

大脑网络论——论人类心理活动的大脑机制

Network Theory of the Brain

魏保民

(北京师范大学心理系, 研究生 北京 100875)

提要 在过去几十年里,两个原来相互独立的科学领域逐渐融合,这两个领域就是神经生物学(即脑科学)和认知心理学(即心理科学)。最近,这一统一的步伐已经加快。在充分吸收这两个领域现有理论和实验研究成果的基础上,作者提出一个关于人类的感知、记忆、注意、思维、想象等高级心理现象的大脑机制的统一理论,其核心是记忆的大脑机制,称之为大脑网络论。本文概括介绍这一理论的基本框架。

意识问题——意识、记忆以及其它精神属性的生物学基础,或者说感知、记忆、注意、思维等高级心理过程的大脑机制是“现代科学所面临的最深奥的问题之一”。对于这一问题,两个主要的研究领域是神经生物学(即脑科学)和认知心理学(即心理科学)。在过去几十年里,这两个原来“相互独立的科学领域逐渐融合”,“最近,这一统一的步伐已经加快”,“意识、记忆、以及其它精神属性的生物学基础已开始被阐明”,在美国,将 90 年代称为“脑的十年”。然而,“对这一问题的最终解决需要心理学家、神经科学家和理论工作者之间的紧密合作”。

本文的目标是对这一问题进行理论的探索。在充分吸收这两个领域现有理论和实验研究成果的基础上,提出一个关于人类的感知、记忆、注意、思维、想象等高级心理现象的大脑机制的统一理论,其核心是记忆的大脑机制。理论要点如下:长时记忆系统是建立在大脑的整个神经网络之上的有序网络结构,这一结构同时也是信息处理的结构。在任一瞬间,结构中各个神经元分别处于不同的兴奋状态中,从而构成了整个网络结构的状态。在外界刺激的作用下,网络的状态在不断地发生变化,这种状态变化的过程就表现为各种高级心理过程。感知、思维、想象等心理过程都是这一网络的一系列状态变化过程,这些过程本身同时又改变、促使着长时记忆的网络结构向有序化发展,从而产生了记忆功能。人在感知身体内外的各种刺激的过程中,形成了当前的注意中心,这一中心即网络的当前兴奋中心,它是网络中一个处于高能量状态的局部区域。在注意中心不断转移过程中,就不断形成新的

高能量区域,而原来高能量区域的能量则逐步向四周扩散,这些高能量区域即短时记忆区。在新的能量区不断形成,旧的高能量区域逐渐消失的动态变化过程中,就保持了有限数量的高能量区域,这是短时记忆容量有限的原因。本文将概括介绍这一理论的基本框架。

一、长时记忆结构及长时记忆的机理

1. 神经元的兴奋状态

首先给出神经元的兴奋状态的含义。大脑中的多数神经元在自发状态下也在以一定频率产生神经冲动,当神经元受到兴奋性刺激时其产生神经冲动的频率就增加。那么,神经元产生神经冲动的频率大小就代表了它的兴奋状态,当这一频率超过一定阈值时,我们说这一神经元兴奋了,或者说被激活了。

2. 长时记忆的网络结构

下面来描述长时记忆的网络结构。根据这一网络结构的形成过程,大致可把它分为两层。

第一层是各种分立中枢网络,如视觉中枢、听觉中枢、运动中枢网络。其中每一中枢又可分为不同层次。比如在视觉中枢网络中,最低层的神经元代表各种基本的视觉特征——特征觉察器,若干个特征觉察器与更高一层的某一神经元共同具有突触联系,当这些特征觉察器同时兴奋时就能激活更高层的这一神经元,那么这一神经元就是一个更复杂的视觉特征的代表神经元——复杂细胞。按同样方式在这一网络中按由低到高的顺序,神经元分别

代表简单特征、复杂特征、超复杂特征直至最高层的神经元代表各种物体的视觉形象。同理,在听觉中枢网络中,各种语音特征得到表征。在运动中枢网络中,最外层的神经元与效应器肌细胞联系在一起,当它们兴奋时,将引起肌细胞的舒张或收缩。若干个这样的神经元形成一个局部的网络,由更高一层的某一神经元启动,当该神经元被激活时,将引起兴奋在这一网络中的依次传播,从而引起一组肌细胞的协调动作,于是就表现为一个宏观的动作。更复杂的动作则由若干个这样的启动神经元按一定次序相互以突触联系起来所构成的局部网络来控制。

