

脑科学与类脑智能发展现状与展望

许书旭

(厦门市北洋脑机接口与智慧健康创新研究院, 福建 厦门 361006)

摘要: 脑科学被认为是人类科学最后的前沿。在过去一个世纪,它催生了计算机、人工智能等技术,并将在 21 世纪继续引领新的科学发现。本文从认识脑、保护脑、模拟脑等多个角度概述脑科学发展的现状,并以脑科学为纽带对未来科技发展前景进行展望。

关键词: 脑科学; 脑机接口; 数字化; 类脑智能

当前处在新一轮科技革命前夕

20 世纪 40 年代,冯·诺依曼基于当时有限的关于大脑的知识,建立了现代“冯·诺依曼计算机架构”,这些有限的知识来源于最初建造人工大脑的尝试^[1]。人工大脑并没有成功实现,然而,计算机的发明,却促成了第三次科技革命。随着计算机的应用,与电气技术广泛结合和替代,在整个社会层面催生了大量新的需求,从而诱发了无数技术创新,形成了二战至今的一轮经济繁荣。当前基于计算机、生物技术、物联网等技术的第三次科技革命,已经进入瓶颈,技术创新难度大,世界经济有萎缩的倾向。

与此同时,新一轮技术革命的呼声也很大。多年来,人们寄希望于区块链、物联网、智慧城市等新概念能够引领创造新的需求,创造新的岗位,带来经济的增长。区块链技术带来了显卡大范围铺开应用,为人工智能的爆发奠定了硬件基础,分布式计算也将是未来类脑智能重要的技术基础之一。智慧城市的发展,带来了物理世界技术的大整合,交通、农业、工业等行业内和行业间的数据孤岛、数据烟囱问题得到重视并开始解决,依托于知识图谱进行知识结构化,各种数据要素正在趋于有序,数据要素的进阶应用开始逐步引导数字化

进程从物理世界的数字化进入精神世界的数字化阶段。购物平台利用购物大数据进行购物意图的分析,娱乐平台利用兴趣标签进行信息推荐,这些应用反映了社会对精神世界数字化的期待。鉴于对精神世界数字化的探索,脑机接口概念也一度爆发,引起了脑机接口投资热潮。2022 年,元宇宙又成为新的热点,从智慧城市进一步升级,试图构建物理世界大模型,虽然因为体量过于庞大暂时难以成型,但是这一数字化终极版图也提上日程。元宇宙概念带来的大量建模、制图等虚拟化需求,又催生了人工智能生成内容(AIGC)的进一步发展,生成对抗性神经网络(GAN)、Transformer、Diffusion 等 AI 模型的优势得以放大。文生图、图文理解的需求,让类脑智能的诸多研究被提上台面,进入应用。2023 年,因为 ChatGPT 的诞生,人们燃起了对通用人工智能(AGI)的憧憬。在对 ChatGPT 的解析中,其真正令外界惊叹的能力源于其前置的诸多底层技术,如自编码器(VAE),思维链(COT),以及其他知识推理技术。而促进 ChatGPT 显现出 AGI 潜力的这些前置技术,正是来自类脑智能的研究,如思维链的技术方案来源于毕业于达特茅斯大学的 Jason Wei 对“冥想”的研究^[7]。

可以看到,新一轮科技革命的技术指向性已经趋于明朗,AGI当之无愧。但是,虽然人们渴望AGI,科学家对其实现路径还毫无头绪,依靠脑科学的研究逐步探索AGI谜题成为比较可靠的路径。

脑科学与类脑智能发展现状观察

人脑有约860亿神经元,100万亿神经连接,而如今家用计算机也有超过100亿晶体管,超级计算机更是远超此数量,计算单元的增加并非催生AGI的决定性因素。大脑的秘密于人类社会而言,至今尚未入门,脑科学被称为自然科学的“终极疆域”。

