

神经系统(脑)信息处理的研究概况*

汪 云 九

(中国科学院生物物理研究所, 北京)

提 要

本文概述了神经系统(包括脑)的信息处理研究的国外动向,同时介绍了国内情况,特别是 86 年 7 月在北京召开的“脑的工作原理”学术讨论会上的一些主要发言内容。

人所共知,生物物理学是一门边缘学科。边缘学科是一个发展的概念,它随着科学技术的进步,整个社会的发展,应当不断开拓新的研究领域。

贝时璋先生在中国生物物理学会成立大会上的报告中开宗明义地指出:“什么是生命活动?根据生物物理学的观点,无非是自然界三个量综合运动的表现,即物质、能量和信息在生命系统中无时无刻地不在变化。这三个量有组织、有秩序的活动是生命的基础。”现代科学技术的发展,使得我们对于物质的结构和能量的转化规律,有了较多的研究和了解,但是,对于信息这个量,直到 1948 年才有明确定义和初步的了解。至于高层次的信息过程,诸如智能、记忆、意识等等信息科学最终研究目标,现在刚刚开始着手研究。因此,在现阶段,以及今后一个时期,人们对于生物系统,特别是神经系统中进行的信息过程,会有强烈的兴趣。所以,这将成为

为生物物理学今后发展的一个重要方向。这一点对照历次国际生物物理学大会的议题,就可明瞭。例如,1984 年在英国召开的第八届国际生物物理学大会,包括有“视觉信息加工和控制”、“医学图象”和“图象重建”等等与信息科学、计算机科学有关的议题。1987 年将在以色列举行的第九届大会,又加上“人工智能”的议题。而这些内容在廿年或十年前列入生物物理学研究领域是不可设想的。

对于神经系统,特别是对脑的信息处理过程的兴趣,大概来自二个方面:一是大脑是生物进化的最高产物,是智能、思维、情绪等等高级精神活动的物质基础,也是人类认识最少的一个领域,所以说,是科学研究中的最后堡垒之一。而当前已经初步具备了一些实验条件和分

* 本文根据 1986 年中国生物物理学会第五届学术讨论会上大会综述报告整理修改而成。

- 1985.
- [13] Ariel, M. et al.: *Brain Res.*, 295, 179—183, 1984.
- [14] Kemp, J. A. et al.: *J. Physiol. (Lond.)*, 320, 16—17 p., 1981.
- [15] Sillito, A. M. et al.: *Brain Res.*, 289, 145—155, 1983.
- [16] Morrison, J. H. et al.: *J. Comp. Neurol.*, 243, 117—138, 1986.
- [17] Slaughter, M. M. et al.: *Science*, 211, 182—185,

- 1981.
- [18] Burges, J. et al.: *Neurosci. Lett., Suppl.* 22, s311, 1985.
- [19] De Lima, A. D. et al.: *Neurosci. Lett., Suppl.* 22, s440, 1985.
- [20] 杨雄里:《生物化学与生物物理学进展》, 65, 17, 1985.

[本文于 1986 年 11 月 10 日收到]

析手段,调动了各种专业人员,可以集中进行探索。第二是当前信息科学的发展,设计智能计算机的需要,推动了脑科学的发展。如果你参与设计一种全新的计算机,或者从事智能的计算机再现,你就会急切地想了解,这个神秘的过程在人脑中是如何进行的。现代计算机的奠基者冯·诺依曼在晚年曾对大脑和计算机的异同在结构和功能上作过详尽的比较,并留有专著。控制论的创始人维纳对神经控制论也表现出特别的偏爱。

国外的一些动向

关于神经系统内信息处理的研究,大致上有三大途径:(1)用组织学和电生理学研究神经通路和功能,神经信号和载体;(2)用行为实验和心理物理方法,研究正常和完整状态下神经系统的功能表现;(3)用电子计算机和数学建立神经网络的模型和理论。

