

人-机接口技术在残疾人功能辅助方面的开发与应用

郑福辉¹ 江国泰¹ 王 皓¹

摘要 **目的:**解决人和计算机的接口问题,为辅助上肢残疾者操纵计算机提供适宜技术。**方法:**比较分析国内外利用脑电和肌电生理电信号检测技术,在进行残疾人功能辅助研究的基础上,利用计算机虚拟现实和电磁跟踪技术相结合实现人-机接口。**结果:**提出了一种新的应用于上肢残缺者操纵计算机的人-机接口技术。**结论:**该技术在计算机辅助残疾人功能重建方面有广阔的应用前景。

关键词 人-机接口;虚拟现实技术;残疾;功能重建;计算机辅助医疗

中图分类号:R496 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-1242(2006)-09-0827-02

随着计算机辅助医疗技术发展,在康复医学领域也得到了广泛的应用,特别是计算机虚拟现实技术在残疾人功能辅助方面的应用最为引人注目。针对残疾人功能辅助的特殊需要,关键是要解决人-机接口问题。本文将在参考各种计算机辅助医疗技术、特别是计算机虚拟现实技术的基础上,介绍应用于残疾人功能辅助的几种新的人-机接口技术,尤其是用于肢体残缺者操纵计算机的几种人-机接口的关键技术。

1 虚拟现实的人-机接口技术及其在残疾人功能辅助方面的应用

虚拟现实(virtual reality,VR)技术是当前信息领域中的一项最尖端的技术,也引起了医学界极大的兴趣。虚拟现实技术是利用特定的输入设备(如感传手套、视频头盔、立体眼镜等)作为人和计算机的交互工具来模拟真实操作中的软硬件环境,用户在操作过程中有身临其境的感觉。

计算机虚拟现实技术可应用于辅助医学教学,如中医针灸手法的教学、外科手术的培训、解剖学基础知识的示教等;还可应用于中医安全用药、针灸决策和外科手术的预演等医疗计划的制订等,以及应用于脑外科手术定位^[1]、胃肠道虚拟内窥镜、糖尿病辅助治疗、康复医学工程^[2]等与临床诊断、治疗及远程干预等有关的各个医疗环节,给医疗事业在提高手术的准确性和医疗效率等方面带来了空前的进步^[3]。计算机虚拟现实技术在残疾人功能辅助方面有各种应用形式,应用各种特制的人-机接口让肢体残缺者顺利地操纵计算机或控制相关器具以实现生活自理等,并且在操作过程中完全有一种身临其境的感受。例如,应用力学感传的输入装置模拟针灸手法、汽车驾驶等作业^[4]。有些人-机接口可以直接应用计算机的鼠标或配制特殊的三维鼠标作为感传的输入装置。例如,一种应用音声导航帮助盲人使用计算机的盲人电脑,可以帮助盲人克服由于看不见键盘和操作按钮困难而无法使用计算机的苦恼,只需要凭借软件,就可以借助语音技术,靠触摸感知按键键盘读出鼠标、光标所到之处的汉字或命令进行学习、听音乐,甚至上网聊天。

2 应用生理电信号的人-机接口技术及其在残疾人功能辅助方面的应用

人体的各种运动都是靠脑和神经系统来指挥的,各种动

作也通过肌肉的活动来实现。因此,人们为了帮助肢体残缺者恢复功能,希望由肢体残缺者通过自己的主观意识来控制假肢等人工辅助装置的动作,其中使用最多的就是应用生理电信号的人-机接口,最为典型的生理电信号是肌电图(EMG)信号和脑电图(EEG)信号。

在当代高度信息化的社会中,人人都希望能操纵计算机。但是,对于上肢残缺者,依靠使用鼠标和键盘去操纵计算机是相当困难的。虽然,为了帮助肢体残缺者恢复行走或生活自理等日常功能,应用肌电信号的电动假肢已经有多年的历史,但是对于如何帮助上肢残缺者操纵计算机的假肢研究却还处在初始阶段。

