

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)06-0037-06

图像识别与运动控制一体化的自动咖啡拉花机设计

李思诺, 周旭

(山东华宇工学院, 山东德州 253034)

摘要:科技赋能民生,人们对生活品质的追求不断提升。全自动智能咖啡拉花机以多领域技术融合实现拉花自动化,既推动食品行业科技创新,又以高品质个性化体验,满足人们对美好生活的消费需求。设计灵感来源于3D食品打印技术,以STM32F103ZET6为核心控制单元,构建了运动平台、图像处理、运动拉花三大核心单元。研究中运用图像处理算法完成图像二值化、连通域标记与边缘检测的图像预处理,实现从原始图像到路径运动参数的转换;采用七段式S型加速减速算法调控步进电机运动,结合光电隔离技术消除信号干扰,保障运动控制精度;设计螺杆旋转式送料结构与可替换式注射喷头,适配不同黏稠度的拉花材料,实现机械自动化在咖啡拉花行业的应用。设备在连续工作状态下稳定性与可靠性良好,可有效替代人工拉花,减少专业咖啡师的重复劳动,助力咖啡行业降低人力成本、提升营业效益,同时为餐饮业技术现代化与品牌差异化发展提供支撑,在高端咖啡厅及家庭消费场景具备广阔的应用前景。

关键词:全自动咖啡拉花;机械自动化;图像处理;3D食品打印;S型加速减速算法;步进电机控制

中图分类号: TP273;TP317.4

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)06-0037-06

Design of automatic coffee latte machine based on integrated image recognition and motion control

Li Sinuo, Zhou Xu

(Shandong Huayu Institute of Technology, Dezhou 253034, Shandong, China)

Abstract: Technology empowers people's livelihood, and people's pursuit of a better quality of life is constantly rising. The fully automatic intelligent coffee latte art machine realizes latte art automation through the integration of multi-field technologies, which not only drives technological innovation in the food industry, but also meets people's consumption demand for a better life with high-quality and personalized experience. Inspired by 3D food printing technology, it takes STM32F103ZET6 as the core control unit and constructs three core units: motion platform, image processing and motion latte art. In the research, image processing algorithms are used to complete image preprocessing including image binarization, connected domain marking and edge detection, realizing the conversion from original images to path motion parameters. The seven-segment S-curve acceleration and deceleration algorithm is adopted to regulate the motion of stepping motors, and photoelectric isolation technology is combined to eliminate signal interference and ensure the accuracy of motion control. A screw rotary feeding structure and replaceable injection nozzles are designed to adapt to latte art materials with different viscosities, realizing the application of mechanical automation in the coffee latte art industry. The equipment features good stability and reliability during continuous operation, which can effectively replace manual latte art and reduce the repetitive work of professional baristas. It helps the coffee industry cut labor costs and improve operational efficiency, and at the same time provides support for the technological modernization and brand differentiation of the catering industry, boasting broad application prospects in high-end coffee shops and household consumption scenarios.

Keywords: automatic coffee latte; mechanical automation; image processing; 3D food printing; S-curve acceleration and deceleration algorithm; stepper motor control

随着时代的发展,社会物质水平不断提高,从社会需要来看,“人民日益增长的物质文化需要”升级为“人民日益增长的美好生活需要”已成为新时代的主要矛盾。这意味着人们对物质方面的需求已转换到精神方面的需求。相应的近两年在食品行业也掀起了文化创意与美食的跨

界融合,“文创+美食”的创新产品层出不穷,掀起了一波消费热潮^[1]。

在对咖啡行业了解之后,发现目前咖啡拉花方式的主流还是人工拉花,这种传统技术存在诸多劣势,专业的拉花人员需要长时间的培训,且复杂的拉花图案需要耗费大

收稿日期:2024-11-03;录用日期:2024-12-22

基金项目:2023年省级大学生创新创业训练计划平台申报项目(S202313857035)

作者简介:李思诺(2004—),女,研究方向:测控技术与仪器。

引用本文:李思诺,周旭. 图像识别与运动控制一体化的自动咖啡拉花机设计[J]. 自动化技术与应用, 2026,45(6):37-41,64. (Li Sinuo, Zhou Xu. Design of automatic coffee latte machine based on integrated image recognition and motion control[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(6):37-41,64.)

