

# 自动积木拼接机设计及视觉防错方法

宋建军, 徐挺

(上海电子信息职业技术学院, 上海 201411)

**摘要:** 该研究的目的是设计自动积木拼接机并解决容易出现的故障问题, 实现积木画的全自动可靠拼接。为此, 提出了一种自动积木拼接机的设计方案和主要算法。以此为基础, 设计自动积木拼接机及相应的视觉防错装备。设备运行结果表明, 控制精度满足实际需求, 视觉方法有效, 可以成功实现积木画全自动可靠拼接。为积木画自动拼接提供了一种可行的解决方案, 具有较高的实际应用价值。

**关键词:** 积木画; 自动拼接; 设备控制; 轮廓提取; 视觉防错

中图分类号: TP273 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)04-0048-06

## Design and Visual Error Prevention Methods for Automatic Building Block Assembly Machine

SONG Jian-jun, XU Ting

(Shanghai Technical Institute of Electronics & Information, Shanghai 201411 China)

**Abstract:** The objective of this study is to design an automatic building block paintings assembly machine and address the common issues that arise during the process, ultimately achieving fully automated and reliable assembly of block paintings. In order to accomplish this, a design scheme and main algorithm for an automatic building block paintings assembly machine are proposed. Building upon these foundations, an automatic building block paintings assembly machine and corresponding visual error prevention equipment are designed. The operational results of the equipment demonstrate that the control accuracy meets practical requirements, and the visual method is effective, enabling successful achievement of fully automated and reliable assembly of building block paintings. This study provides a feasible solution for the automation of building block paintings assembly, with significant practical value.

**Keywords:** building block drawings; automatic assembly; device control; contour extraction; visual error prevention

### 0 引言

积木画是当前市场上备受关注的产品, 它利用大小相同但颜色不同的积木块作为像素点, 通过拼接组合形成一幅图画。通常, 在计算机软件的协助下, 可以将原始图像转换成像素图像, 即一组由像素点组成的图像。每个像素点对应选取一个同色或相近颜色的积木块, 并将其拼接成一幅完整的画作。像素图像的生成方法具有一定的多样性, 可以根据实际需要进行选取<sup>[1-3]</sup>。像素图像最初起源于游戏领域, 并且已广泛应用于其他领域<sup>[4-5]</sup>。其特点是由离散的像素点组成, 具有可编辑性、分辨率灵活性、缩放和变换的能力, 以及高效的存储和传输效率, 这使得像素图像成为数字图像处理、计算机图形学和信息传输领域中的重要基础。然而, 传统积木画制作行业高度依赖人工, 需要手工选料、拼接, 自动化程度较低。

即使相对简单的积木像素画, 仍需耗费较多人力, 成本居高不下。因此, 研究如何提高积木画制作的自动化程度具有重要意义。

目前, 国内外关于积木画、积木雕塑自动拼接的研究相对较少, 在自动拼接设备设计方面缺少相关指导理及应用实践<sup>[6-7]</sup>。开发高效的自动积木拼接设备将会极大地提升积木画制作效率, 进一步降低积木画成本, 提高企业自身竞争力。自动积木拼接设备开发的过程中将面临一些技术挑战。首先, 设计的过程中缺少相关理论指导, 这给设备的开发造成了困难。其次, 积木自动拼接设备对控制要求相对较高, 尤其是自动拼接环节。同时, 在设备成本方面存在一定限制, 过高的设备成本将导致产品无法进行行业推广, 这无疑也增加了开发难度。研究自动积木拼接设备相关理论及控制方法十分有必要。

积木拼接设备的工作过程通常可以分为自动取料、自动拼接两个过程。由于积木块结构原因, 取料时极易取到相互叠加的积木块。这样的积木块容易影响设备的

\*基金项目: 上海高校青年教师培养资助计划科研专项项目 (E1-0501-18-JSPY (09))

