

Frontiers and Future of Science

科学前沿与未来

(2009-2011)

香山科学会议/编



科学出版社

科学前沿与未来 (2009—2011)

香山科学会议 编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

香山科学会议是由国家科学技术部(原国家科委)发起,在科学技术部和中国科学院的共同支持下于1993年正式创办的。截至2010年底已举办388次学术讨论会、13次特殊系列学术研讨会,出版系列文集11册。

本书从近两年的学术讨论会中遴选出20篇一流的综述性文章,内容涉及生命科学、环境科学、地球科学、纳米科学、物理学、化学、天文学及管理科学等多学科交叉的前沿、热点问题。旨在为政府决策部门、科技管理部门和有关专家学者在制定国家重点科技政策、部署国家科技发展规划和重大科技立项时提供参考,也可供相关科学领域的科研人员 and 高等院校的师生及科技爱好者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

科学前沿与未来:2009~2011/香山科学会议编
—北京:科学出版社,2011
ISBN 978-7-03-031538-0
I. 科… II. 香… III. 科学技术-动态-世界-2009~2011 IV. N11
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 113472 号

责任编辑:张淑晓 杨 震 王国华/责任校对:郭端芝
责任印制:钱玉芬/封面设计:无极书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年6月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2011年6月第一次印刷 印张:14 1/4

印数:1—2 500 字数:272 000

定价:40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序 一

现代科学正在突飞猛进地发展，不断扩展人类的视野，增长人类的知识，促进社会繁荣，推动经济发展，备受世人关注。

现在，科学技术正处于重大突破的前夕。新发现、新思想、新概念、新方法的不断涌现，新学科和新方向的不断产生，学科的交叉、渗透和综合趋势的日益增强，复杂性（复杂系统）和整体性研究的崛起，构成当代科学发展蔚为壮观的景象。这不仅对科学的许多原有概念提出了挑战，而且深刻影响到经济和社会生活的各个方面，包括人们的思维方式、生产方式、工作方式和生活方式。

“科学是无止境的前沿”。在科学自身的伟大创造力和经济社会不断出现的巨大需求的推动下，科学不断地推进自己的前沿和扩展研究的领域。现在，这一过程日益加速。学科前沿的错综交叉、变化多端、绚丽多彩、日新月异，令人振奋。

探讨科学前沿，了解其变化和走向，展望未来，对于促进科学发展、促进科技创新，具有战略性的意义。这种预测、研讨活动，本身就是科研工作的重要组成部分。

探明科学前沿、预测科学未来、认清萌生的生长点和蕴藏的新苗头，是非常困难的，需要雄厚的、长期系统的积累，需要扎实地、坚持不懈地努力研究。出版《科学前沿与未来》系列专著，无疑给科技界提供了交流和讨论的机会，并将吸引大家把注意力和兴趣投向最主要、最有希望、发展最快的前沿，主要是交叉前沿，激励大家的研究兴趣，并长期坚持下去。这将使我们的科研工作永远处于科学的最前沿，从而充满活力，富有创造性。

《科学前沿与未来》系列专著，以香山科学会议的综述报告和重点发言为基本内容，并欢迎在科学前沿从事研究工作的科学家投稿。我们希望科技界和全社会，都关心、爱护、支持这个系列专著，齐心协力，把它长期办下去，为科技发展、科技创新、培育人才作出贡献。

周光召

序 二

当今世界，科学技术的突飞猛进改变了人类社会的各个方面。科学技术走出实验室已作为一个国家综合国力的代名词。

蓬勃兴起的新科技革命，为我国的改革开放和经济发展提供了契机。在这难得的历史机遇面前，中国科技界任重道远，一方面要花大力气通过先进的科学技术，改造传统产业，发展新兴产业，不断提高科技进步在经济增长和社会发展中的作用，促进整个国民经济持续、快速、健康的发展；另一方面要稳定一批优秀队伍，在基础科学、高科技的前沿等方面作出世界一流的工作，要做到这一点，提供一个宽松的、自由阐述新思想、新概念、新发展的环境是很需要的。正是基于这种考虑，在1992年7月召开的“展望21世纪初的中国自然科学”座谈会上，产生了举办“香山科学会议”的想法。两年多来，在国家科委和中国科学院有关同志的努力下，会议办起来了，迄今已举办了20多次，在科技界产生了很好的影响。最近江泽民主席也对香山科学会议表示关注。这无疑是对我们工作的极大鼓励和鞭策。

