

# 手指远程康复训练机器人系统设计

易荣武 王爱民

(东南大学仪器科学与工程学院 南京 210096)

**摘要:** 将远程康复机器人技术运用到脑卒中患者的康复治疗中,已经得到国内外研究人员的重视,并且已经成为康复领域研究的热点。针对手指受伤或脑卒中患者手指康复医疗的迫切需要,设计了一套基于典型的客户端/服务器(C/S)模式的手指远程康复训练机器人系统,使得医生可以通过音视频远程监控康复训练机构,并根据训练参数做出评估,从而制定出更加科学合理的康复训练计划,有助于在家中或社区医院的脑卒中病人或手指伤残人员的康复训练。临床实践证明,该康复训练系统对偏瘫患者手指功能的康复有促进作用,能够辅助医生对病人进行有效的康复医疗训练。

**关键词:** C/S模式;机器人系统;远程康复;康复训练

**中图分类号:** TP242.3    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.8050

## Design of remote rehabilitation training robotic system for fingers

Yi Rongwu Wang Aimin

(School of Instrument Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** It has gained the attention of researchers both at home and abroad to use remote rehabilitation robotic technology for stroke patients' rehabilitation treatment, and that has become a hotspot in research of rehabilitation. For the need of medical rehabilitation for the stroke and hands injured patients, a one-to-many remote hand function rehabilitation training robotic system based on the typical model of C/S is designed. It allowed doctors to remote control the machine via AV and evaluate according to the training parameters, thus make more scientific and reasonable rehabilitation training plan to help the stroke patients or hand disabled persons at home or community hospital. It has been proved that the system has a promoting effect on hand function recovery, and it can assist doctors in the rehabilitation training.

**Keywords:** C/S mode; robotic system; telerehabilitation; rehabilitation training

## 1 引言

康复训练系统作为一种康复医疗设备,以现代康复医学理论为依据,通过辅助患者进行科学地、有效地康复训练,从而达到恢复患者运动功能的目的<sup>[1]</sup>。传统的康复治疗以治疗师手把手对患者进行一对一的康复训练为主,其训练效率比较低下,强度难以得到保证,训练效果也依赖于康复治疗师的治疗水平,而且缺乏评价训练参数和康复效果关系的客观数据,难以对训练参数进行优化以获得最佳治疗方案,也不利于对偏瘫患者康复规律的深入研究<sup>[2]</sup>。计算机图形图像处理技术、网络技术的快速发展和力反馈交互技术的进步,使基于虚拟环境的远程康复训练成为可能<sup>[3]</sup>,建立基于虚拟现实的远程康复训练系统,患者可以在康复医师的监控下在家中完成康复训练<sup>[4]</sup>。利用虚拟现实

技术,能够创造出丰富的虚拟环境或游戏环境,吸引患者按时按量完成训练任务,还可以根据患者的康复情况定制不同的训练游戏,较之传统康复治疗,对患者肢体运动功能的改善、日常生活活动能力的提高有显著意义<sup>[5-6]</sup>。计算机网络技术的引入则为远程康复训练提供了良好的平台,使得远程康复训练成为可能,可以很好地解决传统的手把手康复训练方法的弊端,使有限的康复医师为更多的患者服务,也可以满足病人对出院后连续护理的强烈需求,并可以对患者进行康复技术方面的专业指导<sup>[7-8]</sup>。将力反馈技术与机器人技术应用到康复领域,在康复训练中能够提供精确的力反馈,为康复评估奠定了基础,也有助于康复医师为患者制定合适的康复训练计划,加速康复进程<sup>[9-10]</sup>。

针对手指受伤或脑卒中患者手指康复医疗的迫切需要,将网络技术、虚拟现实技术和力反馈遥操作机器人等技

术应用于手指辅助康复医疗,研制了一种一对多的手指远程康复训练与评估系统,使得医生可以远程控制康复训练机构,并根据相关数据做出评估,从而制定出更加科学合理的康复训练计划,加速康复进程。

