

# 基于虚拟现实的步态训练康复机器人系统软件设计<sup>①</sup>

张磊杰<sup>1,2</sup>, 刘永久<sup>1,2</sup>, 王慧<sup>1</sup>, 汪步云<sup>1</sup>, 刘艳阳<sup>1,2</sup>, 宋全军<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院合肥智能机械研究所, 合肥 245021)

<sup>2</sup>(中国科学技术大学自动化系, 合肥 230039)

**摘要:** 提出了一种基于虚拟现实的步态训练康复机器人系统, 该系统解决了传统下肢康复训练单一乏味的问题。虚拟游戏以脑-机接口为启动端口, 以线程方式在系统中运行, 以单例设计模式为主要模式, 通过与系统控制主软件协同合作, 对病人的步态速度、心跳等生理信息进行快速合理有效的存取操作, 并将速度等信息恰当地体现在游戏中。引入虚拟游戏后, 康复训练过程更有趣味性, 这也在很大程度上提高了病人进行康复训练的积极性。

**关键词:** 虚拟现实; 步态训练; 线程; 脑-机接口; 单例设计模式

## Design of the Software of a Rehabilitative Gait Training Robotic System Based on the Virtual Reality Technology

ZHANG Lei-Jie<sup>1,2</sup>, LIU Yong-Jiu<sup>1,2</sup>, WANG Hui<sup>1</sup>, WANG Bu-Yun<sup>1</sup>, LIU Yan-Yang<sup>1,2</sup>, SONG Quan-Jun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Institute of Intelligent Machine, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

<sup>2</sup>(Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

**Abstract:** This paper proposes a rehabilitative gait training robotic system based on the virtual reality technology, which improves the current tedious and boring patients rehabilitative training process. Virtual game is activated by the information from the brain-computer interface and runs in the form of a thread with a singleton design pattern as the main mode. Interacting with the main software, virtual game can achieve quick and effective access operations of heart rate and other physiological information of patients, which are properly reflected in the game. Virtual game makes rehabilitation training more interesting and attractive and significantly increases patients' initiative to participate in rehabilitation training.

**Key words:** virtual reality; gait training; thread; brain-computer interface; singleton design pattern

医学研究表明, 及早对残障患者进行康复训练能增强关节活动度, 明显提高肢体运动能力的最终康复程度<sup>[1]</sup>。康复机器人是机器人技术在医疗方面的新应用方面有广阔的市场前景。基于虚拟现实的康复训练机器人系统不仅可以利用机器人对病人进行康复训练、数据记录、分析和掌握病人的康复情况, 而且采用基于虚拟现实的辅助训练软件, 通过虚拟环境来鼓励患者积极主动地参与康复训练, 可以进一步地提高康复训练的效果。1998年美国麻省理工学院研制了一种先进的帮助中风患者康复治疗的机器人 MIT-MANUS<sup>[2]</sup>, 该机器

人结合了较为简单的虚拟现实系统; 2002年英国 Reading 大学研制出一种叫做 GENTLE/S 的上肢康复训练机器人<sup>[3]</sup>, 通过电脑屏幕创建了一个虚拟交互场景, 增加了训练趣味性; 近几年, 国内东南大学结合虚拟现实技术, 设计了一套针对上肢康复训练的机器人<sup>[4]</sup>。这些康复系统都融入了虚拟场景, 但并不是专门针对下肢残疾人群, 也未充分考虑到康复训练时患者的注意力是否集中以及是否适合参与虚拟现实。而市面上很多下肢康复器械又只是针对病患下肢进行单一、简单的重复性训练, 如荷兰

① 基金项目: 国家高技术研究计划(863)(2008AA040202); 安徽省优秀青年科技基金(10040606Y06;1208085QF121)

收稿时间: 2012-04-16; 收到修改稿时间: 2012-05-18

LOKOMAT 全自动跑步机平台康复训练机器人<sup>[5]</sup>, 德国 LOKOHELP 康复机器人<sup>[6]</sup>, 以及国内浙江大学研制的下肢康复外骨骼训练控制系统<sup>[7]</sup>和上海大学研发的减重步行康复机器人<sup>[8]</sup>, 这些下肢康复机器人并没有培养患者参与训练的兴趣, 也没有考虑训练病患的注意力.

