

· 康复工程与转化医学 ·

基于嵌入式计算机的上肢康复机器人医-患-机交互系统研究

易金花 张颖 简卓 喻洪流

据统计估算,我国 40 岁以上脑卒中患者约 1036 万人^[1],每年的新发患者约 150 万人,其中大多数患者存在不同程度的肢体障碍,尤其是上肢功能障碍。临床研究证明,康复训练在脑卒中偏瘫患者的上肢康复治疗过程中起着十分重要的作用,而利用康复机器人来帮助患者完成上肢的康复训练已成为国内外的一种发展趋势^[2-4]。在现有的大多数上肢康复机器人中,人机交互^[5-7]功能的实现大都是基于个人计算机,如瑞士苏黎世大学研究的 ARMin II 上肢康复训练机器人^[8]、瑞士 Hocoma 公司研制的 Armeo 系列康复训练装置、意大利 TechnoBody 公司研发生产的多关节训练系统 (multi-joint system, MJS) 等,其操作方式主要是基于鼠标与键盘。这种设计方式一方面要求医护人员在康复训练现场进行设备操作,大大限制了医护人员工作范围,降低了工作效率;另一方面,由于个人计算机离患者距离较远,大大降低了患者对自己康复治疗过程的关注程度与参与程度。

针对上述上肢康复机器人系统中存在的不足,本研究提出并设计了一套基于嵌入式计算机的上肢康复机器人医-患-机交互系统。该系统利用嵌入式计算机的移动计算能力和自带的触摸控制功能,不仅能使医护人员时时监控处于运行状态的上肢康复训练机器人状态,掌握患者的训练动态,适时做出调整,提高医护人员的工作效率;还能使患者在医护人员的指导下,根据自身情况对计算机进行操作,最大限度地提高训练效率,提高患者对整个康复训练过程的参与程度,提升康复训练效果。

总体设计方案

针对医-患-机交互系统,根据医护人员和患者的不同需求,在嵌入式计算机上设计两款人机交互界面,一款是面向医护人员的,命名为医护人员用嵌入式计算机,另一款是面向患者的,命名为患者用嵌入式计算机。

基于嵌入式计算机的上肢康复机器人医-患-机交互系统的总体方案:通过医护人员用嵌入式计算机,医护人员不仅可以为处于上肢康复机器人上的上肢功能障碍患者选定康复训练模式,还可以针对患者的康复情况制定康复训练计划,并远程无线发送至患者用嵌入式计算机,实现对上肢功能障碍患者进行康复训练的远程无线控制。在经过医护人员许可后,上肢功能障碍患者也可以自己通过患者用嵌入式计算机选择适合自己的康复训练方式。在完成康复训练后,在医护人员用嵌入式计算机上和患者用嵌入式计算机上均可显示患者的康复训练情况。系统总体结构框图如图 1 所示。

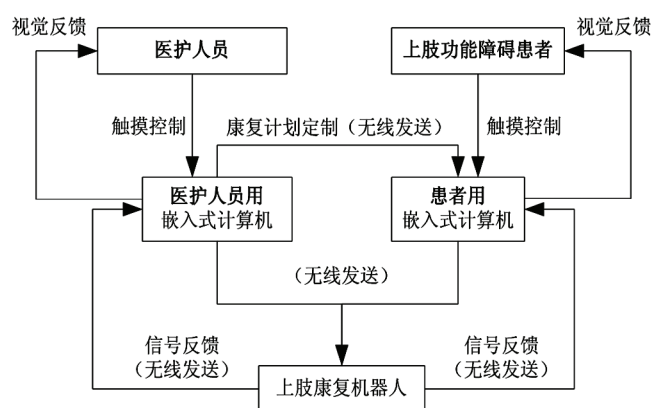


图 1 系统总体结构框图

针对本研究的总体方案可知,人-机交互界面是交互系统实现的基础,无线通信功能是交互系统实现的前提,因此,本研究主要集中在人-机交互界面(包含医生用界面和患者用界面)的设计和无线通信功能的设计这两个方面。

基于嵌入式计算机的人-机交互界面设计

人-机交互界面是本研究的基础,它要将复杂的系统控制功能通过简单易用的方式表现出来。考虑到人-机交互界面的可移动性和触摸可控性,本研究设计的人-机交互界面选用以嵌入式 Linux 内核与 ARM 内核微处理器为研究平台,允许用户使用触摸操作并能通过液晶显示屏查看患者的康复情况。

