

信息模式和决策的分级动态

Pablo Varona¹ and Mikhail I. Rabinovich²

¹埃斯库埃拉大学马德里, 西班牙研究所,

²加州大学圣地亚哥分校,USA

在健康和无序的大脑认知功能的交互传统研究中已使用一些专门的脑网络,即功能连接组的连接性分析。然而,越来越多的证据表明,这两个大脑网络和功能自发脑范围内的网络通信本质上是动态的。在研究中调查不同的认知功能之间的合作情况,我们在这里考虑分层网络的认知空间的动态。我们发现,使用基于连续情景记忆,稳格局变化背后的基本认知过程的描述是如何帮助了解和预测一样连续情节记忆回忆和决策策略之间的竞争,复杂的过程,行为决策的一个例子。在相应的认知模型的相位空间中的所讨论的现象的数学图像分层异网络。一个这样的网络的最重要的特征是它们的动态的稳健性。不同种类的这些动态的不稳定性可与创造力的“动态签名”和不同的精神疾病。该建议的方法也可以是意识的基础上的动态过程的理解是有用的。

1. 简介

(a) 信息化模式, 亚稳态和动态顺序

脑动力,即人的认知活动在一个分层的方式组织顺序心理过程的相互作用。反过来,是由大脑功能网络[1-3]的层次结构产生的心理分层动力学。在神经科学中正式顺序的想法最初是由Lashley提出的[4],并很快在学术界兴起。事实上,任何心理功能的表现可以看作是亚稳态,信息的模式,即在一个串行顺序切换序列。亚稳信息图案的存在产生于在整个大脑[5,6]功能上耦合活性的大脑区域的上下文中。这样的图案定性地不仅与特定认知/行为任务的改变,但它们还取决于性能的阶段,即它们在时间[7,8]顺序地改变而改变。

许多认知功能都基于相同的关键动力学原理,其中一种通用原理可以被描述成这样:思维,即兴音乐,语音和其他认知功能均是分布式功能网络活性的不同的模式不同的信息图案的顺序切换的结果[9,10]。从这个角度来看,我们提出一种理解、描述及预测相位空间拓扑的分析和亚稳态网络的分岔分层认知过程的新方法。我们建议,在这里分析的精神相空间的动态图像,例如(i)结合分层网络,(ii)分块层次,及(iii)它们之间的相互作用。基于这种方法,我们专门讨论决策(DM)的动态。

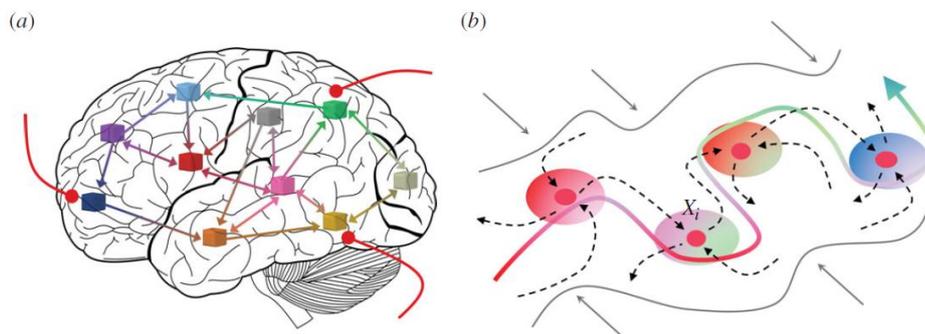


图1 (a) 全球脑网络,其活性可在认知空间通过鲁棒稳定异通道来表示。(b) 中SHC包括亚稳态,信息图案的链。在每个亚稳态的附近的渐变颜色表示生成相应的图案脑元件的组合。带箭头的虚线表示稳定和趋于稳定的状态,其确定对信息流的结构的不稳定。认知和行为层次的认知相空间的动态图像

在本文中,我们考虑认知网络的分层动态,代表不同的心理活动不是在物理大脑空间来,

如[11-13]，但在认知空间，即在描述了这样的过程相应的动态模型的相空间。作为成像实验表明，复杂的认知活动，像语音生成和感知的性能，需要几个基本的认知网络的协作（例如，[14]；图1A）。许多基本认知功能的本质是动态及其相应的活动在时间上是短暂的。存在能够代表在相空间被称为稳定异通道（特别困难）鲁棒瞬态神经过程已知的数学图像[15-18]。这样的信道的建立块是亚稳态，鞍套，由不稳定的分离式（图1B）相连。亚稳状态代表在大脑知觉或存储信息的模式。

特别困难的鲁棒性是通过代理，变量顺序地演变，以创建亚稳状态的链竞争相互作用来提供。甲无赢家竞争（WLC），即具有不同的时间赢家永久竞争，基于不对称抑制[19]可以是特别困难的起源。如果在这种链鞍座的不稳定分离式的尺寸大于一，异通道形成异网络可以表示的象语音生成，音乐提升，花样滑冰动力学，以及其他复杂的认知功能的动态[18]。大多数人的想法涉及的考虑，在过去发生的事件和的规划是什么在未来做发挥基础性作用。回顾过去，想象未来的动态链接在联合顺序网络项目。事件 - 情景记忆（EM），针对其特定的时间和上下文连接的序列的记录，是一种分层的动力学过程，必须是健壮的和可再现的。我们认为，这个过程起源是记忆的物品，或图案，以及新项目的信息层次结构的各个层次之间的WLC。这种竞争的层次包括绑定和组块的过程，这表明决策是根据以往的经验和学习。下面我们分析这些过程的建模框架。在这种情况下，我们也可以解决动态的多样性和脑网络多功能的调查，情感认知相互作用和层次的不稳定性和不同的疾病之间的关系。

在下面的章节中，我们提供了一个隐喻和巡回神经元处理相关的数学形式可以用更高级的认知功能，如短期记忆，注意力和DM相关。我们的处理暗示着抽象，我们用它来说明想法和认知功能是启发式的动力学行为之间的关系。不过，也有通过这种方法提供了一些基本的见解。特别地，我们将说明在整个大脑规模任何分布式（宏观）活性可在模式或活动，其随时间变化的波动可以在广义的Lotka-Volterra的容易实现特别困难的方面进行建模的模式来描述（GLV）动态。通过在分层方式嵌套正常形式对于这些动力学，一个可以描述被选择并且在远即显著地使人想起助记符，注意力，DM过程的情境化的神经元活性的序列模式。将所得的形式主义不仅提供了在脑高级认知功能的计算体系结构，但也可以用作观测模型（例如动态因果模型）的基础上量化期间存储器任务和DM引起结构还巡回脑动力学。

