

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2024.02.052

基于机器视觉的小型自动穿串机给进器同步控制技术

吕晓冬,党玉东

(南阳市产品质量检验检测中心,河南 南阳 473004)

摘要:给进器是穿串机的关键硬件。针对控制难度较大的问题,研究一种基于机器视觉的小型自动穿串机给进器同步控制技术。分析穿串机给进器结构,构建机器视觉(摄像机)内、外参数模型,标定摄像机空间位置;采集给进器视觉图像,应用 Roberts 算子细化处理给进器视觉图像;基于 PID 原理设计模糊控制器,计算得到给进器同步控制模糊输出结果,完成肉块的自动穿串同步控制。实验数据表明:在不同实验工况下,应用提出技术获得的给进器同步控制时延最小值为 2 s,穿串成功率最大值为 96%。给进器同步控制时延较短,穿串成功率较高,控制效果更佳,进一步提升工作效率。

关键词:机器视觉;同步控制;小型自动穿串机;给进器;模糊控制器;控制时延

中图分类号:TS972.21 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2024)02-0247-05

Synchronous Control Technology of Small Automatic Threading Machine Feeder Based on Machine Vision

LYU Xiaodong, DANG Yudong

(Nanyang City Product Quality Inspection and Testing Center, Nanyang 473004, China)

Abstract: Feeder, the key hardware of threading machine, is difficult to control. To overcome the difficulty, a machine vision based synchronization control technology for small automatic threading machine feeder is studied. The feed structure of threading machine is analyzed, the internal and external parameter models of machine vision (camera) are built, and the spatial position of the camera is calibrated. The visual image of the feeder is acquired and Roberts operator is applied to refine the visual image of the feeder. Based on PID principle, a fuzzy controller is designed, and the fuzzy output of feeder synchronization control is calculated to complete the automatic threading synchronization control of meat. The experimental data show that under different experimental conditions, the minimum value of feeder synchronization control delay obtained by the proposed technology is 2 s, and the maximum value of threading success rate is 96%. The synchronous control delay of the feeder is short, the threading success rate is high, and the control effect is better, which further improves work efficiency.

Keywords: machine vision; synchronous control; small automatic threading machine; feeder; fuzzy controller system; control delay

0 引言

烧烤风味独特,是中国夏季盛行美食之一,是多人聚会休闲的主要方式,受到了人们的青睐^[1]。近几年,经营方式的增加与改变,使得烧烤行业得到了大力的发展,肉串需求量暴增,供不应求现象频发。传统穿串技术需要大量的人工与时间,很难实现肉串的大批量生产,无法满足夏季烧烤行业的需求,加深了肉串供给与需求的矛盾。另外,传统肉串加工方式还存在着食品卫生安全性难保障、工作人员工作强度大等缺陷,需要对其进行改革与升级。为了克服上述缺陷,小型自动穿串机应运而生,其主要由气缸(肉与插签)、置签箱、计数光控装置、穿签连架杆、插签推板、转签皮带、传

感器、给进器等构成,可以实现肉串的自动定位、停止、穿串、补签等功能,具备操作方便、全自动化、高生产效率等优势,不但能够提升肉串的生产效率,还能够解放劳动力,对烧烤行业的发展具有至关重要的作用^[2]。

给进器是小型自动穿串机的关键器件,其是否能够稳定作业直接关系到小型自动穿串机的整体性能。如果给进器控制失误,就有可能造成肉串无签、多签等现象的发生,使得生产的肉串无法直接使用,降低肉串生产效率,进而影响肉串的供给能力。为了避免上述现象的发生,对基于机器视觉的小型自动穿串机给进器同步控制技术进行研究,期望通过机器视觉的应用,提升小型自动穿串给进器的控制效果,为烧烤行业的发展提供有

第一作者简介:吕晓冬(1973—),男,河南南阳人,高级工程师,本科,研究方向为检验检测技术及标准化(轻工建材机械产品类),latang16938@163.com。

力的保障。

1 小型自动穿串机给进器同步控制技术研究

1.1 小型自动穿串机给进器结构分析

为了更好地同步控制给进器,首要任务就是依据小型自动穿串机的整体特点,深入地分析小型自动穿串机给进器结构,为后续机器视觉标定奠定坚实的基础^[3]。

小型自动穿串机给进器结构如图 1 所示。给进器主要由减速电机、丝杆、顶针、滑块等构成,内部还有滑轨、螺纹法兰等部件,共同实现肉块、签子的给进操作。



图 1 小型自动穿串机给进器结构示意图

减速电机采用直流电机,电源电压为 12 V,通过丝杆传动,从而带动螺纹法兰进行肉块给进运动。滑块与光轴利用焊接方式进行连接,共同形成竹签给进部件——顶针^[4]。

