

脑与行为的自组织

周昌乐 杭州大学计算机科学系教授

在科学研究中，恐怕没有哪项领域会象对心脑奥秘的揭示那样，遇到这么多令人困惑的复杂问题了。比如象心脑关系的哲学问题、意识的自我缠绕问题、思维是如何自涌的问题，等等。尽管在本世纪，特别是最近三十年来，我们对脑的研究有了突飞猛进的进展，获得了大量可靠的脑活动机理和知识，但对于这些令人困惑的复杂问题，依然难以建立起哪怕是十分简陋的解释理论。也就是说，我们对于微观的脑细胞活动机制是如何组织为宏观的心理行为依然知之不多。显然，对于这一问题的阐明，仅仅是停留在“脑为心之体，心为脑之用”这种泛泛而论之上是不够的。我们必须了解，作为一个复杂的心脑系统，其整体宏观的自组织机理是什么？恐怕对这一问题的回答，不仅将成为脑科学研究进一步发展的终极目标，而且也将是人工智能研究的关键问题。

一、问题的提出

那么这一问题包涵的实质内容是什么呢？让我们先来看看科学家们是如何看待这一问题的。

美国学者侯世达教授(D·R·Hofstadter)在他的《Godel, Escher, Bach—An Eternal Golden Braid》一书中认为：“为阐明大脑中发生的思维过程，我们还剩下两个基本问题。一个是解释低层次的神经发射通讯是如何导

致高层次的符号激活通讯的；另一个是自足地解释高层次的符号激活通讯——建立一个不涉及低层神经事件的理论。”如果我们把行为和语言看作是思维活动的外显形式，那么侯世达教授实际强调的也就是脑与行为自组织的解释理论。

无独有偶，作为神经生物学家的威廉·卡尔文教授也同样把神经活动的二个层次关系问题看作重要的研究目标，并指出：“迄今为止，我们实际上需要两种隐喻：一种是自上而下的隐喻，把思想映射于神经元群上；另一种是自下而上的隐喻，用来解释思想如何由那些看起来是杂乱无章的神经元集群产生的。”很明显，行为的灵活性是建立在大量特异化神经组块(甚至神经元)相互作用的基础之上的，所以卡尔文教授两种隐喻，说白了也当是指神经元集群如何自发(自组织)地产生宏观行为(思维的外延)的问题。因为正如杨雄里教授指出的：“对脑的功能在细胞和分子水平所作出的重要发现正使我们逐渐认识基本的神经生理事件如何转译为行为。”以及“脑研究的最终目的是阐明神经系统如何控制机体的各种行为。”可见，脑与行为的关系问题确实是一个越来越引起科学家们重视的基本问题。

实际上，如果把外围神经组织都算在内，行为就可以看作是神经系统活动的整体性外在表现。而导致这种表现的，归根到底是外部刺激与内在自激相互作用的结果。于是把非线性方法引入神经科学的研究，把脑的功能

看作是脑与环境之间相互作用的自组织过程，就成为脑与行为研究的一种新途径。这种研究就是要了解中枢神经系统总体功能与有关控制行为模式的方式。正因为这样，“应用非线性动力学理论，对脑功能和人的行为能得出什么新的见解”被列入未来脑科学研究要回答的50个重要问题之中。

二、从蚁群行为的比附说起

为了对脑与行为自组织规律有个比较直观的认识，让我们从蚁群行为的比附说起。

蚂蚁是一种很不起眼的小生命，但这种小生命却有着很多类似于人类活动的“神奇”行为。比如蚂蚁会种植、采集、畜牧、驱奴、缝纫、吸毒，甚至使用工具等。当然单个蚂蚁是微不足道的，一旦离群，除了死别无选择。但作为一个十几万个单位组成的蚁群，其表现出来的行为方式，就颇为壮观了。生物学家刘易斯·托玛斯在《细胞生命的礼赞·曼哈顿的安泰》一文中指出：“蚂蚁其实不是独立的实体，倒更象是一个动物身上的一些部件。它们是活动的细胞，通过一个密致的、由其它蚂蚁组成的结缔组织，在一个由枝状网络形成的母体上循环活动。”其实，作为一个蚁群，其神经元总数可达 10^{11} 级别（每个蚂蚁约有50万个神经元）。这同人脑的神经数目颇为接近。因此，与其把单个蚂蚁看作是一个个生命，倒不如将整个蚁群看作是一个“智能”生命更能说明蚂蚁的行为。特别是如果我们将单个蚂蚁比作神经元，蚁群比作神经系统，那么就可以通过蚁群行为的自组织来比附脑与行为的自组织。

