手就可以无人化自动运行,大大减轻了工人的劳动强度。相比于用单台PLC作为主控器的控制系统,控制系统成本在原有基础上可以降低30%,降低了硬件成本提高了生产效率和产品质量,具有广阔的市场前景。

参考文献:

- [1] 牟文杰.机械手在注塑生产中的应用[J].中国塑料,2000,14(10):86-89.
- [2] 何洋,项基,彭勇刚.基于ARM9和嵌入式Linux的注塑

- [3] 机械手上位机控制器[J].机电工程,2012,29(3):297-301.

- [3] 彭斐.注塑机专用机械手控制器设计[J].机电工程,2006,23(2):16-19.
- [4] 杨建平,边际.机械手自动给料系统[J].长春工业大学学报,2004,25(3):66-68.
- [5] 钟春华.简易型旋臂式机械手[J].湖南工业职业技术学院学报,2008,8(6):31-32.
- [6] 舒志兵,谢福亮,郑之开.专用机械手控制系统设计与分析[J].机床与液压,2013,41(22):113-115.
- [7] 丁鉴彬,刘明,尹燕芳.五轴注塑机械手控制系统设计[J].机械制造与自动化,2010,39(2):146-148.
- [8] 蒋建虎,张刚,武超,等.注塑机单轴伺服机械手控制系统设计[J].制造业自动化,2012,34(11):12-13.
- [9] 张海英,陈子珍,翟志永.基于PLC的物料搬运机械手设计[J].机械工程师,2010(9):83-84.
- [10] 周鸿杰,骆敏舟,李涛,等.基于PLC的工业取料机械手系统设计[J].工业仪表与自动化装置,2010(3):50-52.

□