1.2 机器视觉标定

机器视觉是指利用机器代替人眼对目标进行测量与判断。此研究引入机器视觉系统获取给进器图像,单纯靠图像无法获取给进器的实际坐标信息,故需要对机器视觉进行标定,依据给进器图像坐标系与摄影机坐标系之间的关系,确定给进器目标物体的实际坐标信息,为给进器同步控制的实现做好充足的准备^[5]。

机器视觉标定实质上就是摄像机设备标定,其主要依据为内参数模型与外参数模型。在摄像机参数模型构建之前,建立摄像机坐标系、世界坐标系、图像坐标系与虚成像坐标系之间的关系结构,具体如图 2 所示。

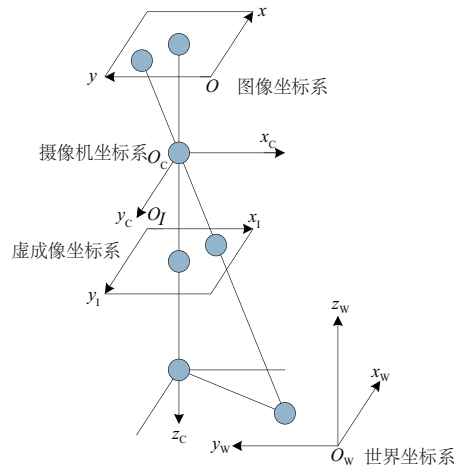


图 2 坐标系关系结构示意图

除此之外,机器视觉图像的像素坐标系 u, v 轴与物理坐标系 x, y 轴保持相互平行的关系,关系表达式为

$$\begin{cases} u = \frac{x}{dx} + u_0 \\ v = \frac{y}{dy} + v_0 \end{cases} \quad (1)$$

式中 (u_0, v_0) 表示图像物理坐标系原点对应的像素坐标信息^[6]。

将式(1)转换为矩阵形式,即可获得摄像机内参数模型,表达式为

$$\alpha \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & \beta & u_0 & 0 \\ 0 & f_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: α 表示设定的比例因子; f_x 与 f_y 分别表示 u, v 方向有效焦距的尺度因子; β 表示图像坐标轴的扭曲系数。

摄像机外参数模型主要是通过视觉图像像素坐标系与内参数模型之间的关联获得,表达式为

$$S_m = A [R_{w \rightarrow c} \quad T] M \quad (3)$$

式中: S_m 表示摄像机外参数模型; A 表示辅助参量矩阵; $R_{w \rightarrow c}$ 表示世界坐标系与摄像机坐标系两者的旋转矩阵; T 表示平移向量; M 表示标定板参量矩阵。

依据上述确定的摄像机内参数、外参数模型,结合小型自动穿串机给进器同步控制需求,将畸变系数考虑在内,实现摄像机的最终标定^[7]。设定给进器目标物体无畸变图像坐标系为 (\hat{u}, \hat{v}) , 其在摄像机坐标系中的坐标信息表示为

$$\begin{cases} x = \frac{\sum_{0 \leq i+j \leq 3} c_{ij} \hat{u}^i \hat{v}^j}{1 - \sum_{0 \leq i+j \leq 3} e_{ij} \hat{u}^i \hat{v}^j} \\ y = \frac{\sum_{0 \leq i+j \leq 3} d_{ij} \hat{u}^i \hat{v}^j}{1 - \sum_{0 \leq i+j \leq 3} e_{ij} \hat{u}^i \hat{v}^j} \end{cases} \quad (4)$$

式中: (x, y) 表示给进器目标物体在摄像机坐标系中的坐标信息; i 与 j 表示图像坐标像素编码; c_{ij} 与 d_{ij} 分别表示横坐标与纵坐标转换因子; e_{ij} 表示坐标信息转换的误差因子。