收稿日期: 2024-01-10

正常运行,造成设备停机,从而影响工作效率。因此需要开发专门的防错设备,最大程度减小设备停机概率。

随着深度学习视觉技术的快速发展及应用<sup>[8-10]</sup>,视觉防错能力有了较大的提升<sup>[11-13]</sup>,该方法也逐渐应用于各种高端自动化设备。然而计算机视觉技术普遍存在算力要求较高的缺点<sup>[14-15]</sup>,普通算力嵌入式设备能够运行的视觉处理程序有限。这造成了设备成本的大幅上升,极大地限制了视觉方法的应用。除了成本限制外,工业化设备通常还要求在线实时检测,开发低算力要求的视觉防错方法及设备成为一项关键任务<sup>[16-17]</sup>。

提出一种自动积木拼接机设计原理,基于三轴立式模组构建自动取料及拼接控制方法。依据所提理论开发样机,并进行验证。提出一种可靠的低算力要求视觉防错方法,开发视觉防错程序,对所提方法进行验证。

## 1 自动积木拼接机概述

自动积木拼接机是一种高度自动化的设备,用来代替人工拼积木图。图1为自动积木拼接机示意图,设备主要由计算机、控制器、取料机械手、拼接机械手、取料区域、料盒、拼接区域等组成。

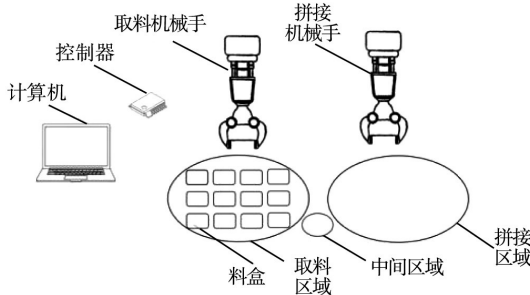


图1 自动积木拼接机示意图

计算机接收用户导入的图片,通过上位机程序将图片转化为像素图像,并进行相关图像运算。将运算结果通信传输给下位机控制器,控制器对取料机械手、拼接机械手进行直接控制。在取料区域设置存放不同颜色积木的料盒,并对这些料盒进行编号,记录坐标。取料机械手从料盒中将特定颜色的积木块取出,放置在中间区域,拼接机械手抓取并在拼接区域进行准确拼接。

考虑到控制精度和成本,机械手通常安装于三轴立式模组上,在满足精度要求的前提下,此类模组能够有效降低成本。其动力装置一般为高精度伺服电机,伺服电机在控制速度和位置方面具有较高的精度。与步进电机相比,伺服电机在控制精度、扭矩等方面都具有优势<sup>[18]</sup>。自动积木拼接机通过自动化的方式将手工拼接过程转化为自动拼接,它可以根据程序或者指令来操作,并且能够准确地将积木块进行排列和拼接。

图2为该研究设计的自动积木拼接机,用来完成积木画自动拼接功能。在取料区域,颜色积木盒的数量是80个,排列如图所示,支持80种不同颜色的积木任意拼图组合。其中,每个颜色积木盒最多能储存100颗5.18 mm × 5.18 mm型号积木块。

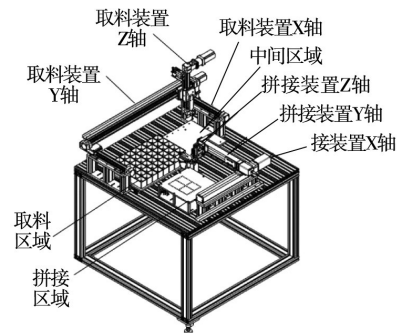


图2 自动积木拼接机

积木取料装置由直线同步带模组、伺服电机等组成。通过三组伺服电机驱动直线同步带模组,实现三维空间定位控制,X轴、Y轴、Z轴三组直线同步带模组如图2所示,模组内部及模组间采用RS485协议进行通讯。积木拼接装置采用超高精度丝杠模组与50 mm行程导轨气缸相配合。其中,超高精度丝杠模组包括X轴、X轴控制器、Y轴、Y轴控制器,X轴的行程是400 mm,Y轴的行程是300 mm。

