



主管单位:中国科学院
主办单位:中国科学报社
学术顾问单位:
中国人体健康科技促进会
国内统一连续出版物号:CN11-0289

学术顾问委员会:(按姓氏笔画排序)

中国科学院院士 卞修武
中国工程院院士 丛斌
中国科学院院士 朱兰
中国工程院院士 吉训明
中国科学院院士 陆林
中国工程院院士 张志愿
中国科学院院士 陈凯先
中国工程院院士 林东昕
中国科学院院士 饶子和
中国工程院院士 钟南山
中国科学院院士 赵继宗
中国工程院院士 徐兵河
中国科学院院士 葛均波
中国工程院院士 廖万清
中国科学院院士 蔡秀军
中国科学院院士 滕皋军

编辑指导委员会:

主任:
赵彦
夏岑灿

委员:(按姓氏笔画排序)

王岳	王大宁	计红梅	王康友
朱军	孙宇	闫洁	刘鹏
祁小龙	安友仲	邢念增	肖洁
谷庆隆	李建兴	张明伟	张思玮
沈根兴	张海澄	金昌晓	赵越
赵端	胡学庆	栾杰	薛武军
魏刚			

总编辑:张明伟

主编:魏刚

执行主编:张思玮

排版:郭刚、蒋志海

校对:何工芳

印务:谷双双

发行:谷双双

地址:

北京市海淀区中关村南一条乙3号

邮编:100190

编辑部电话:010-62580821

发行电话:010-62580707

邮箱:ykb@stimes.cn

广告经营许可证:

京海工商广登字 20170236 号

印刷:廊坊市佳艺印务有限公司

地址:

河北省廊坊市安次区仇庄乡南辛庄村

定价:2.50 元

本报法律顾问:

郝建平 北京灏礼默律师事务所

院士之声

无创“入脑”技术,让脑机接口有更多可能

● 郑海荣



郑海荣

脑机接口是连接人脑与外部设备的新型人机交互技术,也是当前全球科技竞争的前沿领域。这一技术可以构建大脑与机器的直接信息通路,实现神经信号的读取、解码与写入,推动碳基生物智慧与硅基人工智能深度融合。

目前,全球脑机接口正处于实验室研发向规模化应用过渡的关键阶段,侵入式技术虽取得阶段性成果,但生物相容性、长期安全性等瓶颈仍难以突破。多年来,我与团队深耕无创脑成像与神经调控领域,致力于攻克无创超声脑机接口方面的多项技术难题,探索出一条非侵入式脑机接口技术发展之路。

不同技术路线,存在多重挑战

目前,脑机接口主要有侵入式、半侵入式和非侵入式3条技术路线,技术形态各不相同,面临的挑战也各有侧重。

侵入式技术,是通过外科手术将微型电极植入大脑皮层。这一技术的神经元信号采集精度最高,但也有明显短板:植入电极易引发人体免疫排斥反应,长期使用也会出现信号衰减、器件失效等问题。此外,手术存在一定风险,且仅能采集局部脑区信号,无法实现全脑范围探测。

半侵入式技术,是将电极置于大脑皮层表面,寻求信号质量与使用安全间的平衡,但依然无法规避颅内植入带来的潜在风险。

非侵入式技术,则是依托穿戴设备从头皮采集脑信号,具有无创安全、易普及的特点,但其研发技术壁垒极高。颅骨与头皮会大幅衰减、干扰神经电信号,导致原始数据混杂大量噪声。如何在复杂环境下实现神经信号稳定采集与高精度解码,是摆在全球科研人员面前的共同难题。

放眼全产业链,我国脑机接口产业发展也面临着多重挑战:全脑信息定向写入技术有待突破,适配行业需求的低功耗专用神经芯片供给不足,通用芯片难以兼顾低功耗、高算力与多通道实时处理的要求;脑机接口直接接触及人类思维与隐私边界,配套的

伦理规范、行业标准与监管体系也亟须同步构建完善。

探索无创入脑,拓展医疗场景应用

面对挑战,我们团队选择了一条新路径——无创超声神经调控原创技术路线。不同于传统电极植入思路,该技术依托超声、光、电磁等多元物理场,在不破坏人体天然生理屏障的前提下,实现全脑神经信息双向读写。

让超声波能够“穿透”颅骨、精准作用于颅内深部脑区,是这项技术要跨过的第一道关。在“穿过”颅骨的过程中,超声波易出现折射、能量损耗等问题。为此,团队开展复杂介质声场理论建模、仿真计算与对照实验,逐一破解超声波穿颅传播、能量聚焦、安全调控等科学问题,从科学原理层面确证了无创超声神经调控技术的可行性。

无创超声脑机接口技术有一个关键硬件——高密度相控阵换能器。此前,这一器件长期被国外技术垄断,通过深耕底层压电材料研发与精密加工工艺,我们团队完成全链条自主攻关,顺利实现器件国产化替代。自研的换能器,在电声转换效率、穿颅能力、聚焦精度等主要指标上表现出色。正是依托于此,团队成功研发万通道级智能神经调控系统,融合声场校正算法与多模态影像导航技术,打造出如同“大脑GPS”一样的高精度定位追踪体系,可将超声能量精准汇聚到颅内10厘米深度的毫米级靶点,既解决了传统电磁刺激作用范围弥散、作用深度不足的问题,又消除了植入式技术的创伤隐患。

在此基础上,我们提出“神经打印机”的前沿技术概念,利用多物理场调

控大脑内纳米级离子通道,实现外部信息向大脑的定向“写入”。目前,该技术已在动物实验中实现特定记忆和行为的可控调节,有助于难治性脑疾病干预、人体神经功能重塑。

通过系统性临床研究,我们发现,无创超声调控能够有效降低难治性癫痫的发作频率、强度,明显改善重度抑郁症患者的情绪状态与睡眠质量。值得关注的是,在10余例长期意识障碍患者的临床干预中,半数以上患者成功苏醒,部分患者甚至逐步恢复语言表达、自主进食等生活能力,展现出该技术在重大脑疾病诊疗与康复领域的应用价值。

推动碳基智慧与硅基算力深度交融

如今,我国脑机接口产业的整体发展路径愈发清晰。结合技术演进规律与应用落地节奏,我们有分阶段的发展预期。短期1~2年,优先释放医疗领域价值。推进脑机接口技术医学测试与临床落地,加快脑机接口医学大模型、运动及语言功能重建技术规模化应用。中期2~5年,全面拓展技术边界。集中攻克无创光声电磁脑神经功能成像、人工视觉、听觉、触觉等感知功能修复技术。同时,推动无创脑机接口在自动驾驶、具身智能、智能制造、全民健康管理等场景的研发与应用。中长期5年以上,探索脑机融合、脑际通信等新形态。重点突破神经信息成像读取、智能模型翻译重建、神经信息定向写入等前沿技术,推动脑机接口朝着大规模普及、全场景覆盖、消费级落地、轻量化可穿戴的方向迈进。

当前,医疗康复是脑机接口最成熟的落地场景。未来,技术应用场景将更加丰富。我们可以想象,在航空航天、高危作业等领域,用意念辅助操控;在工业领域,开展脑控机械臂、无人机、人形机器人应用,实现人脑与具身智能的高效协同;在消费电子领域,融合穿戴设备的轻量化脑机产品,有望颠覆传统人机交互模式,催生新兴消费业态。

(下转第3版)