

下肢外骨骼康复机器人控制系统软件设计

石征锦 路璐 刘雨欣

(沈阳理工大学 自动化与电气工程学院, 沈阳 110159)

摘要: 下肢外骨骼康复机器人进行康复训练的控制软件多在计算机端运行, 成本高, 灵活性差。针对此问题, 提出基于 Android 客户端的控制系统, 在 Android Studio 开发环境中利用 Java 语言编写界面并实现相关功能。采用 JSch 实现远程登录并操控下位机工控机, 通过 Socket 通信机制实现与康复机器人的无线通信, 并使用 LCD 显示模组 (Liquid Crystal Display Module, LCM) 实现对关节角度等数据的实时传输, 实现康复训练过程中模式选择、参数设置、双向数据传输以及康复训练曲线实时显示的功能。

关键词: 外骨骼; 康复训练; Android 客户端; Socket; LCD 显示模组 (LCM)

Software Design of Lower Extremity Exoskeleton Rehabilitation Robot Control System

SHI Zhengjin, LU Lu, LIU Yuxin

(School of Automation and Electrical Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159)

Abstract: The control software of lower limb exoskeleton rehabilitation robot is mostly run on computer, which has high cost and low flexibility. To solve this problem, a control system based on Android client is proposed, which uses Java language to write interface and realize related functions in the development environment of Android Studio. JSch is used to realize remote login and control the lower computer, and Socket communication mechanism is used to realize wireless communication with the rehabilitation robot. Liquid Crystal Display Module (LCM) is used to realize the real-time transmission of joint angle and other data, the function of pattern selection, parameter setting, two-way data transmission and real-time display of rehabilitation training curve are realized.

Keywords: exoskeleton; rehabilitation training; Android client; Socket; Liquid Crystal Display Module (LCM)

脑卒中等疾病会导致身体机能衰退和运动功能障碍。传统的康复训练方式是由经验丰富的康复训练医师与患者一对一治疗, 疗效较好^[1]。但是, 医疗人员有限, 很多患者可能会错过最佳训练恢复期, 出现肌肉萎缩等情况。与常规康复训练相比, 康复训练机器人辅助训练具有高精度、高重复性、无疲劳及康复过程可视化等优点, 非常适合患者进行康复训练^[2]。人机交互控制系统的主要目标是提高患者的康复训练效果, 减轻康复医师的负担。

1 系统工作框架

下肢外骨骼康复机器人控制系统的整体结构为分布式控制结构, 可分为上层、中层和底层 3 层。上层是 Android 移动端, 负责运行人机交互界面。中层是工控机, 负责接收和发送控制指令。底层由伺服电机、驱动器、传感器和编码器组成, 是控制系统的执行机构, 能实现对关节角度等信息的采集。

2 软件开发要求

上位机为 Android 移动端, 下位机为工控机。上位机与下位机之间通过基于传输控制协议 / 网间协议 (Transmission Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP) 的 Socket 通信实现无线保真 (Wireless-

Fidelity, Wi-Fi) 通信, 使用 LCD 显示模组 (Liquid Crystal Display Module, LCM) 传输协议传输关节角度等数据。康复训练流程图如图 1 所示, 设计要求如下。

(1) 通信功能。在同一局域网内可以远程登录工控机进行双向通信, 并保证传输大量数据时的传输速度和可靠性。

(2) 控制功能。可以对康复机器人进行初始化, 控制康复训练启停, 选择康复训练模式, 设定训练参数, 配备急停功能^[3]。

(3) 数据显示功能。可以实时显示康复训练过程中的下肢关节角度, 并生成动态曲线。

3 Android 移动客户端功能开发

整体软件设计采用模型-视图-控制器 (Model View Controller, MVC) 框架, 分为模型层、视图层和控制层。模型层存储基本数据, 可实现业务逻辑处理对象的属性定义和操作, 为控制层提供数据和操作支撑^[4]。视图层作为人机交互界面, 负责加载模型层的数据结果, 显示视图层的绘制, 响应用户输入。控制层接收用户在视图层的输入, 并调用模型和视图完成用户请求^[5]。

3.1 无线通信模块开发

通过使用 JSch 实现对工控机 Linux 系统的远程

登录。JSch 是一个由 Java 语言实现的基于 SSH2 协议的通信包。JSch 允许连接到 SSHD 服务器完成端口转发、X₁₁ 转发、文件传输等功能,并可在 Java 程序中集成相关功能^[6]。安全外壳协议(Secure Shell Protocol, SSH)协议可以自动加密、验证和压缩传输的数据,具有高安全性^[7]。

