

人体外动力假手技术的研究状况及发展趋势

李盼盼¹ 喻洪流¹ 赵胜楠¹

假肢是康复工程的重要内容和组成部分,直接关系到残肢者的健康。假肢是使截肢者康复、回归社会的重要手段,上肢假肢则是为上肢截肢者安装的假肢,用以代偿失去的上肢功能。近年来因战争、交通事故、自然灾害,以及糖尿病、心血管病等疾病导致截肢的人数在不断上升。因此,开展假肢的研究对于改善残疾人的生活条件和促进其医疗福利事业具有重要的现实意义和经济价值。

随着科学技术的发展,上肢假肢技术,尤其是外动力假手技术近年来取得了一系列重要的进展,本文将从假手机构、控制信息源、假肢新材料和接受腔等几个方面来分别介绍外动力假手的研究状况及发展趋势。

1 假手机构的研究

假手结构的研究主要涉及两个方面,一是多关节多自由度假手的研究;二是针对部分手截肢的假手的研究。传统假手一般只有一个自由度,只能进行简单的张合动作,在功能及灵活性方面存在很大不足。有的研究者提出了多手指多自由度假手,如Manus手^[1]、RTRII手、HIT手和i-LIMB手(图1)等。其中Manus手采用Geneca结构,利用特殊的齿轮使拇指只用一个电机实现绕2个不同轴的转动,并可实现4种抓取模式,其食指与中指基关节由一直流无刷电机驱动,中关节与远关节由交叉腱通过与基关节耦合传动。RTRII手是基于欠驱动原理设计的,这种基于欠驱动自适应原理的假手指机构有3个关节,用一个驱动器驱动,其后两个关节是被动运动的。哈尔滨工业大学开发了HIT欠驱动手,HIT腱驱动手,HIT耦合连杆手等。由苏格兰Touch Bionics公司开发的i-LIMB仿生手是全球上市的首款多关节仿生手,其中5个手指分别由一个电机驱动,每个手指有2个关节,这两个关节不能独立运动,是耦合的,这种假手外观及功能方面都与真人手形似,能够进行各种抓握动作,灵活度高,具备先进的精细动作执行功能^[2]。由此可见,带指关节的多自由度假手指的运动执行机构主要分为两种,一是欠驱动机构,即指驱动器(如电机)少于节点的自由度。欠驱动假手只需要少数电

机即可实现多关节的联动,这样可以简化机械结构,减少体积和重量,降低控制的难度和假肢的费用,增加手的灵活性和仿生性,缺点在于经由弹簧复位,平稳性差。另外一种耦合机构,即每个手指上不同指节转角之间有固定的关系。

假手设计的另一焦点则是针对多指截断的患者。临床上,部分手缺失的患者大多选择继续使用未受损的部分而不装戴假肢,但常会导致未受损部分因过多使用而损伤。这种情况下,就要求设计出适用于部分手缺失的假手,这种假手应该是一种完全功能型的假肢,并且要求它在使用当中不能过多的影响未受损的部分。图2为先进臂动力(advanced arm dynamics, AAD)公司设计生产的电动半掌假手。另外, AAD公司还研制了一款防水型电子手头(water resistant electric terminal device, ETD),这种防水性设计使假手在脏湿的环境下仍可使用^[3]。

图1 i-LIMB手



新材料、新技术和假肢接受腔在上肢假肢领域的应用。首先高分子材料在假肢中不断地应用和发展,各种性能的高分子材料相继问世,这些材料轻便、美观。如研究者研究了具有特殊仿生功能的材料,如形状记忆合金、电致伸缩材料、压电材料等来制造仿人皮肤及人工肌肉;科学家首次用木头制造了假肢材料。据称,该材料最适合填补骨肿瘤移植或严重的骨折等医疗领域留下的空白^[4],同时也可在工程和太空领域大展拳脚。其次在假手的真实感觉方面,密歇根大学整形外科教授保罗·塞德纳研制出一种人造神经,有望帮助残

