

基于物联网远程控制的上肢康复机器人系统研究^①

刘修泉^② * * * 马 研 * * 宋爱国^③ * *

(* 广州番禺职业技术学院 广州 511483)

(** 东南大学仪器科学与工程学院 南京 210096)

摘要 设计了一种基于物联网的远程控制上肢康复机器人系统。该系统通过位置传感器和扭矩传感器分别采集机器人机械臂的位置和力矩信息,由 STM32 控制器将其传输给上位机,经过处理后发送控制命令给下位机 STM32 控制器,从而控制康复机器人电机驱动;在客户端显示上肢康复机器人数据信息,同时通过互联网,服务器和客户端可以进行数据信息和视频信息传输,服务器端远程控制客户端患者进行康复训练。实验证明,该机器人系统可以实现不同模式下的康复训练,同时服务器端可以远程控制客户端,从而表明该上肢康复机器人的设计是可行和有效的。

关键词 物联网, 上肢康复机器人, 远程控制

0 引言

对于由损伤和中风等疾病造成肢体偏瘫或肢体运动功能障碍的患者来说,综合康复治疗是一种有效的治疗方法。康复治疗可以促进肢体运动功能和脑神经的恢复,因而接受康复治疗的患者日益增多,康复治疗的方法和技术也不断得到改进。一般情况下患者都是在有经验的理疗师帮助下进行康复运动,理疗师须根据自身的经验进行康复训练方案设计和修改,这种方式工作强度大,成本高,而且患者不能在家里进行治疗,一般需要到医院或者康复中心进行理疗,一旦时间较长,患者的治疗积极性就会降低,达不到最佳的治疗效果。随着物联网技术的发展,康复运动与机器人技术融合在一起,极大促进了康复机器人发展。通过物联网,利用康复机器人,在服务器端康复理疗师的远程控制和指导下,患者可选择合适的康复方案,在家里或者社区医疗中心进行训练,从而大大加快康复过程和增强康复效果,

可以说,康复机器人是康复技术的一个重要发展方向^[4]。Nef 等研制了一种上肢康复机器人 Armin,具有 6 个自由度,配有力传感器和位移传感器^[5]。美国芝加哥康复研究所和斯坦福大学研制了一种远程康复机器人,可以用于治疗和评估中风患者损伤的肘关节,理疗师和患者端均配有电机、计算机、位置和扭矩传感器等,理疗师可以通过互联网远程控制患者的治疗训练过程,可以实现患者在家里进行康复训练^[6]。Li^[7]等建立了五自由度上肢运动机能康复机器人的综合评价模型,提出了一种模糊层次分析方法(Fuzzy-AHP),该方法可以在线自动校正功能,综合评价模型可以改变速度,速度模型变化越快,训练效果越好。马妍等研制了一种三自由度上肢康复机器人,可以通过互联网进行远程控制^[6]。清华大学、哈尔滨工业大学、华中科技大学、南京理工大学等也进行了康复机器人的研究工作^[8-12]。

本研究设计了一个上肢康复机器人系统,该系统具有主被动训练模式,训练与游戏为一体,以增加训练乐趣,同时可以通过互联网实现远程控制,患者

① 国家杰出青年科学基金(61325018)资助项目。

② 男,1973 年生,博士,副教授;研究方向:医疗康复机器人,E-mail: lixiuquan1@126.com

③ 通讯作者,E-mail: a.g.song@seu.edu.cn

(收稿日期:2014-11-16)

可以在家里或者社区医疗中心,实现理疗师对患者的控制,同时采集患者视频和其他数据等参数供理疗师参考。

1 上肢康复机器人系统

本研究设计的上肢康复机器人系统由PC机、STM32微控制器和机械臂等构成,如图1(a)所示。在上肢机械臂系统中,在电机轴上安装了光电编码器进行位置检测,然后通过减速器进行减速,增大传输力矩;在减速器的输出轴上安装了扭矩传感器,然后与机械臂相连,扭矩传感器可以检测机械臂的力矩。上肢康复机器人实物如图1(b)所示。上肢康复机器人机械部分主要由机架、机械臂,支撑臂手柄等构成,机械臂和支撑臂是组合式设计,通过螺栓将机械臂和支撑臂刚性连接,可以将机械臂和支撑臂合二为一。手握手柄,前臂放在机械臂上,通过机械臂和手臂相互运动,从而对手臂进行康复训练。此时重点对肘关节、前臂和上臂进行康复训练。机械臂和支撑臂分开时,它们之间是铰链联接,手握手