2. 从通过顺序情景记忆顺序存储器

(a) 的神经生物学感知到行为决定：预测和决策

顺序EM表示时间序列顺序的自传经验和特定事件的记忆。此类事件的一大块被称为一个小插曲。有关特定存储集-什么，在哪里，而当和相关的情绪可以明确地由认知目标或感觉信息[20]回忆。反复发作的集成记忆，情景工作记忆（EWM）的网络，发挥在类似情况下对未来事件的预测了关键作用。当我们回忆过去还是展望未来，事件通常来我们的脑海中一个有组织的顺序，即一个小插曲。在解剖学上，支持EM网络包括海马和腹侧内侧前额叶皮质，纹状体和其他脑区[21-23]。因此，EM是提供在过去发生并且可用于将来[24]的预测事件的表示分布式动力过程。人的心灵产生我们自己的行动剧目的约束范围内有效的预测。这使得感觉和运动系统表示[25]预测兼容，也说明了在情节的事件男主角预测和观察员[26-28]之间的差异的根源。

(b) 如何建立行为决策的动态模型

我们以往的经验，通常能帮助我们的时候，我们必须做出基于不确定或混乱的信息一个艰难的决定（例如参见[29]）。从经验中学习变造的DM网络，因此我们的头脑是能够迅速归类了我们的看法，并作出决定，开展适当的行动。根据不同的环境信息，根据以往的经验，选择可以是无意识/自动，或额外补充感官信息，可以有意识地用于重新评估。这两种行为反应被编码并在不同的人类大脑的网络[30]进行。

在下面的章节中，我们建立基于信息的有效性，我们收集对EM的简单评价DM模型。事件的顺序将与发生了“积极”的情节只是比较术语“积极”的情节，我们指的事件顺序，在过去与成功决策. 当创建，我们还提供DM模型结束必须牢记的注意选择的作用。在发作性检索（ER）的功能性神经影像学研究，在额叶，顶叶，前扣带，和丘脑区域的激活典型地归因于ER的过程[31]。注意和记忆是紧密联系的。卡韦萨等。 [32]假设，并证明了注意力可以稳定认知状态的信息的模式。目前还不清楚如何情节与小说情节之前的存储器连接，然后用于将来的DM。必须有中介流程，使用内存作为基础来生成面向未来的决策。我们通过命名目标导向的注意选择控制这些过程EWM。

(c) 动态编码

无赢家竞争原理和信息模式中的一个的在脑中涉及信息处理现行概念是装配编码[33]的动力单元。此概念是基于以下事实：任务相关，时间缩放的大基团的神经元，一个动力电池组件-自发组织并通过从合作神经元表示彼此相关击发尖峰几乎一致定时暂时连接的动态调制。我们描述这些组件的时空模式。例如，在大鼠味觉皮层，每个味道是通过在链特异性顺序的命令，可以认为是这些模式-信息模式[34]之间的交替切换来表示。动态编码，这是很常见的自然的风格，例如，通常是基于一个WLC的原则，可以在运动生态学模型的框架来解释，其中最简单的是洛特卡 - 沃尔泰拉（LV）方程[35,36]。数学在这样的编码的对应的相空间图像是SHC。我们将使用的分层模型的每个级别这个基本公式LV的变种，我们希望建立。

内部产生的序列是在学习和执行目标为导向的DM非常重要的[37]在神经记录技术。现代的进步让大脑信息模式的表征。在群体水平，“这些动力学通常是低维[38]。这样的低维的合作动力学是该表格模式，并且可通过各种技术如主成分分析[39,40]提取的相干活性的结果。空间图案包含对环境和人的精神状态的信息。基于模式的功能性磁共振成像（fMRI）分析启用基于内容的信息处理的在人脑中[41,42]的详细表征。

(d) 基本动力学模型

在许多情况下，有可能通过两个变量分别表示大脑模式的时间和空间方面： $R(t)$ 和 $Q(R)$ 。因此，我们有：

$$P^i(r,t) = X_i(t)Q^i(r), i=1,2,\dots,N$$

其中 $P^i(r,t)$ 是第*i*个空间 - 时间模式基于所述一组离散的坐标（脑模式）在大脑中的空间齐是相应的第*i*个图案的空间结构，习的特征化在合奏的第*i*个图案的合作动力学的时间演变，而*N*是参考图案的数量。人们可以假设每个图案模式满足动力学方程直到二阶。如果作为该推理过程的结果，模式的空间结构是已知的，分解后的基本动力学模型可以写成方程GLV的形式：

$$\frac{d}{dt}X_i = X_i(t)[\sigma_i(S) - \sum_{j=1}^N \rho_{ij}X_j]$$

这里 $\sigma_i(S)$ 是表示在模激发的参数， ρ_{ij} 是模式之间的认知抑制矩阵，而*S*是输入端，内部或外部激励的捕获的来源。像情感和认知不同模态的相互作用，这是正常和病理心理动力学的理解重要，可以通过相同类型的方程[43,44]的说明。需要强调的是 $P^i(r,t)$ 可能拥有与不同的认知，行为，工作表现不同的感觉是非常重要的。特别是， $P^i(r,t)$ 的特性动力学可能是复

杂的，它可以包括几个脑子网像感知，记忆和马达脑电路。这些复杂的动力学经常可以表示为事件的序列，从而进行建模（2.2）在同一或在一个广义形式便于其分析和，特别是，对于情景记忆的描述。

