

· 康复工程 ·

手型识别的手功能康复动作快速规划研究*

孟 云¹ 韩建海^{1,2,4} 李向攀^{1,2} 郭冰菁^{1,2} 杜敢琴³

摘要

目的:解决现有手部康复机器人柔顺性、安全性不足和对手势信息采集困难等问题,研发基于视觉的方法进行手型识别,并借助识别结果来用于手部康复训练。

方法:本文基于MediaPipe模型来进行手部关键点跟踪和手势识别;在康复手套结构上选择了柔性穿戴式。通过计算机视觉的方法得到手势信息,将信息通过串口传递给单片机,由单片机控制气阀的通断,以此来控制康复手套的运动。

结果:基于MediaPipe的静态手势识别实验准确率可以达到93.71%,并且通过手势识别和康复训练实验可以得出基于计算机视觉的手势识别方法性能稳定,康复训练手套能够根据识别出来的手势信息做出相应的动作,对手进行康复训练。

结论:基于视觉示教的手部康复训练机器人可以实现手部康复训练,视觉示教降低了成本,增加了便携性;柔性穿戴式手套增加了安全性和柔顺性。

关键词 手部康复机器人;MediaPipe模型;计算机视觉;手势识别;柔性穿戴式

中图分类号:R496 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-1242(2024)-01-0096-04

手对人来说是非常重要的,在日常生活中发挥着巨大的作用,然而手部又是极易容易受伤的,外部的剧烈重创和脑卒中等其他原因都会使人们的手部功能受到损害,从而影响人们的正常生活,因此手部功能的恢复对患者具有重要意义。传统的运动功能障碍改善治疗是采用手术的方法修复受损的神经系统,并通过术后的康复训练来改善运动功能^[1]。对患者经过重复性的训练来刺激患者的皮质层并且使其形成肌肉记忆,使患者的肢体能够接收大脑的指令并且执行,这种康复训练方法已得到医学的验证。传统康复治疗是由康复治疗师辅助患者完成一系列的康复运动,来达成运动功能康复的目的。然而,这种康复方式存在人员劳动量大、治疗师资源短缺、费用昂贵等缺点。因此,基于康复医学的概念又结合机器人理论的康复机器人应运而生,这种康复方法克服传统康复治疗带来的弊端,具有更加广阔的前景。

目前的手部康复机器人从结构上主要分为刚性外骨骼式和柔性穿戴式。意大利的Sale等发明了一种“手指脊柱”的欠驱动外骨骼FEX,由一个电机驱动4个手指^[2],能够很好地实现康复训练,但装置的大部分重量位于患手指背部,长时间穿戴会增加患者负重感,可能会给患者带来二次伤害。

由华中科技大学研发的手功能康复机器人,采用的是气泵驱动人工肌肉的方式^[3],相比较刚性外骨骼式,具有柔顺性好,安全性高的特点。

手型识别有两种方法:基于数据手套和基于计算机视觉^[4]。基于数据手套为输入设备的手势控制通过检测手指的弯曲、手部的力觉反馈来模拟出人手所表达的信息,从而获得控制信息,其接触式检测方式限制了手势的丰富性及自然性,且成本较高。近年来基于计算机视觉的手势识别方法因其方便、准确率高等特点被广泛应用。目前用于视觉手势识别的方法有Kinect深度相机识别,通过Kinect跟踪手部骨骼并获取关于手部骨骼的三维深度信息^[5],以此来进行手型识别且识别精度高,但其设备价格较为昂贵。还有基于单目相机来进行手势识别的方法,此种方法对环境要求不高,且价格便宜,因此被广泛使用。

考虑到舒适性和成本问题,本设计手势识别部分采用了单目相机的手势识别系统,这种方法摒弃了原有的数据手套带来的不便,在降低成本的同时又增加了其便携性;康复手套部分采用了便携的柔性可穿戴式,具有与人手贴合度高和安全性高的特点。系统通过单目相机将人手部动作进行采

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2024.01.015

*基金项目:河南省科技攻关项目(212102310890, 212102310249)

1 河南科技大学机电工程学院,河南省洛阳市,471003; 2 河南省机器人与智能系统重点实验室; 3 河南科技大学第一附属医院;

