
向人脑学习，他们希望走通“0”到“0.1”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/30604.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！

向人脑学习，他们希望走通“0”到“0.1”

。作为一名凝聚态物理学家，复旦大学微纳电子器件与量子计算机研究院院长沈健，十分擅长挖掘材料中新奇的特性：纳米磁性、自旋电子学、低维物理、复杂体系强关联效应.....

但多年的科研工作，也让沈健产生了一种割裂感。一方面，从石墨烯到纳米管，从钙钛矿到超导体，越来越多材料在实验室中涌现，但迈不出成果转化的“第一公里”；另一方面，不少行业对更低成本、更高性能的材料有着日益迫切的需求，却很难找到“颠覆性”的新材料。

现在，有一种应用场景，或许有机会拼接起凝聚态物理基础研究和应用之间的沟壑，那就是物理神经网络，即利用物理体系中丰富的特性，模拟人脑神经元之间的相互作用，实现无需外部干预的自主学习。

人工智能新瓶颈

1956年，人工智能的概念首次在美国达特茅斯会议上被提出，此后的发展经历了几次起伏，每一次的“起”都伴随着认知和技术的突破，每一次“伏”都受限于瓶颈问题无法攻克。

1993年以来，随着计算机性能提升、大数据积累以及深度学习技术发展，人工智能迎来了第三次浪潮。发展至今，人工智能已深刻影响从基础研究到日常生活的方方面面。

与此同时，危机也隐隐浮现。现代计算机的基础是二进制符号的操作，并在此基础上发展出了配套的芯片和算法等。然而，随着摩尔定律逐渐逼近极限，芯片工艺发展速度明显放缓，成本不断增加。与此同时，人工智能的快速发展和广泛应用，对计算速度和算力提出了新的要求。

值得一提的是，从长远来看，能耗将成为人工智能发展更为根本的限制。原因在于，现有的人工智能实现方式依赖于传统冯诺依曼架构，通过“0”和“1”的操作在图灵机上“模拟”人工神经网络的计算。

这种方法实质上是用高精度的逻辑计算来处理仅需低精度的人工智能任务，导致计算架构在处理此类信息时效率较低。沈健介绍，这一问题在现代大型神经网络处理数百甚至上千亿权重时表现得尤为突出，导致对算力和能源的需求急剧攀升。因此，实现低能耗的大规模智能计算已成为信息领域亟待解决的关键科学问题。

按“脑”索骥

不同于传统计算机，人类的大脑可以在有限的体积和非常低的能耗下，完成非常任务的“计算”过程，无论是自主学习、快速识别信息还是记忆。

据估计，利用现代超级计算机训练自然语言处理模型时每小时耗电约1000度，而这足够人类大脑运行六年。

是否可以将大脑的这套运算方式用于智能计算中？幸运的是，现有的凝聚态物理材料，就像无数种乐高积木，我们总可以选取合适的体系，拼装成最终需要的系统。

“人脑实在是太复杂了，我们不太可能找到一个跟人脑一模一样的物理体系，但我们可以根据人脑的某一种特性，找到符合条件的材料，去做进一步的探索。”沈健表示。

以拍照为例，哪怕现在最好的相机，也无法完美保留所有细节，尤其是在夜间或者大雾等会光线不足的情况下，更难以得到高质量的照片。与机器不同的是，人眼可以适应不同的光线，轻松聚焦，同时看远处的景色也不会“虚”。

沈健解释：“现在学术界对于视觉成像已经研究得比较清楚了，很自然地，我们就想到了利用视网膜工作的机理，找寻合适的物理体系，使其能够通过自适应的物理过程对接收到的信号进行预处理。”

在沈健的设想下，待此硬件架构发展成熟，手机就能直接拍出经过预处理的照片（如降噪、细节增强等），而无需再花很多时间通过软件“P图”了。

“尽管理论上可行，但这必然不是短期内可以实现的。首先，将这些物理体系转化为高集成度、低成本的芯片并规模化生产，便是一项巨大的挑战。”沈健坦言，“此外，这将是一种全新的计算范式，还需要与硬件配套使用的算法、软件等等。”

“单项冠军”

沈健强调：“当前最重要的，是找到一个可落地的应用场景。在这个场景下，这一全新物理体系可用于解决现有架构无法解决的问题，或花费更少时间、使用更低能耗解决同样的问题。”