无论哪一种途径都取得了大量实验资料 and 获得了巨大进展。例如,西德出版的一套感觉生理手册,仅视觉部分就有八册之多,估计总数达六千页。据《视皮层的模型》一书作者 Rose^[1]估计,目前世界上有成千名科学家从事视觉研究。有这样多的人进行研究,文献和成果肯定是很的。国际性杂志《生物控制论》,以刊登神经网络的数学模型为主,从1960年创刊以来,累计出版已超过50卷,近年来以每年二三卷的速度出版。由此可见一斑。所以,关于各种动物的各种感觉通路,神经网络各种不同层次水平上的研究工作,可以说是汗牛充栋。

电生理学的贡献和发展前景 使用微电极技术,使得神经电生理研究在五十年代和六十年代有了重大进展,从细胞水平上了解单个神经元的电活动,膜电位,突触联系以及一些简单神经网络的性质。近年来,从生物化学、分子生物学等有关学科引进技术,对神经系统功能的分子学基础,研究工作有了很大进展。例如,神经递质的研究就是一个重要方面。神经生理学经历了这样几个大发展以后,今后往何处去呢?日本东京大学医学院生理系教授、国际脑研究

协会主席伊藤正男在《神经生理学家往何处去?》一文中指出^[2]：“局部神经网络是如何装配成具有高级功能(如思维、运动控制、情绪和记忆等)的大规模神经系统的?研究这种问题的新时期已经开始了。”伊藤正男在小脑的运动控制方面,造诣精深,是国际上有威望的神经生理学家。所以,他的看法不可等闲视之。至于如何进行这类研究,他认为:“所有这些问题都是系统水平上的问题,不可能还原成寻找单个神经细胞结构或某个物质分子,就可以求得问题的彻底解决。”因此,他呼吁,在这种高层次水平上进行研究,需要理论模型,需要实验工作者和理论工作者的通力合作。伊藤认为,在小脑研究方面,局部神经网络与整体功能之间,在实验上已做了许多研究,理论上也提出了一些良好的模型,二者结合较好。伊藤在这篇短文中提出的问题,预示着神经生理学今后研究方法和风格的改变,应当引起我们的重视。

一门真正的交叉学科 神经系统(脑)信息处理的研究,引起一些著名物理学家的兴趣。分子生物学的奠基者、DNA双螺旋结构的提出者之一、诺贝尔奖获得者F. H. C. Crick,现在转向搞脑科学,特别对视觉信息加工问题,潜心研究,现已作出一些工作。1972年诺贝尔物理学奖获得者、超导理论专家L. N. Cooper,现在对记忆问题很有兴趣,并提出一个关于记忆的模型。美国物理学家John Hopfield曾提出一个神经网络的数学模型,并试图用凝聚物理中的自旋波理论加以研究,这个模型可以实现联想记忆等脑的功能,现在已由美国两家公司制成硬件,这对智能计算机的实现,将是一个大推动。国内也有类似情况。因此,可以说今后将会有更多的物理学家、甚至包括数学家,以及过去认为不相干学科的科学家,投身于脑的研究。

神经系统(脑)信息处理的研究,是真正的边缘交叉领域。在这一研究中使用各种各样的物理、化学、电子等技术方法,也利用各种最新的观点和理论来归纳提高。所以,在一个项目的研究中常常组织不同专长的人员,共同配合;

取长补短,通力协作。例如,美国麻省理工学院最近从心理系、计算机系等调集专家组成一个新系,专门研究视觉问题。《视觉》一书^[3]的作者、麻省理工学院人工智能实验室的 D. Marr, 他的个人经历也是颇有启发的。他曾获数学硕士学位,又获心理学博士,具备计算机上多年工作经验,曾对小脑、海马等部位神经网络有过研究,并提出过模型,最后搞人的视觉信息加工问题,并颇有建树。由此可见,从事神经科学研究,需要多方面的知识背景。

