

·综述·

无障碍居家环境交互技术研究现状与趋势*

卢博睿¹ 喻洪流^{1,4} 朱沪生¹ 董伦富² 张晓玉³

我国丧失行动能力的老年人已达940万,长期卧床、生活不能自理的人口约有2700万。各类残疾人和长期卧床的老年人大量存在,他们在居家环境中的一些基本的日常活动无法自理,这严重影响了其正常生活。无障碍环境交互系统是一种供残疾人使用的电子机械辅助装置,它能使残疾人对居室环境中的各种护理或电器设备进行控制,达到或接近正常人控制环境设备的能力,如利用机械开关、头操纵杆、吹/吸气、嘴叼棒、眨眼、语音^[1],以及一些生理电信号作为输入信号,控制家中的电器设备,例如喝水进食、开关电灯、打电话、看电视、开关门、拉窗帘、操作轮椅、紧急呼叫、操作计算机等。因此,研制助老助残的无障碍居家环境交互设备,帮助老年人和残疾人不同程度地恢复生活自理能力,为其提供一个方便的居家生活环境,对保证我国社会的稳定发展具有重要现实意义。

1 国内外研究现状

在国内外的相关文献中,无障碍交互系统的交互方式主要分为:机械开关、吹/吸气、语音、手势、基于视觉的面部表情控制及生物电信号(脑电信号、肌电信号、眼电信号)控制等。

1.1 机械开关、吹/吸气控制

早期的无障碍环境交互技术主要采用机械开关或者电磁开关,一般情况下一个机械开关由两个接触点和一个执行器组成。1998年Wilson A.设计了一个叫“Jelly Bean”的机械开关。Lancioni^[2]开发了特定使用位置的振动传感器用于识别下巴和手的动作。Antonucci等人设计的应用于身体的不同部位的逻辑组合开关,可以避免不恰当的身体动作造成的错误操作^[3]。如图1所示,1980年,新西兰的Jones RD等人为四肢瘫痪的患者设计了一个手持开关控制器和一个下巴开关控制器^[4],可以紧急呼叫护士、控制灯具开关和电源插座等。

2005年如图2所示,乔治亚州立大学计算机科学系设计了一种基于吹/吸气控制的新型人机交互系统^[5],使四肢瘫痪

图1 Jones RD等设计的下巴开关控制器



的残疾人能够方便的控制电脑,其核心由几种模糊控制函数定义用户与系统之间的交互,通过空气流量传感器,检测空气流动的方向和强度,用户与系统的交互基于两个选择操作,指向(定位光标在电脑屏幕中的位置)和单击。通过模糊滤波器能够处理更为复杂的吹/吸气流强度信号,其中模糊推理系统用来处理偶然造成的输入信号(如咳嗽),模糊鼠标光标控制系统(fuzzy mouse cursor control system, FMCCS)输入的信号为气流的方向和强度,模糊推理系统(fuzzy inference system, FIS)运用Mamdani模糊推理模型,利用模糊逻辑把输入参数映射到一个单一的输出,把这个输出信号作为FMCCS的输入信号。输入信号的方向被划分为3个重叠的模糊集合,分别对应了3个隶属函数trapmf、trapmf、NULL“trimf”,输入信号的强度被划分为4个模糊集合,对应高斯隶属函数。

图2 乔治亚州立大学设计的呼吸控制系统



DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2013.07.025

*基金项目:上海市科技支撑项目(12441903400)

1 上海理工大学生物力学与康复工程研究所,上海,200093; 2 深圳市残疾人辅助器具资源中心; 3 国家康复辅具研究中心;