4 通讯作者

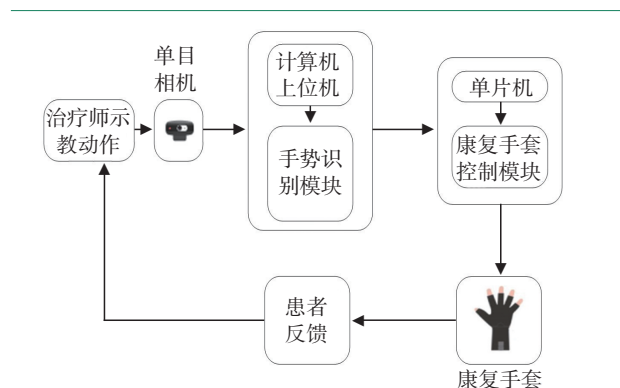
第一作者简介:孟云,女,硕士研究生; 收稿日期:2022-05-26

集并进行手势识别,将得出的手势信息进行处理,处理后的手势信息传递给控制系统,控制系统控制康复手套做出相应的动作,从而进行手部的康复训练。

1 整体方案设计

基于视觉示教的手部康复机器人整体设计方案,如图1所示。本设计共有两个部分组成,包括手势识别部分和康复训练手套部分。单目相机是手势识别部分从外界获取信息的设备,通过对手部图像进行采集并且识别出相应手势,将得到的手势信息进行处理。之后通过串口通信的方式将处理过的手势信息传递给单片机,由单片机来控制气阀的通断,向手套中对应的手指充气,使康复训练手套做出相应动作。

图1 交互系统示意图



在康复训练过程中,治疗师可以通过患者的受伤情况及患者对康复动作的反馈,来选择更有利于患者的康复动作,从而提升效率。

患者若只有一只手需要进行康复训练且患者具有自主意识时,可以用健手做出手势,识别模块识别手部动作,从而带动患手进行康复训练。这种镜像疗法利用国内华山医院的贾杰教授团队提出的利用视觉的反馈信息对神经系统进行反复刺激,以达到训练神经-肌肉回路再建。

本设计一共有2个模式:实时模式、重复训练模式,其中实时模式是由康复人员做出手部动作,康复手套实时复现手部动作,从而带动患者患肢进行康复训练;重复训练模式需先点击样本采集按钮对几个连续手势进行一次采集,之后的每次训练就可以直接点击开始训练按钮对采集的样本动作进行复现;若需要重新定义样本动作,则需要再次点击样本采集按钮重新进行手势采集。

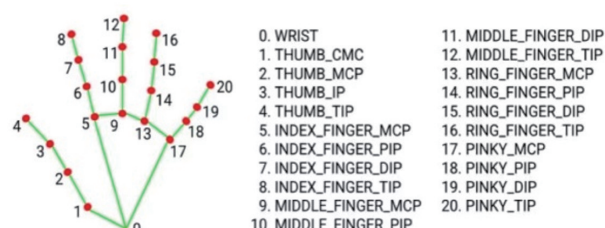
2 各系统设计方案

2.1 手势识别系统

MediaPipe是一款由 Google Research 开发并且开源的

多媒体机器学习模型,应用框架我们可以得到单帧内的手部的21个关键点坐标,如图2是该方法规定的手部21个关键点的3D坐标。

图2 手部21个关键点3D坐标



MediaPipe框架是由3个模型组成,包括:手掌识别模型BlazePalm、手部关键部位界标模型Landmark模型、手势识别模型^[6]。系统通过以上三步,最终能够得出手势识别的结果。

①手掌识别模型BlazePalm:用于识别手的边缘框和方向,相当于是对手部进行检测。相对于脸部识别有着明显的器官特征,手部的识别则需要更多的人体特征来帮助提高识别的准确率。

②手部关键部位界标模型Landmark:用于识别立体手部节点。对手掌识别模型检测出来的手部区域进行操作,通过回归的方法,最终可以得到21个手部的关键点,并且可以得到其3D坐标。即使在有遮挡的情况下,该方法依旧表现出稳定性。

③手势识别模型:在得到关键点之后,可以预测出骨架,通过关节角度之间的关系,可以判断手指是出于伸直还是屈曲状态。利用我们自定义的手势,可以完成手势识别。对于康复手套的应用,我们可以将识别出来的手势作为示教动作,使康复手套也做出相同的动作,从而带动患者手部进行康复训练。

2.2 康复训练手套设计

2.2.1 手套结构:手套总体结构采用便携的柔性穿戴式,柔性穿戴式的手部康复机器人相比于刚性外骨骼式具有质量轻、与人手的贴合度更高的特点^[7],因此,选用了市面上的气压驱动波纹管型训练手套,其结构如图3所显示。

2.2.2 驱动系统设计:本设计采用的是气压驱动的方式,所以需要设计一种合理的气动系统。气动系统是以压缩空气为主要工作介质,并利用不同元器件构成具备相应功用的电路进行空气动力的输送和控制系统,通常由气源装置、执行机构部件、控制元件以及辅助元器件等所构成^[7]。