上述过程完成了机器视觉系统(摄像机)的标定,为后续给进器视觉图像的获取与处理提供帮助。

1.3 给进器视觉图像获取与处理

以上述标定后的机器视觉系统(摄像机)为基础,采集给进器视觉图像,并对其进行一定的预处理,确定给进器目标物体位置信息,为后续给进器同步控制的实现提供依据^[8]。

摄像机在同一时刻能够获取一张给进器视觉图像,视觉图像的质量会受到光照背景、空间位置、摄影机自身参数等多种因素的影响,从而导致给进器视觉图像存在着噪点,为给进器目标物体位置信息的确定带来阻碍与困难^[9]。

给进器视觉图像获取过程如表 1 所示。

表 1 给进器视觉图像获取过程表

| 获取步骤 | 操作描述 | 图像表示 |
|------|------|---|
| 1 | 采集 | $f(x, y)$ |
| 2 | 离散 | $\begin{bmatrix} f(x_0, y_0) & \cdots & f(x_0, y_{N-1}) \\ \vdots & & \vdots \\ f(x_{M-1}, y_0) & \cdots & f(x_{M-1}, y_{N-1}) \end{bmatrix}$ |
| 3 | 量化 | $[f(i, j)]_{M \times N}$ |
| 4 | 存储 | $[f_l(i, j)]_{M \times N}$ |

如表 1 所示,机器视觉系统在图像获取过程中,首先获得目标物体位置连续的模拟图像,经过离散操作获得单一的视觉图像,通过采样量化将其转化为二维矩阵形式(数字图像)进行存储,即可完成给进器视觉图像的获取^[10]。

此研究选取 Roberts 算子对给进器视觉图像进行处理,在不影响图像质量的基础上,细化视觉图像的细节,方便后续给进器目标物体位置信息的确定^[11]。Roberts 算子卷积模板如图 3 所示。

Roberts 算子细化处理视觉图像的计算公

式为

$$g_l(i, j) = \{ [\sqrt{f_l(i, j)} - \sqrt{f_l(i+1, j+1)}]^2 + [\sqrt{f_l(i+1, j)} - \sqrt{f_l(i, j+1)}]^2 \}^{1/2} \quad (5)$$

式中 $g_l(i, j)$ 表示经过 Roberts 算子处理后的给进器视觉图像。

| | | | | | |
|----|----|----|----|---|---|
| -1 | -2 | -1 | -1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | -2 | 0 | 2 |
| 1 | 2 | 1 | -1 | 0 | 1 |

图 3 Roberts 算子卷积模板示意图

上述过程完成了给进器视觉图像的获取与处理,为最终给进器的同步控制提供数据依据。

1.4 给进器同步控制实现

以上述处理后的给进器视觉图像为依据,基于 PID 原理设计模糊控制器,应用模糊控制器即可实现给进器的同步控制^[12]。

设定给进器目标物体位置偏差变化范围为 $[-x_e, x_e]$, 其对应的模糊集合论域为 $E = \{-n, -n+1, \dots, 0, \dots, n-1, n\}$ 。给进器目标物体位置偏差变化率的模糊集合论域为 $EC = \{-m, -m+1, \dots, 0, \dots, m-1, m\}$, 同步控制量的模糊集合论域为 $K = \{-l, -l+1, \dots, 0, \dots, l-1, l\}$ ^[13]。

为了方便研究的进行,对给进器目标物体位置偏差及其变化率进行量化处理,获取相应的量化因子,计算公式为

$$\begin{cases} \chi_E = \frac{n}{x_e} \\ \chi_{EC} = \frac{m}{x_e} \end{cases} \quad (6)$$

式中 χ_E 与 χ_{EC} 分别表示给进器目标物体位置偏差及其变化率的量化因子^[14]。

在模糊 PID 控制过程中,同步控制参数为 δ_p 、 δ_i 与 δ_d , 模糊同步控制推理规则如表 2 所示。

表 2 模糊同步控制推理规则表

| 项目 | NB | NS | ZO | PS | PB |
|----|----|----|----|----|----|
| NB | PS | NB | NB | NB | PS |
| NS | ZO | NS | NS | NS | ZO |
| ZO | ZO | NS | NS | NS | ZO |
| PS | ZO | ZO | ZO | ZO | ZO |
| PB | PB | PB | PS | PS | PB |

如表 2 所示, NB 代表负大、 NS 代表负小、 ZO 代表 0、 PS 代表正小、 PB 代表正大。上述模糊同步控制语言是根据量化因子实际情况进行制定的^[15]。

