

基于 PLC 的收餐机器人控制系统设计

朱亚荣, 姜树海

(南京林业大学 智能控制与机器人技术研究所, 南京 210037)

摘要: 针对当前餐厅收餐自动化水平低下的现状, 提出了自动化收餐流水线的概念, 设计了一款收餐机器人; 在分析收餐机器人整机结构和运动要求的基础上, 进一步设计了一种基于 PLC 的收餐机器人控制系统; 系统主要由餐盘翻转模块、筛选模块、餐具输运模块、餐盘堆叠模块和残渣收集模块组成; 根据不同模块的工作流程和作业需求, 以西门子 S7-200 为控制系统核心, 完成了系统的软硬件设计, 并分别对各模块进行了编程调试, 可实现精确的位置控制, 符合实际控制要求, 达到自动收餐的目的。

关键词: 收餐机器人; PLC; 控制系统; 位置控制

Control System Design for Catering Collecting Robot Based on PLC

Zhu Yarong, Jiang Shuhai

(Institute of Intelligent Control and Robotics, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: As present catering collecting automation level is low, a notion of automated catering collecting assembly line is put forward and a catering collection robot is designed. After analyzing the whole structure and motion requirements, a further control system for catering collecting robot based on PLC is designed. It is mainly divided into serving tray rotating module, filtering module, tableware conveying module, serving tray stacking module and residues collecting module. Considering different working process and control requirements between modules, this paper applied Siemens S7-200 as the core of control system, finished hardware and software design, made programs and debugged for each module, and achieved accurate position control, which meets actual control requirements and can collect serving tray automatically.

Keywords: catering collecting robot; PLC; control system; position control

0 引言

在经济飞速发展和科技不断进步的时代, 自动化生产和管理已渗入到各大行业, 作为现代先进科学技术核心的工业自动化正在不断地被广泛运用到经济发展的各领域^[1]。餐饮业在我国第三产业中占有重要地位, 是服务经济繁荣程度的标志^[2], 其自动化水平的提高对国民而言意义重大。

为控制人工成本和改善就餐环境, 国内餐厅开始将自动化技术、信息技术应用于其中的作业环节, 让机器代替手工或帮助手工进行工作, 市场上也不断涌现出相关的科技产品, 使餐厅运营不断朝着信息化和自动化发展^[3]。目前的餐饮行业已普遍开始应用一些信息化的科技产品, 比如点菜系统, 可快速通过触摸屏或手持器点餐, 自动将菜单传至收银台和厨房^[4]。杭州雄伟科技开发有限公司设计的一种自助式餐饮结算台^[5], 用以帮助餐厅实现不同部门间的信息流通, 方便营业管理。自动化层面上的科技产品目前来看还不成熟, 尽管相继出现了不少代替人工的机器, 用以实现餐饮服务中某些流程的自动化, 比如食堂自动打饭机、餐厅服务机器人^[6]、蛋炒饭机器人^[7]等, 但是, 后续的收餐环节依旧主要靠人工完成, 暂时还没有出现成熟、可推广的技术。在就餐高峰时期, 人工收餐劳动量大,

效率低下, 常常出现餐盘来不及收集的状况, 尤其是在学校食堂、企业员工餐厅等就餐人员众多的场合, 这种状况更为明显, 严重影响就餐环境。基于自动化水平不断发展、传统产业相继升级和收餐环节科技滞后的问题, 我们提出了自动化餐饮流水线中收餐机器人的课题。

在机器人控制中, 多采用基于微机的控制器或基于 DSP (digital signal processing, 数字信息处理器) 的控制器作为机器人的控制系统硬件, 即“运动控制器+PC”结构形式的控制系统。这种控制系统以 PC 为上位机, 运动控制器为下位机, 可快速对运动轴, 尤其是多轴的系统加以控制。虽然上下位结构清楚, 但系统稳定性不够、难以扩展、兼容性不强、维护困难^[8-9]。PLC (programmable logic controller, 可编程逻辑控制器) 由于其可靠性高、结构简单、编程方便、功能完善、性价比高等优点, 在工业控制系统中有着重要地位, 且随着 PLC 技术的成熟, 尤其是在运动控制方面, 可驱动步进电机或伺服电机的单轴或多轴位置控制模块, 用于圆周运动或直线运动的控制^[10]。目前, 机器人控制多采用 PLC 控制器对机器人各轴运动进行规划和编程, 使机器人按照既定的程序依次动作, 在工作过程中, 借助传感器判断工作状态、感知工作环境, 不断调节运动状态, 机器人可即按照预定的动作和路线有序工作^[11]。基于 PLC 能实现控制系统功能要求且性价比高的特性, 我们开展了基于 PLC 的收餐机器人控制系统设计的研究。