(e) 以行动为基础的决策的层次模型

形成集：分块让我们考虑一个门将试图预测在反对要拍一个足球球门谁的行为。为了使问题清晰，假设有三个或四个攻击者和防御者不能阻止他们的演习。守门员从以前的游戏同一支球队知道一些最喜欢的每个攻击者的行动：第九号喜欢球踢到低左角目标，七号喜欢球踢到球门和数字10和五个中心通常做出踢的球门右下角低上角，分别。根据这方面的知识，守门员跳转到椎体左侧或右侧门柱或停留，他是能够预测的攻击当中谁就会得到最好的机会球的时候。这种概率上的预测依赖于当前和先前发作，即从它们守门员的EM（图2a）回顾先前球道次的图形的顺序动力学。通常的方式攻击者的群体行为是：混乱的球员，有节奏的交换，或企图通过玩家一个单独攻击目标之间的足球交流的。所有这些可能性都在他脑海里由不同的动态图像表示，可以通过从现场视觉信息诱导本情节初容易比较。

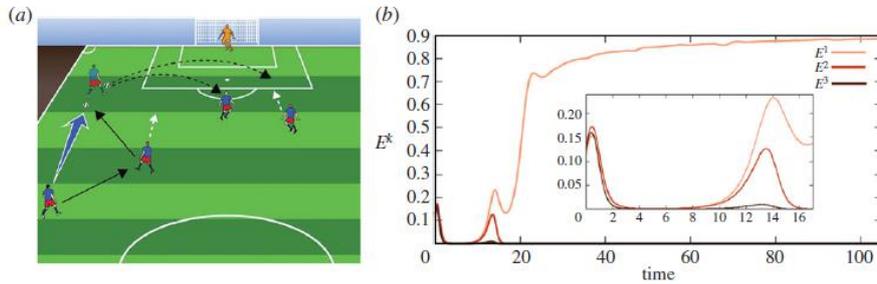


图2 (a) 中典型的攻击图案，球的传球，在足球场。守门员必须预测谁将会作出最后一脚让他跳的决定在当前的播放到达球。从EM召回期间过去情节相互作用 (b) 的实施例。根据系统 (2.3) 的变量表示EK第k个集过去 (2.6)，即，在过去的特定游戏。在这个例子中，第1集压正。插图显示时间0-17套利的打击了。单元，其中在过去的剧集正在评估/与根据等式 (2.6) 本插曲比较。该模拟参数列在电子辅助材料。(网络版在颜色。)

有经验的人脑（学习后）是有线的方式，我们能够，甚至不自觉地，以基于环境信息的最好的决定。当感觉信号激发特定的精神模式，其他模式作为比较估计新一集的相似与那些在EM。这是在我们的例子中，基于行动-DM的情况。当相似参数达到赢家通吃（WTA）分叉的阈值，作出决定。正如我们前面提到的，运动皮质参与相应DM模式和直接实现的决定（也见[45]）。根据这个实例的逻辑，我们的层次模型必须包含通行证的动力，今天的序列的四个级别作出决定后继续，经过过去的序列，对手球队的活动形成发作的级别（分块级别），以及由本情节初控制EWM水平。在大脑中，额叶可以负责这种控制函数[46,47]。在所有这些水平的动力学可以由具有类似的形式，以 (2.2) 方程来描述。因此，我们的分层网络模型是下面的一组耦合方程的：

$$\frac{d}{dt} X_i^0 = X_i^0(t) [\sigma^0(S) - \sum_{j=1}^N \rho_{ij}^0 X_j^0]$$

$$\frac{d}{dt} X_i^k = X_i^k(t) [\sigma^k E^k - \sum_{j=1}^N \rho_{ij}^k X_j^k]$$

$$\frac{d}{dt} E_i^k = E_i^k(t) [1 - Z^k - b \sum_{j=1}^N X_j^k]$$

$$\frac{d}{dt}Z_i^k = E_i^k(t)g^{kl} - Z_i^k + \beta \sum_{j=1}^N X_j^k X_i^l$$

这里 X_i^0 是一组的，描述目前插曲事件变量值 X_i^k 表示第 i 个事件第 k 个插曲， E^k 介绍，在过去的第 k 个插曲。在该模型中的事件描述在我们的足球例的通（一个基本动作），而一集对应于穿过的一个序列，即一个播放。 Z^k 负责情节的分块，即通行证建立一个成功的游戏的分级组织。京客隆介绍，由于有限的能力在他们的分块组织情节的竞争水平。矩阵 ρ^k 负责支持事件瞬态时序动态抑制相互作用，以及 $\beta^l X^0 X^l$ 表征用来从过去的经验，选择未来本插曲，这有助于做出最好的最有可能的情况下，控制功能决策。

(f) 模式

模拟图2b示出了由本情节初的作用下的EM回顾过去发作的相互作用（参见系统(2.3) - (2.6)）。在我们的足球例子，一个小插曲是从对应于特定游戏通行证的一系列内部。正如人们可以在图2B看到的，最接近于今天的未完成的情节插曲插曲1，其盛行比赛（WTA动态）。在图3a中，我们表示对应于本插曲开始时，即当前播放的事件动态。这个剧本正在与来自EM过去的发作（次）（见式(2.6)），使基于最有可能的情况下最好的移动选择。图3B示出对应于获胜第1集的事件动态。在此图中的颜色代表不同的事件动态（不同玩家的活动）。正如人们可以在图3b中看到，一些过去之后，“绿色”的球员持球更长的时间和更高的概率作出最后一脚。这是守门员的预测的基础。作为门将，从以往的经验知道，绿色的玩家的喜爱踢是在右上角。因此，可能是守门员最好的决定是跳转到这个位置。

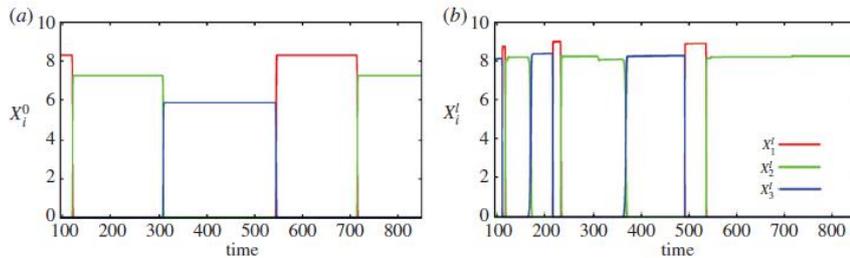


图3. (a) 中的时间序列对非成品本情节（方程(2.3)）的事件动态。(b) 中的事件动力学用于从所述情景记忆获胜插曲（情节1，参见图2B）。该模拟参数列在电子辅助材料。（网络版在颜色。）

