

# 我的科学憧憬之一： 揭开人类大脑运转的奥秘

按语: 为了同参与博文大赛的广大网友和同行门交流思想看法, 切磋学术, 我将响应号召, 陆续发表若干个人博文。根据参赛规则, 我不参加最后评选活动。这里贵在参与, 活跃气氛。因此, 诚恳希望大家畅所欲言, 提出各种评论和宝贵建议与意见。我将感激不尽。

方锦清

世纪之交诞生的广泛交叉科学——网络科学为人们研究复杂系统提供了新思想、新方法和新途径[1-4]。生命系统堪称最复杂系统之一, 其中尤以大脑最为神秘和错综复杂。为了弄清世上最复杂人类大脑系统究竟是如何“运转”的奥秘, 人类已苦苦地探索近四千年了。据《星期日泰晤士报》报道[5], 大约 3700 年前, 埃及一名宗教界人士研究了大约 30 个脑损伤病例, 把脑部不同部位的受伤情况与一些独特症状相联系, 以勘察和了解大脑的内在工作线素。对人体大多数其他器官, 通常必须通过尸体解剖方式来了解它们的大体工作机理, 国内外近代医学已经积累了这方面的丰富经验和科学知识。但对于缺乏“活动部件”的大脑而言, 一直到 19 世纪末期, 研究者一直依靠脑损伤患者来探索大脑的工作机理, 一直缺乏特别有效的实验方

法、手段和途径，当然也缺乏有力的理论指导。但是，从 20 世纪 80 年代，由于正电子发射 X 射线层析照相术、计算机化轴向层面 X 射线摄影法、核磁共振成像等新技术和新设备的不断出现，使针对大脑的探索出现新趋势。研究人员研制出功能强大的计算机，编写出配套软件程序，用以分析这些设备测得的数据，推动了大脑的实质性研究。值得指出的是，近年来网络理论和新方法正在促进动物和人类大脑的研究工作[5-9]，为人们揭开生命的最大奥秘——大脑是如何运转、人类是怎么思考和认知过程的奥妙，带来了曙光、希望和科学的瞳景。

最近，英国伦敦大学学院的研究人员在《自然》杂志上发文[6]，报告了他们首次确认人类大脑中存在一种利用正三角形网格来帮助定位的“网格细胞”，如图 1 所示。

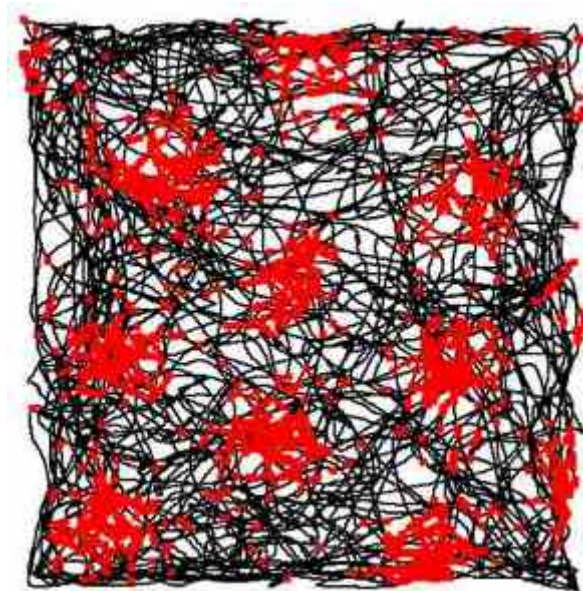


图 1 人类大脑中的“导航系统”使用的却是由正三角形组成的网格。

根据报道，过去曾有研究发现实验鼠大脑中存在这种细胞，因此研究人员设计了一套虚拟现实系统，请受试者戴上专用设备，“游览”虚拟的山谷草地等景色，同时利用功能磁共振成像技术测量受试者大脑相应区域的活动情况。结果发现，人类大脑中相应细胞的活动同样呈现出明显的正三角形网格模式，并且受试者的空间记忆能力越强，这种模式就越明显。这些网格细胞为大脑提供了空间认知地图，它们使用了与通常地图中经线和纬线非常相似的方式，所不同的是采用了三角形网格而不是方形网格。这一最新研究显示，人类大脑中的“导航系统”使用的却是由正三角形组成的网格。

最近又报道[5]：美国印第安那大学的神经学家 Olaf Sporns 与、哈佛大学医学院、瑞士洛桑大学和洛桑联邦理工学院等机构院所合作者组成的一支国际科研小组，他们创建出首张高精度完整的大脑网络地图，如图 2 所示。