面对脑科学与类脑智能发展所要解决的诸多问题,世界各国早已开始布局,并投入大量资源。美国于2013年启动“BRAIN计划”,将大脑结构图建立、类脑相关理论建模、脑机接口等列为研发重点;2016年,中国脑计划研究正式启动,2021年启动了百亿级的科技创新2030重大项目“脑科学与类脑研究”。北京、上海、浙江、广东、天津、湖北、四川、重庆等省市陆续启动区域脑科学计划,加快脑科学创新中心建设。总体来看,中国脑计划以脑认知的神经基础为主体,以脑疾病的诊治及脑机智能技术为两翼开展底层布局,形成“一体两翼”的完善战略布局。

1. 认识脑

认识脑不仅仅是一个科研活动揭示大脑原理的过程,事实上,脑认知与诸多产业领域关系密切。著名竞技真人秀节目《最强大脑》自2014年首播,曾经连续多年稳占同档期卫视综艺前三的位置,掀起脑科学热潮;脑科学研究所揭示的大脑机理,拓展出的大脑开发方法,如照相记忆、快速阅读、逻辑推理相关的技巧等,备受学生、家长推崇;心理学领域的很多心理现象也需要基于对大脑的认知,设计出合理的心理辅导内容;在游戏、商业购物领域存在大量针对人脑的局限性,对人进行诱导性消费的问题;在脑科学研究中,目前普遍存在的伦理问题,也难以准确定义。这些问题都依赖对大脑的认知,只有对大脑机理建立客观解析理论,才能准确定义人类心理行为的边界,也才能对

各种基于脑科学原理进行应用和利用的行为进行规范。

2023年5月份,Neuralink人体临床试验获FDA批准,引发一轮脑机接口热潮,然而,脑机接口技术应用最大的挑战便来源于对大脑的认知不足,目前仅有部分现象级的范式能够进行应用。但是,脑机接口等工具产业技术的发展,也进一步推动了对大脑观测能力的提升,在单点、局部、整体的监测技术的提升,有助于从多个角度理解大脑。随着工具得到不断改良,对脑科学的认知不断加深,人类终究可以理解大脑运作机理,并反过来推动相应工具的升级。

2. 保护脑

人类一直备受脑疾病困扰,但是大多数脑部疾病,从原发性脑肿瘤等罕见但致命的疾病,到脑转移瘤、多发性硬化症、中风、帕金森症或阿尔茨海默病(老年痴呆症)等主要公共健康问题,一直以来都缺乏有效的治疗手段,严重威胁着人类的生命健康^[4]。

大脑的多重自我保护机制,比如血脑屏障作为保护大脑的“安全卫士”,能够阻挡异物(微生物、毒素、炎症因子和抗体等)由血液循环进入大脑,使大脑尽可能少受甚至不受外周血液中有毒物质的侵害,保持脑组织内部环境的稳定。但是与此同时,当大脑患有疾病的时候,血脑屏障又成了治疗药物进入病灶的障碍。类似地,硬脑膜、蛛网膜、软脑膜、颅骨等结构在保护大脑的同时,也都成了治疗大脑最大的障碍。

如何有效对大脑状态进行干预成为人类亟需攻克的技术难题。如今,人类已经发展出诸多技术,如基于吞胞作用的药物递送技术、病毒载体等生物学技术,光遗传与声遗传、经颅电刺激、经颅磁刺激等生物与电子结合的技术。其中最成功的应用为人工耳蜗,由体外言语处理器将声音转换为一定编码形式的电信号,通过植入体内的电极系统直接兴奋听神经来恢复或重建聋人的听觉功能。

3. 模拟脑

类脑智能又被称为神经形态计算,旨在模拟

人类大脑的形态结构及信息处理机制,从信息的获取、存储、处理与通讯等角度,类脑智能可以划分为类脑感知、类脑记忆和类脑学习等^[9]。

类脑感知包括模拟视觉、听觉、触觉和嗅觉等,视觉智能处于产业化前沿,从上游的光源、镜头、相机,到视觉系统中游的中间算法,再到下游的设备制造和终端应用等已经取得全面的发展。但是,在视频处理、目标理解等与认知结合的层面尚需要进一步挖掘。听觉智能的发展已经比较成熟,以自然语言处理为核心,机器翻译、聊天机器人、舆情分析和市场预测等各个领域均已广泛应用。一些研究表明,人脑的机理、嗅觉、味觉等功能或许与量子隧穿效应有关,将量子理论、脑科学等前沿理论带入应用阶段或许是未来新一轮的技术方向。目前,对温度、压力、疼痛感知的分子机制均已揭示,并且,基于材料学的研究,已经可以取得精度较高的传感数据。对物理世界的感知决定了人脑对世界的认知,感知系统也是虚拟世界获取物理世界状态的基本手段,类脑感知的研究,是对物理世界数字化的先决条件。