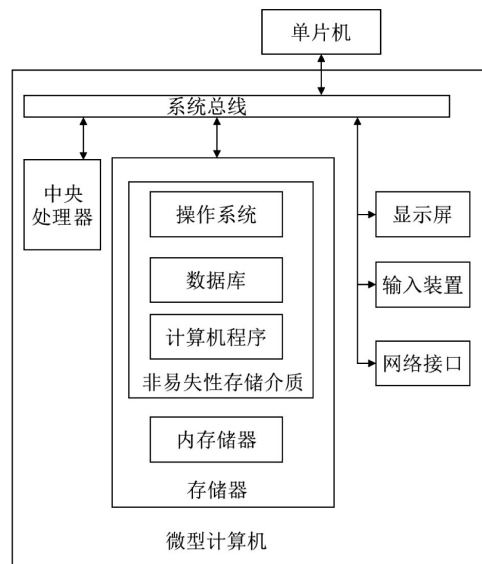


图3 控制设备框架图

该自动拼接控制设备包括通过系统总线连接的中央处理器、单片机、存储器、网络接口、显示屏和输入装置等,如图3所示。采用微型计算机作为上位机,用于进行较为复杂的图形运算,与用户进行接口。微型计算存储设备包括非易失性存储介质、内存存储器。非易失性存储介质存储有操作系统和计算机程序,内存存储器为操作系统和程序的运行提供环境。网络接口用于与外部的终端通

过网络连接进行通信。显示设备为液晶显示屏,按键、轨迹球、键盘、触控板、鼠标等都可以作为输入设备。单片机是工业设备常用的下位机控制器,用于进行相关的控制和计算,自动拼接设备采用飞思卡尔NXP60系列单片机。通过上位机和下位机的协同实现积木画自动拼接控制。

图4为视觉防错装置示意图,当取料机机械手将积木块放置在中间区域取料处进行视觉检测时,摄像头对积木块进行拍照。

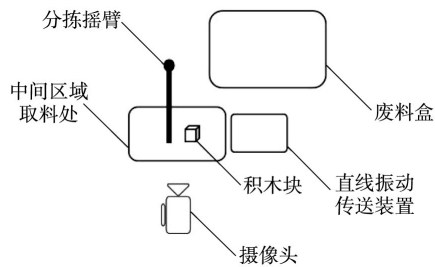


图4 视觉防错装置示意图

视觉程序对照片进行一定处理,并判断该积木块是否为叠加积木块。如果该积木块为正常单个,分拣摇臂轻轻将其推入直线振动送料装置,积木块继续向下流转。如果该积木块被识别为异常叠加积木块,分拣摇臂将快速转动将积木块拨进废料区域,取料机机械手重新抓取该颜色积木块,并进行视觉检测。

## 2 自动拼接原理与控制方法

### 2.1 自动拼接原理

手工拼接积木画时,首先要利用计算机软件生成像素图,进而依据像素图进行取料与拼接。自动拼接的过程与此类似,本文提出一种自动积木拼接机设计方法,如图5所示。

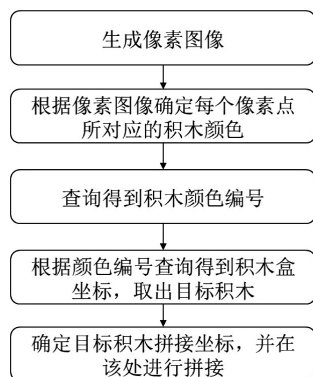


图5 积木画自动拼接原理示意图

具体步骤包括:

(1) 获取积木画的像素图像,根据像素图像确定每个像素点对应的积木颜色。

原始图像一般由用户提供,通过上位机软件将原始图片分解生成适当的像素图像,图像中每个像素点对应特定积木颜色。即根据像素点的颜色确定所对应的积木颜色。

(2) 查询特定积木颜色所对应的颜色编号。

不同积木颜色对应不同编号,预先建立积木颜色与编号的唯一对应关系,并在设备中进行存储。当设备获取到积木颜色后,可以根据映射关系查询到对应的颜色编号。

(3) 通过颜色编号查询得到积木盒坐标,并从相应积木盒中取出目标积木。

在设备中预先构建与颜色编号相对应的积木盒坐标集。根据颜色编号可以查询积木盒的坐标,该坐标通常为积木盒的中心坐标,也可以根据实际需要设置为某一坐标范围。得到积木盒的位置坐标后,机械手移动到该处将目标积木取出。

