

# 迎接MoNETA——将比我们更聪明的类脑芯片 新型机器脑\*

作者: 马斯密里安诺·佛赛斯 本·查德勒

译者: 史忠植

关键词: 机器脑 MoNETA 忆阻器

如果你以前听人说过: 在不远的将来, 我们将能制造出像人类那样的机器, 它不但可以学习、推理, 甚至可以像人类一样情感化地处理问题, 那就打断我们吧。

如果你曾经对人工智能感兴趣, 你会发现承诺被无数次打破。追溯到20世纪60年代, 当时最新的发明——晶体管, 曾经促使人们做出极其振奋人心的预测——机器会在20年内比人类更聪明。现在50多年过去了, 看起来我们能做的最好的也就是自动化的语音技术支持, 那种一如既往的超自然平静的语调往往会让拨打电话的人干脆放弃呼叫。

所以, 当我们说我们已经拥有了可以实现真正意义上的人工智能技术的时候, 您凭什么要相信我们呢? 是因为MoNETA, 在一个芯片上的大脑! MoNETA (模块化的神经探索搜索主体, Modular Neural Exploring Traveling Agent) 是我们正在美国波士顿大学认知和神经系统学院设计的软件, 它将运行在美国加利福尼亚惠普实验室研发的类脑 (brain inspired) 微处理器上, 其工作原理正是那些把我们哺乳动物与无智商的高速机器区别开来的最基本原则。MoNETA (正好是罗马神话中记忆女神的名字“莫内塔”——很有趣, 不是吗?) 会做其它计算机从未做过的事情。它将感知周围的环境, 决定哪些信息是有用的, 然后将这些信息加入到逐

渐成形的现实结构中; 而且在一些应用中, 它会制定计划以保证自身的生存。换句话说, MoNETA将具有如同蟑螂、猫以及人所具有的动机。

由于传统硬件对布尔逻辑的强关联性以及存储和处理过程间的巨大分离, 数十年来研究者们一直存在怀疑, 认为真正的人工智能不能在传统的硬件上实现。但直到大约两年前, 惠普研制了一种称为忆阻器 (memristor) 的新型电子器件之前, 这一认识几乎一直没有发挥什么作用。在忆阻器出现之前, 构建具有像大脑那样的形状因子 (form factor<sup>1</sup>)、低功耗和内部实时通信的结构是不可能的。这三个因素是构建一个类似脑, 并可以通过训练使其像脑一样工作的装置的关键。如此说来, 形态即功能, 或者更准确地说, 没有形态就没有功能。

基本上, 忆阻器足够小, 足够便宜, 并且效率让人满意。最重要的也许就是, 其类似神经突触的关键特性。这便是为什么它们将为焕发名副其实的人工智能起到关键的作用。

这个人工智能新技术的研究得到美国国防部高级研究计划局 (DARPA) 的资助。当类脑微处理器研制成功的时候, 它可能将首先应用在美国军方, 用以代替承担搜索路边炸弹或在敌占区侦察任务车辆上原来无法用机器替代的人员。但是我们不期望花费大量的时间而仅局限在一点上。五年内, 功能强大

\* 译自IEEE《Spectrum》2010年第12期文章 The Brain of a New Machine。

<sup>1</sup> 指在一定功能下机器的大小。

的类脑系统将运行在低成本、随处可得的硬件上。

有多大程度像脑？我们不能肯定。但是，我们预期MoNETA在未来的一二十年内给电子工业带来的变化会十分惊人。

**人工智能**在过去的半个世纪还是有許多变化，即使我们还未获得被某些人认为已经实现了的类人助手。计算机通过互联网诊断病人。高档的汽车帮助你防止越线。Gmail的优先权收件箱可以给予你的电子邮件合适的优先权。

但是，即便是最友好的智能系统也需要事先精确显式编写程序，以执行每一个具体的任务。我们想要的是一种可以松散地锁定于任何问题的、通用的智力；它不需经常训练即能适应新的环境；它能从卷帙浩繁的信息中梳理出重要的片段，如同人类在几百万年的进化过程中学会的那样。