本康复系统将通过获取病患的生理信息及运动信息, 以虚拟游戏为主要训练手段, 让病人具有一种身临其境的感觉. 借助基于 BCI(Brain-Computer Interface, 脑-机接口)技术的“意念耳机”, 实时采集分析患者脑电数据, 将表征病患当前“注意力专注度水平”的满足一定阈值的思维活动参数作为操作指令, 实现意念驱动游戏软件开始工作, 当佩戴者注意力不集中时, 会给出语音提示. 意念控制可训练病患提高他们的注意力集中程度, 并用来判断患者是否适合参与虚拟现实. 注意力集中度达到一定阈值后, 打开虚拟场景, 将病人在康复机器上的运动速度传入游戏中, 游戏里的竞赛画面可以激发病患主动参与康复训练的兴趣与主观积极性, 而不是做着简单枯燥的康复锻炼. 这样既可以解除病患在下肢康复训练过程中枯燥乏味的情绪, 让整个康复训练充满趣味性, 也训练了患者注意力的集中, 重获战胜疾病的信心, 同时方便了医生对患者的观察.

## 1 系统结构

整个系统由控制机、康复机器、信号采集传输模块三部分组成.

控制机发出指令控制康复机器做相应的模式训练, 同时它也接收并显示所采集到的位置、运动速度、心跳、脉搏、血压、呼吸以及视频等信息.

康复机器是用来对患者做恢复性训练的设备. 它除了要减轻病患的腿部受力, 还要能引导其做康复训练.

信号采集传输模块是控制机和康复机器之间的连接部分, 采集视频、运动速度、位置、心跳、脉搏、血压和呼吸等信息, 并实时反馈给控制机, 也便于控制机及时调整控制模式.

具体的系统结构体系如图 1 所示, 其中 PC 是控制机, SCC 是信号调理电路, ADC 是模数变换器, MCU 是微控制单元, WM 是无线模块, GRTR 是步态康复训练机器人.

## 2 系统软件设计

### 2.1 软件功能模块划分

软件功能部分主要分为三大模块: 视频采集、数据采集、运动控制.

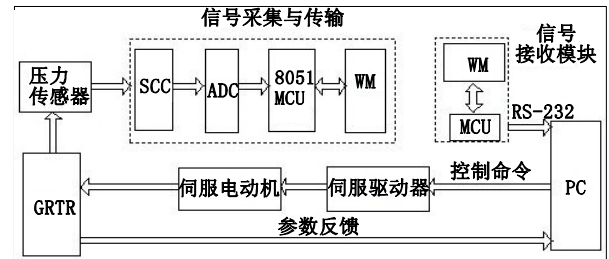


图 1 系统体系结构

视频采集: 病患训练期间, 将运动影像采集下来, 显示在 PC 显示器上.

数据采集: 所要采集的数据部分包括康复训练机器人工况和报警信息, 康复设备训练信息(速度、足底压力), 患者生理信息(血氧浓度、心跳、呼吸频率、肌张力值).

运动控制: 综合主动模式和被动模式两种控制模式, 根据需要, 调节设备的运转, 对病患进行训练. 其中, 主动模式是在病患想要自主训练的情况下, 合理分析出患者的身体状况, 以适合患者的运动负荷来配合患者进行康复训练. 而被动模式则是在病患不能自主训练的情况下, 康复设备进行机械性运动, 牵引病患的下肢做重复性的训练.

### 2.2 软件整体设计

具体的功能模块工作流程如图 2 所示. 从流程图中可以看出, 在整个系统工作过程中, 信号采集传输模块实时将取得的数据反馈给控制机, 并以此作为参数, 对之后的模式训练进行调节.

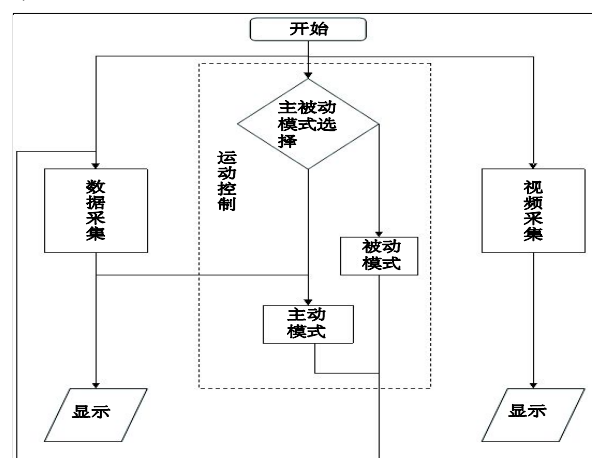


图 2 软件功能模块工作流程图

数据、视频等信息采集之后显示在软件上的具体情况如图 3 所示. 在图中, 我们可以清晰的看到位置、力、血氧、心跳、呼吸、肌张力、工况以及视频等信息, 并且各种数据信息均以曲线的方式表示出来, 让医生能够更加直观的观察患者的运动状况.