1 系统总体框架

为达到以机械替代人工进行餐盘清洁与残渣输运的目的, 收餐机器人采用五大模块来对餐盘、餐具和残渣进行处理, 此

收稿日期:2015-10-23; 修回日期:2015-12-07。

基金项目:江苏省高校优势学科建设工程资助项目(PDPA); 南京林业大学引进高层次归国人员及高层次人才基金项目(G2003-01)。

作者简介:朱亚荣(1991-), 女, 江苏省如皋市人, 硕士研究生, 主要从事机器人技术方向的研究。

姜树海(1964-), 男, 吉林省德惠市人, 工学博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事机器人技术、智能控制技术方向的研究。

五大模块分别为餐盘翻转模块、筛选模块、餐具输运模块、餐盘堆叠模块和残渣收集模块，如图 1 所示。

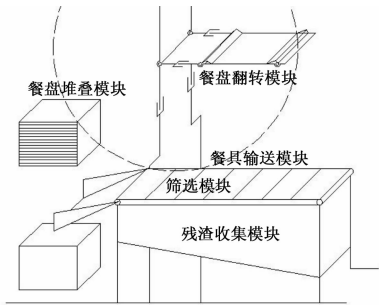


图 1 收餐机器人机械示意图

收餐机器人采用模块化的控制系统，各控制模块可自由组合，适应不同的工作条件，以满足不同的控制系统运行要求。具体工作流程：首先，带有残渣的餐盘和其他餐具送至餐盘翻转模块后，餐盘翻转模块开始运转，将餐盘、餐具和残渣分离，而后餐具和残渣由筛选装置进行筛选，餐具将进入餐具输运装置，并被输运到指定位置，而残渣将进入残渣收集模块，餐盘将进一步跟随旋转架运动到餐盘堆叠模块，整个处理过程结束。模块间的关系和工作流程如图 2 所示。

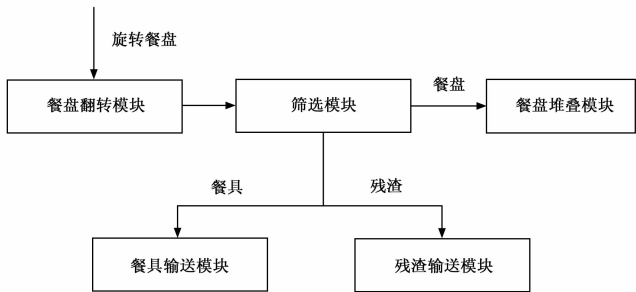


图 2 收餐机器人系统工作流程图

1.1 餐盘翻转模块

餐盘翻转模块采用旋转架结构，旋转架由伺服电机驱动，上面安装机械手。其中，机械手上安装光电传感器和电磁铁，并且可做水平方向和上下方向运动。在实际运动中，旋转架运转流程如图 3 所示：1) 启动时，机械手处于水平位置，当餐盘摆放到机械手上时，机械手上的光电传感器感知，PLC 收到信号并让电磁铁通电吸住餐盘；2) 接着旋转架开始转动；3) 在旋转过程中，由于其他餐具未被吸住，因而受惯性作用掉落到下面的筛选模块上，达到分离的目的；4) 旋转架旋转 180°后停止，电磁铁断电失去磁性并放下餐盘，等待下一个餐盘的到来。

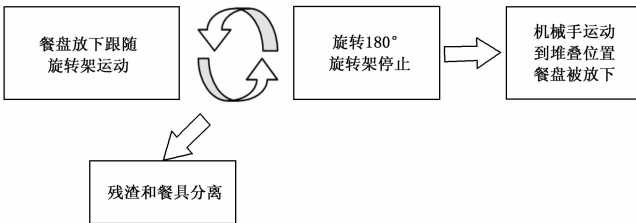


图 3 旋转架运转过程

1.2 餐具输运模块

为将餐具运送到更宽阔的地方统一收集，如图 4 所示，餐具和残渣掉落后，经滤网式输送带筛选后，残渣掉落到残渣收集处，餐具则跟随输送带向前运动，将餐具运到指定位置后停止，餐具由于惯性掉落在餐具收集处。餐具输运模块运动流程如图所示：在餐具和残渣掉落处安装光电传感器，当餐具滑落时，传感器检测到物体，此时输送带开始运行，运行一个工作长度后，输送带停止运行直到下一个餐具掉落。