想象一下，由MoNETA支撑的军用侦察车辆，它能够执行一个只知道部分目标，且目标会突然改变的任务。它能够穿越不熟悉的地形，辨别出一个表明敌人活动的模式，构造一个新的计划，然后尽快离开敌方控制的地区。如果道路被堵塞，它可以立刻做出决定，离开道路返回。直觉，模式识别，即兴创作，模糊权衡能力，这些都是哺乳动物脑所能够很好地进行的活动，而今天的微处理器和软件做起来则一塌糊涂。

拿IBM制造的重1.4吨的，1997年曾和当时的国际象棋冠军加里·卡斯帕罗夫对局的超级计算机——深蓝来说，在前若干年里，卡斯帕罗夫已经5次战胜深蓝的前辈。在紧张的系列比赛中，各自获胜一次，平局三次，在第六局中，深蓝最终战胜了卡斯帕罗夫。尽管如此，深蓝算不上有智能。为了击败卡斯帕罗夫，它的专用硬件只不过是使用穷举战略，每秒计算2亿次可能的“招数”。在相同的时间内，卡斯帕罗夫只能粗略地计划两步。

在其后的10年里，计算能力猛增：到2007年，那台1.4吨的巨型计算机的处理能力已经可以放进一个大拇指盖大小的“细胞（Cell）”微处理器中。在这十年内，晶体管数量已经从英特尔奔腾II上的750万个跳跃到“细胞”上的2.34亿个。但是计算

能力的爆炸并没有使得人工智能更进一步，由美国国防部高级研究计划局提出的“大挑战（Grand Challenge）”已经充分证明了这一点。

美国国防部高级研究计划局发起的这个挑战计划目标是创建自主车辆，能自主行驶，无须人工干预。当斯坦福大学队用大众途锐（Volkswagen Touareg）改装的斯坦利（Stanley），自己行驶了212公里（132英里）穿过美国加利福尼亚的沙漠时，获得了200万美元大奖。这一胜利被（又一次）归功于人工智能。人工智能取得了大的跃进。

实际事情没那么简单。美国国防部高级研究计划局在挑战的下一个阶段提高了目标，要求人工智能控制的汽车不只是征服完全开放的沙漠，还包括繁忙的城市街道。2007年，美国国防部高级研究计划局邀请一些研究团队到乔治空军基地8天。那是一个位于加州维克托威尔的荒凉所在。这次，汽车必须在基本的交通条件下，根据美国加利福尼亚州法律驾驶，完成并线、超车、停车、通过十字路口等，这些内容是大多数美国青少年在16岁前就能做的事情。

结果令人反思。汽车装上了最尖端的传感器及定位系统，而有一次，14台刀片服务器在一些如面包盒大小的石头一样普通的障碍物面前束手无策。在几小时内，几乎一半的队伍因为在停车场乱跑或在挤到道路上同一车道时彼此冲撞等交通违规而被踢出了比赛。

**对比那些卑微的老鼠**，其生物智能利用通用的“湿件（wetware）”——生物化学的硬件和软件，即大脑——来解决类似汽车挑战赛的任务，结果会好得多。首先，一只饥饿的老鼠会创造性地探索食物。它可能会沿着熟悉的、记忆中的、从经验中学习而知道是安全的路线搜索，但是当它在环境里遇到各种各样的物体时，它还必须把出于不同感觉的信号整合。老鼠能认出类似捕鼠器之类的危险目标（即使以前从未从那个特定视角看见过），并且通常能够躲开它们。在吃完东西后，老鼠能迅速解除它当前的计划并且转向下一个有优先权的任务。所有这些充满着各种各样的复杂性的并发挑

战，对于机器来说是不可实现的。因为你不能把一台具有解决这些问题的能力计算机装进一辆比十八轮拖车小的车子里。那些决策是通过脑达成协议而完成的，脑是由分布在不同区域的数百万神经元和几十亿个突触组成的网络结构。老鼠的脑重量不足2克，而且仅凭相当于大约点燃一颗圣诞树灯泡的能量就可以工作。