量时间和心思制作,拉花质量也得不到保障,学习费用和耗材也价格不菲^[2]。

为解决上述问题本文运用图像处理算法和路径规划算法,利用直线模组进行硬件底层开发,结合图像处理算法实现咖啡自动拉花,实现高效率、高自动化的咖啡拉花,取代人工拉花。复杂的图案都可以打印实现,与传统的手工拉花相比,不仅节省时间和精力,还能随时制作出高质量的设计,帮助商家减少人工成本并保证产品质量,从而提升店铺的销售额。

1 系统总体设计

全自动智能咖啡拉花机的设计融合了机械工程、电子工程与计算机等多个领域的先进技术。它主要由四大核心部分构成:运动平台结构、图像处理单元和运动拉花单元^[3]。

结合了当前喷墨打印、3D 食品打印、图像处理、路径扫描和直线模组等行业的前沿理论和实践技术,并考虑成品的批量生产和经济效益,进行设计的一台咖啡拉花机。系统设计在构建一个咖啡拉花机系统时,本文整合了上位机控制软件、STM32F103ZET6 控制器以及机械传动结构。如图 1 所示。其中,采用了专业的上位机软件 LaserGRBL,它不仅能够处理并分析输入的图像数据,还能根据分析结果实时生成 G 代码,实现数据的高效在线传输与处理。作为系统的核心控制单元,STM32F103ZET6 单片机担当了主控板的角色。该单片机通过串口通信,精准地从上位机软件中接收并解析出 G 代码数据。随后,这些数据被应用于单片机内部的控制算法中,通过精心设计的算法,实现了对步进电机旋转速度的精细调控,以及对喷头输出进给量的准确控制。

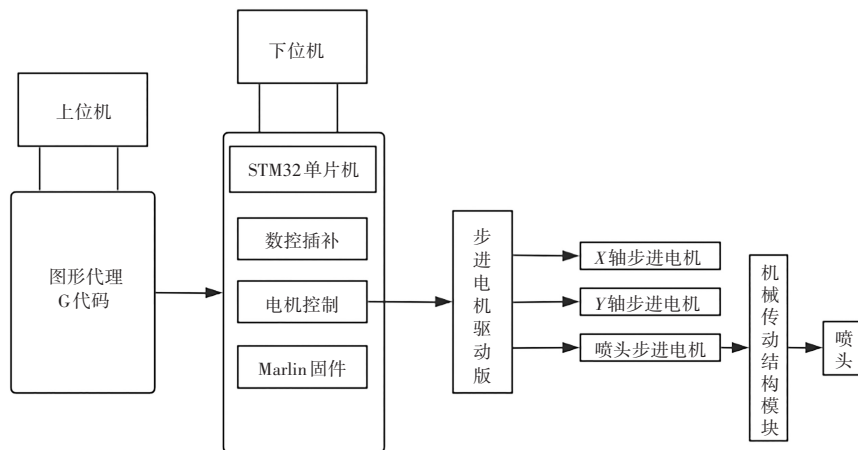


图1 整体结构组成

Fig. 1 Overall structure composition

1.1 运动平台结构

咖啡拉花机的平面移动机制设计以 X 轴和 Y 轴的双向移动为基础,利用步进电机来驱动同步带,从而推动直线导轨的移动。在这一过程中,采用了步进式伺服系统,确保了运动过程中的精准度,使得运动误差维持在±2 mm 以内。通过此配置,步进电机能够精准地推动直线导轨,完成在咖啡平面上的精细拉花图案制作。

1.2 图像处理单元

图像处理单元要在上位机进行图像二值化-连通域标记-边缘检测的路线设计,完成原始图像到路径数据运动参数的转换,其中图像二值化将原图处理为灰度图,然后在灰度图的基础上进行连通域标记,最后将标记出来的连通域进行边缘检测,得到连通域的边缘坐标。图像处理信息控制拉花流程如图 2 所示。