为了获得精确的给进器同步控制量,选取适当的隶属度函数,应用重心法计算模糊输出结果,计算公式为

$$\Delta\delta = \frac{\sum_{z_1 \in Z} A^*(z_1)z_1}{\sum_{z_1 \in Z} A^*(z_1)} \quad (7)$$

式中: $\Delta\delta$ 表示模糊输出结果; z_1 表示输出集合的元素; Z 表示模糊集合对应论域; A^* 表示输出模糊集合。

将式(7)计算结果输入到设计的模糊控制器中,控制器会编成相应的控制指令,使得小型自动穿串机给进器进行准确地作业,完成肉块的自动穿串功能,即实现了小型自动穿串机给进器的同步控制,为小型自动穿串机的应用与发展提供有力的帮助^[16]。

2 实验与结果分析

2.1 实验准备阶段

为了验证提出技术的应用性能,设计小型自动穿串机给进器同步控制实验。选取某型号小型自动穿串机的给进器作为实验对象,其实物如图 4 所示。

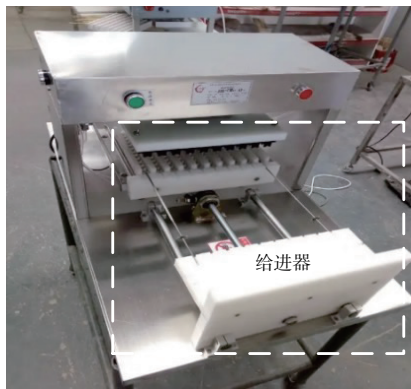


图 4 实验对象实物图

实验对象性能参数也是影响实验结果的关键因素,故需要依据实验需求对性能参数进行适当地配置,具体参数如表 3 所示。

实验设备选取也是实验顺利进行的关键环节。由于应用机器视觉系统获取给进器视觉图像,因此在实验准备阶段,选取适当的机器视觉系统设备。

表 3 实验对象性能参数配置表

| 性能参数名称 | 数值配置 |
|------------|---------------|
| 产品型号 | ML-1000 |
| 加工效率/(串/h) | 2 000 |
| 使用动力 | 气动 |
| 使用电压/V | 220 |
| 签子长度/mm | 250~300 |
| 产品尺寸/mm | 1 000×800×450 |
| 整机质量/kg | 40 |
| 操控装置 | 微电脑操控 |
| 整体材质 | 不锈钢板、食品塑料 |
| 签子直径/mm | 3.0~3.5 |

数据来源为该小型自动穿串机的 3 个月历史数据,将其分为 10 种工况,进行编号为:1)肉串长短不可调整;2)掉肉块;3)竹签规格不一致;4)单一气动传动;5)单一电动传动;6)气动传动与电动传动结合;7)感应式穿签 10 cm 以下;8)感应式穿签 10 cm ~ 35 cm;9)推力大小不均;10)机器摇晃。

除了工况不同之外,其余变量均保持一致,以此进行给进器同步控制时延与穿串成功率分析。

2.2 实验结果分析

依据上述实验准备内容,进行小型自动穿串机给进器同步控制实验。为了直观显示提出技术的应用性能,选取给进器同步控制时延与穿串成功率作为评价指标,具体实验结果分析过程如下。

1) 给进器同步控制时延分析

给进器同步控制时延反映着同步控制技术的操作效率。常规情况下,给进器同步控制时延越短,表明同步控制技术操作效率越高;反之,则表明效率低。

通过实验获得给进器同步控制时延数据如图 5 所示。由图 5 可知,在不同实验工况下,应用提出技术获得的给进器同步控制时延均低于给定的最大限值,最小值达到了 2 s。这是因为该方法反复设定了比例因子,动态匹配实际坐标信息,可以及时确定给进器目标物体的实际坐标信息,保证顶针控制的同步性,增加了控制效率。