老鼠的脑为什么如此高级？一句话，取决于它的结构。一只成年老鼠的脑由2100万个称为神经元（人脑有大约1000亿）的神经细胞组成。神经元通过树突和轴突彼此交互。你可以将这些卷须状物看作是单个神经元的输入（树突）和输出（轴突），它们把电脉冲从一个神经元传送到另一个。在神经系统里大多数的处理在神经元连接处执行。神经元的树突和相邻的神经元的轴突之间的连接称作突触。

一直以来，计算神经系统科学都在致力于构建可以运行在经典冯·诺伊曼的计算机体系结构上，模拟或者重复哺乳动物的脑的软件。冯·诺依曼体系结构将数据处理的地方与数据存储的地方分开，从20世纪60年代以来就是计算机体系结构的主流。研究人员过去认为，只要有功能足够强大的CPU，创建模拟脑的“软件”是一种合乎逻辑的结果。

但这种看法多少有点儿像是在说，“给予足够的词就可以创作一本小说是合乎逻辑的”一样。这里体系结构是关键要素。为了解原因，我们将常规微处理器中一个假设的数据比特通道与其在脑内部通道进行比较。

回想一下，在标准计算机中，存储器和处理器被一个在数据存储区域和数据处理区域之间的数据通道，或者说总线分开。固定的通道能力表明任何时刻只有有限数量的数据可以被“检查”和处理。处理器为了在计算时存储数据，配置有少量槽，称为寄存器。在完成全部必要计算之后，处理器通过数据总线将结果再写回存储器，还是利用数据总线。通常，这个过程不会造成问题：为了使固定容量的总线上流量最小，大多数现代处理器在扩大寄存器的同时使用缓存，以在靠近计算点的地方提供临时的存储。如果一个经常重复进行的计算需

要多个数据片段，处理器会将它们一直保存在该缓存内，而访问缓存比访问主存储器快得多、有效得多。

然而，高速缓存的架构对这种模拟脑的计算挑战不起作用。即使是相对简单的脑也是由几十亿个突触连结的几千万个神经元组成，因此，要模拟这样庞大的相互联系的脑需耗费与计算机主存储器容量一样大的高速缓存，这会导致机器立即无法使用。

为什么呢？对于这样一台模拟脑的计算机系统来说，绝大部分的计算和能量开销——计算机科学家称它为神经形态架构——是在模仿脑突触内发生的信号处理时产生的。事实上，仅仅是模拟一个突触，就要在机器内实现：

- 该突触的状态位于主存储器（所谓突触的状态即来自神经元的类似于信号的输入得以通过的可能性有多大，这是决定任何两个神经元之间关联强度的主要因素）。

- 为了改变突触的状态，处理器必须包装电子信号，以便在主总线上传送。信号必须在彼此间隔为2到10厘米的物理存储器之间穿行，然后解包，真正实现对所要求的存储单元的访问。

单个老鼠神经元的突触数可能最多有8000个，现在将上述单个突触模拟产生的序列乘以突触数目，然后乘以你正在模拟的脑中的神经元数量，得到的结果量级为数十亿。祝贺你！仅仅成功地对1毫秒的脑活动进行了建模。

生物脑可以在很小的空间中，快速并行地处理海量信息元，因为它已经通过进化形成了海量的快捷连接。下面是脑里发生的事情：神经元1发出一个脉冲，结果信息被发送到轴突，传递给它的目标，即神经元2的突触；神经元2的突触，已经在本地储存了它自己的状态，它通过将此信号与自己以前的状态整合和它与神经元1之间联系的强弱来评价从神经元1发来的信息的重要性；然后，这两组信息（来自神经元1的信息和神经元2的突触的状态）通过树突流向神经元2的主体。这里有一个重要的部分：当信息到达神经元2的主体时，只有一个单一的值——所有的处理过程已经在传送的过程

