

仿真机械手臂

李心宇 颜宇轩 季晋峰 王莉雯

(东南大学成贤学院, 江苏 南京 210088)

摘要: 仿真机械手是具有三维环境感知、规划和导航、类人的灵巧操作、直观的人-机交互机械手。可以代替人手完成各种复杂操作, 如机械制造、军事战争、教学演示和家居生活等, 是现代多种先进技术和理论相结合的产物。

仿真机械手臂采用 MM32F3277G9P 单片机为核心处理器, 设计实现了能够控制的仿真机械手臂。本设计的硬件分为数据手套单元、仿真机械手臂主控单元、通信单元三部分, 数据手套单元中有 MM32 主控模块、弯度传感器姿态采集模块、OLED 显示模块; 仿真机械手臂主控单元中有 MM32 主控模块、PCA 控制输出模块、LD3320 语音识别模块、ESP8266 物联网模块、姿态信息执行模块; 通信单元中有 Lora 通信模块。本设计的软件控制中使用了 IIC 通信、串口通信、GPIO 捕获、SPI 通信等技术。本设计还具有四种功能, 分别是数据手套控制、物联网控制、手势识别控制、语音控制。针对以上四种功能, 分别进行性能测试, 用来验证各个功能的信号传递速度与准确率。

关键词: 仿真机械手臂; MM32F3277G9P; 弯度传感器; Lora 通信; ESP8266

机械手自 20 世纪 60 年代初问世以来, 经过几十年的发展, 现在已经成为制造业生产自动化中重要的设备。目前机械手技术已经有了新的发展, 其中一项就为仿生机械手。仿生机械手作为机械手的一种, 它的出现将人们从繁重的机械制造生产工作、教学演示、家居清洁中解放出来, 提高我们的生活质量和工作效率。

一、系统总体方案

本仿真机械手臂总体设计方案分为数据手套和机械手臂两部分, 其中数据手套硬件电路设计方案主要以 MM32F3277G9P 单片机为核心处理器, 弯度传感器感知人体手指姿势变化, 高精度电位器感知手指弯曲度, OLED 显示器显示姿态相关数据。机械手臂上设有手势识别模块、语音模块、物联网模块等控制舵机工作。总系统框图如图 1 所示。

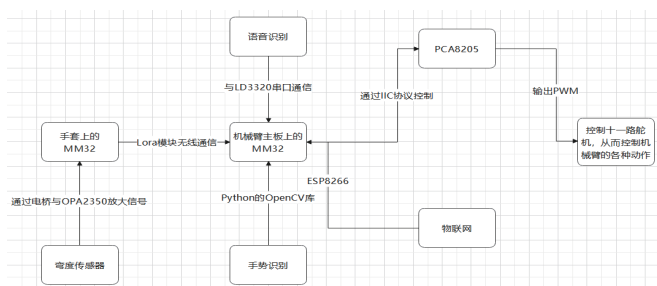


图 1 仿真机械手臂总系统框图

二、仿真机械手臂器件的选用

(一) 手套传感器的选用

本项目选用弯度传感器作为机械臂的姿态传感模块。Flex Sensor 系列传感器是一种能够测量弯曲度的传感器, 它可以向弯曲度转化为可以变化的电阻值。弯曲传感器的表面是一层特殊的电阻材料, 当弯曲传感器受到应力发生弯曲变形时, 表面的电阻值即发生变化。弯曲程度越大, 电阻值越大。

(二) 舵机的选用

机械手的跟随动作实质是单片机向舵机发送相应的 PWM 控制信号, 使得舵机进行精确的角度旋转。结合设计的需要, 选用型号为 SG90 的舵机, 其工作电压为 5 V, 转速为 0.18s / 60°, 力矩为 16kg * cm, 尺寸为 40.0mm * 20.0mm * 40.5mm。

(三) 语音模块的选用

LD3320 芯片是一款“语音识别”芯片, 集成了语音识别处理器和一些外部电路, 包括 AD、DA 转换器、麦克风接口、声音输出接口等。本项目通过 STC11 单片机驱动 LD3320 语音识别芯片, 识别常见的汉字拼音, 识别到设置内容后红灯亮起并通过串口与

MM32 通信。根据通信内容机械手做出相应动作。

(四) 主控单片机的选用

MM32F3277G9P 是灵动新一代 MM32 系列中率先升级推出的通用高性能 MCU 平台, 是 MM32F3270 系列产品的全功能配置芯片。本产品是使用 Arm Cortex-M3 为内核的 32 位微控制器, 最高工作频率可达 120MHz, 内置高速存储器 (512KB Flash, 128KB SRAM), 具有丰富的增强型 I/O 端口和外设。