2) 穿串成功率分析

穿串成功率反映着同步控制技术的控制精度。常规情况下,穿串成功率越高,表明同步控

制技术的控制精度越好;反之,则表明控制精度差。

通过实验获得穿串成功率数据如图6所示。

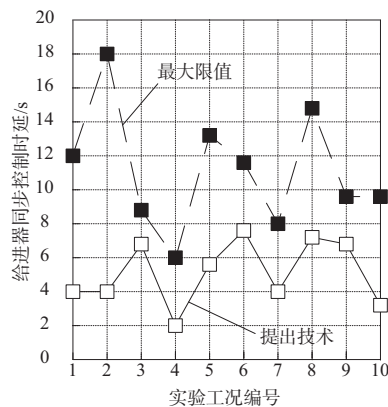


图5 给进器同步控制时延数据图

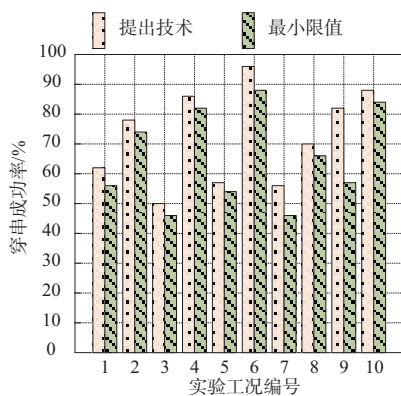


图6 穿串成功率数据图

如图6数据所示,在不同实验工况下,应用提出技术获得的穿串成功率均高于给定的最小限值,最大值达到了96%,穿串成功率较高。这是因为其考虑了畸变系数,及时更正坐标信息转换的误差因子,在无畸变图像坐标系的作用下,给进器可以智能定位目标位置,保证了控制效果。

3 结语

小型自动穿串机是现今烧烤行业应用极为广泛的设备,能够有效促进烧烤行业的发展。但是,给进器控制难度较大,使得穿串成功率无法满足烧烤行业需求。因此,引入机器视觉并提出了新的小型自动穿串机给进器同步控制技术,缩短了给进器同步控制时延,提升了穿串成功率,为小型自动穿串机的发展与应用提供助力,也为给进器控制相关研究提供参考。

参考文献:

- [1] 王立军,张拓,刘光伟,等. 基于机器视觉技术的高压断路器机械特性诊断[J]. 高电压技术,2020,46(6): 2148-2154.
- [2] 刘杰荣,王伟冠,何其森,等. 蛙跳式充电的无人机自主巡线技术与系统(二):基于机器视觉的自动充电控制[J]. 电力科学与技术学报,2021,36(6): 182-188.
- [3] 程伟,王磊,胡建华,等. 基于机器视觉技术的乏燃料贮存格架自动定位试验方法研究与应用[J]. 核动力工程,2020,41(6):198-201.
- [4] 陈梦迟,黄文君,张阳阳,等. 基于机器视觉的工业仪表识别技术研究[J]. 控制工程,2020,27(11):1995-2001.
- [5] 任永强,潘浩,李广涛. 基于机器视觉的轴承字符识别技术的研究[J]. 机床与液压,2020,48(5):11-14.
- [6] 王成军,韦志文,严晨. 基于机器视觉技术的分拣机器人研究综述[J]. 科学技术与工程,2022,22(3): 893-902.
- [7] 唐媛红,刘月云. 基于机器视觉的采摘机器人分拣控制研究[J]. 农机化研究,2021,43(11):216-220.
- [8] 林宁. 基于机器视觉技术的电梯曳引轮磨损检测研究[J]. 微特电机,2022,50(3):26-30.
- [9] 黄林彬,辛焕海,鞠平,等. 电力电子并网装备的同步稳定分析与统一同步控制结构[J]. 电力自动化设备,2020,40(9):10-25.
- [10] 程国栋,吴玮. 矿井带式输送机多电动机同步控制技术[J]. 工矿自动化,2021,47(12):81-86,127.
- [11] 胡祺,付立军,马凡,等. 弱电网下基于锁相控制并网变换器小扰动同步稳定分析[J]. 中国电机工程学报,2021,41(1):98-108.
- [12] 仰玲芳,马俊鹏,刘天琪,等. 弱电网下单相并网逆变器自同步控制策略[J]. 电力电子技术,2021,55(12):127-129,133.
- [13] 杨世刚,段君艳,辛社党. 西门子运动控制器多轴同步控制在尖轨锻造系统中的应用[J]. 机械设计,2021,38(增刊1):256-259.
- [14] 蒋德松,王荣杰,王亦春,等. 自动同步离合器恒阻尼控制方法[J]. 哈尔滨工程大学学报,2020,41(4): 519-524.
- [15] 王士贤,李军毅,张斌. 欺骗攻击环境下具有执行器故障的跳变耦合信息物理系统的同步控制[J]. 控制理论与应用,2020,37(4):863-870.
- [16] 李海燕,李静,方登建,等. 基于神经网络有限时间观测器的激光混沌系统同步控制研究[J]. 海军工程大学学报,2020,32(4):86-91.

收稿日期:2022-10-20