就象单个神经元本身没有智能一样，单个蚂蚁是非常蠢笨的。看上去很随机的转来转去，其行为毫无条理；你根本无法从单个蚂蚁的活动中看出其对整个蚁群行为有什么直接联系。然而就大量的蚂蚁来说，从这种乱糟

糟的状态中，还是能看出存在着一定总的趋势。事实上，蚂蚁是通过接触提供的信息传递来协调他们的活动的，并用这种方式互相组队支援，去从事随便什么活动。当然，蚂蚁组成蚁队是有一定条件的，只有当聚集的蚂蚁的数量达到某一临界数量时，有条理的蚁群现象才会出现。并且一旦出现这种情况，就会象滚雪球一样，把越来越多的蚂蚁裹挟进来。这样为收集食物、营造蚁窝等目标而工作的完整的“蚁队”就形成了。

蚁队是蚁群行为活动最基本的“砌块”，而对于复杂的蚁群行为活动的理解来看，我们同样可以作不同的层次分析。也就是说，为了能够协调一致地行动，蚁群实际上是由多个层次结构形成的。高层次的队由低层次的队组成，这样一直找下去，最后找到最低层次的队，在这之下，才是蚂蚁。必须注意，蚁队本身并不是固定不变的而是不断地动态形成和解散的。即使同个蚁队中的蚂蚁也是不断更替变化，就好象“蚁队”是一种信号，在蚁群中流来流去，传达所要完成任务的命令一样。尽管从微观上看，这种信号流通是由蚂蚁之间接触实现的，但从宏观上讲，则是通过蚁队流动、形成和解散来达成的。

再往高层看，整个蚁群就是由种种动态分布的蚁队组成，其行为恰好体现在这些来来去去永不停息的蚂蚁集群活动分布之上，使得这种分布能适应不断变化的情况，从而使蚁群都同所面临的现时环境相适应。这里没有谁是行为的主宰，整个蚁群活动分布就是行为本身。如果说有什么意识的话，那也是蚁群整体所表现出来的效果本身。一句话，蚁群的行为完全是一种自组织活动。

就脑与行为的关系来看，稍加分析不难发现，其与蚁群自组织活动非常类似。表中给出了神经系统与蚁群结构之间的对应关系。其中作为神经元个体，同单个蚂蚁一样，都要为自己的功能生效和生存而竞争，模块中的

表 蚁群结构与神经系统的比较

序号	蚁群结构层次	大脑皮层结构层次
1	蚁群分布结构	神经分布系统
2	高层蚁队	神经分布系统
3	中层蚁队皮层区	多重皮层代表区: 叶、半球
4	底层蚁队	基本的皮层回路(皮层模块)
5	蚂蚁	神经元
6	蚁对动态接触	突触
7	触须活联络	离子通道
8	气味分子	分子和离子

细胞群也一样要进行竞争, 所以模块不是固定不变的实体, 这也同蚁队一样是构成高级功能的基本模块。由这些模块可以构成更大规模的皮层区、叶和半球, 直到整个神经分布系统。由大多数由皮层媒介的行为同样也是依靠不同皮层的各区之间的相互作用实现的。

三、行为是可以还原的吗?

德国行为学家克劳德·伊梅尔曼给行为下了这样一个定义: “行为指的是动物的活动形式、发声和身体姿势, 以及在外表是可辨认的变化, 这些变化起到相互通讯的作用, 并且能引发另一动物的行为模式, 包括体色的改变或气味的释放”。很明显, 这种行为, 除了内分泌因素的间接作用外, 主要可以看作是神经活动作用的结果或表现。因此, 神经行为学所研究感觉过程和构成特定行为基础的中枢神经系统就成为探究脑与行为关系的核心内容。

目前, 随着分子神经生物学的迅速崛起和发展, 我们已经能够在分子和离子水平上来阐明神经活动的内部规律。

由于对神经活动的细胞、分子机制的研

究从本质上是一种还原论的做法, 因此面对细胞和分子水平上所取得丰富的研究成果, 人们自然会产生“行为是可以还原”的想法。情况果真如此吗?

很明显, 从蚂蚁行为的比附中我们得到的教益是: 我们不能只见树木(单个蚂蚁)而不见森林(蚁群), 我们必须从多层次的角度来看待脑与行为之间的关系。比如, 单单就读书这样一个简单的行为就需要所有各叶的皮层回路的参与并须相互协调才能完成。就象从随意活动的蚂蚁中看不出作为整体蚁群所表现行为的联系一样, 单从神经元放电与激活等活动中, 同样是无法沟通与整体行为表现之间的联系的。

