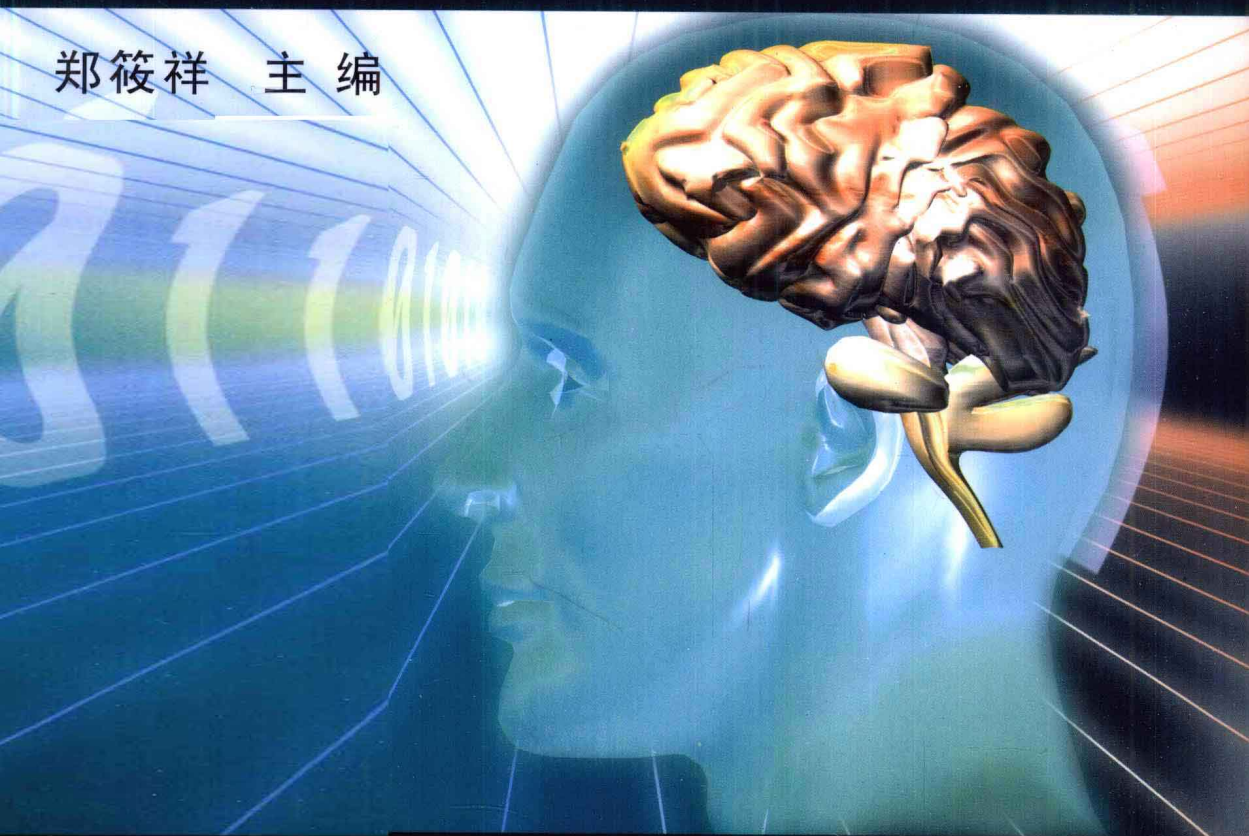


国际科技发展前沿丛书

# 神经信息工程研究前沿

Frontiers of Neural Engineering

郑筱祥 主 编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS  
浙江大学出版社

国际科技发展前沿丛书

# 神经信息工程研究前沿

郑筱祥 主编

高级顾问 潘云鹤 韦 钰 郑南宁  
吴朝晖 J. P. 唐纳侯  
J. C. 普林希彼

编 委 会 (按姓氏笔画为序)  
王怡雯 王跃明 刘小峰  
陈卫东 张韶岷 李 懿  
杨元魁 杨 怡 赵 挺  
郑能干



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

神经信息工程研究前沿/郑筱祥主编. —杭州: 浙江大学出版社, 2012. 3

ISBN 978-7-308-09375-0

I. ①神… II. ①郑… III. ①神经科学—信息工程  
IV. ①Q189②G202

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 249207 号

## 神经信息工程研究前沿

郑筱祥 主编

---

丛书策划 阮海潮(ruanhc@zju.edu.cn)

