



吴朝晖，中国共产党第十九届中央委员会候补委员，浙江大学校长，中国科学院院士，发展中国家科学院（TWAS）院士，IEEE Fellow，中国计算机学会会士，中国人工智能学会会士，中国自动化学会会士，国家现代服务业领域总体专家组组长，兼任中国高等教育学会副会长，曾任 973 计划项目首席、863 计划信息领域专家等。主要研究领域为计算机科学与技术。作为第一完成人，曾获国家技术发明二等奖 1 项、国家科技进步二等奖 1 项、何梁何利科技创新奖，研究成果入选 2016 年中国高校十大科技进展。

卷首语

Foreword

脑机接口的未来发展趋势

吴朝晖

21 世纪被称为“脑研究世纪”，伴随着脑科学和认知科学的兴起与发展，特别是神经科学与各种工程技术的多元融合发展，脑与机的界限被逐步打破，进而推动产生了新型智能形态，即脑机智能。这一新型智能形态使得信息科学与生命科学得以相互渗透、相互融合。脑机接口技术的出现，在计算机与生物脑之间建立了一条直接交流的信息通道，这意味着既可以将假肢等外部设备的信号直接传输给大脑，也可以通过计算机解读脑部信号，进而直接控制外部设备，为实现脑与机的双向交互、协同工作及一体化奠定了基础。

作为脑机智能领域的战略必争技术，脑机接口成为了全球研究最热门、竞争最激烈的方向之一，推动了以人类为中心的认知与智能活动研究进入发展新阶段，如 2016 年 7 月，美国埃隆·马斯克成立 Neuralink 公司，致力于研发超高带宽的脑机接口系统；2019 年 4 月，美国加州大学旧金山分校在志愿者大脑运动脑区植入电极，完成了解码脑电波、在大脑中直接合成语音等工作；2019 年 7 月，Facebook 发布了问答脑机接口系统；2019 年 10 月，法国通过硬膜外皮质脑电（ECoG）与无线传输操控外骨骼，帮助瘫痪病人成功实现缓慢行走与暂停等动作，等等。

在这一领域，浙江大学成立了国内最早的侵入式脑机接口研究团队，主要聚焦感知—运动环路，遵循从单向到双向再到闭环、从大鼠到猴子再到临床的研究路线，形成了一批具有先发优势的标志性成果，如 2014 年 9 月，浙江大学完成了国内首例以临床病人意念控制机械手的研究，准确稳定地记录到病人运动决策及运动精细控制的脑部表征数据；2020 年 1 月，浙江大学发布了国际首例高龄志愿者临床侵入式 3D 运动控制闭环脑机接口系统，以 72 岁高龄志愿者脑控机械手完成了喝水、进食、握手等动作。这些成果的涌现将有助于解决失能者功能重建、老年机能增强等人类健康问题，大大增加了研发超高带宽脑机接口系统的成功可能性。

面向未来，人工智能、云计算、大数据等颠覆性科技，将推动人与物理世界的二元空间加速转向人、物理世界、智能机器、数字信息世界的四元空间。在交错并行中，生产力和生产关系都将重构，社会形态与产业结构，以及人类思维方式、生活方式都会发生巨大变化。具体到脑机接口技术领域，将会迎来至少以下四大发展趋势：一是脑机信息交互手段从原来的以电为主，走向电、光、磁、声等各种手段的综合；二是脑机融合的增强能力逐步从行为增强到各种感知增强，乃至高级认知的增强；三是脑机技术研究的硬件向柔性、无线，以及更加微小化、更加高通量和低功耗方向发展；四是脑机接口技术有望在神经 / 精神疾病的诊断、治疗、康复等临床应用领域，引领新的技术发展。

可以说，脑机接口代表着脑机智能甚至人工智能的一个未来发展方向，为不同学科交叉会聚提供了成功范例，展现了未来智能化生活的广阔空间，将推动人类加速迈向脑科学时代。