《科学前沿与未来》是香山科学会议的评述报告和重要发言的汇编，集各家之言，洋洋洒洒，把这些宏论良策发表出来是希望能引起社会各界，尤其是广大科技工作者的争论和共鸣，从而对当今前沿重大科学问题加深认识乃至对我国科研工作的今后布局产生影响，也希望由此能传播香山科学会议精神，在我国科技界倡导和培育自由、宽松、民主的学术风尚，引导和激励广大科技工作者特别是青年一代勇攀世界科技高峰，为我国的科学研究、技术创新和世界科技进步作出更大的贡献。

惠征

1995年1月6日

目 录

序一

序二

神经信息学中的几个关键问题	童勤业 张 宏/1
计算神经科学的现状、机遇与挑战	
..... 吴 思 梁培基 任 维 陶乐天 张丽清 张 涛/13	
生命系统电磁现象及电磁对生命系统的作用若干问题的探讨	
..... 董秀珍 俞梦孙/18	
仿生膜发展与展望	李改平 汪尔康/35
中国载人航天催生的交叉学科——航天医学工程学	陈善广/42
方药量效关系研究的关键问题和策略	仝小林/51
蛋白质分离和鉴定的新技术新方法——从定性到定量	张玉奎
袁辉明 周 愿 张丽华 邹汉法 张祥民 陆豪杰 杨芑原 钱小红/59	
道地药材的知识产权本质及其保护方略	李 昶/65
道地药材的品质特征及形成机制	黄璐琦 马超一 郭兰萍/71
鄱阳湖主要生态环境问题及保护对策	
..... 孟 伟 王圣瑞 郑丙辉 焦立新 刘征涛/79	
森林生态系统管理与土壤可持续固碳能力	刘世荣 王 晖/92
中国稀土资源高效清洁提取与循环利用	黄小卫/98
过程工业减排的节能机制	陆小华/120
离子液体应用的关键科学问题	张锁江 姚晓倩/128
人工环境与自然环境的协调发展	马蔼乃/145
纳米电介质的结构及运行的时空多层次性及其思考	雷清泉/158
西太平洋暖池对东亚季风系统和西北太平洋台风活动热力作用的研究	
..... 黄荣辉/170	
地球系统动力学与地震成因及其四维预测	李德威/184
暗物质和暗能量	张新民/196
太阳活动 24 周的异常行为	方 成 李可军/201
附录	/212

神经信息学中的几个关键问题

童勤业 张 宏

1. 引言

美国 *Science* 杂志 2006 年编辑部文章^[1] 第一句话（而且是用特别大的字体）是“COMPUTATIONAL NEUROSCIENCE IS NOW A MATURE FIELD OF RESEARCH”，这句话的意思是：计算神经科学是成熟的研究领域。这句话仅仅局限于神经系统的动力学描述，也许可以这样理解，如果把计算神经科学作为研究神经信息本质问题的手段，那就要另外考虑了。据英国媒体报道，瑞士洛桑联邦工学院科学家、“蓝脑计划”的主管亨利·马克拉姆表示：先进的功能性人造大脑将在 10 年内变成现实。

这两种断言一个是权威杂志发表的、一个是媒体报道的，也许我们不应该把它们放在一起。不管怎样，现在我们来讨论这些断言的正确性。

10 年之内脑内信号过程的真正模型可以解决，这是否意味着现有的知识（数学理论、信息处理理论、物理理论、电子回路理论、系统理论、化学理论等）完全能分析神经信息过程了？现有的人工智能能力远低于人的智能，如果 10 年之内可以解决，则 10 年之内人工智能也一定能达到人的智能。或者说，凭借现有知识我们有可能来构建数学模型，使此模型能描述脑的信息处理过程。这看来是十分困难的。

根据我们的研究，至少有两个问题需要讨论：①不稳定与不确定性；②定量问题。

1.1 不稳定与不确定性

神经系统是个不稳定和不确定的系统，文献 [2] 第一句话即是：Spike trains are unreliable. “unreliable” 的意思是不可信、不确定等，长期做实验的人也有这种体会。文献 [3] 引用了很多资料^[4~8]，证明在大脑皮层中出现的极不规则的脉冲序列，是不可能用同样的实验来重复得到的，这说明神经脉冲序列的不确定性。