3. 情景和情绪记忆的结合

(a) 情感在自传体记忆的作用一般知识（语义记忆）

内存之间声明（传记）内存区分的传统理论的事件[20]。然而，这两种形式的存储器，是相互依存的[48,49]。特别是Renoult等。[49]引入了个人语义（PS）存储器。PS关注一个人的过去的知识，像EM，PS是个人特征（即没有文化共享）。他们的研究表明，这些形式的存储器都在编码和检索的相互影响。相互依赖或结合情节和语义记忆是从过去对未来事件和DM的预测的记忆的关键特征。感知处理增强记忆的情感信息。我们自己的经验，我们还记得情绪化的事件比枯燥好得多。最近的研究通过测试如何情感记忆检索过程中激活的神经被

事先编码策略[50]研究了影响,这种影响的神经机制。与会者顺便编码的情感和中性图片的指示下出席每一个画面的任何语义或知觉属性。识别记忆两天后进行测试。结果说明编码方向如何产生的杏仁核的变化和海马检索情感记忆。让我们在这里创建一个可以描述这种认知信息处理现象的层次动力学模型。需要明确的是,我们考虑一个说明性的例子。假设你是一个著名的运动员,并已被邀请作为一个花样滑冰冠军做客。几个月后,一些体育杂志的编辑要求你分享与读者总冠军最好的溜冰者的印象。然后,你在你的记忆检查好滑冰的几集,但很难说谁是最好的。你几乎准备拒绝编辑的请求。然而,从附近的你听到一个旋律格什温。在那一刻,你在细节记得一个情节,它是基于格什温的蓝色狂想曲。然后,你还记得滑冰的性能有多好,他/她做了三趾环,以及如何好元素序列中块被组织,你还记得面部表现力,服饰,以及运动和音乐的美好关系。突然,就很容易写这个滑冰。

音乐信息可以与情感和语义信息(相联存储器)[51]相关联。凯尔奇等。[52]已经典雅表明短音乐作品具有特定特征可以素语义语言存储器系统,从而产生更快和更有效识别特定的词(综述见[53])。

(b) 中模态的剧集内的模态的瞬态动力学的动力学

图像结合为SHC正如我们前面所讨论的。是稳健的,这样的信道必须由亚稳态具有一维不稳定分离式 [15,36]形成。当我们考虑多方面的连续动态,情况就不同了。例如,要理解和描述滑冰者的行为,我们必须分享视线之中,至少有三个模型-例如技术能力,艺术成分,和情感。此在认知相空间的数学图像是结合网络如图4a所示。在这样的网络中的每个肋表示不同的模态[54]。这种网络可以是在壳体健壮当亚稳态形成的肋是由一维而是二维不稳定分离式特征在于不。在一般情况下,不稳定的分界面可以是多维的(参见电子辅助材料,图S1)。在人类最近的一项研究表明,在脑功能连接是模式中更稳定不是跨模态[55]。我们在后面的章节中讨论结合的模式,我们选择单独的形态比模式之间的相互作用更强的相互作用中(见电子补充材料连接矩阵)。

注意选择能导致形态互动的不同动力机制。图4A中的上侧和底部面板示出样气味,味道模态之间存在强烈的相互作用,并且当品酒回味。在这种情况下,相互作用足够强,导致涉及模式之间的切换关注复杂的动态。在图4a的中间面板示出了交互模式的共存:注意力持续时间几乎相同不同模态之间共享。在这两种情况下,每个事件包括不同的模式[56]的结合模式。广义公式(2.3) - (2.6)与几个模态结合发作可以写成下面的形式与三层结构:

$$\frac{d}{dt} X_i^{km} = X_i^{km} [\sigma^m - Z^k - \beta \sum_{j=1}^N X_j^k X_i^j]$$

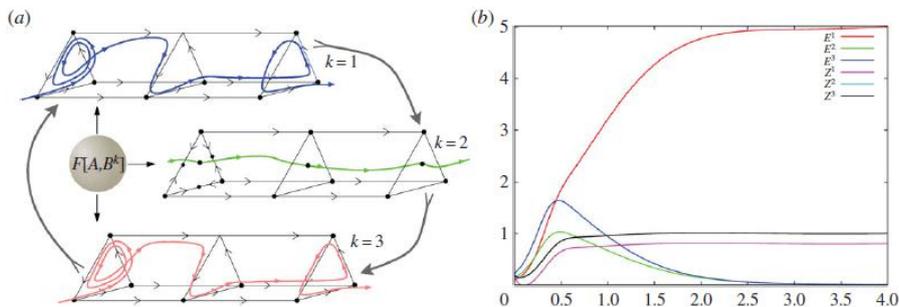


图4. 在EWM外部刺激(方程(3.4))的作用下(a)三个情节相互作用。情节表现出不同的动态对应注意共享(绿色线),并注意开关(蓝色和粉红色的痕迹)。(b)中的剧集的演进。分块变量也绘制。在这个例子中,插曲E1盛行在由系统提供的WTA动力

学 ((3.3) - (3.5)), 见在电子辅助材料参数。(网络版在颜色。)

例如, 我们可以有三个情节与18种亚稳态模式六个事件和每次三种模式, 这结果。 ρ_{ij} 负责同一模式中的不同事件之间的竞争矩阵。事件以每次三个模态事件序列的统一的结果。矩阵 ξ_{ij} 刻画了第 k 个插曲里面不同的模式之间的竞争。对于我们的模拟简便起见, 我们将使用所有形式相同的值。该值取决于注意: 切换不同的模态间注意对应于较大的 j 的值。注意共享对应于 j 的小值。

$$\tau_r \frac{d}{dt} E_i^k = E_i^k(t) [1 - Z^k - b' \sum_{j=1}^N X_j^k]$$

在这种情况下, 其中所有对称方式彼此交互, 我们可以重写方程

$$\tau_r \frac{d}{dt} E_i^k = E_i^k(t) [1 - Z^k - b' \sum_{j=1}^N X_j^k]$$

(iii) 根据一个情绪线索EWM动力学

$$\tau_r \frac{d}{dt} Z_i^k = E_i^k(t) [1 - Z^k - b' \sum_{j=1}^N X_j^k]$$

这里 Z_i^k 是第 k 个情节作为前一个组块变量。

从EWM回顾的信息取决于传入的刺激, 例如在我们的情况下, 控制WM动力学情绪听觉输入(方程(3.4)和图4中; 电子辅助材料, 图S2)。

在滑冰者实例, 注意的是, 在认知空间的结合情景-情感记忆网络表示的模式之间共享。一般情况下, 不仅每集是大块的事件顺序的结构, 但每个事件是结合不同模态的模式的序列。在这个例子中, 这些方式可以是行为, 个人语义(音乐和艺术表现), 和情感。图4b示出了由方程式描述EWM召回的WTA动力学的例子((3.1) - (3.5))。在这个例子中, 模态1个压正。型男现在可以写这个滑冰。