一、嵌入式计算机及其开发环境

与通用计算机应用程序不同,嵌入式计算机的应用程序并不是在嵌入式计算机系统中编译开发的,往往需要进行交叉编译,也就是先在 PC 上编译嵌入式计算机系统需要运行的程序,再下载到嵌入式计算机中运行。另外,其开发环境也需要自己搭建。本研究设计的嵌入式计算机的硬件开发平台选用友善公司推出的 mini 210 开发板,该开发板使用了 S5PV210 微处理器为主控芯片,并配备 7 寸电阻式触摸屏,符合触摸控制的设计要求;在嵌入式计算机的开发上,本研究所搭建的嵌入式 GUN/Linux 操作系统选择了 Ubuntu 12.10 版。程序编辑软件使用 GVim,该软件是开源软件,需要下载源代码编译安装,并进行个性化配置才可使用。串口调试终端使用 Minicom。用户控制系统界面使用 Qt 图形界面开发套件^[9-11],Qt 是基于 LGPL v2.1 协议的开源软件,使用 C++ 进行开发。

二、人-机交互界面设计

基于嵌入式计算机的用户控制系统的使用对象包括医护人员和患者,其对上肢康复机器人的控制需求有一定区别。医护人员更加偏向于对上肢康复训练机器人的管理、患者训练计划的安排和监测;患者则更侧重于实际训练过程的细微调整、对训练项目和康复小游戏的选择以及执行训练计划等。

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2014.012.018

基金项目:上海市科技支撑项目(12441903400);上海市研究生创新基金项目(JWCXSL1302)

作者单位:200093 上海,上海理工大学医疗器械与食品学院康复工程与技术研究所

本设计在打开嵌入式计算机后,会出现欢迎界面,进入欢迎界面,可以选择新用户注册和用户登录,新用户注册主要包含医护人员注册和患者注册,用户登录也分别为医护人员登陆和患者登陆。医护人员登陆后,可以通过患者列表和信息中心来查看患者的信息,还能对功能选择进行操作来管理患者、对患者康复进行计划定制以及通过设备操作对上肢康复机器人进行控制。患者登陆后,可以通过信息中心查看自己的康复信息,能直接选择康复训练游戏中心进行虚拟现实游戏训练,还能通过设备操作对上肢康复机器人进行控制。用户操作界面如图 2 所示。



医护人员用界面



患者用界面

图 2 用户操作界面

无线通信模块软硬件设计

无线通信^[12-14]功能模块主要负责嵌入式计算机与上肢康复机器人之间的数据通信、指令传递以及医护人员用嵌入式计算机与患者用嵌入式计算机之间的信息传递,是上肢康复训练机器人医-患-机交互系统实现的前提。考虑到用户需要在较远距离甚至间隔房间或楼层对上肢康复机器人进行控制,要求无线通信模块具有较远的通信距离、优异的穿墙性能以及方便的组网功能。

一、无线通信模块硬件设计

本研究选用 Silicon Labs 公司生产的 Si4432 无线收发芯片设计无线通信模块。Si4432 是一款高集成度的无线收发芯片,支持 240 Mhz ~ 930 Mhz 无线频段,数据传输率从 0.123 至 256 kbps 可调。其接收灵敏度为 -121 dBm,自带 +20 dBm 输出功率。Si4432 性能优异,且体积小巧,芯片尺寸仅为 4 mm × 4 mm。该芯片发送和接受各有 64 字节的先入先出缓冲器,便于程序将数据打包发送与接收。考虑到实际应用要求,选择 433 MHz 频段作为无线通信模块的工作频段。433 M 无线频段

是国家规定免费使用频段,其特点是穿透性强,传输距离较远并且传输速度较快。

参考 Silicon Labs 公司官方提供的硬件设计指导手册,对 Si4432 无线收发芯片,按照 433 M 频段要求进行元器件的参数计算。本研究设计的无线通信模块为单天线设计,接收与发送通道分离,并通过射频开关根据程序需要选择启用的通道。

二、无线通信模块的软件设计

本研究设计 Si4432 使用串行外设接口 (serial peripheral interface, SPI) 协议进行设置与操作。SPI 是常用的串行外围设备接口。使用 SPI 协议的器件以主从方式工作,通常有一个主设备和一个或多个从设备,使用 4 根信号线,4 根信号线分别为串行数据输入 (serial data input, SDI)、串行数据输出 (serial data output, SDO)、串行时钟 (serial clock, SCK) 和片选 (chip select, CS)。无线通信模块与上肢康复机器人和嵌入式计算机在硬件上均通过 SPI 接口连接。