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2011.07.015

1 上海理工大学生物力学与康复工程研究所,上海,200093

作者简介:李盼盼,女,硕士研究生; 收稿日期:2010-10-19

图2 电动半掌假手



疾人用义肢感知冷暖,现阶段已在实验室动物身上成功运用这项技术,预期在10年内可以用于人体^[5];意大利科学家开发了一个新型机械手,能通过神经系统与截肢的伤残人士相连,让使用者利用大脑意识控制这个机械手,并且能感受到触觉^[6]。另外,假肢接受腔的研究也取得了很大的进展,如真

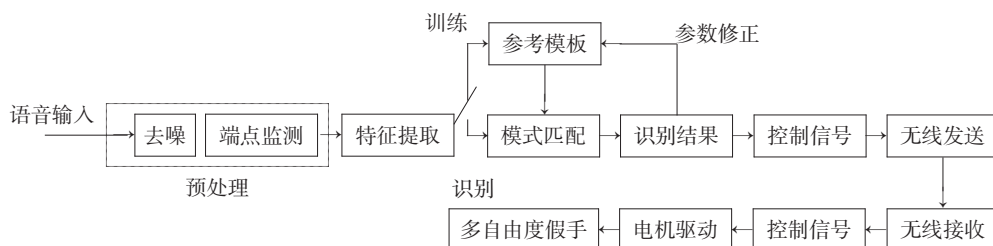
空硅胶滚轴衬套(suction silicone roll-on liners),改善了残肢的承重和能量消耗;灵巧接受腔改善了力分布;根据人体特征修正的接受腔(anatomically contoured sockets)提高了假肢的适用性等^[7]。

2 假手控制方法

2.1 语音控制

语音特征易检测,识别效果较好,甚至可以进行人机交互,因此语音控制假肢可以弥补肌电信号(EMG)和脑电信号(EEG)控制的不足,从而进一步满足残疾人的需要。语音控制的原理如图3所示。近年来,语音假手的研究取得了一些进展,如IBM的ViaVoice和Dragon公司的Dragon Dictate系统取得了很大的进步,它具有说话人自适应能力,新用户无需对全部词汇进行训练;Udayashankar等^[8]设计了一种简单语言指令假肢控制系统,不仅控制效果好,当指令增多时,还可以对系统编程完成更多的功能;宋超等^[9]对基于SPCE061A的多自自由度手语音控制系统进行了研究,利用语音识别和无线传输技术实现了对假手的远程语音控制,但文献^[8]中没有说明这项研究对语音识别的抗噪性及可靠性,也未报道研究是否进入临床应用阶段;上海理工大学生物力学与康复工程研究所研制成功了基于语音控制的电子假手,并申请了专利,现已投产。

图3 语音控制原理



2.2 肌音控制

肌音(mechanomyogram, MMG)是一种机械信号,反映了纤维震颤产生的机械震动。肌音具有信号弱、频率低、干扰和随机性强等特性,它的频率主要集中在20—30Hz,功率谱范围在10—50Hz,它的干扰既有来自于生物体内如呼吸干扰,也有来源于生物体外如工频干扰等。肌肉声音的研究开始于1810年,英国物理学家WH Wollaston检测到了它的频率。1980年英国生物物理学家Oster发现肌音信号强度与肌肉紧张程度成正比。1993年Orizio已证明肌音可以作为力的一个辅助手段,以震颤的生理力量和肌电图来获取有关肌肉力学模型以及对肌肉运动的控制的信息^[10]。

