

带有触觉系统的家禽屠宰净膛机械手的设计

熊利荣 于 阳 王树才

华中农业大学工学院, 武汉 430070

摘要 对家禽屠宰净膛智能机械手系统中的触觉系统部分进行改进设计, 该触觉系统采用薄膜压力传感器检测机械手爪机对家禽内脏的压力, LabVIEW 软件实时显示采集的压力数据, 并对其进行处理分析后向单片机发送串口指令。单片机产生 PWM 信号控制机械手臂舵机运动。当检测压力值大于设定的内脏最大承受压力时, 自动控制爪机张开; 反之, 自动控制爪机合拢, 同时爪机向前进并运动至腹腔底部夹紧内脏旋转, 剥离内脏与腹腔之间的粘膜, 将内脏取出。试验结果表明, 对比传统的净膛机械手, 具有触觉系统的机械手在掏取内脏的过程中对内脏的破坏更小, 对家禽个体差异性要求更低, 且自动化程度更高, 该系统可实现手动掏膛和自动掏膛 2 种模式。

关键词 家禽加工; 屠宰净膛; 机械手; 触觉系统; 薄膜压力传感器

中图分类号 TP 241 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)06-0142-05

近年来, 我国每年家禽消费量的增速达到 5% 以上^[1]。家禽掏膛和净膛作业是家禽消费加工销售环节的第一步。目前, 家禽屠宰加工的掏膛作业分为自动联合作业和人工辅助流水作业 2 种生产方式。在欧美等发达国家, 全自动化屠宰装置在大型家禽屠宰生产企业得到普遍使用。但国内能引进全自动化作业装置的大型禽类屠宰加工企业较少, 目前多数企业主要采用人工辅助流水线生产作业, 家禽屠宰技术自动化程度较低。随着我国家禽消费量的不断增长和规模化养殖技术的普及, 将有更多的禽类屠宰加工企业应用自动掏膛设备, 而国外进口设备价格昂贵, 因此, 自主研发家禽自动净膛设备具有广阔的市场前景^[2]。国内外掏膛机械手发展至今, 机械手的掏膛方式不断改进^[3-8]。王丽红等^[9]研发的 QZN15 型扒取式自动取内脏机采用凸轮机构控制机械手完成自动取内脏操作。邢东杰等^[10]公开了一种家禽自动掏膛机的专利, 机械手结合了挖取式和夹取式 2 种结构的优点, 取内脏作业效果良好。王猛^[11]研发的一种夹取式家禽自动掏膛机械手, 通过家禽腹腔造型试验得到的腹腔轮廓曲线来设计机械手结构与运动参数, 能够实现较好的掏膛效果。目前掏膛机械手常见的结构形式主要有扒取

式、挖取式和夹取式^[12-13]。扒取式和挖取式机械手掏出的家禽内脏经食管连接挂在禽体一侧, 由于内脏取出过程中内脏和食管之间存在摩擦, 内脏破损率较高。夹取式掏膛机械手能够从家禽颈部夹断食管将内脏取出, 所以掏出的内脏破坏较小。但是上述 3 种机械手都没有触觉系统, 不能根据机械手对家禽内脏的压力大小来控制机械手的运动, 易导致内脏残留和胴体污染现象, 且当家禽个体存在差异时, 掏膛效果更差, 影响了内脏的销售。

针对国内掏膛机械手设计模式单一, 机械手不能根据承受压力大小自动调节等不足, 笔者对原有机械手进行改进, 以计算机为主控中心, 采用柔性薄膜压力传感器实时采集机械手对家禽内脏的压力, 单片机控制机械手完成前进、后退、张开、合拢和旋转动作, 实现内脏掏取过程自动化, 为触觉系统在掏膛机械手上的应用提供参考。

1 材料与方法

系统结构框图如图 1 所示。该系统主要由硬件和软件部分组成。硬件部分包括计算机、机械手爪机、舵机、单片机、薄膜压力传感器及辅助电路。软件部分的主要功能为压力数据的实时采集、显示