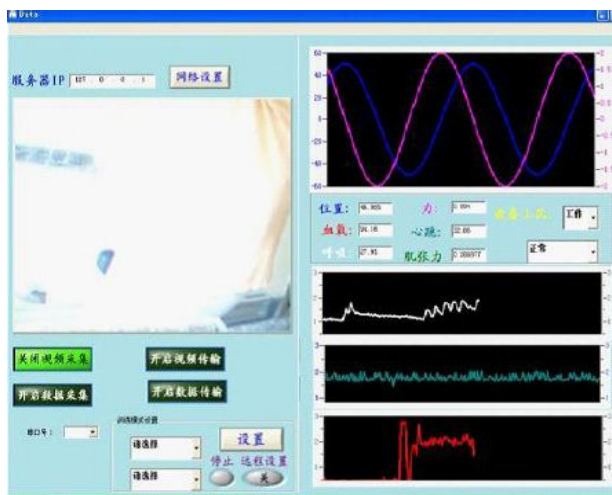


图 3 信息显示图

### 3 虚拟现实的设计与实现

#### 3.1 基本定义及实现基础

所谓“虚拟现实”, 是指以自然的方式让用户与这个环境交互(包括感知环境并干预环境), 从而产生置身于相应的真实环境中的虚幻感, 身临其境的感觉.

在系统中, 我们引入了虚拟游戏, 通过提取患者“注意力专注度水平”及在康复机器上的运动速度作为游戏里的参数, 让患者在游戏中有一种身体力行的感觉.

脑电波是人类进行思维活动时产生的生物电信号, 系统中使用的 MindSet 通过采用了 ThinkGear™ 技术的智能芯片进行脑电波信号实时采集、滤波及放大, 并通过 NeuroSky eSense™ 专利算法进行数据分析, 实时解读出使用者当前的精神状态. eSense™ 对外输出“专注度”和“放松度”两种数字参数, 本研究仅考虑前者, “专注度”表示使用者当前对某一事物的专注程度.

我们首先解析出表征佩戴者当前的注意力集中度水平的思维活动参数, 参数分别以 1 到 100 之间的具体数值来表示使用者当前的注意力水平. 数值越大, 则表明佩戴者当前的注意力集中程度越高, 反之则越低. 计算机利用接收到的满足一定阈值的思维活动参数实现对游戏等软件启用的控制指令(如注意力集中度水平达到 60 就启动游戏软件), 从而实现意念控制

虚拟游戏启动的功能. 图 4 为注意力检测的游戏界面, 当注意力专注度水平达到阈值, 火花闪耀, 游戏启动.

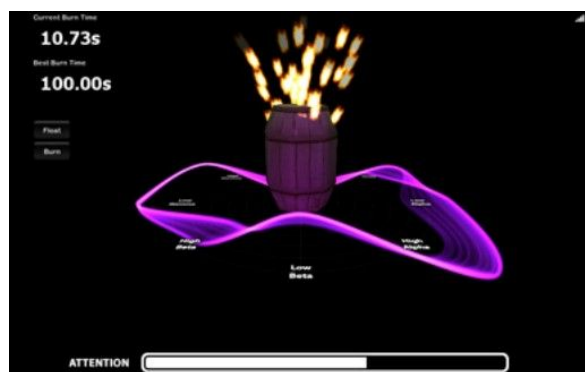


图 4 注意力检测界面

图 5 是本系统中的游戏开始后的画面. 游戏中, 两个女性是系统人物, 男性代表了患者. 我们将之前经过大量测试积累的数据整合后, 选出两个有代表性的人体运动速度值(一个是运动能力较好, 一个是腿脚很不方便), 作为游戏中两个女性人物的速度值. 再将患者做康复训练时的运动速度实时提取出来, 作为游戏中男性的速度值.



