



《财新周刊》>环境与科技>正文



财新周刊脑机接口升级难

来源于《财新周刊》2020年第39期 出版日期 2020年10月12日



脑机接口技术的真正瓶颈，是人类对大脑的认知还处于盲人摸象的阶段



《财新周刊》2020年第39期



出版日期 2020-10-12

- 封面报道|监管十亿私募股权基金
- 封面报道之二|PE发展镜鉴
- 财新周刊律师卷入“套路贷”
- 财新周刊外需就业继续改善
- 财新周刊安邦后传：大家保险“引战”推倒重来

《财新周刊》文|财新记者 徐路易 实习记者 梅婷

“每天做得最多的一件事就是洗头。有时一天要洗30多次。感觉当初这个领域的科学家尽在洗头了。”回忆起五六年前自己在哈佛大学脑科学中心读博士期间的经历，脑机接口初创企业浙江强脑科技有限公司（BrainCo）创始人韩璧丞印象最深刻的一件事，就是科研人员为了抹医用导电膏而不停地洗头。

抹医用导电膏是为了做脑电图（EEG）检查。科研人员将导电膏涂在医用胶带等表面，再涂抹到头皮上。洗头使电极与头部的接触面光滑，从而提升信号获取的效果。通过将电极放在头皮测量大脑产生的自发性生物电位，医学脑电图检查可以用于检测癫痫、特定精神疾病及脑肿瘤等疾病。这是一种常见的非侵入式“脑机接口”——被检查者不需要进行开颅手术，也不用在头皮上产生创面。

人脑的剖面从外到内依次是外层的头皮、头骨；头骨下有三层膜将大脑包裹起来，分别为硬脑膜、蛛



相关报道

【周六特供】马斯克押宝侵入式设备 但脑机接口真的很难
 马斯克发布脑机接口新设备 硬币大小电极植入猪

财新网微信



财新私房课

好课推荐

财务报表

宏观经济

金融识读

陈志武：用金融逻辑洞察财富自由

戳此拿下

相关

最新

编辑推荐



新疆巴州天空上演“金星合月”天象



王小鲁：现在是保民生的关键时刻

健康 | 青岛疫情或源于早前码头工人感染

地产 | “求助风波”后配股发债 中国恒大募资58亿

数字说 | 爆雷跑路频频出现 长租公寓前路难明

财新周刊 | [社论]深圳40年的启示

财新周刊 | 监管十亿私募股权基金



无所不能



caixinenergy

LNG投资机会密集，投资机构怎么操作



请输入E-mail地址

电邮订阅



财新微信

全站点排行榜 48小时 一周

- 工信部闻库：中国要坚持适度超前的5G建设节奏
- 独家青岛疫情或源于早前码头工人感染 专家称暂未发现社区传播
- 青岛疫情追责启动 市卫健委主任隋振华被停

脑

【华尔街原声】马斯克计划2020年进行脑机接口人体实验

【财新周刊】听！财新周刊：“吃人”传销·“鞋王”退市·脑机接口

【财新周刊】解码脑机接口

网膜和软脑膜；再往内是大脑皮层和白质。脑机接口设备也按照侵入到脑部的层级被分为三类：除了非侵入的脑电图，皮层脑电图（ECoG）会穿过头骨但位于大脑皮层外，可置于硬脑膜外或硬脑膜下，属于半侵入式脑机接口；而侵入式脑机接口则需要将电极植入大脑皮层。

8月29日上午，美国明星企业家埃隆·马斯克（Elon Musk）召开新闻发布会，宣布旗下脑机接口公司Neuralink最新的研发进展。该公司展示了一款硬币大小的侵入式脑机接口设备，以及进行设备植入的手术机器人，团队将设备植入了一头名叫格特鲁德（Gertrude）的小黑猪脑中，让它在现场凭嗅觉识别出各个物体。同时，脑机接口连接着格特鲁德与嗅觉相关的神经元，每次当它“吸鼻子”时，猪脑发出的神经信号就会被实时捕捉到，并转化成数字信号。

据市场研究机构Valuates Reports的报告，2019年全球脑机接口市场规模估计为13.6亿美元，预计到2027年或达到38.5亿美元。因为手术安全方面的高门槛，目前这个市场上像Neuralink这样押宝侵入式脑机接口路径的是少数派，非侵入式设备是主流。不管是侵入式，还是非侵入式，机器学习算法方面的进展都能帮助我们更好地解码人脑的意图。

