

基于手势识别远程同步控制的智能机械臂研究

黄晓林, 周浩锋, 曾泳达, 谢志雄

(广东松山职业技术学院 电气工程学院, 广东 韶关 512126)

摘要: 设计一种基于手势识别远程同步控制的智能机械臂系统, 系统由手势识别器和智能机械臂组成; 手势识别器穿戴在手中, 能够感知和识别手势指令, 并通过无线传输方式把手势指令传输给智能机械臂; 智能机械臂收到手势指令后其自主决策系统迅速规划最优控制, 实现同步控制机械臂伸展和机械手的抓取等动作; 实验结果表明, 手势识别器的手势指令简单易于操作, 手势指令识别准确高效, 智能机械臂动作规划协调, 系统大大降低了机械臂的操控难度, 完全满足作业任务实时控制的需要, 具有较好的实用性和广泛的应用前景。

关键词: 手势识别; 远程控制; 智能机械臂

Research on Remote Synchronous Control of Intelligent Manipulator Based on Gesture Recognition

HUANG Xiaolin, ZHOU Haofeng, ZEN Yongda, XIE Zhixiong

(Department of Electric Engineering, Guangdong Songshan Polytechnic College, Shaoguan 512126, China)

Abstract: An intelligent manipulator system based on remote synchronization control of gesture recognition is designed. The system is composed of gesture recognizer and intelligent manipulator. The gesture recognizer is worn in the hand, can perceive and recognize gesture instruction, and transmit gesture instruction to intelligent manipulator by wireless transmission. After receiving the gesture instruction, the intelligent manipulator's independent decision-making system quickly plans the optimal control, and realizes the synchronous control of the manipulator extension and the manipulator grasping. The experimental results show that the gesture instruction of the gesture recognizer is simple and easy to operate, the gesture instruction recognition is accurate and efficient, the action planning of the intelligent manipulator is coordinated, and the control difficulty of the manipulator is greatly reduced. Fully meet the needs of real-time task control, with good practicability and wide application prospects.

Keywords: gesture recognition; remote control; intelligent manipulator

0 引言

随着智能控制为核心技术的新型控制体系的高速发展, 智能控制已经深入到工作生活的方方面面, 在各个领域得到了越来越广泛的应用, 对传统工作方式的改变发挥越来越重的作用, 成为生产现代化不可替代的至关重要的环节。用机械臂替代传统人工方式作业, 不仅可改善劳动条件, 减轻劳动强度, 降低生产成本, 还可大大提高生产效率和提升生产质量, 而且可以减少因人工疏忽造成的安全事故^[1]。然而传统机械臂完成预期的各种任务作业, 要么是执行根据特定工作场合实现特定功能的任务作业而事先编写好的程序, 其环境适应能力差, 灵活性不强; 要么是通过控制台复杂按钮进行组合操作, 操作起来比较复杂, 必须要经过专业训练过的操作人员才能做到安全操作, 精确控制, 这些都使机械臂难以推广普及。

针对传统机械臂完成预期各种作业任务时操作复杂、环境适应能力差等实际存在问题, 提出了一种基于手势识

别远程同步控制的智能机械臂系统设计方案。手势包含着大量信息, 以其直观、形象和生动等特点在日常生活中被广泛使用, 是人们最自然和最直观的交流方式, 能在特定的场合表达特定的意义^[2-3]。现在手势识别成为像点击鼠标一样的人机交互信息的重要手段, 手势识别在人机交互控制领域扮演着越来越重要的角色^[4]。将手势识别技术与智能机械臂控制技术进行完美结合, 不但简化了机械臂操控步骤, 降低了机械臂控制难度, 使机械臂控制更加精准灵活, 而且增强了机械臂工作环境的适应能力, 在实现手势动作与机械臂控制完全同步的基础上, 完全满足机械臂完成预期作业任务时实时控制的需要。

1 系统总体方案设计

系统由手势识别器和智能机械臂两部分组成, 系统整体架构示意框图如图 1 所示。手势识别器是一种智能穿戴设备, 设计时需要符合普通人的活动习惯, 以穿戴在使用者的手指和手腕上部为宜。手势识别器由电池为其供电,