图 5 游戏开始画面

游戏开始之后, 三个人物之间通过运动速度的快慢来决定胜负.

#### 3.2 数据通信的设计细节

整个游戏是在 VS 的编程环境下, 利用 cocos2d 游戏引擎编写完成的. 在整个游戏的编写过程中, 最大的问题是主软件和游戏程序之间的数据通信问题, 参考了 socket 套接字方式和地址映射方式. 使用 socket

套接字这种方式,两个进程对同一个数据的访问往往不能达到真正的按时存取,如果某一个进程的定时器设置的不够精准,很有可能发生数据滞后现象.而如果使用地址映射这种方式,进程通信间需要存取的数据很有可能会被别的程序修改和破坏,而且这种方式同样存在延时性.综合上述两种方法,以及对以往进程通信程序的研究,本文介绍一种新的方式.

定义一个特有的类,专门存放进程间通讯时需要访问的数据,为了防止要访问的资源被其他程序修改或者破坏的情况发生,在游戏编写时,使用了单例设计模式来设计这个特有的类.代码如下:

```
#include "StdAfx.h"
#include "datanalyse.h"
datanalyse datanalyse::m_instance;
datanalyse& datanalyse::getInstance()
{
    return m_instance;
}
datanalyse::datanalyse(void)
{
    m_duration=2;
}
```

将这个类名定义为 `datanalyse`, 在 `.cpp` 文件里定义一个 `datanalyse` 类型的变量 `m_instance`, 以及一个返回值为 `datanalyse` 引用的函数 `getInstance`. 这样在访问时就不会发生误读误取的情况.

为了让数据存取的速度更快,更及时,本文的方法是把游戏程序做成一个线程,而不是进程,这样就可以和主软件共享 `datanalyse` 类里的数据资源,这样既节省了存取数据的时间,也减少了对 CPU 和内存空间的损耗.开启线程的代码如下:

```
DWORD threadId;
HANDLE hThread::CreateThread(NULL, 0,Cocos
2dMain, this, 0, &threadId);
CloseHandle(hThread);
```

上述代码中将游戏程序做成线程,命名为 `Cocos2dMain`.

因为使用了单例设计模式,数据的存取方式与一般的数据存取不太相同,具体的数据存入代码如下:

```
CMainFrame *cmfr=(CMainFrame *)pvParam;
cmfr->x=9;
```

```
datanalyse& c = datanalyse::getInstance();、c.set
Duration(cmfr->x);
```

而在游戏程序中读取数据时,代码也不同于一般的读取操作,具体代码如下:

```
datanalyse &a = datanalyse::getInstance();
int actualDuration = a.getDuration();
CCMoveTo*actionMove=
CCMoveTo::actionWithDuration( (ccTime)actualDu
ratin,
ccp(0-player->getContentSize().width/2,
winSize.height/2));
CCFiniteTimeAction* actionMoveDone =
CCCallFuncN::actionWithTarget(this,
callfuncN_selector>HelloWorld::spriteMoveFinished
));
player->runAction(CCSequence::actions(actionMov
e,
actionMoveDone, NULL) );
```

综合上述所说,将主软件和游戏程序之间的数据存取流程图显示如图 6.



图 6 数据存取流程图

如流程图 6 所示, `datanalyse` 类成了整个数据存取过程中的核心部分,所以要把这个类里的 `m_instance` 等变量定义成 `static` 静态变量类型.这样才能被进程里的其他程序当做全局性变量调用,并且可以把生命周期延长到整个进程的运行时期.

#### 4 结语

本文提出了一种以单例设计模式为主的数据存取

(下转第 21 页)