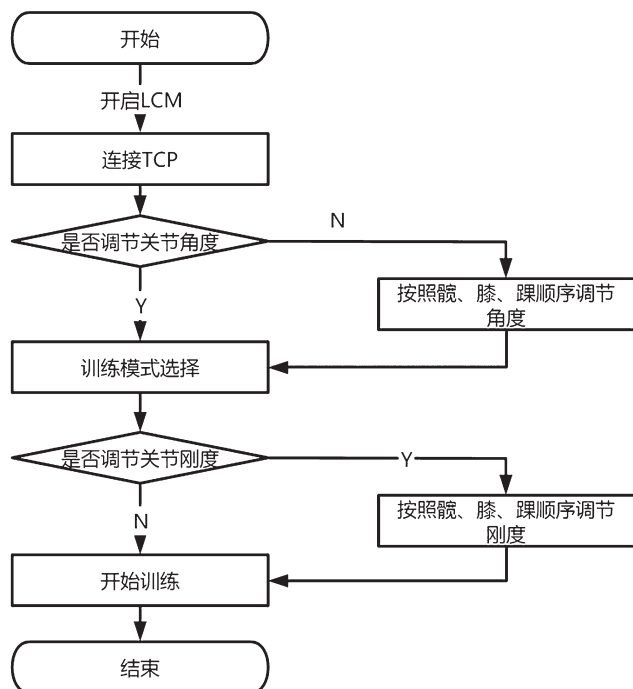


图1 康复训练软件流程

通过基于 TCP/IP 传输协议的 Socket 通信实现控制指令实时发送到工控机的功能。套接字(Socket)是通信的基石,是网络通信的基本操作单元,支持 TCP/IP 协议^[8]。

通过基于用户数据报协议(User Datagram Protocol, UDP)的 LCM 通信,传输外骨骼关节角等数据。LCM 是一组用于消息传递和数据编组的库和工具,是针对高带宽和低延迟关键的实时系统。LCM 具有 4 GB 的最大报文容量,是一个最大的报文传输机制,可以最大限度避免数据传递过程中出现的丢包现象。LCM 提供日志记录、回放和流量检测等功能,使开发者能快速、高效地分析 LCM 系统的行为和性能^[9-10]。

3.2 人机交互界面开发及功能实现

输入账号、密码以及下位机的网际协议(Internet Protocol, IP)地址,点击重启主站,即可对下肢外骨骼进行初始化设置。点击登录即可成功登录人机交互控制系统。用户成功登录后,进入主菜单界面进行系统操作^[11-12]。主菜单界面是整个人机交互系统的首界面,点击开启

程序,开启 TCP 按钮,即可进入参数设置阶段^[13]。

用户可根据需要调整关节角度。关节角度全部调节完成后,点击保存即可。若关节角度不需要调整,可以直接点击模式选择按钮模式进行康复训练。根据患者康复情况选择恰当的训练模式后,会弹出是否调节刚度的对话框。此时,用户可根据实际情况进行选择^[14-16]。

设置完参数后,点击开始按钮即可开始康复训练。训练过程中可以实时观察各关节矢状面的角度轨迹,对比患者各关节步态轨迹和正常人步态轨迹。康复训练结束后,点击结束按钮,停止康复训练。如果在训练过程中遇到问题,可随时点击急停按钮,确保患者在训练过程中不受到 2 次伤害^[17-18]。

4 功能测试

实验验证对象是实验室设计开发的下肢外骨骼康复机器人,如图 2 所示。Android 移动端可以连接外骨骼康复机器人内部工控机开启的热点,或者当 2 者处于同一局域网下时,用户可通过输入 IP 地址的方式成功通信^[19]。



图2 下肢外骨骼康复机器人

进行外骨骼康复机器人与 Android 移动端之间的测试验证,包括 Android 与工控机建立通信连接后,对康复机器人的控制、参数调整、显示动态曲线以及急停等,如图 3 所示^[20-23]。

经过实验测试,Android 移动端可以对外骨骼康复机器人进行髋关节、膝关节、踝关节的角度设置与刚度设置,可以进行站立、行走、通透 3 种模式训练,可以成功接收工控机实时传输的各项数据生成关节角

的动态曲线,实时显示角度轨迹,达到预期目标^[24-26]。

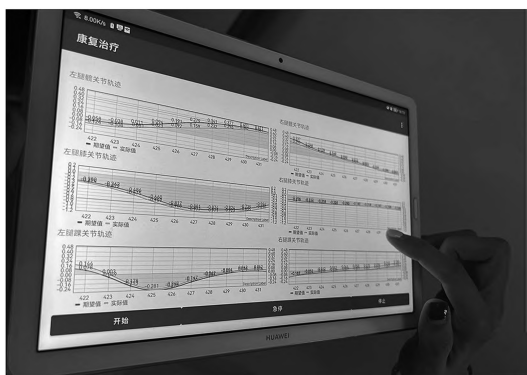


图 3 软件成功运行

5 结语

针对下肢外骨骼康复机器人的实时控制,提出一种基于 Android 移动客户端的人机交互系统,解决了使用计算机造成的成本较高、设备较大等问题。采用无线通信方式进行双向信息传输,解决了串口通信在康复训练过程中不够灵活的问题,使患者康复训练更加便捷。在通信过程中,使用 LCM 通信实时传输关节角等数据,在保证传输速度的同时,最大限度地减少数据丢失。经过实验测试验证,系统使用性能良好,达到了预期目标,具有良好的应用价值。

