

顺序记忆：动态绑定

瓦伦丁·阿弗雷蒙维奇¹，米哈伊尔·拉比诺维奇²

¹，俄亥俄大学雅典，俄亥俄州数学教研室，

² 美国加州大学圣地亚哥分校，加利福尼亚州拉霍亚研究所

时间顺序回忆是日常动物和人类的运作至关重要。实验和我们自己的经验表明，结合或事件在一起的各种特征和关联多模态事件的顺序的维持是任何顺序回忆偶发，语义的关键部件，工作，等我们研究的结合稳健性基于我们在广义 Lotka-Volterra 方程的形式，先前推出的型号连续动态。在该模型中的相位空间，存在由鞍平衡点和异轨迹连接它们的多维结合异网络。在这里，我们证明了结合连续动态的稳健性，即，对于再加异网络的可行性现象：在统一的网络内连续异轨迹的每个集合，有一个开放组初始点，使得要通过他们每个人的轨迹遵循它的一小附近的规定收集停留。我们还表明，限制在这附近了系统的复杂的象征功能是多项式度为模式的数量。

<http://dx.doi.org/10.1063/1.4932563>

像感知，认知和社会交往人的心理功能取决于协调大脑网络活动。这种协调嘈杂的范围内操作，重叠的不同层次的认知层次的这些网络的模式。一般，认知任务的执行，例如，存储器召回或思想的产生，是在一个无赢家竞争的方式不同的信息项或认知模式之间切换的顺序动力学过程。事实上，当我们正在考虑发作或复杂的对象，心灵相结合这样的事件或对象的不同特点几个代表的一系列操作。这是一个绑定过程。对于成功的表现，结合的力度有稳定或强劲的抗噪声。这个问题的数学方面在本文中被考虑。

I 引言

有几种类型的顺序内存 (SM) 的，可分为多种内存都明确表示，这是通过直接自觉获取信息 (陈述性记忆)，并且表示该种内存隐式地通过在没有自觉访问 (非陈述性记忆) 的行为或生理反应的变化。陈述性记忆的一种特殊形式是情节记忆的能力，编码和检索在我们的日常个人活动的事件顺序。这种存储器是由许多皮层和皮层下结构。¹ 连续内存的另一种类型的工作记忆是参与短期的合作支持维护记的信息，这些信息实现的近期目标为目的的操纵。最简单的例子是记住一个电话号码，当拾起，并拨打电话。工作记忆也是理解长书面或口头判决，执行和保持记的新信息的字符串或一系列动作的重要。声明存储器一般包括约时间和地点的事件的信息，以及关于事件本身的详细信息。

SM 交易与思想或事件的顺序提供功能的骨干，高层次的认知。维护在 SM 被假定为依赖于代表存储器中的信息内容的功能的网络的持久性。用于测量和分析群体水平脑图案成像方法显示存储器网络的该活动是高度。² 相应于 SM 的性能，脑动力学涉及不同的部分重叠脑功能网络。根据性能阶段在时间它们的互连改变，并且可以是由本质上产生目标刺激驱动的或诱导的。

这种大脑活动可以通过时空离散的图案或顺序地改变动态模式进行说明。乍一看，这样的动力似乎与保持在 SM 信息项的性质不一致。我们怎样才能记得的想法，情节等一个稳定的秩序，在心里的大脑活动是不断变化的？回答这个问题，可以针对不同的精神疾病的理解和对顺序内存情绪的作用非常有用。³ 本文是基于模型，作者以前发展。在论文参考文献。⁴ 于 2001 年，在此之后的文献。⁵，有人建议一个新的范例) 的环境认知科学，动态编码或网络的具有顺序竞争的基础上存储信息。这种模式被称为无赢家大赛 (WLC) 的原则。这种模式的关键点是一个简单的变换，即使静态输入信息到时空图是用于识别 (译码) 通过竞争

动力学过程非常方便。最重要的是，这种图案的时间动力学是不是重复。根据这一点，我们在 2004 年的“稳健的异暂态”，现在变成了言语和行为序列. 6 的分析，它是 SM 对其稳定性和容量的调查非常方便的一个重要工具推出。