责任编辑 阮海潮

封面设计 姚燕鸣

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州大漠照排印刷有限公司

印 刷 临安市曙光印务有限公司

开 本 710mm×1000mm 1/16

印 张 16

字 数 310 千

版 次 2012 年 3 月第 1 版 2012 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-09375-0

定 价 70.00 元

---

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571) 88925591

# 前 言

由中国工程院、国家外国专家局和浙江大学联合举办的“中国工程院首届高层次学术论坛暨神经信息工程前沿研究国际研讨会”受到了许多专家、学者和科研决策者的高度重视。不少世界顶尖大学和研究机构的一流科学家亲临会议,分享当今最前沿的研究进展,发表了远见卓识、启迪思维的演讲,展现了神经信息工程难以估量的巨大发展潜力,将为世界的科学、经济和社会发展带来革命性的改变。与会代表感同身受地领略了神经科学与信息科学交叉融合带来的新境界。

当代科技发展的一个重大趋势,就是生命科学(life sciences)、物理科学(physical sciences)、信息科学(information sciences)与工程科学(engineering sciences)相互渗透与紧密结合,催生越来越多的学科新方向,从而加速科学技术的发展进程,使人们提前享受到科学技术带来的新成果。神经信息工程就是神经学科与信息技术高度交叉融合的综合学科。科学技术发展史也表明,学科的交叉融合导致学科的综合化、整体化发展,神经信息工程就是这种新规律的体现。

本次论坛从“脑机接口及临床应用”、“认知计算与控制”、“神经信息获取、检测与处理”、“神经教育信息工程”和“运动假体神经自主控制”等五个专题阐述重要科学问题,探讨关键技术,总结研究成果,阐述当前热点,展望未来趋势。分享本次会议的成果,相信对广大科技人员和科研决策者具有现实的参考价值,期望能促进同行的交流,进一步推动该领域的发展。

本次论坛的顺利举办和会议论文集的出版,得到了中国工程院信息学部和国际合作局、国家外专局、国家自然科学基金委员会信息学部、西安交通大学、东南大学、浙江大学科学技术研究院的大力支持和帮助,浙江大学求是高等研究院的师生们为此付出了大量的时间和精力,在此表示衷心感谢。

编委会

# 资助项目

**61031002** 国家自然科学基金重点项目:植入式脑机接口的信息解析和交互的基础理论与关键技术

**2011C14005** 浙江省重大科技专项重点国际科技合作研究项目:基于脑机接口的智能假手康复系统研究

**60873125** 国家自然科学基金面上项目:沉浸式虚拟环境中的脑-机接口技术研究

**30800287** 国家自然科学基金青年科学基金项目:基于大鼠运动神经编码的脑机接口研究

**61001172** 国家自然科学基金青年科学基金项目:植入式脑机接口的锋电位点进程估计和动态解析

# 目 录

神经信息工程前沿现状与展望——2011 神经信息工程研究前沿国

际研讨会综述 ..... 郑筱祥(1)

## 一、特邀报告

利用意念控制机器——神经工程技术在运动功能重建和脑伤治疗方

面的未来趋势 ..... John P. Donoghue(10)

心-脑科学研究前沿——神经工程.....

..... Hideaki KOIZUMI(小泉英明)(27)

## 二、脑机接口及其临床应用专题

运动学习和功能康复中脑皮层神经活动的适应性 ..... 何际平(40)

浙江大学求是高等研究院脑机接口研究进展 ..... 郑筱祥(48)

植入式神经接口和微型生物传感器的研究 ..... Florian Solzbacher(58)

人脑单神经元信号对外部设备的意念控制 ..... Moran Cerf(65)

## 三、认知计算与控制专题

Cognitive Computation: The Ersatz Brain Project

..... James A. Anderson(72)

智能车辆的视觉认知计算 ..... 薛建儒(112)

## 四、神经信息获取、检测与处理专题

通往认知脑机接口 ..... Jose C. Principe(120)

连接大脑的神经技术:挑战与机遇 ..... Daryl R. Kipke(129)

光学脑功能成像研究和成果转化 ..... Banu Onaral(141)

稳态视觉诱发电位在脑机接口中的应用 ..... 高上凯(148)

五、教育神经信息工程专题

教育神经工程对计算智能的需求 ..... John Qiang Gan(156)

神经教育工程:教育发展的新时代 ..... 禹东川(162)

教育神经工程中的社会情绪能力评价 ..... 杨元魁(168)

六、神经控制与运动修复专题

智能机械手 SmartHand 的设计及实验评估.....