与传统EMG控制电动假肢相比,MMG存在许多优势,如传感器放置位置的非特异性,远端信号测量的可行性,皮肤

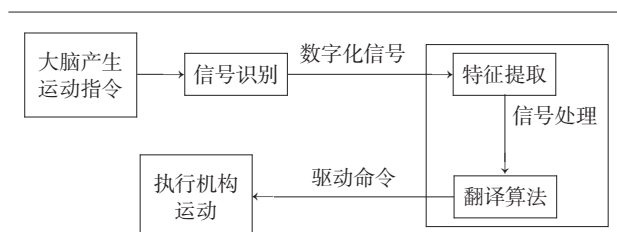
变化不敏感性,皮肤电极表面鲁棒性好,传感器成本低等,其传感器易于与假肢套筒形成一体化。Barry于1986年提出了可用肌音信号进行假肢控制,并且与Leonard JA等开发了一种三态控制肌音假手,经由不同控制方法证明其在不同环境下的可行性^[11]。2005年Jorge Silva等通过利用肌音信号模拟肌电信号从而控制假肢^[12],它有特殊的硬件和软件模块组成,与传统的两点采集肌电传感系统相似。华东理工大学苗露等^[13]进行了基于肌音信号的仿生手信号采集系统设计,验证了通过肌音信号控制仿生手的可行性,并且为仿生手控制系统的进一步研究奠定了基础。然而,使用MMG信号控制假肢也存在一些缺陷,如MMG信号控制会增加制造的成本,外界环境干扰会造成MMG信号不可靠等,但相对而言,这些缺陷较易克服。如在安放时需要保证传感器正确安放,注意

外撞击产生的干扰信号的可能性等。因此,要将MMG假肢真正实际应用还有较长的路要走。

2.3 脑电控制

开发具有人体大脑“随意控制”与“真实感觉”的假肢一直是假肢技术研究者的梦想,这一技术的核心是如何实现人体大脑神经与假肢传感系统之间具有输入与输出功能的人机接口,即脑机接口(brain-computer interface, BCI)技术。正如任何一个交流或控制系统一样,BCI也包括输入、输出、转换输入输出的成分等,如图4所示。

图4 BCI系统



BCI是指建立人体与计算机或其它设备之间交流和控制的通道,从脑电或神经元放电信号中提取出控制信号,用于控制计算机、假肢或其他待赋予设备。它最大的特点是不依赖于脑的外围神经系统与肌肉的正常输出通道。目前,用于脑机接口的人脑信号有:EEG、脑磁图(EMC)和功能性核磁共振图像(fMRI)等,当前大多采用的信号是EEG^[14]。近几年,随着对脑电信号与意识间的关系的研究,上肢假肢脑机接口的研究取得了许多成果。如科学家已经能够检测提取猴子大脑皮层的电位信息,经过处理可以驱动机械手的运动^[15];GR Muller-Putz等利用基于稳态视觉诱发电位的BCI控制电动假肢^[16];Christoph Guger等^[17]进行了基于EEG的人机接口的假肢控制研究,设计完成了利用EEG控制假手的装置等。然而,BCI目前的发展仍存在不少问题,如脑电信号的微弱性和复杂性等,许多理论仍处于实验探索阶段,有待更深入的研究。BCI的发展主要取决于以下几方面:认识到BCI的研究和发展是一个交叉问题,涉及神经生物学、工程、数学等多门学科;BCI性能的长期和短期评价的重要性;注意影响用户辅助技术接受的因素等。但随着技术的不断完善和发展以及研究工作的进一步发展,BCI必将逐步成熟,造福人类。

2.4 肌电控制

肌电假肢从残肢者本身的残端肌肉处采集由肢残肌肉传来的生物电信号,然后经过电极检测、募集放大、识别处理等来控制假肢活动。由于表面肌电信号滞后时间和抗干扰能力强,肌电假肢已成为目前市场上的主流产品。现阶段已有许多肌电假手应用于临床,如Russian hand、Boston Arm、Otto Bock、Utah Arm等。近年来,利用EMG信号控制假肢也取得了许多有意义的研究成果。首先,在速度控制方面,Ot-

to Bock生产的加速感应手可以实现速度从15—30mm/s均匀增加(标准手运行速度大约是130mm/s),并且强化了EMG信号处理技术和改进了软件设计,使感应手可以更迅速地响应肌电信号^[18]。其次,在比例控制方面的研究取得了不少成果,如唐建友^[19]设计了一种三自由度实时比例控制肌电假手的方案,通过4路表面肌电信号,采用能量时域分析法提出信号特征,经模式识别后得到了手部3个自由度7个动作模式,经试验,动作准确率达96%以上,实时性好;Otto Bock推出的DMC plus半掌肌电手,采取新型的DMC plus控制(动态模式),这种控制具有新型的安全模式,用最大力量抓握一次后,就需要稍高的EMG信号才能张开手,这种模式减少了由于肌肉无意识收缩而张开手的机会^[20];上海科生假肢有限公司推出的具有比例控制性能的肌电手,动作精细准确,可自如地拿鸡蛋、蛋糕等易坏物品^[21]。