II SM 低维动力学模型

异宿结合人 SM 动态非线性动力学建模可以被看作是一个普遍的无尺度的认知模式的面向功能的变种。认知动态过程的这种规范模型已在文献被引入 7。

该模型是基于以下原则：（i）方程被写入与可代表脑元件的演化在它们的时间相干性，并且具有解决方案的变量对应于大脑中的亚稳态图案；（ii）所述模型是基于许多试剂的相互作用的无赢家竞争动态-非线性处理，保证亚稳态和瞬变的鲁棒性之间顺序切换；4,5-（iii）所述模型是一个开放的耗散系统，其中抑制是平衡的通过激励；和（iv）模型的动力学是输入信息敏感。根据定义，在 WLC 简单网络（N=3）通向异周期，但与其它参数值相同的网络可以具有极限周期，例如，在不稳定聚焦在单面的中间附近。这样的极限周期并不代表竞争对手活动的顺序切换，这反映了他们的强度只是小幅振荡。在具有 $N > 3$ 系统，WLC 导致鲁棒异瞬态（参见附录 B）。

高维脑数据到低维相空间的减少是一个非常有吸引力的想法，可以通过经验观察来激励。特别是，有一些已经表明认知动力学的低维时，它是通过感官刺激管辖许多实验。在形式上，这意味着大量的数据可以从时空模式使用时空分解技术，如主成分 8-10 和独立成分. 11,12 对于综述数量减少的动力学中提取，见参考文献 13。采用装订顺序流程，模型已经在文献提出的 14。本模型（1），实际上，是一个典型高斯-洛特卡模型，这是写在，可方便用于结构化竞争动态的分析的具体形式，具体地用于结合（也见附录 B）

$$\frac{dx_i^l}{dt} = x_i^l(\sigma_i^l - \sum_{j=1}^N \rho_{ij}^l x_j^l - \sum_{m=1}^L \sum_{j=1}^N \xi_{ij}^{lm} x_j^m), i=1, \dots, N; l=1, \dots, L \quad (1)$$

其中 x_i^l 是在第 l 个模态信息的第 i 个模式，其中 $i=1, \dots, N; l=1, \dots, L$ 的活性水平信息模式变量

x_i^l 必须是非负的所有 i, l 。整数是模式描述从不同脑区的组件交互以执行一个顺序存储器过程的总数。时间常数是固定的给定系统。参数 ρ 描述模式 i 和 j 在第 l 个模态之间的抑制连接，而参数描述在第 m 个模态的第 l 个模态和 j 模式之间的这种连接。我们假设对于任何 i 和 l 。是模式 i 在第 l 个模态的刺激强度。重要的是，在一般情况下，由参数的矩阵的项控制装订处理。

我们谈论的记忆，即认知功能。让我们定义一个认知模式在特定的全球脑网络相关元素的暂时稳定的活动模式。由于高层次的内在一致性的，复杂的认知模式的动态可以只用一个模型少量的参数来描述。这个数量取决于认知过程的层次结构。顺序存储的元素也被命名为信息存储项目。特别地，它们可以是形成一个电话号码数字（约此类序列的稳定性见参考文献 7）。信息项存储的担忧的处理，存储和特定信息检索，诸如一个字，色，香，或汽车的一个可识别的形状。该组合为来自不同形态或不同不同性质的项目中的一个统一的块来源般的颜色，味道，气味和葡萄酒品尝命名绑定过程后品尝。该项目区块顺序变化特征的信息流。

对于 $L=3$ ，协调功能合奏的架构的每一个依次代表特定形态描述在图 1 事实上，模型（1）是一个典型高斯-期 Lokta-Volterra 模型写成如下形式，即方便的分析结合现象，见第 1 附录 B。随着计算机实验表明，SM 的力度是非常丰富和敏感的输入信息控制系统参数。同时，这样的动力是强大的和可重复的。我们在模型（1），特别是异周期和约束力的制度框架中发现不同的强健制度。一个健壮的结合制度被呈现在图图 2 和 3（也参见参考文献 14）。

