

文章编号: 1671-0444(2018)04-0682-07

Kinect 体感交互技术在老人下肢康复产品中的应用 ——以膝盖康复为例

陈虹, 李文韬, 李丹

(华东理工大学 艺术设计与传媒学院, 上海 200237)

摘要: 针对目前老人下肢康复产品存在的问题, 以 Kinect 体感交互技术的运动性、趣味性和可拓展性为基础, 结合老年人的下肢康复特点, 提出提高康复效果和产品可用性的交互设计构架。以膝盖康复产品为例, 应用 Kinect 体感交互技术提出具体设计方案, 为老人下肢康复产品的体感交互设计提供参照。

关键词: Kinect 体感交互技术; 老人下肢康复产品; 用户体验; 交互设计; 膝盖康复
中图分类号: N 945.23 **文献标志码:** A

Application of Kinect Somatosensory Interaction Technology on Lower Extremity Rehabilitation Product for the Elderly: Taking Knee Rehabilitation as an Example

CHEN Hong, LI Wentao, LI Dan

(School of Art Design and Media, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: Aiming at the problems of current lower extremity rehabilitation products, we proposed an interactive design framework to improve the rehabilitation effects and product availability. The framework was based on the features and expandabilities of Kinect somatosensory interaction technology and combined the features of lower extremity rehabilitation of the elderly. Taking the knee rehabilitation product as an example, we proposed a detail design plan by Kinect somatosensory interaction technology, thus providing a reference for the somatosensory interaction design of lower extremity rehabilitation products for the elderly.

Key words: Kinect somatosensory interaction technology; lower extremity rehabilitation product for the elderly; user experience; interaction design; knee rehabilitation

国家统计局发布的《2016年国民经济和社会发展统计公报》显示,我国65岁及以上老年人有1.5003亿,其中80岁以上老年人口超过全国老年人口的10%,且以4.7%的增长速率逐年增加^[1]。另有调查显示75%以上的老年人患有慢性疾病^[2]。

这已经严重影响到老年人的生活,并成为日益严重的社会问题。

2017年2月国家出台的《智慧健康养老产业发展行动计划(2017—2020年)》明确指出,要创新服务模式,丰富智能健康养老服务产品供给。体感交

收稿日期: 2018-04-16

基金项目: 国际联合实验室开放基金资助项目(DB17025);上海市设计学IV高峰学科资助项目

作者简介: 陈虹(1968—),女,上海人,副教授,硕士,研究方向为产品设计与交互设计, E-mail: hong-engoy2008@163.com

互被称之为“第三次人机交互革命的原点”^[3],这是人与机器交流方式的重要转变,是“以人为中心”设计理念在新技术时代的表现方式。其在用户交互方面的友好性、易学性以及游戏化的交互体验为老年人康复提供了技术支持和实施优化模式。基于此,本文以 Kinect 技术为切入点,探索如何更好地完善康复产品和系统,提高老年病患康复的积极性和有效性,更好地服务于老年人。

1 老年人下肢康复训练的主要方式简析

老年人康复医疗是指专门针对老年人存在的慢性疾病、功能障碍以及身体机能退化而进行的相应康复医疗服务,包括对功能障碍的预防、诊断、评估、治疗、训练和处理,是现代医学“预防、临床治疗、康复”三位一体的重要组成部分^[4]。笔者对江浙地区多个三甲、二甲、社区医院和养老机构的康复科室进行实地调研,结合相关文献资料,对下肢康复训练的类型进行归纳。

1.1 无器具辅助的康复训练

此类康复形式主要针对慢性疾病或者衰老造成的身体机能障碍或者身体机能的退化,康复形式包括各种简单的不依靠器械的针对性康复运动和训练,如手部操、腿部伸缩动作等。此种康复方式的效果主要取决于病人的自觉性和对训练要求的执行力,目前可实施的康复项目较少,而且对患者和指导医师而言都存在训练过程管理困难的问题。因而这种方式的康复效果差异大,效果不好。

1.2 单纯器械辅助下的康复训练

目前大多数单纯型康复器械主要通过机械结构、物理方式实现康复功能,且大多可以实现 1~2 个功能,具有操作简便、成本低的特点,主要在二级医院康复科、社区医院、低端的养老院和护理院使用。但这类产品(如图 1 所示)在功能实现和使