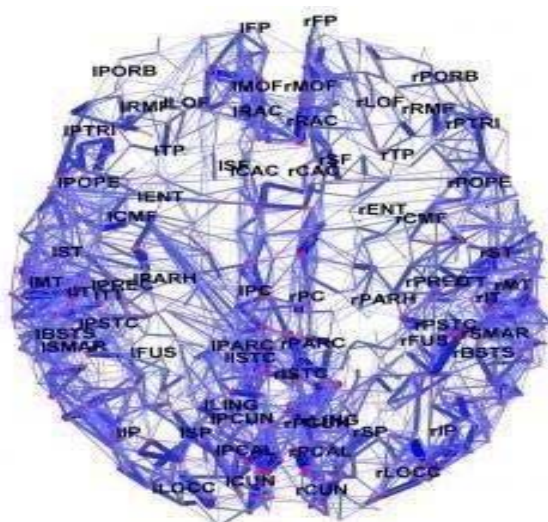


图 2 首张完整的高清晰度人类大脑皮层地图，并从中确定出了单一的网络核心。图片来源：Indiana University（科学网报道）

图 2 反映了人类大脑皮层中负责高等思维的数百万神经纤维，如何相互连接和“交谈”。更为重要的突破是，研究人员从中确定出了一个大脑单一网络核心（network core），它对于左右脑半球的工作都至关重要。新研究标志着人类在理解自身最复杂和最神秘器官上又前进一大步。

该项研究的科学家来自美国印第安那大学、哈佛大学医学院、瑞士洛桑大学和洛桑联邦理工学院等机构院所。他们的论文不仅提供了大脑连接的综合地图 [6]（图 2），同时也描述了一种新型无创技术，以便其他科学家能够将构建数万亿大脑神经联系的高清晰地图工作进行到底。这已经成为了一个新的科学领域——“神经连接组学”（connectomics）。该文第一作者——神经学家 Olaf Sporns 指出，“新的研究是构建大规模大脑计算模型，进而帮助科学家理解一些难以观测的过程（比如疾病状态和损伤修复）的最初一步。”进一步的计算分析表明，人类大脑皮层中存在着对神经连通性起中枢作用的区域，研究人员形象地将其称为大脑的“中心”（hub）。令人惊讶的是，研究表明：所有受试者的大脑都拥有单一的高度密集连接的结构核。Sporns 表示，“我们发现该结构核位于大脑皮层的中央后部，它同时骑跨着左右脑半球。这是以前人们不知道的。”，而接下来的问题就是新的大脑连接网络是否负责塑造着大脑的动态活性。为了验证这一点，研究人员利用 fMRI 和 DSI 两种方法检验了 5 位受试者的大脑，并比较观测到的大脑活性与深层神经网络间的接近度。

我认为，下一步关键问题是：既然图 1 与图 2 都观察和发现了大脑的实际网络精确结构图，那么到底能否把他们统一起来进行深入的研究，以便揭开大脑网络的内在奥妙？哪怕是一部分一部分逐步揭开。以便更深入探讨与迄今发现的复杂网络的共性——小世界和无标度特性，怎么寻找它们的作用与联系？

迄今，研究已经发现：大脑功能网络大脑具有小世界效应[7-9]。因为现有的图像技术还难以深入到投影神经元（微观尺度）层次，因此，目前主要从大脑功能这个大尺度上来探索。理论和实验上已经从结构网络（解剖得到）和功能网络（fMRI 技术）的大尺度层次验证了小世界特性[7]，国际上神经科学试验也比较认同小世界特性（SW）与神经信号的传递之间的一定关系，认为 SW 有利于提高信息传递效率。同时，也提出和发现大脑功能网络具有无标度性[8]，使用 36\*64\*64 fMR 图像，通过计算分析每一个像素点构造得到的关联网络。大脑网络功能的无标度特性表明大脑中存在某些最关键的功能区域参与几乎其它功能区域的功能活动，但是目前来看缺乏神经科学试验的验证。不过，迄今已经提出用神经元模型（神经元作为网络节点）模拟了大脑网络系统，数值也验证了大脑网络的拓扑特性。

如上所述，科学家大都利用功能核磁共振成像（fMRI）技术测定感觉或认知过程中的大脑活动性区域，但却对产生这种活性的深层解剖学因素所知甚少。此外，科学家对大脑神经纤维连接和路径的认识大多数都来自对动物的实验研究。迄今，图 2 关于人类大脑联系的完