诺贝尔奖获得者埃德尔曼 (Gerald M. Edelman) 指出^[9]: “我们已经反复强调, 每一个脑的最突出的特点之一是它的个别性 (individuality) 和多变性 (variability)。在脑的所有组织层次上都有这种多变性, 这种多变性是如此之大, 以至于我们在寻求一种脑活动的物理理论时, 不能把它仅仅当成噪声而不予考虑, 或是忽略掉……这对于任何一个试图解释脑的总体功能的理论, 都是一种极大的挑战……”。他又进一步指出: “……这种千差万别使得每一个脑都是独一无二的。这些观察给基于指令和计算机之上的脑模型提出了根本性挑战……”, “脑不是计算机, ……有人追求精确的神经编码, 而实际上找不到”^[9,10]。

应该说 Edelman 的描述是正确的, 正像每个人的指纹不同, 每个人的虹膜结构不同, 每个人的视网膜血管分布不同, 这些不同常被用来作为识别每个人的生物特征, 神经网络也应该是不一样的, 这也是为大部分生物学家所接受的, 这就是结构上的不确定性。不过, Edelman 由此所得出的结论和观点是存在争议的。后来有不少专家对他发表种种评论。这就是对不确定性的认识问题。对这一问题不同的观点就有截然不同的理解和办法。

现有的工程技术观点认为不稳定是有害的, 他们会想尽一切办法去避免不稳定。可是研究经验告诉我们, 这种不稳定和不确定系统具有很大的优越性:

(1) 只有不稳定系统才有初值敏感性^[11], 有了初值敏感性才能提高神经系统的灵敏性, 而且越不稳定系统的灵敏度越高。猫头鹰和人能区分 $5\mu\text{s}$ 的时间差^[12,13] (一个神经脉冲宽度是 1ms , $5\mu\text{s}=5/1000\text{ms}$), $5\mu\text{s}$ 的时间差与传感细胞的灵敏度无关, 完全要靠系统的灵敏度来实现。

(2) 结构不确定的简并系统^[14] 将比其中任何子系统都具有更强大的功能 (下面将分析简并性)。

(3) 不稳定还有更深层次的意义, 如脑内 “free will” 现象的存在^[15]、灵感的突然出现、Eccles 的微位理论要成立^[16] 等, 不可缺少的条件是系统的不稳定性。微小的量子效应要影响宏观的系统运动, 不可缺少的条件也是系统不稳定。决策的随机性也有不稳定性的作用存在。注意, 在稳定系统中不可能出现上述各种现象。

1.2 定量化分析

从目前看, 神经元和神经网络的最好模型是 H-H 方程 (包括修正和扩展的神经元方程) 再加上非线性动力学分析, 脑内神经元所发出的各种神经电信号, 基本上都可以用非线性动力学来分析和描述, 难怪 *Science* 编辑说计算神经科学是一个成熟的领域^[1]。可是仔细分析一下会发现, 非线性动力学的理论基本上是

定性分析理论^[17]。

目前的认知科学理论基本上是以模式 (pattern) 识别、聚类分析、统计、最优化等为基础的, 从数学角度看这些方法也主要属于定性分析。

其实神经系统信息过程是定量过程。人和动物靠两耳接收声音的时间差来确定声源方向, 它必须是定量的, 实验表明, 猫头鹰可以区别两耳信号 $5\mu\text{s}$ 的时间差^[13]。蝙蝠要在灌木丛中区分树枝摆动和飞行小虫, 只能靠多普勒效应的差别, 要分析多普勒效应大小也只能靠定量分析; 高清晰数字图像除了像素要多以外, 更需要高位 A/D 变换器; 高音质数字音乐也需要高位数 A/D 变换器; 人能区分图像是否是高清晰、能区分音乐是否是高质量, 说明人的神经系统也是精细定量的; 人眼能分清千千万万种颜色, 完全靠对红、绿、蓝三种基本颜色敏感性的不同定量比例来决定。姚明要准确投篮也要靠定量来控制。任何正确的神经信息理论, 都必须能解释上述现象。定性理论是很难分析定量过程的。特别是在定量机理不清楚的情况下, 随使用定性方法常常会将人引入错误方向。

不稳定系统能定量地、高灵敏地检测小信号吗? 不稳定系统能否实现高分辨率量化? 这是一个矛盾。这一矛盾不解决, 就很难实现定量研究, 也就很难认识神经信息过程。应该说, 这也是多年来神经信息研究一直没有很好发展的原因。10 年内这两个问题不解决就不可能真正地得到脑模型。