4. 层次信息连接: 到复杂的大脑网络

类似的异不稳定性的作用[57], 认知或神经网络组成的“模块”。这样的模块可以被认为是一个相互联系的分层异网络。这些模块和整个网络是动态和代表认知过程的通过相位轨迹沿时间的性能。分级认知网络和潜在的相互作用的可能性机制的动力学性质的分析有助于澄清回答耐人寻味的问题, 如认知的信息容量或依赖目标性能的稳定性和鲁棒性。用于鲁棒的请求是从根本上矛盾的顺序瞬态动力学从环境信息信号的灵敏度的要求。这一矛盾的解决方案是很自然的异网络, 因为噪音和信息信号不同影响其拓扑结构。在这些网络中, 这些概念被分层由抽象层次嵌套, 并且可以在通用的时间层次结构等结合和分块即控制他们的“Lego”状组合来排序。

我们在上面的认知过程, 如DM和预测表明, 可以表示为分层异网络, 交换信息, 因为亚稳态, 信息模式的不稳定分离式连接不同水平层次的, 如图4亚稳模式可以收集大量的有关特定事件, 图像或概念的信息。

分级时间信息处理的定量描述需要 (i) 所述的信息交换值和 (ii) 的不可预测水平的

定义。让我们介绍一个亚稳状态值的信息交流

$$\Delta I_i^k = \ln \frac{1}{|\eta_i^k|} = \tau_i^k \lambda_i^k$$

总结第*i*个事件的所有模式中的所有信息交换，即认知轨迹经过第*i*个事件，即后所得到的信息。读取是在第*i*个绑定的亚稳态模式事件是

$$I_i = \sum_{k=1}^K \tau_i^k \lambda_i^k$$

事实上，这个公式是Kolmogorov-Sinai表达的非平稳分层处理的概括。我们建议，有时间分级结构和大脑的解剖层次之间的动态桥梁。我们的理论提供了一个框架，用于解释广泛认知动态，包括行为，由通用原则（见[58-61]）。与此同时，所讨论的方法有助于理解意识的动力特性。我们的意识是不是我们的身体和我们的脑，但信息模式的动力序列，大脑全球网络编码和心灵的过程。在这个意义上，我们可以说，在我们的例子中守门员的行为是自动的（潜意识）。相反，记者的行为是有意识的，他/她与自己说话/她，疑惑终于禀告后/她自己的情景记忆作出决定。

5. 讨论

(a) 创造力和认知网络动力学不稳定性

当我们的脑进行标准认知功能如由环境因素确定的特定马达程序的生成，认知动力学如下行为信息熟悉的序列之一图案。在这种情况下认知网络通常不分层。在这些情况下导致亚稳态图案的不稳定性失去信息处理的鲁棒性和由处理容量的限制等与顺序工作存储器[62]的情况。然而，即使是感性的目标，我们的脑会利用分层网络[63]作为一体化的情况下，或不同的信息模式的结合。另一个例子是分块与由事件构成事件处理网络。正如我们所见，层次认知网络的骨架可以出现时的信息图案不同的基团是由不稳定分离式彼此连接。这种连接的尺寸取决于不稳定分离式的数目，并确定分层认知网络的复杂性。

其中涉及到认知的不稳定性最具挑战性的问题是创造力。非线性动力学的方法来创作认为，作为负责生产有效新奇，以及控制机制，确认新奇生产，这并不矛盾，心理健康这一事实的过程。只是新的信息显示惊喜和不协调，但它也必须是有意义的。对应的多维动态模型可基于上述讨论的一般认知原则：及物性，亚稳状态，鲁棒性的存在，灵敏度可用信息。在动力的语言，新的脑不稳定性产生新的亚稳态模式，使自传记忆更加丰富。在法服模型(2.1)，这意味着增加了模型的尺寸和代理的数量参与认知过程。在认知阶段的空间，更多的不稳定和的维数增加导致对代表新的音乐，舞蹈等脑分层网络，负责创意，例如信息模式绝对新鲜，新鲜序列的外观音乐创作，是分层次的，复杂的。它们包括自传存储器情节和语义，即重建过程中，这是众所周知的是严格依赖于海马的执行情况。

由于这是众所周知的，情感是创造性的行为主要动力，但直到最近这种现象的动力起源，即与参与创造力神经系统的参与情感之间的相互作用，进行了研究[64,65]。具体地，在[65]，McPherson等。表明在前额皮层和参与创意其他脑区的活动深受情感语境调制。因此，情感和创造力紧密结合。另一分层过程中，分块，也存在于音乐创作过程，其高度依赖于事件分割[66]。

这两个过程是创造力至关重要：(一) 心理不稳定的一度下降的传统观点和方法及(ii) 足够丰富的语义和EM。低不稳定性水平的重要性通常与“上混乱的边缘的不可预测性”

[67]相连接。在混乱的边缘,所述亚稳图案是最大程度地新颖,同时仍然连接到图案在有序制度,并且因此最有可能显明是创造力的邮票新颖性和实用性的组合。类似的概念被用来在人与病症如阿斯伯格综合征,精神分裂症,与健康人[68]分离语义网络的过程。这样的方法也可以在所述一组,我们上面提出法服模型(2.1)的框架内从理论上分析(也见[69])。创意评估同时激活的行政和默认的网络。新的研究提出了创造性思维涉及类似的认知机制其他形式的目标导向,自我认知产生[70]的。默认的网络影响的候选人的想法产生,但控制网络可以约束这个过程中,以满足任务的具体目标。行政和默认网络已遍及显示创造性思维[71]积极的功能连接。事实上,我们的创造力是目标生成和自由的思想[72]之间的绑定过程。该负责创造力的不稳定性也可能导致病态的心理活动[73]。几乎病态的行为和创造力之间的连接产生,因为它们共享一些个性特征认知去抑制[74],其可从相同的认知网络的活动出现。