4 通讯作者

作者简介:卢博睿,男,学生; 收稿日期:2013-03-06

1.2 语音控制

2011年新西兰 Massey 大学设计了一个帮助老年人起居的语音无线家庭自动化交互系统^[6],该系统通过语音命令的自动识别和低功耗的无线通信模块组成,通过语音命令来控制所有的灯光和电器,利用抗混叠滤波器来满足高于奈奎斯特标准的采样频率,使用差分脉冲编码调制算法压缩语音数据,应用 Microsoft Speech API 的自动语音识别的快速傅立叶变换(fast Fourier transform, FFT)来计算声纹数据的频谱。采用便携式麦克风模块实现差分脉冲编码调制(differential pulse code modulation, DPCM)的数据压缩。经测试,参与测试的35个有不同英语口语的人发送命令的识别率达到79.8%。

2011年上海理工大学生物力学与康复工程研究所设计的居家无障碍环境交互系统,如图3所示,该系统将语音识别控制技术、无线信息传输技术、嵌入式移动计算技术相结合,将居家环境中的灯具、电锁门、报警器、电视机等电器设备互联为一个系统,为行动障碍人士提供一个语音识别控制终端,方便地控制居家环境中的各种电器设备,可以随时通过语音提示系统、视觉提示系统了解各种电器的运行状况,从而构建一个实用的、基于语音控制的重残患者居家环境无障碍系统。训练简单,不受语言种类限制。抗干扰能力强,语音的识别率达到90%以上。

图3 上海理工大学设计的居家无障碍环境控制系统



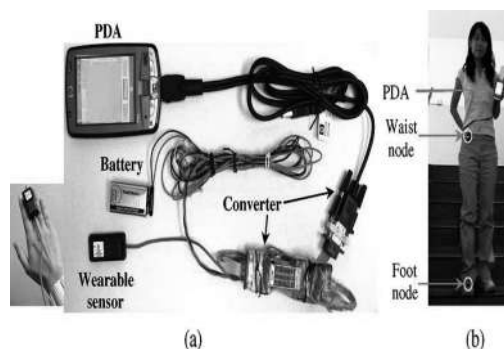
1.3 手势控制

基于手势识别的交互方式主要有:基于数据传感手套的手势识别、基于视觉的手势识别和基于人体动作的表面肌电信号(surface electromyography, sEMG)的手势识别。目前,大部分的研究主要集中在手的方向和姿态的识别,美国伊利诺伊大学 Beckman 研究所^[7]和日本中央大学的系统工程系^[8]都对这个方向进行了研究。

如图4所示,2009年美国俄克拉何马州立大学设计的可穿戴式手势识别系统^[9]。识别算法由分割模块与识别模块两个模块组成。基于神经网络的分割模块,用来检测手势的开始和结束点。在识别模块中,应用层叠隐马尔可夫模型(hierarchical hidden Markov model, HHMM)和贝叶斯滤波。

采用多传感器融合的方式来收集从脚到腰部的传感信号,几个基本的手势被分配为几个不同的命令,从而帮助残疾人完成对家电的控制。

图4 可穿戴式手势识别系统



2007年韩国科学技术高级研究院设计的无障碍居家交互系统^[10],如图5所示,系统由三种交互方式组成,基于视觉的手势识别、基于声音的语音识别和基于传感器的动作识别。三个单独的图像数据获取摄像头被安装在天花板上,便于用户在房间的任何位置发出命令。该相机朝向用户、捕获指尖点的三维位置,比较预定义的某家电矢量坐标的位置,来确定所选择的电气设备。护理床上安装了336个压力传感器,测得用户的四种姿势(仰卧、右侧卧、左侧卧、坐),生成压力分布图像,应用主元分析(principal component analysis, PCA)和径向基函数(radial basis function, RBF)神经网络算法,减少了数据的维数和特征向量,从而减少了计算时间,实现快速估计用户的姿势和运动,根据用户身体躺卧的姿势来控制护理床的弯曲和升降。

图5 辅助智能床控制系统



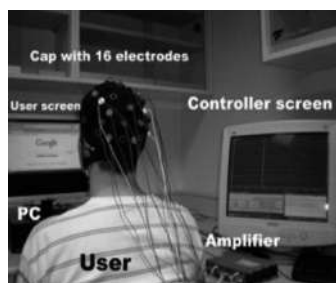
1.4 脑电信号控制

根据脑电信号来源的不同,对脑电信号的研究分为两类,一类是非自发性的,利用视觉诱发的频率特性;另一类是利用自发性的,利用具有信息选择能力的P300诱发脑电电位^[11]。2009年,Günter Edlinger等人提出了一种基于P300的脑电图信号结合虚拟环境技术的残疾人环境交互系统^[12],能