柄,前臂放在支撑臂上,通过机械臂和支撑臂的相互运动,从而促使手臂运动,重点可以对腕关节、前臂和上臂进行康复训练。手柄与机械臂是铰链联接,但是有一定阻尼的,在通常康复训练过程中,手柄与机械臂是保持相对静止的,但是在患者痉挛等情况下,手柄相对于机械臂是可以运动的,主要是为了防止患者上肢的二次损伤,提高安全性。

2 系统控制电路设计

上肢康复机器人控制系统如图2所示,主要包括上位机和下位机。下位机采用STM32微控制器,基于ARM-M3内核,内有12位的模数转换器(ADC)和数模转换器(DAC),具有低功耗、实时性以及高性价比。在PC机(上位机)进行人机接口界面操作,选择不同的工作模式,通过串口通讯将信息传递给STM32控制器(下位机),控制电机工作,从而带动机械臂进行运动,同时,将光电编码器采集的位置信息和扭矩传感器采集的扭矩信息通过STM32控制器反馈给PC机,根据PC端人机界面交互信息,可以对患者的康复训练情况进行评估分析和提供指导。

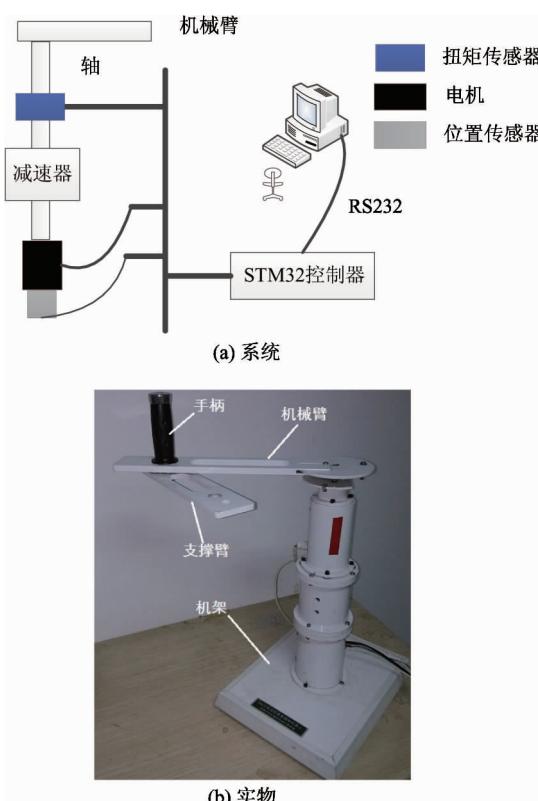


图1 上肢康复机器人

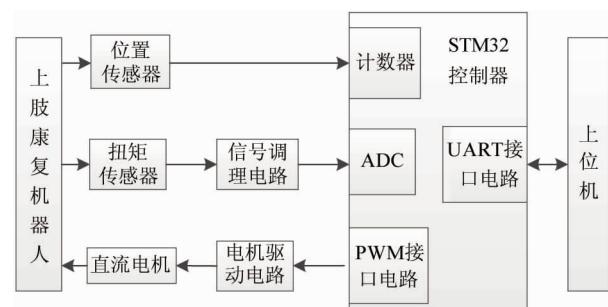


图2 上肢康复机器人控制系统

2.1 传感器电路

本系统位置传感器采用增量式编码器,输出差分信号,直接提供给STM32控制器进行处理。

JNNT扭矩传感器输出信号为差分信号,毫伏级电压,需要进行信号调理和放大,调理和放大电路见图3。在信号调理放大电路中,采用仪表放大器AD620,其尺寸小、功耗低、精度高,仅需要一个外部