中进行了。对于脑来说，从来不需要将信息从任何一个神经元中取出，花费时间处理它，然后将它返回给一个不同的神经元的集合。在哺乳动物的脑子里，存储和处理发生在同时同地。

人脑运行时只消耗相当于点燃一只20瓦特灯泡的能量的主要原因就在于这一点。即使在最先进的巨型计算机上再现脑的功能，也需要一座专用的电厂。当然局部化不是唯一的差别。脑拥有一些我们还不能再现的有效率的元件。最关键的是，脑可以在大约为100毫伏电压工作。但是对于互补金属氧化物半导体（CMOS）逻辑电路，则需要高得多的电压（接近于1伏特）才能使其正确运作，而更高的工作电压意味着在电线传送信号的过程中会消耗更多的能量。

基于目前的硅技术，复制上述的结构并不是不可能。一个真正的人工智能也许可以在常规的硬件上运转，但是其效率会极低。无效率的硬件并不阻止我们运转神经形态算法（如，机器视觉），但是为了处理并行计算，我们可能需要巨大的高性能的图形处理单元（GPU）集群来执行并行计算。这也许会带来相当于一座中西部大学城的电力需求。

那么如何构建类脑体系结构？这里列出美国国防部高级研究计划局的“招数”：改变体系结构，使记忆与计算融合。忆阻器是实现这一任务的最佳技术。因为它是首个具有足够的能耗效率和密度的存储器，可以与生物计算记忆技术匹敌。采用这种器件，我们有信心可以构建一个接近哺乳动物脑大小和能耗的人工智能。

部分是为了绕过基于无效硬件（dumb hardware）来构建“假”智能的愚蠢做法，美国国防部高级研究计划局在2008年开始了一个名为SyNAPSE（Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics）的计划。这个时间恰到好处。那一年，惠普实验室研制了功能忆阻器，它被誉为是继电阻、电容、电感之后的第4个基本的电子元件。这个概念并不是新的。1971年，美国加州大学伯克利分校的教授蔡少棠（Leon Chua）就推测，忆阻器会表现得像一个电阻，其电导变化是其内部状

态和外加电压的函数。换句话说，因为忆阻器能记忆目前已经有多少电流流过，所以它能像一种本质上非挥发性的记忆体那样来工作。而且，韩国动态随机存储器生产巨头——现代半导体公司最近无疑做了件轰动的事，为了其下一代存储器，它选择该器件作为一个可能的基础。但由于忆阻器能不耗费任何功率就记住其过去的状态，它们最大的潜力还是作为模拟脑中突触实际可行的元件。

其原因是，一个忆阻器是一种二端器件，它的电阻随所加电压值、方向和持续时间而变。然而忆阻器真正引人关注的是：无论它过去状态或者电阻如何，它的状态都被“冻结”，直到施加另一外加电压来改变这个状态。维持这个状态不需要能量。这正是它不同于动态RAM之处，RAM要求定期充电以维持其状态。因此成千上万的忆阻器可以代替海量有源存储器。需要澄清一点，忆阻器并不是魔法，它的电阻状态也会随着时间而衰变。这种衰变可能需要几小时或者几世纪，这由它的材料决定，其稳定性必须以能量需求为代价，这也是忆阻器没有流向市场主要原因之一。

从机理上来说，忆阻器只是两条相互垂直的金属线的一个氧化结（junction）。基本的忆阻器可看成一个纳米大小的三明治，面包就是两根交错的电线的交点。在“面包”之间是氧化层；氧化层的载流氧气泡移动穿过该氧化层，而且会在通过材料时被推上推下，这决定了整个忆阻器的状态（即电阻）。该电阻状态就是电源被切断后冻结的状态。最近，惠普在美国国防部高级研究计划局资助下所做的工作已经产生了更复杂的忆阻器，所以上述描述必然显得有点儿过于基本。然而重要的是，忆阻器的“状态”可以被认为类似于我们前面提到的突触的状态：突触的状态取决于任何两个神经元的紧密连结程度，这是哺乳动物学习新信息能力的关键部分。