..... Maria Chiara Carrozza(172)

绕过损伤的脊髓:用皮层控制的功能电刺激实现上肢的抓取功能

..... Lee Miller(182)

多功能上肢假肢的仿生控制 ..... 李光林(191)

基于面部运动区和 Wernicke 区皮层微电极阵列信号的单词发音分类

..... Bradley Greger(197)

七、青年学者专题

mGRASP 技术“绘制”大脑环路..... Jinhyun Kim(209)

灵巧假肢设备的神经控制 ..... Soumyadipta Acharya(214)

光基因技术静息位置细胞活动中的 PV 中间神经元

..... Sebastien Royer(221)

面向神经假体和神经机器人的大脑微刺激 ..... 徐韶华(228)

基于近红外功能成像技术的脑机接口 ..... Hasan Ayaz(233)

神经集群活动的低维表征 ..... Sung Phil Kim(240)

# 神经信息工程前沿现状与展望

## ——2011 神经信息工程研究前沿 国际研讨会综述

郑筱祥

(浙江大学求是高等研究院,杭州,310027,中国)

### 1 引言

神经信息工程是高度交叉的综合性学科,是在神经科学和信息技术的交界面上形成的崭新的多学科交叉的研究领域。神经信息工程包括两个方面:一方面将信息化贯穿于神经科学研究的每一环节,为神经科学的研究提供现代化的高性能信息工具,将不同层次的神经科学研究数据进行分析、处理、整合与建模;另一方面关注如何从神经科学的研究成果中获益,促进信息技术的进步,开发更高级的 IT 产品,以及如何使神经科学更好地利用信息技术来检验模型和假设。神经信息工程主要涉及神经系统信息的产生、编码、存储等过程与机理,以及与人类认知相关的计算、控制和行为感知模型,涉及生命科学、信息科学、工程学等多学科的交叉融合,其发展将推动神经生物学、认知科学、计算机科学、康复医学、微电子学等方面的整体发展,是第三次生命科学革命的重要内容。该领域的研究对理解大脑认知过程、智能信息处理有重要的科学意义,有利于推动高度复杂数据的新型信息感知技术、模式识别技术、集成电路的研究与发展,在挖掘人类认知潜能、研发残障人士的康复设备,以及航天、国家安全等问题上都具有重要的社会意义和广泛的应用前景。

近年来,众多国际知名研究机构、高等院校和跨国公司都把神经信息工程作为夺取未来制高点的一个重要阵地,对该领域的研究、发展和人才培养格外重视,期待源源不断地产生新成果,从而推动该领域的迅速发展。在此背景下,中国工程院、国家外国专家局和浙江大学联合举办了“2011 神经信息工程研究前沿国际研讨会”,邀请了神经信息工程领域的国际顶尖科学家、国内有较大影响力的知名学者和从事该领域开拓研究的中青年科技人才,着重围绕脑机接口、认知计算和神经教育学等主题进行交流和探讨,分享该领域的最新研究成果,洞察前沿发展动态,聚焦科学问题,探明未来的研究与发展方向。

会议凝聚科学共识,围绕重大科学问题,为该领域的未来发展提出专家咨询意见,绘制发展路线图,实现力量协同攻关,参与广泛而有重点的国际合作,为提高我国社会经济发展和国民健康水平方面做出积极的贡献。

本次会议共邀请了 109 名代表,其中国内代表 87 名,国外代表 22 名,大会主题报告 23 个,其中特邀报告 2 个,涉及神经信息工程的三个重要领域:脑机接口、认知计算和神经教育信息工程,五个专题:脑机接口及临床应用、认知计算与控制、神经信息获取检测与处理、神经教育信息工程、运动假体神经自主控制,会议还特设青年科学家专场。