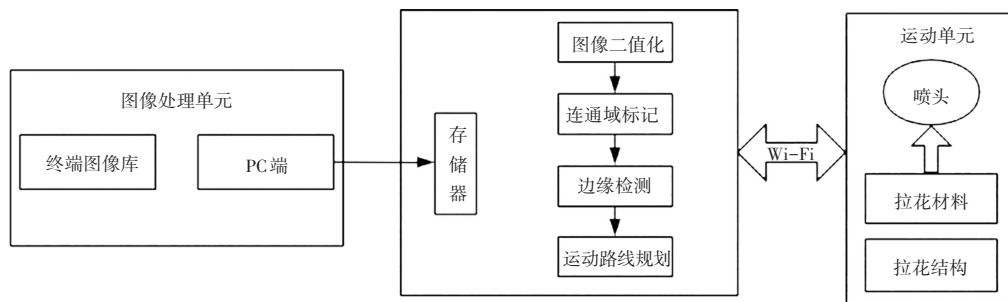


图2 图像处理信息控制拉花流程

Fig. 2 Flow chart of image processing information for latte art control

1.3 运动拉花单元

拉花结构部分根据拉花材料的选型,采用螺杆旋转式

送料结构和注射式喷头,由电机推杆带动装置进行送料。同时通过更换不同口径和形状的喷头,调整电动推杆速

度,实现对不同黏稠度的拉花材料进行图案打印,以适应不同材料特性的需求^[4]。在接收到打印数据和控制信号之后,控制喷头喷射拉花材料,完成拉花图案。拉花单元设计图如图3所示。

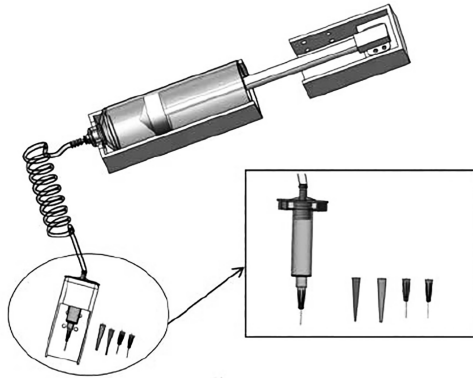


图3 拉花单元设计图
Fig. 3 Design drawing of latte art unit

2 详细设计

2.1 机械结构详细设计

1) 运动装置结构设计,导轨的移动精度对拉花效果和图案美观起着决定性作用。于是运动控制部分进行了进行步进电机、驱动器、光电隔离、开关电源和单片机的选型设计等,实现运动平台的动力单元和运动单元。使用步进电机驱动沿X轴和Y轴方向的直线运动导轨,通过控制同步带传动,确保了运动过程中的精准度,实现控制喷头架区域精准点位,使得运动误差严格控制在±2 mm以内。

2) 储料装置设计,由电动螺杆推送装置,300 cm³活

塞料筒,气管及转接口组成,通过3D打印设计支架固定在铝型材支架上^[5]。物料通过电动推杆由储物容器沿导管至喷头喷出进行拉花操作,电动推杆的动力源是通过驱动电机旋转产生动力,驱动推杆进行伸缩运动。本设计采用步进电机作为动力来源,电机和推杆之间,使用减速齿轮组将电机的高速旋转转换为推杆的低速、高精度的直线运动。确保推杆在运动时具有足够的扭矩和稳定性。电机的旋转通过减速齿轮传递给螺杆,螺杆的旋转驱动螺母进行直线运动,从而带动推杆进行伸缩。利用导套为推杆提供了稳定的运动轨迹,确保推杆在伸缩过程中不会偏离预定路径。

3) 喷涂装置设计,考虑到咖啡拉花材料的多样性及其特殊性要求,为了适应液体及黏稠度较高的拉花材料,如奶泡、奶油、可可酱等,可替换式注射喷头,经调研确定喷头口径选型在0.21~1.55 mm。

此外,在喷涂时螺杆行进速度则表示螺杆在单位时间内推进的距离,与材料的挤出速度密切相关^[6]。根据电机转速和螺杆行进速度估算出单位时间内拉花材料的挤出量。进而选择合适的喷头来完成图案绘制^[7]。