进一步讲, 即使是从多层次角度去看待脑与行为的关系, 也并不等于说我们需要任意深入的底层机理才能够获得最高层行为表现的理解。这同汉语阅读活动一样, 单个的笔划与现实世界之间不存在什么自然的映射关系, 只有在更高的层次上才会有这种映射, 反映字词与现实世界的各部分之间的关系。你要正确理解一部书的内容, 你就不要涉及它的笔划层次。实际上, 就脑组织而言, 我们起码不必涉及量子层次的东西来映射到行为反映, 因为“按照量子力学, 任意两颗电子必然是完全等同的, 这同样地适合于任意两颗质子以及任一特殊种类的两颗粒子。……如果一颗人脑中的一颗电子和一块砖头中的一颗电子相互交换, 则系统的态和它过去的态不仅不能区分, 而且完全相同。”因此, 行为不可能还原为量子的活动层次之上的。行为还原论的观点显然是不完全的, 从根本上是不能解释行为活动原理的。这就迫使我们必须转向到整体论的自组织观点上来。

四、脑与行为的自组织研究

脑与行为的自组织研究, 主要是指一种



看待事物、揭示规律的方法论。早在 80 年代, 随着对脑复杂性探索的深入, 非线性思想渐渐深入到神经科学领域, 给神经科学研究带来了新的活力。由于在神经活动中, 小到离子去极化、神经元之间的颀颀, 大到神经系统与环境的相互作用, 无不体现着非线性规律, 因此自组织思想方法的引进, 有着普遍性的研究价值。

自组织方法主要强调的观点是: (1) 脑与行为是一个多层次、特殊过程的宏观动力学系统; (2) 系统与环境进行连续交换, 从而与环境共同演化; (3) 跨层次整体效应的自我涌现以及系统的自我超越, 即演化过程本身的演化。

值得注意的是, 基于这点, 我们可以看到“在一个多层次动力学实在中, 每一个新层次都带来了新的进化过程, 它们以特殊的方式与较低等级层次互相协调并强调了这些较低层次。因此, 还原到一种描述层次是绝不可能的。”当然, 这并没有否定低层次对高层次的作用, 而只是强调高层次的整体行为并不能单单还原为一个描述层次。这种思想正是研究多层次神经系统所需要的。

首先, 构成行为基础的神经系统中微观与宏观的共同演化是建立在多尺度跨层次基础之上的, 构成了多层次动力学系统。

其次, 对于每一层次, 都存在着神经回路的自催化过程, 当激励的神经元规模超过一定的临界点时, 便产生了自涌性现象, 新的效应便产生并参与到高一层次的相互作用之中。

再次, 高层次整体恰好是低层次组块的环境, 而低层次的组块分布便构成了高一层次整体本身, 即环境与组块共生。

最后, 系统中大规模简单重复和变奏构成了神经活动形式的丰富多样性, 而非线性所意味着“游玩本身包括了改变游戏规则”的原则, 导致了多样的行为表现。

必须注意, 这种自组织原则不但刻划了脑与行为动力学系统的每个层次, 而且同样

适用于跨越层次相互作用的分析(跨越层次的自相似性是非线性的重要特性之一)。演化在宏观和微观层次同时地、相互依赖地形成结构的意义上进行着。复杂性便来自分化和综合过程的相互渗透, 也就是说来自同时“自上而下”和“自下而上”进行的过程的相互结合, 它们从两个方面造就了等级层次。而意识或者意识活动的外显行为便可看作是神经活动系统所固有的, 但在固定的空间结构中, 而是在系统自组织、自更新和演化的过程中, 是系统活动的“旁效现象”。

不过, 由于自组织行为涉及到大量非线性科学的理论, 特别是有关突变论、耗散理论、协同学、混沌动力学以及分形几何等内容, 其定量分析存在着非常巨大的困难。特别是对于脑与行为的自组织动力学建模, 即使存在数学方程, 由于非线性的缘故, 也往往是不存在解析解的。因此, 这样的研究往往只能求助于语言模型的定性描述和计算模型的定量模拟来进行。这也就是神经达尔文主义、神经网络理论和计算神经科学兴起的主要原因。

神经网络研究目的之一就是要探讨神经元是如何通过集体计算性质而产生更高层次的认知行为的。而计算神经科学则是从神经科学实验、计算仿真手段和应用数学理论建模三者结合的角度, 来进行脑与行为自组织的研究, 着眼于多尺度跨层次, 努力摆脱“还原论”和“机械论”的局限性。最后 G·M·Edelman 等人提出的神经达尔文主义则是从现有神经科学揭示的规律出发, 给出一种强调神经集群选择机制的解释理论, 通过一个侧面反映脑与行为的自组织规律。

可以这么说, 不管是神经网络、计算神经科学、神经达尔文主义, 还是处于萌芽状态下的神经动力学, 关于脑与行为自组织的研究还处于十分粗浅的起步阶段中。我们期待着这样的研究能在 21 世纪得到蓬勃发展, 给我们带来更多有关脑与行为规律的崭新成果。