收稿日期: 2015-12-22

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAD19B00); 中央高校基本科研业务费专项(2662016PYD69)

熊利荣, 博士, 副教授. 研究方向: 农业电气化与自动化. E-mail: bearglj@webmail.hzau.edu.cn

通信作者: 王树才, 博士, 教授. 研究方向: 农业电气化与自动化. E-mail: WSC@mail.hzau.edu.cn

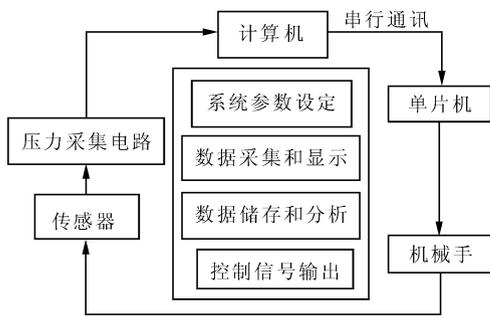


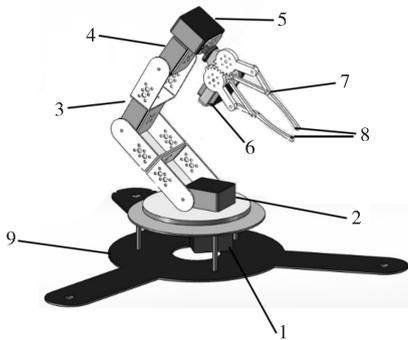
图 1 机械手触觉系统结构框图

Fig.1 The structure diagram of the haptic system for manipulator

和分析,并向单片机发送指令。

1.1 系统硬件

1)机械手。家禽屠宰净膛智能机械手采用六舵机控制的机械手臂,为夹取式机械手,其结构如图 2 所示。



1~6:舵机 Steering gear; 7.机械手爪机 Gripper machine; 8.薄膜压力传感器 Thin film pressure sensor; 9.底座 Bedplate.

图 2 六舵机控制机械臂结构示意图

Fig.2 The schematic diagram of the mechanical arm that controlled by six steering engine

图 2 中,机械手臂有 6 个自由度,由 6 个舵机连接手臂关节,控制每个关节的定位与运动,舵机编号从 1 到 6。舵机转动角度范围为 0~270°,最大扭矩大于 8 N·m;工作电压 12~24 V,控制精度达到 0.3°。同时,该舵机具有熔丝保护设置,当舵机电流出现异常时熔丝熔断起到保护作用。舵机采用 PWM 信号控制,PWM 信号周期为 20 ms,脉宽 0.5~2.5 ms。6 个舵机通过运动设计互相配合可以实现前进、后退等动作,并可以控制爪机的旋转,实现将内脏与腹腔壁之间粘膜的剥离。机械手爪机有两指,能够实现张开、合拢和旋转等动作。

家禽屠宰加工生产线上的家禽均采用倒挂式固定,同时切口在家禽腹部靠近尾端的地方。根据家

禽腹腔轮廓造型实验得到腹腔轮廓曲线^[11],质量为 1.7~2.0 kg 的肉鸡,以胸部为基准,腹腔深度约为 100 mm,从刀口处向下约(55±5) mm 处由直线阶段向圆弧形底部变化。腹腔轮廓正视图关于中心对称,呈倒三角状。因此,为了降低家禽个体差异和造型实验误差对净膛效果的影响,选用的爪机指长度为 200 mm。爪机距离底部 55 mm 长度位置开始有向内收缩的弧度,爪机从根部到指端厚度逐渐减小,配合腹腔轮廓曲线特点,爪机在掏膛过程中张开到最大角度时能够与家禽腹腔内壁完全接触;当爪机两指沿胸部紧贴内脏向下移动到最底端时,两指能够夹紧,夹断食管,控制爪机旋转 30°,剥离腹腔与内脏之间的粘膜,夹紧内脏带出。爪机在掏膛过程中张开到最大角度时能够与家禽腹腔内壁完全接触。

