

柔性电子组装自动化系统的设计与实现路径

贾恩会, 彭云根, 桑瑞娟

鸿富锦精密电子(郑州)有限公司, 河南 郑州 450000

摘要: 本文聚焦柔性电子组装自动化系统的设计与实现路径。阐述相关理论与技术基础, 说明柔性电子的概念、特点及应用领域, 自动化系统的组成与原理, 以及传感器、执行器、通信网络和智能控制算法等关键支撑技术。系统设计总体架构分为控制层、执行层和感知层协同工作; 硬件系统涵盖机械结构、传感器、执行器及电气控制设计; 软件系统包括架构、功能模块、人机交互界面及数据库设计。

关键词: 柔性电子; 自动化系统; 硬件系统; 实现路径; 软件系统

Design and Implementation Path of a Flexible Electronic Assembly Automation System

Jia Enhui, Peng Yungen, Sang Ruijuan

Hongfujin Precision Electronics (Zhengzhou) Co., Ltd. Zhengzhou, Henan 450000

Abstract: This article focuses on the design and implementation path of a flexible electronic assembly automation system. It elaborates on relevant theoretical and technical foundations, explains the concept, characteristics, and application areas of flexible electronics, the composition and principles of automation systems, as well as key supporting technologies such as sensors, actuators, communication networks, and intelligent control algorithms. The overall architecture of the system design is divided into a control layer, an execution layer, and a perception layer that work together; the hardware system covers mechanical structure, sensors, actuators, and electrical control design; the software system includes architecture, functional modules, human-computer interaction interfaces, and database design.

Keywords: flexible electronics; automation system; hardware system; implementation path; software system

引言

柔性电子正引领着新一轮的技术创新浪潮。凭借其独特的柔韧性、可拉伸性以及轻薄等特性, 突破了传统刚性电子的诸多限制, 为电子设备的设计和应用带来了全新的可能性。从可穿戴的健康监测设备到智能物联网传感器, 柔性电子的应用场景日益广泛, 展现出巨大的发展潜力。

一、柔性电子组装相关理论与技术基础

(一) 柔性电子概述

柔性电子是将有机或无机材料电子器件制作在可延性塑料或薄金属基板上的新兴电子技术。突破了传统刚性电子器件的限制, 具备独特的柔韧性、可拉伸性和轻薄等特点, 宛如赋予了电子器件“灵动的身躯”。强调电子器件在保持高性能的同时, 能够适应各种复杂的形状和动态环境^[1]。

在医疗健康领域, 柔性电子传感器可以制成可穿戴的健康监测设备, 实时监测人体的生理参数, 如心率、血压、血糖等; 在智能穿戴领域, 柔性显示屏的出现让智能手表、智能手环等设备的显示更加灵活多样; 在物联网领域, 柔性电子可以作为传感器节点, 广泛应用于环境监测、智能家居等场景, 实现物与物之间的智能连接。与传统电子产品相比, 柔性电子产品是将功能组件集成在柔性

基础上, 获得柔性的结构, 有着广泛的应用前景和发展机会^[2]。

(二) 自动化系统基础

自动化系统通过自动控制技术, 对生产过程、设备运行等进行自动监测、控制和调节。主要由控制器、传感器、执行器和被控对象等部分组成。

控制器是自动化系统的“大脑”, 它接收传感器传来的信号, 经过分析和处理后, 向执行器发出控制指令。传感器就像系统的“眼睛”, 负责实时监测被控对象的各种参数, 如温度、压力、位置等, 并将这些信息转化为电信号传送给控制器。执行器则是系统的“手脚”, 根据控制器的指令对被控对象进行操作, 实现对生产过程的控制^[3]。

(三) 关键支撑技术

柔性电子组装自动化系统中, 多种关键支撑技术发挥着重要作用。传感器技术是获取信息的关键, 在柔性电子组装过程中, 高精

度传感器用于检测电子元件的位置、姿态、尺寸等参数，像视觉传感器通过图像识别技术精确识别电子元件位置和形状，为后续装配提供准确数据。执行器技术负责电子元件的操作，如抓取、放置、焊接等，柔性电子组装需要高精度、高速度的执行器，例如气动机械手、电动伺服机械手等，确保电子元件准确装配^[4]。通信与网络技术实现自动化系统中各个部件间实时的数据传输与通信，保障控制器与传感器、执行器间可靠通信，促使系统协同工作，工业以太网、无线通信技术等在其中得到广泛应用。智能控制算法对于提升柔性电子组装自动化系统性能与适应性至关重要，神经网络、模糊控制、遗传算法等，可根据系统运行状态和实时数据自动调整控制策略，实现对复杂生产过程的优化控制。