### 2 系统总体结构

本系统采用典型的 C/S 模式设计,从整体上看,系统包括服务器端(医生使用)、客户端(患者使用)以及相互间网络,其中一个服务器对应多个客户端,客户端包含康复训练装置,系统结构如图 1 所示。

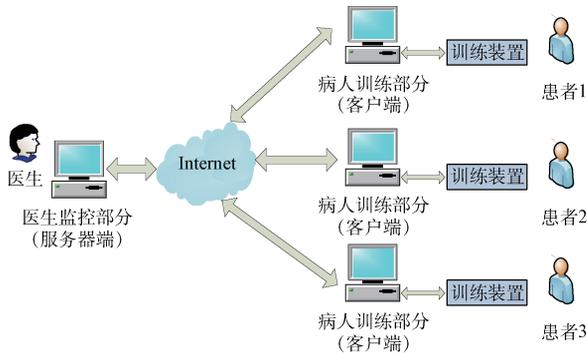


图 1 系统结构

患者在家里使用康复训练系统进行康复锻炼,其康复运动的相关数据由相应的传感器采集,然后由本地的客户端获取,最终通过网络传输到远程的服务器端,供医生监控,同时,患者的精神面貌、动作神态等自身外部信息,以及康复训练的动作,由本地的摄像头拍摄,通过网络实时传输到医生端。在医院,康复医师根据反馈的视频图像与相关参数信息,判断病人的康复情况,并通过计算机远程设置康复训练参数。病人训练部分除了音视频交互功能以外,主要功能是实现患者本地的康复训练,即连接康复训练装置,按照一定康复运动模式完成规定的训练内容。这部分主要实现训练装置硬件数据的采集及控制、康复训练游戏等模块。康复医师部分包括实时数据显示、远程控制、音视频交互和评估等模块,客户端运行时如图 2 所示。服务器端主

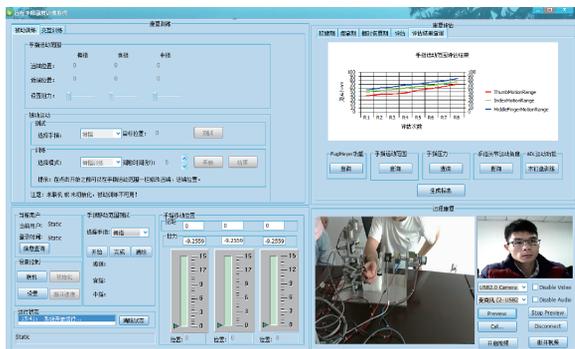


图 2 客户端运行效果

要实现的是远程控制功能以及完成多个客户端连接时处的理工作,运行时如图 3 所示。



图 3 服务器端运行效果

### 3 康复训练装置结构设计

根据脑卒中患者的康复需要,本系统设计了一种用于拇指、食指和中指三手指运动训练的平台支撑式康复训练装置,如图 4 所示。本系统的机械结构设计采用平台与外骨骼相结合的方式。整个机械结构是平台形式,患者将手臂固定在平台上,所有的康复训练都是在平台上进行的,使整个康复训练过程能在一个稳定的环境中进行。手指运动机构采用外骨骼设计,在考虑患者康复需求的基础上提高了舒适性与适用性,为患者的康复训练提供了舒适的环境。

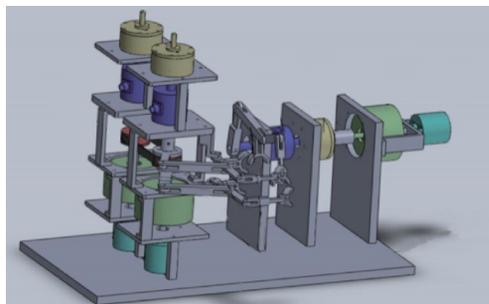


图 4 手指康复训练系统机械结构

整个机械结构由手指运动机构与驱动传感装置组成。手指运动机构为一种混合连杆外骨骼机构,采用外骨骼式机构,如图 5 所示,主要功能是带动患者手指的掌指关节(MP)与近端指间关节(PIP)在平面内进行屈曲与伸展运动。手指运动机构由驱动杆、驱动连接杆、前后端连接杆、前端指套连接杆和前、后端指套等组成。其中驱动杆与机构驱动装置的驱动轴相连,机构的前后指套分别固定在手指的近端指节与中间指节上,这样保证了在患者在进行康复训练能够充分的对掌指关节(MP)与近端指间关节(PIP)进行康复,也方便系统控制患者这两个指关节的运动。本手指康复训练系统的手指运动机构各连接杆之间采用销连接。另外,由于后端指套在前后连接杆上运动的行