## 2 神经信息工程前沿现状

由于神经信息工程所涉及的领域众多,本文仅对脑机接口、认知计算和神经教育信息工程等三个领域中所涉及的脑机接口及临床应用、认知计算与控制、神经信息获取检测与处理、神经教育信息工程、运动假体神经自主控制等五个专题展开讨论。

### 2.1 脑机接口系统及临床应用

脑机接口(Brain-Machine Interface, BMI)不依赖于常规的脊髓/外周神经肌肉系统,在脑与外部设备之间建立一种新型的信息交流与控制通道,实现了脑与外界的直接交互。自 21 世纪以来,*Nature* 和 *Science* 等报道了一系列脑机接口的重大研究成果,相关研究促进了人们对神经系统的认识,建立了大量复杂信息处理方法,极大地推动了神经、信息与认知等学科的发展。当前,植入式脑机接口已成为国际学术界的热潮,以非人灵长类动物和人类为研究对象已呈趋势,部分成果已应用于临床实践。

美国布朗大学的 Donoghue 教授是植入式脑机接口领域的先驱者之一,他首次在瘫痪病人身上实现植入式脑机接口的临床应用。他提出脑机接口必须解决五大关键科学问题:首要问题是该从哪里获得信号,是运动区还是其他区域?其次是要知道应采用哪种类型的传感器,颅内传感器还是其他类型的传感器,颅内传感器是否安全、长期和可靠?第三,从 Spikes 和 LFP 的解码结果中是否能得到足够多的信息?是否可以从解码结果直接重建手臂的实际运动?第四,我们需要什么的信号? Spikes 还是 LFP,或者多种类型的信号?第五,我们需要什么类型的应用?什么才是有用的设备?对设备采用什么样的评价标准?如何评价设备的可用性,可靠性?是否可以不需要脑外科手术?他在特邀报告中着重介绍了 BrainGate 技术对上述问题的解决方案及其临床

应用,BrainGate是由美国布朗大学和麻省总医院的团队开发的,并是目前唯一进入早期临床研究的植入式脑机接口设备,可以使瘫痪病人通过自身的神经信号来控制假肢或操纵诸如电脑或服务机器人等外部设备。这些神经技术还将为了解人类大脑生理功能、疾病与损伤机制翻开完全崭新的一页。

亚利桑那州立大学的何际平教授报告了对脑皮层神经信号在不同条件下发生改变或者自适应现象的研究。通过在猴子的脑皮层运动区域(包含前运动区域和感知区域)植入电极,采集经过伸缩抓取训练后的猴子的脑电信号进行分析,验证了灵长类动物大脑中的不同区域通过共同协作而具有学习、主动适应的能力。在临床治疗领域,脊髓损伤(Spinal Cord Injury, SCI)的医疗康复是一个非常重大的课题。SCI对患者脑部的皮层神经活动及脑电信号的发放都会造成影响。该理论可以帮助研究人员通过分析脑信号找出SCI康复的有效治疗及康复方法。

浙江大学郑筱祥教授介绍了浙江大学求是高等研究院的脑机接口研究成果,她领导的团队近年来率先在国内开展植入式脑机接口的研究,实现了啮齿类动物和非人灵长类动物的脑机接口、复杂环境中的动物机器人导航等系统,她从脑机接口、运动神经解码、动物行为诱导、智能控制与多模态反馈等角度阐述科学问题及关键技术,指出协同解码、脑机互适应、多模态反馈、机器智能与生物智能融合等是该领域极其重要的研究课题。

当前,大多数植入式脑机接口系统一般是对运动区神经集群信号进行解码。纽约大学的Cerf却另辟蹊径,他报告了采用单神经元解码技术解析人类大脑中与“概念”相关的神经元活动,从而解读大脑的思想,并首次实现了基于高级认知功能的植入式脑机接口。

## 2.2 神经信息获取、检测与处理

神经信息获取、检测与处理是神经信息工程的重要基础,几年来传感器设计、信号检测及处理方法等发展迅速,极大地推动了神经信息工程的发展。

密歇根大学的Kipke教授指出,神经接口的发展正提供越来越强大的包含设计、材料、元件、集成设备的工具包,以推动神经科学的前沿发展以及神经疾病的治疗。除了基于硅衬底的植入式微电极的快速发展,新型的植入式微电极也正在被开发,该类电极利用先进的纳米结构的材料去获得高质量长期的神经记录,同时减少对组织的损伤。另外,多模态的神经电极正在被开发,该类电极能够在神经记录的同时,结合光刺激、神经化学感知以及药物传递的功能。这些技术的发展使得神经电极更为精确,更为可靠,更加能够提取高质量的神经信号。