参考文献

- [1] 刘杰. 上肢外骨骼式康复机器人控制系统研究 [D]. 青岛: 青岛大学, 2012.
- [2] 程洪, 黄瑞, 邱静, 等. 康复机器人及其临床应用综述 [J]. 机器人, 2021 (5): 606-619.
- [3] 郑嘉明, 苏凯雄. 基于 Android 手持数据采集分析软件的设计 [J]. 微型机与应用, 2017 (3): 99-102.
- [4] 赵晟伟. 雾计算环境下的资源缓存机制研究 [D]. 济南: 山东大学, 2018.
- [5] 刘号, 张新晨, 李中年. 基于 LCM 与 ZeroMQ 的进程间通信研究 [J]. 电子科学技术, 2016 (4): 480-483.
- [6] 王刚, 李鹏. 基于工控机的 BOPP 薄膜生产线收卷电机状态监控系统设计 [J]. 广西轻工业, 2011 (4): 140-142.
- [7] 沈丹丹, 廖雪超, 周游. 基于 WinCC 的 BOPP 生产过程监控系统设计与实现 [J]. 工业控制计算机, 2018 (5): 71-72.
- [8] 李众, 李彦, 俞孟蕪, 等. BOPP 薄膜生产线的 CC-link 现场总线集散控制系统 [J]. 电气传动, 2004 (5): 31-35.
- [9] 宋武. BOPP 生产线控制系统抗干扰问题的研究及解决方案 [J]. 塑料制造, 2010 (9): 89-93.
- [10] 俞孟蕪, 陈红卫, 孟昕. CC-Link 现场总线在 BOPP 薄膜生产线中的应用 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2004 (6): 26-28.
- [11] 张立勋, 王克义, 刘攀, 等. 绳索牵引骨盆康复机器人的骨盆刚度分析及骨盆运动轨迹规划研究 [J]. 高技术通讯, 2008 (9): 928-932.
- [12] 李庆玲, 孔民秀, 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 (9): 169-176.
- [13] 张立勋, 杨勇, 张今瑜, 等. 手臂康复机器人阻抗控制实验研究 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2008 (1): 69-72.
- [14] 李会军, 宋爱国. 上肢康复训练机器人虚拟环境建模技术 [J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2007 (44): 8877-8881.
- [15] 王东岩, 李庆玲, 杜志江, 等. 外骨骼式上肢康复机器人及其控制方法研究 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2007 (9): 1008-1013.
- [16] 陈峰, 费燕琼, 赵锡芳. 机器人的阻抗控制 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2005 (12): 46-47.
- [17] 胡宇川, 季林红. 一种偏瘫上肢复合运动的康复训练机器人 [J]. 机械设计与制造, 2004 (6): 47-49.
- [18] 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 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004 (9): 1224-1227.
- [19] 易盼, 赵立宏. 5 DOF 取皿机械臂设计与虚拟样机仿真 [J]. 机械制造与自动化, 2020 (1): 118-122.
- [20] 杨志伟, 陈子明, 赵琛, 等. 基于自运动的 7-DOF 机械臂逆运动学研究 [J]. 机械工程学报, 2019 (23): 75-82.
- [21] 江杨林, 徐向荣, 刘雪飞, 等. 基于神经网络的 7-DOF 机械臂时间收敛性研究 [J]. 传感器与微系统, 2023 (1): 55-58.
- [22] 张程, 张卓. 5-DOF 仿人型机械臂关节空间轨迹规划研究 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2017 (9): 23-26.
- [23] 涂群章, 陈致远, 潘明, 等. 4-DOF 串联仿生机械臂动力学建模方法 [J]. 陆军工程大学学报, 2022 (4): 30-35.
- [24] 查文斌, 徐向荣, 朱永飞, 等. 基于神经网络的 7-DOF 机械臂力位跟踪算法 [J]. 控制工程, 2021 (11): 2273-2279.
- [25] 王英, 陈勇. 基于 6-DOF 的空间机器人运动学研究 [J]. 科学技术与工程, 2012 (21): 5322-5327.
- [26] 杜金财, 尹建军, 贺坤, 等. 葡萄采摘 4-DOF 机械臂设计与虚拟样机仿真 [J]. 农机化研究, 2019 (8): 58-64.