惠普实验室开发的类脑微处理器的体系结构可以被认为是一种基于忆阻器的多核芯片。如今，高端微处理器都有多个核或处理单位。但与典型微处理器8个左右的核芯不同，惠普硬件将包括数百个

简单、普通的硅处理核，并且每个核都有自己高密度的丛林状忆阻器格阵。

每一个硅核直接连接到自己的瞬时存取的兆位高速缓存，这个高速缓存由数百万忆阻器组成，意味着每一个核都有自己的专用的巨大内存池。即使按今天的半导体标准衡量，忆阻器体积也是非常微小的。惠普的高级研究员斯坦·威廉姆斯（Stan Williams）声称随着在硅片上堆积交叉纵横栅格（crossbar）的制造工艺的发展，在几十年内，在一个芯片上将有可能建立一个每平方厘米千万亿位的非易失性的忆阻器存储器。

虽然忆阻器是密集、廉价、微小的，但目前它的失效率高，与脑突触的特征相似。这意味着体系结构必须容许单个电路的缺陷，如同脑一样，当突触们丢失时，能从容地降低质量而不会导致系统失效。

基本上，忆阻器如生物系统一样会将数据与计算贴得更紧，它们使用非常小的能量来储存信息，就像脑一样。为了实现类似的功能，新的硬件使用的能量比英伟达（Nvidia）的费米级图形处理器低2~3个数量级。我们要首次开始弥合生物计算与传统计算之间的鸿沟。使用忆阻器是针对神经计算的基本硬件挑战：同时移动和操纵数据的需要，由此可以大幅度减少能量和空间的消耗。你或许会认为，要达到这种在计算和思考两者中更接近后者的处理，需要的不仅仅是新的硬件，还需要新的软件。但是你错了，错的方式可能会使你大吃一惊。

从根本上说，若没有硬件体系结构方面范型的改变，你连想都甭想构建MoNETA。

**为了构建机器脑**，你需要抛弃软硬件分离的想法，因为脑组织不是以那种方式运作的。在脑子里存在的只是湿件。如果你真的想要复制一个哺乳动物的脑，软件和硬件需要相互融合。目前我们不知道怎样构建这样的系统，但是，忆阻器已经使得我们在接近生物形式构造方面取得了大的进展：硬件可以既小又功耗又低。

在惠普关注神经形态处理器的硬件部件的当口，我们正研制软件——用在硬件上的脑模型。我

们的生物学算法可以创建这个实体：MoNETA。可以把MoNETA看作是可以识别、推理、学习的应用软件。惠普选择我们位于波士顿大学的团队来构建它，是因为在国家科学基金会的资助下，我们教育、科学和技术学习卓越中心（CELEST）已积累了经验。在CELEST，计算模型的设计者、神经科学家、心理学家和工程师，与来自哈佛大学、麻省理工学院、布兰代斯大学和波士顿大学认知和神经系统部门的研究人员进行交流协作。CELEST成立的目的是研究有关脑如何计划、组织、通信、记忆等基本原理。

为了让脑模型和神经形态硬件相互作用，惠普构建了一个叫做Cog Ex Machina的专用操作系统。Cog由惠普首席研究员格雷格·施奈德（Greg Snider）建造，允许系统设计者与底层硬件交互，以进行神经计算。神经计算意味着可以在像神经元体那样处理的硬件和像树突和轴突那样处理的硬件之间分配的计算。

两种类型的核以本质上不同的方式进行处理。神经元类型体系结构的核灵活，可以处理你递交的任何操作。在这种方式下，它的特性类似于神经元，但代价是核心会吸收许多能量。因此，像神经元那样，这种类型的器件只构成系统的小部分。