二、柔性电子组装自动化系统设计

（一）系统总体架构设计

为实现高效、稳定组装，柔性电子组装自动化系统的总体架构设计需要综合考虑系统的功能需求、性能要求以及未来的扩展性。该系统总体可分为控制层、执行层和感知层三层，各层之间相互协作，共同完成柔性电子的自动化组装任务。

控制层负责对系统的整体运行进行规划、协调和控制。接收来自感知层的数据信息，依据预设的工艺参数和控制策略，向执行层发送指令。主要由工业计算机和控制系统软件组成^[5]。工业计算机具备强大的数据处理能力和稳定的运行性能，能够快速处理复杂的控制算法。控制系统软件则提供了友好的用户界面，方便操作人员进行参数设置、任务调度以及系统监控等操作。

实现柔性电子组装具体操作的是执行层，主要由各种执行机构组成，包括机械手臂、输送装置、焊接设备等。机械手臂负责精确抓取和放置柔性电子元件，其运动精度和速度直接影响组装的质量和效率。输送装置用于将基板和元件输送到指定位置，确保物料的顺畅供应。焊接设备则根据控制层的指令，对组装好的元件进行焊接，保证连接的可靠性。

感知层负责实时采集系统运行过程中的各种信息，包括元件的位置、姿态、焊接质量等。主要由各类传感器组成，如视觉传感器、力传感器、温度传感器等。视觉传感器通过图像识别技术，能够精确获取元件的位置和姿态信息，为机械手臂的操作提供准确的引导。力传感器可以实时监测机械手臂在抓取和放置元件过程中的受力情况，避免因用力过大而损坏元件^[6]。温度传感器则用于监测焊接过程中的温度变化，确保焊接质量的稳定性。

（二）硬件系统设计

柔性电子组装自动化系统的物理基础就是硬件系统，其设计的合理性和可靠性直接影响系统的整体性能。硬件系统设计主要包括机械结构设计、传感器选型与布局、执行器选型与控制以及电气控制系统设计等方面。

机械结构设计需要充分考虑柔性电子组装的工艺要求和操作流程，确保各部件之间的运动协调和稳定性。输送装置的设计要保证物料的稳定输送，避免在输送过程中出现元件的偏移或损坏^[7]。

根据不同的测量需求，选择合适的传感器类型和精度等级。

在布局上，要确保传感器能够准确获取所需的信息，并且避免相互干扰。例如，视觉传感器应安装在能够清晰观察到元件位置和姿态的位置，力传感器则要安装在机械手臂的关键受力部位。

根据系统的任务要求和性能指标进行执行器的选型与控制。例如，选择合适的机械手臂型号和规格，确保其负载能力、运动速度和精度满足组装要求。同时，要为执行器配备可靠的驱动装置和控制系统，实现对执行器的精确控制。

将各个硬件部件有机连接起来，实现系统的协同运行是电气控制系统设计的基本要求。其包括电源电路、控制电路、通信电路等设计，电源电路要为各个硬件部件提供稳定的电源供应，控制电路则负责将控制层的指令转化为执行器能够识别的信号，通信电路实现各部件之间的数据传输和通信。

（三）软件系统设计

软件系统是柔性电子组装自动化系统的灵魂，赋予了系统智能化和自动化的能力。主要包括软件架构设计、功能模块设计、人机交互界面设计以及数据库设计等方面。

软件架构设计通过确定软件系统的整体结构和模块划分，为后续的功能开发提供框架支持。将软件系统分为应用层、业务逻辑层和数据访问层^[8]。应用层主要负责与用户进行交互，提供操作界面和功能入口；业务逻辑层实现系统的核心业务功能，如任务调度、工艺控制等；数据访问层负责与数据库进行交互，实现数据的存储、查询和更新。

根据系统的功能需求，划分为多个功能模块，每个模块负责实现特定的功能。例如，任务管理模块负责对生产任务进行创建、编辑和调度；工艺参数设置模块用于设置柔性电子组装的工艺参数，如焊接温度、焊接时间等。