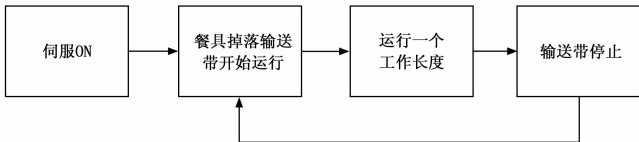


图 4 输送带运行过程

1.3 餐盘堆叠模块

餐盘堆叠模块由做直线运动的手臂和用于夹紧餐盘的机械手爪组成。手臂由旋转伺服电机驱动，经滚珠丝杠传动，可做前进、后退、上升、下降运动并返回原点。机械手爪上安装光电传感器和电磁铁，通过控制电磁铁的通断电，改变电磁磁性，实现餐盘的夹紧和放下。机械手运动过程如图 5 所示，当餐盘在 A 侧放于机械手上后，机械手上的光电传感器感知，将信号传给 PLC 控制器，PLC 再控制电磁铁通电吸取餐盘。机械手随旋转架旋转 180°后，到达 B 侧。接着，手臂向前前进一个工作长度，到达 C 侧，即餐盘堆叠位置，使电磁铁断电并放下餐盘，手臂再原路返回到原位置，如此循环。

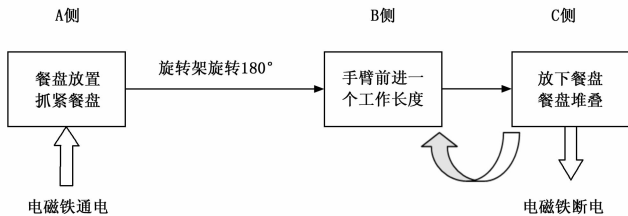


图 5 餐盘堆叠运动过程

当系统启动后，可通过手动/自动转换开关选择运行模式。在手动运行时，可以对各模块运动进行调试，实现点动或一个工作单位的运动，保证系统运行的安全和精确性。在自动模式时，系统可自动完成各模块的运动，并实现模块间的协调和顺序控制，保证收餐的整个流程有序完成，大大解放人力，也可提高就餐高峰时期的收餐效率。

2 系统硬件配置

控制系统由 CPU226、3 个位控模块 EM253、4 个伺服驱动器和 4 个伺服电机组成。由于西门子 CPU226 内置脉冲输出器，如脉冲串输出 (PTO) 模式^[12]，为节省位控模块数量，餐具输运模块采用 PTO 控制方式；而餐盘翻转模块、餐盘堆叠模块由于位置精度要求较高，则利用 EM253 进行位置控制。控制系统结构示意图如图 6 所示。

2.1 PLC

西门子 S7-200 系列 PLC 具有可靠、易操作、灵活等优点，在工业控制中被广泛应用，并且能够满足收餐机器人的性能需求，所以 PLC 选择西门子 S7-200 系列。控制系统需要较