第二层是意义和经历网络,它是由各种分立中枢网络的联合而形成的。其中心是意义网络或概念网络,网络中每一个神经元代表某一个概念,它与一个或若干个听觉中枢网络中的语音表征点相联,以代表该概念的语音;同时,如果它是一个具体概念,则与视觉中枢网络中的一个视觉形象的表征点相联系,如果它是一个动作概念,则与运动中枢网络中该动作的控制网络相联系。抽象概念则处于网络中较高层次,与多个概念点相联系。当概念网络中的一个神经元被激活时,它将进一步引起与之有联系的各个神经元的兴奋程度提高。概念的含义就是由网络中相互联系的神经元所相互决定的。

在概念网络中,若干个概念点与更高一层的某一神经元相联系,从而该神经元就代表一个命题;若干个命题又与更高一层的某一神经元相联系,从而该神经元代表一件事情或一段经历;若干个这样的神经元又与更高一层的某一神经元相联系,从而代表了若干事情之间的联系,即规律或规则。当网络中某一神经元被激活时,它将进一步引起与之相联系的各个概念点的兴奋,进一步将引起与各个概念点相联系的视、听觉特征神经元的兴奋,这与直接由外界刺激引起的兴奋并无不同,于是人们就如同又亲临了过去的经历一样,即产生了回忆和想象。另一种可能是,刺激某一神经元时,将进一步引起若干个表示动作的概念点的兴奋,从而按顺序执行一定动作,即该神经元表示一个动作计划或方案。人一生中的各种经历在这一网络中得到表征。

3. 能量假设

在神经网络中,每一个神经元都具有一个基本的功能,即信息传递与整合,在此过程中,神经冲动是不衰减地在每一神经元上传递的,这说明在每一神经元处都具有能量的补充。由此可以引入一个合理的假设,即能量假设:(1)每一神经元都处于一定的能量背景之中,该神经元产生神经冲动的频率由其周围的能量水平决定。这里的能量指神经递质、各种激活酶等携带的生化能量;(2)当一个神经元产生冲动的频率超过一定阈值时,即被激活时,它

将成为一个能量吸引中心,把四周其它神经元处的能量向其自身处吸引,从而引起周围其它神经元的抑制;(3)这部分吸引过来的能量一部分将通过突触传递给与它相联系的各个神经元,另一部分则在兴奋神经元周围产生能量集中,形成一个局部高能区,兴奋过后这些能量将逐步向四周扩散。脑区域性糖代谢率的研究为这一假设提供了实验证据:美国国家健康研究院的索科洛夫(Sokoloff)教授利用C-14脱氧葡萄糖的放射自显影技术发现,行为与糖代谢之间存在着平行的定量关系,费尔普斯(Phelps)等人则利用F-18脱氧葡萄糖示踪技术(即正电子发射层描术,PET)发现脑区域性糖代谢率的动态变化与心理活动之间存在着平行关系,而脑糖代谢的主要作用是供应能量。

网络中每一个神经元代表不同对象,但一个神经元可能与多个其它对象的代表神经元相联系(据测定,在大脑皮层的一个神经元上,突触数目可达3万以上),而该对象与这些对象之间的关系并不是同样密切的。为了表征这种差异,这儿引入一个新的概念,即突触能阻:当一个神经元兴奋时,它传递给各个相关神经元的能量多少是按照各个突触的能阻成反比例地进行分配的。同时假定,突触能阻不是固定不变的,当它通过一个超过一定阈值的能流时,将产生能阻的突然下降,然后再随时间呈指数规律先快后慢地逐步复原。如果一个突触在短时间内多次通过较大能流,那么将产生一种能阻下降的积累效应,于是这一突触将成为一个低能阻突触。这一假设的实验根据是突触的长时程增强效应(LTP)。这也就是长时记忆的机理:即当一个神经元兴奋时,与之相联系的多个神经元中的某一个因之而兴奋,后一神经元将成为一个能量吸引中心,于是有更多能量从前一神经元传递给后者,从而引起相应的突触能阻下降,这两个神经元间的关系就变得更加密切一点,由此即产生了长时记忆。