日本的挑战 八十年代初日本率先提出第五代计算机的规划,打算在十年内研制出全面模拟人的感觉功能、逻辑推理能力和思维能力的智能计算机。日本的挑战震动了世界。美、英、苏、法等国纷纷采取对策,以应付这一挑战。但就目前人类知识水平而言,对自己头脑中发生的过程,了解极为有限。因此,在近期内这一目标很难实现。为此,美、日等国正在开展这方面的基础研究。例如,日本通产省决定用十年时间投资八十亿日元组织国立研究机构、大学和民间企业,从下列几方面进行开发生物电脑:(一)以人脑为样本建立新的电脑设计思想;(二)弄清低等动物的神经网络;(三)开发生物元件等等。日本科学技术会议通过的“今后十年日本科技发展基本方针和主要推进领域”决议案中,第一部分是先导性的基础科技领域,其中关于生命科学部分包括二个内容,其中之一是人体科学技术,只有两项内容,第一项就是精神活动主体——大脑的机理的阐明,另一项是免疫问题的研究。可见日本对这一问题的重视。另外,日本生物物理学研究也把脑的研究列为第一项。美国的军方和大学对脑和神经系统的奥秘始终抱有强烈的兴趣,从上面已列举过一些零星的事例中也可略见一斑。

国内的一些情况

国内对于神经网络(脑)的信息处理问题感兴趣的专家是很多的,有的已进行了若干年研究并取得一定成绩。最可喜的是年轻大学生和研究生对此抱有强烈兴趣,并组织读书会、讨论

班进行学术活动。鉴于作者了解情况有限以及文章的篇幅限制,仅以近期召开的一次会议为主,加以简略介绍。

1986年7月初在北京召开了一次“脑的工作原理”讨论会。会议是由中国生物物理学会和中国科学院理论物理所联合资助下召开的。会议有十六个报告,现扼要介绍如后。

神经胶质细胞的作用 中国科学院上海生化所研究员、理论物理所客座教授徐京华的报告“神经胶质细胞-神经元网络”,引起很大注意和反响。过去人们一直认为胶质细胞的作用是简单的支撑作用和营养作用。直到1977年在比利时第六届国际神经化学会议上提出许多报告,才认识到它在神经系统信息处理中起重要作用。脑中胶质细胞的数目几倍于神经元数。动物出生后,胶质细胞的数目是可变的;在不同生理条件和病理情况下它们的数量也有变化。现在发现,胶质细胞的数目与动物或人的智力活动有密切关系。生活在贫乏环境中的呆笨的老鼠的胶质细胞,比生活在丰富环境中的聪明老鼠的胶质细胞,数量要少得多。爱因斯坦脑中的胶质细胞比一般人多75%。胶质细胞数(G)与神经细胞数(N)之比 G/N ,与动物的进化程度和智力的高低多少有些平行关系。从分子生物学和细胞生物学角度看来,胶质细胞积极参与脑中的代谢过程、离子通道、递质释放和电位变化。因此,在考虑神经网络的行为时,有必要把胶质细胞的作用估计在内。

鉴于上述理由,徐京华首次把胶质细胞的慢电位变化,以及它对神经元的调制作用,列入 Ermentrout & Cowan 神经网络方程之中^[4]。研究这类由神经元和胶质细胞联合组成的方程组,发现二者的电位变化在一定条件下出现同步振荡,与癫痫发作时的实际情况相似。另外,计算这组方程式,也可以看到,神经网络的动态行为在参数变化下,从分岔、准周期到达混沌(Chaos)状态。

由于脑电图是大量脑细胞总体活动的结果,再加颅骨、头皮等组织的隔离作用,从而使所得的脑电图难于分析。因而,近年来人们对

于这种手段感到失望。南京大学卢侃和南京军区 201 医院高柏良,受徐京华工作的启发,把脑电波看作是神经网络的一种混沌态,使用新近发展起来的研究系统混沌现象的一套理论方法,对脑电波的分析 and 解释带来一线希望。他们观察和记录在正常及病理状态下的脑电波,进行适当处理,计算出某些参数值(如相关维数、庞加莱截面等等),得到一些有意义的结果。例如,当人闭眼静心休息时脑电图的相关维数约在 2 左右,当受试者完成一定心算作业时(例如从 300 倒数至 1),维数就增加到 3 左右。正常人在进行这类运算时,左右两半球的脑电图的反应也是不一样的。新近工作表明,裂脑人在进行这类测试时,两侧脑电波的维数是不相同的。中国科学院生物物理所王宝翰介绍了凝聚态物理中的自旋玻璃理论在神经网络中应用的可能性,并打算在 Hopfield 方程中加入一项,以代表胶质细胞的作用,考察神经网络的学习和记忆行为。