够迅速的选择更多的控制命令。2011年,G.tec医学工程公司设计了一个联合P300和稳态视觉诱发电位(steady-state visual evoked potential, SSVEP)的环境交互系统^[13],SSVEP被用来运行一个简单开/关的切换,可以控制系统的启动和停止,P300用于控制几个可控设备的应用程序和一个独立的控制命令,经过测试,控制的准确率为90%。

2011年西班牙NBIO公司设计了一种基于脑电图的环境交互系统^[14],如图6所示,在头皮安装16个电极,检测P300和N2PC信号。已经开发了三个应用程序,第一个应用程序是允许访问互联网和控制计算机,第二个应用是可以控制家电设备,第三个应用是作为一个基本的通信工具。

图6 西班牙NBIO公司设计的脑电控制系统



1.5 肌电信号控制

近年来,肌电信号识别技术成为无障碍环境交互领域的一个研究热点。1996年,Gryfe P等为有运动障碍的残疾人设计了一个利用肌电信号的控制开关,操控他们环境中的设备,此开关设定一个预定的阈值,以消除环境噪声干扰^[15]。2000年,Barreto为四肢瘫痪的残疾人设计了一个鼠标控制接口,把采集到的肌电图信号和脑电图信号转化成控制二维光标的移动^[16]。2002年,Yu-Luen.C等人基于使用表面肌电图的想法,把它转换成一个触发脉冲,为残疾人设计电话系统控制接口^[17]。2006年,Huang研发了一个基于面部肌电信号的鼠标控制接口^[18],实验的准确率大于80%。

2006年日本广岛大学设计的人机交互系统CHRI^[19],该系统使用肌电信号(electromyographic signal, EMG)作为输入信号,用于控制电动轮椅、家用电子设备以及视频游戏机。系统运用基于概率神经网络(probabilistic neural networks, PNNs)的模式识别,其具有突出的非线性逼近特性,可以通过训练神经网络结构和适当的加权,来估计输入信号的后验概率的分布。系统硬件包括一个用来接收和测量生物信号的传感器单元,一个处理和识别的主控单元和发送接收无线电波的传输单元组成,用户可以通过切换基于GUI的分层菜单操作家用电气设备。

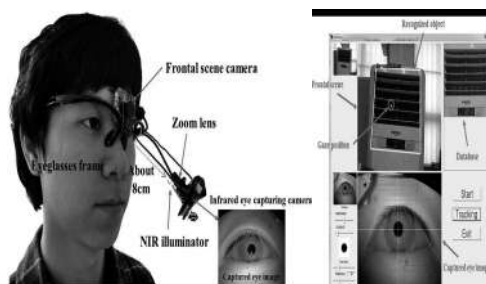
1.6 眼动控制

目前应用于无障碍环境交互领域的基于眼球运动的方

法主要是眼电图法和计算机图形法。2000年,Lankford^[20]等设计了基于视觉的眼球追踪装置,通过计算眼角膜反射与瞳孔中心的偏移量来控制鼠标。2003年,Bates^[21]提出了结合眼动追踪和头操作的计算机访问辅助接口。

2011年韩国Dongguk大学电气工程学院设计的基于眼球运动的无障碍交互系统^[22],如图7所示,通过物体识别和视线跟踪的方法,实现重度残疾人选择和在家电设备,该系统设计了一种可穿戴的眼镜形状的设备,使用外红相机和照明设备来捕捉图像。运用加速鲁棒特性(speeded-up robust features, SURF)算法,实现图像的快速特征提取,图像的旋转和屏蔽,以及尺寸的变化。实验的结果表明获取的视线跟踪坐标和真实的物体位置只有1.98°的误差。