电阻就可以调节增益,一般在 1 至 1000 之间。增益

(G) 公式为

$$G = \frac{49.4k\Omega}{R_G} + 1 \quad (1)$$

其中 R_G 为增益的外部控制电阻, 式为 $R_G = \frac{49.4k\Omega}{G - 1}$ 。

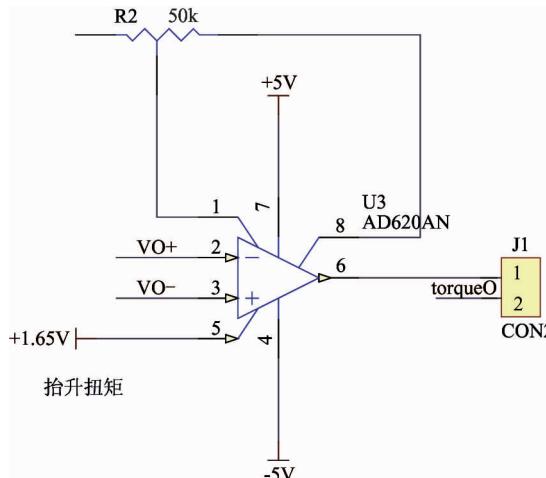


图 3 扭矩信号调理与放大电路

增益的外部控制电阻 R_G 需选择合适, 使扭矩信号放大至伏级, 一般采用精密可调电阻。STM32 微控制器的 A/D 转换电压范围是 0 ~ +3.3V, 在这里扭矩传感器的输出信号放大至 -1.65V ~ +1.65V, 该信号需要调理成为单极性信号, 设置 AD620 的参考电压为 +1.65V, 从而扭矩信号经过调理放大后达到 0 ~ +3.3V。

2.2 直流电机驱动电路

上肢康复机器人机械臂采用 70LYX07 电动机, 具有快速响应、低转速、大力矩、特性线性度好、力矩波动小等特点。直流电机驱动器采用 ASD-04, 额定输入电压为 12 ~ 24V, 电压输入范围为 10 ~ 30V, 额定输出电流为 10A/20A, 具有脉冲宽度调制 (pulse-width modulation, PWM) 调速功能, 可以实现正反转控制和刹车功能。

ASD-04 直流电机驱动器与 STM32 控制器相连, 如图 4 所示。

图 4 中 EN 为使能端, EN = 0, 该驱动器不工作, 关闭; EN = 1, 驱动器处于工作状态。当 RPWM 引脚是 PWM 方波, LPWM 引脚是低电平时, 电机正

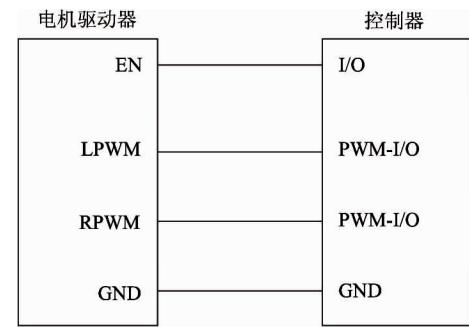


图 4 电机驱动器与控制器接线

转; 当 RPWM 引脚是低电平, LPWM 引脚是 PWM 时, 电机反转; 当 RPWM 和 LPWM 均为低电平时, 电机制动, 不转。其状态如表 1 所示。

表 1 ASD-04 电机驱动器状态控制

	正转	反转	刹车	关闭
RPWM	PWM	0	0	×
LPWM	0	PWM	0	×
EN	1	1	1	0

ASD-04 与电源和直流电机的连线如图 5 所示, 驱动器电源电压为 10 ~ 30V, M + 与 M - 两个端口与直流电机相连。

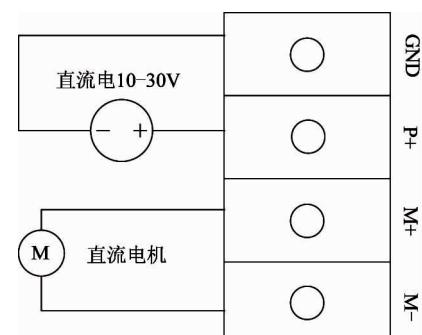


图 5 电机驱动器与电源电机的接线

3 软件系统设计

上肢康复机器人软件系统总体结构如图 6 所示, 包括上位机和下位机软件系统。其中最右侧部分是下位机软件系统, STM32 微控制器程序部分, 采集上肢康复机器人的位置信息和扭矩信息、获取工作状态和设置训练模式等, 通过串口将该信息传

递给上位机,同时接受上位机实时控制命令,设置康复训练模式;服务器端和客户端是上位机软件系统,属于人机界面,采用微软公司的 Microsoft Visual C + + 6.0 进行编写,客户端部分面向患者,服务器部分面向康复理疗师,两者之间通过互联网进行网络通讯,理疗师可以远程控制和指导患者的康复训练情况。客户端是患者所在的软件界面,可以发送控