2.5 其它信号源的研究

除了进一步探索已有信号源外,学者们还积极探索实验一些新的控制信息源,如上海大学施俊等人提出了采用声肌信号控制假手的方法,就是利用超声获取上肢相关骨骼肌的肌肉厚度变化信息,并以此厚度变化来控制假手的运动^[22];英国索尔福德大学Gly H.Heath^[23]利用表皮可观测到的由于肌肉空间形状变化产生的肌震(myokinematic, MK)信号进行假手比例抓取控制;Sam Phillips等^[24]利用残段组织形态的变化作为控制信息源来控制假肢等。

3 展望

近年研究结果表明,人体上肢假肢正朝着更加仿生化、智能化、精巧化等方向发展,实现假肢的动作准确可靠,控制方式更加自然成为可能。新材料、新技术、新工艺应用于上肢假肢领域,将使假肢有望获得具有感觉功能的仿人皮肤和人工肌肉,制造能感知冷热变化的假肢也成为可能,假肢装配也将更加舒适。随着控制技术的发展,假肢的动作将更加灵活,功能更加多样,适用性加强,可以实现对假肢系统随心所欲的控制。

参考文献

- [1] Pons JL, Rocon E, Ceres R, et al. The nanus-hand dextrous robotics upper limb prosthesis mechanical and manipulation aspects [J]. Kluwer Academic Publishers Autonomous Robots, 2004, 16: 143—163.
- [2] Touch Bionics. [http://www.touchbionics.com/i-LIMB\[EB/OL\]](http://www.touchbionics.com/i-LIMB[EB/OL]), 2010.3.6.
- [3] Advanced Arm Dynamics. [http://www.armdynamics.com/index.html\[EB/OL\]](http://www.armdynamics.com/index.html[EB/OL]), 2010.3.4.
- [4] Hannah Devlin. Scientists build first prosthetic bone made from wood. <http://www.timesonline.co.uk/tol/news/science/article6564634>.