2. 为什么现在混沌系统没有很好地用于信息系统

非线性理论自 20 世纪 60 年代进入高速发展以来, 到现在几近半个世纪了, 可是混沌系统应用特别是混沌在信息科学中的应用却很少。混沌电路中有个有名的蔡氏电路 (Chua's circuit), 该电路的发表引起了人们的极大兴趣, 混沌同步和混沌控制发明后^[18,19], 更是兴起了混沌用于通信的研究热潮。各种研究文章发表很多, 10 年后蔡氏电路发明者还为此写了专门的评论性文章^[20]。直到现在又过去了十几年, 可是后续研究结果报道就不多了。文献 [21] 是近期这方面研究的总结性长篇文章, 从中也可看出一些动向——这些研究与应用相距甚远。这是什么原因?

混沌系统的特点集中表现在混沌轨道上, 混沌系统要应用于信息科学, 关键是混沌轨道能否表征信息。可是混沌轨道是不可预测的, 而信息是确定的、定量的, 这两者的矛盾如何解决? 由于这一关键问题长期以来都得不到解决, 混沌系统迟迟没有很好地用于信息科学。其实这里的问题与研究脑的问题一样, 都是不能正确理解不稳定和不确定问题。其实脑是利用混沌的真正专家。不理解脑的不

稳定性问题,也就不可能把混沌用于信息科学。

3. S 空间的引入

对于上述矛盾, S 空间理论是一个较好的解决方法。S 空间理论实际上就是以前我们所提的“序空间”理论^[14,22~24]。S 空间理论不是凭空创造出来的,它是基于神经元模型中发现的圆映射规律,有了圆映射就可以用符号动力学理论分析,从而得出了 S 空间的概念。

1) 一维 S 空间定义

S 空间是对“实数空间”略作改进。在实数空间中,一条直线代表一维实空间,直线上每一个点表明一个实数,如果有两个不相等的实数 x 和 y ,则在实数轴上可用两个点表示,它具有两个特性:

- (1) 两数一定有大小之分,如 $x > y$ (或 $y > x$);
- (2) 两点之间的距离 $\|x - y\|$ 是一定的。

S 空间只是把 (2) 这一条特性去掉,也就是说,距离 $\|x, y\|$ 是不一定的。这就是一维的 S 空间。形象地说,实空间是把坐标轴放在刚体上,而 S 空间是把坐标轴变为橡皮筋,可以任意拉伸。

2) 二维 S 空间定义

由两个一维的实数轴构成一个二维实数空间,同样由两个一维的 S 空间构成一个二维的 S 空间。形象地说,二维 S 空间,就是把二维的笛卡儿坐标从刚体上移到弹性膜上来。弹性膜可以在两个方向上自由拉伸。当弹性膜的弹性系数为零时,弹性膜就成为刚体, S 空间重新回到实空间。因此可以说, S 空间是实空间的推广,而实空间是 S 空间的特例。

3) S 空间性质与不确定性

(1) 进入 S 空间,实际上是去掉特性 (2),已经是从确定性走向不确定性。 $x > y$ (或 $y > x$) 是一个不确定性的指标。因为符合不等式的 x 和 y 有无穷多个。

(2) 定理 1 S 空间中所有上升(下降)的单调函数是等价的。

证明

不失一般性, 设有如图 1 的三个单调上升函数 $f_1()$ 、 $f_2()$ 和 $f_3()$ 。

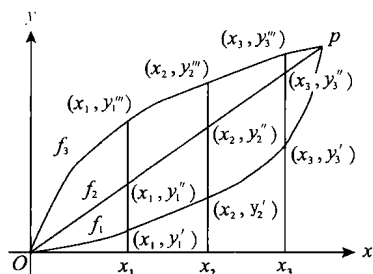


图 1 在 S 空间中, 函数 f_1 、 f_2 和 f_3 被视为同一的
假定存在三个独立自变量有关系

$$x_1 < x_2 < x_3 \quad (1)$$

经函数 $f_1()$ 作用, 得关系

$$y'_1 < y'_2 < y'_3 \quad (2)$$

式 (1) 和式 (2) 中对应量保持相同排序。 $f_2()$ 、 $f_3()$ 也具有同样的性质。在 S 空间中并不关心三者的绝对差值是多少, 只注意这三者之间的大小次序, 所以可以认为 $f_1()$ 、 $f_2()$ 、 $f_3()$ 三函数是等效的。 $f_1()$ 、 $f_2()$ 、 $f_3()$ 可理解为同一函数在不同的坐标轴拉伸下的变形。