科学院上海生理所的陈丽筠除了介绍神经胶质细胞特异标识物(S-100 蛋白)对脑细胞蛋白激酶的调制作用的自己的工作以外,还报告了关于分子神经生物学近期迅速发展情况。神经递质是一种痕量、高效而且功效十分专一的物质,对于神经元之间的信息传递和神经系统的整体功能的发挥起十分重要的作用。十年前人们只知道乙酰胆碱和 GABA 两种递质,而现在发现的肽类、氨基酸类以及胺类等神经递质不下五十种。

海马结构模型,学习和记忆模型 中国科学院心理所的匡培梓和中日友谊医院陈惟昌的二个报告指出,心理学和生理学的许多实验表明,脑中的海马部位对人的记忆起重要作用;特别是对短时记忆向长时记忆转化过程,海马是必不可少的。解剖学和组织学告诉我们,整个海马是由几类细胞有规律地排列而成的。根据海马的结构和功能,现在已提出若干种模型来刻画其行为。中国科学院自动化所黄秉宪在会上报告了一种联想记忆模型。这是一种两级联想存贮器模型,比经典的模型有所发展。在学

习阶段,将实物及其特征输入模型,改变相应的突触联系,可自动形成抽象概念。在读出时,可用实物输入获得其特征和类别,或用抽象概念输入,获得相应的实物输出等等。上海工业大学张锡麟的报告,生动地描述了智能计算机中关于学习、记忆、语言和专家系统的研究概况,分析了计算机与人脑在信息处理上的异同。

复旦大学生物系顾凡及对听觉诱发电位研究中的短音反应和频率跟随反应之间的关系,提出一种统一的处理方法,把两者在更高理论层次上联系起来。首都医学院的欧阳楷介绍了眼动眼震的生理和病理,介绍用系统分析方法研究这一问题的临床意义,报告了他们在这一方面进行的工作。为了建立共同语言,促进相互了解,会议临时安排了二个报告。首都医学院张致身介绍了神经系统和脑的组织学和解剖学,特别放映了胶质细胞和海马区的神经结构。中国科学院计算技术研究所的史忠植介绍了智能机的发展历史,世界上第五代计算机的进展情况以及高技术领域的今后发展动向。

计算视觉的进展 这次会议上所作的报告中有一三分之一是关于视觉信息加工问题的。这种情况是与当前国际上在视觉研究中所取得的进展和引起人们的重视程度相适应的。视觉是人的主要感觉通路,从胚胎发育看,视网膜是人脑的一部分。视觉通路的研究也比较清楚,视觉信息投射到皮层的十几个区域,据估计大约 60% 的大脑皮层与视觉有关。视觉研究中的电生理工作在近廿年中积累了大量资料,成为神经科学的一个重要突破口。获诺贝尔奖的侧抑制网络研究就是在一种节肢动物的复眼中发现的。视觉系统中的感受野概念,以及它们的特异的功能性质和有规律的层次结构,给人们留下极为深刻的印象。Hubel 和 Wiesel 就因为在这一方面的杰出贡献而获 1981 年诺贝尔奖。大量的心理学实验,为多种多样的视觉理论提供了丰富的素材。研究计算机视觉和机器人视觉的迫切需要,既对视觉研究增加了推动力,又为视觉研究提供了最新的理论分析工具和研究方法。

中国科学院生物物理所张少吾的报告“视觉平行算法”，触及到新一代计算机的基本运算法则。他列举了视觉信息处理中的一些平行算法，并探讨了将来在智能机设计中的可能应用。郑竺英的报告“立体视觉的信息处理”，介绍了体视研究的发展历史，体视理论的演变过程，以及当前的研究概况。立体视觉是视觉研究中重要课题之一，也是当前十分热门的领域之一。美英等国一些名牌大学集中专门人才钻研这一问题。郑竺英小组及其研究生，最近用准 DOG 函数作为视差匹配基元，对一维立体图对进行计算，取得一些好结果。这一方法与国际上现行算法相比，有所创新。