程很短,因此在前后连接杆上制作了光滑导槽,并选用了表面光滑的滚动轴承作为滑块使用,保证了后端指套运动的流畅性,减少了摩擦。驱动传感装置由电机、磁流变阻尼器、光电编码器、力矩传感器及同步轮、同步带传动机构等部分组成。

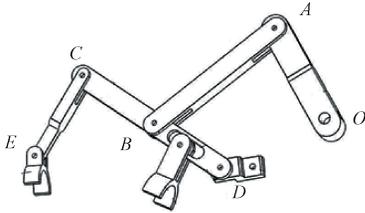


图 5 手指运动机构

#### 4 康复训练装置的控制系统设计

康复训练控制系统采用模块化设计,包括主控制器模块、通信模块、驱动控制模块、传感器数据采集模块和电源管理模块,如图 6 所示。其中主控制器模块使用 ARM 处理器来实现对整个电路的控制,包括对力矩传感器和光电编码器所采集的信息进行处理、对直流电机和磁流变液阻尼器进行控制以及对 USB 通信模块的控制。传感器数据模块中的力矩传感器用来采集患者手指的作用力,光电编码器用于测量运动轴的旋转角度,通过该角度可以计算出手指运动的位移。驱动控制模块中直流电机驱动器用于给手指的被动运动提供作用力,磁流变液阻尼器驱动器用来驱动磁流变液阻尼器以提供力反馈、阻力等。电源管理模块为整个系统提供电源。

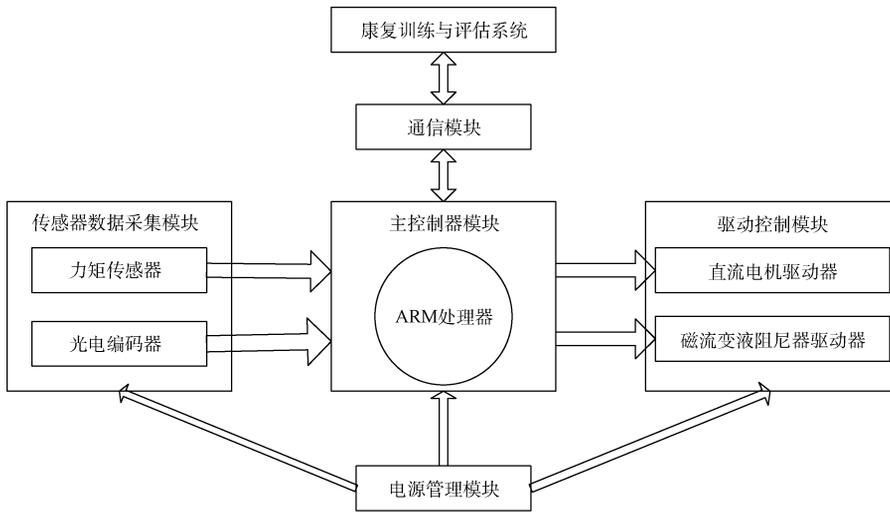


图 6 控制系统结构

本设计的软件流程为前后台系统,应用程序是一个无限的循环,循环中调用相应的函数完成相应的操作,这部分可以看成后台行为。中断服务程序处理异步事件,这部分可以看成前台行为。微控制器上电复位后,完成堆栈以及堆的初始化、定位中断向量和调用 Reset Handler 操作。然后进入超级循环,在循环中完成对接收数据进行处理,解析上位机命令;根据解析命令要求,向上位机发送数据,触发端点发送数据中断处理函数;最后,当完成数据传输处理后,可以进行程序其他任务处理(例如力反馈,以及被动训练等任务)。控制系统流程如图 7 所示。

