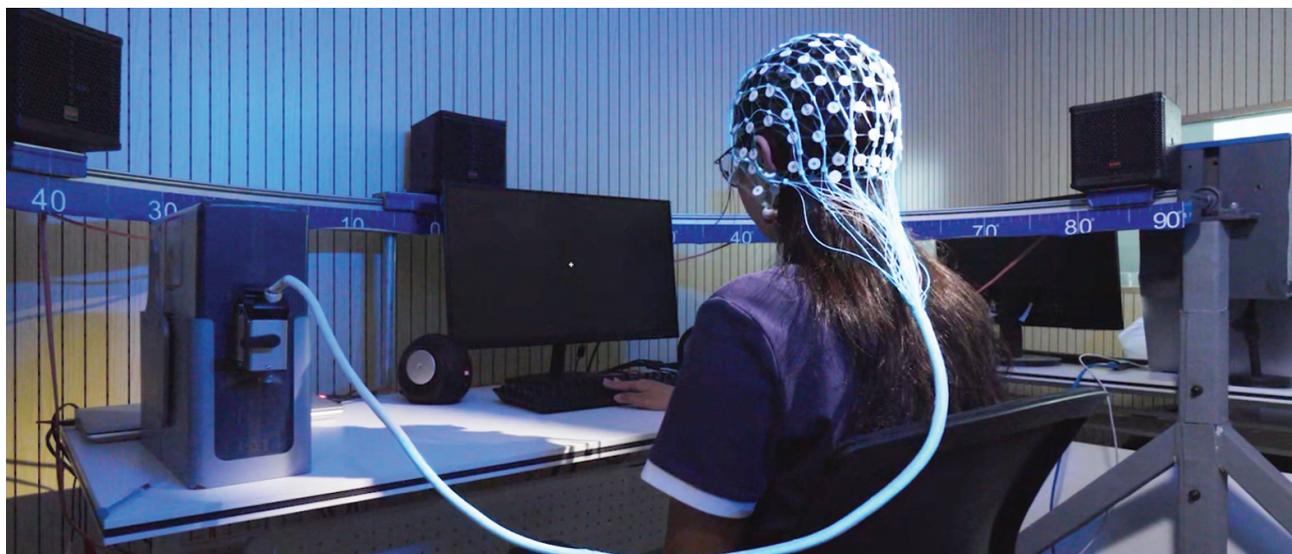


本报专访脑机接口领域专家——天津大学倪广健教授 “隔墙有耳”让大脑和机器“直接对话”

2026新年伊始,“人工智能”“脑机接口”等关键词成为热议的高频词。不久前,全国首届脑机接口开发者大会在津举办,近千名来自各地脑机接口领域的技术开发者、算法工程师、企业代表、临床医生及行业专家,集中探讨脑机接口技术的前瞻布局和场景落地,展望脑机接口未来产业的创新生态。

► 科研人员测试“神工-神耳”听觉智能评估系统



去年被视作中国脑机接口产业的“元年”,这项曾带着强烈科幻色彩的技术,正从实验室走向临床应用与产业落地,成为全球前沿科技的焦点。天津大学医院管理处处长、脑机交互与人机共融海河实验室常务副主任倪广健教授,深耕听觉脑机接口、神经工程领域多年,是该领域的核心研究者之一。近日,他接受本报专访,解码脑机接口技术,讲述这项技术的核心逻辑、发展路径与应用未来。

为大脑搭建“信息高速公路”

“很多人觉得脑机接口离生活很远,像科幻电影里的情节,其实它的核心就是让大脑与机器实现直接的信息交流。”倪广健用直白的语言解释道,脑机接口是一种变革性的人机交互技术,其工作原理就是采集脑部神经信号,再通过技术手段把这些信号解析出来,或者转换成具体指令,让大脑“告诉”机器该做什么,实现大脑与外部设备的“对话”和控制。

从技术逻辑来看,脑机接口的运作分为三个核心环节:信号采集、解码分析、反馈执行。就像人类交流需要“听、理解、回应”,脑机接口首先通过各类传感器采集大脑的神经电信号,随后通过算法对这些微弱的信号进行识别、解析,分析出大脑的真实意图,完成“解码”;解码后的指令还可以输出到外部设备,使其执行相应动作。

倪广健表示,大脑约有860亿个神经元,通过超过100万亿个突触连接,无时无刻不在产生复杂的神经信号,脑机接口的核心就是从这些海量、微弱的信号中,精准捕捉到有价值的信息,这也是技术研发的关键难点。“简单说,脑机接口就是为大脑搭建了一条与外界沟通的‘信息高速公路’,突破了传统人机交互依靠手脚、语言的生理限制。”

“兵临城下”与“隔墙有耳”

根据信号采集的方式不同,脑机接口主要分为侵入式和非侵入式两大类,这两种技术路径如同“两条腿走路”,各有优劣,适用于不同场景。“侵入式脑机接口是‘兵临城下、

破墙而入’的监测方式,非侵入式则是‘隔墙有耳’。”侵入式通过外科手术将功能器件植入头皮下、颅骨下甚至血管内,优势是获取的信号空间分辨率好、信噪比高,能捕捉到更精准的神经信号,目前主要应用在医疗健康领域的精准研究,比如帮助瘫痪患者实现脑控机械臂等。但这种方式也存在一些短板,“植入体内会带来潜在威胁,炎症反应、生物相容性等方面存在隐患,而且只能获取局部大脑信息,想要实现全脑监测难度大,也存在手术风险、成本高昂等问题。”