实际上，脑机接口技术的真正瓶颈，是人类对大脑的认知还处于盲人摸象的阶段。到目前为止，仍没有人能解释电信号和化学信号在神经元之间的传递是如何导致人们产生感觉、情感和决策的。

脑机接口升级路

在8月底Neuralink的发布会上，脑机接口植入手术完全由机器人自动执行，整个过程历时不到一个小时。通过电脑图像，手术机器人可以尽量避开脑部的血管。

多位业内专家向财新记者表示，马斯克这次展示的脑机接口原型机所运用的包括神经解码、手术机器人、无线传输、多信号频道等技术都是早已存在的，在单项技术上突破不大，但他提供了一个横跨脑机接口相关多个专业领域的“技术包”，使得侵入式脑机接口设备从实验室踏出了迈向市场的一步。“我们认为这不是一次脑科学的重大突破，而是脑手术的重大突破。”韩璧丞说。

清华大学医学院教授洪波告诉财新记者，与上一次发布会相比，Neuralink团队在两方面取得了显著进展：一是缝纫机式的手术机器人大大改进，可在大动物和人类大脑自动植入上千根电极丝，尽管从展示会视频看，还不能确定现场的那只植入电极的小猪是否由这台手术机器人自动完成；另一方面是植入器件的微型化和无线传输设计。按照马斯克的说法，这是一个23毫米直径、硬币大小的圆片，可以采集传输上千通道的神经放电信号。上一版是USB有线接口，这版是无线接收甚至可充电。

斯坦福大学神经科学家谢尔盖·斯塔维斯基（Sergey Stavisky）提到，市面上在售的针对动物的脑机接口产品可以记录大约100个信号频道，而Neuralink一下子提升到了1024个信号频道。英国纽卡斯尔大学神经科学家安德鲁·杰克逊（Andrew Jackson）也对Neuralink新设备的应用十分期待，他表示，无创的无线传输连接可以减少动物实验对象的感染风险。

职

- “求助风波”后配股发债 中国恒大募资58亿元
- 苹果终于进入5G时代 4款iPhone 12能否赢得更大市场？
- 云南电力市场秩序遭破坏 云南省内多方被约谈
- 组图 | 超千万民众提前完成投票 美大选投票率或创新高
- 组图 | 新疆巴州天空上演“金星合月”天象

全站评论排行榜 最多 最新

- 工信部闻库：中国要坚持适度超前的5G建设节奏 (43)
- 北京购物中心空置率10.7% 较上年未涨3.6个百分点 (38)
- 港大发现胃溃疡药物可抑制新冠 有望大幅降低治疗成本 (33)
- 茅台酒基酒2021年扩产至5.53万吨 控价仍具挑战 (24)
- 特稿|贵州律师戴文勇被控涉黑获刑七年 律师执业风险凸显 (22)
- ASML：从荷兰向中国客户发货DUV光刻机 无需出口许可 (21)
- 22人确诊43人筛查异常 江苏师大肺结核疫情或已反复两年 (21)
- 青岛疫情追责启动 市卫健委主任隋振华被停职 (19)

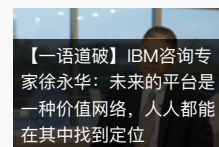
财新名家

程实：深化混改畅通内外双循环

夏春：谁来射出“安倍经济学”的第三支箭

梁建章：“中国人口过剩论”错在哪里？

视频



博客

聂辉华：2020年诺贝尔经济学奖解读：如何避免“赢者的诅咒”？

吴晓波：韩国“流血”造芯片，能给中国哪些启示

另一些学者则对Neuralink描绘的乐观图景偏谨慎。比如Neuralink希望能先将其植入式脑机接口设备作为医疗解决方案提供，再进入普通消费市场。对此美国费恩斯坦医学研究所神经外科教授兼所长凯文·特雷西（Kevin Tracey）表示，“Neuralink给出的时间线或许过于乐观。”约翰·霍普金斯大学神经病学教授约翰·克拉考尔（John Krakauer）也提出疑问：“我们看到这个设备是被放置在单一的大脑皮质感觉运动区，在已知人类神经活动的基础上，如果我们想读取思想而不只是关注运动，我们应该把脑机接口放在哪里？要放多少？如何避免在脑子里贴满脑机接口？”