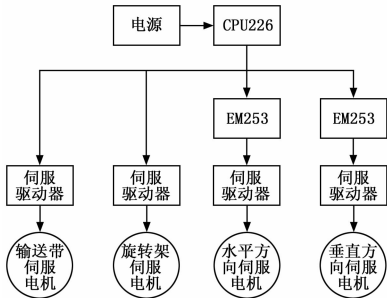


图 6 收餐机器人控制系统结构示意图

多的输入输出端口，总计 17 个数字量输入，8 个数字量输出，同时连接有 3 个 EM253 位控模块，故只能选择 CPU226 型号。

2.1.1 数字量输入部分

控制系统输入部分可分为转换开关、按钮、光电传感器和限位开关，共有 17 个数字输入量。具体分配如表 1 所示。

表 1 输入变量地址分配表

| 名称 | 地址 | 功能 | 备注 |
|----------|------|------------------------|--------------|
| 急停 | I0.0 | 总停 所有电机都不能动 | |
| 自动手动转换开关 | I0.1 | 自动与手动工作模式切换 | 自动常开 手动常闭 |
| 电磁铁通电 | I0.2 | 按下电磁铁夹紧餐盘 | |
| 电磁铁断电 | I0.3 | 按下电磁铁放下餐盘 | |
| 旋转架点动正转 | I0.4 | 按一下旋转架旋转一个小角度 | |
| 旋转架点动反转 | I0.5 | 旋转架反向旋转一个小角度 | |
| 机械手前进 | I1.0 | 机械手向前运行一个工作单位 | |
| 机械手后退 | I1.1 | 返回原点 | |
| 机械手上升 | I1.2 | 机械手向上运行一个工作单位 | |
| 机械手下降 | I1.3 | 返回原点 | |
| 输送带前进 | I1.4 | 按下输送带前进，点动 | |
| 输送带后退 | I1.5 | 按下输送带后退，找原点 | |
| 机械手光电传感器 | I2.0 | 有餐盘，输出高电平 | |
| 垂直中心限位开关 | I2.1 | 经过，输出高电平 | |
| 输送带光电传感器 | I2.2 | 有餐具，输出高电平 | |
| 旋转架手动 | I2.3 | 按下旋转架以一定速度 运转，松开则停止 | |
| 启动 | I2.4 | 所有电机伺服 ON | |
| 水平方向正向限位 | | 正向限位 | 在定位模块 |
| 水平方向反向限位 | | 反向限位 | 在定位模块 |
| 水平方向参考原点 | | 原点 | 在定位模块 |
| 垂直方向正向限位 | | 正向限位 | 在定位模块 |
| 垂直方向反向限位 | | 反向限位 | 在定位模块 |
| 垂直方向参考原点 | | 原点 | 在定位模块 |

2.1.2 数字量输出部分

控制系统主要输出控制的设备有伺服电机驱动器，电磁铁和指示灯，共有 8 个数字输出量。具体分配如表 2 所示。

2.2 伺服电机

在此控制系统中，共有 4 个伺服电机，分别控制旋转架、机械手前进后退、机械手上升下降、餐盘输送带的运行。伺服电机接收伺服驱动器发出的电信号，在电动机轴上以角位移或角速度的形式输出，精确控制电机运行的速度，经滚珠丝杠传

动，实现精准的直线运动^[13]。

表 2 输出变量地址分配表

| 名称 | 地址 | 功能 | 备注 | 说明 |
|--------|------|-----------------|--------|---------|
| 输送电机脉冲 | Q0.0 | 给输送带脉冲信号 | 输送带 | |
| 输送电机方向 | Q0.1 | 改变电机运转方向 | 输送带 | =1，电机反向 |
| SON-1 | Q0.2 | 输送带伺服启动 | 输送带 | |
| SON-2 | Q0.3 | 旋转架伺服启动 | 旋转架 | |
| SON-3 | Q0.4 | 机械手水平方向 伺服启动 | 水平方向电机 | |
| SON-4 | Q0.5 | 机械手垂直方向 伺服启动 | 垂直方向电机 | |
| 电磁铁 | Q1.0 | 电磁铁吸放 | | |
| 电源指示灯 | Q1.1 | 运行时指示灯亮 | | |

由于设计在餐盘翻转模块、餐具运输模块、餐盘堆叠模块均需要实现精确的定位控制，并且需要电机能快速反应、不产生噪声以营造餐厅良好环境，故选用伺服电机。

此控制系统中，有 4 个伺服电机，相应地，每个伺服电机需配备一个伺服驱动器来控制电机，接收来自 PLC 的脉冲，以改变伺服电机的转速、转向、扭矩等，达到精确控制伺服电机的目的^[14]。

2.3 位置控制模块

定位模块 EM253 通过产生高速脉冲来实现对单轴步进电机的开环速度、位置控制。通过 S7-200PLC 的扩展接口，实现与 CPU 间通讯控制。在此系统中，共使用了 3 个 EM253 位控模块，实现对机械手两个方向和旋转架正反转伺服电机的位置控制。由于机械手做直线运动，故采用工程单位（如：毫米、英尺）作为控制系统的测量单位。EM253 位控模块安装、拆卸简单方便，易于灵活控制各个运动模块。