收稿日期: 2021-02-21; 修回日期: 2020-03-31。

基金项目: 2019 年度广东大学生科技创新培育专项资金项目 (pdjh2019b0749)。

作者简介: 黄晓林 (1971-), 男, 江西赣州人, 硕士研究生, 讲师, 工程师, 主要从事嵌入式系统及智能控制方向的研究。

引用格式: 黄晓林, 周浩锋, 曾泳达, 等. 基于手势识别远程同步控制的智能机械臂研究[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(9): 128-131, 136.

姿态传感器实时感知手腕运动倾斜姿态, 手指间检测器识别规定的手势动作, 经 ARM 单片机综合评判后形成对应控制命令并通过无线通信传输到远程的智能机械臂。智能机械臂以 ARM 单片机为核心控制部件, 由关节舵机、机械抓手舵机和压力传感器等组成, 具有多输入多输出、非线性和强耦合等特点。智能机械臂不但每个关节舵机和抓手舵机是可以独立控制, 而且能实时监测每个关节舵机的位姿信息。当智能机械臂收到不同的控制命令时, 其本身的自主决策系统能结合各个关节舵机和抓手舵机的位姿信息, 快速决策, 迅速规划机械臂的运动轨迹, 控制有关舵机协同完成组合动作。为提高系统控制效率, 可同时启动抓取关节舵机控制, 实现手势控制协同智能机械臂同步控制机械臂的平移、伸展和机械手、旋转、抓取等动作。机械手安装有压力传感器, 使机械手既稳固又柔性的抓取物品, 不会因抓取力度过大而使物品变形。

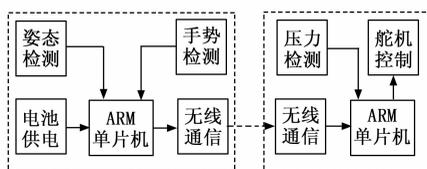


图 1 系统总体架构示意框图

2 手势识别

2.1 手势定义

手势识别器是一种智能穿戴设备, 穿戴固定于手指间和手腕上部, 实时感知手指间的相互接触动作和检测手腕活动的姿态信息等特征信息, 经 ARM 单片机分析和综合评判后形成对应的手势控制指令。为使手势识别器获取的手势控制指令更加高效精准, 手势识别器只识别被定义的特定手势动作, 其余没有被定义的手势动作则均认为是手在活动中产生的噪声而弃去。手势动作定义基本原则是手势动作不但要使手势识别器易于识别, 而且对于使用者本身来说应该是容易学习和记忆, 操作简单, 便于重复^[5]。如表 1 所示为当使用者的手掌面垂直于地面朝下时被定义的特定手势动作。

表 1 手势动作定义

手势命令	手势动作说明
左右移动	手臂向左或向右倾斜
上下伸展	手臂向上或向下倾斜
抓取释放	拇指与食指或中指接触
抓手旋转	拇指与小指或尾指接触
状态维持	5 个手指完全接触在一起

2.2 手势数据处理

手势识别器穿戴固定于手指间和手腕上部, 实时采集手势动作及手腕倾斜的姿态等特征信息, 经 ARM 单片机分析和综合评判形成相应的控制命令并通过无线通信传输到远程智能机械臂以实现保持同步控制。控制命令由主命令

和命令数据两个部分组成, 其中主命令包含抓手顺反时钟旋转、抓取和释放等动作控制, 也包含机械臂的左右移动和机械臂的上下伸展等动作控制, 还包含智能机械臂维持当前状态的控制。除维持当前状态的控制命令外, 其它主命令可以组合同时进行, 以提高智能机械臂完成预期作业任务的效率。命令数据主要控制机械臂完成预期作业时相应动作的幅度大小。手势识别器与智能机械臂之间数据信息传输是通过无线通信来实现的, 相互之间采用主从通信方式。手势识别器作为主设备, 将实时采集的手势动作及手腕倾斜的姿态等特征信息, 经 ARM 单片机分析和综合评判后形成相应的控制命令并通过无线通信发出。智能机械臂始终处于从设备地位, 只能被动的接收控制命令, 但其本身具有的自主决策系统能根据接收的控制命令及命令数据并结合自身抓手舵机和关节舵机的位姿信息, 迅速规划最优运动轨迹, 协调抓手舵机和关节舵机动作, 达到与手势识别器相互之间同步完成各种预期作业任务。