用体验方面明显不足,并且一般这些康复场所无法同时多种类、批量购进相应的训练器材。此外,病患在使用这类产品时,必须有康复师指导和保护,导致惠及人数少、效率低。同时病患在训练过程中无法明确自己的康复效果和动作的准确性,枯燥的重复训练只能依靠病人的意愿与毅力。

1.3 交互性康复训练

此类康复训练主要有两种形式:(1)借助计算机软件实现交互性康复训练,主要用于老年人脑部机能以及感官机能的康复训练,如记忆力、反应速度、听力等;(2)借助计算机软件控制的专用康复设备以及配套的交互系统实现康复训练,可以完成较为复杂的系统性康复训练,诸如全身运动矫正、平衡能力训练、全身力量训练等。

目前此类设备主要面向老年人康复领域的中高端市场,相比单纯的机械康复设备,其康复功能的有效性、数据监测的准确性以及用户体验都得到了提高。但该类设备也存在一些问题,例如:康复训练功能单一,功能可扩展性较低;设备以进口产品为主,因集成了多方面的先进技术而价格昂贵,且需要专业人员协助训练者使用等。

我国中高端的康复产品多是从国外引进或参照国外产品的功能原理,缺少对用户需求和体验的分析,整体系统设计相对薄弱。电动起立床(如图 2 所示)是国内使用较为广泛的一种康复设备,其康复方式是十分有效的,能帮助患者维持自身脊柱、骨盆、下肢的应力负荷作用,达到站立训练作用。但在人性化、可用性、空间尺度方面明显不足,也缺乏激励机制激发康复者的主动性,在人机交互方面与国外的产品相比有较大差距。

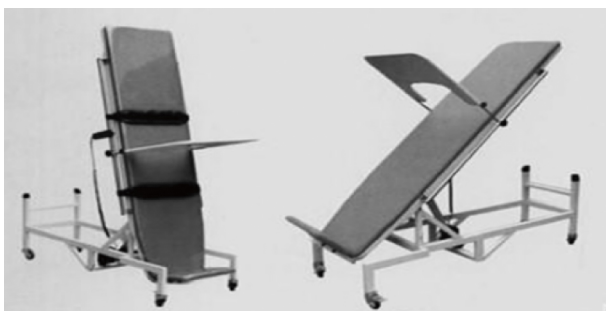


图 1 机械起立床
Fig. 1 Mechanical tilting-bed



图 2 电动起立床
Fig. 2 Electronic tilting-bed

1.4 Kinect 技术在康复领域应用的优势与发展动态

Kinect 技术以外接的 3D 体感传感器作为硬件平台,利用即时动态捕捉、影像辨识、麦克风输入、语音辨识、社群互动等功能,使用户可以摆脱传统输入设备的束缚,从而通过用户自己的肢体控制终端^[5]。该设备低廉的价格和出色的操作方式使其在工业工程、游戏、体育、广告、教育等众多领域获得广泛的应用。

近年来,Kinect 技术在医疗康复领域的应用发展十分迅速,然而大多注重病人行为的动态捕捉和技术实施,而深入结合用户和交互需求的研究相对不足,综合性应用较少,没有充分发挥 Kinect 的智能技术优势。为此本文着重探索如何将 Kinect 技术更好地与用户康复需求相结合,如何更科学、有效地实现康复。

2 老年人下肢康复产品用户研究

老年人下肢康复产品的用户主要包括:被动用户,即下肢需要康复的老年人;主动用户,即医护人员;承担一定护理辅助工作的病患家属。本文以老年病患和医护人员为主要研究对象。

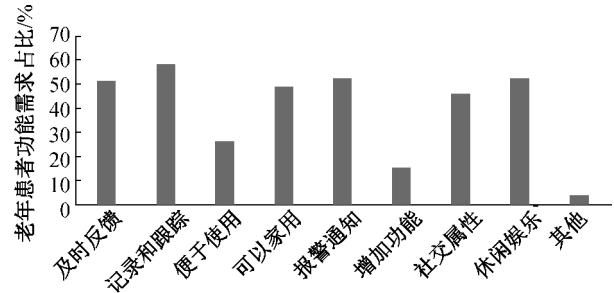
(1) 医护人员实行康复治疗的操作需求。医护人员进行诊断、康复方案制定和医嘱实施,针对下肢机能障碍老人的康复内容主要有物理疗法和作业疗法:物理疗法包括维持肌肉活动度、强肌力、耐力和恢复平衡能力训练;作业疗法包括功能训练和日常生活训练。