脑机接口设备所面对的，是一个最重要又无比复杂精密的系统：位于脑中的中枢神经系统可以传递、储存和加工各种信息，从而调控我们的全部行为，同时脑又是思维的器官，主导着心理和意识的产生。具体负责这些工作的则是脑细胞，人类大脑中的细胞分为神经元（neuron）和神经胶质细胞（neuroglia），前者可以感知环境变化，产生生物电位，再将这些信号传递给其他神经元，不同的神经元功能也不同，有些神经元负责处理感觉信息并做出决策，有些神经元则可以控制运动；神经胶质细胞则负责连接起不同的神经元，并能帮助修复神经元损伤。

人脑中包含大约860亿个神经元以及约同等数量的神经胶质细胞，每个神经元还可以延伸出最多1.5万个突触与其他神经元连接。最新研究表明，脑细胞在大脑中的分布并不均匀，比如大脑皮层的神经胶质细胞与神经元数量比约为3.72:1，而这一比例在小脑中只有约0.23:1。

20世纪60年代，受限于设备和记录的要求，脑电图（EEG）只能在实验室里使用。美国爱荷华大学药学院1958年发表的一篇文章中的影像资料显示，该院病理学教授约翰·诺特（John Knott）曾在实验室中使用过一台仅有6个信号频道的脑机接口设备，测试者头戴电极帽，帽子上有电线连接着一个三层书柜高的频率分析仪，其他相关设备更是占据了实验室一半的空间。

60年后，信号放大器已经能做到电极帽中，现场采集数据也不再是个棘手的问题。设备对于外界操作影响的敏感性不断下降，脑机交互也已经从简单的脑电图记录发展到人们对于“脑-机交流”的愿景。当然，这一领域的研究者们也告别了为记录数据一天洗30次头的繁琐。

押沙龙：粗柳簸箕细柳斗，世上谁嫌男人丑

王烁：未提出的问题，不回答的回答

奴隶社会：疫情之下，为什么西方国家的民众貌似都有点儿傻？

最新文章

10:33 陈利浩：“人民主体”是改革开放的真谛

09:27 今日开盘：小幅高开 沪指涨幅0.07%

08:55 T早报|台积电表态四季度不会向华为供货...

08:51 大流行手记10月15日：伦敦调高封锁...

08:37 人事观察|“70后”候补中委蔡松涛履新...

08:31 人事观察|主管雄安逾三年 陈刚履新河北...

08:15 【财新对话】华夏幸福顾强：未来城市群竞...

08:14 解药|两大药企接连暂停新冠相关临床试验...

08:14 薛澜：如果个人能主动及时提供信息，行踪...

08:13 薛澜：有来自社会渠道的预警信息并不是坏事

English – Caixin Global



Late to Switch On, Apple Tunes Into China's Homegrown Nav System



Chip Equipment Giant ASML Says Some Sales to China Don't Require U.S. License



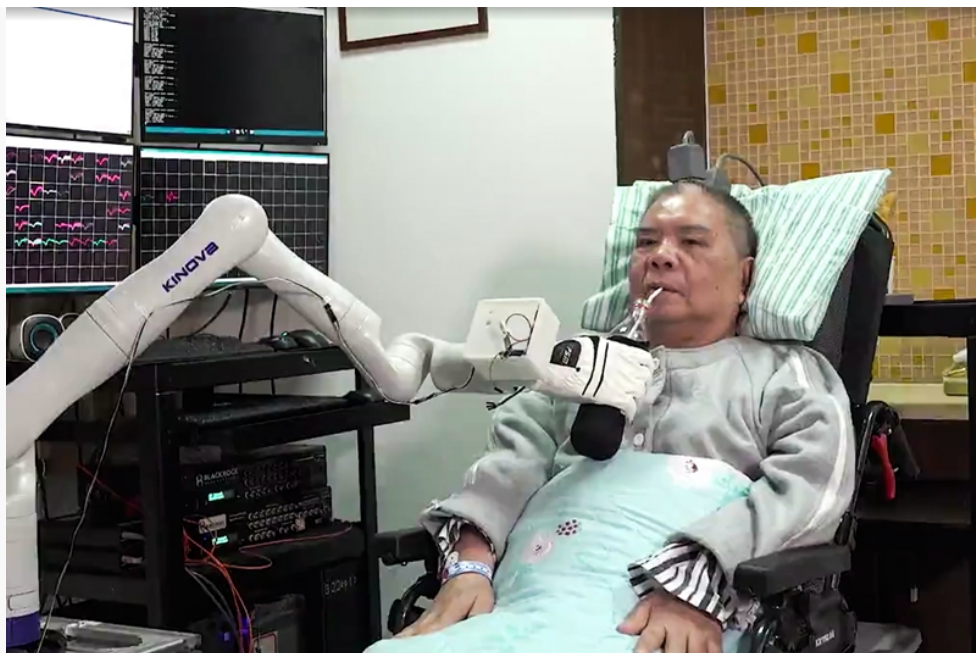
Kissinger Warns U.S. and China Must Set Limits to Avoid a Blowup