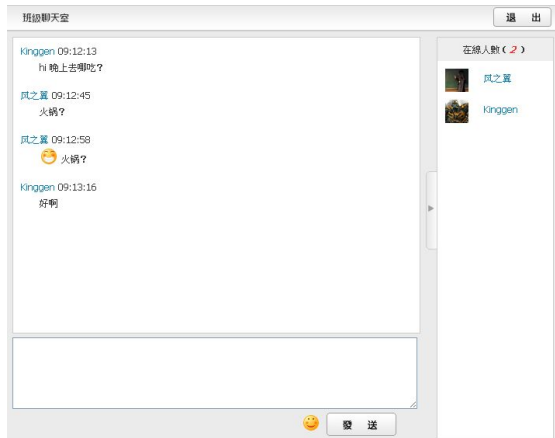


图 2 班级聊天界面

#### 4 结语

本系统选择服务器推模型中的 ajax 长轮询模式作为 Web 即时聊天的通讯模型. 使用 jquery 解决前端 ajax 和聊天前端 js 的浏览器通用性问题, 利用开源的 LAMP 架构搭建高性能的后端服务程序, 使用关系型数据库和 xml 文件系统存储数据. 本文的系统已经全部实现并且运行在一个社交类型的网站. 实践证明整体程序运行良好. 如果实际中需要更大的性能可以在 LAMP 架构中加入缓存层进行进一步优化.

(上接第 11 页)

方式, 以线程为运行的基本单位, 实现了主控制软件和游戏程序的及时通信, 避免了访问数据过程中误读误取的现象. 主软件在数据采集之后, 实时将专注度、速度等信息传入到虚拟现实系统中, 在测得病患的专注度达到一定阈值, 判断其适合参与虚拟现实后, 开启游戏, 并将病患的速度信息实时地显示反映在游戏人物的运行快慢上, 从而让患者在康复训练中能更好地集中注意力并沉浸到虚拟现实中去, 进而让整个恢复锻炼的过程变得有趣而不乏味. 同时, 这种人机交互的方式更好地训练了患者的专注度, 调动了患者的积极性, 也更有利于病人的康复.

#### 参考文献

- 1 唐磊. 下肢康复训练机器人机械结构及控制策略设计. 洛阳: 河南科技大学, 2009.
- 2 Krebs HI, Hogan N, Aisen ML, et al. Robot-aided Neuro-

#### 参考文献

- 1 张文茂, 章淼, 毕军, 覃征. 互联网即时消息 (Instant Messaging, IM) 的研究现状与展望. 小型微型计算机系统, 2007, 28(7): 1162-1168.
- 2 庞怡, 许洪光, 姜媛. 即时通讯工具现状及发展趋势分析. 科技情报开发与经济, 2006, 16(6): 169-170.
- 3 三扬科技. 大道 PHP:LAMP+Zend+开源框架整合开发与与实践. 北京: 电子工业出版社, 2009. 3-11.
- 4 薛真真. 基于服务器推送和事件流处理技术的实时 Web 系统研究 [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- 5 孙清国, 朱玮, 刘华军, 张鹏. web 应用中的服务器推送技术研究综述. 计算机系统应用, 2008, 17(11): 116-120.
- 6 IBM developerWorks 中国. Comet: 基于 HTTP 长连接的“服务器推”技术. [2007-08-31] <http://www.ibm.com/developerworks/cn/web/wa-lo-comet/>
- 7 PHP Manual. <http://www.php.net/manual/en/>. 2010-03-20.
- 8 Kevin M. Pro PHP: Patterns, Frameworks, Testing and More. United States of America: Apress, 2008, 50-65.
- 9 王秋云. XML 数据存储方法的研究. 重庆科技学院学报 (自然科学版), 2007, (4): 89-91.
- 10 李昕. 脚本语言 PHP 的 XML 应用支持. 计算机与数字工程, 2007, (6): 137-139.

rehabilitation. IEEE Trans. on Rehabilitation Engineering, 1998, 6(1): 75-87.

- 3 Loureiro R, Amirabdollahian F, Topping M, et al. Upper Limb Robot Mediated Stroke Therapy—GENTLE/s Approach. Reading: Autonomous Robots, 2003, 15(1): 35-51.
- 4 王月皎. 网络化一对多康复机器人测控系统及软件设计. 南京: 东南大学, 2011.
- 5 孔祥战. 仿生外骨骼式下肢康复机器人研究. 天津: 河北工业大学, 2010.
- 6 程方. 减重步行康复训练机器人研究进展. 中国康复医学杂志, 2008.
- 7 董亦鸣. 下肢康复医疗外骨骼训练控制系统研究与初步实现. 杭州: 浙江大学机械与能源工程学院, 2008.
- 8 文忠, 钱晋武, 沈林勇, 章亚男. 基于阻抗控制的步行康复训练机器人的轨迹自适应. 机器人, 2011, 33(2): 18-22.