人机交互界面要注重用户体验，界面应简洁明了、操作方便。提供直观的图形化界面，方便操作人员进行参数设置、任务监控和设备控制等操作^[9]。同时，要具备良好的可视化效果，能够实时显示系统的运行状态和生产数据。

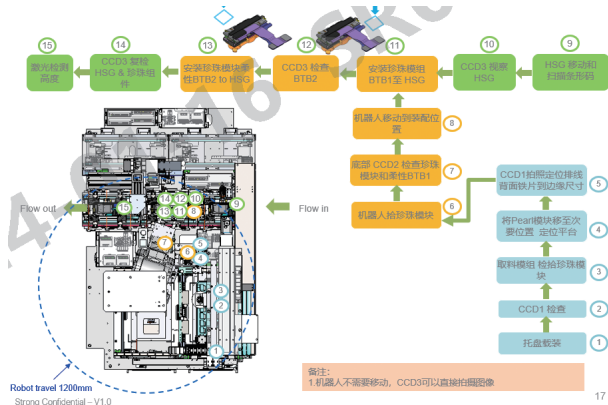
数据库用于存储系统运行过程中产生的各种数据，如工艺参数、生产记录、设备状态等。选择合适的数据库管理系统，设计合理的数据库结构，确保数据的安全性、完整性和高效性。通过数据库，系统可以实现对历史数据的查询和分析，为生产决策提供支持。

三、柔性电子组装自动化系统实现路径

（一）硬件系统实现

硬件系统实现是柔性电子组装自动化系统落地的基础，涵盖多个关键环节，从机械结构的加工制造到各类传感器与执行器的安装调试，以及电气控制系统的布线与测试，每一步都至关重要。如图1-1所示。

根据传感器的选型和布局设计，将视觉传感器、力传感器等准确安装在相应位置。在安装过程中，要注意传感器的安装角度和方向，确保其能够准确获取所需的信息。安装完成后，进行传感器的校准和调试工作，通过标准样品对视觉传感器进行标定，使其能够准确识别电子元件的位置和姿态；对力传感器进行校



> 图1-1 PMA-S1 组装珍珠模组设备动作流程简示

准, 确保其测量的准确性。对于执行器, 如气动或电动机手, 要按照说明书进行正确的安装和连接。在调试过程中, 测试执行器的动作精度、速度和力度等参数, 通过调整控制参数, 使其满足柔性电子组装的要求。

布线过程中, 要注意电缆的走向和固定, 避免电缆相互干扰或受到机械损伤。同时, 要对电气控制柜进行合理的布局 and 安装, 确保各个电气元件的散热和维护方便。完成布线后, 进行电气系统的测试工作, 包括电源测试、接地测试、绝缘测试等, 确保电气系统的安全性和可靠性。

(二) 软件系统实现

选择适合项目需求的软件开发平台和编程语言, 如基于 C++ 或 Python 语言的开发环境。安装必要的开发工具和库, 如用于图形化界面开发的 Qt 框架、用于数据处理和算法实现的 OpenCV 库等。配置开发环境的参数, 确保开发工具的正常运行和代码的高效编译。

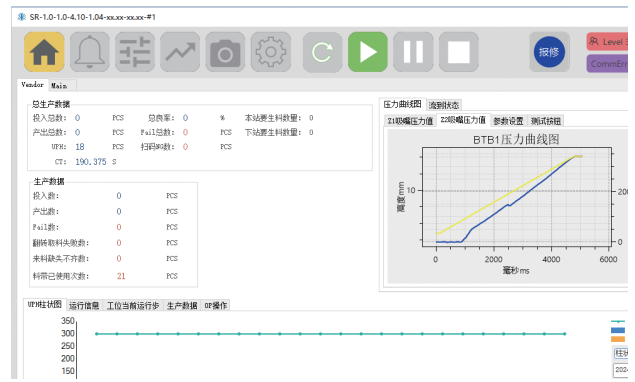
根据功能模块设计, 逐步实现各个功能模块的代码编写。任务管理模块要实现生产任务的创建、编辑、调度和跟踪功能, 通过数据库操作实现任务信息的存储和查询; 工艺参数设置模块提供友好的用户界面, 允许操作人员设置各种柔性电子组装的工艺参数, 并将参数保存到数据库中; 设备监控模块实时读取传感器的数据, 监测设备的运行状态, 出现异常情况时及时发出报警信号^[10]。