- ece[EB/OL],2009.6.24.
- [5] Kevin Dowling. Plastic nerves may give new limbs feelings. <http://www.timesonline.co.uk/tol/news/science/medicine/article6898134.ece>[EB/OL],2009.11.1.
- [6] Joseph L. Flatley. EU scientists develop LifeHand thought-controlled prosthesis. <http://www.engadget.com/2009/12/03/eu-scientists-develop-lifehand-thought-controlled-prosthesis> [EB/OL], 2009.12.3.
- [7] Lake C, Dodson R. Progressive Upper Limb Prosthetics[J]. Physical Medicine And Rehabilitation Clinics of North America, 2006, 17,49—72.
- [8] Udayashankara V, Shivaram MN. Sound Sensitive Artificial Hand[J]. Annual International Conference of the IEEE EMBS, 1990, 12:255—259.
- [9] 宋超,姜力,赵大威.基于SPCE061A的多自由度语音控制系统的设计[J].机械与电子,2006,(10):40—42.
- [10] Orizio C. Muscle sound: bases for the introduction of mechanomyographic signal in muscle studies[J]. Crit Rev Biomed Eng, 1993, 21:201—243.
- [11] Barry DT, Leonard JA, Gitter AJ, et al. Acoustic myography as a control signal for an externally powered prosthesis[J]. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 1986, 67(4): 267—269.
- [12] Jorge Silva, Winfried Heim, Tom Chau. A self-contained, mechanomyography-driven externally powered prosthesis[J]. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2005, 10, 86:2066—2070.
- [13] 苗露,曹伟,王爱林,等.基于肌音信号的仿生手信号采集系统设计[J].现代电子技术,2010,33(9):136—140.
- [14] Musallam S, Corneil BD, Greger B, et al. Cognitive control signals for neural prosthetics[J]. Science, 2004, 305:258—262.
- [15] Mussa-Ivaldi S. Real brains for real robots[J]. Nature, 2000, 16, 408(6810):305—306.
- [16] Müller-Putz GR, Pfurtscheller G. Control of an electrical prosthesis with an SSVEP-based BCI[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2008, 55(1):361—364.
- [17] Guger, C, Harkam W, Hertenæs C, et al. Prosthetic Control of an EEG-based Brain-Computer Interface (BCI)[C]. Proceedings of the AAATE 5th European Conference for the Advancement of Assistive Technology. 1999.
- [18] Otto Bock. 加速感应手. http://www.ottobock.com.cn/cps/rde/xchg/ob_cn_zh/hs.xsl/3652.html, 2010.4.1 [EB/OL], 2010.5.6.
- [19] 唐建友, 罗志增. 三自由度比例控制肌电假手的设计[J]. 机电工程, 2009, 12(26):85—88.
- [20] Otto Bock. 比例控制手. http://www.ottobock.com.cn/cps/rde/xchg/ob_cn_zh/hs.xsl/3722.html?css=print&id=teaser2, 2010.4.2 [EB/OL], 2010.5.7.
- [21] Keshen. 前臂肌电控制假肢. http://www.keshen.com/servers_view.asp [EB/OL], 2010.6.28.
- [22] 施俊, 郑永平. 采用声肌信号控制假手方法[P]. 上海大学, 中国: CN200910200508.5, 2010-06-02.
- [23] Heath GH. Control of proportional grasping using a myokine-metric signal[J]. Technol Disabil, 2003, 15(2):73—83.
- [24] Phillips SL, Craelius W, "Residual Kinetic imaging: a versatile interface for prosthetic control", Robotica, 2005, 23:277—282.
- [25] 尹云, 朱林剑, 包海涛, 等. 智能假手的研究现状与发展趋势[J]. 中国康复医学杂志, 2004, 19(1):52—53.
- [26] Hardeep S. Ryait, A. Arora S, et al. Study of issues in the development of surface EMG controlled human hand[J]. J Mater Sci: Mater Med, 2009, 20:107—114.
- [27] Schwartz AB, Taylor DM, Tillery SH. Extraction algorithm s for cortical control of arm prosthetics. <http://www.sciencedirect.com/science?> [EB/OL], 2001.12.4.
- [28] 张晓文, 杨煜普, 许晓鸣, 等. 上肢假肢控制模式的信息源研究[J]. 生物医学工程杂志, 2002, 19(4):692—696.
- [29] Yahud S, Abu N.A. Osman. Prosthetic Hand for the Brain-computer Interface System. IFMBE Proceedings[M]. Berlin: Springer, 2007, 15:643—646.
- [30] 王人成. 假肢技术的研究热点及发展趋势[J]. 中国康复医学志, 2005, 20(7):483.
- [31] Cranny A, Cotton DPJ, Chappell PH, et al. White. Thick-film force and slip sensors for a prosthetic hand[J]. Sensors and Actuators A, 2005, 123—124 : 162—171.
- [32] Wolpaw JR, Birbaumer N, McFarland DJ, et al. Brain-computer interface for communication and control[J]. Clinical Neurophysiology, 2002, 113(6):767—791.
- [33] Christoph Guger, Werner Harkam, Carin Hertenæs, et al. "Prosthetic Control by an EEG-based Brain-Computer Interface (BCI)," in Proc. AAATE99, 1999, 590—595.
- [34] 王人成, 金德闻. 仿生智能假肢的研究与进展[J]. 中国医疗器械信息, 2009, 15(1):3—5.
- [35] 张晓文, 高忠华, 胡天培, 等. 神经信号控制假肢研究[J]. 中国生物医学工程学报, 2005, 24(5):624—628.
- [36] Müller-Putz GR, Scherer R, Pfurtscheller G. EEG-based neuroprosthesis control: A step towards clinical practice[J]. Neuroscience Letters, 2005, 382(1—2): 169—174.