(2) 老年病患的医疗康复需求。笔者对徐汇区和宝山区 3 所医院康复科的老年患者、患者家属、康复科主治医生、康复医师进行调研,采取用户访谈、观察和调研问卷 3 种方式。其中,共发放问卷 200 份,收回有效问卷 192 份。用户访谈和观察调研主要包括:了解康复医疗的基本知识;观察医生对患者进行康复诊疗的整个过程;观察老年患者在执行康复任务时的执行能力和行为特点等。其中老年患者对康复产品的功能需求和使用地点选择如图 3 所示。

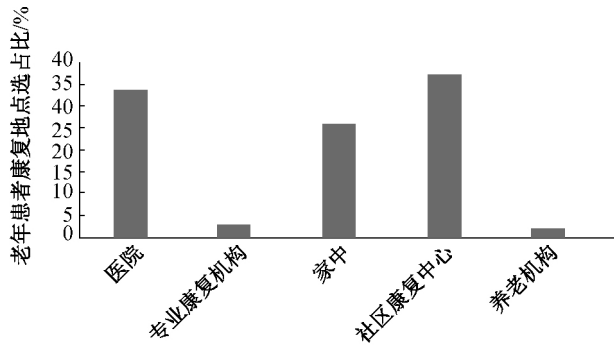
笔者对包含图 3 在内的整个调研结果分析总结如下:

(1) 医护人员需要指导、监测病患步骤、科学合理地完成各阶段康复任务;

(2) 医护人员与病患的交流对病患的心理疏导、康复意愿激励有重要作用;



(a) 功能需求占比



(b) 康复地点选择占比

图 3 老年患者对康复产品的功能需求和使用地点选择
Fig. 3 Functional requirements and locational choices of elderly patients for rehabilitation products

(3) 病患期望康复治疗有明显效果,通过康复尽早恢复生活自理、战胜疾病、回归社会;

(4) 病患在康复过程中期望及时了解康复过程和效果,不断得到指导和鼓励;

(5) 病患具有坚持康复的主动性和循序渐进完成康复任务的能力;

(6) 病患需要在康复过程中与医生、病友、家人的交流和互动,希望获得关心和康复信心;

(7) 病患希望康复过程安全、科学且有针对性。

3 Kinect 体感交互技术在老年人下肢康复产品中的应用解析

老年人下肢康复训练的体感交互设计旨在帮助老年人进行有效的康复活动训练并减缓退化速度,提高老年人生活的信心和能力。

3.1 下肢康复流程和主要训练方法

下肢康复流程:身份确认—基础生理体征检测—康复任务确认—任务执行—数据记录—生理指标检测—康复指令与训练反馈—效果评估—结束任务。在用户康复训练项目完成时,该系统会根据使用过程中产生的数据进行分析,并生成一份准确可靠的训练报告用于训练效果的评估并为制定

下一次康复训练计划提供数据参考。

下肢康复主要训练方法:体位疗法、下肢各关节各方向的被动活动、单腿训练、患侧与健侧训练、体位变化训练和针灸按摩疗法等。

3.2 产品功能构架要点

根据3.1节的分析,应用Kinect技术首先要进行系统的功能构建,尤其在康复任务执行、训练指导与反馈中发挥其技术优势,更好地进行康复任务管理和实施,具体总结如下:

(1) 实现康复动作的准确性。老年人在训练中姿态与动作的准确性是康复训练有效性的重要指标^[6]。在下肢康复训练时,利用Kinect设备上的体态和运动传感器即时收集病患在运动过程中的力量、运动速度和反应能力等数据,为医护人员分析康复效果以及制定下一步的康复训练计划提供科学参考。

(2) 保障康复过程的安全性。老年病患大多伴有高血压、高血糖、高血脂、心脏、脑部等疾病,在下肢康复过程中这些疾病有可能引发急性症状,甚至有致命危险。为此,对生理数据的实时监测十分重要。应用Kinect技术并配合使用多种生理指标传感器,如红外线传感器、光电心率传感器、汗液传感器、血糖传感器等,以较为精确的算法计算出人体各个部分的深度数据,为医护人员实时指导、监测和救助提供参照,避免病患因康复训练引发突发情况造成二次伤害。