3 系统软件设计

根据控制系统的功能要求，收餐机器人的控制过程分为手动控制模式和自动控制模式。在手动控制模式时，各设备可以单独运行，相互之间没有顺序，互不干扰。模式选择流程图如图 7 所示。

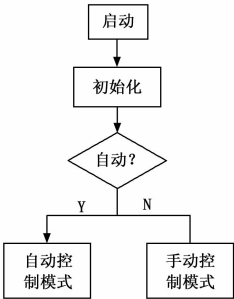


图 7 收餐机器人模式选择流程图

3.1 手动控制模式

在手动模式时，可以通过按钮单独控制各设备的运行，包括：旋转架的正反转，机械手的前进后退、上升下降，输送带的前进后退，电磁铁的通断电。在运行允许范围内，各设备可任意移动，便于控制系统的调试和检测。手动控制流程图如图 8 所示。

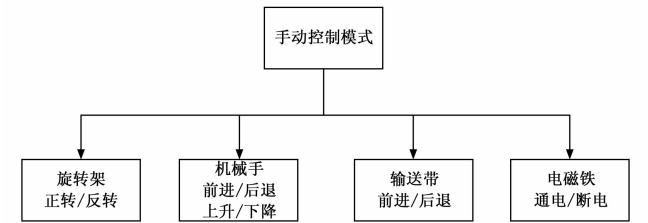


图 8 手动控制运行流程图

3.2 自动控制模式

在自动控制模式时，系统通电后，按下启动按钮，各设备开始按照顺序运行，具体运行流程如图 9 所示。

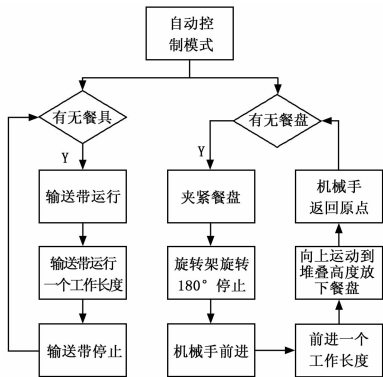


图 9 自动控制运行流程图

3.3 编程用数据地址分配

控制系统中有多个模块，输送带采用 PTO 控制方式，旋转架和机械手采用 EM253 进行控制。在程序设计时，为使编程清晰明了、易于修改，对各模块地址进行分配，如表 3 所示。

3.4 程序的编写

利用西门子公司专门为 S7-200 PLC 设计开发的 STEP7-Micro/WIN，该软件基于 Windows，功能十分强大，主要用于开发程序，也可实时监控程序执行的状态。

控制系统主程序利用梯形图进行编程，在了解系统总体流程后，细化各模块，按照不同的功能要求编写不同模块的相应程序。其中旋转架、机械手和输送带的位置控制部分借助 STEP7-Micro/WIN 中的“位置控制向导”工具，进行各模块位置控制参数的设置，生成子程序，在编写主程序时直接调用，如图 10 所示。

表 3 模块地址分配表

| 名称 | 数据地址 | 中间继电器 |
|---------|---------------|-----------|
| 旋转架 | VB600~VB799 | M0.0~M0.7 |
| 输送带 | VB800~VB999 | M1.0~M1.7 |
| 机械手前进后退 | VB1000~VB1199 | M2.0~M2.7 |
| 机械手上升下降 | VB1200~VB1399 | M3.0~M3.7 |

4 实验结果与分析

选用东元经济型 TSTE30C 驱动器（最大功率 1KW）和 TSB13102B3NLA001 系列伺服电机，根据驱动器手册完成 PLC 控制器、EM253 模块和伺服驱动器的接线，如图 11