犹他大学的Solzbacher教授报告了植入式微传感器和电极在多通道电

生理和生物标记方面的研究,介绍植入式神经接口和微型生物传感器两种新型的设备和系统,可用于人体和动物神经电生理及新陈代谢等参数的采集,进而推动神经科学的研究以及临床应用。他还详细描述这两种设备的制作和植入过程,以及长期在体和离体使用的性能。

ECoG 电极近年来越来越多地用于脑机接口研究,犹他大学的 Greger 对 ECoG 微电极的优化设计进行了研究,使得大脑皮层表面的空间分辨率能够达到毫米级别。通过植入大脑皮层表面面部运动区和 Wernicke 区的微电极阵列记录到的 ECoG 信号,用于口语词汇分类的研究。

Drexel 大学的 Onaral 教授报告了光学脑成像成果转化的进展,基于近红外光谱技术(NIRS)的光学成像系统是一种广泛应用于脑功能研究的非植入式方法。NIRS 通过检测氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的浓度来间接监测大脑的活动。Drexel 大学的脑光学成像研究团队开发了基于 NIRS 的脑功能监测系统,用以评估健康人和病人的认知活动。该系统具有便携式、安全、价格低和无创等优点,能在多种场合下研究大脑皮层的活动情况,可实现多方面的应用,包括工作绩效评价、麻醉状态监测、神经康复、脑机接口、心理健康治疗等。

佛罗里达大学 Principe 教授阐述了脑机接口研究所面临的巨大挑战,从工程的角度概括了脑机接口系统的几种不同的设计方法、运动皮层和伏核(Nucleus Accumbens)神经信号信息的提取,以及脑机接口系统中动作评价体系的建立。从信号与系统的角度提出了共生(Symbiotic)脑机接口、互适应等课题。

清华大学高上凯教授报告了稳态视觉诱发电位(SSVEP)在脑机接口和认知任务中的应用研究,介绍了各种基于 SSVEP 的脑机接口(BCI),并强调其中的时域、频域、相位、空间的信号分析方法,以及在认知研究中的应用。

## 2.3 神经控制与运动修复

脑机接口的目的在于实现神经控制、运动功能重建或修复。要实现有效精确的控制,仅依赖解码神经信息得到控制指令是远远不够的,必须综合考虑控制闭环中的每一个因素,包括鲁棒的智能控制、有效的反馈方式、环境感知和上下文关系等要素。

意大利比萨圣·安娜高等研究大学是神经机器人(Neural Robotics)方面的著名研究机构,该校校长 Carrozza 教授报告了智能手(SmartHand)的设计与实验评估研究。手在日常生活中非常重要,由于疾病或事故失去手将会引起一系列生理的和心理的障碍。他们研究并设计了一种用于康复的机械手(SmartHand),可以进行日常生活的抓握、数数和指点,集成了 40 个感受本体

和外界的传感器,用于实现自动的控制和特定传入神经的感觉反馈,能够执行控制循环并能与外界环境交互信息。SmartHand 已成为当前世界上最精细的灵巧手之一。

要提高人工假手的功能仍然是一个巨大的挑战,因为在截肢的同时,一部分跟手有关的神经控制信号也失去了。中国科学院深圳先进技术研究院的李光林研究员报告了上臂截肢者对多功能神经假肢的生物控制研究进展。采用目标肌肉神经分布重建(Targeted Muscle Reinnervation, TMR)的外科手术可以把残余的手臂神经转移到可以选择的肌肉位置。在进行了神经移植术之后,这些目标肌肉在皮肤表面产生的肌电信号可以被检测到用来控制假手。为了评估经过 TMR 手术后的上肢截肢病人的表现,他们使用了模式识别的方法对 EMG 信号进行解码和假手动作的控制。