(3) 保证康复指令的通达性。老年病患的身体机能、反应速度、记忆力、学习能力都在不断下降,正确执行康复动作所需时间长、执行效率差,也耗费医护人员大量的精力和时间。运用Kinect技术的视觉影像、声音等多通道技术,如采用游戏、音乐播放、语言讲述、画面示意等视觉和听觉的沉浸式方式^[7],让老人充分了解信息,从而注意力更为集中地进行训练,也能避免训练的枯燥感。

(4) 提高老年病患的训练积极性、主动性。应用Kinect技术的开源性和快速算法实现在同一平台实施多种康复项目,将病患的训练状态及时反馈给医护人员和病患。医生可以与病人及时沟通并给予评估,让病患了解康复过程的执行情况,并通过声音、视觉影像方式告知病患,使他们得到肯定和鼓励,从而调动老年病患的主动性,进行持久的康复训练。

(5) 提高医护人员的工作效率,降低工作强度。应用Kinect技术系统的平台容纳性适配不同的康复设备,从而整合简单型和综合交互型产品的康复

过程,实现一个平台完成多个康复项目的目的,并同时记录、储存、检测不同的用户数据^[8],这样产品的使用效率大大增加,从而减轻医护人员的工作强度。系统工作流程如图4所示。

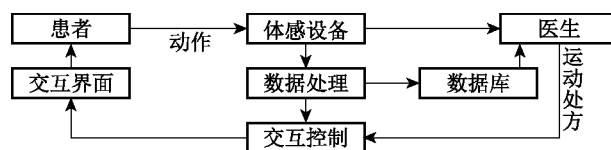


图4 系统工作流程图

Fig. 4 System workflow diagram

4 康复器械设计实践——膝关节康复训练辅助器具

膝关节康复训练辅助器具主要针对膝关节运动机能出现衰退现象的老年人。膝关节是全身受力最重、负重最大、最复杂的关节,随着年龄的增长会出现肌腱和韧带老化、关节组织纤维性粘黏、膝关节运动相关肌群衰退等情况,进而会造成膝关节磨损、运动机能受损。在该设计方案中,老年人通过佩戴特定的辅助器具进行针对性训练来改善膝关节运动机能,延缓膝关节衰退现象以提高老年人生活质量。

4.1 功能及使用方法

膝关节康复训练辅助器的主要功能包括:(1)监测和收集病人的康复训练数据,包括心率、血压、力量、反应能力等,并即时分析这些数据,让病人和康复机构的医务人员清晰地了解包括康复目标完成状况和身体机能的变化状况;(2)根据训练模式,为用户提供不同类型和大小的助力和阻力,达到训练要求。膝关节训练器的传感器分布和膝关节训练器的结构与优点如图5和6所示。