相对于传统的喷墨式咖啡拉花机智能打印可食用性液体颜料,这种设计扩展了可用于咖啡拉花的材料种类,使得从液态到高黏稠度材料均可使用^[8]。通过调节电机转速,可以精准控制料筒中材料的流量,确保其不仅适用于多种不同的材料,还能使挤出过程更加均匀和流畅。这项设计的应用,显著提高了咖啡拉花的效率和质量,同时也为创造复杂且美观的咖啡拉花图案提供了可能。

表1提供了材料挤出量对应的拉花材料示例,为不同黏稠度的材料提供了参考适用范围。

表1 电机带动螺旋送料结构对拉花材料挤出量的影响数据

Tab. 1 Core motion parameters of fully automatic intelligent coffee latte art machine

序号	电机转速/(r·min ⁻¹)	螺杆行进速度/(mm·s ⁻¹)	拉花材料挤出量 Q/(mm ³ ·s ⁻¹)	注释
1	100	1.0	0.92	适用于较为流动的材料,如薄奶泡
2	150	1.5	1.26	适用于中等黏稠度材料,如厚奶泡
3	200	2.0	1.74	适用于高黏稠度材料,如可可酱

2.2 控制系统详细设计

2.2.1 运动单元控制

针对上位机接收识别图像和STM32F103ZET6控制步进电机控制咖啡机拉花,使用相应寄存器配置GPIO引脚为输出模式,以便控制步进电机的运动。在软件内部,已经为X轴和Y轴步进电机产生了一个包含起始脉冲点和脉冲方向的列表。选择了通过间接方式控制运动拉花装置的GPIO,因此,这些脉冲数据通过串行通信协议发送给了下级控制器STM32。在STM32上,针对XYZ运动平台和步进伺服系统,已事先设置好了推挽输出模式,S型加速减速算法。如图4所示。

1) 在采用七段式S型加速减速算法时,遵循一种特定的速度变化模式,该模式包括7个连续的阶段:加加速

段(T_1)、匀加速段(T_2)、减加速段(T_3)、匀速段(T_4)、加减速段(T_5)、匀减速段(T_6)以及减减速度段(T_7)^[9]。此算法设计旨在确保运动开始和结束时速度变化较为平缓,中间阶段逐渐加速至最大速度 V_{max} ,然后再逐渐减速,从而使得整个运动过程更加稳定。

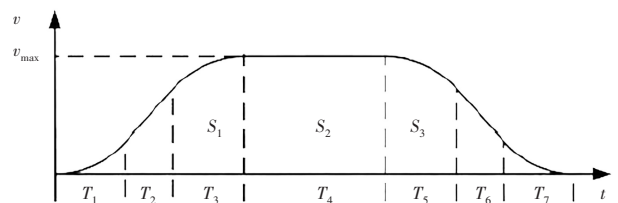


图4 7段式S型速度曲线规划

Fig. 4 Seven-segment S-curve velocity curve planning

设初始速度为 V_s , 目标速度为 V_e , 且存在一个预设的最大速度 V_{\max} 。同时, 本文定义加加速度的最大值为 J_{\max} 。基于 S 曲线的对称性, 当运动过程可以达到最大速度时, 加速过程的加速段 (T_1) 与减加速段 (T_3) 的持续时间相等, 同理, 减速过程的加减速段 (T_5) 与减减速段 (T_7) 的持续时间也相等。

为了简化速度计算, 本文引入了过渡点时刻 t_k ($k = 0, 1, \dots, 7$) 来表示每个阶段的起始点, 同时定义了各个阶段的持续运行时间 T_k ($k = 1, \dots, 7$)。为了更方便地进行数学计算与程序设计, 本文进一步引入了局部时间坐标 τ_k ($k = 0, 1, \dots, 7$), 它表示以各阶段的起始点为时间零点的相对时间。这样, τ_k 就代表了当前时刻与阶段起始时刻之间的时间差。通过将 τ_k 作为每一段的自变量, 并将上一段结束时的速度作为本段的初速度, 可以分段计算速度值, 从而大大简化了速度表达式的复杂性。这种方法相当于将每个阶段的纵坐标轴 (即速度轴) 平移到其对应的过渡点处, 实现了分段计算, 为理论分析和程序设计带来了极大的便利^[10]。