西北大学的 Miller 教授则提供了另一种神经控制方法,他研究如何用脑机接口驱动功能电刺激器(FES)进行辅助抓取。功能电刺激可以刺激支配肌肉活动的神经,使瘫痪的肌肉重新产生动作。目前控制这类抓握动作使用的都是事先制定好的刺激模式,使得手部功能限制在了少数几个事先制定好的模式上。他开发的系统使用猴子运动皮层中记录到的神经信号作为控制信号,为自主控制多个肌肉完成更多任务提供了可能。

纽约州立大学的徐韶华博士报告了适用于神经假体和神经机器人的大脑微刺激方面的研究成果。人类和动物依靠感觉反馈响应外部环境。类似脊髓损伤的神经功能失调会破坏大脑和躯体的联系,导致感觉运动功能的无法恢复的损失。在脑机接口(BMI)方面的最新研究进展表明,通过直接将大脑活动转化成运动命令进而驱动人工器件,对于实现基本的运动功能是可行的。但是,尽管体感反馈对于最佳 BMI 控制是必需的,它尚未被完全地引用到 BMI 中来。他们的工作致力于在大鼠和猴子身上实现将电刺激替代中枢体感通路上的体感反馈。主体感皮层(S1)的多位点记录用于研究前掌的自然触摸和对 VPL 或 S1 的电刺激的神经集群反应。对比结果显示经过参数优化的电刺激可以产生与自然触摸相类似的皮层神经反应。他们也研究了在行为辨别任务中大鼠利用大脑微刺激作为提示的能力。大鼠机器人的研制,是在特定脑区中将电极微刺激替代条件反射式的提示与奖赏。大鼠能够有效地使用大脑微刺激这一概念实现在现实区域中的导航任务。他们的研究提供了实现体感假体的可行性,这需要由心理物理学的研究进一步加以证实。

## 2.4 认知计算和控制

认知计算的概念兴起于 20 世纪 90 年代,它是用工程化方法重建大脑,开发具有人脑功能的计算机系统,即借鉴神经生物学的研究使计算机具有知觉、

感知、认知、思维与意识。研究设计认知计算机的技术关键就是通过对脑结构、动力学、功能和行为的逆向工程设计出具备人类思维能力的智能机器。这将引领一次信息产业的革命性飞跃,将是一次对传统计算模式和计算机体系的颠覆。新的认知计算机将具备自主学习能力等传统计算机难以望其项背的优良特性。同时,如果认知计算机实现了对人脑的模拟,将人脑的认知能力和机器的计算能力完美结合起来,将在众多的应用领域内掀起一场风暴。

布朗大学的 Anderson 教授作了仿脑计算机的研究报告,他认为就短期内认知计算可能最先发展出的主要应用领域为语言理解、互联网搜索、认知数据挖掘和友好的人机接口。

中国科学院上海生命科学院的吴思研究员展示了一些最近在探索 STP 在神经信息处理中的潜在角色研究的相关成果,期望该工作将能为理解大脑怎样处理时态信息打开一扇新的窗口,同时也能有助于开发新的机器学习算法。

西安交通大学的薛建如教授报告了用于智能车辆的视觉认知计算。视觉智能计算是无人车开发中最重要的问题,他所在的团队提出了基于认知模型的智能驾驶系统框架,该框架基于智能体的控制,将系统按照感知决策和控制等功能进行分解,将多传感感知与融合计算和控制计算分离,减少系统计算负担,以提高系统可靠性;针对智能车辆道路和障碍物 3D 重构的需要,提出了车载摄像机外部参数的在线标定三线法;构造了多分辨率车辆检测的假设验证框架;并基于道路边界或标志线构造了参数可变的道路模型及相应道路检测与跟踪算法。

## 2.5 神经教育信息工程

神经教育信息工程作为神经信息工程与神经教育学交叉融合的前沿学科,其研究内容涉及广泛的工程和教育等多学科领域,其关键的核心技术则主要是信息技术,从信息的获取、信息的处理到信息的解析,从教育方法、教育理念的改进到教育成果的推广应用,信息技术将对神经信息工程研究起到极大的推动作用。另一方面,神经教育信息工程的发展也为信息技术的改进和创新开拓新的天地。