#### 5 软件系统设计

##### 5.1 总体设计

系统采用典型的客户端/服务器(C/S)模式,完成了一对多的系统架构。患者在客户端,康复医师在服务器端。系统的康复训练部分主要在客户端实现,分为被动训练和交互训练两个部分。按照模块化的设计思想,服务器部分

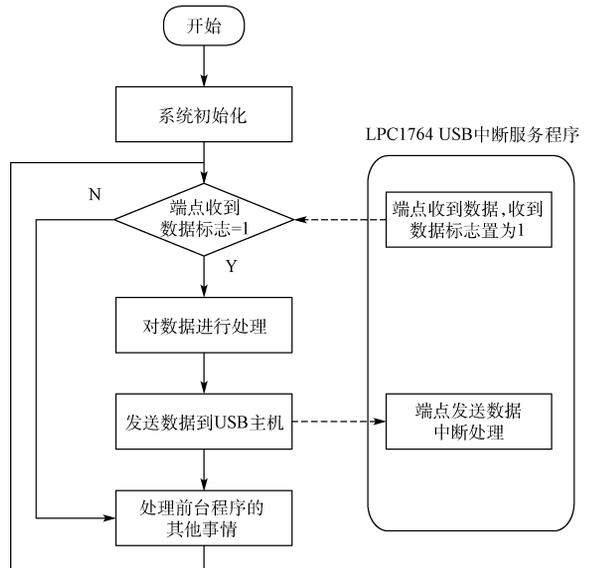


图 7 控制系统流程

和客户端部分都包含多个不同的模块,各模块分别实现不同的功能,所有的模块共同组成完整的系统。服务器端主要包含数据显示模块、网络通信模块、远程控制模块、音视频采集和传输模块;客户端主要包含设备通信与控制模块、康复训练模块、数据显示模块、网络通信模块、音视频采集和传输模块以及评估模块。其中康复训练模块包含被动训练、交互训练两个子模块;评估模块包含手指ROM评估和手指肌力评估。软件系统各功能模块如图8所示。

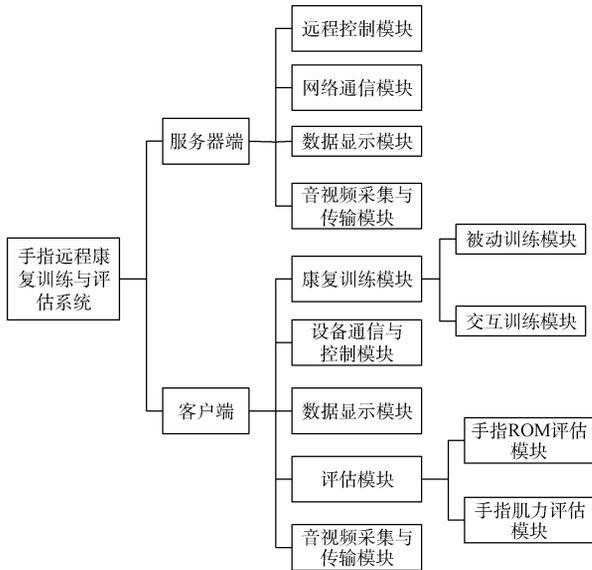


图8 软件系统功能模块

### 5.2 远程康复系统设计

远程康复系统建立在网络通信基础上,网络通信基于TCP/IP套接字编程。控制命令的传输基于TCP,音视频数据的传输基于UDP。本系统采用技术比较成熟的DirectShow来进行音视频采集与压缩,以及利用组播技术实现音视频的传输。服务器端与客户端的通信流程如图9所示。每个客户端的监控界面是独立的,一旦客户端连接上以后就可以打开监控界面。客户端进行了手指运动范围的检测后,康复医师通过获取手指范围命令得到病人的手指运动范围,之后就可以进行被动训练的测试以及被动训练的相关设置了。康复医师还可以根据病人的康复情况设置助力或者阻力,即设置助力训练模式或阻抗训练模式。同时,客户端实时向服务器发送手指的位置和拉力参数,使得医生能够实时掌握手指的运动姿态。医生也可以远程调用客户端本地数据库中内容,根据里面记录的数据信息作出评估。