手势识别器与智能机械臂相互之间命令信息是以数据帧格式传输, 手势识别器发送的命令信息必须按照相互规定的通信协议帧格式进行封装, 智能机械臂收到的命令信息也必须严格遵守相互规定的通信协议帧格式进行解析, 信息数据规定的通信协议帧格式如表 2 所示。

表 2 数据帧格式

名称	帧头	地址	主命令	数据	校验和
字节	1	1	1	4	1

帧头占 1 个字节, 表示帧数据信息的开始, 数据信息是一帧帧传输的, 每一帧数据都必须有一个固定值为 0x1b 帧头。

地址占 1 个字节, 是受控智能机械臂被设置的地址编码。手势识别器发出的每帧数据必须包含智能机械臂的地址编码, 而智能机械臂收到数据帧只有地址编码与自身设置的地址编码相一致时, 才解析数据帧的数据信息并执行相应的控制命令。系统支持用一个手势识别器对一定区域内进行作业任务的多台智能机械臂进行指挥, 地址编码为 0x00 的数据帧比较特殊, 表示此数据帧进行广播方式传输, 要求区域范围内作业任务的所有智能机械臂都要执行对应的控制命令。

主控制命令占 1 个字节, 其中字节低 4 位对应智能机械臂抓手如状态维持、抓手顺反时钟旋转、抓手抓取或释放等控制动作。字节高 4 位对应智能机械臂关节舵机如左右移动或上下伸展等控制动作。由此可知智能机械臂在完成预期作业任务时可以将机械臂动作和抓手动作组合同时进行, 大大提高智能机械臂的工作效率。

命令数据占 4 字节, 必须和主控制命令配合使用, 表示智能机械臂完成当前预期作业任务相应控制命令的动作幅度。其中第 1 个字节为机械臂抓手旋转动作的旋转幅度参数或抓取物体的抓取力度参数, 其余 3 个字节是机械臂左右移动或上下伸展时分别对应 X 轴、Y 轴和 Z 轴 3 个方向

度可控, 甚至快要到达目标角度时降低转动速度, 可以将舵机旋转角度分割成若干小的角度, 并在转动时加上很小的适当延时。

智能机械臂关节舵机的工作电压为 3.3 V, 而系统为 5 V 的供电电压, 故需要对系统供电进行电压转换处理, 如图 5 所示为智能机械臂关节舵机控制电路原理图。智能机械臂关节舵机旋转位置控制端 PWM 通过 P2 接口连接到 ARM 单片机, 调节关节舵机 PWM 占空比来调节关节舵机的旋转位置。开关电源调节器 LM2596 是降压型电源管理芯片, 内部高度集成固定频率发生器和频率补偿, 能够持续供电输出 3.3 V 电压, 输出最大驱动电流为 3 A, 同时具有很好的线性 and 负载调节特性^[6]。LM2596 芯片具有自我保护电路, 极大地简化了开关电源电路设计, 在一定的输入电压和输出负载情况下, 输出电压误差稳定在 4% 的范围内。

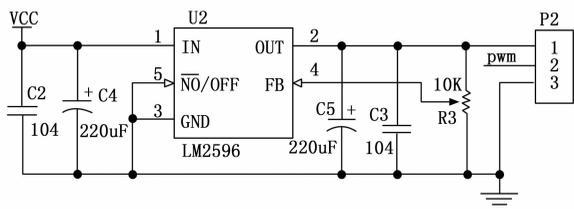


图 5 机械臂关节舵机控制电路原理图

4 系统性能测试与分析

4.1 手势识别准确性

手势识别的准确性对整个系统的稳定性具有决定性影响力。手势识别准确性测试是指在各种复杂环境影响下, 手势识别器对控制智能机械臂状态维持、抓手旋转、抓手的抓取与释放、机械臂左右移动、机械臂上下伸展等手指手腕动作的识别。如表 3 所示为 5 名同学被要求以自己的习惯方式在满足手势定义的前提下, 每个手势动作各做 20 次共 100 次手势数据样本采集的手势识别准确性测试结果。