制命令,接受和显示上肢康复机器人的机械臂位置信息和扭矩信息,启动康复训练游戏,开启视频的采集,传输视频和数据给服务器端;服务器端是康复理疗师的软件界面,可以通过互联网,一名康复理疗师至多可以同时远程监控三位患者康复训练情况,包括发送控制命令,设置训练模式,接受客户端的视频和数据信息,实时查看患者的训练情景。

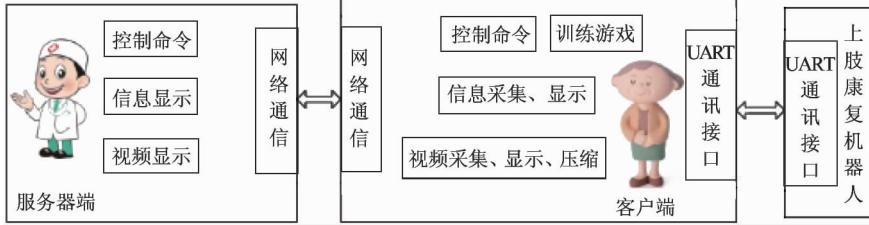


图 6 上肢康复机器人软件系统

4 实验

对上肢康复机器人进行实验研究,通过正常人来进行测试,从而验证上肢康复机器人的可靠性和稳定性。实验主要包括两个部分,即上肢康复机器人功能测试和远程控制测试。

4.1 功能测试

在主动训练模式(图 7)下,上肢康复机器人是具有一定阻尼的,通过自身上肢力量克服阻尼,带动机械臂进行康复训练,机械臂角度可以实时显示,从角度曲线波形看,可以有效跟踪患者主动训练情况。

在主动模式下长时间进行康复训练比较枯燥乏味,因此增加了康复游戏环节,基于 OpenGL 虚拟现实技术开发了篮球游戏,可以设置篮球游戏的难度,

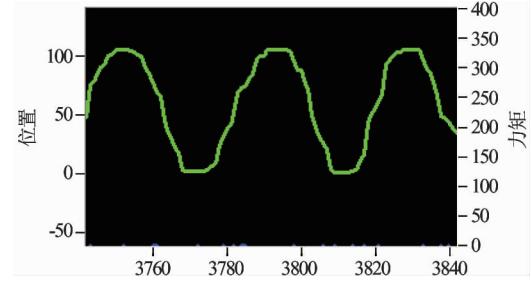


图 7 主动模式

通过患者操纵机械臂,可以左右移动篮球接球,增强了趣味性,提高了康复训练效果,具体测试结果如图 8 所示。角度曲线有缓有急,说明在游戏过程中上肢运动有快有慢,增强了上肢康复训练的灵活性。从游戏统计界面可以看出,游戏时长、游戏成绩等都可以实时显示,时间越长,用篮球接住的球越多,上肢康复训练效果越好。



图 8 主动模式下游戏状态

在被动模式(图 9)下,正常人上肢放置在机械臂上,保持不动,通过机械臂带动上肢进行运动。图 9(a)为快速小范围的实验结果,(b)为慢速大范围的实验结果,从图中可以看出,在被动模式下能够很好地进行康复训练,但实际上由于各种因素的影响,比如手臂抖动等原因,患者的上肢是动态变化的,可能对康复机器人运动状态有影响。在这里设计了两个实验,一个是上肢手臂抖动,另外一个是上肢手臂给机械臂施加阻力实验。