日本东海大学工学部电气工学科永田健太郎等^[5]正在开发一种适用于上肢残缺者操纵计算机的肌电假肢,他们采用EMG信号作为控制的生理信号。该装置中与动作相关的EMG测量采用特制的肌电仪,使用具有96导16×6网格状排列的直径1mm的Ag表面电极测量EMG,这样可以检测出各个肌肉运动单元的活动状态,有利于获得最为有用的参数。以往的肌电控制大多采用EMG的振幅信息,它很难做到对肌肉紧张程度的精细控制,而使用频率信息就可以获得关于运动的纤维水平的信息,从而能有效地提取出复杂动作的模式,为研制上肢残缺者操纵计算机的肌电假肢提供了理论和实验依据。

清华大学医学工程信息研究室开发了一种基于脑-机接口技术的残疾人环境控制器^[6-9],其基本构成如图1所示。它是一种基于稳态视觉诱发电位的脑-机接口系统,利用当刺激信号的频率比较高时视觉诱发响应中将会出现比较明显的与刺激频率一致的频率及其谐波成分,设计了基本上可以被视为频率调制系统的人-机接口。通过对运动感知脑-机接口的时空频模式分析,当受试者主观想象动左手或动右手时,大脑命令产生完全由主观意识控制的模式,识别并提取出不同的模式就可以产生相应的控制命令,去控制如开关电气设备等操作。这种脑-机接口装置具有较高的通讯速率,但是在如何产生最佳视觉诱发信号的刺激源、解决稳态视觉诱发电位的时空模式的个体差异等方面还有待于继续探讨,以

1 同济大学生命科学与技术学院,上海市四平路1239号,200092

作者简介:郑福辉,男,高级工程师

收稿日期:2005-09-26

便提高主观意识的识别率。

与 EMG 相比, EEG 则更加复杂。如何不依赖于通过外周神经和肌肉的脑的正常输出通路, 而是直接把大脑活动的信息传出来实现相应的主观意识的控制, 使得有运动障碍的残疾人可以按照自己的主观意识直接控制假肢、周围的电子设备、机器人或其他虚拟仪器, 这就是人们常称的脑-机接口通讯系统。然而, 由于脑主观意识活动模式的提取还处于研究阶段, 真正的脑-机接口通讯技术现阶段还存在许多有待解决的问题。目前研究比较深入的如美国亚利桑那州立大学生物工程系神经接口设计中心的 Jiping He 教授等^[9], 他们多年来致力于研制一种运用皮质 EEG 运动模式识别的意识控制假肢(见图 2), 利用微电极阵列在猴脑皮质提取经过训练的肢体各种简单动作的 EEG 信号, 并进行运动模式识别, 然后去控制假肢, 取得了相当好的效果。但是, 由于该技术要将微电极阵列插入大脑皮质, 不能直接从头皮的 EEG 信号中提取出运动模式, 因而还达不到实用的程度。

图 1 清华大学研制的残疾人环境控制器原理图 图 2 运用皮质 EEG 运动模式识别的意识控制假肢

3 基于电磁跟踪上肢残缺者操纵计算机的人-机接口技术

为了帮助上肢残缺者操纵计算机, 上述人-机接口技术都存在从原理上难以克服的操作准确性不高和操作人员不能依靠主观意识判断去纠正操作错误的缺陷。最近, 同济大学本课题组开发了一种基于计算机虚拟现实技术和脑部电磁跟踪技术的残疾人功能重建的计算机辅助系统^[10]。该系统通过对脑部动作的三维脑部电磁动态跟踪技术, 捕捉人脑运动轨迹, 通过模式识别的方法, 在若干简单的运动模式下实现了高精度、可靠的人-机接口, 使上肢残缺者通过训练就可根据脑部的运动代替鼠标操纵计算机的虚拟键盘, 实现对计算机的一系列基本操作。本系统较之单纯利用脑电或肌电的人-机接口有高得多的识别效率, 理论上可根据操作人员的主观意识反馈来纠正操作错误并消除误操作, 只要脑部能运动就可以自如地操纵和使用计算机, 是一项非常有应用价值和前景的残疾人计算机辅助系统。