2) 通过使用光电隔离来消除信号干扰并提高信号电压, 保证了向步进电机驱动器稳定输出控制脉冲信号, 由此驱动器指挥步进电机移动, 以完成绘制图案的操作。

3) 其中 STM32F103ZET6 选用推挽输出控制 T_2 和 T_3 IO 口输出两路 PWM, 产生的控制方向和运动的 PWM 波经由板载串口输出到光耦隔离信号输出端, 经由光耦隔离从 3.3 V 升压到 5 V, 同时起到信号隔绝和防止干扰的作用, 然后输出到信号器的方向信号接收端和脉冲信号接收端, 驱动器通过共阳极或者共阴极接法将 AB 相连接到两步进电机进行驱动^[11]。

2.2.2 拉花单元控制

在上位机导入图片后将用户上传的图片或者本地资源库已有的图片应用图像处理算法输出 G 代码轨迹坐标参数控制运动单元。主要步骤包括图像二值化、连通域标记提取以及边缘检测等。其中图像二值化完成对灰度图片的提取处理, 连通域标记完成对灰度图的连通域分割, 边缘检测完成对各个连通域的边缘提取, 最终输出各个连通域边缘的坐标和脉冲控制参数。图像处理信息如图 6 所示。

1) 图像二值化。对于二值化, 其目的将图片像素点的灰度值分成 0 或 255 两种, 彩色图像转变为黑白图, 使得后续图像处理中的数据量大为减少, 使其能够突出图像的边缘轮廓, 而且大大简化了工作空间求解的计算量, 大幅提高了计算效率。利用局部阈值二值化的方法。该方法是将一幅完整的图像分割成小区域, 对于每一个小区域利用其独有的阈值进行二值化, 然后将二值化后各个小区域合并在一起。

Otsu 算法是通过图像像素值进行自动计算的方法。对于一幅尺寸为 $M \times N$ 的图像 $I(x, y)$, 存在一个关键的分割阈值 T , 用于区分前景 (即目标对象) 与背景^[12]。在此,

本文定义前景像素点占整幅图像的比例为 ω_0 , 这些像素点的平均灰度值为 μ_0 ; 而背景像素点占图像的比例为 ω_1 , 其平均灰度值为 μ_1 。此外, 图像的整体平均灰度被标记为 μ , 而类间方差则用 g 来表示。

进一步地, 统计图像中灰度值小于阈值 T 的像素数量, 记作 N_0 ; 同时, 灰度值大于阈值 T 的像素数量记作 N_1 。这些统计量将为本文提供关于图像内容分布的重要信息, 并在后续的图像处理和分析中发挥关键作用。

$$w_0 = N_0 / M \times N \quad (1)$$

$$w_1 = N_1 / M \times N \quad (2)$$

$$N_0 + N_1 = M \times N \quad (3)$$

$$w_0 + w_1 = 1 \quad (4)$$

$$\mu = w_0 \times \mu_0 + w_1 \times \mu_1 \quad (5)$$

$$g = w_0 (\mu_0 - \mu)^2 + w_1 (\mu_1 - \mu)^2 \quad (6)$$

2) 在咖啡拉花机进行拉花图案绘制时, 需要对复杂图案做一部分精简工作来减少算法的执行耗时和增加算法效率, 采用留取主要的一些大块区域, 删除零散的、小块区域的方式, 这样既可以保留拉花图案的美观性, 又能高效执行算法。

选择使用 morphology 子模块的 remove_small_objects 函数。函数格式为 remove_small_objects (ar, min_size, connectivity, in_place)。

3) 边缘检测: Sobel 算子巧妙地运用了局部平均化的思想, 因此它对于图像中的噪声具有显著的平滑效果, 能有效削弱噪声对图像处理的不利影响^[13]。其核心构成包含两组特定的 3×3 矩阵, 这些矩阵分别对应于横向和纵向的滤波模板。通过将这两组模板与待处理的图像进行平面卷积运算, 可以精确地计算出图像在横向和纵向上的亮度差分近似值。这种运算方式不仅增强了图像的边缘检测能力, 同时也提升了图像处理的准确性和鲁棒性。