2)薄膜压力传感器。本系统采用压力传感器检测机械手爪机在掏膛过程中对家禽内脏的压力,因此,要求传感器接触测量面光滑,体积轻薄,便于安装。系统选用直径 7.5 mm 的压阻式薄膜压力传感器,量程范围为 0~5 N,厚度<0.1 mm,灵敏度较高。可将施加在传感器薄膜区域的压力转换成电阻值的变化,从而获得压力信息。电阻阻值与感应压力之间的关系曲线如图 3 所示。由图 3 可知,电阻值随外部压力的变化而变化。压力越大,电阻值越低。2 片传感器贴在爪机每根手指近指端内侧,引线与电线固定在爪机上。

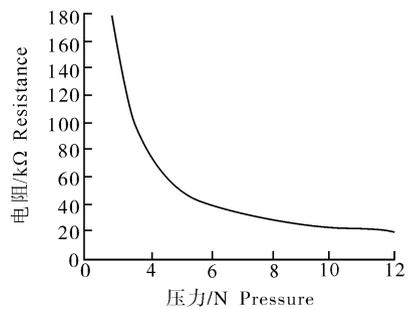


图 3 压力传感器特性曲线

Fig.3 The characteristic curve of pressure sensor

3)数据采集模块。压力信号采集电路如图 4 所示。

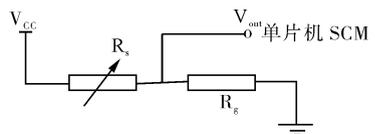


图 4 压力信号采集电路

Fig.4 The circuit of sampling pressure signal

图 4 的压力采集电路中,压力传感器阻值为 R_s ,将传感器串联 1 个 $1\text{ k}\Omega$ 电阻 R_g ,供电电压 V_{CC} 为 3.3 V ,单片机采集到分压电阻电压大小,将传感器阻值变化转换为电压变化,测量得到电压范围约在 $0\sim 2.5\text{ V}$,相应电阻值对应唯一的电压值。传感器阻值计算公式如下:

$$R_s = \left(\frac{V_{CC}}{V_{out}} - 1\right)R_g \quad (1)$$

压力 F 计算公式如下,其中 A 系数值为正, B 系数值为负。

$$F = A \times R_s^B \quad (2)$$

STM32 单片机自带 12 位集成 A/D 转换,将电压信号传送到 STM32 单片机进行 A/D 转换,最后将数据传送到电脑。

4) 输出控制模块。计算机采用串口通讯向单片机发送指令,系统使用意法半导体生产的 STM32 单片机作为输出控制器,具有功耗低、兼容性好、反应速度快等优点。单片机控制流程如图 5 所示。

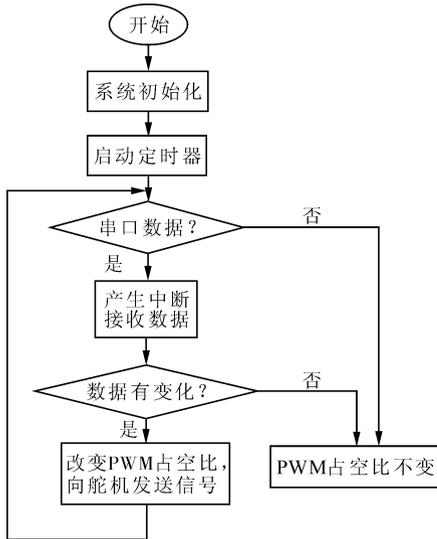


图 5 STM32 单片机控制流程图

Fig.5 The flow chart of SCM STM32 control

舵机的控制芯片选择种类较多,主要是应用单片机实现控制^[14-17]。单片机控制过程如下:当上位机向单片机发送串口数据,单片机就会产生串口中断去接收数据,并将数据放入比较寄存器,将该数据与寄存器内数据进行比较,依此改变输出的 PWM 信号占空比。主程序循环过程中,每循环 1 次就会改变 1 次占空比,如果串口没有接收数据或者发送的数据不变,则不改变占空比。单片机向舵机发送 PWM 脉冲信号,舵机将接收到的脉宽调制电信号转换成电动机轴上的角位移输出,实现机械手臂关