图7 韩国Dongguk大学设计的视觉控制系统



1.7 面部表情控制

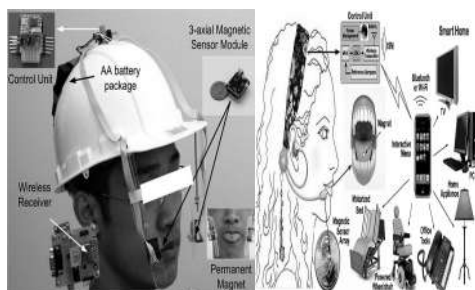
早在20世纪70年代,有关人脸表情识别的研究就已经展开,随着计算机技术的发展,面部表情识别技术在无障碍环境人机交互领域逐渐发展起来。2002年,Betke为重度残疾人设计了一个基于视觉的鼠标控制接口^[23],系统用摄像机追踪用户的面部特征(鼻、唇)以及身体其他部位的变化,将他们转换成屏幕上鼠标指针的移动。2003年,K. Grauman设计了基于视觉的控制接口“BlinkLink”,自动检测用户的眨眼,准确地测量其持续时间,自愿的长闪烁触发鼠标点击,非自愿的短闪烁会被忽略^[24]。2006年,Mauri^[25]等人通过面部色彩追踪,建立一个残疾人的辅助控制接口。

1.8 牙齿、舌头、头控制

2006年,K. Kuzume设计了以牙齿触摸的声音为输入信号的环境交互设备^[26]。运用牙齿传导传声器、音频放大器和现场可编程门阵列(field programmable gate array, FPGA)芯片,通过骨头传声器收集牙齿触摸的声音信号,骨头传声器连接一个高灵敏度的振动传感器,收集牙齿触摸引起的振动,将这些振动转换成音频信,这些设备可以固定在用户的头上,收集牙齿的振动,从而将振动信号转化为控制信号。

2008年美国佐治亚理工学院仿生学实验室设计了一个舌头驱动系统^[27],如8所示,一个小磁铁安放在舌头上,作为示踪剂跟踪舌头的运动,通过一个磁感应传感器模块来检测

图8 佐治亚理工学院设计的舌头驱动系统



由于舌头的运动引起的嘴巴内磁场的变化,用微分域消除算法来消除外部磁场的干扰,由计算机将信号转化成控制命令,实现对环境设备的控制。

2001年Chen YL设计了一个头操作计算机鼠标的人机接口^[28],采用两个倾斜传感器放置在头部两侧的耳机上,确定头部的位置,一个倾斜传感器检测头部的横向运动,驱动鼠标的左/右位移,另一个检测头部的垂直运动,驱动鼠标的上下位移,一个触摸开关装置与脸颊接触,触发开关执行单一的单击或双击。

2 发展趋势

2.1 交互方式的个性化选择

针对残疾人的身体状况、所处的环境状况、使用目的,需要采取不同的无障碍辅助技术帮助残疾人实现对家庭设备的控制。例如针对无法使用胳膊或手操作标准按键或开关的这类运动障碍群体,可以采用牙齿、头操作杆,语音等交互方式。视觉障碍这类群体最理想的就是采用具有语音提示和反馈功能的交互系统。听觉和语言障碍这类人群可以采用机械开关、触摸屏、控制杆等。

2.2 多模态与远程交互方式的应用

无障碍环境辅助交互技术作为一门新兴的学科领域,无论在理论上还是在应用上都不够完善,有待继续研究发展。首先是控制系统的准确率和稳定性,它受到多种因素影响,包括信号采集中的噪声干扰,硬件和软件设备的处理能力,控制信号的特征选择方法等。其次是控制方法单一,难以与其他辅助设备整合与协作,应该发展多通道的输入接口,使得多种无障碍交互方式之间可以交互配合。此外,远程控制和监护技术也是未来发展的趋势,通过便携式的移动终端设备,可以实时地了解居家环境中控制系统的运行状态,控制家中的电气设备。