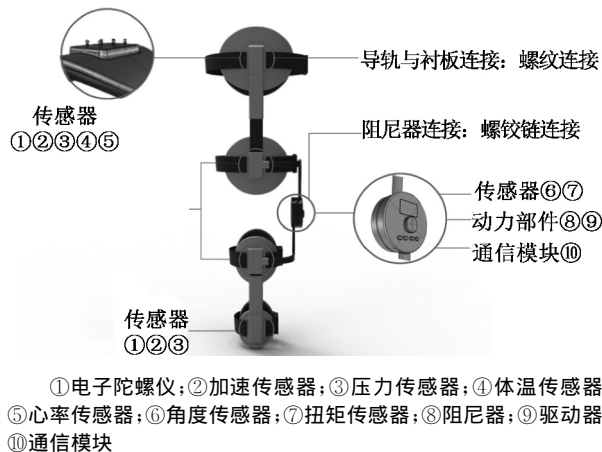


图5 膝关节训练器的传感器分布

Fig. 5 Knee trainer sensor distribution

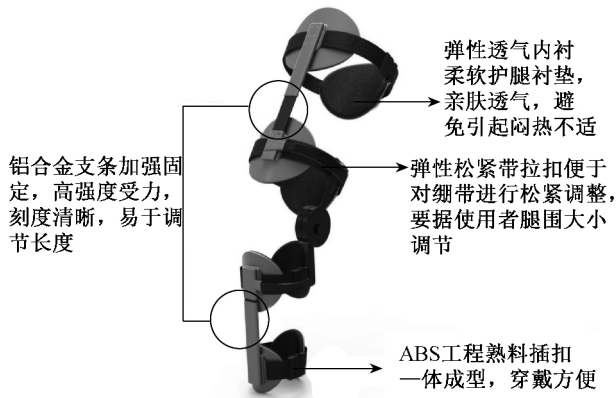


图 6 膝关节训练器的结构与优点
Fig. 6 Knee trainer structure and advantages

膝关节康复训练辅助器的使用方法。康复医生根据老年病患的膝关节机能状况制定具体的康复计划,康复医生在康复训练系统中设置相应的训练模式、时间和动作信息,由工作人员帮助用户完成康复器具的佩戴(如图 7 所示),并带领用户进入训练室开启康复动作学习模式。系统通过视频、语音和图像等方式向用户展示需要完成的康复动作并指导用户执行(如图 8 所示),系统通过佩戴器具上的传感器检测用户全部动作完成过程,并实时指导和反馈信息,训练者执行康复过程合格后学习结束。

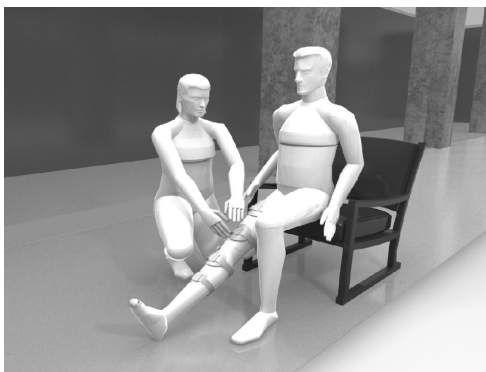


图 7 护士帮助用户佩戴设备
Fig. 7 Nurse helps the user wear the device



图 8 用户学习康复动作
Fig. 8 Users learn rehabilitation actions

系统根据康复训练预设数据形成连贯的动态视频、音频演示,以其中的一个训练模式为例,如图 9 所示。用户需要佩戴康复训练设备,根据屏幕画面中人物动作视频和语音提示分别完成左腿向前屈膝、右腿向前屈膝、下蹲屈膝和蹲位起立 4 种动作。用户在规定时间内完成相应的第一个动作,系统通过穿戴设备上的传感器判定动作符合规范后,屏幕显示画面中的人物通过障碍,表明康复训练过程继续进行。如果用户做出的动作超出时间限制或者动作不规范,画面中的人物原地不动无法前进需重新训练。若出现连续失败 3 次的情况将触发系统启动动作学习模式,通过视频和语音方式教会用户完成规范动作。

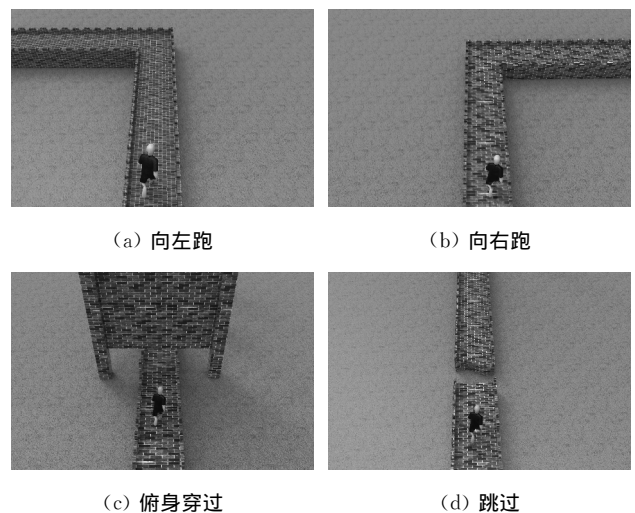


图 9 屏幕出现的情景与对应的动作
Fig. 9 Situation on screen and corresponding actions




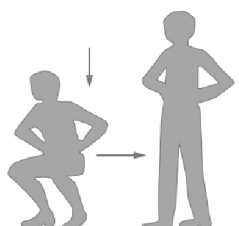
当用户从康复系统的显示器画面中看到如图 9 所示的 4 种情况时,需要做出相应的 4 组训练动作(如表 1 所示)帮助画面中的人物安全通过障碍。