它提健壮异周期，并且在一般情况下，在被设置在异轮廓或异链的附近，并且在彼此当初始条件附近区域的动态模型的相位中心包括轨迹的鲁棒瞬变是重要是多种多样的。这些轨迹是对噪声是稳健。这种瞬变的例子是稳定的异信道（SHC）内的轨迹。此模型表明流对应的信息来不同模态调制彼此并且作为结果，从个人模态的动力学行为包含关于所有其它模态（见图 2 和 3）的信息。这是一个信息绑定。事实上，图图 2 和 3 示出了多模式并发的主要行为多峰串行顺序的机制。

III 鲁棒性定理

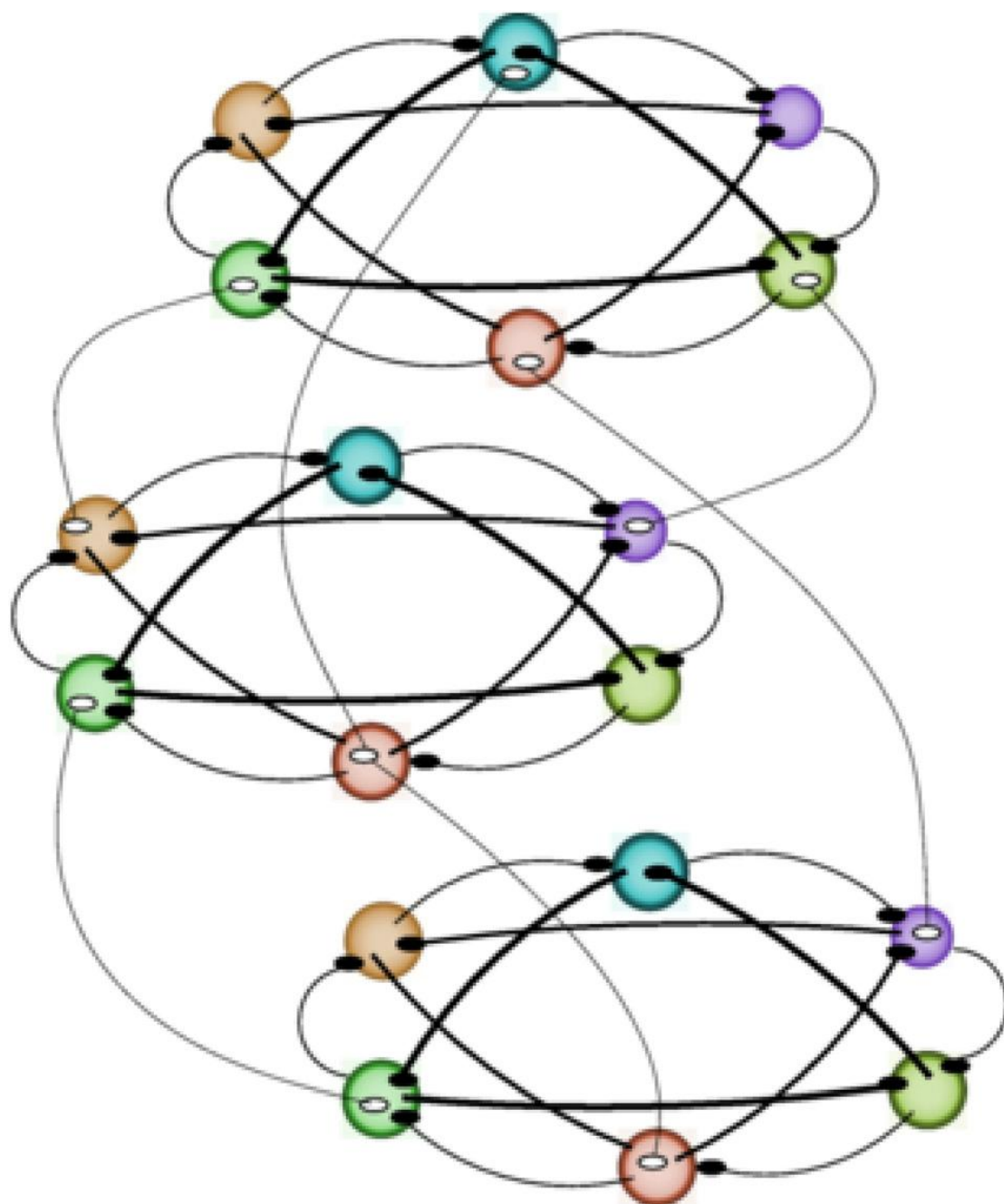


图 1. 十八竞争者三个官能社区合奏发生变动：它们中的每负责不同的信息模式的处理。所有连接都抑制。

在对应的模型的连接中的 ρ_{ij}^l 和 ξ_{ij}^{lm} 矩阵的特征在于条目。重印许可 M. I. 拉比诺维奇, A. N. 西蒙斯和 P.

瓦罗纳,“大脑和心灵之间的桥梁动力,”

在参考文献 14, 作者假定为每片 Q_i^l , 有两个异轨道, 朝向 Q_{i+1}^l 和 Q_i^{l+1} 。因此, 在每一个平衡点, 只有两个对应于这两个方向的特征值是正的, 固有值的其余部分是负的。我们可以列出假设如下。(请注意, 只有 $\lambda_{i,i+1}^l$ 和 $\lambda_{i,N+1}^l$ 是阳性的固定 i 和 l 时, 其他特征值是负的。)

对于固定 $l=1,2,\dots, L$, 第 l 个模态内:

1. $\lambda_{i,i+1}^l = \sigma_{i+1}^l - \sigma_i^l(\rho_{i+1}^l + \xi_{i+1i}^{ll}) > 0$ 以及 $\lambda_{i,j}^l = \sigma_j^l - \sigma_i^l(\rho_{i+1}^l + \xi_{i+1i}^{ll}) < 0, j \neq i, i+1$