2.3 新型交互技术的采用

比较目前已有的无障碍环境交互技术,吹/吸气、口持棒、机械开关等,其交互方式简单直接,但会造成使用者丧失其他自由度。在生物电信号控制的交互系统中,尽管在技术研究方面已取得了很大的进展,但距离实际的应用要求还有

很大差距,需要在信号特征的提取及处理方法、通讯速度和控制的准确度等方面深入的研究。语音、眼控和手势是一种人们最容易接受、最自然的交互方式,语音识别、视觉识别和手势识别技术近年来取得了较快发展,基于语音和手势的无障碍交互系统将是未来无障碍环境交互领域研究的热点。

3 小结

无障碍环境交互系统在国外发展很快,系统从残疾人的需求出发,设计巧妙,有的已经做成了成熟的产品。但在国内还刚刚起步,和国外有较大差距。随着社会的进步,残疾人对居家辅助设备的需求也会越来越大,所以发展和研制适合中国人使用的残疾人环境交互系统非常必要,居家环境控制交互系统的研究在国内将会有广阔的发展前景。

参考文献

- [1] 朱磊,唐庆玉,崔子京,等.基于语音识别技术的残疾人环境控制系统的研制[J].北京生物医学工程,2000,19(2):65—68.
- [2] Lancioni GE, O'Reilly MF, Sigafoos J, et al. Enabling a person with multiple disabilities and minimal motor behaviour to control environmental stimulation with chin movements[J]. Disability and Rehabilitation,2004,26(21—22):1291—1294.
- [3] Antonucci M, Lancioni GE, O'Reilly MF, et al. Enabling a man with multiple disabilities and limited motor behavior to perform a functional task with help of microswitch technology[J]. Perceptual and Motor Skills,2006,103(1):83—88.
- [4] Jones RD, Hooper RH, Armstrong DI, et al. Microprocessor-based multi-patient environmental-control system for a spinal injuries unit[J]. Medical and Biological Engineering and Computing,1980,18(5):607—616.
- [5] Surdilovic T, Zhang YQ. Convenient intelligent cursor control web systems for Internet users with severe motor-impairments[J]. International Journal of Medical Informatics,2006,75(1):86—100.
- [6] AlShu'eili. Voice recognition based wireless home automation system[C]. 2011 4th International Conference On Date of Conference,2011,5:17-19.
- [7] Jovic N, Brumitt B, Meyers B, et al. Detection and Estimation of Pointing Gestures in Dense Disparity Maps[C]. IEEE on Automatic Face and Gesture Recognition, 2000: 468—475.
- [8] Sato S, Sakane S. A Human-Robot Interface Using an Interactive Hand Pointer that Projects a Mark in the Real Work Space[C]. IEEE ICRA,2000,1:589—595.
- [9] Zhu C, Sheng C. Online hand gesture recognition using neural network based segmentation[C]. The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2009:2415—2420.
- [10] Park KH, Bien Z, Lee JJ, et al. Robotic smart house to assist people with movement disabilities[J]. Auton Robot,2007, 22:183—198.
- [11] Edlinger G, Holzner C, Guger C, et al. A Hybrid Brain-Computer Interface for Smart Home Control[C]. Hu-