6. 结论

心理功能,如注意控制,DM,情节和语义记忆,学习顺序,和许多其他的动力起源仍然没有完全理解。本文讨论的方法包括通用的数学语言,基本的建模原则,关键动力学现象,如结合,分块,并包括以自然的方式定时认知过程的多层次组织法服模型。事实上,我们在这里制定了认知的未来定性动力学理论的基础。这一理论使主分岔的分析,认为正常和病态行为或想法,并找到具体取决于目标的认知功能动力学的关键参数之间的控制转换。

数据可访问性 在这项工作中所描述的模型可以在专用的代码或以任何仿真平台可以轻松实现。用于获得在这项工作中所讨论的数据的所有参数都在电子辅助材料可用。

作者的贡献 P. V. 和M. I. R. 设想模型,生成和分析数据,写的稿子。两位作者给出出版最终批准。

利益争夺 我们没有竞争的利益。

资金 P. V. 被MINECO / FEDER DPI2015-65833-P和TIN2012-30883支持。 M. I. R. 确认来自ONR批准号的支持。 N00014310205和N00014-13-1-0678。

致谢 作者非常感谢瓦伦丁·阿弗雷蒙维奇和尤里·索科洛夫了有益的讨论。

参考文献

1. Friston KJ. 2008 Hierarchical models in the brain. *PLoS Comput. Biol.* 4, e1000211. (doi:10.1371/journal.pcbi.1000211)
2. Meunier D, Lambiotte R, Bullmore ET. 2010 Modular and hierarchically modular organization of brain networks. *Front. Neurosci.* 4, 1-11. (doi:10.3389/fnins.2010.00200)
3. Mengistu H, Huizinga J, Mouret J-B, Clune J. 2015 The evolutionary origins of hierarchy. (<http://arxiv.org/abs/1505.06353>)
4. Lashley KS. 1951 Cerebral mechanisms in behavior. In (ed. LA Jeffress), pp. 112-131. New York, NY:Wiley.
5. Hutchison RM, Morton JB. 2016 It's a matter of time: reframing the development of cognitive control as a modification of the brain's temporal dynamics. *Dev. Cogn. Neurosci.* 18, 70-77. (doi:10.1016/j.dcn.2015.08.006)
6. Krienen FM, Yeo BTT, Buckner RL. 2014 Reconfigurable task-dependent functional coupling

- modes cluster around a core functional architecture. *Phil. Trans. R. Soc. B* 369, 20130526. (doi:10.1098/rstb.2013.0526)
7. Shirer WR, Ryali S, Rykhlevskaia E, Menon V, Greicius MD. 2011 Decoding subject-driven cognitive states with whole-brain connectivity patterns. *Cereb. Cortex* 22, 158 - 165. (doi:10.1093/cercor/bhr099)
 8. Liu X, Duyn JH. 2013 Time-varying functional network information extracted from brief instances of spontaneous brain activity. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 110, 4392 - 4397. (doi:10.1073/pnas.1216856110)
 9. Friederici AD, Singer W. 2015 Grounding language processing on basic neurophysiological principles. *Trends Cogn. Sci.* 19, 329 - 338. (doi:10.1016/j.tics.2015.03.012)
 10. Ye AQ et al. 2015 Measuring embeddedness: hierarchical scale-dependent information exchange efficiency of the human brain connectome. *Hum. Brain Mapp.* 36, 3653 - 3665. (doi:10.1002/hbm.22869)
 11. Van Essen DC et al. 2012 The Human Connectome Project: a data acquisition perspective. *Neuroimage* 62, 2222 - 2231. (doi:10.1016/j.neuroimage.2012.02.018)
 12. Glasser MF et al. 2013 The minimal preprocessing pipelines for the Human Connectome Project. *Neuroimage* 80, 105 - 124. (doi:10.1016/j.neuroimage.2013.04.127)
 13. McDonough IM, Nashiro K. 2014 Network complexity as a measure of information processing across resting-state networks: evidence from the Human Connectome Project. *Front. Hum. Neurosci.* 8, 409. (doi:10.3389/fnhum.2014.00409)
 14. Willems RM, Ozyu`rek A, Hagoort P. 2007 When language meets action: the neural integration of gesture and speech. *Cereb. Cortex* 17, 2322 - 2333. (doi:10.1093/cercor/bhl141)
 15. Rabinovich MI, Huerta R, Varona P, Afraimovich VS. 2008 Transient cognitive dynamics, metastability, and decision making. *PLoS Comput. Biol.* 4, e1000072. (doi:10.1371/journal.pcbi.1000072)
 16. Rabinovich M, Huerta R, Laurent G. 2008 Neuroscience. Transient dynamics for neural processing. *Science* 321, 48 - 50. (doi:10.1126/science.1155564)
 17. Ashwin P, Timme M. 2005 Nonlinear dynamics: when instability makes sense. *Nature* 436, 36 - 37. (doi:10.1038/436036b)
 18. Rabinovich MI, Simmons AN, Varona P. 2015 Dynamical bridge between brain and main. *Trends Cogn. Sci.* 19, 453 - 461. (doi:10.1016/j.tics.2015.06.005)
 19. Rabinovich MI, Varona P, Selverston AI, Abarbanel HDI. 2006 Dynamical principles in neuroscience. *Rev. Mod. Phys.* 78, 1213 - 1265. (doi:10.1103/RevModPhys.78.1213)
 20. Tulving E. 1972 Episodic and semantic memory. In *Organization of memory* (eds E Tulving, W Donaldson), pp. 381 - 403. New York, NY: Academic Press.
 21. Robin J, Hirshhorn M, Rosenbaum RS, Winocur G, Moscovitch M, Grady CL. 2015 Functional connectivity of hippocampal and prefrontal networks during episodic and spatial memory based on real-world environments. *Hippocampus* 25, 81 - 93. (doi:10.1002/hipo.22352)
 22. Zeithamova D, Schlichting ML, Preston AR. 2012 The hippocampus and inferential reasoning: building memories to navigate future decisions. *Front. Hum. Neurosci.* 6, 1 - 14. (doi:10.3389/fnhum.2012.00070)
 23. Zeithamova D, Dominick AL, Preston AR. 2012 Hippocampal and ventral medial prefrontal activation during retrieval-mediated learning supports novel inference. *Neuron* 75, 168 - 179. (doi:10.1016/j.neuron.2012.05.010)
 24. Klein SB. 2015 What memory is. *Wiley Interdiscip. Rev. Cogn. Sci.* 6, 1 - 38.