2. $\max\{\lambda_{i,j}^l\} = \lambda_{i,i-1}^l < 0, i=1,\dots,N, (N+1 \equiv 1)$
3. Q_i^l 鞍价值: $v_i^l = [\sigma_{i-1}^l - \sigma_i^l(\xi_{i+1}^l + \rho_{i-1i}^{ll})] > 1$,

结果表明在文献 14 的条件下 1-3, 系统 (1) 具有在不变子空间 Γ_l 稳定的异周期 $\{x_j^m = 0, m \neq 1\}$ 。

4. $\lambda_{i,N+l+1}^l = \sigma_i^{l+1} - \sigma_i^l \xi_{i+1i}^{ll} > 0, l=1,2,\dots,L-1$
5. $0 < \lambda_{i,N+l+1}^l < \lambda_{i,i+1}^l$, 换句话说 $0 < \sigma_i^{l+1} - \sigma_i^l \xi_{i+1i}^{ll} < \sigma_i^{l+1} - \sigma_{i+1}^l \rho_{i+1i}^{ll}$

这里我们假设该形态内的不稳定主要方向比模式之间做强, 使在轨迹的代表点花才去到另一个子空间环绕模式子空间的大量时间。

用 Γ 表示选自由异周期 Γ_l 和异轨迹连接它们的异网络。结果表明在文献。的假设下 1-5 14 存在这样的异网络。识别与 Γ_l 中的向图 Γ 参见图 4, 与顶点 Q_i^l 使得存在一个边缘开始在 Q_i^m

和当且仅当有一个异轨迹要 Q_i^l 为 t 在 Q_i^m 结束到 Q_i^m 。让我们用数字 $1, 2, \dots, p$, 其中 $p=LN$ 枚举顶点。这些数字显示的轨迹的一个三可变空间的投影。可以看到, 轨迹花费一些时间在一个模态的附近, 进入下一个模式之后。图 3. 该图显示了在装订处理一个模态的模式之中的顺序切换。在模型 (1) 两个图中使用的参数。