事实上，这也是目前正在推进中的新计算范式面临的共同挑战。人工智能已经发展了几十年了，但直到AlphaGo、AlphaFold的出现，才开始受到广泛关注，ChatGPT问世，更是掀起了一股前所未有的热潮。

“我们要找的，正是为某项任务而生的材料体系。”沈健表示，“现有的通用计算机，可以认为是‘全能冠军’，能够借助于软件和算法，处理多种任务，但这也意味着，它在每一项具体的任务上都不是最佳的。”

在沈健看来，团队正在搭建的低能耗智能计算体系，将是“单项冠军”，即在特定任务上远远优于现有的计算架构。因此，这种新型体系并不会完全取代现有的通用计算机，而是优势互补，在各自合适的路径上发展。

目前，团队已经找到4种物理体系，显现出潜在的应用价值。除了图像处理领域，联想记忆也是一个潜在的突破口。

“现在的类脑计算，其实还不具备自主学习的能力。”复旦大学微纳电子器件与量子计算机研究院青年研究员余伟超解释，“假设我们要让一台类脑计算机记下一篇文言文，必须先做一个‘外科手术’，打开它的‘大脑’，再把这篇文言文的信息翻译成神经网络中的权重值，找到类脑计算机中每个对应的神经突触并小心翼翼地对其进行编辑，它才能‘记住’这篇课文。”

与之相反，人脑则可以通过自主学习，记下这篇课文，而无需经历“开颅”的过程。团队找到了一种特殊的磁性薄膜，在接收到外界的刺激后，物理系统内部就会发生自然演化，进而实现物理神经网络中权重的自主调整。

进一步实验证明，该体系可以完成联想记忆的任务——经过训练，当把图片的一部分输给它时，它能推演出图片的完整内容。“好比我有一个朋友张三，不管他是戴了墨镜还是戴了口罩，都能认出来。”沈健说道。

走出“象牙塔”

人工智能的发展，有两条并行的线。

一条线是大众比较熟悉的AI for Science。以物理学研究为例，科学家们积极拥抱机器学习技术，并将之用于希格斯粒子的发现、引力波测量噪声的减少、系外行星的寻找、分子和材料性质的计算等领域。

另一条线则是Science for AI。从历史发展来看，物理学的基础理论为机器学习技术的发展做出了重要贡献。2024年获得诺贝尔物理学奖得主约翰·霍普菲尔德，在20世纪80年代利用物理学中磁性材料的自旋特性，构建了一种特殊的人工神经网络模型，后来被命名为霍普菲尔德神经网络。