整地图，将为进一步探索人类电脑奥妙提供了一种可能性。在最新研究中，研究人员利用先进的扩散核磁共振技术（Diffusion MRI）对人类大脑进行成像，这种无创成像技术主要依据水分子在脑组织中的扩散来评估神经纤维连接的轨道。而该技术的高敏感度变种——扩散光谱成像（diffusion spectrum imaging，简称DSI），则能够描述通过某一位置的多重神经纤维的定向性。最新研究正是将该技术应用于整个人类大脑皮层，才得到了其中数百万神经纤维的网络地图。

目前，从网络科学把大脑网络的描述方式分为三大类型（见图3）[11-13]。第一类型是大脑结构性网络（structure network），这类

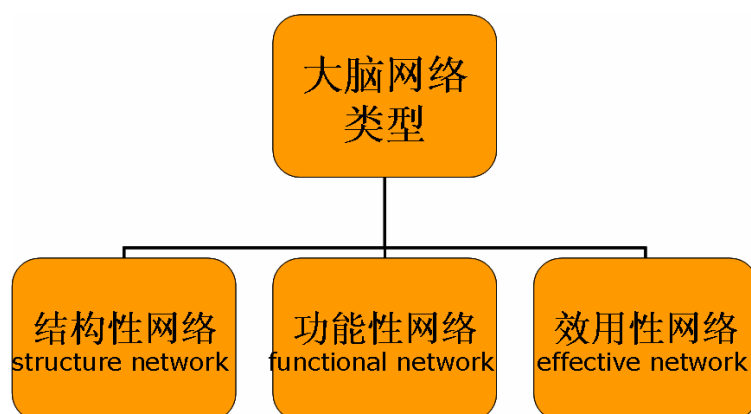


图3 描述大脑网络的三大类型

大脑网络一般是通过从哺乳动物的大脑的实体解剖或利用核磁影像的方法来构建的。第二类型：大脑功能性网络(functional network)，它描述皮层神经网络各节点之间的统计性连接关系，该网络是利用EEG、MEG、fMRI等信号，基于相位同步分析和互相关联等方法来构建。这是目前研究最多的一类大脑网络，并发现了小世界和无标度特