类脑记忆与类脑学习交叉融合,在冯·诺依曼计算机架构体系中,将记忆与学习进行了区分,然而,人脑中的相关功能模块特征、产生机理均有较大差异。目前,已有多种方案基于人脑的学习记忆机理进行设计,如清华大学钱鹤、吴华强教授团队通过优化材料和器件结构,成功制备出高性能忆阻器阵列。基于忆阻器的新型存算一体架构,有望打破算力瓶颈,满足人工智能等复杂任务对计算硬件的高需求^[9]。脉冲神经网络(SNN)被称为第三代神经网络模型,除了神经元和突触状态之外,SNN还将时间概念纳入了其操作之中,有望为构建下一代具有认知特色的高效人工智能模型奠定理论基础,在神经动力学、自组织学习、多模态时空信息融合、鲁棒信息表征等方面取得突破进展^[9]。

4. 脑科学与类脑智能技术观察

在脑科学与类脑智能技术体系中,对大脑的认识是理论基础,大脑生理结构、信息处理原理的破解,是脑模拟的前提条件,也是保护大脑、对大脑进行充分利用的基础。基于神经系统的网络机

制,机器学习算法不仅完成了对人脑的模拟,还创新性提出了更适合计算机处理的反馈机制,进一步发展完善了现行的人工神经网络体系。但是,神经传导的脉冲机制,人脑情景的记忆方式,大脑可塑性机制还有诸多问题需要解析。

对大脑进行观察与干预所需的系列工具形成了脑机接口产业。大脑的生理结构,血脑屏障的存在,让生物学手段难以抵达大脑;颅骨的存在,让各种电子观测技术对大脑的监测难度大幅度提高;大脑本身的脆弱性、复杂性,也让多数研发处于停滞状态。但是随着产业的扩张,脑机接口产业能够解决的问题也越来越多。在对大脑的观察与监测中,核磁共振、红外、超声等感应技术提供了多种不同的观测视角,电生理的监测更是产生了消费级脑电应用。当前通过消费级脑机接口技术,已经可以对人的专注度、注意力等宏观指向性指标进行一定程度的定性定量;对兴趣程度、喜怒哀乐等情绪指标也可以进行相对客观的标定;通过经颅电刺激、磁刺激、光遗传等技术,可以一定程度上影响大脑运行的结果。大脑信号的监测,使得精神世界的数字化变得客观化,从原来依靠统计分析等间接手段得出的心理特征,开始转化为通过直接监测方法获取心理特征。精神世界的数字化成为数字化新阶段的重要补充。

对大脑机能的模仿形成的类脑智能,衍生出更加多样化的技术体系。对神经形态计算的研究,挖掘出了忆阻器、忆容器、忆感器等电路单元。随着对人各种感知能力的模拟技术的成熟化,人形机器人总体架构愈加完善,目前人形机器人已经在力量、负重、重复劳作及辅助行动等多个领域媲美人类,并且有产业化趋势。与此同时,精神世界对人类的模仿也在加速推进,情感陪伴机器人利用语义解析可以在一定程度上通过图灵测试;虚拟人对人肢体语言的模仿可以以假乱真;脑控信号的输出与输入,进一步让人的思维与数字信号的交互隐蔽化,虚拟与现实的边界正在模糊化。