表 3 手势识别准确性测试

手势动作	测试次数	识别次数	准确率/(%)
左右移动	100	92	92
上下伸展	100	90	90
抓取释放	100	100	100
抓手旋转	100	100	100
状态维持	100	100	100

从表 3 手势识别准确性测试结果可以看出, 手指手势动作控制状态维持、抓手旋转、抓手抓取与释放等规定动作的识别达到 100%, 而手腕手动动作中控制机械臂左右移动、上下伸展的动作却分别只有 92% 和 90% 的识别率, 这跟个人手臂倾斜保持习惯有关, 同样的转动倾斜角度, 不同段的转动加速度是有差别的。手腕转动尽量在平稳中转动, 不要出现抖动现象, 因为手势控制的数据信息发送频率较高, 在极短时间内出现相互相反的手势动作时, 智能

机械臂的自主决策系统将会误判为无效手势, 并将此次手势控制命令剔除, 但不影响手势实时操作智能机械臂。

4.2 手势控制实时性

手势控制实时性是指识别手势动作并协同完成智能机械臂同步控制的时间, 一般是指单位时间内, 通过更换不同手势的次数进行测试。如表 4 所示为 20 s 时间内手势动作更换次数以及手势动作识别次数的测试结果。

表 4 手势控制实时性测试

手势更换次数	成功控制次数
20	19
30	28
40	38
50	33
60	21

从表 3 测试结果可以看出, 20 s 时间手势更换在 40 次以内, 手势动作识别失误较小, 手势控制成功率较高, 手势识别并协同完成同步控制可以在 500 ms 左右完成, 此时手势控制执行效率最高, 可以达到较好的实时性控制要求。

5 结束语

本系统是将手势识别技术与机械臂智能控制进行完美结合, 集手势识别、远程控制、智能决策于一体的智能机械臂控制系统。对整个系统进行综合性功能测试的结果表明, 系统运行稳定, 环境适应能力强, 手势识别准确性较高, 简化了机械臂操控步骤, 降低了机械臂控制难度, 使控制更加灵活更加精准, 完全满足完成预期作业任务时要求同步实时控制的需要, 在工农业安全生产、野外探险与救援等领域具有较好的实用性和广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 张晓颖, 李德伟, 等. 六自由度机械臂约束预测控制系统的设计 [J]. 控制理论与应用, 2014, 31 (11): 1464-1472.
- [2] 武霞, 张崎, 许艳旭. 手势识别研究发展现状综述 [J]. 电子科技, 2013, 6: 171-174.
- [3] 周孟强, 刘会衡. 基于 FDC2214 手势识别装置的设计与实现 [J]. 电子制作, 2019, 368 (s1): 14-16.
- [4] 李袁媛, 林尹雅, 等. 基于 Arduino 平台的三维手势感应台灯设计与实现 [J]. 无线互联科技, 2018, 15: 70-73.
- [5] 陈崇辉, 邓筠. 基于惯性传感器的体感手环教学系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (8): 182-186.
- [6] 潘传勇, 丁国臣, 等. 基于 LM2596 的不间断直流电源设计 [J]. 现代电子技术, 2013, 36 (17): 107-109.
- [7] 林美新. 基于手势识别的工业机械臂示教系统设计研究 [D]. 杭州: 浙江工业大学, 2017.
- [8] 亚德诺半导体技术有限公司. ADXL335 中文数据手册 [EB/OL]. [2020-02-21]. <http://www.analog.com>, 2010.
- [9] 谢银波, 魏天奇, 等. 基于人体手臂同步远控的智能机械臂研究 [J]. 实验技术与管理, 2019, 36 (12): 85-89.

(下转第 136 页)