检测水平方向 沿横向模板。

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

检测垂直方向 沿纵向的模板。

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

在图像处理中, 为了量化每个像素点的局部变化方向及其强度, 可运用特定算法计算其在水平和垂直方向上的梯度近似值。随后, 通过这两个方向上的梯度值进行结合, 能够精确地计算出每个像素点处梯度的总大小。

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (9)$$

然后可用以下公式, 计算梯度方向。

$$\theta = \arctan \frac{G_y}{G_x} \quad (10)$$

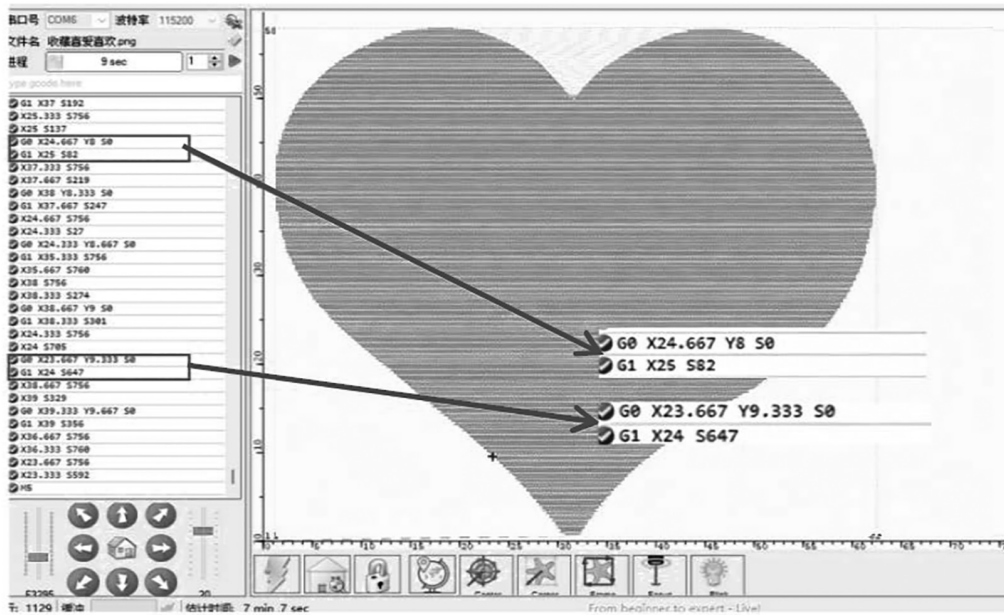


图5 边缘坐标信息

Fig. 5 Edge coordinate information

3 实物制作及实验结果

在完成全自动智能咖啡拉花机的设计后,进行了实物的制作。如图6所示。机器的整体尺寸为长455 mm、宽486 mm、高1744 mm。其在有效运动范围-行程方面,于X轴方向可达340 mm,于Y轴方向同样为340 mm。

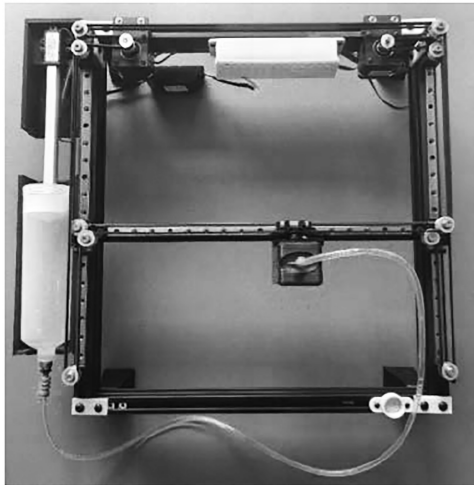


图6 实物图

Fig. 6 Physical prototype drawing

运动拉花单元能够根据不同的拉花材料特性,调整喷头和电动推杆的参数,设置推挽输出模式,通过S型加速减速算法,简化速度计算引入过渡点时刻 t_k 、持续运行时间 T_k 和局部时间坐标 τ_k 进行分段计算速度值,同时采用光电隔离和STM32F103ZET6的相关设置驱动步进电机,实现了对多种黏稠度拉花材料的稳定输出,绘制出的图案线条流畅、均匀,饱满度和形状都达到了较高的质量标准。与传统手工拉花操作相比其出错率更低,且平均完成一杯咖啡拉花的时间为74 s。