脑部运动电磁跟踪系统的组成如图 3 所示。其中, 脑部运动的检测由与三轴磁检测器同步的三轴源线圈实现, 控制装置对计算机的虚拟键盘进行操作, 并通过脑的主观意识反馈系统调节虚拟鼠标在计算机中书写命令和纠正误操作。

该系统目前还处于实验阶段。由健康人进行模拟试验, 仅仅依靠脑部运动, 完成若干字符向计算机的输入工作, 它能够使失去肢体功能的残疾人完全像健康人一样使用计算

图 3 脑部运动电磁定位系统

机, 使肢体残疾人也能充分沐浴现代科技的福光, 能使用计算机这个现代化工具, 回归到劳动者的行列中来。该系统中的动态运动捕捉功能可满足对头部运动的实时反应, 可获得若干简单的空间运动模式; 经过训练, 受试者可完成指定字符的输入, 字符输入速度约可达到 10 字/min; 该系统还可以通过人脑的脑-机反馈系统用重新输入的方式对误操作加以纠正。该系统若与虚拟现实技术相结合, 还可以实现残疾人在虚拟环境中的康复治疗 and 训练, 为康复工程提供了新的思路和方法。该系统还可以通过扩展功能如增加力反馈、阻力加载系统等, 实现对患者的训练情况的准确把握和科学评估, 从而改变原有肢体康复利用一些器械对肢体进行主动或被动牵引的过程, 使康复恢复的过程充满乐趣。

4 小结

上述各种人-机接口技术都是意在利用计算机帮助肢体功能残疾人和外部环境之间建立起一个直接的交流通道, 它在康复工程领域中应用前景是相当广阔的。但是, 这种技术目前还只是处于其发展的初级阶段。

参考文献

- [1] Jiang GT, Gu YH, Wu DQ. Equivalent dipole parameter estimation using reseau rolling and contracting [C]. Satellite Symposium of 20th IEEE/EMBS, 1998.
- [2] 江国泰. 适用于残疾人功能辅助的人-机接口技术的新进展[C]. 2005 年国际康复论坛. Xi'an, China. 2005.
- [3] Yang X, Heng PA, Tang Z, et al. Virtual arthroscopic knee surgery training system [C]. In Proceedings of the Fourth China-Japan-Korea Joint Symposium on Medical Informatics, Beijing. 2002.
- [4] Nagata K, Inoue N, Satou H, et al. Development of the assist system to operate a computer for the disabled [C]. The 43rd Annual Conference of Japanese Society for MBE. Japan. 2004.
- [5] He JP, Tian CX. Coordination of feedforward and feedback control of posture balance. Submitted to J Motor Control, 1999.
- [6] 赵香花, 汪晓光. 基于脑-机接口的残疾人环境控制装置的设计[J]. 中国康复医学杂志, 2004, 19(5): 324—326.
- [7] 孟飞, 黄军友, 高小榕. 基于脑-机接口技术的上肢康复训练系统[J]. 中国康复医学杂志, 2004, 19(5): 327—329.
- [8] 任宇鹏, 王广志, 程明, 等. 基于脑-机接口的康复辅助机械手控制[J]. 中国康复医学杂志, 2004, 19(5): 330—333.
- [9] 高上凯, 高小榕, 杨福生, 等. 脑-机接口技术及其在康复工程领域的应用前景[J]. 世界医疗器械, 2002, 8(10): 50—56.
- [10] 王皓, 江国泰. 一种基于脑部电磁跟踪的残疾人计算机辅助系统[C]. 2005 年国际康复论坛, 西安, 2005.