4.2 数据采集和反馈

在用户训练时,部署在穿戴设备上的传感器将实时收集用户的动作时间、位置、压力数据并上传至系统,一方面用作训练动作的动态数据分析处理,一方面将动态训练信息可视化。每种康复训练动作能够实现的康复目标和实现过程如下:

(1) 左、右腿向前屈膝主要用于改善膝关节灵活性、动作准确度和反应能力。用户需要根据视频中人物动作在 5~10 s 内开始屈膝动作,并在 10~20 s 内完成屈膝 90°动作(误差控制在 15°内),从而控制画面中的人物进入下一场景和步骤。在用户执行相应的动作时,部署在辅助器具内部的传感器将获取动作开始时间(t_1)和动作结束时间(t_2)用于判定用户的反应能力和动作执行能力。在膝关节运动

表1 用户动作与对应画面人物的动作
Table 1 User actions and corresponding actions of people on screen

| 动作 | 左腿向前屈膝 | 右腿向前屈膝 | 蹲位屈膝 | 蹲位起立 |
|------|---|---|--|---|
| 示意图 |  |  |  |  |
| 画面人物 | 向左跑 | 向右跑 | 俯身穿过 | 跳过 |

过程中压力传感器和扭矩传感器将获取用户膝关节运动时产生的力量并实时反馈给系统和用户。在用户屈膝动作完成时,角度传感器和陀螺仪将膝关节夹角和腿部位置上传至系统,用于判定动作的准确度。

(2) 蹲位屈膝主要用于训练膝关节肌肉群力量、身体平衡性和体位控制。当屏幕画面中的人物需要俯身穿过障碍时,用户需要在5~10 s内开始蹲位屈膝动作,并在10~30 s内将膝关节角度调整至 $90^{\circ}\sim 120^{\circ}$ 以控制画面中的人物完成上述操作。在用户执行动作时,用户的反应能力、动作执行能力、膝关节肌肉群力量、动作准确度的判定方法同上。在用户保持蹲位时,康复器具的角度传感器和陀螺仪将同时负责监控动作的稳定性。

(3) 蹲位起立主要用于训练膝关节肌肉群力量和膝关节灵活度。当屏幕画面中的人物需要跳过障碍时,用户需要在5~10 s内开始下蹲动作,并在20~45 s内完成蹲位起立动作以控制画面中的人物完成上述操作。在用户执行动作时,用户的反应能力、动作执行能力、膝关节肌肉群力量、动作准确度的判定方法同上。在用户下蹲和起立的过程中利用自重提升膝关节肌肉群的力量。

训练过程中,系统会利用心率、血压和体温传感器实时监测用户的生命体征变化并用图形方式显示在屏幕上,同时部署在一体机中的Kinect体态传感器会实时监控用户的体位,并辅助用户进行体位控制,提高运动的稳定性。各训练动作需要监测的数据如表2所示。

表2 各个训练动作需要监测的数据
Table 2 The training data needs to be probed

| 动作 | 需采集的数据 |
|--------|---|
| 左腿向前屈膝 | $t_1, t_2, F_{\max}, F_{\text{ave}}, \theta_1, \theta_2, A_1, A_2, T_p, H_b, A_n$ |
| 右腿向前屈膝 | $t_1, t_2, F_{\max}, F_{\text{ave}}, \theta_1, \theta_2, A_1, A_2, T_p, H_b, A_n$ |
| 蹲位屈膝 | $t_1, t_2, \theta_1, \theta_2, T_p, H_b, A_n, T_{\text{or}}$ |
| 蹲位起立 | $t_1, t_2, F_{\max}, F_{\text{ave}}, \theta_1, \theta_2, T_p, H_b, A_n$ |

注: t_1 为动作开始时间; t_2 为动作完成时间; F_{\max} 为膝关节最大力量; F_{ave} 为膝关节平均力量; θ_1 为大腿陀螺仪(x_1, y_1, z_1)的三维夹角; θ_2 为小腿陀螺仪(x_2, y_2, z_2)的三维夹角; A_1 为大腿瞬时加速度; A_2 为小腿瞬时加速度; T_p 为体温; H_b 为心率; A_n 为膝关节夹角; T_{or} 为膝关节扭矩。