本文设计的康复训练有两种模式,被动训练和主动训练。被动训练是由机构带动患者手指完成特定的运动,交互训练是指训练中病人有主动运动的成分,病人手指完全自主或部分自主或抵抗阻力运动,机器更多的是起到测量参数以及反馈的作用。康复训练是一个不断循环的过程,训练流程如图10所示。

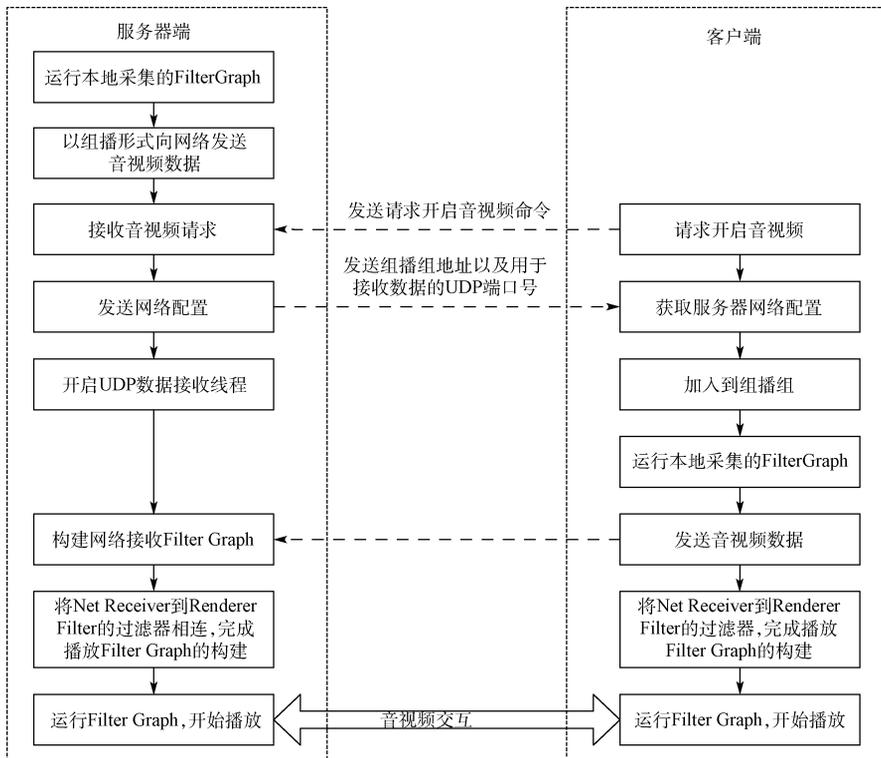


图9 服务器端与客户端之间通信流程

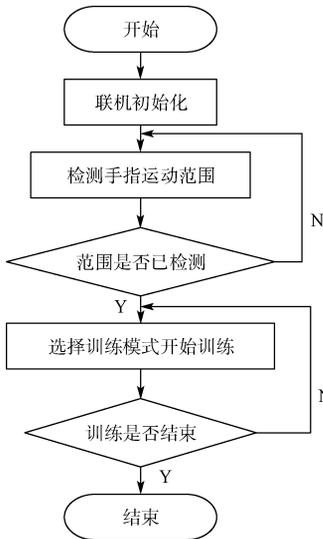


图 10 康复训练流程

## 6 实 验

为了验证本系统的有效性,选取了 3 名偏瘫患者进行了实验,选取的标准为:1)康复状况为 Brunnstrom III 期以上,无严重的痉挛症状;2)有足够的认知和语言能力接受医生与治疗师的指导;3)无严重患侧上肢疼痛和关节活动范围限制。实验对象的基本信息如表 1 所示。