在嵌入式 Linux 内核中, SPI 的驱动结构可以分为 SPI 核心层、SPI 控制器驱动层和 SPI 设备驱动层三个层次。SPI 核心层是嵌入式 Linux 内核的 SPI 核心模块,提供了与 SPI 操作相关核心数据结构的定义以及 SPI 控制器驱动和 SPI 设备驱动的注册、设备注销等功能函数接口; SPI 控制器驱动层是与处理器平台相关的软件层,每种处理器平台都有自己的 SPI 控制器驱动; SPI 设备驱动层为应用程序接口层,它提供了通过处理器平台的 SPI 外设模块访问具体 SPI 设备的接口。因此,在嵌入式计算机上若要使用主控芯片 S5PV210 的 SPI 外设模块来控制无线通信模块进行数据的收发和读写,需要实现 2 个驱动程序,一个是由三星官方集成于嵌入式 Linux 内核中的控制器驱动程序,该驱动程序完成了 S5PV210 的 SPI 外设模块对数据的收发;另一个是无线通信模块在嵌入式 Linux 中的设备驱动程序,该驱动程序完成了通过 SPI 外设模块对 Si4432 无线收发芯片读写功能。

上肢康复机器人设备上的无线通信模块在整个电气系统是被控节点,通常处于等待接收的状态,一旦接收到有效数据或指令则传递给上肢康复机器人中运算控制单元进行处理或执行,并按要求进行发送反馈信息。本研究是利用上肢康复机器人中的 SPI 模块控制 Si4432,完成上肢康复运动。无线通信软件结构如图 3 所示。

系统实验

本研究在完成嵌入式计算机的人-机交互界面设计和无线通信功能设计后,在上肢康复机器人实验样机上进行系统实验。

一、实验平台

基于嵌入式计算机的上肢康复机器人医-患-机交互系统的实验平台主要包括上肢康复机器人、医护人员用嵌入式计算机、患者用嵌入式计算机和显示屏 (如图 4 所示)。

上肢康复机器人实验样机能带动上肢功能障碍患者实现空间三自由度的运动,包含肘关节屈-伸自由度、肩关节内收-外展自由度和肩关节屈-伸自由度;电机上装有角度传感器,能输出电机转速。

带有无线通信功能的医护人员用嵌入式计算机和患者用嵌入式计算机是实现医护人员和患者对上肢康复机器人进行控制的操作平台,为本研究基于嵌入式计算机的上肢康复机器人医-患-机交互系统的主要研究内容。