树突类型的核工作起来更像GPU（一种廉价的高性能微处理器）。GPU处理器就像树突一样，拥有针对特定计算（对于GPU，是复杂的线性代数运算，这和树突内很相似）优化过的，刚性结构。因为GPU针对并行计算优化，我们可以使用它们来近似树突进行的分布式计算。但是，用这样做是有代价的。GPU核只能进行一组有限的操作。美国国防部高级研究计划局项目最终的硬件中，树突核虽然不如神经细胞核灵活，但将在其庞大的基于忆阻器的寄存器池里储存海量的状态信息。像卷须的神经元一样，它们将构成大量的系统的计算单元。最终，忆阻器会像突触促成不同神经元树突和轴突之间的信息传输那样工作。对一个程序员来讲，要充分利用这样的机器（有两种不同类型的核和复杂的记忆存储覆盖）是极大的挑战，因为待求解的问题

需要被正确地划分到这两类完全不同的处理器上。多亏了Cog, 计算神经科学家可以不考虑硬件, 专心关注于开发机器内部的灵魂。

MoNETA将是通用的哺乳动物型智能, 一种被称之为阿尼马特(animat)的, 基本的人工生命。采用美国国防部高级研究计划局的硬件, 可以将这种水平的智能装入一个鞋盒中。

MoNETA与其它人工智能的区别在于, 它不需要显式地编程。我们正在使MoNETA像哺乳动物的脑一样具有适应性和效用性。我们打算将它置于各种各样的环境下, 并进行动态学习。

生物智能是许多相互联系的和可塑脑区域协同动作的结果。以前的大多数研究一直集中于为脑的那些个别部分建模。结果一直以来都是零碎的, 各式各样的实验、理论、模型(虽然某些时候也能使人印象深刻), 它们每一个都很好地描述了一个单一脑区域的体系结构和功能, 及其对感知、情感和行为的贡献。但是, 如果你试图将这些发现组合在一起时, 你更有可能得到一个弗兰肯斯坦(Frankenstein<sup>2</sup>)式的无功能的怪物, 而不是任何像哺乳动物智能的物体。

真正的通用智能只有当所有事情都同时具备时才会涌现: 智能生物, 如前面提到的卑微的老鼠, 是将其所有的感知(包括听觉和视觉输入, 或脑不同区域对爪指细微运动所产生的反应)、情感、行为、反应结合起来互动来指导行为。没有动作的感觉、情感、高级推理和学习不仅无法实现通用智能, 甚至都不能通过一个常识图灵测试。

创造这样一个统一的“终极”系统结构存在几方面的限制条件。最重要的是缺乏一个统一的脑理论。但大量如CELEST中心的创建加深了我们对生物智能哪些关键环节可用于构建一个通用的人工智能的了解。

**我们如何才能知道我们已经成功了呢?** 我们如何知道这一切的努力以及新的硬件和软件产生了

我们想要的人工智能呢? 当我们不需要通过显式编程, 就能激励MoNETA跑步、游泳、动态地寻找食物的时候, 我们就可确信我们已经成功地创建了一个人工生命(阿尼马特)。

它在整个生命周期中都应该在学习, 无需不断重新编程或事先告知什么是好的, 什么是坏的。这对于传统的人工智能是一个真正的挑战: 预先将一生的知识进行编程并放入一个虚拟的或者机器人化的生命是不可能的。这样的智慧应是通过脑与环境的交互进行学习才能形成的。脑拥有大量(但不是无限的)的保存记忆的突触, 环境则是不断变化、信息密集。

人工生命将学习所处环境中的事物, 不需要我们为特定的对象或行为进行编程, 就能引导达到其目标, 避免危险。这种能力在哺乳动物中很常见, 因为我们的脑在生活中是可塑的。我们在无需被告知情况下, 学习识别新的人物和地点, 获得新的技能。MoNETA将需要做同样的事情。

我们将在一个经典的名为Morris水运导航任务的测试中检验我们的人工生命(animat)。在这个实验中, 神经学科学家使用视觉暗示教一只老鼠游泳, 游过一个水上迷宫, 到达一个老鼠看不见的水下平台。这项任务看起来简单, 却包含了所需的一切。为了到达平台, 老鼠必须使用脑区域内的高级神经来协调视觉、触觉、空间导航、情感、意图、计划以及动作命令。神经学科学家研究水上迷宫花了很长时间, 因此, 对于老鼠如何在解剖结构和生理上应对任务, 知道得很多。如果我们能训练人工生命通过迷宫, 那么我们确信已经向模拟哺乳动物的智能迈进了重要的第一步。