Former HKMA Chief Norman Chan Sets Up Digital Payment Firm



College Tuberculosis Outbreak Raises Questions of Potential Cover-Up

[Read More](#)

2020年1月，浙江大学求是高等研究院“脑机接口”团队与浙江大学医学院附属第二医院神经外科合作完成国内第一例植入式脑机接口临床研究，患者利用大脑运动皮层信号精准控制外部机械臂喝可乐。图/视频截屏

脑机接口设备的工作流程大致可分为几个步骤：首先是采集并记录大脑产生的神经信号；其次对采集到的信号进行预处理，包括去除外部的电干扰以及实验对象其他部位（比如眼球）活动等所产生的“噪声”信号，留下比如与嗅觉、听觉相关的活动所产生的神经信号；接下来是关键的一步——特征提取，也就是对一排排信号做出分析并提取出真实的信息，这里需要算法从中提炼出一个人的意图等信息；最后将转换出的指令传输至反馈装置中，比如反馈至计算机来移动电脑上的光标，或是反馈至机械臂进行运动控制。

业内人士指出，脑机接口设备在工业层面的发展方向较为明确，其目标是长期且稳定的接口、设备的小型化和遥测（telemetry）等。从脑机接口设备的类型来看，在非侵入式脑机接口技术中，用于记录信号的硬件设备几十年来都没有太大变化，目前不管是相关高校机构，还是商业企业，都在重点攻关神经解码环节；在侵入式脑机接口技术方面，以Neuralink为代表的团队主要进展是开发记录设备，在电极设计、使用外科机器人植入薄电极，以及最近开发的高度小型化硬件方面都有创新。

所谓鱼与熊掌难以兼得，侵入式设备的好处在于，它直接从大脑神经元周边采集信号或在神经元上直接采集神经元层面的尖峰电位（spike），所以它采集的信号精准度很高，解码更容易。但对实验对象来说，开颅手术目前仍不可避免。相比较而言，非侵入式设备在形式上更容易为普通人所接受，但无疑又加大了信号预处理的难度。

多位专家向财新记者表示，在硬件方面，脑机接口近几年并没有出现根本性的方法改变，比如是否可以不用电刺激，侵入式是否出现了广泛认可的更安全的植入方式，但不管是侵入式的安全性，或是非侵入式在获取更高精度的信号以及信号解码方面，都有一些新的进展。

“现在的解码大部分都是头皮脑电，几十亿甚至上百亿的神经元都在大脑内部，且人们无法一个个去解析单个神经元，而是把这些神经元结合在一起看。”上海大学机电工程与自动化

学院自动化系副教授杨帮华告诉财新记者，不管是植入到大脑皮层内的，还是非侵入式脑机接口设备，记录的都是一簇簇神经细胞共同活动的结果，如果放到头皮就更是大量神经细胞共同活动的结果。离神经元越远，相对而言获得的信号就越模糊。

对侵入式脑机接口技术来说，早已实现了控制机器人在三维空间中运动并完成日常任务，但是正确地植入和操作这类设备需要扎实的医学和外科专业知识，这极大阻碍了它在临床的使用。因为对侵入式设备而言，安全是首要的考量。

在进行过侵入式脑机接口设备开颅手术的人中，一个著名案例就是美国神经科学家菲尔·肯尼迪（Phil Kennedy）2014年曾花了2.5万美元将植入式脑机接口植入自己的大脑皮层，但在手术过程中肯尼迪的血压升高导致大脑肿胀，使他暂时瘫痪。几个月后，他进行了第二次手术并开始记录自己的大脑信号。肯尼迪一开始计划让设备在自己脑中内置数年，但他颅骨上的伤口无法正常愈合，因此被迫在几周后取出了植入的设备，这一次手术又花了9.4万美元。