节的精准定位与运动。

实际工作时,使用 STM32 单片机的 6 个定时器分别输出 6 个 PWM 信号来控制 6 个舵机。机械手底座固定在地面上,将 1 号舵机锁死防止水平方向发生旋转,2~4 号舵机通过程序设计互相配合实现前进和后退动作,5 号舵机控制爪机旋转,6 号舵机控制爪机张开与闭合。

1.2 系统软件

系统的软件部分由一台安装 LabVIEW 软件的计算机完成。LabVIEW 使用图形化编辑语言编写程序,能实现可视化操作,具有数据采集与信号处理、数据显示和存储以及仪器控制等功能^[18-20]。

1) 人机交互模块。上位机的人机交互界面主要实现的功能有:掏膛模式的选择、参数设置、压力曲线显示等。本系统具有手动掏膛和自动掏膛 2 种模式。6 个舵机可以手动模式下设置初始角度,根据家禽悬挂位置来调节达到掏膛最佳设置。手动为单次执行,不能重复,主要用于试验研究和后续系统优化。自动模式下可以选择单次自动和连续自动,能够控制机械手根据设定好的参数不断重复掏膛动作,每次掏膛动作间隔时间可以由后台程序设定。用户可以人工输入机械手张开临界值(内脏最大承受压力),2 个传感器采集到的压力值实时显示在界面上,压力数据保存在压力曲线下方的数组框里。当机械手运动过程中出现问题需要急停时,按下急停按钮则系统停止工作,起到保护作用。

2) 数据分析模块。LabVIEW 软件将用户设置的张开临界压力值与传感器采集的压力值进行比较,当设置值大于采集到的压力值,则向单片机发送指令,控制舵机运动,实现爪机夹紧与前进;当设置值小于采集到的压力值,则控制舵机张开 1 次,继续前进。

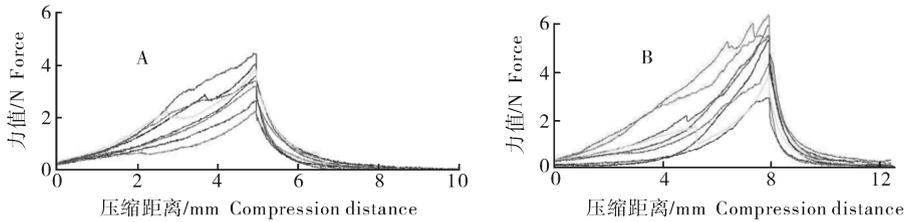
2 结果与分析

2.1 家禽内脏生物压力试验

为了保证机械手在掏膛过程中对内脏施加的压力保持在一个合理范围内,不损伤内脏,必须确定内脏所能承受的最大压力值。家禽内脏主要包括心脏、肝脏、肠等,而肝脏是掏膛过程中最容易破坏的内脏。因此,本研究主要考虑肝脏的抗压特性。内脏的抗压试验在美国 FTC 公司研发的质构仪 TMS-Pro 上进行,最大检测压力 $1\ 000\text{ N}$,机器的检测精度优于 0.015% 。购买农贸市场经过屠宰掏膛

的新鲜鸡肝,从中挑选出品质完好的鸡肝 50 个进行试验。选择的鸡肝要求前后组织膜比较完整,厚度适中,肉质饱满,用手轻轻按压弹性好,表面光滑。使用 20 mm 探头,设定压缩距离分别为 5、8 mm,探头预压速度、下压速度、压后上行速度均为 1.0

mm/s,起始感应力值为 0.5 N。2 种距离下测试内脏是否存在破损及内脏的损伤程度。质构仪测得的不同距离下鸡肝的压力特性曲线叠加图如图 6 所示。由图 6 可知,挑选的鸡肝在不同压缩距离下承受的压力峰值在 3~6 N 之间,鸡肝有压缩痕迹,但



A: 压缩距离为 5 mm Compression distance is 5 mm; B: 压缩距离为 8 mm Compression distance is 8 mm.