(doi:10.1002/wcs.1333)

25. Konig P, Wilming N, Kaspar K, Nagel SK, Onat S. 2013 Predictions in the light of your own action repertoire as a general computational principle. *Behav. Brain Sci.* 36, 219 - 220. (doi:10.1017/S0140525X12002294)
26. Malle BF, Knobe JM, Nelson SE. 2007 Actor - observer asymmetries in explanations of behavior: new answers to an old question. *J. Pers. Soc. Psychol.* 93, 491 - 514. (doi:10.1037/0022-3514.93.4.491)
27. Wright MJ, Bishop DT, Jackson RC, Abernethy B. 2013 Brain regions concerned with the identification of deceptive soccer moves by higher-skilled and lower-skilled players. *Front. Hum. Neurosci.* 7, 851. (doi:10.1366/RSB/Issue/283-1830/Pagination/RSPB20160242.3d)
28. Wimshurst ZL, Sowden PT, Wright M. 2015 Expert-novice differences in brain function of field hockey players. *Neuroscience* 315, 31 - 44. (doi:10.1016/j.neuroscience.2015.11.064)
29. Li S, Mayhew SD, Kourtzi Z. 2009 Learning shapes the representation of behavioral choice in the human brain. *Neuron* 62, 441 - 452. (doi:10.1016/j.neuron.2009.03.016)
rspb.royalsocietypublishing.org *Proc. R. Soc. B* 283: 20160475
30. Grueschow M, Polania R, Hare T, Ruff C. 2015 Automatic versus choice-dependent value representations in the human brain. *Neuron* 85, 874 - 885. (doi:10.1016/j.neuron.2014.12.054)
31. Cabeza R, Dolcos F, Prince SE, Rice HJ, Weissman DH, Nyberg L. 2003 Attention-related activity during episodic memory retrieval: a cross-function fMRI study. *Neuropsychologia* 41, 390 - 399. (doi:10.1016/S0028-3932(02)00170-7)
32. Aly M, Turk-Browne NB. 2016 Attention stabilizes representations in the human hippocampus. *Cereb. Cortex* 26, 783 - 796.
33. Fujii H, Ito H, Aihara K, Ichinose N, Tsukada M. 1996 Dynamical cell assembly hypothesis - theoretical possibility of spatio-temporal coding in the cortex. *Neural Netw.* 9, 1303 - 1350. (doi:10.1016/S0893-6080(96)00054-8)
34. Jones LM, Fontanini A, Sadacca BF, Miller P, Katz DB. 2007 Natural stimuli evoke dynamic sequences of states in sensory cortical ensembles. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 104, 18 772 - 18 777. (doi:10.1073/pnas.0705546104)
35. Lotka AJ. 1925 *Elements of physical biology*. Baltimore, MD: Williams & Wilkins Co.
36. Rabinovich MI, Varona P. 2011 Robust transient dynamics and brain functions. *Front. Comput. Neurosci.* 5, 24. (doi:10.3389/fncom.2011.00024)
37. Pezzulo G, van der Meer MAA, Lansink CS, Pennartz CMA. 2014 Internally generated sequences in learning and executing goal-directed behavior. *Trends Cogn. Sci.* 18, 647 - 657. (doi:10.1016/j.tics.2014.06.011)
38. Rabinovich MI, Friston K, Varona P (eds). 2012 *Principles of brain dynamics: global state interactions*. Cambridge, MA: MIT Press.
39. Friston KJ, Frith CD, Frackowiak RS. 1993 Principal component analysis learning algorithms - a neurobiological analysis. *Proc. R. Soc. Lond. B* 254, 47 - 54. (doi:10.1098/rspb.1993.0125)
40. Mitra PP, Pesaran B. 1999 Analysis of dynamic brain imaging data. *Biophys. J.* 76, 691 - 708. (doi:10.1016/S0006-3495(99)77236-X)
41. Haynes J-D. 2015 An information-based approach to consciousness: mental state decoding. In *Open MIND* (eds TK Metzinger, JM Windt). Frankfurt am Main, Germany: MIND Group.
42. Haynes JD. 2015 A primer on pattern-based approaches to fMRI: principles, pitfalls, and perspectives. *Neuron* 87, 257 - 270. (doi:10.1016/j.neuron.2015.05.025)