人机交互界面直接影响操作人员的使用体验, 是软件系统实现的重要环节。采用图形化界面设计工具, 设计简洁、直观的用户界面。界面布局要合理, 将常用的功能按钮和操作区域放在显眼位置, 方便操作人员进行操作。使用清晰的图标和文字提示, 引导操作人员完成各种任务。

(三) 系统集成与调试

在硬件与软件集成过程中, 首先要确保硬件设备与软件系统之间的通信正常。通过接口设计, 实现软件系统对硬件设备的控制和数据采集。例如, 软件系统通过串口或网络接口向执行器发送控制指令, 同时接收传感器采集的数据。在集成过程中, 要对硬件设备进行初始化配置, 确保其能够正确响应软件系统的指令。然后, 进行系统的联合调试, 逐步验证各个功能模块的协同工作情况。如图1-2所示。

系统联调与优化是一个反复测试和调整的过程。在联调过程中, 模拟实际的生产场景, 对系统进行全面的测试。检查系统在



> 图1-2 PMA-S1 组装珍珠模组 设备运行状态①总生产状态 ②模组运行状态③压力曲线图及 流道状态

不同工况下的运行稳定性, 如连续长时间运行、不同类型产品的组装等。针对测试过程中发现的问题, 进行分析和优化。

以手机排线的柔性组装实现为例, 手机排线的尺寸小巧且形状特殊, 机械结构的设计需高度精确且灵活。针对手机排线的不同型号和规格, 提供丰富的工艺参数设置选项。模拟实际的手机排线组装生产场景, 对系统进行全面的联合调试。通过反复的测试和优化, 确保系统在不同工况下都能够稳定、高效地运行, 满足手机排线柔性组装的生产要求。

四、结束语

本文围绕柔性电子组装自动化系统的设计与实现路径展开深入探讨。阐述柔性电子组装相关理论与技术基础的。总体架构上, 控制层、执行层和感知层协同工作, 构建起高效运行的框架; 硬件系统设计涵盖机械结构、传感器、执行器到电气控制, 确保系统的物理支撑稳固可靠; 软件系统设计赋予系统智能化灵魂, 分层架构、功能模块、人机交互界面以及数据库管理, 全方位提升系统的自动化水平与用户体验。

参考文献

[1] 刘肖勇, 刁雯蕙, 王之康. 柔性电子器件实现“乐高式”高效稳定组装 [N]. 广东科技报, 2023-02-24(004).DOI:10.28252/n.cnki.ngdkj.2023.000042.
 [2] 董亮, 冯宇航, 王彬开, 等. 转印技术在柔性电子组装领域的应用进展 [J]. 数字印刷, 2022, (06):14-22.DOI:10.19370/j.cnki.cn10-1304/ts.2022.06.002.
 [3] 高妙苗. 楼宇自动化系统设计与应用分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (34):211-213.DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202334070.
 [4] 刘睿哲. 500 kV 智能变电站电气自动化系统的设计研究 [J]. 江西电力职业技术学院学报, 2023, 36(11):19-21.
 [5] 谭彬. 基于 AGV 机器人的自动化装配生产线设计与优化 [J]. 科技创新与应用, 2023, 13(32):50-53.DOI:10.19981/j.CN23-1581/G3.2023.32.013.
 [6] 马乐. 新能源发电并网调度自动化系统设计要点 [J]. 中国新技术新产品, 2023, (21):7-9.DOI:10.13612/j.cnki.cntp.2023.21.046.
 [7] 石文昭. 基于 Hadoop 的自动化设备监管系统设计 [J]. 信息记录材料, 2023, 24(11):178-180.DOI:10.16009/j.cnki.cn13-1295/tq.2023.11.025.
 [8] 韩露. 新疆金沟河流域的水利水情自动化监测系统设计与实现 [J]. 四川水利, 2023, 44(05):56-58+93.
 [9] 曾含耀. 基于物联网技术的商用车配件仓储自动化管理系统设计与实施 [J]. 汽车与配件, 2023, (18):56-58.
 [10] 杨子润, 陈康, 周亚军, 等. 基于计算机技术的电气自动化控制系统设计研究 [J]. 中国新通信, 2023, 25(18):56-58.