(五) 无线通信模块的选用

LoRa 是 semtech 公司开发的一种低功耗局域网无线标准, 其名称“LoRa”是远距离无线电 (Long Range Radio), 它最大特点就是在同样的功耗条件下比其他无线方式传播的距离更远, 实现了低功耗和远距离的统一, 它在同样的功耗下比传统的无线射频通信距离扩大 3-5 倍。本项目采用了 LoRa 进行数据手套与机械臂间单片机的互相通信。

三、软件设计及关键部分解析

数据手套主程序设计主要先对单片机的 I/O 口、定时器、高精度 PWM、A/D 转换等内部资源进行初始化, 机械手臂控制电路主要以 MM32F3277G9P 单片机串口通信接口连接 Lora 无线通信模块接收穿戴式控制器姿势数据。根据控制系统已选型各硬件的功能及特点, 绘制控制系统流程图, 控制系统流程图由图 2 可见。

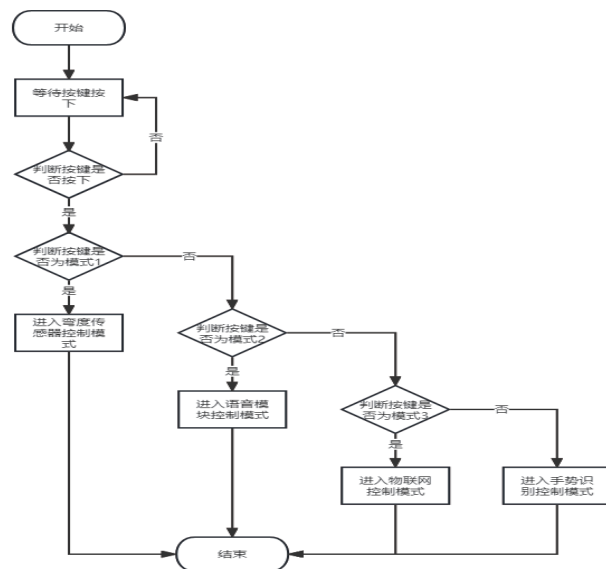


图 2 控制系统流程图

（一）数据手套与机械臂上的单片机互相通信

LoRa 无线传输模块发送端将要传输的数据进行前向纠错编码, 增加冗余信息以提高数据可靠性。发送端使用扩频技术, 将信号扩展到较宽的频谱带宽上。通过扩频, 信号的能量分布在更宽的频率范围内, 从而提高信号的抗干扰能力。接入机制通过多信道的方式避免节点之间的碰撞和冲突。接收端对解调后的信号进行前向纠错解码, 校正可能存在的传输错误。通过冗余信息, 可以恢复原始数据。接收端从解码后的信号中提取出有效数据, 并进行相应的处理。

（二）数据手套的软件控制

数据手套是一个融合集多种传感器、多种通信方式的综合型系统, 能够通过串口通信方式接收弯度传感器感知手指弯曲数据; 通过 A/D 转换器实时获取手指弯曲度数据; 当弯度传感器感知的数据或手指弯曲度数据发送变化时, 能够立即将手指弯曲度数据通过 LoRa 无线通信模块发送至机械手控制器。

（三）机械臂上的舵机控制

对于数字舵机, 只需改变对应的 PWM 值即可控制电机角度。MM32F3277G9P 可以输出 11 路 PWM 信号, 可控制全部的 11 个数字舵机, 但这样做太浪费 I/O 口资源, 因此本项目采用 PCA 模块, 用单片机 IIC 通信控制 11 路舵机。PCA9685 是一款基于 IIC 总线通信的 12 位精度 16 通道 PWM 波输出的芯片, 可用于控制舵机、

led、电机等设备, IIC 通信, 节省主机资源, 理论上可用两根数据线控制十六路舵机。

（四）机械臂上的 OpenCv 模块控制

通过调用 mediapipe 库, numpy 库, CV2 库这几个主要处理手势和图像的库将人的手掌划分为 21 个点, 将摄像头采集到的图像分解成对这 21 个点运动的计算从而精确地判断出手掌做出的动作, 再通过串口无线发送给单片机。OpenCV 是一个基于 Apache2.0 许可 (开源) 发行的跨平台计算机视觉和机器学习软件库, 实现了图像处理和计算机视觉方面的很多通用算法。