(4) 根据像素图像确定目标积木在积木画中的拼接位置坐标,并将目标积木拼接在此处。

上位机设备根据像素图像查询得到某个像素点的行列号,根据行列号准确计算出目标积木在积木画中的拼接位置坐标。下位机控制器控制机械手移动到拼接位置,并对积木块进行拼接。

在以上方法中,像素点颜色 $(r, g, b)$ 与积木颜色 $(a, b, c)$ 之间建立函数关系:

$$(a, b, c) = f(r, g, b) \quad (1)$$

积木颜色与像素点颜色编号 $S_i$ 之间的对应关系为:

$$S_i = F(a, b, c) \quad (2)$$

像素点颜色编号 $S_i$ 与积木盒位置坐标 $(X_i, Y_i, 0)$ 之间的关系为:

$$(X_i, Y_i, 0) = G(S_i) \quad (3)$$

在进行拼接时,拼接位置坐标 $(x_i, y_i)$ 与第 $i$ 个像素点行列号 $(R_i, C_i)$ 之间的关系为:

$$(x_i, y_i) = H(R_i, C_i) \quad (4)$$

### 2.2 设备控制方法

自动取料过程是积木自动拼接的一个重要过程,具体包括:获取积木盒位置坐标;根据位置坐标计算出移动距离;机械手移动到积木盒处,取出目标积木。图6为取料装置的自动取料控制方法。

取料控制方法的主要步骤为:

(1) X, Y, Z轴模组伺服电机初始化;

(2) X, Y, Z轴模组移动至取料原点 $(0, 0, 0)$ ;

(3) 查询像素图像的第 $i$ 个像素点颜色编号 $S_i$ ;

(4) 获得 $S_i$ 值后X, Y轴伺服电机驱动模组移动至 $S_i$ 对应的积木盒位置 $(X_i, Y_i, 0)$ ;

(5) Z轴伺服电机驱动模组到料盒底部取编号 $S_i$ 的积木;

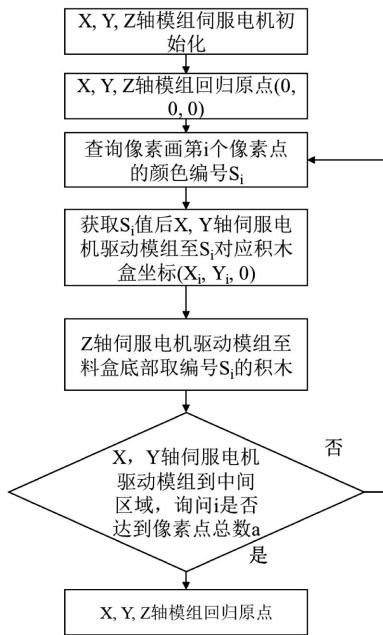


图6 取料装置控制原理

(6) X, Y轴伺服电机驱动模组到中间区域释放积木块, 询问 $i$ 是否达到像素点总数 $a$ ; 若是, 则X, Y, Z轴模组回归原点; 若不是, 则返回查询积木画第 $i+1$ 个像素点颜色编号 $S_{i+1}$ 。

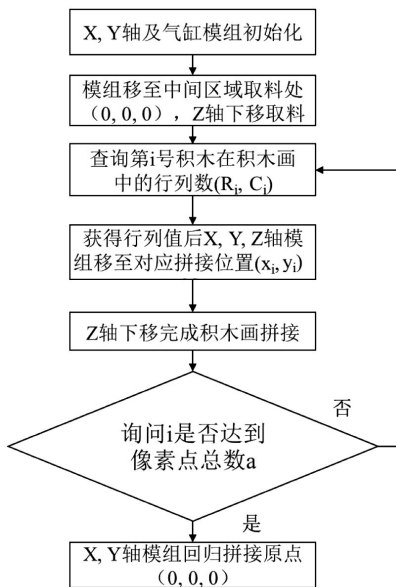


图7 拼接装置控制原理

自动拼接也是一个重要的环节, 且对模组的重复定位精度要求更高, 具体过程包括: 获取积木拼接位置坐标; 根据位置坐标计算出移动距离; 移动至拼接位置, 并进行拼接。图7为自动拼接过程控制原理示意图。