表2 咖啡拉花效率统计表

Tab. 2 Statistical table of coffee latte art efficiency

爱心图案咖啡拉花	电机速度($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	所用时间/s
第1杯	1 000	85
第2杯	1 000	78
第3杯	1 000	70
第4杯	1 000	66



图7 拉花效果图

Fig. 7 Effect drawing of latte art

此外,经过多次重复实验,设备的稳定性和可靠性得到了验证。在连续工作的情况下,未出现明显的故障或性能下降,能够满足商业应用的高强度需求。

4 结论

经过实验测试,实现将多杯咖啡放置在设备上,通过将所需图片传输至上位机,用户只需轻按启动键,即可实现在咖啡上绘制图案。与传统的手工拉花相比,咖啡拉花打印机不仅节省时间和精力,还能随时制作出高质量的图

(下转第64页)

- Physics; Conference Series, 2024, 2846(1):012014–012014.
- [7]李奇, 苏兰茜, 何祖祥, 等. 中缅管道初设阶段水工保护工程量优化计算方法[J]. 油气储运, 2019, 38(5):590–594,600.
- [8]徐家俊, 贺文武, 李溢荣, 等. BIM+无人机激光扫描技术在土石方工程量计算中的应用[J]. 广州建筑, 2024, 52(8):77–80.
- [9]钱原铭, 陈良志, 朱峰. 自主产权的航道设计 BIM 软件的研发与工程应用[J]. 水运工程, 2024(4):150–156.
- [10]付欢, 史健勇, 王凯. 基于 BIM 的工程量计算与计价方法[J]. 土木工程与管理学报, 2018, 35(1):138–145.
- [11]崔艳军, 陶刚, 刘永涛. 基于航空摄影的输电线路环水保三维设计应用研究[J]. 电力勘测设计, 2024(2):74–80.
- [12]卢文飞, 袁竞峰, 张嘉澍, 等. 基于机器学习算法的输电线路工程投资预测[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(17):6992–7001.
- [13]高贺, 孔超, 屠庆波, 等. 建立配网典型工程量清单计价管控体系[J]. 中国电力企业管理, 2024(15):52–53.
- [14]严尔梅, 时磊, 刘博迪, 等. 基于北斗定位和数据融合的输电线路在线监测应用研究[J]. 电力信息与通信技术, 2025, 23(6):23–30.
- [15]黄琪训, 李海强, 周锴鹏, 等. 基于多传感器融合的变电站多节点数据传输方法[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(6):80–84.
- [16]黄琪训, 刘璨真, 曾伟胜, 等. 基于数据融合的变电站无线传感器网络控制方法[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(5):24–27.
- [17]王海明, 贾玲, 黄琪训, 等. 基于深度混合卷积的变电站多传感器数据融合方法[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(4):130–133,158.
- [18]熊彪. 基于视觉与激光雷达的输电线路无人机自动化巡检控制[J]. 自动化与仪表, 2024, 39(7):37–41.
- [19]Changbin Tian, Xin Ma, Xiangxue Ma, et al. Optimal design of FBG flexible sensor for high-precision monitoring of three-dimensional deformation of power transmission line tower foundation[J]. Energy Reports, 2023, 9(Sup. 3):46–54.
- [20]垢元培, 张鸽. 航测点云数据在矿山修复工程量复核中的研究与应用[J]. 金属矿山, 2024(8):191–196.
- [21]李晓康, 李文彬. 特高压输电线路覆冰舞动防治技术研究[J]. 电气技术与经济, 2025(6):86–89.
- [22]仇安兵, 张洪达, 贾北凝, 等. BIM 在改造项目工程量复核中的应用[J]. 建筑经济, 2025, 46(5):61–66.
- [23]任春光, 孟长虹, 史卓鹏, 等. 智能变电站施工控制的三维可视化系统研究和设计[J]. 制造业自动化, 2023, 45(9):79–83.
- [24]谢从珍, 梁国龙, 王纪港, 等. 基于种群自适应蜉蝣优化算法的输电铁塔传感器优化布置[J]. 广东电力, 2025, 38(2):75–84.
- [25]冯迪, 刘灏, 李嘉贤, 等. 基于电场传感器阵列的输电线路电压非接触式测量方法[J]. 高电压技术, 2024, 50(1):292–301.
- [26]吴海涛, 史梦梦, 王鹏, 等. 北斗系统在输电线路监测中的应用综述[J]. 电讯技术, 2025, 65(6):997–1004.
- [27]Guangxin Zhang, Minghui Liu, Shichao Cheng, et al. Research on transmission line tower tilting and foundation state monitoring technology based on multi-sensor cooperative detection and correction[J]. Energy Engineering, 2023, 121(1):169–185.
- [28]刘浩, 史新华, 陈强. 基于传感器技术的智能电网输电线路监测系统[J]. 电子设计工程, 2023, 31(10):172–176.