图 6 鸡肝压力特性曲线

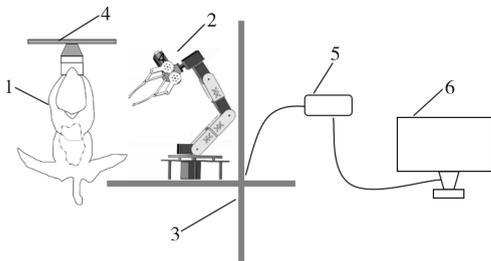
Fig.6 The pressure characteristic curve of chicken liver

是表面组织无明显破损或破损很小,品相较好,不影响销售和食用。因此,系统的压力参数范围设置为 3~6 N。

2.2 系统测试

购买农贸市场新鲜屠宰经过放血、烫毛、脱毛的肉质鸡,质量为 1.6~2.0 kg,健康状况良好。系统测试在图 7 所示的试验平台上进行。在腹部底端、肛门上侧切口,双腿倒挂并固定,将鸡屠宰净膛机械手底座固定于一块可调节高度的底板上,调整底板高度寻找合适位置,手动模式下调试系统,设置电机初始角度和压力参数范围。接通电源,运行程序,机械手能够根据爪机对内脏的压力调整张开的角度,计算机实时显示传感器采集压力值。掏出的内脏较完整,破损较小,很好地实现了掏膛动作。

要依靠机械结构设计来改良掏膛效果,不足之处在于,不能根据掏膛过程中遇到的具体的、实时的受力情况来调整机械手运动过程,掏膛效果还有待进一步改善。我们设计的家禽屠宰净膛机械手触觉系统在这方面做了很大改进。该触觉系统能够根据传感器采集到的实时压力数据来调整爪机的角度,避免对内脏压力过大造成内脏破损和残留,也减小了对腹腔壁的伤害。同时,该系统在软件设计上体现了功能强大、界面友好和开放性的特点。该系统设计了人机操作界面,可设置手动掏膛作业和自动掏膛作业 2 种工作方式。手动掏膛功能可用于进行参数调整、测试,自动掏膛功能则能够在设置好的参数下重复进行掏膛动作,能更好地保证掏膛效果。该系统能够实时检测并显示传感器压力数据,便于观察掏膛过程中压力的变化。同时,该系统也是一个开放的系统,可以根据作业对象(如鸭、鹅等)的不同,修改参数设置,使得系统能够对不同类型、不同大小的家禽进行掏膛,优化掏膛效果。后续研究中,可从以下两个方面对该系统进行改进:一是硬件方面,机械手爪机的设计可以进一步完善,做成更类似于人手指结构的多指、多关节机械手,能够更自由地根据压力来调整运动过程。同时可以定制精度更高的传感器,增加使用数量并合理分布传感器位置,应用多点压力采集系统,使压力采集的数据精度更高,实时性更好。二是软件方面,可以根据不同家禽进行机械手试验、调试后的最佳参数设置,进行参数优化和融合,提高该软件控制系统的适应性,使该系统能更方便地移植到其他畜禽净膛作业中。



1.肉鸡 Chicken; 2.机械手 Manipulator; 3.可调节升降台 Adjustable lifting table; 4.肉鸡固定装置 Chicken fixing device; 5.单片机 Single chip microcomputer; 6.计算机 Computer.