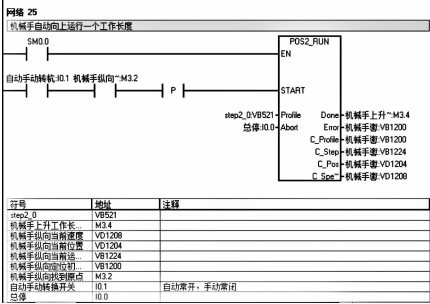


图 10 机械手自动向上运行程序子程序

所示。

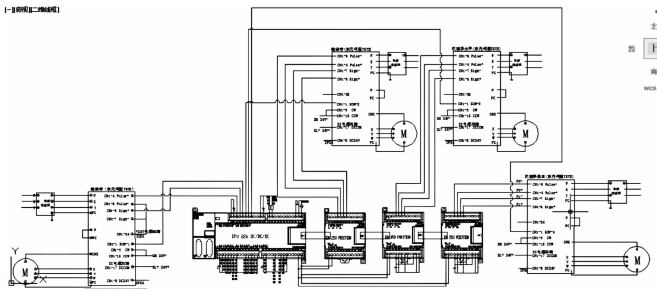


图 11 硬件接线图

接线检查无误后，建立 PLC 与上位机的通讯，将程序下载到 PLC，对 PLC 的输出进行监控。最终调试结果如下：1) 手动模式时，依次按下启动、电磁铁通断电、旋转架正反转、机械手前进后退、机械手上升下降各按钮，电源指示灯亮起，同时各模块的伺服电机点动正反转均可实现。2) 拨动转换开关，切换到自动模式，按下启动按钮，电源指示灯亮起，接着，分别触发机械手光电传感器和输送带光电传感器，对垂直方向和水平方向的限位开关进行强制输入，试验发现驱动餐盘翻转模块、餐具输送模块、餐盘堆叠模块的伺服电机可以按照控制要求顺序动作，实现了一定条件下的自动控制，基本满足收餐需求。因此，在实际应用中，根据不同的收餐环境，可以相应地调整电机的运行速度，实现系统的最优化。

5 结论

收餐机器人控制系统运用 PLC 技术，实现了收餐流程的自动化控制，可以使简单重复的人工收餐方式由机器操作代替，有效解决了就餐高峰时期大量餐盘堆积无法清理的问题。系统采用西门子 S7-200 PLC 作为控制器，驱动伺服电机单轴运动控制模块，控制餐盘翻转模块的圆周运动、餐具输送模块和餐盘堆叠模块的直线运动，使得各模块运动协调有序。收餐机器人控制系统的设计简单稳定，易于操作，经过调试达到设计要求，未来可广泛应用于学校食堂、员工餐厅、大型快餐店等餐饮流水线中的收餐环节。未来我们将结合收餐机器人的应用实际，进一步完善整机的性能。

参考文献：

[1] 郭孟榕. 我国工业自动化市场的发展状况及前景展望 [J]. 中国科技信息, 2003, 42 (3): 95.
程 钢. 中国餐饮业管理模式研究 [D]. 长沙: 湖南师范大学, 2010.
[2] Doug Doran. Restaurants and Technology-Past, Present and Fu-

ture; a Practitioner's Viewpoint [J]. Worldwide Hospitality and Tourism Themes, 2010, 2 (1), 94-99.

- [3] 郭春鹏. 餐饮信息化的多元化发展 [J]. 信息与电脑, 2013 (7): 61-62.
- [4] 杭州雄伟科技开发有限公司. 一种自助式餐饮结算台: 中国, CN201220121989. 8 [P]. 2012-12-05.
- [5] Yu Q X, Yuan C, Fu Z, et al. An autonomous restaurant service robot with high positioning accuracy [J]. Industrial Robot, 2012, 39 (3), 271-281.
- [6] 南京大五教育科技有限公司. 蛋炒饭机器人: 中国, CN102848397A [P]. 2013-01-02.
- [7] 卞洪元. 基于 PLC 控制的工业机器人系统的研究与实现 [D]. 南京: 东南大学, 2005.

- [8] 张丰华, 韩宝玲, 罗庆生, 等. 基于 PLC 的新型工业码垛机器人控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 11 (17): 2191-2196.
- [9] 刘卫平, 王明泉. PLC 的发展及应用前景 [J]. 机械管理开发, 2009, 10 (110): 78-80.
- [10] 陈保帆, 韩亚军. 基于 PLC 控制产线机器人系统设计与研究 [J]. 数字技术与应用, 2014 (3): 7-8.
- [11] 王翔. S7-200 PLC 在数字伺服电机控制中的应用 [J]. 自动化技术与应用, 2006, 25 (6): 29-31.
- [12] 耿洪兴, 张乐年, 谭坚红, 等. 基于 STC 单片机的机械手运动控制研究 [J]. 机械制造与自动化, 2010 (5): 150-152.
- [13] 胡佳丽, 闰宝瑞, 张安震, 等. S7-200PLC 在伺服电机位置控制中的作用 [J]. 自动化仪表, 2009, 30 (12): 38-41.