(3) 复合函数单调性不变原理。

如有复合函数 $f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot \dots \cdot f_n()$, 其中参数任意变化。只要保持每一个单一函数 f_i 单调性不变, 则复合函数 $f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot \dots \cdot f_n()$ 的单调性也不变。

4. 脑和神经系统是在 S 空间中进行信息处理

脑是在 S 空间中进行信息处理的^[16]。虽然没有直接证据, 但可通过人的行为研究来认识这一点。人脑作为系统, 其输入来自所有感觉器官。仔细分析一下, 每一器官对外界信号的“检测”都只有一个相对大小。例如, 人的视觉并不需要测量每一像素点绝对的亮度, 只要知道各像素间的相对灰度大小, 就能分清图像的各个层次。听觉也只需分清声音强度和频率的相对大小随时间的变化, 就能区分语音。狗能嗅出几公里路以外的气味, 也只需反映有或无, 无需知道这种气体的绝对浓度。人的所有感觉到的信号都只有在比较中才能区分信号强弱, 根本不知道绝对值大小。人的神经系统所接收的信号都是只有相对大小。神经系统

就是基于这些相对信号进行信息处理的，由此可以说，神经系统是在 S 空间中进行信息处理的。

5. S 空间中的不变性与统计不变性

目前对于不稳定和不确定系统分析唯一的方法是采用统计方法（当然现在已经发展出很多的统计方法，如统计平均、相关、中心模式理论、聚类分析、参数估计、人工神经网络、模式识别以及各种统计指标，如李亚普诺夫指数、分维数、复杂性指标等），希望从统计中找到不变的规律，追求统计上的不变性。可是 S 空间中的规律一般不符合统计规律。从图 1 就可以知道，三个函数实际上可以任意确定，所以一般它不会符合统计规律，在这样的函数作用下其结果也不符合统计规律。因此可以说：S 空间的不变性和统计不变性是两回事。用 S 空间来处理不确定性，实际上跳出了统计的范畴。

6. S 空间研究进展

按 S 空间理论，建立了很多模型，如嗅觉模型、听觉模型、生物声纳模型^[13,22,23]等。这些模型都是用统一的理论建立起来的，都有较高的分辨率。听觉和嗅觉系统从结构上看完全不同，但是信息处理的原理是一致的，只是听觉信号多了时间结构。

7. 对于“简并”的解释

承认神经系统结构上的不确定性，承认每一个脑的结构都是世界上独一无二的，就应该认识到神经回路中存在“简并性”（degeneracy）。否则我们就无法了解神经回路。对于神经系统来说，简并性是指不同结构的神经回路能产生相同的功能，由这些回路所组成的系统称为具有“简并性”系统，Edelman 又把它称为“选择性系统”。在神经系统中，即使在一个脑区中也有大量各种变异的神经回路，只因它们存在简并性，才使该区神经系统能够正常工作。

电子线路可采用相同电路作为备份来提高电路的可靠性，但整个回路功能与单个回路完全一样。神经系统不可能大量复制相同回路，要提高系统的可靠性只能靠简并性，具有简并性的神经回路不仅能提高可靠性，还能大大增加脑的信息处理适应能力。神经系统在处理同一信息时采用简并性，是利用不同回

路的共性，但它们还有不同的个性。在不同环境中对同样信息可能有不同的处理要求，对于同一信号的处理目的不同，也会有不同要求，神经系统处理能力的扩大可以在不同回路的个性中体现出来，使神经系统信息处理的适应能力大大提高。人脑的信息处理能力为什么会远超计算机？简并性的存在也许是问题的关键。