长时记忆结构就是一个建立在整个神经网络之上的由低能阻突触联系起来的神经元的网络。在这一网络中存储了各种信息,如运动技能、语义信息等。这一结构是大脑中天然存在的神经网络结构在一些先天的反射通路之上通过接受周围环境的刺激而逐步形成的。长时记忆结构的形成与改变过程就是学习过程。

根据对神经元的上述假定,可以总结出一个在长时记忆结构形成和当前的信息处理过程中起重要作用的规律,即最速阈值定律:在一组相邻的平行神经元当中,当其共同接收到前一层兴奋神经元传来的能量时,接收到的能量加上其自身周围的背景能量最先达到启动阈值的神经元,将兴奋起来,成为一个能量吸引中心,从周围其它神经元处吸引能量,从而使这些神经元受到抑制作用。这种抑制

可称之为竞争性抑制,以区别于下面将要提到的抑制性神经元所产生的抑制。

这种竞争性抑制,可以解释侧抑制现象。作为对比,人工神经网络理论对侧抑制的解释是:一个神经元对下一层的不同神经元的权重性质不同,其实质是同一神经元兴奋时对下一层的不同神经元将产生不同性质的作用。著名的生理学家克里克(Crick)指出:这一点违反了这样的原则,即至少在新皮层、神经元或者是兴奋的,或者是抑制的,而不会两种作用都存在。而本理论的解释是:兴奋性的神经元对下一层的神经元都产生兴奋性的作用,但下一层神经元中先达到启动阈值者,将从周围吸引能量,从而使其它神经元受到抑制。

4. 抑制性神经元

对于抑制性神经元,可以做一个简化处理,即假定它传递给下一神经元的能量将用来提高该神经元的启动值,从而使该神经元受到抑制作用。因此,抑制性神经元起一种主动的抑制作用,在形成的低能阻突触通路中,它将起一种中介作用。例如,儿童学习相近汉字“王”和“玉”时,老师不断告诉他有一“点”是“玉”不是“王”,从而建立起一条代表“点”的神经元→抑制性神经元→代表“王”的神经元之间的低能阻道路,儿童一旦看到“点”,立刻就会想到这一字不是“王”,从而抑制代表“王”字的神经元的兴奋,最终使代表“玉”字的神经元兴奋起来。

二、认知过程的统一理论模型

1. 短时记忆

在长时记忆的网络结构中,当一个感觉特征神经元被激活时,就将在其周围产生局部的能量集中,从而使这一神经元在短时间内保持在较高的兴奋背景之中,从而在这段时间内更容易被重新激活,这就是感觉记忆或感觉登记的机理。

短时记忆的机制则是产生了更大范围的能量集中,即形成了一个高能量集中区,从而使这一区域的神经元在更长一点的时间内保持在较高兴奋背景之中。短时记忆的这一机理使它必然表现出“组块”性质。对于互相联系的事物,它们在概念网络中以低能阻道路互相联系着,因而当这些神经元同时被激活时,将互相使对方的兴奋得到加强,形成一个整体的局部兴奋区,即作为一个组块而被记住。

2. 注意的本质

注意即意识到某种事物并保持对它的意识的状态。所谓意识到或注意到某种事物,实际上也就是认出了该事物。注意状态就是感知的结果状态,即外界对象的刺激信号通过感受器、传入神经、分

立中枢网络,最终在意义网络中激活了相应概念的代表神经元,从而在相应区域产生了一个兴奋区,这一正处于兴奋状态的区域内的神经元,将进一步向与之有联系的各个神经元传递能量。注意中心即这一当前兴奋中心。在中心内的神经元之间,中心的神经元和与之相联系的其它神经元之间将产生能量传递,从而改变相应的突触能阻而产生长时记忆。兴奋中心转移后,原区域即成为一个高能量背景区,即短时记忆区,兴奋中心在不断转移,从而不断形成新的短时记忆区,但同时原有高能量区域的能量不断向四周扩散而使该短时记忆区逐步消失,在这样一个动态过程中,维持在较高能量状态的区域只能是有限几个,这就是短时记忆的容量有限的原因。