(上接第 83 页)

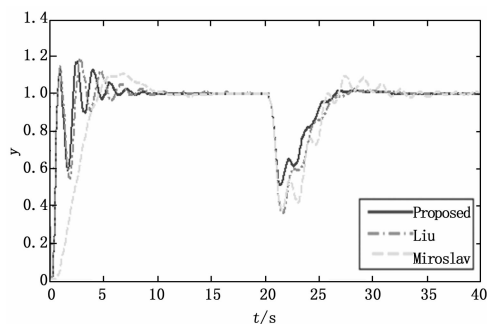


图 6 4.2 模型失配时系统的输出

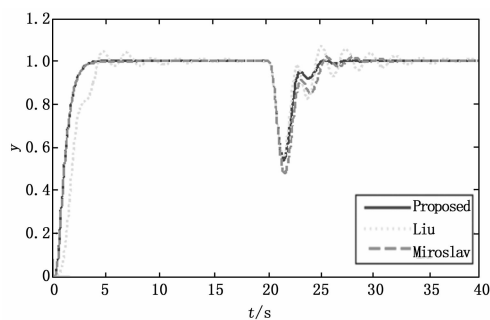


图 7 4.3 的时间响应

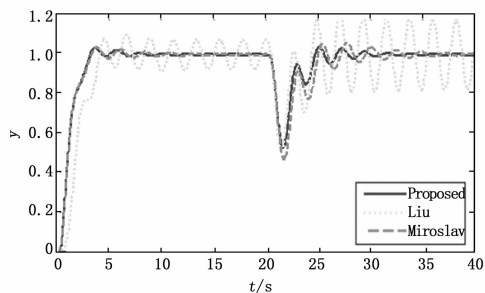


图 8 4.3 模型失配时系统的输出

4 结论

通过研究可知, 针对此二自由度控制结构可以很好地解决系统的鲁棒性和扰动抑制, 分别通过调节两个控制器的参数,

实现了设定值响应和抗负载扰动的完全解耦。不仅能抑制由于不稳定和时滞带来的影响, 而且对于参数变化引起的模型失配有较强的适应性。从而, 为时滞不稳定系统的控制提供了另一个行之有效的结构方法。

参考文献:

- [1] Hua M C, Lou D C, CHANG M C. Dual-Wrapped digital watermarking scheme for image copyright protection [J]. Computers & Security, 2007, 16 (1): 1-12.
- [2] Nasution A A, Jeng J C, Huang H P. Optimal H₂ IMC-PID Controller with Set-Point Weighting for Time-Delayed Unstable Processes [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2011, 50 (8): 4567-4578.
- [3] Zhang W, Gu D, Wang W, et al. Quantitative performance design of a modified Smith predictor for unstable processes with time delay [J]. Industrial & engineering chemistry research, 2004, 43 (1): 56-62.
- [4] Tan W, Marquez H J, Chen T. IMC design for unstable processes with time delays [J]. Journal of Process Control, 2003, 13 (3): 203-213.
- [5] Nasution A A, Jeng J C, Huang H P. Optimal H₂ IMC-PID Controller with Set-Point Weighting for Time-Delayed Unstable Processes [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2011, 50 (8): 4567-4578.
- [6] Shamsuzzoha M, Lee M. Enhanced disturbance rejection for open-loop unstable process with time delay [J]. ISA transactions, 2009, 48 (2): 237-244.
- [7] Liu T, Gao F R, Enhanced IMC Design of Load Disturbance Rejection for Integrating and Unstable Processes with Slow Dynamics [J]. ISA Transactions, 2011, 50 (2), 239-248.
- [8] 赵志诚, 文新宇. 内模控制及其应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [9] Hui-He S. 一种基于灵敏度的自整定最优 PI 控制器 [J]. 自动化学报, 2001, 27 (01): 140-143.
- [10] Liu T, Gao F R, Wang Y Q. IMC-based iterative learning control for batch processes with uncertain time delay [J]. Journal of Process Control, 2010, 20 (2): 173-180.
- [11] Zhang W D, Gu D Y, Wang W, et al. Quantitative performance design of a modified Smith Predictor for unstable processes with time delay [J]. Industrial Engineering & Chemical Research, 2004, 43 (1): 56-62.