日本工程院院士小泉英明作了“心-脑”科学前沿的特邀报告,指出了神经工程在教育领域的巨大应用潜力和广阔前景。无损脑功能成像技术使得研究可由经验主义转向探知人类复杂的脑功能,大大缩短了以心智为主题的学科和神经科学之间的距离,是进一步推动“Brain-Science & XYZ”跨学科研究的关键因素。他的团队开发出了一种可穿戴式光学成像系统,能够同时观察多个脑的功能和相互作用,而且几乎是实时的。随着“Brain-Science & XYZ”的积累,“应用脑科学”的曙光会在不久的将来出现。

英国 Essex 大学的甘强教授探讨了神经教育信息工程对计算智能的需求,他以在英国的教育神经学研究以及当前教育神经工程研究的不足为切入点,探讨计算智能如何更好地应用于神经科学,包括在高维空间中特征子集的选择,通过机器学习的分类/聚类,以及为可靠的学习困难的早期诊断寻找新的神经记号。

东南大学的俞东川教授和杨元奎教授分别介绍了神经教育工程的进展、社会情绪能力的评估及应用研究。东南大学于 2002 年成立了神经教育学研究中心,研究中心致力于为教育实践和教育政策的制定提供理论基础。目前研究中心已经在社会情绪能力评估方面取得了不少成果。

与会者的报告还涉及诸如 BMI 促成技术(Enabling Technology)、基于功能近红外光谱(fNIR)的脑机接口、光基因学(Optogenetics)、大脑回路映射、运动皮层活动的低维表征等一系列重要的研究成果。限于篇幅,本文不再一一赘述。

### 3 总结与展望

与会科学家分别从各自研究工作视角出发,介绍了神经信息工程前沿发展动态,分享最新最前沿的研究成果,并对未来学科发展方向提出了自己的独到见解。得益于神经科学、信息科学与工程科学的交叉融合,神经信息工程的研究与发展呈现加速的势头,在深度上向终结科学问题不断逼近,在广度上向其他学科和应用领域快速渗透和扩散。我们看到,脑机接口、认知计算和神经教育信息工程这三个具有代表性的既互相支持又互相渗透的研究领域,在已经茁壮成长的神经信息工程这棵参天大树上,绽放出令人惊异的绚丽之花,并将结出累累果实。展望未来,我们需要从不同层次、不同粒度对脑信号进行分析、建模、挖掘和利用,针对不同需求构建应用系统,解决并突破神经信号处理、认知计算与控制、环境智能、大脑可塑性、脑机互适应、生物智能与机器智能的融合等技术难题,有望在脑机接口、认知计算、神经教育等方面研发应用产品,更好地造福人类社会。我们认为未来我们还需在以下几个方面进行重点研究:

#### 3.1 植入式脑机接口

瞄准国际神经科学与信息科学的交叉前沿和我国医学康复和医疗产业的重大需求,发展可应用于在体动物或人体的多个层次神经信息检测、分析和处理的新技术和新方法,从细胞、组织和整体等多个水平实现机器对于神经活动

的信息解析、运动表征和行为感知,构建基于双向信息传递的脑机接口技术平台,开发若干可用于残障人群恢复感觉和运动功能的辅助装置和系统,重点针对人口老龄化带来的运动功能障碍问题,结合先进的神经信息工程技术研发适合国情的多反馈闭环交互式复杂运动功能康复的辅助运动康复机械设备和功能性电刺激设备,最终实现神经信息技术的快速和跨越式发展。针对城市安全、救援与反恐等国防与公共安全重大需求,综合运用生物电子、生物微机电系统、神经接口等生物体与电子接口技术发展生物-机电复合型智能机器人,融合动物感知、动物行为调控与机器人学的新技术,在安全与搜救方面取得示范应用。

### 3.2 认知计算

人和动物在面对和处理未知环境中的问题时表现出超强的鲁棒性。通过增强智能系统的这种类人的感知能力,开发与构建一种机器人系统或其他人工认知系统。该系统可以处理与解释多种感知信息(图像、语音等),并在动态实际环境中具备灵活的决策能力,自主完成任务目标。借鉴生物科学理论,在感知、理解、交互、学习与知识表达方面产生创新性方法与理论。重点突破基于脑认知的视觉加工模型,发展基于视觉的自然环境感知技术,基于认知计算,实现多传感器跨模态跨尺度信息融合,能模仿人体视觉系统的神经网络快速地识别自己周围的世界。开发基于人类视觉系统的超级计算芯片,并形成典型示范应用工程,如自然环境中的机器人系统、复杂系统中的感知与控制等。