4.3 结果分析

对于膝关节康复训练器的编码传输,该系统的数据传输使用 Zigbee 无线数据传输技术,受限于该技术的带宽(低于 250 Kbps,其中 bps 表示比特每秒),这里创新性地采用了双 64 位数字编码技术来实现了传感器数据的无损压缩。

双 64 位数字编码技术将传感器的数据通过数据的位运算存储在两个数据精度为 64 位的整数中,在两个整数特定的数位区间里储存了特定的传感器

数据。数据压缩编码后通过 Zigbee 技术发送至一体机。这种技术手段减少了数据传输所需的带宽,提高了数据传输效率。数据存储位置与数据长度如图 10 所示。

数据传输至 Kinect 一体机后,内置软件系统首先根据编码规则进行逆运算以读取相应的传感器数据,读取完毕后综合 Kinect 的体态数据进行判定以确定动作的规范性,同时采用内置软件将数据可视化并显示在屏幕上,形成连贯的交互反馈^[9]。在用

| | | | | | |
|--|----------|------------|--|--------|--|
| | | 陀螺仪x角度(9位) | | | |
| | | 陀螺仪y角度(9位) | | | |
| | | 陀螺仪z角度(9位) | | | |
| | | 加速度(5位) | | | |
| | 压力(5位) | | | 体温(3位) | |
| | | 心率(8位) | | | |
| | 时间一秒(6位) | | | | |
| | | 时间一毫秒(10位) | | | |

| | | | | | |
|--|----------|------------|-----------|--|--|
| | | | 压力浮点数(7位) | | |
| | | | 体温浮点数(7位) | | |
| | | | 角度整数(7位) | | |
| | | | 角度浮点数(4位) | | |
| | | | 扭矩数值(10位) | | |
| | | | 血压(7位) | | |
| | 时间一秒(6位) | | | | |
| | | 时间一毫秒(10位) | | | |

图10 数据存储位置与数据长度

Fig. 10 Data storage location and data length

户完成预设的训练量后,软件系统根据用户康复训练过程中产生的数据流进行相应的运算,从而生成一份详细的康复训练报告并综合历史康复数据形成运动机能变化趋势图。康复训练医生可以根据此次康复训练的报告和运动机能变化趋势,判定康复效果并制定下一步的康复计划。

5 结 语

随着社会老龄化现象越来越严重,未来针对老年人的康复服务和康复体系将日益完善。基于Kinect体感交互技术的老人康复医疗系统,既能发挥该技术游戏化、可视化的交互体验优势,又能实现

康复过程中的实时数据监测和信息反馈,从而为更科学有效的康复训练管理提供保障,大大提高老年人康复的有效性和主动性,也使得整个康复过程更加具备趣味性,减轻病痛带来负面心理影响。从长远来看,该系统仍然需要在康复原理和康复交互过程中进行不断的优化,而这个优化的过程也能成为一个新的研究方向。

参 考 文 献

- [1] 国家统计局. 中华人民共和国 2016 年国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL]. http://www.stats.gov.cn/tisi/zxfb/201702/t20170228_1467424.html, 2017.
- [2] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 老年社会调查报告: 8 成老年人生活自理, 7 成多患慢性病 [EB/OL]. http://health.china.com.cn/2016-03/07/content_8615983.htm.
- [3] 夏勇峰. Kinect 与人机交互的未来 [J]. 商业价值, 2011(2): 60-63.
- [4] 王茂斌. 关于康复医疗服务体系建设的若干问题 [J]. 中国康复医学杂志, 2012(7): 587-589.
- [5] 张毅, 张烁, 罗元, 等. 基于 Kinect 深度图像信息的手势轨迹识别及应用 [J]. 计算机应用研究, 2012, 29(9): 3547-3550.
- [6] 张亚群, 王岸新. 失能老年人康复运动处方的研究现状 [J]. 当代体育科技, 2017, 7(9): 18-20.
- [7] 纪翔, 饶培伦. 体感游戏在中国老年人康复领域的研究进展 [J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(9): 1036-1039.
- [8] 秦超龙, 宋爱国, 吴常铨, 等. 基于 Unity3D 与 Kinect 的康复训练机器人情景交互系统 [J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(3): 530-536.
- [9] 马旋, 薛原, 杨若瑜, 等. 基于 Kinect 的人体实时三维重建及其应用 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2014, 26(10): 1720-1726.

(责任编辑: 杜 桂)