电极植入脑内后，如果引发脑损伤或感染，脑内会产生类似免疫反应的反应，神经胶质细胞开始发挥保护作用，通过膨胀形成物理屏障，被称为胶质瘢痕。对于植入的电极而言，胶质瘢痕会对信号的采集起阻断作用，使电极无法长时间存在于脑内。

“不像身体其他部位可以依靠外周免疫系统，脑部没有一套很强大的免疫体系，一般是靠血脑屏障进行自我保护。”北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室教授章晓辉向财新记者介绍，“所以目前一般是实在没有其他选择的重病病人，才会去尝试侵入式脑机接口”。

美国费恩斯坦医学研究所高级工程副总裁查德·布顿（Chad Bouton）曾表示，任何对大脑的侵入式技术都存在安全隐患，包括各种植入设备可能引起的感染，认识到这一风险的存在至关重要。

业内人士介绍，目前脑机接口的市场规模在10多亿美元左右，本身就不大，今后要走产业化道路，需要考虑公众对脑机接口连接方式的接受度等问题。因为侵入式设备在医疗安全和伦理等问题上的高门槛，目前只有Neuralink等最开始就选择这条路径的企业在做，不少初创企业选择的是非侵入式脑机接口设备。除了2015年成立的BrainCo，包括成立于2012年的瑞士企业MindMaze和成立于2016年的美国神经科技企业Kernel，均主攻非侵入式脑机接口设备，高校中目前对非侵入式脑机接口设备的研究也越来越多。2016年成立的澳大利亚生物电子医学企业Synchron则选择了部分侵入式设备的路径，但目标客户非常明确，仅限于身患目前无法治愈的神经系统疾病的人群。

国内科研机构及企业对侵入式技术的实践也十分谨慎。2020年1月，浙江大学求是高等研究院“脑机接口”团队与浙江大学医学院附属第二医院神经外科合作，完成了国内第一例植入式脑机接口临床研究。浙大二院神经外科主任张建民曾在浙江大学发布的声明中表示，这次实验没有任何先前经验可供参考，需要在围手术期管理、手术操作、电极植入精度以及术后训练模式、信号分析、医护照护等多个方面不断探索。张建民团队采用步进为0.1毫米的手术机器人，准确地将2个微电极阵列送入既定位置，误差控制在了0.5毫米以内。

浙江大学系统神经与认知科学研究所所长、认知科学教授王菁（Anna Wang Roe）告诉财新记者，目前全球已经有超过15万名病患接受了植入脑机接口的手术，用以治疗帕金森症、

癫痫、OCD（强迫症）等。这类手术已经越来越普遍，因此提高手术的安全性成为侵入式脑机接口技术在实践中需要不断突破的重点。

除了手术操作方面安全风险，埋在脑内的电极如果对位置刺激得不够准确，也可能产生包括致幻、抑郁及平衡感、语言能力等方面的副作用。

王菁团队在尝试用电极以外的方法——光学刺激，对神经元进行刺激，他们开发了包括光学成像和磁共振成像在内的小于500微米的高精度神经成像技术。王菁向财新记者演示了给猴子看电影时猴脑内神经反应实时变化的成像，这意味着人们已经可以在猴子执行感知和认知任务（如注意和记忆）时进行相关大脑功能网络的研究，从而在更精细的层面上了解大脑皮层的功能模块。

非侵入式脑机接口技术则持续在信号的获取和解码上发力。2019年6月，美国卡耐基梅隆大学生物医学工程系主任贺斌团队在期刊《科学-机器人》上发表研究论文，首次验证了用非侵入式的脑电设备控制机器人实现对随机目标的连续跟踪，同时通过脑电图源成像提高了无创神经数据的空间分辨率。在实际应用任务里，贺斌团队首次在人类受试者中证明了机械臂现在可以连续跟随光标。此前，非侵入式脑机接口让人类控制机械臂可以跟随移动的光标，但只能做不连续的离散动作——就好像机械臂是在“追赶”大脑的命令，现在则可以使机械臂以平滑、连续的路径跟随光标。

贺斌在前述论文提到，目前商业企业更可能选择尽量少的临床干预但提供高质量控制能力的非侵入式脑机接口设备，这能极大促进脑机接口技术在临床和家庭环境中的应用。

“我的梦想一直是让脑机接口成为普通人可以使用的技术，成为由我们思维控制的重要辅助设备。这也是为什么我们选择无创脑机接口的路径，因为它可以帮助的人群更加广泛，除了神经系统疾病的患者，健康人群也可以受用。”贺斌表示。