四、硬件设计及关键电路分析

机械臂系统包含电源模块、控制系统、机械机构等诸多模块单元。仿真机械手臂控制电路分为数据手套控制电路和机械手臂控制电路, 其中数据手套控制电路中的姿势感知电路主要以 MM32F3277G9P 单片机 11 路 A/D 转换端口对反映手指弯曲度的数值进行实时读取, 实时接收弯度传感器回传的穿戴式控制器姿势相关数据, 机械手臂控制电路主要以 MM32F3277G9P 单片机通过 IIC 协议控制 PCA9685 输出 11 路 PWM, 从而实现机械手臂的手指跟随数据手套动作。数据手套硬件部分有放大电路, 电桥等信号采集电路。机械手臂模型部分为使用 3D 建模软件建模, 机械臂模型图纸如图 3 所示。

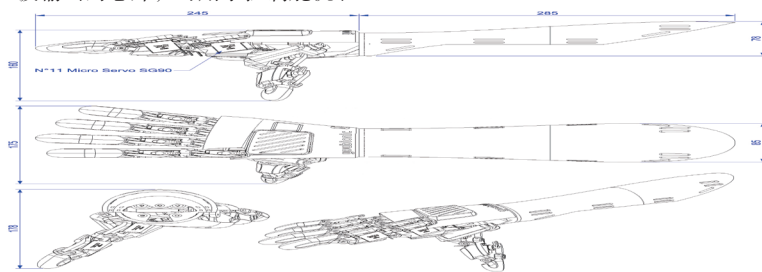


图 3 机械手臂图纸

（一）仿真机械手臂控制电路设计

仿真机械手臂控制电路分为数据手套控制电路和机械手臂控制电路, 其中数据手套控制电路中的姿势感知电路主要以 MM32F3277G9P 单片机 11 路 A/D 转换端口对反映手指弯曲度的数值进行实时读取, 机械手臂控制电路主要以 MM32F3277G9P 单片机通过 IIC 协议控制 PCA9685 输出 11 路 PWM, 从而实现机械手臂的手指跟随数据手套动作。

（二）放大电路介绍

采用 OPA2350 芯片进行信号的放大。OPA2350 一款 CMOS 运算放大器, 它使用自动归零技术同时提供非常低的失调电压 (最大值为 $5\mu\text{V}$) 和随时间和温度变化而接近零的漂移。这种微型、高精度、低静态电流放大器提供高输入阻抗和轨到轨输出摆幅。信号经过此模块进行放大能够保证被单片机识别并接收, 该信号为模拟量信号。

（三）电桥介绍

弯度传感器数据接收部分采用电桥, 弯度传感器的实质为电阻应变片, 应变片是由敏感栅等构成用于测量应变的元件。电阻应变片的工作原理是基于应变效应制作的, 即导体或半导体材料在外界力的作用下产生机械变形时, 其电阻值相应的发生变化。根据弯度传感器两端电压来确定电阻应变片的变化, 以获得姿态变化数据。

（四）舵机电源电路介绍

采用 SPX2940 芯片进行 7.4V 电压的降压。SPX2940 是一款 1A 的精确电压调节器, 在 1A 时具有 280mV (典型值) 的低压降。

这些调节器是专门为需要低压差电压和快速瞬态响应的低压应用而设计的。它们具有完全的故障保护功能, 可防止过电流、蓄电池反向以及正负电压瞬变。

（五）仿真机械手臂实验模型设计

仿真机械手臂实验模型分为机械结构体和弯度感知与跟随动作控制电路两部分, 其中机械结构体设计参考人体手臂、手掌、手指等关节按 1:1 比例进行 3D 建模、打印和组装。手臂内部设计了存放槽用来安装实现手臂和手指独立跟随动作的 11 个高精度舵机。

五、总结

在现如今智能机械高速发展的大背景下, 研究仿真机械手臂并将之投入生产是大势所趋。本机械臂使用 MM32F3277G9P 单片机为核心处理器, 并加入弯度传感器输入系统, 使得本仿真机械臂更加稳定。在实际的工作环境下, 仿真机械手臂可以帮助人类完成一些高难度危险性的工作。与此同时仿真机械臂也能帮助残疾人过上正常便利的生活。

参考文献:

- [1] 李霞丽, 兰天一, 吴立成. 一种连杆式欠驱动机械手指的抓取仿真 [J]. 系统仿真学报, 2019, 31 (1): 81-86.
- [2] 任瑞. 一种用于仿真机械手臂的加固装置: CN202221837929.6[P].CN218255256U[2024-04-29].
- [3] 王安基, 安文洋. 一种伺服机器人仿真机械手臂: CN202023024087.6[P].CN214686521U[2024-04-29].