43. Rabinovich MI, Muezzinoglu MK, Strigo I, Bystritsky A. 2010 Dynamical principles of emotion-cognition interaction: mathematical images of mental disorders. *PLoS ONE* 5, e12547. (doi:10.1371/journal.pone.0012547)
44. Bystritsky A, Nierenberg AA, Feusner JD, Rabinovich M. 2012 Computational non-linear dynamical psychiatry: a new methodological paradigm for diagnosis and course of illness. *J. Psychiatr. Res.* 46, 428 - 435. (doi:10.1016/j.jpsychires.2011.10.013)
45. Wunderlich K, Rangel A, O' Doherty JP. 2009 Neural computations underlying action-based decision making in the human brain. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 106, 17 199 - 17 204. (doi:10.1073/pnas.0901077106)
46. Hebscher M, Barkan-Abramski M, Goldsmith M, Aharon-Peretz J, Gilboa A. In press. Memory, decision-making, and the ventromedial prefrontal cortex (vmPFC): the roles of subcallosal and posterior orbitofrontal cortices in monitoring and control processes. *Cereb. Cortex* (doi:10.1093/cercor/bhv220)
47. Jin J, Maren S. 2015 Prefrontal-hippocampal interactions in memory and emotion. *Front. Syst. Neurosci.* 9, 170. (doi:10.3389/fnsys.2015.00170)
48. Grilli MD, Verfaellie M. 2016 Experience-near but not experience-far autobiographical facts depend on the medial temporal lobe for retrieval: evidence from amnesia. *Neuropsychologia* 81, 180 - 185. (doi:10.1016/j.neuropsychologia.2015.12.023)
49. Renoult L, Tanguay A, Beaudry M, Tavakoli P, Rabipour S, Campbell K, Moscovitch M, Levine B, Davidson PSR. 2015 Personal semantics: Is it distinct from episodic and semantic memory? An electrophysiological study of memory for autobiographical facts and repeated events in honor of Shlomo Bentin. *Neuropsychologia* 83, 242 - 256. (doi:10.1016/j.neuropsychologia.2015.08.013)
50. Dew ITZ, Ritchey M, LaBar KS, Cabeza R. 2014 Prior perceptual processing enhances the effect of emotional arousal on the neural correlates of memory retrieval. *Neurobiol. Learn. Mem.* 112, 104 - 113. (doi:10.1016/j.nlm.2013.12.012)
51. Buchanan TW. 2007 Retrieval of emotional memories. *Psychol. Bull.* 133, 761 - 779. (doi:10.1037/0033-2909.133.5.761)
52. Koelsch S, Kasper E, Sammler D, Schulze K, Gunter T, Friederici AD. 2004 Music, language and meaning: brain signatures of semantic processing. *Nat. Neurosci.* 7, 302 - 307. (doi:10.1038/nn1197)
53. Jaencke L. 2008 Music, memory and emotion. *J. Biol.* 7, 21. (doi:10.1186/jbiol182)
54. Rabinovich MI, Afraimovich VS, Varona P. 2010 Heteroclinic binding. *Dyn. Syst.* 25, 433 - 442. (doi:10.1080/14689367.2010.515396)
55. Zalesky A, Fornito A, Cocchi L, Gollo LL, Breakspear M. 2014 Time-resolved resting-state brain networks. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 111, 10 341 - 10 346. (doi:10.1073/pnas.1400181111)
56. Rabinovich MI, Tristan I, Varona P. 2015 Hierarchical nonlinear dynamics of human attention. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 55, 18 - 35. (doi:10.1016/j.neubiorev.2015.04.001)
57. Bertolero MA, Yeo BTT, D'Esposito M. 2015 The modular and integrative functional architecture of the human brain. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 112, E6798 - E6807. (doi:10.1073/pnas.1510619112)
58. Kiebel SJ, Daunizeau J, Friston KJ. 2008 A hierarchy of time-scales and the brain. *PLoS Comput. Biol.* 4, e1000209. (doi:10.1371/journal.pcbi.1000209)
59. Rabinovich MI, Afraimovich VS, Bick C, Varona P. 2012 Information flow dynamics in the brain. *Phys. Life Rev.* 9, 51 - 73. (doi:10.1016/j.plrev.2011.11.002)
60. Friston KJ. 2012 Competitive dynamics in the brain: comment on 'Information flow dynamics

- in the brain' by M. I. Rabinovich et al. *Phys. Life Rev.* 9, 76 - 77.
(doi:10.1016/j.plrev.2011.12.006)
61. Heinzle J, Allefeld C, Haynes JD. 2012 Information human brain. Comment on 'Information flow dynamics in the brain' by MI Rabinovich et al. *Phys. Life Rev.* 9, 78 - 79.
(doi:10.1016/j.plrev.2011.12.007)
62. Bick C, Rabinovich MI. 2009 Dynamical origin of the effective storage capacity in the brain's working memory. *Phys. Rev. Lett.* 103, 218101. (doi:10.1103/PhysRevLett.103.218101)
63. Hawkins J, Blakeslee S. 2004 *On intelligence*. New York, NY: Times Books.
64. Lu J, Yang H, Zhang X, He H, Luo C, Yao D. 2015 The brain functional state of music creation: an fMRI study of composers. *Sci. Rep.* 5, 12277. (doi:10.1038/srep12277)
65. McPherson MJ, Barrett FS, Lopez-Gonzalez M, Jiradejvong P, Limb CJ. 2016 Emotional intent modulates the neural substrates of creativity: an fMRI study of emotionally targeted improvisation in Jazz musicians. *Sci. Rep.* 6, 18460. (doi:10.1038/srep18460)
66. Sridharan D, Levitin DJ, Chafe CH, Berger J, Menon V. 2007 Neural dynamics of event segmentation in music: converging evidence for dissociable ventral and dorsal networks. *Neuron* 55, 521 - 532. (doi:10.1016/j.neuron.2007.07.003)
67. Bilder R, Knudsen K. 2014 Creative cognition and systems biology on the edge of chaos. *Front. Psychol.* 5, 1104. (doi:10.3389/fpsyg.2014.01104)
68. Faust M, Kenett YN. 2014 Rigidity, chaos and integration: hemispheric interaction and individual differences in metaphor comprehension. *Front. Hum. Neurosci.* 8, 511. (doi:10.3389/fnhum.2014.00511)
69. Rabinovich MI, Sokolov Y, Kozma R. 2014 Robust sequential working memory recall in heterogeneous cognitive networks. *Front. Syst. Neurosci.* 8, 220. (doi:10.3389/fnsys.2014.00220)
70. Beaty RE, Kaufman SB, Benedek M, Jung RE, Kenett YN, Jauk E, Neubauer AC, Silvia PJ. 2016 Personality and complex brain networks: the role of openness to experience in default network efficiency. *Hum. Brain Mapp.* 37, 773 - 779. (doi:10.1002/hbm.23065)
71. Ellamil M, Dobson C, Beeman M, Christoff K. 2012 Evaluative and generative modes of thought during the creative process. *Neuroimage* 59, 1783 - 1794. (doi:10.1016/j.neuroimage.2011.08.008)
72. Beaty RE, Benedek M, Silvia PJ, Schacter DL. 2016 Creative cognition and brain network dynamics. *Trends Cogn. Sci.* 20, 87 - 95. (doi:10.1016/j.tics.2015.10.004)
73. Krippner S, Richards R, Abraham FD. 2012 Creativity and chaos in waking and dreaming states. *NeuroQuantology* 10, 164 - 176. (doi:10.14704/nq.2012.10.2.563)
74. Carson SH. 2011 Creativity and psychopathology: a shared vulnerability model. *Can. J. Psychiatry* 56, 144 - 153.