性[7-10]。第三类型：大脑效用性网络（effective network），描述皮层神经网络各节点之间的相互影响或信息流向。

据我所知，目前应用网络科学的思想 and 理论方法探索大脑网络的基本思路和框架，如图 4 说明，这个路线图还可进一步补充完善。

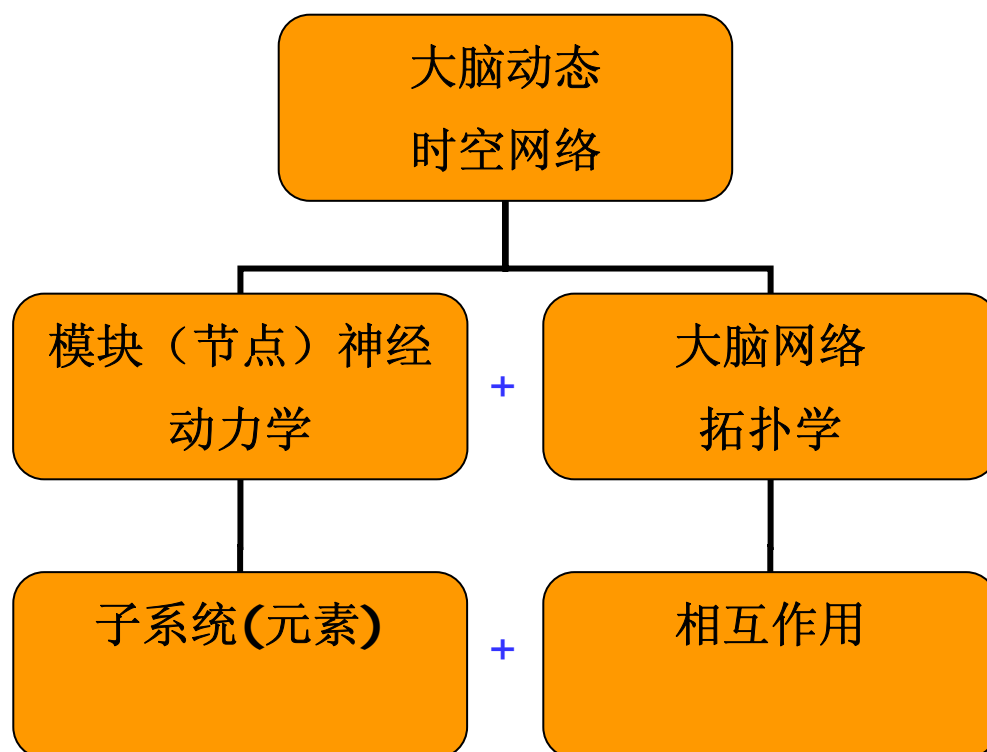


图 4 目前探索大脑网络的一种基本思路和框架。

大脑随着不同情况具有时间和空间复杂变化的特点，因此大脑运转的奥秘必须考虑动态时空网络，不仅与节点和模块的动力学有密切关系，而且与拓扑特性相互作用和影响。目前，网络科学在大脑网络探索中可以发挥指导作用，具体研究路线和框架需要与实验研究紧密配合，不断补充完善。对于深入探索大脑网络的前景，我充满着期待和无限的憧憬。我认为，这是网络科学与生命科学极好的交叉领域，是 21 世纪最富挑战性的和最需要突破的一个前沿课题。近年来，我国

已经有些年轻学者和研究生正在这条战线上拼搏,开始组成科学家合作网,表现出信心、勇气和智慧。我多么期盼和寄希望于年轻人,能够早日揭开人类大脑运转和认知的奥秘。尽管前进的道路依然崎岖曲折,但是,我坚信,中国人与世界民族一道,人类具有攻无不克的探索精神、无限潜能和聪明智慧,一定能够达到终极的探索目标。揭开大脑的“庐山真面目”的日子必将到来!

## 参考文献

1. 方锦清编著, 驾驭强流束晕与探索网络科学, 北京: 原子能出版社, 2008 国内出版的有关复杂网络的书籍请看介绍:  
[http://www.sciencenet.cn/m/user\\_content.aspx?id=297604](http://www.sciencenet.cn/m/user_content.aspx?id=297604)
2. 方锦清等, 一门崭新的交叉科学—网络科学(上), 物理学进展, 2007, 27(3):239-343; (下), 物理学进展, 2007, 27(4)361-448.
3. 方锦清等, 非线性网络的动力学复杂性研究, 物理学进展, 2009, 29(1):1-74.
4. TED. G. LIWIS, Network Science—Theory and Application, WILEY, USA, 2009.
5. [UCL Institute of Cognitive Neuroscience](http://www.ucl.ac.uk/news/news-articles/1001/10012001), Human brain uses grid to represent space, Nature, Publication date: Jan 20, 2010 6:05:00 PM  
<http://www.ucl.ac.uk/news/news-articles/1001/10012001>
6. Indiana University, 创建首张完整的高清晰度人类大脑皮层地图, 并从中确定出了单一的网络核心。2009年6月30日, 《公共科学图书馆·生物学》(PLoS Biology)。来源: [科学网 www.sciencenet.cn](http://www.sciencenet.cn) 发布时间: 2008-12-14 19:46:47。
7. Danielle Smith Bassett and Ed Bullmore Small-World Brain Networks *Neuroscientist* 2006; 12; 512  
<http://nro.sagepub.com/cgi/content/abstract/12/6/5>
8. V. M. Eguiluz, et al. scale-free property PRL 94, 018102, 2005.
9. C. S. Zhou, et al. Hierarchical organization, PRL 97, 238103, 2006
10. Cai Shiming, The 5<sup>th</sup> Chinese National Forum on Network Science, Beijing, 2009.
11. 孙俊峰, “复杂网络论坛”博文: 大脑的功能性网络的构建,  
[http://www.sciencenet.cn/m/user\\_content.aspx?id=276478](http://www.sciencenet.cn/m/user_content.aspx?id=276478)
12. 孙伟刚, “复杂网络论坛”博文: 大脑网络研究-祝贺复杂网络圈成立,  
[http://www.sciencenet.cn/m/user\\_content.aspx?id=274308](http://www.sciencenet.cn/m/user_content.aspx?id=274308)
13. 王青云, “复杂网络论坛”博文: 神经网络动力学研究-祝贺复杂网络圈



成立。[http://www.sciencenet.cn/m/user\\_content.aspx?id=273905](http://www.sciencenet.cn/m/user_content.aspx?id=273905)。