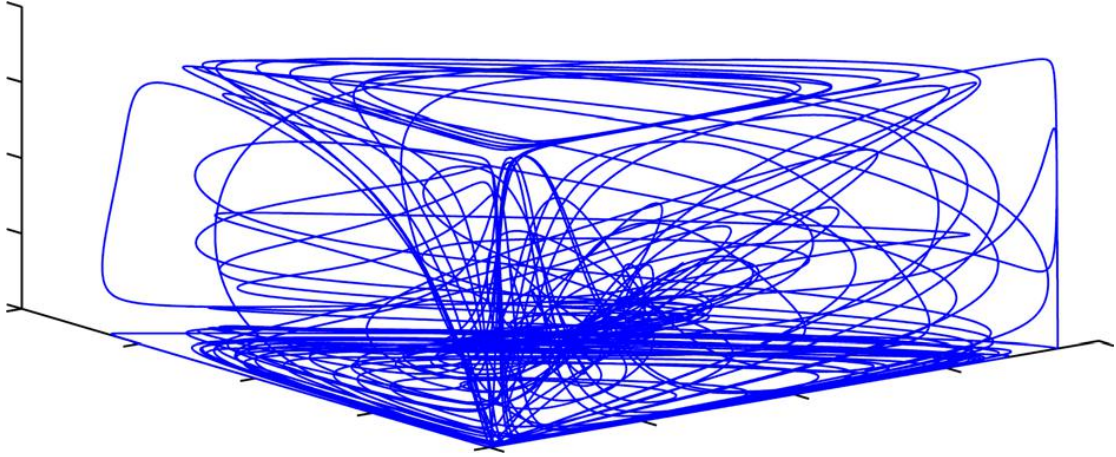


图 2. 装订：不同模式序列的相互调制。这些数字显示的轨迹的一个三可变空间的投影。可以看到，轨迹花费一些时间在一个模式的附近，进入下一个模式之后。

轨迹开始于 ϖ_0 个顶点，如下一个异宿轨道到 ϖ_1 个顶点，然后如下另一个异轨道到 ϖ_2 个顶点，依此类推，直到其到达 ϖ_m 个顶点。表示此子网络由 $\Gamma(\varpi_0, \varpi_1, \dots, \varpi_k)$ ，并称之为多模式异网络 (MHN)。不失一般性，我们可以假定， ϖ_0 是标记一个鞍，曲线图的顶点的符号。我们把这个词定理引号，因为虽然我们认为它拥有没有他们，我们将证明下再假设 6 这个结果。

假设 6: 系统 (1) 是 G_l 线性化的在每个 Q_l^1 的邻域； $i=1, \dots, N, l=1, \dots, L$ 。我们将定义 PML 在 Γ 接合鞍座设为异轨迹 $\Gamma(\varpi_0, \varpi_1, \dots, \varpi_k)$ 。

IV 注记定理

为了方便读者阅读，我们把定理 III.1 的证明到附录 A，在这里，我们讨论及其结果，并证明主要步骤。事实上，此定理 III.1 告诉我们，有在由拓扑马尔可夫链的非空气缸（可容许的话）标记为异网络 C 的邻域异通道。我们这样计算的通道数（见第五章）。原来，为具有 n 次切换（即，在以这样的信道的开始开始的轨迹的代表点满足一些鞍平衡点 n 倍的邻域）的信道，我们可以从下面的一个估计这种信道的数量多项式率 L^1 （其中 L 是在系统 (1) 的模式的数量）的 n 个的。人们可以很容易看出，这样的信道的一个模式系统的数目为 n 无关，并且这也是这种系统的直接产物（非耦合联合）真。因此，定理 III.1 的主要定性结果是系统的引线，以行为的可能性的增加，其是从“机械”联盟不同的是，结合，即结合导致在这样的行为的复杂性的增加。另外，从数量上看，人们可以通过使用符号动力学计算这种复杂功能。