3. 感知过程

先来看一下影响人类感知的各种因素。首先是外界刺激的性质,这些刺激引起相应的特征觉察器神经元的兴奋,并进一步通过低能阻突触引起更高层的复杂特征神经元的兴奋,这是一个自下而上的过程。另一方面,在网络的最高层次——意义与经历网络中的当前兴奋中心则由上而下以及平行地向与其有联系的各个神经元传递能量。这二者的共同作用,最终在意义和经历网络中产生了一个新的兴奋中心,即认出了外界事物。由此我们可以得出结论:第一,人们熟悉的事物,由于其各种特征的代表神经元与该对象的代表神经元之间的突触被经常使用而能阻较小,因而该事物的代表神经元易于被激活,比如自己的姓名。当相应的突触进一步下降时,那么部分特征神经元的兴奋也能激活该对象的代表神经元,从而产生灵活性;第二,与当前活动有关的事物,由于当前兴奋中心及短时记忆区的影响,因而相应区域易于被激活而认出该事物。

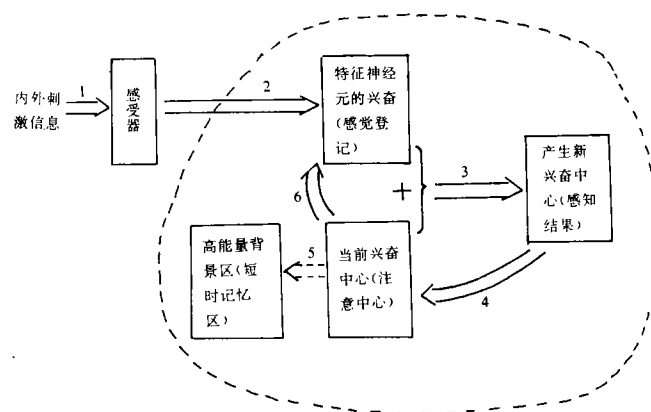


图1 感知过程模型

人类的感知过程可以用图1所示的模型图来

在图 1 的模型中,如果再增加动作控制网络,就成为一个完整的认知过程模型,如图 2 所示。

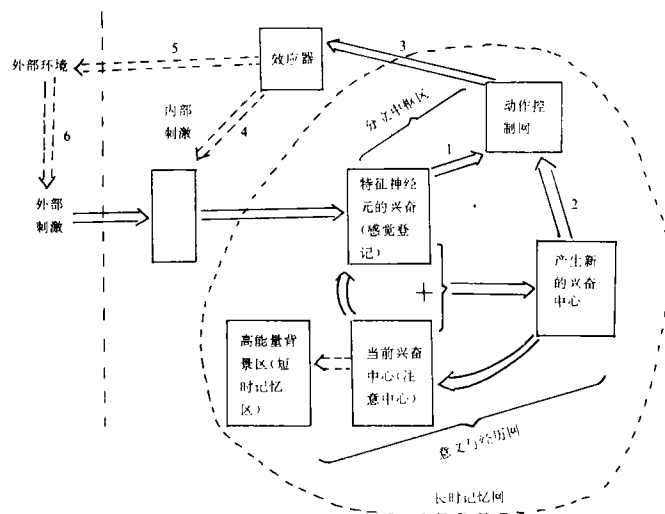


图 2 认知过程的统一模型

过程⑤⑥:外部信息反馈过程。

大脑网络论的完整的理论包括三方面内容：(1)大脑中的神经网络结构；(2)这一结构是如何产生感知、记忆、注意、思维、想象等功能的，人的意识是如何产生的？(3)这一网络结构是如何发展变化的，即学习的机制。既然它是一个对于感知、记忆、思维等心理现象的脑机制进行统一解释的理论，这就意味着它必须能够同时解释这些心理现象之间的关系，或规律。对于这一规律，实验心理学已经进行一百多年的研究。本理论能够解释相关的心理学实验结果或者心理学规律，比如短时记忆的容量有限性等。另外，这一理论是一个立足于人脑的生理结构之上的理论，那么它必须是和生理学的研究结果相一致的，或者说是无矛盾的，本理论满足这一生理学“约束”。

（责任编辑 蔡德诚）