- man-Computer Interaction, Interaction Techniques and Environments Lecture Notes in Computer Science,2011:417—426.
- [12] Edlinger G, Holzner C, Groenegrass C, et al. Goal-Oriented Control with Brain-Computer Interface[C].Foundations of Augmented Cognition, Neuroergonomics and Operational Neuroscience Lecture Notes in Computer Science,2009:732—740.
- [13] Edlinger G, Holzner C, Guger C, et al. A Hybrid Brain-Computer Interface for Smart Home Control[C]. 14th International Conference, Human-Computer Interaction 2011, 2011:417—426.
- [14] Sirvent JL, Lanez E, Ubada A, et al. Visual evoked potential-based brain-machine interface applications to assist disabled people[M]. Expert Systems with Applications,2012,39(9):7908—7918.
- [15] Gryfe P, Kurtz I, Gutmann M, et al. Freedom through a single switch: coping and communicating with artificial ventilation[J]. Journal of the Neurological Sciences,1996,139:132—133.
- [16] Barreto AB, Scargle SD, Adjouadi M, et al. A practical EMG-based human-computer interface for users with motor disabilities[J]. Journal of Rehabilitation Research and Development,2000,37(1):53—63.
- [17] Chen YL, Lai JS, Luh JJ, et al. SEMG-controlled telephone interface for people with disabilities[J]. Journal of Medical Engineering & Technology,2002,26(4):173—176.
- [18] Huang CN, Chen CH, Chung HY. et al. Application of facial electromyography in computer mouse access for people with disabilities[J]. Disability and Rehabilitation,2006,28(4):231—237.
- [19] Shima K, Eguchi R, Shiba K, et al. CHRIS: Cybernetic Human-Robot Interface Systems[C], Proceedings of 36th International Symposium on Robotics,2005:1—8.
- [20] Lankford C. Effective Eye-Gaze Input Into Windows[C]. In Proceedings of the 2000 Symposium on Eye Tracking Research and Applications,2000:23—27.
- [21] Bates R, Istance HO. Why are eye mice unpopular? A detailed comparison of head and eye controlled assistive technology pointing device[J]. Universal Access in the Information Society,2003,2:280—290.
- [22] Heo H, Lee WO, Lee JW, et al. Object recognition and selection method by gaze tracking and algorithm[C]. 2011 International Conference on Multimedia and Signal Processing, 2011,1:261—265.
- [23] Betke M, Gips J, Fleming P, et al. The camera mouse: visual tracking of body features to provide computer access for people with severe disabilities[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng,2002,10(1):1—10.
- [24] Grauman K, Betke M, Gips J, et al. Communication via eye blinks- detection and duration analysis in real time, Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on,2001,1:1010—1017.
- [25] Mauri C, Granollers T, Llores J, et al. Computer vision interaction for people with severe movement restrictions[J]. Human Technology,2006,2(1):38—54.
- [26] Kuzume K, Morimoto T. Hands-free man machine interface device using tooth-touch sound for disabled persons [C]. Proceedings of 6th International Conference on Disability, Virtual Reality and Associate Technology,2006:147—152.
- [27] Huo X, Wang J, Ghovanloo M, et al. A magneto-inductive sensor based wireless tongue-computer interface[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng,2008,16(5):497—504.
- [28] Chen YL. Application of tilt sensors in human-computer mouse interface for people with disabilities[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng,2001,9(3):289—294.

·综述·

有限元法在腰椎运动学分析中应用的研究进展*

王艳国¹ 张 琪² 刘 凯²

1 腰椎有限元模型建立

有学者对腰椎运动学的有限元研究集中于单个及双节段腰椎^[1—4]。刘耀升等^[1]采用计算机辅助设计(computer aided design,CAD)技术建立L4—5节段有限元模型,用非种子区域分割方法提取该节段的二值图像,然后采用反应腰椎生理曲度的最佳切割平面生成轮廓线并建立分段线性子空间,

经过仿射变换分段线性子空间为规则子空间等方法建立表面模型,最终获得仿真模型。不同载荷条件下模型移位、旋转角度、椎间盘内压等预测结果与相同载荷下的试验生物力学结果相符合,模型得到验证。随后借鉴国外运用多孔弹性有限元模型用于腰椎的固液二相性研究的思想,应用流体固体耦合,陈浩等^[2]建立腰椎L4—5运动节段流固耦合三维有

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2013.07.026

*基金项目:教育部博士点基金(20101210120001);天津市自然科学基金面上项目(10JCMSJC24131);中国博士后科学基金(20090460496)

1 天津中医药大学第一附属医院推拿科,天津,300193;2 天津中医药大学

作者简介:王艳国,男,博士,副主任医师;收稿日期:2013-03-12