(上接第 41 页)

案。这不仅提升了咖啡的品质和顾客的满意度,也在一定程度上减轻了劳动力压力,减少专业咖啡师在工作中的重复劳动,让他们能够将精力更多投入到咖啡品质提升与创新服务上,降低企业的人力成本,提升营业效益。此外,全自动智能咖啡拉花机能够作为餐饮业技术现代化的缩影,成为推动该行业现代化、品牌差异化的重要因素^[14]。

通过对全自动智能咖啡拉花机项目的深入研究,我们预见该创新设备具有广阔的发展前景。随着消费者对于个性化和高品质咖啡体验需求的持续增长,相信该类机器能力的提升也预示着未来在高端咖啡厅及家庭消费场景中有着巨大的发展潜力^[15]。

参考文献

- [1]王炎. 乡村振兴背景下艺术色彩在美食文创设计中的运用[J]. 食品与机械, 2025, 41(5):255–256.
- [2]刘昊, 王祝华, 赵汉斌, 等. 消费热浪之下,咖啡产业该如何“强链补芯”[N]. 科技日报, 2026–04–09(005).
- [3]闫帅. 咖啡拉花机关键技术研究[D]. 北京:北京邮电大学, 2019.
- [4]王羽. 植物蛋白基材料 3D 打印特性及工艺研究[D]. 重庆:西南大学, 2024.
- [5]但誉宏. 用于植物蛋白 3D 打印的设备设计及仿真研究[D]. 南昌:南昌大学, 2023.
- [6]蒲俊, 王植平, 黎文远. 图像处理技术在糖画机中的运用[J]. 科技风, 2020(31):13–14.
- [7]寇锟, 陈复生, 杜艳, 等. 挤出型食品 3D 打印技术及其在蛋白基食品中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(16):374–385.
- [8]何晓建, 马海琴, 冯小芸. 浅谈 APP+3D 打印快速成型技术商业模式加工模具的市场前景[J]. 模具制造, 2024, 24(4):44–47.
- [9]戴小炼. 基于稳定控制策略的三维雕刻平台[D]. 南京:南京信息工程大学, 2024.
- [10]吴海帆, 李树东, 朱广亚. 基于 ESP32 的脚踝康复机器人的控制系统设计[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(6):136–139.
- [11]苏祥江. 基于绿色低碳理念的 STM32 步进电机智能控制系统设计与实现[J]. 现代工业经济和信息化, 2025, 15(12):131–132,135.
- [12]蒋方懿. 基于数字散斑的图像处理性能优化研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学, 2025.
- [13]何志勇, 李伟, 闫松, 等. 数字图像边缘检测算法研究[J]. 电子技术应用, 2025, 51(8):70–73.
- [14]于璇. 千亿咖啡市场引混战,咖啡机能否借势起飞?[J]. 电器, 2021(5):48–50.
- [15]蒋加云. 3D 打印技术在个性化食品成型机械中的应用探索[J]. 现代食品, 2026(1):4–6.