与之相对,非侵入式脑机接口无需手术,通过脑电帽等外部设备直接在头皮表面采集脑电信号,“不用开刀,安全性相对更有保障,还能无创获取全脑域的电生理信息,适用于更广泛的人群和场景。”倪广健强调,这也是非侵入式被认为是脑机接口大规模应用必然方向的核心原因。但非侵入式的技术挑战在于,颅骨、头皮、头发会对神经信号产生衰减和干扰,捕捉到的信号极其微弱,“对工程的感知处理能力要求非常高,需要更先进的感知技术、更优的解码算法,像抽丝剥茧一样把有用的信号解析出来。”

给大脑装上“听力显微镜”

“运动脑机接口主要关注肢体动作的意图解码,视觉类聚焦光信号的感知与重建,而听觉脑机接口需要精准捕捉大脑对声音信号的反应,尤其是针对婴幼儿、老年人等无法清晰表达的人群,技术要求更细腻、十分贴合临床需求。”倪广健说。

在听觉脑机接口的研发与应用中,倪广健团队的“神工-神耳”听觉智能评估系统成为典型成果,这款融合非侵入式脑机接口技术的系统,有效解决了低龄听障儿童和老年听力障碍患者的诊疗评估难题。“婴儿出生后做听力筛查,很多存在感音神经性耳聋的孩子需要植入人工耳蜗,但低龄的孩子无法和医生交流,一些客观检测还需要孩子处于睡着的状态,评估效果大打折扣;老年人佩戴助听器,也很难精准判断是否‘听得清’。”

而“神工-神耳”让这一问题迎刃而解,倪广健介绍,这套系统就像给

大脑装上了“听力显微镜”,患儿可以边看无声动画片边完成听力评估,老年人也能在轻松的状态下接受检测,“我们能直接‘看到’大脑对声音产生的反应,通过分析脑电信号相关特征,像调音师一样把助听器调到最适合的‘频道’,让患者从以往的‘听见’变成‘听懂’,从‘模糊’变成‘清晰’。”

人类首次“太空脑机接口实验”

脑机接口这项技术能突破实验室走向产业化,核心驱动力在于技术的不断突破、临床需求的迫切拉动,以及国家政策的大力支持。

倪广健介绍,脑机接口是一门融合神经科学、工程学、计算机科学、材料科学等多学科的交叉技术,其发展不仅是单一技术的突破,更是多学科协同创新的结果,而医疗健康、航空航天、高端制造等领域的实际需求,为技术落地提供了重要牵引。

但脑机接口的产业化之路,仍面临不少挑战。“真正想让脑机接口从实验室走到产业,其实需要全链条的覆盖。”倪广健直言,从用什么样的电极采集信号,到用什么芯片放大信号,再到信号的分类、计算,最后集成为能应用到具体场景的系统,每个环节都不可或缺。

脑机交互与人机共融海河实验室团队围绕脑机接口进行了全链条布局,从高性能的器件、芯片、算法、平台,到系统集成和应用落地,形成了完整的技术体系。

在临床领域,团队研发的“神工”系列脑机交互创新医疗器械,已覆盖卒中康复、脊髓损伤运动辅助、精神抑郁、神经重症、听觉障碍、视觉障碍诊疗等多个场景;在航空航天领域,设计开发的多代空间站在轨脑机交互系统,完成了人类首次“太空脑机接口实验”,为航天员的功能和情绪状态检测提供关键支撑。

倪广健表示,我国脑机接口正处于技术爆发期,已具备应用转化的巨大潜力。“现在国家医保局将脑机接口相关费用纳入医疗新技术价格项目,未来我们需要进一步打通技术链、补全人才链,推动产学研一体化,让脑机接口真正走进民生、服务大众。”

对话



记者:脑机接口的未来发展趋势是怎样的?

倪广健:脑机接口的发展正朝着“从无到有再到无感”的方向不断迭代,现阶段还处于过渡态,终极形态是实现“未来自然的脑机交互”——人们在几乎没有感觉的前提下,就能与机器进行自然的信息交流。

记者:听觉脑机接口未来3—5年的技术突破点会集中在哪些方面?

倪广健:主要集中在三个方面。一是信号采集与解码的精度提升,通过新型电极材料、高性能芯片和智能算法,让技术能捕捉到更精准的听觉神经信号;二是设备的小型化、便携化,降低使用成本,让更多基层医院和普通患者能够负担;三是与人工智能、大数据的深度融合,通过AI技术实现信号的智能分析和个性化诊疗,让康复方案更精准、更高效。

记者:脑机接口应用前景如何?

倪广健:脑机接口不仅是一项医疗技术,更是塑造未来产业的颠覆性技术。在人机交互领域,它能让智能设备更精准地理解人类的听觉需求,实现更自然的语音交互;在航空航天、高端制造等领域,能帮助工作人员在特殊环境下实现高效的信息传递。长远来看,它还有望实现碳基生物智能与硅基机器智能的融合,为人类的感知、认知能力拓展新的边界。

记者:您和团队对这项技术的未来有什么期待?

倪广健:科研的最终目的,是让技术造福人类。我们整个团队的初心,就是让脑机接口技术走出实验室,走进更多人的生活,帮助听障患者重拾“清晰的世界”,让运动障碍患者重获生活能力,让前沿科技真正普惠于民。

记者 单炜炜 图片由天津大学提供