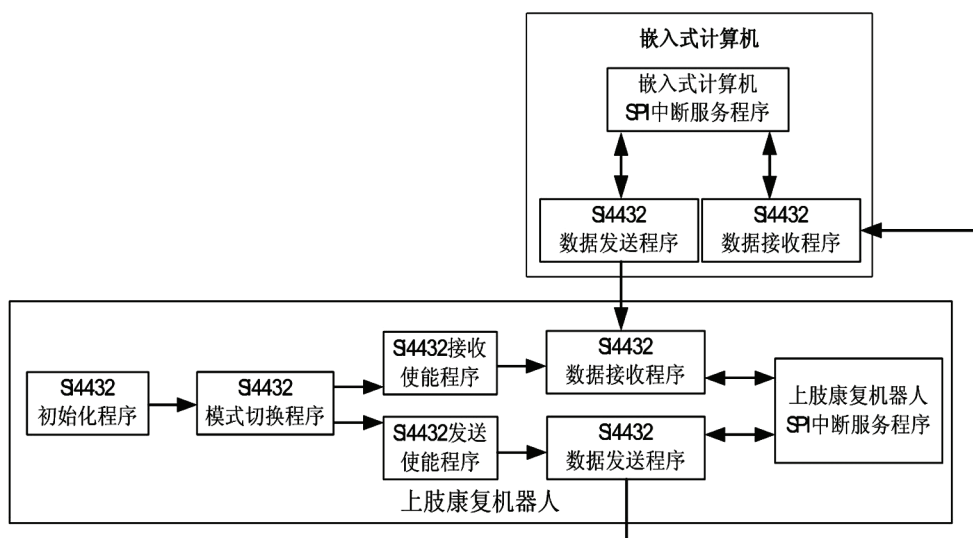


图3 无线通信软件结构



图4 上肢康复机器人实验平台

显示屏主要与患者用嵌入式计算机相连,在进行康复训练时,能给上肢功能障碍患者更好的视觉反馈。

二、系统实验

为验证基于嵌入式计算机的上肢康复机器人医-患-机交互系统的可行性,本实验选择两位健康的实验者来进行实验,一位以医护人员的身份登陆嵌入式计算机界面,一位以患者的身份登陆嵌入式计算机界面。实验步骤如下:①登陆后,分别进入用户操作界面并开启无线功能;②以医护人员身份登陆的实验者通过嵌入式计算机的设备操作界面,设定各关节驱动电机的运转速度为 0 r/min;③电机运转后,以患者身份登陆的实验者通过患者用嵌入式计算机的设备操作界面,将肘关节屈-伸运动的驱动电机转速调为 300 r/min。

从上肢康复机器人角度传感器反馈回来的肘关节屈-伸运动的电机转速在医护人员用嵌入式计算机上和患者用嵌入式计算机上的绘制曲线如图5所示。

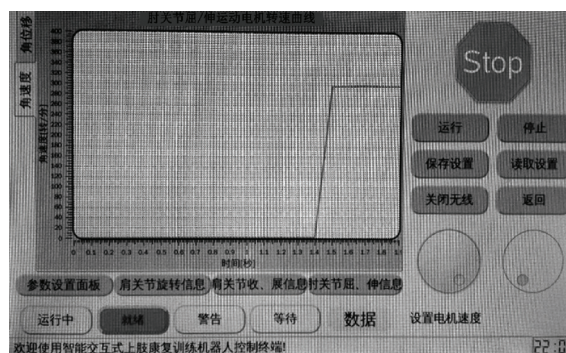


图5 肘关节屈-伸运动电机转速曲线

由图5可以看出,肘关节屈-伸运动的电机转速曲线在0.1 s范围内从 0 r/min 加速到 300 r/min,由角度传感器测量得到的数据通过无线通信模块反馈回医护人员用嵌入式计算机和患者用嵌入式计算机上的数据非常平稳。

结 论

本研究通过实现人-机交互界面(包含医生用界面和患者用界面)和无线通信功能,基本完成了对基于嵌入式计算机的上肢康复机器人医-患-机交互系统的设计;选用2位健全的实验者分别模拟医护人员和患者对嵌入式计算机进行操作,并在上肢康复机器人实验样机上进行实验。结果表明,上肢康复机器人能有效地执行嵌入式计算机发送的命令。在嵌入式计算机上看到的肘关节屈-伸运动电机转速值与通过嵌入式计算机设定的转速值一致,且在嵌入式计算机上绘制的电机转速曲线平稳,验证了无线通信的稳定性及基于嵌入式计算机的上肢康复机器人医-患-机交互系统的可行性。

参 考 文 献

- [1] 王丹. 我国卒中患者基数首次摸清[N]. 健康报, 2013-05-06(1).
- [2] Lum PS, Burgar CG, Shor PC, et al. Robot-assisted movement training compared with conventional therapy techniques for the rehabilitation of upper-limb motor function after stroke[J]. Arch Phys Med Re-

- habil, 2002, 83(7): 952-959.
- [3] Nef T, Mihelj M, Riener R. ARMin-a robot for patient-cooperative ar-IT/therapy[J]. Med Biol Eng Comput, 2007, 45(9): 887-900.
- [4] Macclellan LR, Bradham DD, whitan J, et al. Robotic upper-limb neurorehabilitation in chronic stroke patients[J]. J Rehabil Res Dev, 2005, 42(6): 717-722.
- [5] 顾炎辉, 石莹. 手机人机交互界面设计趋势探究[J]. 淮阴工学院学报, 2010, 19(1): 54-57.
- [6] 吴海彬, 杨剑鸣. 机器人在人机交互过程中的安全性研究进展[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(11): 79-86.
- [7] 李庆玲, 孔名秀, 杜志江, 等. 5-DOF 上肢康复机械臂交互式康复训练控制策略[J]. 机械工程学报, 2008, 44(9): 169-176.
- [8] Nef T, Mihelj M, Riener R, et al. ARMin II-7 DoF rehabilitation robot: mechanics and kinematics[C]. Roma: Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Robotics & Automation, 2007: 4120-4125.
- [9] 陈巍, 云秋, 刘信新. 基于 Qt/Embedded 的嵌入式 Linux 应用程序的设计[J]. 计算机与数字工程, 2009, 37(1): 156-161.
- [10] 陈琦. QT 的编程技术及应用[J]. 科技信息, 2008, 25(33): 503-504.
- [11] 赵莹, 徐大平, 吕跃刚. 基于 Qt/Embedded 的嵌入式控制界面开发[J]. 微计算机信息. 2009, 25(4-2): 36-38.
- [12] 韦日华, 张春, 王志华. 一种点对多点无线数据传输系统的设计[J]. 电讯技术, 2003, 46(5): 29-33.
- [13] Philipose M, Fishkin K, Patterson D, et al. Inferring activities from interactions with objects [J]. Pervasive Computing, IEEE, 2004, 3(4): 50-57.
- [14] 聂光义. 点对多点多任务无线通信[J]. 电子质量, 2003, 24(4): 152-155.
- (修回日期: 2014-10-13)
(本文编辑: 汪 玲)