生物物理所汪云九在会上介绍了他们小组的研究工作，提出用广义 Gabor 函数作为视觉系统初级信息加工的权函数^[5]。这个模型可以描述视觉系统中各层次上的各类主要的感受野。它既反映了视觉信息加工中的层次性，又可代表时空通道的平行性，因此，比现有的一些理论模型具有更广泛的代表性。这个模型中的广义 Gabor 函数是神经网络中兴奋性突触和抑制性突触空间分布的一种描述。也可考虑为兴奋波在神经网络中传播的时空性质。因此，与神经生理学中的实验研究，有良好的对应关系。这一模型既可刻画对称性感野 (Hartline 型, Kuffler 型)，又可描述非对称性感野

(Hubel 和 Wiesel 的条型和边型)。所以这一模型比视觉生理中流行和运用了廿年的 Rodieck 的 DOG 函数模型要完善和合理。另外，这一模型虽然直接的刻画对象是各种类型的感受野，但也可以作为某些视觉心理现象进行神经学解释的工具。最后，这一模型也可供计算机视觉研究者，设计图象初级处理系统时参考使用，因为，从理论上看来，这一模型比计算机视觉研究中常用的 Marr 模型更为完善和优越。

由于这次会议筹备仓促，一定有许多工作未被邀请出席或因故未能参加，其中不乏有第一流的研究工作。

综上所述，从国内外对神经系统(脑)的信息处理问题的研究看来，它已成为生物物理学研究的一个重要领域。可以相信，随着实验手段的改进，各学科的相互渗透和促进，在这一领域中将会出现更大的发展。

参 考 文 献

- [1] D. Rose and V. G. Dobson: *Models of the Visual Cortex*, John Wiley & Sons, Chichester, New York, 1986.
- [2] Masao Ito: *News in Physiological Science*, 1, 30, 1986.
- [3] D. Marr: *Vision*, San Francisco, CA: Freeman, 1982.
- [4] Xu Jing-hua and Li Wei: *Lecture Notes in Biomathematics* (Ed. Taramoto, E.), in press.
- [5] 汪云九等:《生物物理学报》, 1, 123, 1985.

[本文于 1986 年 11 月 10 日收到]

(上接第 30 页)

- [2] Olsson, T. et al.: *Immunoassay for the 80's* (A. volter. et al., ed.) P113, 1981.
- [3] Schroeder, R. et al.: *In Methods in Enzymology*, 57, 424, 1978.
- [4] 徐兆昌:《国外医学——药学分册》, 1, 47, 1985.
- [5] Cheng, P. J. et al.: *J. Immunoassay. Methods*, 48, 159, 1982.
- [6] Wood, W. G. et al.: *Anal. Appl. Biolumin. Chemilumin. Proc. Int. Symp.*, 3rd, P189, 1984.
- [7] Simpson, J. S. et al.: *Nature*, 279, 646, 1979.
- [8] Tsuji, A. et al.: *Enzyme Immunoassays*, (E. Eshika-

wa. et al., eds) P41, 1981.

- [9] Patel, A. et al.: *Clin. Chem.*, 29, 1604, 1983.
- [10] Weeks, I. et al.: *Clin. Chem.*, 29, 1474, 1983.
- [11] Hersh, L. S. et al.: *Anal. Biochem.*, 93, 267, 1979.
- [12] 蒋滋慧等:《中国免疫学杂志》, 5, 36, 1985.
- [13] Kransz, H. S. et al.: *Fresenius Z. Anal. Chem.*, 317, 723, 1984.
- [14] Patel, A. et al.: *Anal. Biochem.*, 129, 162, 1983.
- [15] Klingler, W. et al.: *Anal. Appl. Biolumin. Chemilumin. Proc. Int. Symp.*, 3rd, P265, 1984.

[本文于 1986 年 8 月 13 日收到]