“简并性”是量子力学中的概念，Edelman 在《神经达尔文主义》一书中揭示了神经网络中存在简并现象，提出了生物体内从分子一直到免疫系统和神经系统都存在“简并”现象。他的理论被认为是 20 世纪 80 年代以来理论神经科学最重要的进展之一，应该说这一评价是正确的。但是他的理论没有说清楚神经网络中简并的形式和作用。这是这一理论难以发展的根本原因，因此也受到了不少人的质疑，有人曾试图在神经回路上具体地把简并性体现出来，文献 [25] 具体讨论了运动神经系统简并性神经回路，采用脉冲序列分布模式来分析运动神经输出，这是合理的，因为输出的模式不同，会造成运动肌肉收缩的节律不同，这与神经编码关系不大，易于讨论。要真正分析脑和神经系统的简并性，仅仅分析运动神经是不够的，更重要的是对输入回路、信息处理回路的简并性讨论，这方面的研究还未见报道，因为讨论输入回路的简并性和神经网络内部的简并问题就会涉及信息在神经网络中的编码这一难题。

有了 S 空间编码，就可以讨论“简并”问题了。“简并”可以从两个方面来讨论：①对于某一功能有哪些回路可以实现？也就是怎样的一些回路具有相同功能？②这些回路输出信号如何被综合、简并？下面我们来分别讨论这两个问题，第一个问题直接影响到我们对简并的认识，神经网络中怎样一类神经回路具有相同功能？在整个神经网络中除感受器以外，神经元的兴奋方式就是动作电位，最基本的生理特征是神经脉冲和脉冲序列。按简并的定义，要使不同的神经回路具有同样的功能，就意味着不同神经回路在同样的输入条件下，要有同样的神经脉冲序列输出。而且，随着输入的变化，不同神经回路输出的变化规律要相同。在生物系统中，同样的神经回路，在同样的刺激下其输出已很难保持相同，更不用说不同的神经回路在同样条件下保证有相同的输出。因此，另一种可能解释就是虽然脉冲序列不同，但可以提取相同的特征量，用相同的特征量来保证相同功能。如何提取特征量，就成为涉及神经编码的根本问题。S 空间编码理论^[23]可以较好地解释这一问题。

由文献 [23] 可知，神经脉冲序列是可排序的。因此，不同的神经回路输入、输出的关系可被理解为具有各种各样量的大小的函数关系，输入、输出的变化规律要保证完全相同，意味着输入、输出之间的函数关系（或映射关系）相

同,这是很难实现的。从S空间看,照定理1,输入、输出之间只要保持单调性变化规律相同,就可被认为是同一的。要使单调性变化达到一致的网络有很多。因此,我们认为,S空间编码理论可较好地分析神经回路中的简并性。

不同功能应该有不同的简并回路。这里主要讨论两耳时间差(ITD)的模型,如图2所示(详细内容请见文献[14])。这就是两耳时间差检测简并性回路。 $n_1, n_2, n_3, \dots, n_n$ 和 $n'_1, n'_2, n'_3, \dots, n'_n$ 分别表示两耳的输入神经元(注:我们先不考虑模拟的声音信号如何变为脉冲序列信号,我们只假定相同声音所对应的脉冲序列相同,声音如果迟到 Δ 时间,则对应的脉冲序列也迟到 Δ 时间)。把 h_i 及 h_i 以上上游细胞直到 n 和 n' 层的细胞连在一起,它就是一个独立的两耳时间差的神经检测回路。图中, H 层中共有18个细胞,也就是有18个不同结构的神经回路合在一起; D 层表示简并单元层。18个回路和 D 层组成的系统符合Edelman所提出的简并原理^[9],只要保留两耳都有神经元存在,系统中可以任意去掉一些神经元,整个系统功能均保持不变。

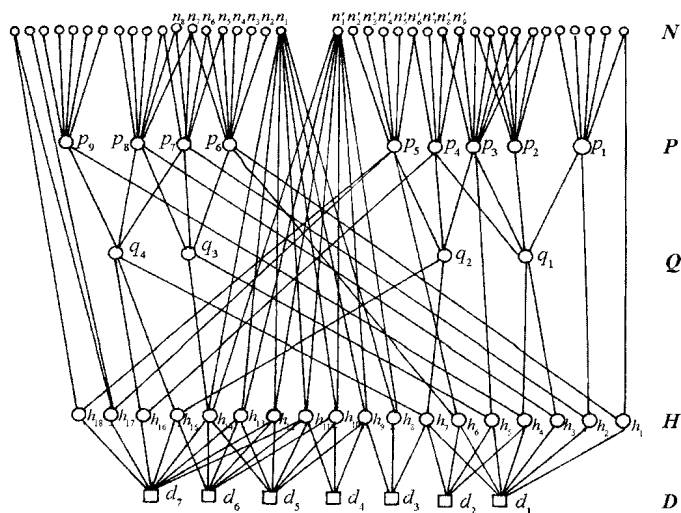


图2 ITD的简并性回路

第二个问题是如何被综合、被“简并”。按Edelman理论,这18个回路是按达尔文选择理论来进行“选择”使用的,所以被称为神经达尔文主义。如果真是这样的话,不用的回路就会逐渐退化而萎缩掉。萎缩后的神经回路就不是简并回路。看来这不符合生物实际。我们的观点是:这十几个回路都在使用。简并方法很简单,只要进行S空间加法就行了, D 层细胞都是简并细胞,如何简并 n 个信号,可用式(3)表示。(神经回路如何实现加法将另文讨论)。