控制方法主要流程为:

- (1) X, Y, Z轴模组初始化;
- (2) 模组移动至中间区域取料处(0, 0, 0), Z轴下移取料;

(3) 查询第 $i$ 号积木在积木画中的行列数( $R_i, C_i$ );

(4) 获得行列值后X, Y, Z轴模组移至对应拼接位置( $x_i, y_i$ );

(5) Z轴下移完成积木画拼接;

(6) 询问 $i$ 是否达到像素点总数 $a$ ; 若是, 则X, Y轴模组回归拼接原点(0, 0, 0), 停止运行; 若不是, 则返回查询第 $i+1$ 号积木在积木画中的行列数( $R_{i+1}, C_{i+1}$ )。

### 2.3 视觉防错方法

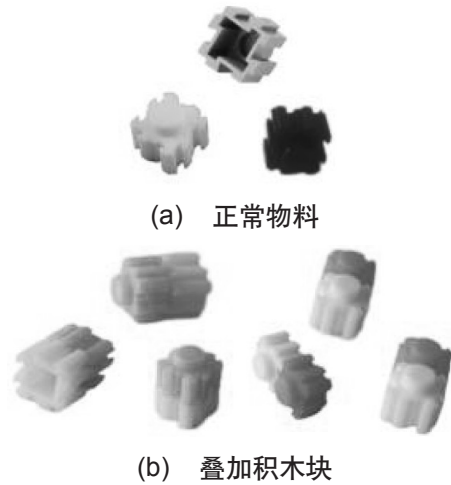


图8 积木块实物图

在自动积木拼接机的运行过程中, 位于中间区域的直线振动送料器对取出的积木块进行传送。直线振动送料器上装了有防错功能的料槽, 积木块通过料槽后会正面朝上, 便于后续抓取和拼接。如果取出的积木块为图8(b)所示的叠加积木块, 积木块会将料槽堵死导致设备停机, 图8(a)为正常物料。

本文提出一种低算力要求的视觉方法, 该方法能够有效进行防错, 识别出造成停机的叠加积木。同时根据该方法开发的视觉程序可以部署在低算力嵌入式设备上, 满足在线检测要求, 这将大幅降低设备开发成本, 有利于视觉防错方法的推广。防错原理如图9所示, 对采集的图像进行必要的预处理, 识别出积木块的轮廓, 叠加积木块的轮廓面积或轮廓周长将大于单个的积木块, 通过对积木块的轮廓评价可以准确判断积木块的形状。