图 7 试验平台

Fig.7 Test platform

3 讨论

目前国内市场主流家禽屠宰掏膛机械手中,主

参 考 文 献

- [1] 张奎彪. 中国家禽屠宰加工技术及装备在“十二五”期间的发展目标[J]. 肉类工业, 2011(3): 8-11.
- [2] 王猛, 李阳阳, 叶金鹏. 家禽自动掏膛机械手的发展和应用现状[J]. 农产品加工·学刊: 中, 2014(5): 62-64.
- [3] 王丽红. 基于数字化设计的家禽取内脏机关键技术研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2011.
- [4] 马朋巍. 扒取式家禽取内脏机械手结构及运动参数研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2010.
- [5] SCHEIER D J, HATHORN J L. Method and apparatus for eviscerating poultry: US4262387[P]. 1981-04-21.
- [6] MEYN C. Apparatus for eviscerating slaughtered poultry: US5186679[P]. 1993-02-16.
- [7] VAN-DEN N A J, VAN-HARSKAMP C D. Eviscerating member, device and method for processing a cluster of viscera of a slaughtered animal: US6811478B2[P]. 2004-11-02.
- [8] SORENSEN B, ANDERSENT. Method and an apparatus for evisceration of poultry: US7976367[P]. 2011-07-12.
- [9] 王丽红, 阎楚良, 叶金鹏, 等. QNZ15 型家禽自动取内脏机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2010(S1): 220-224.
- [10] 邢东杰, 张奎彪, 张文辉. 一种家禽自动净膛机: 201220566234 [P]. 2012-10-31.
- [11] 王猛. 夹取式家禽自动掏膛机械手结构和运动参数的研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2014.
- [12] ANDERSEN T. An evisceration device and an apparatus for evisceration of poultry: WO2013007264[P]. 2013-01-17.
- [13] 马朋巍, 王丽红, 叶金鹏, 等. 家禽自动取内脏技术及装备在我国的应用前景[J]. 农产品加工·学刊, 2009(10): 93-96.
- [14] 韩庆瑶, 洪草根, 朱晓光, 等. 基于 AVR 单片机的多舵机控制系统设计及仿真[J]. 计算机测量与控制, 2015, 19(2): 332-334.
- [15] 周永龙, 雷金奎. 基于 STM32 的数字舵机控制系统的设计[J]. 计算机测量与控制, 2015, 19(1): 66-68.
- [16] 范启富, 张文锋, 温超. 基于 FPGA 的多功能多路舵机控制器的实现[J]. 控制工程, 2008, 15(6): 696-698.
- [17] 崇阳, 李言俊, 张科, 等. 基于 DSP 的模糊 PID 舵机控制算法设计与实现[J]. 飞行力学, 2011, 29(2): 86-88.
- [18] 张军, 李小煜, 王为, 等. 基于虚拟仪器的淡水鱼鲜度电子鼻测量系统[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 110-113.
- [19] 孙秋野, 柳昂, 王云爽. LabVIEW 8.5 快速入门与提高[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2009.
- [20] 袁媛, 李绍稳, 汪伟伟, 等. LabVIEW 软件平台在果园生态环境远程监测系统中的应用[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 186-188.

Designing intelligent manipulator with haptic system for poultry slaughtering and evisceration

XIONG Lirong YU Yang WANG Shucai

College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract The intelligent manipulator with a haptic system used for poultry slaughtering and evisceration was designed. The thin film pressure sensor was used to detect the force signal of manipulator finger pressure on poultry offal. LabVIEW software was used to display/process the pressure data in real-time, and send control signals to single chip. Then single-chip microcomputer produced PWM signal to control the servo arm movement of manipulator. If the haptic system detected pressure value greater than the maximum pressure set of visceral, SCM opened the claw machine automatically. Otherwise it was folded and the manipulator fingers moved to the bottom of the abdominal cavity, rotated to peel the mucous membrane between the purtenance and the abdominal cavity. The entrails were finally removed. The system had two eviscerated modes including manual mode and automatic mode. The trial results showed that the manipulator with touch sensor system produced smaller damage in the process of taking the internal organs out and had less requirement of individual poultry difference compared with the traditional evisceration manipulator, indicating that the degree of automation is high.

Keywords poultry processing; slaughter and eviscerated; manipulator; haptic system; thin film pressure sensor

(责任编辑: 陆文昌)