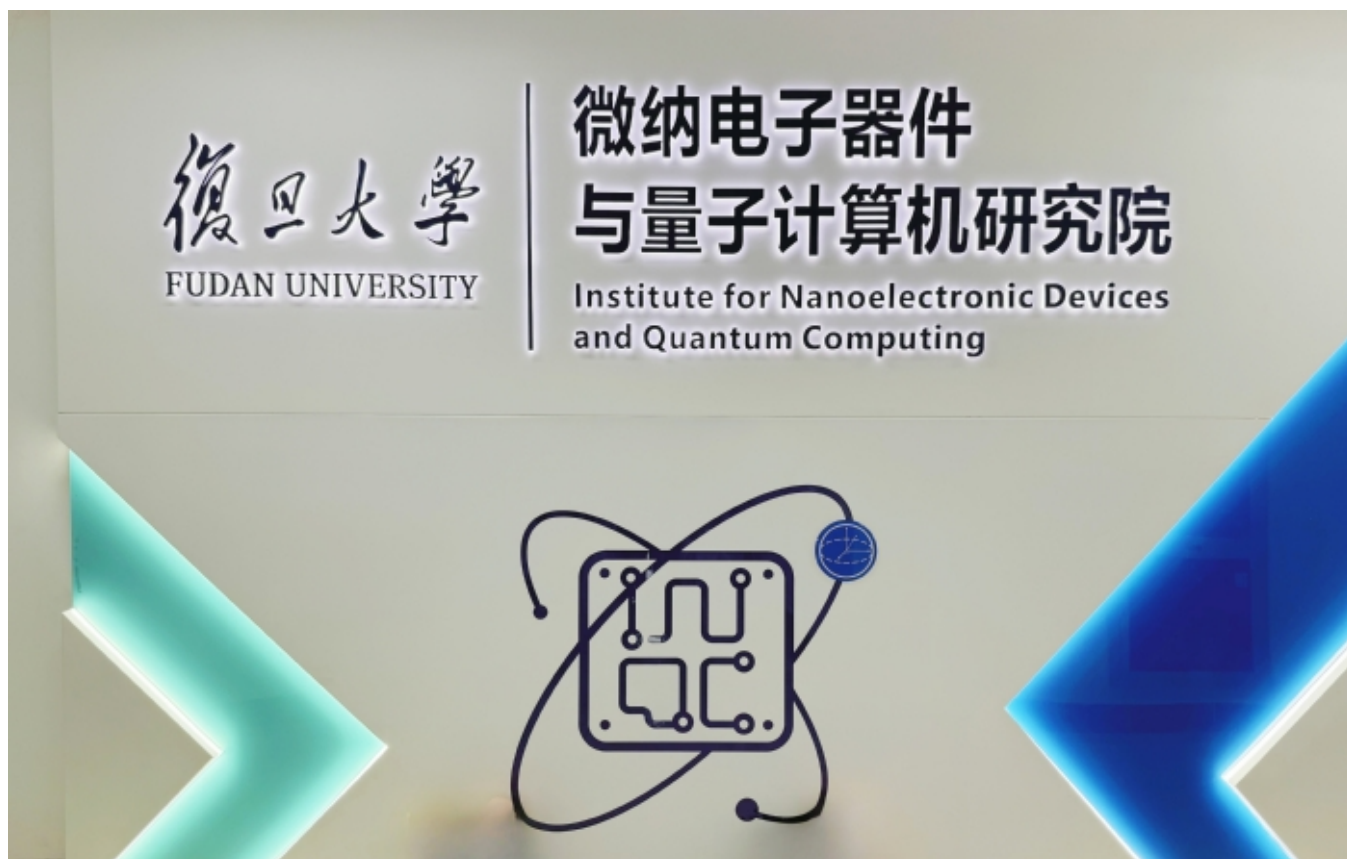
“物理学与人工智能之间存在着深刻而密切的联系，跨学科的融合也带来了双向受益。”沈健表示。

在能耗问题制约人工智能进一步发展的今天，基础物理的突破性发现无疑是解锁这一困境的关键所在。

而对于凝聚态物理领域的科学家而言，将不同的元素搭配组合，从中发现有趣的物理现象，解决科学问题，是刻在基因里的本能。经过多年的发展，他们发现了数以万计的奇特材料，遗憾的是，这些材料大多数被封存在实验室的样品库中，或停留在文献的报道中，尚未迈出关键一步，以实现其实际应用的价值。

“这关键一步，只有科学家能迈出。”沈健解释，“其中涉及到很多前沿理论和物理原理，对于工业界人士来说，直观理解便颇具挑战性，更何况是将这些理论转化为实际可用的产品和技术。”

2017年，沈健决定迈出这一步。他牵头成立了复旦大学微纳电子器件与量子计算机研究院，集合了物理、材料、微电子等不同学科领域的科学家，以期通过跨校协同创新式合作，构建新一代高效智能计算芯片，为可持续智能计算的发展开辟新途径。



复旦大学微纳电子器件与量子计算机研究院。图片由受访者提供

?

围绕“面向低能耗智能计算的材料和器件”这一“大课题”，团队目前已取得了系列成果：他们提出了基于物理物理过程的自主学习机制，深入探讨了在不同物理体系构成的物理神经网络中实现自主学习的最新进展；基于磁性薄膜体系构建四节点霍普菲尔德神经网络并完成了联想记忆和可重构自旋逻辑等功能，实现了网络权重通过物理体系演化自主调整；基于锰氧化物纳米线构筑具有高度稳定性的概率比特，证实其在贝叶斯网络推理中表现优异，为构筑物理玻尔兹曼机提供基础.....

“事实上，我们目前做的依然是基础科学研究，但我们的目标更明确。要实现类脑计算这个‘1’太难了，但是我们可以先走出‘0’到‘0.1’‘0.2’这一步。”沈健告诉《中国科学报》。

作者：江庆龄 来源：科学网

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

本文版权归作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://iikx.com)转发