### 3.3 神经教育信息工程

对神经教育信息工程的研究将从神经教育学以及神经信息工程的整体国际态势出发,涵盖神经教育信息工程科学研究层面、社会服务层面以及政策研究层面,开展儿童个性化多媒体数据采集、脑电信号、电生理信号采集,社会信号处理技术、脑电分析技术、脑机接口技术、基于大规模多媒体数据的有效储存和智能挖掘技术等对我国信息技术及相关领域可能带来的融合和跨越式发展的关键科学问题和技术热点进行组织研究。

### 3.4 人工智能与生物智能的融合

大脑具有一种惊人的将跨意识的多重含义信息整合的能力,它可以毫不费力地创建时间、空间和物体的种类,以及探知感官数据的相互关系。大脑可以完成各种无以伦比的技艺,令现在的计算机望尘莫及。而现有计算机信息系统(或人工智能系统)在计算能力方面有着无与伦比的优势。一方面需要研究设计认知计算机,通过对脑结构、动力学、功能和行为的逆向工程设计出具

备人类思维能力的智能机器。更重要的是要研究如何将人工智能系统与生物智能系统融合,使两者互为适应、协同工作,实现人脑的认知能力和机器的计算能力的完美结合。

神经信息工程是一门交叉学科,涉及神经科学、计算机科学、数学、临床医学和各类工程技术,要求相关学科的研究人员共同协作,探索并解决其中的关键和基础问题,甚至要全球范围内开展全方位合作,共创共享人类知识资源。本次会议也将促进国际上各个团队之间的合作,加速神经信息工程的研究,同时也为我国的神经信息工程的发展规划起到较好的指导作用。

## 一、特邀报告

# 利用意念控制机器 ——神经工程技术在运动功能重建和 脑伤治疗方面的未来趋势

John P. Donoghue

(布朗大学布朗脑科学研究院, Providence, 02912 USA)

**摘要:** 神经工程技术作为近十年来最活跃的研究领域,已经推动了多种新型医疗仪器的发展,并在神经损伤功能的修复和重建及神经系统疾病的诊断和治疗方面展示出了巨大的潜力。当前,基于神经电刺激技术的人工耳蜗和深部脑刺激技术分别在听力恢复和帕金森病的治疗方面取得了成功。这些植入式“脑机接口”,以及在视觉假体等其他方面应用的神经刺激器已经对成千上万人的生活产生了重大的影响。另一方面,作为一种新的神经工程技术,能“感应”神经信号的神经接口系统也已进入了早期的临床实验。这类脑机接口旨在帮助瘫痪病人重建一条新的独立交流与控制的通路。BrainGate 是由我所在的美国布朗大学和麻省总医院联合开发,且是目前唯一进入早期临床研究的植入式脑机接口设备。该设备可使瘫痪病人控制假肢及操纵电脑或机器人等外部设备,其控制信号主要来自大脑运动皮层中负责手部运动脑区的神经信号,包括了神经元的发放电和场电位信号。这些信号可通过植入皮层的一个 100 通道的慢性微电极阵列记录得到,并用于提供各种运动指令。对 5 个瘫痪病人进行的早期研究结果充分表明了大脑皮层中与手部运动相关的脑区在损伤后的很长时间仍可持续记录得到神经元活动。被试者能够控制光标的移动或者是操纵机械臂抓取物体。由于功能性电刺激系统已应用于瘫痪病人群体,因此脑机接口的另一个主要目标就是将运动命令连接到植入式的功能性电刺激,使肌肉得以重新活动。早期的无线植入式系统目前正在进行初步的临床前测试,相关研究表明高频带带宽的植入式系统也有很高的可行性。除了应用于脑机接口,神经工程技术还为观察人类大脑活动提供了一个具有很高时空分辨率的监测工具。总而言之,由于神经工程技术能在细胞水平记录多个单神经元活动和场电位信号,这将为进一步了解人类大脑的生理功能、疾病与损伤的机制等翻开崭新的一页。

**关键词:** 神经工程技术;脑机接口;BrainGate;神经传感器;功能重建