本系统采用正负压一体驱动控制模式^[8]提供了两种气压源,通过SMC两位三通方向阀进行切换,正压驱动时波纹管膨胀伸长,带动手指屈曲实现抓握动作;负压驱动时波纹管

收缩,带动手指伸展实现张开动作。

2.3 控制系统设计

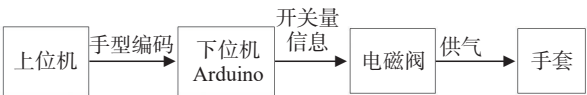
从手势识别系统得出手势信息后,手势信息被传送到 Arduino 板上,通过运行写入的开关量控制程序,控制气阀通断,向手套中对应的手指充气,从而使得康复手套动作。

系统采用PC作为上位机,在上位机完成手势识别,并得出手势信息;下位机 Arduino UNO 来实现手型编码的输入及气阀信号的输出。本系统采用串口通信的通信方法,控制系统设计如图4所示。

图3 柔性穿戴式手套结构



图4 控制系统设计图



3 手势识别和康复训练实验

3.1 实验装置

手势识别和康复训练实验是在实验室中进行的,手势识别于上位机实现,康复训练实验是基于搭建好的试验台来进行的。

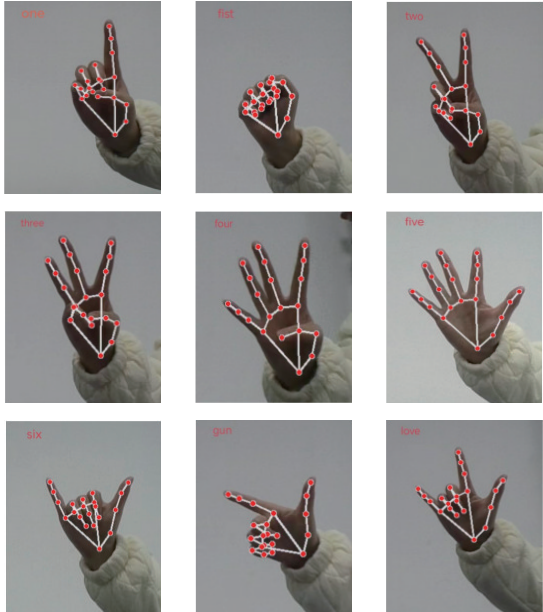
主要实验装置是一台带摄像头的电脑,气压驱动波纹管型训练手套,正负压气源及下位机驱动控制系统。

3.2 静态手势识别实验

3.2.1 手势交互设计:本系统手势交互是通过健肢与一个单目摄像机来进行的,通过摄像机采集到的画面内手的动作的变化可以控制康复手套上各个手指的屈曲和伸直。例如手势检测出来是“Five”,就是5根手指都伸直,则康复手套带动患肢的五根手指都由屈曲变成伸直状态。本设计共规定了9种手势,如图5所示。

3.2.2 静态手势识别:本文对测量到的手部关键点连线的角度进行计算,便能够进行手势识别。根据手部21个关键点坐标,比如计算大拇指向量在0—2与3—4之间的夹角,向量

图5 手势交互设计



夹角等于某一角度阈值(经验值)定义为弯曲,小于某一个阈值(经验值)为伸直^[9]。

为了验证利用向量角度方法来进行手势识别的可行性,因此展开静态手势识别实验。数据集的采集是由5名同学对本设计需要的9种手势各采集5次,将会得到225张不同背景的手势图片。得到数据集后首先将每张图片的分辨率都统一压缩到500×500,由于数据集太小,需要将已有的手势图片经过翻转、镜像、旋转、平移、模糊或调亮^[10]等方法来扩充数据集,最终将本实验的数据集扩张到4500张。将数据集在该种方法进行验证,得到置信度为0.75时的各手势的准确率如表1所示。

表1为各手势的准确率,准确率计算公式为:

准确率 = $\frac{\text{各手势准确率之和}}{\text{手势种类数}}$ (1)

经计算可得该种手势识别方法识别手势的准确率为93.71%。

3.3 基于手势识别的主从操控实验

为验证最终康复手套带动患肢做出来的手势与单目摄像机所识别出来手势是否一致,设计了基于手势识别的主从控制实验。

3.3.1 映射过程建立:映射过程如图6所示,运行上位机程序,单目摄像头采集手部图像,MediaPipe 进行手势识别,得出手势信息,将手势信息转化为字节传递给单片机,单片机控制气阀通断,来完成手部的康复动作。