在韩璧丞看来，非侵入式脑机接口产品进入产业化可能经历三个阶段：第一阶段为原有场景下的设备升级，比如更换或者升级现有医院和研究机构中已投入使用多年的脑电设备，这些设备常用来训练儿童或者给老人做检测；第二阶段为小场景切入，即选择一些痛点，比如睡眠质量监测、注意力提升等切入，安徽医科大学生物医学工程学院副教授卜俊杰团队曾开发了一种封闭式的神经反馈训练来帮助戒烟；第三阶段，随着整个市场的规模扩大，分工将更细化，一家企业可以不用“既做科学又做技术又做硬件又做手术”，整个领域将形成更成熟的分工体系。

认知层面的瓶颈

虽然脑机接口设备的升级路径和愿景明确，但人们对它的认知升级的进程却暂时“受阻”，这是因为人类对大脑的认知还处于盲人摸象。可以说，目前脑机接口应用层面的技术在“知其然”维度上发展，而在“知其所以然”层面却还处在一片迷雾中。

自上世纪起，科学家在大脑活动及其对人类行为的贡献方面取得了许多研究进展。尤其上世纪70年代“神经物理学”（Neurophysics）诞生，此后科学家对脑科学的研究几乎都有物理

学领域的帮助。比如，电磁学的基本原理帮助建立了神经元的理论模型和动作电位的传递；热力学原理则在预测大脑如何采样环境（行为）或改变它编码的信息分布（感知）时起了重要作用。但到目前为止，仍然没人能解释电信号和化学信号在神经元之间的传递，是如何导致人们产生感觉、情感和决策的。

越来越多的人开始怀疑传统的科学方法可能无法解开这一谜题。这里所涉及的一个本质性冲突在于，意识问题与常见的科学问题存在根本不同，意识是无法观测到的，科学家们无法通过透视一个人的颅腔来“看到”他们的感受和经历，也没有办法通过间接的手段从“上帝视角”进行观察，那么在传统科学的框架里就没有根据去假设意识的存在。

科学家已经在较为宏观的层面破解了脑部的哪些区域具体负责哪些感觉和意识等，但这只是“通关”的第一把钥匙。人们将大脑的断面分为大脑白质和灰质（即大脑皮层）。大脑皮层神经细胞聚集的回路复杂，负责高级认知和情绪功能。根据空间位置，大脑皮层可以分为额叶、顶叶、颞叶、枕叶。额叶在高级认知功能中负责学习、语言、决策等；颞叶负责听觉、嗅觉、高级视觉功能（例如物体识别）等；顶叶负责躯体感觉、空间信息处理等；枕叶负责视觉处理。小脑则是人脑下方的独立结构，在大脑半球之下，可以对运动的动作进行微调，影响运动的协调性和准确性。脑干位于大脑下方，小脑前方，负责调节复杂的反射活动，包括呼吸、心跳，对维持生命有重要意义。

但具体到某一部分神经元与某一种认知或感觉功能的对应，一个功能并不由单个神经节点来表达，而是通过神经网络（network）表达的，一整个网络代表了一个功能，某个网络可以解释认知功能或者视觉理解等。在脑机接口上，王菁希望达到的是通过刺激一个节点来激活一个网络，比如如果想激活视觉理解，就可以刺激负责视觉理解这个网络中的某个节点。

“现在的研究重点在于，网络中的某一个节点与另一个节点之间的区别是什么。这就是语境问题（context）。”王菁向记者举例，“比如说我第一次见到你，恰好今天是个晴天，我感觉很开心，我觉得你是个很好的人；但另一种情况下，我第一次见到你，天在下雨，那天我感觉不太好，我就觉得你可能没有那么好。所以即使刺激是一样的，我们的解释却可能是不一样的。这就是神经网络研究的一个方面，即解释与情境之间的依赖关系。”

“事实上，即使你记录了大脑的每一个细胞活动，你也不会明白大脑是如何工作的。就像世界上有这么多人，你知道每个人的名字，可是你还是不了解这个社会是如何工作和协调的。”王菁介绍，比如遗传、发育和进化起源、神经解剖结构、大脑功能特化等大量领域的证据显示，大脑皮层中柱状组织无处不在，这种所谓的皮质柱也被一些脑科学家认为是大脑皮质的基本功能单位，与视觉、听觉、人类语言、理性等高等功能有密切关系。因此，皮质柱既是大脑的计算和数学结构的一个特征，也是一个制约因素。她认为脑机接口设计从一开始就应该以脑图为主要约束条件进行开发，但目前领先的脑机接口设计，包括Neuralink的设计，都是基于将电极插入大脑，未考虑这些基本组织单元的位置和功能。

