脑神经计算建模揭示前额叶皮层不同类型中间神经元在信息维持中的作用

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/8828.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

尽管占比相对锥形神经元数量少，但是中间神经元在大脑皮层实现认知功能中的作用却不容小觑。中间神经元的显著特点就是种类丰富，因此对不同类型中间神经元在特定认知功能的分工作用的探索是揭示智能机制的关键之一。中国科学院自动化研究所类脑智能研究中心曾毅团队将前额叶皮层（prefrontal cortex，PFC）中的中间神经元依据形态学特征进行计算建模，发现负责局部抑制的短程连接中间神经元在维持信息准确率上至关重要，而负责远距离抑制的中间神经元的缺失，则使输出信息发生了扭曲与空间形变。与此同时还发现新皮层以结构相似的功能柱进行紧密排布这一特点看似冗余，但在关键中间神经元缺失的情况下，却能够维持网络稳定性，极大提高了网络在认知任务中的鲁棒性。相关研究工作为研制新一代类脑神经网络提供了创新源泉。这项工作是课题组独立完成的研究成果，相关工作3月13日发表在Nature旗下期刊*Scientific Reports*上。

文章第一作者、副研究员张倩介绍：目前对新皮层的中间神经元在认知功能环路中的作用仍然知之甚少。研究人员优化已有的功能柱模型，构建了从神经元类型到网络连接全部基于神经生物学实验数据的双层精细PFC神经网络模型。依据轴突的几何形态学对种类丰富的中间神经元进行划分，其中主要负责本地连接的中间神经元(local-layer connection interneurons，LL-INs)由吊灯细胞（chandelier cells，ChCs）组成，跨层连接的中间神经元（cross-layer connection interneurons，CL-INs）由双极型细胞（bipolar cells，BPCs）和双花型细胞组成（double banquet cells，DBCs），而负责跨层以及跨功能柱等长程连接的中间神经元（long-range connection interneurons，LR-INs）则由大型篮状细胞（large basket cells，LBCs）和马提诺帝细胞（Martinotti cells，MCs）组成。

研究人员让单个功能柱内短程到长程连接的中间神经元依次缺失，发现它们对信息维持准确性造成的影响是完全不同的。负责局部抑制的中间神经元缺失，增加了图像信息维持任务的噪点，降低图像输出的准确性。负责远距离抑制的中间神经元缺失，则使输出图像发生了扭曲，当跨层连接和远距离连接的中间神经元同时缺失，输出图像的扭曲程度也变得更加严重。这证明不同类型中间神经元在信息传递过程中发挥的作用是完全不同的。

张倩介绍道：如果给这一功能柱多次输入刺激，发现局部抑制中间神经元在维持网络稳定性中发挥着重要作用，一旦缺失，网络就陷入异常放电的瘫痪模式，类似于癫痫病人的脑网络活动状态，输出信息的准确性最低仅有27.34±3.62 %。在此情况下，仅增加一个功能柱，就能恢复网络的功能，输出的准确率得到明显改善，最高能达到89.56±0.61%。继续增加功能柱的数量到4个，准确率仍有上升空间。显然这是因为功能柱之前的长程抑制弥补了局部抑制缺失对网络造成的影响。由此推断新皮层功能柱结构相似、排布紧密这一特性，能够在脑组织部分受损的情况下维持网

络的正常输出功能，提高了整体的鲁棒性。

研究员曾毅说：“可以看到，数亿年的演化使得大脑皮层的组成部分在多尺度通过不同结构与机制的融合尽可能确保系统的鲁棒性和自适应性，这是类脑人工智能模型非常值得借鉴的启发。最开始出现的哺乳动物大脑皮层结构并没有这么复杂，相对来说也没有这么多的看似冗余的设计，但是可以看到，这种看似重复冗余的结构实质上对提升智能与认知功能的稳定性发挥了极大的作用。哪怕由于疾病等原因，致使特定类型的神经元、局部神经组织受损，还是可以依赖于这种看似冗余的设计较好地维持认知功能。鲁棒性和自适应性是演化中的生命系统具有的最重要特征之一，‘适者生存’是达尔文进化论的核心，也是智能的根基。”

大脑的新皮层是模块化的，虽然层次结构上具有高度相似性，但是种类丰富的中间神经元让连接的类型变得多样化。有的中间神经元平衡网络的兴奋性，有的则调节网络增益，引发节律产生。该研究集中讨论不同中间神经元在与记忆有关的信息维持认知功能中发挥的不同作用。未来研究人员希望继续探索中间神经元在前额叶参与的更多高等认知功能中的分工，例如推理、决策等。这一工作是探索前额叶皮层参与高等认知知功能环路的重要组成部分之一，相关的工作更是构建类脑神经网络重要的启发。脑神经网络模拟与计算建模为研究大规模生物神经网络的特性提供了计算验证的平台，这些特性往往在局部小规模网络上是难以实现的，例如多模态信息整合、节律的层次化传递等。此外，计算模拟平台为进行生物实验难以验证的科学假设提供了有力的支撑工具，并将为研制新一代类脑神经网络提供创新源泉。

文章链接

图1 PFC网络框架示意图

图2 不同类型中间神经元缺失的输出结果（A-E）和准确率统计分析（F）

图3 多次刺激下不同类型中间神经元缺失情况下网络的输出（A）与准确率统计分析（B）

图4 多功能柱网络局部抑制神经元缺失下网络的输出（A，C）与准确率统计分析（B）

研究团队单位：自动化研究所

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发