3.3.2 主控端设计:通过单目摄像机可以获取手部图像,经手势识别模块可以得出手部信息,之后将手部的信息转换为

表1 置信度为0.75时各手势准确率

手势名称	准确率
one	96.38%
two	94.30%
three	91.54%
four	93.09%
five	95.61%
six	90.38%
gun	93.93%
fist	98.56%
love	89.63%

图6 手势映射过程示意图

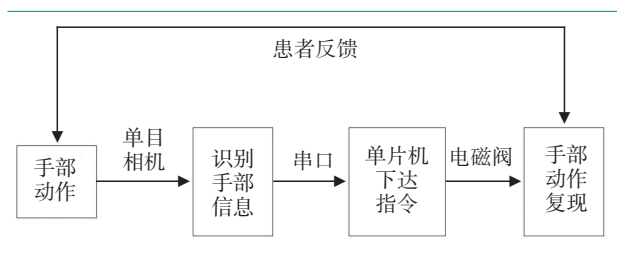


图7 主从操作实验结果图



单片机的串口指令。

在之前的静态手势识别实验中,我们不能保证识别出来的每张手势都是正确的,为了防止识别错误对实验造成的影响,我们设置了手势缓冲器。当手势识别结果达到一定的阈值($\geq 0.5s$),再传输到串口指令生成单元,输出控制指令^[11]。

3.3.3 从控端设计:在康复手套从控端,由引脚来控制下位机程序,利用switch语句的9个case分别来对应了9种手势,解析出的串口命令执行相应的case,从而控制各路气阀的通/断以实现柔性气压驱动器动作^[12]。

3.3.4 主从操纵实验:实验时首先将硬件设备安装好,运行上位机程序,来进行手势识别,随即将得出的手部信息,通过串口传递给下位机Arduino来控制气阀,实现对应手指所在气阀的通断,来做出相应的康复动作。

如图7所示为主从操作实验的实验结果,分别对应手势交互设计中的9种手势,结果显示基于视觉的手部康复机器

人的软件与硬件系统都能够正常运行,对于动作控制手势识别准确、控制响应迅速,能够实现手部康复。

4 结论

本文主要是基于视觉的方法来进行示教,最终实现用于示教的手做出规定的训练动作,康复训练手套也要做出相应的动作,从而对患者进行康复训练。本研究共设计了9种对患者康复有利的手势,通过静态手势识别实验和基于手势识别的主从操控实验,验证了该种方法的可行性,该系统可以准确识别操作者做出的手势并且成功使康复手套做出相应康复动作,从而带动患肢来进行康复训练,为康复机器人提供了一种新的人机交互方法。

本课题的局限性在于目前视觉系统硬件必须基于通用PC平台,如何在嵌入式平台实现智能手型识别和人机交互,是课题下一步的研究方向;在下一步功能设计时,会考虑治疗时由临床康复医师先进行评估,分别提取不同生活场景的相关手部典型动作,根据病患不同病情,设置针对性的作业训练康复模式。

参考文献

- [1] 陈宏伟. 外骨骼式手部康复机器人控制系统与策略研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
- [2] Sale P, Stellin G, Masiero S, et al. FEX a fingers extending exoskeleton for rehabilitation and regaining mobility [C]//27th International Conference on Robotics in Alpine-Adria Danube Region. Patras: GR, 2018.
- [3] 邢科新. 手功能康复机器人系统若干关键技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2010.
- [4] 俞博, 陈永强, 王双一, 等. 基于手指角度特征的静态手势识别算法[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2014, 33(1): 69—71+83.
- [5] 解迎刚, 王全. 基于视觉的动态手势识别研究综述[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(22): 68—77.
- [6] 方霁, 郑倩, 王一梅, 等. 关于云导播台交互方式的探讨[J]. 广播电视信息, 2021, 28(8): 22—25.
- [7] 周新亮. 弯曲气动肌肉驱动的柔性手部康复机器人研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2019.
- [8] 王企远, 韩建海, 赵书尚. 正、负压一体化小型空压机开发[J]. 液压与气动, 2005(5): 56—58.
- [9] 赵雅, 李建军. 基于时空特征的动态手势识别方法研究[J]. 电子设计工程, 2022, 30(4): 1—6.
- [10] 章东平, 束元, 周志洪. 融合手部骨架灰度图的深度神经网络静态手势识别[J]. 传感技术学报, 2021, 34(2): 203—210.
- [11] 王如斌, 龛全礼, 张洪, 等. 基于MediaPipe的手势识别用于挖掘机遥控操作控制[J]. 土木工程信息技术, 2022, 14(4): 9—16.
- [12] 刘持强, 王志坚, 李向攀, 等. 康复训练手套主从控制设计[J]. 机器人技术与应用, 2017(5): 27—31.