表 1 实验对象的基本信息

序号	性别	年龄	Brunnstrom 分级
1	女	65	III 期
2	男	52	IV 期
3	男	43	V 期

根据 3 名患者的不同康复状况,在康复医师的指导下确定了不同的康复治疗项目。依照临床上肢康复常用的治疗时间和频次,本次实验持续训练 4 个疗程,每个疗程 3 周,每周 5 d,每天 2 次,每次 0.5 h。每个疗程结束前后做 1 次评估,评估的内容包括手 ROM、手指肌力等。手指 ROM 评估结果如图 11 所示,手指肌力评估结果如图 12 所示。

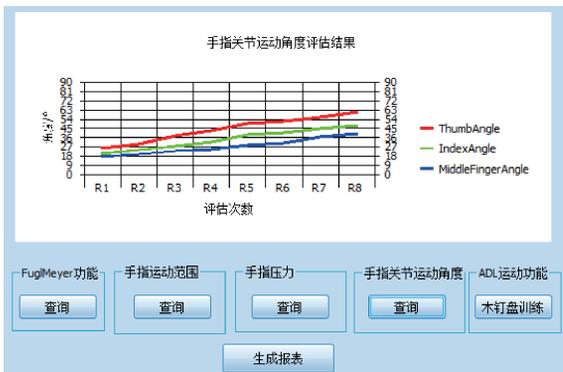


图 11 手指 ROM 评估结果

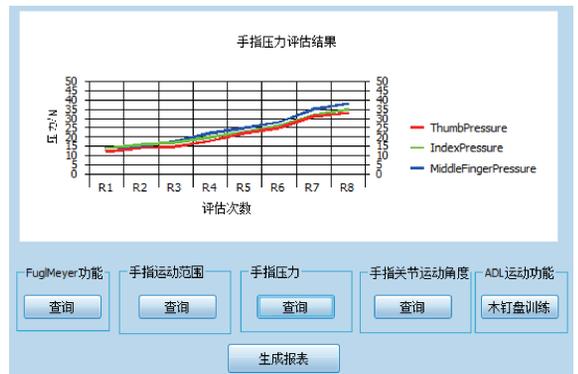


图 12 手指压力评估结果

## 7 结 论

总体看来,各个方面的评估都表明了患者的手指功能在不断的改善,通过本系统的康复训练装置按时按量完成康复训练起到了明显的效果。经过为期 4 个疗程的训练工作,可以看出整个系统工作稳定,无明显振动或粘滑等异常现象,可以为手部运动功能障碍的患者提供较实用的康复训练硬件平台。患者通过被动训练和交互训练进行康复训练,得到了预期的效果,提高了患者参与康复训练的积极性。通过本系统进行周期性的康复训练,手部运动功能可以得到改善,整体康复效果较为明显,说明本系统具有很好的可行性和有效性。在未来的工作中,机械结构可以选择更加方便的固定方式,优化手指运动机构,对系统研究更多的控制方式,评估的标准需要更多实验数据的支持,系统对手指康复的促进作用有待更加深入的实验研究。

## 参 考 文 献

- [1] 吴常铨,宋爱国,李会军,等. 一种上肢康复训练机器人及控制方法[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(5): 999-1004.
- [2] 王璐. 机器人辅助疗法对中风后上肢功能恢复的促进作用[J]. 中国疗养医学, 2013, 22(11): 980-982.
- [3] 曹宇,宋爱国,纪鹏,等. 基于 IMU 模块的救援机器人姿态显示系统的设计[J]. 电子测量技术, 2015, 38(11): 92-95.
- [4] 杨世风,李洋. 基于物联网的鱼塘溶解氧远程监控系统[J]. 电子测量技术, 2011, 34(7): 88-90.
- [5] 刘聪聪,筠祝,陈淑雷,等. 脑卒中远程康复研究进展[J]. 护理研究, 2014, 28(4): 385-387.
- [6] 孔丽文,薛召军,陈龙,等. 基于虚拟现实环境的脑机接口技术研究进展[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(3): 317-327.
- [7] 王跃,郁磊,傅建明,等. 基于极限学习机的脑卒中上肢康复 Brunnstrom 远程智能评定系统[J]. 生物医学工程杂志, 2014, 31(2): 252-253. (下转第 140 页)