$$Y = x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n \quad (3)$$

式中, $x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n$ 表示来自 n 个细胞的输出; Y 表示简并后输出。 x_i 为单调向上变量数, 则 Y 也是单调向上变量数。在这里任意去掉几个 x_i 不影响 Y 输出, 但是 Y 的特性却比任意一个 x_i 都好。因为这些回路都不是线性系统, 所以, 对输入的灵敏性不会在整个输入信号强弱范围内都是均匀的。当输入的相位差在某一范围内 x_i 灵敏度较低, 可能在另一 x_j 处灵敏度较高, 则 Y 同样能反映出较高灵敏度。由于 n 较多, 则 Y 可以表现出较大范围内的高灵敏度。这也反映出简并系统将优于每一个子系统。

图 2 完全是按理论任意画出的回路, 这种回路图还可以画出成千上万张, 图 2 中也可以任意去掉一些细胞, 不会影响测量的灵敏度。如果我们将大部分细胞都去掉, 留下 n_1, n'_1 以及 $h_8, h_9, h_{10}, h_{11}, h_{12}, h_{13}, h_{15}$, 则得到 60 多年来被大家普遍认可的 Jeffress 模型 (图 3)^[26]。

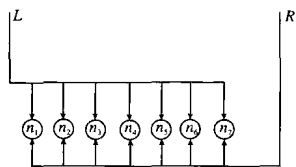


图 3 Jeffress 模型 (ITD)

不管 Jeffress 模型是否存在缺陷, 至少此模型被很多生物学家所承认, 经过了 60 多年后还在研究, 而且有文献说它有生物学的根据^[27,28]。这是否说明简并回路也是符合生物实际的? 更有意思的是, 同一回路有两种不同解释, 按我们的解释系统灵敏度更高, 而且可靠性 (冗余度) 也比 Jeffress 解释的更高^[14], 应该更符合生物实际。

8. 用 S 空间理论分析人工智能

有了 S 空间理论, 我们对人工智能的学习方法也就有了不同看法。我们初步做了语音识别分析, 现有的语音识别方法, 不管方法有多好, 总需要有一个语音数据库用于学习。需要大量数据库来进行统计, 并从中得到具有“代表性”的特征量或“中心模式”, 从而学到所需知识。可是小孩听大人说话或成人学外语, 只要能听懂一人说话就能听懂其他人说话, 能听懂男人说话就能听懂女人说话。

根据我们初步实验体会, 认为人的语音 (无论汉语、英语) 和文字 (无论中文、英文) 都是符合 S 空间原理的。也许由于人们已经意识到神经系统是按照 S

空间中的规律工作的，所以语音和文字创造也要符合这一规律，便于辨别。否则人就会听不懂语音或识别不了文字。

每一个人的发音器官结构是一样的，如果有一个正确的数学模型，则所有人的模型应该是一样的，所不同的只是在各人模型的参数上不一样，根据 S 空间中系统单调性不变原理，这些参数的变化不改变每一单元的单调性，则整个输出波形虽然有很大变化，但是，从 S 空间看它没有变，也就是在 S 空间中所取的特征值是不变的。这也可以解释成人学外语不需要大量数据库的原因。其实，根据我们的语音初步实验也能认识到这一点。