· 外刊撷英 ·

Platelet rich plasma for hamstring injuries

BACKGROUND AND OBJECTIVE Acute hamstring injury often results in a loss of training and competition time. The best clinical treatment for these injuries is not yet clear. As autologous platelet rich plasma (PRP) injections have received attention as a treatment for other musculoskeletal conditions, this study explored the effects of these injections on patients with grade 2 hamstring injuries.

METHODS This single-blind, randomized, controlled trial included patients over 18 years of age presenting with a grade 2 hamstring injury. The participants were randomized to receive either a PRP injection combined with a rehabilitation program or a rehabilitation program alone. The rehabilitation program focused on agility and trunk stabilization exercises. Subjects in both groups were followed until full recovery or the end of the study. The primary outcome measure was time to return to play.

RESULTS Of the patients eligible for inclusion in this study, 24 were included in the final analysis. The participants' median age was 21 years, with a mean duration of injury before enrollment of 4.6 days. The mean times to return to play were 26.7 days in the treatment group and 42.5 days in the control group. Half of the patients in the PRP group achieved full recovery at week 26, while half of those in the control group achieved full recovery at week 39. Patients in the treatment group had significantly lower pain severity scores than controls at all time points ($P=0.007$).

CONCLUSION This randomized, controlled trial of patients with grade 2 hamstring injuries found that platelet rich plasma injections, combined with rehabilitation, were more effective than rehabilitation alone for returning athletes to play.

【摘自: Hamid, M., et al. Platelet rich plasma injections for the treatment of hamstring injuries. Amer J Sports Med, 2014, 42(10): 2410-2418.】

Intra-articular platelet rich plasma and rotator cuff repair outcome

BACKGROUND AND OBJECTIVE Studies reporting the effects of platelet rich plasma (PRP) on rotator cuff repair have produced inconsistent results. This study evaluated functional outcomes of patients receiving intraoperative PRP injection during the repair of supraspinatus tears.

METHODS Fifty-four subjects with MRI evidence of complete supraspinatus tears were studied. The subjects were randomized to receive either the standard of care or the standard of care plus PRP injections. At surgery, blood was collected immediately after anesthesia, with PRP retrieved for injection to the intra-articular space after the repair procedure. All participants followed identical rehabilitation protocols, including shoulder immobilization for six weeks, passive exercise after three weeks and active exercise after six weeks. Muscle strengthening began after 12 weeks. The subjects were evaluated at three, six, 12 and 24 months using the UCLA and Constant Shoulder scales for function, as well as the Visual Analogue Scale (VAS) for pain, and evaluations for repeat tears by MRI.

RESULTS All patients improved in pain (VAS) and function (UCLA and Constant scales) compared with baseline ($P<0.001$). Significant improvement in favor of the PRP group was noted at 12 months, as measured by UCLA scores, although that benefit was not evident on follow-up at 24 months. MRI follow-up demonstrated a single, complete tear in the control group.

CONCLUSION This blinded, randomized trial of patients with complete supraspinatus tears did not find that a platelet rich plasma injection at the time of surgery would improve long-term functional outcome.

【摘自: Malavolta EA, Gracitelli ME, Ferreira Neto AA, et al. Platelet rich plasma and rotator cuff repair: a prospective, randomized study. Amer J Sports Medicine, 2014, 42(10): 2446-2454.】