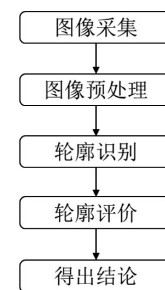


图9 视觉防错流程图

### 3 运行效果



图10 设备工作实况

积木拼接装置超高精度丝杠模组与50 mm行程导轨气缸配合运行,其Z轴为高精度导轨气缸,行程是50 mm。

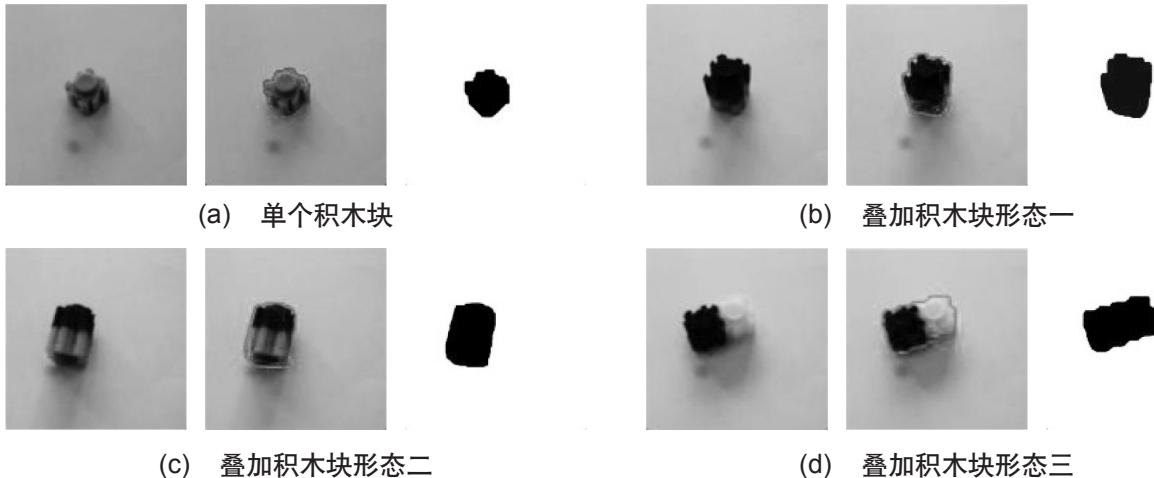


图11 图像处理效果

对轮廓区域求像素总数,通过轮廓包围面积判断积木形状。图11(a)单个积木块以不同姿态落在中间区域取料处时,轮廓均能准确提出,轮廓区域面积约为12 000–13 500像素。图11(b)图11(c)所示叠加类型积木,提取轮廓后计算轮廓区域面积约为18 000–21 000像素。图11(d)所示叠加类型积木,提取轮廓后计算轮廓区域面积约为22 000像素。通过以上方法可以有效识别出引起故障的叠加积木,此外轮廓的最大直径也可以用于辅助判断。

通过多组实验验证得到结论,所提出视觉方法可以有效提取积木块轮廓,并对积木块类型进行准确判断,各种变量因素影响较小,该方法具有一定的鲁棒性,视觉防错有效。

通过以上案例可以说明,取料机械手能够完成取料功能,重复定位精度1 mm,拼接装置能够满足拼接精度要求,重复定位精度0.01 mm。视觉防错程序能够有效识别来料,对于各种姿态、颜色的叠加积木块都能够进行有效区分,避免了由于叠加积木块造成的停机损失。

### 4 结束语

提出一种自动积木拼接机的设计方案和主要算法,

经重复验证,整体重复定位精度可达到0.01 mm,完全满足积木拼接控制精度要求。取料机械手重复定位精度为1 mm,满足实际需求。经重复测算,可知设备拼接节拍为12颗/min,满足实际需要。图10为自动积木拼接机在车间环境工作的实物图,能够在生产环境中可靠运行。

用于采集图片的相机像素为1 280×720,利用光源对拍摄环境进行补光,确保采集图像光环境的相对稳定。完成图像采集后对图像进行裁剪,将图片裁剪成500×500像素,积木块接近图像中心区域。对图像分别进行滤波、水淹填充、开闭运算、提取轮廓操作,提取出积木块轮廓,提取效果如图11所示。

基于该方法开发了积木自动拼接设备,该设备能够完成自动取料、自动拼接功能。针对叠加积木块造成的频繁停机问题,提出了一种视觉防错方法,并基于此设计了防错程序及装置,防错程序验证有效。自动拼接设备能够可靠、高效运行,防错有效,可以得到以下结论:基于所提出的积木块自动拼接方案可以设计出满足功能的全自动设备。所提出的自动取料控制方法能够满足控制精度要求,可以实现合理节拍的自动取料。自动拼接控制方法可行,实际控制精度高于0.01 mm,能够正常完成拼接功能;直线振动送料机构可以高效进行送料,导向槽可以实现积木块方向翻转,使正面朝上。视觉防错方法有效,防错程序能够有效识别出叠加积木,避免导向槽阻塞造成停机。

### 参考文献:

- [1] Moreira R D, Coutinho F, Chaimowicz L. Analysis and Compilation of Normal Map Generation Techniques for Pixel Art[C]. 2022 21st Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment(SBGames). IEEE, 2022: 1–6.

- [2] Xiao Z, Inoue K, Hara K, et al. Generating Variable-  
(下转第93页)