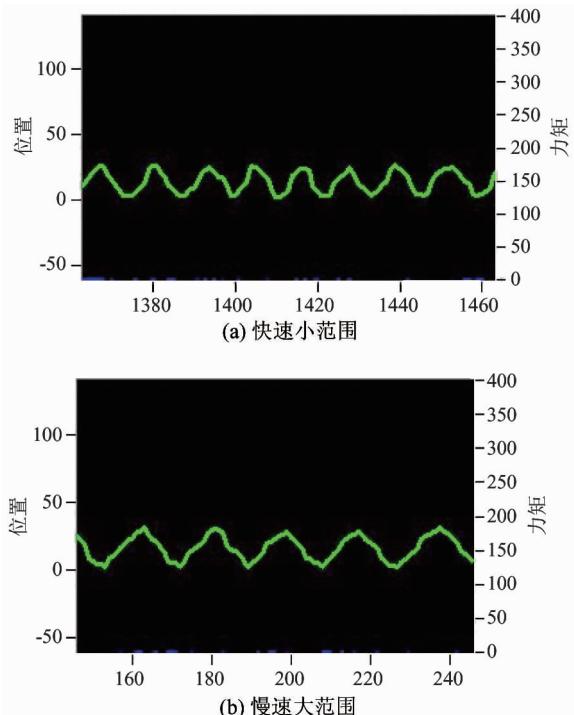


图 9 被动模式

首先是手臂抖动实验,在慢速大范围内,在康复训练的过程中,人为增加上肢抖动,从而机械臂也抖动,机械臂位置信息如图 10 所示。一开始上肢手臂

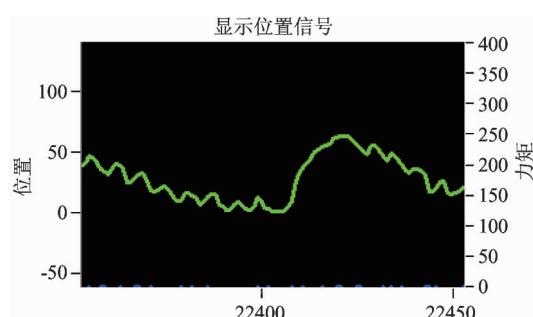


图 10 被动模式下模拟抖动

抖动,机械臂角度也在波动,当停止抖动时,角度曲线是光滑的,然后继续抖动,角度曲线又是波动的。可见,即便在抖动情况下,康复机器人还是能够有效带动上肢运动的。

第二个实验是手臂给机械臂施加阻力实验。在康复训练中,根据患者康复情况,动态地调整电机输出扭矩。如图 11 所示,正常人在被动模式下进行康复训练,保持上肢不动,相当于给机械臂施加一个反力,阻碍机械臂运动,此时扭矩传感器检测到上肢与机械臂的力矩较大,系统会增加电机输出扭矩。然后撤销对机械臂的阻碍作用,上肢与机械臂的力矩就变小,系统减少电机输出扭矩。通过扭矩反馈,可以控制电机输出扭矩,最大限度提高康复训练效果,也可以避免患者在训练过程中的二次损伤。

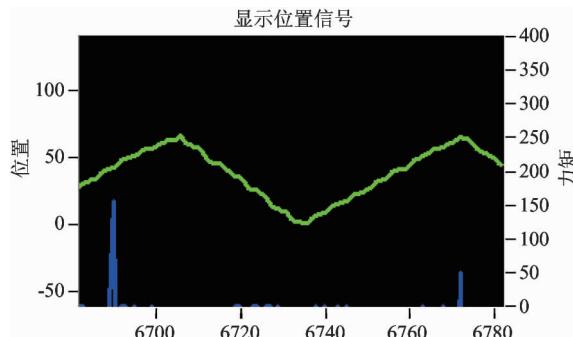


图 11 力反馈

4.2 远程控制测试

远程控制测试主要是验证服务器对客户端控制及其之间的数据传输与视频传输有效性。

首先在客户端设置训练模式,在服务器端界面显示的训练模式状态是一致的。然后在服务器端设置训练模式等信息,在客户端显示的训练模式状态也是一致的,并且可以有效和可靠地驱动上肢康复机器人处于相应的训练模式下工作。在被动模式下,服务器端位置信息的曲线如图 12 所示,这说明客户端与服务器的数据传输和控制是有效的。

服务器端界面如图 13 所示,通过服务器端可以设置不同的康复训练模式,这里以主动模式为例,通过设置可以开启康复机器人主动训练模式,手臂可以带动机械臂进行康复运动,然后在客户端开启视