纽约大学格罗斯曼医学院神经科学与生理学系Biggs神经科学教授格尔基·布扎基（Gyorgy Buzsaki）也认为，目前人们对于脑机接口设备的发展通常有一个明确的目标，或者至少在运动控制层面有具体目标，比如要移动机器人执行某个日常任务。但实际上，我们不能这么去理解大脑，“因为我们甚至不知道大脑的‘目标’是什么”。

尽管人类对大脑的认知还处于盲人摸象的阶段，科学家们还是在现有框架内尽可能地做了许多尝试。有神经科学家提出，随着人们对大脑内部连接的实际测量越来越精准，一个重要的研究方向是在不同的时间和空间上桥接大脑的网络结构。通过跨尺度的集成，或许可以从底层开始一点点往上层理解系统中每个部件连接方式的架构。



业内人士指出，脑机接口设备在工业层面的发展方向较为明确，其目标是长期且稳定的接口、设备的小型化和遥测等。

“所谓的编码和解码本身并不是一件神秘的事情，它只是发送方和接收方之间的协议。信息并不单独存在，也不存在于发件人自己的发件箱中，它只有在被接收者解释时才成为信息。”在布扎基看来，每一个信息在发送方和接收方之间交换的系统中，信息需要被打包，人类使用的语言中，通过将字母连接成单词、单词连接成句子来完成信息的打包，而不断的变化组合，使得人们只需要一些基本的字母就可以组装出数万个单词，从而传达人类的全部知识。这些打包规则或语法规则允许从有限数量的元素生成无限的信息。对于大脑，人们能看到发件箱和收件箱里的内容，但尚未弄明白传递时“信息打包”的规则。

脑科学家们正在寻找大脑的语法规则。一种看法认为，大脑是有节奏的，它们形成了一个精心编排的互动系统。由此带来的推测是，振荡周期极有可能是构成“神经元字母”的候选，从而组合成神经元单词和神经元句子。同样以人类语言作类比，人们可以以口头方式交流，是因为语言体系下口头信息的包装方式具有同样的节律性，比如大约每秒钟发4次元音声，每秒能说一个典型的单词。其节律性相同，人们就可以识别出语言体系中的口吃者，即使语言不通，一个单词都听不懂，但因为口吃者违反了信息包装的规则，所以可以被识别出来。这一机制或许与解码大脑感知节奏的方式类似。目前也有多个研究小组正在研究识别与大脑节律有关的大脑神经元内容。

“开发脑机接口是一个工程的问题，了解大脑则是一个科学发现的问题。发现之旅通常是坎坷且无法预测的。”布扎基总结道。

机器学习能救场吗

新的工具是否能为脑机接口领域的发现之旅提供更多帮助？答案是肯定的。多位专家表示，不管是侵入式还是非侵入式技术，机器学习算法已经取得的进展都能帮助人们更好地解码人脑的意图。“机器学习的很多能力是我们之前从未想象到的。”贺斌表示。

华中科技大学脑机接口与机器学习实验室副教授伍冬睿告诉财新记者，机器学习是神经解码领域广泛应用的必备工具，最新的机器学习方法如迁移学习和深度学习，大概是从2010年以后开始进入神经解码应用领域的。

若将脑机接口视为一种模式识别系统，在信号预处理、特征提取和模式识别这三个最主要的方面，机器学习均有贡献。信号预处理上，目前能够采集到的脑电信号仍然存在信号幅度微弱、噪声干扰大、信噪比低等问题，在解码前需要去除“噪声信号”，也就是在预处理后提取出较为纯净的脑电信号。

提纯后的脑电信号可以进行特征提取。不同的思维活动会生成不同的大脑信号模式，特征提取的任务就是从记录的脑电信号中提取出能反映大脑思维状态的信息。要解码脑电信号，首要考虑的便是如何提取最有效的特征以及该特征有什么样的特性。

“找特征是解码的关键和核心。”杨帮华表示，以运动想象为例，想象左手运动时，大脑右侧特定位置的能量会降低，左侧能量会略微升高。相反，想象右手运动时，大脑左侧特定位置的能量会降低，右侧会升高。“这就叫特征。找特征的难度是最高的，不同的任务需要找不同的特征，方法也不一样。”