9. 高灵敏不稳定的模拟计算机的开发

如果认识到脑是不稳定和不确定性的，又承认脑的信息系统是精细定量的，就表明脑是不稳定高灵敏的模拟计算机。现代数字机是不能实现不稳定高灵敏的计算的。搞过计算数学的人都知道，由于数字机是有限位计算的，所以充其量是在有理数范围内工作，而混沌系统等都是工作在实数范围内，有理数只能无限接近实数，但永远代替不了实数。计算机每计算一步就会引入计算误差，这种误差对于稳定系统问题不大，随着轨道计算的延长它还是会趋向稳定点，可是对于不稳定系统，这些误差不仅不会消失反而会被放大，每计算一步，就会加入计算误差，而且这些误差会随着轨道的延长而不断被放大。因此，在数字机中计算出来的混沌轨道，当轨道较长时有专家说它已是“胡说八道”了。我们计算过一个神经元在一串脉冲序列刺激下其输出的脉冲序列（采用 64 位双精度），在输出为二十几个脉冲以后，已经有不可忽略的误差。如果两个神经元串联起来，第二个神经元输出可能只有十几个神经脉冲可信。如果有三个神经串联起来，其输出可能只有几个脉冲可信了。现在国际上有人在计算 10 000 个以上神经元的网络，在现有的通用机上计算看来可信度是让人怀疑的。

按我们的观点：要模拟大规模神经网络，不能用数字机，除非计算位数足够大，否则只能用模拟机实现。模拟机不被重视，主要是由于它的不稳定性。其实脑本身是更加不稳定的系统。如能真正了解脑，知道它是如何解决不稳定和不确定问题的，我们就有可能做出高灵敏、不稳定的模拟计算机。

10. 结束语

综上所述可知，在神经信息研究中要考虑神经系统的不稳定性和不确定性，

同时也要考虑到神经信息的定量特性,这两者看来是有矛盾的,但又是生物实际。这是一个观念问题。它至少向我们提出了这样一个问题:人们要从追求稳定的确定性的线性观点向以不稳定和不确定为特征的非线性观点转变。解决了这一问题,神经信息研究才能有所突破。S空间是在这样的情况下提出的,它可用来解决这一矛盾。但是,S空间理论是很初步的。

有了S空间的思想就更能理解 Prigogine 的观点:我们正处在科学史中的一个转折点上。我们走到了伽利略和牛顿所开辟的道路的尽头,他们给我们描绘了一个时间可逆的确定性宇宙的图景,我们现在却看到确定性的腐朽和物理学定律新表述的诞生^[29]。

参 考 资 料

- [1] Stern P, Travis J. Of bytes and brains. *Science*, 2006, 314 (6): 75
- [2] Houghton C. Studying spike trains using a van Rossum metric with a synapse-like filter. *J Comput Neurosci*, 2009, 26: 149-155
- [3] Banerjee A. On the sensitive dependence on initial conditions of the dynamics of networks of spiking neurons. *J Comput Neurosci*, 2006, 20: 321-348
- [4] Tomko G, Crapper D. Neuronal variability: non-stationary responses to identical visual stimuli. *Brain Res*, 1974, 79: 405-418
- [5] Burns B D, Webb A C. The spontaneous activity of neurones in the cat's cerebral cortex. *Proc R Soc London, B*, 1976, 194: 211-233
- [6] Tolhurst D J, Movshon J A, Dean A F. The statistical reliability of signals in single neurons in cat and monkey visual cortex. *Vision Res*, 1983, 23: 775-785
- [7] Snowden R J, Treue S, Andersen R A. The response of neurons in areas V1 and MT of the alert rhesus monkey to moving random dot patterns. *Exp Brain Res*, 1992, 88: 389-400
- [8] Britten K H, Shadlen M N, Newsome W T, et al. Responses of neurons in macaque MT to stochastic motion signals. *Visual Neurosci*, 1993, 10: 1157-1169
- [9] Edelman G M. *A Universe of Consciousness*. New York: Basic Books, 2000
- [10] Edelman G M. *Neural Darwinism*. New York: Basic Books, 1987
- [11] Banerjee A. On the sensitive dependence on initial conditions of the dynamics of networks of spiking neurons. *J Comput Neurosci*, 2006, 20: 321-348
- [12] 尼克尔斯 J G, 马 J A R, 华莱士 B G, 等. 神经生物学——从神经元到脑. 杨雄里, 等译. 北京: 科学出版社, 2003
- [13] Konishi M. Listening with two ears. *Sci Am*, 1993, 268 (4): 34-41
- [14] 张宏, 刘淑芳, 钱鸣奇, 等. 神经系统的简并性与序空间编码分析. *物理学报*, 2009, 85 (10): 7322-7329
- [15] Hong F T. Towards physical dynamic tolerance: an approach to resolve the conflict between free will and physical determinism. *BioSystems*, 2003, 68: 85-105