到2011年的年中, 我们的研究人员将同时研究数千个候选的生命, 它们的脑结构都有微小的变化。作为聪明的设计者, 我们将从中挑选最好的那些并一直训练它们, 直到它们可以完全完成像水上迷宫和其他一些类似的更难的任务。我们将观察每

<sup>2</sup> 英国诗人雪莱的妻子玛丽·雪莱在1818年创作的小说中的一个人物, 致力于用尸体创造人造生命, 结果做出一个恐怖怪物。

个模拟的生命与环境的联系和它们像自然生物一样的进化过程。我们期望最终发现脑区域和达到自动化智能行为的联系的“鸡尾酒”成分。然后，我们将把这些元素整合到一个基于忆阻器的神经处理芯片上。一旦这种芯片生产出来，我们将会将它安装到机器平台上来体验现实世界。老人的机器人伴侣、送到火星上自动搜寻的机器人以及无人操作飞机，这些都只是刚开始。

这些芯片能够通过模拟和恰当地连接与主观体验相关的脑区域，从而“体验”视觉和情感吗？现在说还太早。然而，我们的目标不是复制主观经验——意识——到芯片上，而是构造一个在复杂环境中能灵活应对的智能机器。换句话说，这个想法就是制造一些机器，其行为就好像它们有智能，有感情偏见和动机，而不受它们实际觉察到的感觉、思维和动机的约束。

**神经形态芯片**不会仅仅将在人工智能应用中发挥作用。这里学到的体系结构将彻底改变将来全部的CPU。事实上，常规计算机只有采用更多并行和局部驱动的体系结构，它们功能才能愈来愈强大。神经形态芯片首先会成为当今CPU补充，很快他们强大的能力将会胜过当今的计算机体系结构。

半导体工业使晶体管愈来愈小，导致更高的故

障率。2010年，最新的半导体工艺特征尺寸是22纳米。到2018年，尺寸可能缩小到12纳米，那时，原子过程将会干扰晶体管的功能；换句话说，他们将变得越来越不可靠。像英特尔、Hynix以及惠普这些的公司花费了大量的资源去寻找依靠这些不可靠的未来器件的方法。神经形态计算将允许这些不可靠发生在忆阻器和晶体管上（而不影响系统工作）。

不久的将来，所有的多核芯片可以以它们的CMOS核集成到一个高密度、低能耗的存储器。这是一个常识。

我们的预言？神经形态芯片最终能够像自然界已有的脑设计（如果蝇、蚯蚓、老鼠以及人）一样多姿多彩。我们所有的芯片都将拥有脑。■

#### 致谢

本文翻译中，董琪、丁振宇等认真作了修改和校对。陈文光教授对译文提出了具体修改意见。在此一并表示感谢。



译者 史忠植

CCF会士。中国科学院计算技术研究所研究员。主要研究方向为智能科学。  
shizz@ics.ict.ac.cn

## CCF网站开通“学术评价”专栏

2011年7月22日，CCF在网站发布了“CCF推荐的国际学术会议和期刊目录（修订版）”。为了便于国内高校、科研单位及相关机构的人员浏览和使用，CCF在网站开辟了“学术评价”专栏。使用者点击CCF网站主页导航栏目中的“学术评价”，即可进入CCF推荐的国际学术会议和期刊目录专栏，专栏包括关于目录的简介，参与评选工作的专家简介，计算机科学理论、计算机体系结构与高性能计算、计算机图形学与多媒体、计算机网络、交叉学科、人工智能与模式识别、软件工程/系统软件/程序设计语言、数据库/数据挖掘/内容检索、网络与信息安全等九个方向的会议和期刊目录。浏览者还可留下对目录的意见和建议。

（朱）

**CCF第十次会员代表大会及CCF第十届理事会换届  
选举大会将于2011年11月25~26日在深圳举行**