大脑的运作精密复杂，信息的传递需要靠多个神经元协作完成，且在连续的时间上要获得不同维度的信号，因此脑机接口大多使用的是多通道测量脑电信号。这样获得的脑电信号数据量大，而且脑电信号本身具有的非线性、非平稳性等特征使其具备高维特性。要从这样复杂混沌的脑电信号中剥离出与研究相关联的信息，就需要采用降维特征提取的技术，例如主成分分析（PCA）或独立成分分析（ICA），来去除冗余信息，从而降低计算成本。脑机接口应用中常用的特征包括时域、频域和空域等，不同的特征采取不同的特征提取方法。

除了降维特征提取方法，另外还有空域特征提取和频域特征提取等方法。以空域特征提取为例，因为非侵入式的脑电图信号往往表现出较差的空间分辨率，通过空域特征提取就可以优化脑电波信号，从而获得更高信噪比的特征信号。

将不平稳、高变异且充满噪声的脑电信号解码出有意义的信息是非常困难的，而深度学习具有从高维数据中提取特征并分层学习的能力，这在计算机视觉和自然语言处理领域也取得了实际应用。脑电信号的数据集是高维的，具有大量参数的深度学习模型或许可能直接学习原始的脑电信号。

“深度学习是分层的，就像你认识一个人，他的脸是长的、方的还是圆的，眼睛是大是小，皮肤是白是黑，深度学习就模仿人可以认识事物的多个层面。”杨帮华解释道。

另一方面，尽管深度学习为突破解码瓶颈带来一丝希望，但深度学习的网络需要大量样本

训练，这也是现在脑机接口技术所缺乏的。由于侵入式脑机接口要进行开颅手术，科研人员难以得到很多人体试验机会，导致目前脑机数据样本量偏少，加上每个人的身体情况都不一样，凭最后采集回传的信息很难得到精确的判断。据韩璧丞统计，截至目前可能只有不到100人的样本信息，而这些人当中大部分患有疾病。出于伦理、隐私等问题的考量，非侵入式技术发展获取数据也并未形成一个标准的、有共识的路径。

机器学习还需要大量神经元活动的数据输入进行训练，但目前又缺乏这些大数据。面对这个难点，伍冬睿向财新记者表示，除了尽量采集大量数据，先进的机器学习方法也可以用来大幅降低所需训练数据量，比如迁移学习。

单个用户的训练数据可能不多，但是可以借用来自其他用户的数据——不同用户的数据可能不完全一致，但还是有可以互相借鉴的信息。迁移学习可以用来找出其他用户数据中对当前用户有用的信息，等效于增加了对当前用户的训练数据量。

以最常见的脑电图为例，其信号很微弱，容易受到身体其他电信号和外界环境的干扰，且具有很大的个体差异，是非平稳的。也就是说，同一个受试者不同时间的脑电波信号会有差异，所以很难设计一个脑机接口系统，其机器学习模型参数固定且对不同受试者、不同脑电帽和不同任务都最优，通常需要对新受试者、新设备和新任务进行校准。但校准过程费时费力，对受试者不友好，所以缩短或消除校准过程对于脑机接口系统的推广应用非常重要。迁移学习的主要思想是通过相似或相关的其他受试者、设备或任务的数据，来帮助当前受试者、设备或任务进行校准。

但迁移学习也不能保证总是有效的，特别是在新用户数据量特别少的情况下。伍冬睿认为，很难判断哪些其他用户的数据对新用户有效，可能会导致负迁移，在这样的情况下，借用其他用户的数据反而不如不用。

目前华中科技大学脑机接口与机器学习实验室的一个主要研究方向就是脑机接口中的迁移学习，以及如何克服负迁移。

“机器学习非常有用，可以帮助你更快、更好地解决问题，不过我们还需要进一步将机器学习和神经科学结合在一起。”王菁说。[财](#)

视频说明：马斯克计划2020年进行脑机接口人体实验，称若人体实验成功，将对大脑疾病的治疗很有帮助，并希望该创新能确保人类文明未来与AI抗衡。

[《财新周刊》印刷版，各大机场书店零售；[按此优惠订阅](#)，随时起刊，免费快递。]

版面编辑：刘潇(ZN028)

 加关注 767.9万

 分享到微信朋友圈

 分享到新浪微博

上一篇：[财新周刊航运碳减排巨震](#)

下一篇：[财新周刊“人造太阳”里的中国角色](#)