脑科学未来展望

1. 生物技术与信息技术融合

由于生物技术(BT)与信息技术(IT)在材料、

供能、控制各方面的差异性,生物技术与信息技术发展路径一直有较大差异。但随着应用的深入,其交叉融合也越来越紧密,尤其是在电生理方面,以电作为媒介,生物信息与数字信号得到有效交互。当前以脑机接口为代表的高端生物技术正在加速演进,成为BT+IT的主战场。对生物信息在时间、空间上更精细的监测以及干预能力,让BT、IT融合踏上了快车道。未来BT与IT的交叉融合,在个体、群体能力上都将大幅度扩展。如,通过生物电信号直接控制机械外设,典型的应用是目前用于康复领域的外骨骼机械臂。根据脑机接口运动想象范式的特征,随着外骨骼得到更精细的反馈信号,人体对外骨骼达到“如臂指使”的操控是完全可行的。进一步地,经由无线体域网控制,在微观、介观、宏观各式各样的机械装置也将能够参与到人体的运动乃至代谢过程中,从而加强人类本身的能力。

2. 精神世界的数字化愈加重要

数字化发展到元宇宙这样的大型虚拟系统,基础技术已经不是瓶颈,AIGC将在未来很长时间代替人类生产主要的图像、音频、视频、模型和动画资源,基础的交互也将可以由语言大模型逐步完善。但是虚拟世界中物体、人员、事件的组织依然是依托于现实世界的社会结构,笔者认为,脑科学影响将不仅仅局限于新技术的发明与发现上。正如数字化早期阶段虽然很大程度表现在物体的信息化上,但是更多的资源放在了流程的梳理、管理信息的数字化上面。数字化进入智能化阶段的关键,依然不在于具体某个开关的智能化控制上。如何更有效地捕捉到人在场景中的情感需求,从而在更合适的时间与场景下触发合适的动作,将持续主导数字化的发展。而在适配人的需求上,传统依赖大数据统计进行模式识别的方式显然无法满足实时性要求,更难以满足参与主体的多样化需求,因此,脑科学研究所带来的精神世界的数字化将是下一阶段数字化的核心之一。

3. 数字化迎来新的发展阶段

世界科技在20世纪因为新技术与新发现,衍

生出诸多新领域,呈现出技术大分化特征。到了21世纪,因为数字化的进程加速,又不断整合诸多领域,呈现出将多个产业整合为一套系统的预期,显现出大融合姿态。分化与融合是事物发展的不同阶段,创新、创造、开拓必然带来事物的分化;总结、归纳、控制也必然促成事物的系统化。大脑是人体的控制中枢,人体的各个系统分工明确,通过感知与反馈,人脑能够对物理世界形成极其准确的认知,同时视觉、听觉、触觉、温度、压力各种感知的协调兼具独立性与系统性,其协作有条不紊。这正是接下来数字化即将面临的新问题。随着数字化系统从单一系统扩展到多系统融合,信息的结构化、分布式存储、模态融合等都将面临新的挑战。从物理世界建模形成的元宇宙世界,如何与物理世界无缝衔接,如何有效地在局部与整体上适应环境的变化,人们又如何透过虚拟世界与机器人扩展自己的活动空间,人的社会性与个体性如何兼容……从类脑智能发展出的脉冲神经网络、吸引子网络、脑内世界模型等理论,将随着脑科学的发展不断完善,为未来智能化建设提供解决方案。

参考文献

- [1] 曾毅,张倩,赵菲菲,等.从认知脑的计算模拟到类脑人工智能[J].人工智能,2022,6:28-41.
- [2] 张学博,阮梅花,袁天蔚,等.神经科学和类脑人工智能发展:新进展、新趋势[J].生命科学,2020,32(10):993-1013.
- [3] 陈长林,骆畅航,刘森,等.忆阻器类脑计算芯片研究现状综述[J].国防科技大学学报,2023,45(1):1-14.
- [4] 余新光,张艳阳.神经外科参与脑科学研究的机遇与挑战[J].中国现代神经疾病杂志,2019,19(12):915-919.
- [5] 张铁林,徐波.脉冲神经网络研究现状及展望[J].计算机学报,2021,41(9):1767-1785.
- [6] 王冲.人工智能的另一条发展路径:类脑智能技术初探[J].科学中国人,2019,6:72-73.
- [7] 机器之心 Pro.本科毕业加入谷歌,写了「思维链」,这位新秀正为本科生答疑解惑 [EB/OL]. (2023-07-24) [2023-12-19].<https://baijiahao.baidu.com/sid=17722894182086-32677>.