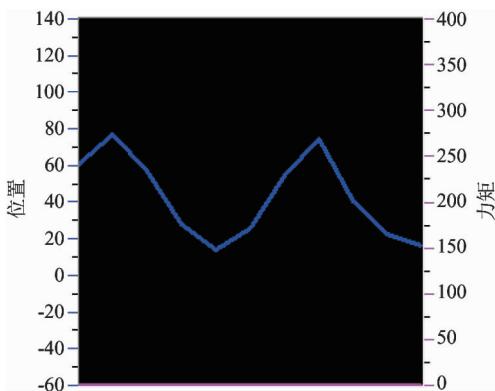


图 12 服务器端的位置信息

频传输,在服务器端接受视频,如图 14 所示,可以清晰看到测试康复训练的现场,便于理疗师远程观察训练情况,为康复治疗方案提供参考。



图 13 服务器端界面



图 14 服务器端接受视频

5 结 论

本文设计一种基于物联网远程控制的上肢康复机器人系统,该系统通过位置传感器和扭矩传感器分别采集位置和扭矩信息给上位机,经过处理,可以在客户端显示上肢康复机器人数据信息,同时通过互联网,服务器和客户端可以进行数据信息和视频信息传输,服务器端远程控制客户端患者进行康复训练。实验结果表明,该上肢康复机器人的设计是可行和有效的。

参 考 文 献

- [1] Erhan A, Zeynep S. A muscular activation controlled rehabilitation robot system. In: Proceedings of the 15th International Conference on Knowledge – Based and Intelligent Information and Engineering Systems, Kaiserslautern, Germany, 2011. 271-279
- [2] Andrzej M, Jacek B, Zbigniew S, et al. Control system for a limb rehabilitation robot. *Information Technologies in Biomedicine*, 2010, 69: 423-430
- [3] Paul G, Jennifer G. Developing rehabilitation robots for the brain injured. In: Proceeding of the 12th International Conference on Computers Helping People with Special Needs, Vienna, Austria, 2010. 69-76
- [4] 王静,朱琳,王瑞平. 上肢机器人对脑卒中患者上肢功能恢复的影响. 中国实用神经疾病杂志, 2013, 16 (22):73-74
- [5] Mihelj M, Nef T, Riener R. ARMin - Toward a six DoF upper limb rehabilitation robot. In: Proceedings of the 1st IEEE / RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, Pisa, Italy, 2006, (89): 1154-1159
- [6] 马妍. 三自由度上肢康复机器人的研制[硕士学位论文]. 南京:东南大学仪器科学与工程学院, 2014. 38-52
- [7] Li X, Wang J H, Fang X K. A kind of motor-function evaluation method for upper-limb rehabilitation robot. In: Proceeding of the International Conference on Mechanical Engineering and Technology, London, UK, 2011. 229-235

- [8] Guo L Y, JI L H. Relation between patients' active force and effect of robotic therapy for rehabilitation. In: Proceedings of the 27th IEEE Annual Conference on Engineering in Medicine and Biology, 2005, Shanghai, China, 2005. 5044-5046
- [9] 吕广明,孙立宁,彭龙刚. 康复机器人技术发展现状及关键技术分析. 哈尔滨工业大学学报,2004,(9):1224-1228
- [10] 黄明,黄心汉,温月等. 便携式二自由度腕关节康复机器人设计. 华中科技大学学报,2014, 41(增刊 I): 329-331
- [11] 章华涛,吴常铖,郭晏等. 带触觉的肌电假手握力模糊控制方法. 仪器仪表学报,2013, 34(7):1959-1965
- [12] 许祥,侯丽雅,黄新燕等. 基于外骨骼的可穿戴式上肢康复机器人设计与研究. 机器人,2014, 36(2):147-155

Research of a remote-controlled upper limb rehabilitation robot system based on internet of things

Liu Xiuquan * ** , Ma Yan ** , Song Aiguo **

(* School of Mechanical and Electronic, Guangzhou Panyu Polytechnic, Guangzhou 511483)

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

Abstract

A remote-controlled upper limb rehabilitation robot system based on the internet of things was designed and implemented. The robot system uses a position sensor and a torque sensor to collect the robot manipulator's position information and the torque information respectively, which is transferred to the upper computer through the STM32 controller; After the information is processed, the upper computer sends control commands to the STM32 controller, which drives the motor of the rehabilitation. The data and information of the upper limb rehabilitation robot could be shown in the client computer. Through the internet, the data and video information could be transmitted between the server and the client; And the server controls remotely the client patients to realize rehabilitation training. The experiments verified the robot system could implement different modes of rehabilitation training, and the server could remotely control the client. The results show that the design of the upper rehabilitation system is feasible and effective.

Key words: internet of things, upper limb rehabilitation robot, remote controlling