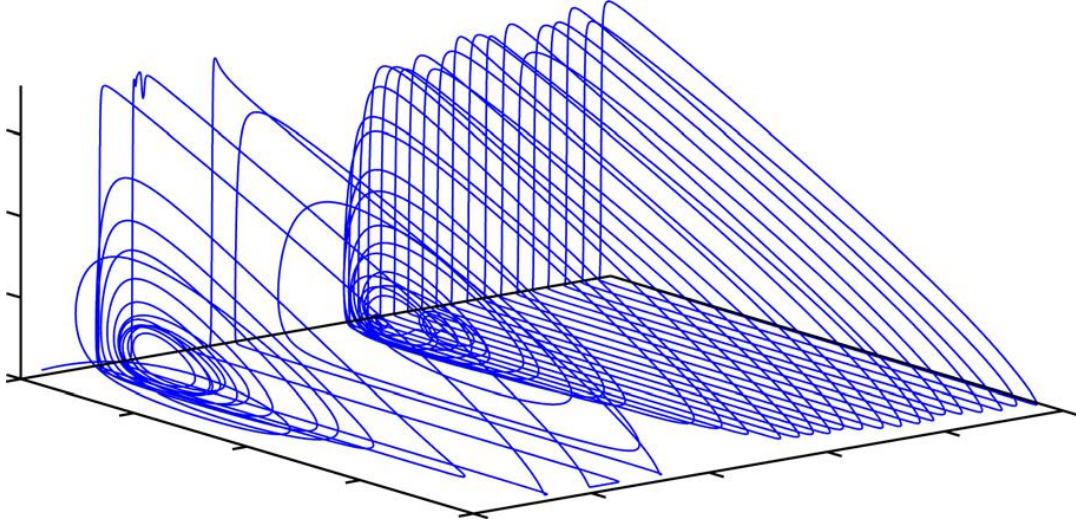


图 3. 该图显示了在装订处理一个模态的模式之中的顺序切换。在模型（1）两个图中使用的参数。

证明的思想可以描述如下。给定一个非空气缸 $(\varpi_0, \varpi_1, \dots, \varpi_k)$ ，鞍平衡点的序列被确定，也就是说， (Q_0, Q_1, \dots, Q_k) ；其中 $Q_{\omega k} \in \{Q_{lm}^m\}$ ，和异轨迹，也就是说， P_{lm}^m 的序列；确定其中 $P_{\varpi, \varpi+1}^m$ 开始于 $Q_{\omega k}$ 和端部在 $Q_{\omega k+1}$ 。因为图 G 的结构，每个鞍 $Q_{\omega k} \in \{Q_{lm}^m, m \neq 1, L\}$ ；LTH 具有两个异轨迹，也就是说， H_1 和 H_2 ，在来它（它们中的一个 $P_{\varpi, \varpi+1}^m$ ）和两个异轨迹，也就是说， H_1 和 H_2 （其中之一是 $P_{\varpi, \varpi+1}^m$ ）来的出它，见图 5（a）中。如果 $Q_{\omega k+1}$ ，则我们处理的唯一异轨迹 $P_{\varpi, \varpi+1}^m$ 加入 $Q_{\omega k+1}$ ，以及两个异轨迹来 $Q_{\omega k+1}$ 出来。如果 $Q_{\omega k+1}$ ，则我们处理的唯一异轨迹来 $Q_{\omega k+1}$ ，比方说， $P_{\varpi, \varpi+1}^m$ ，其中 $Q_{\omega k+1}$ 两个异轨迹在 $Q_{\omega k+1}$ 结束的了。我们赋予每一个部分横向到每个鞍 $Q_{\omega k+1}$ 的附近流动异轨迹；然后，我们显示（第 1 分在附录 A），存在 H_1 的附近的开集初始点中由沿着轨迹的局部地图映射到一个开集在邻居

表 I，在平衡点 Q_i^l 的特征向量。

Eigenvalues	Eigenvectors
$\lambda_{ij}^l = \sigma_j^l - \sigma_i^l(\xi_{ji}^{ll} + \rho_{ji}^l) (1 \leq j \leq N, j \neq i, i+1)$	$\vec{v}_{ij}^l = \{x_i^l = \xi_{ij}^{ll} + \rho_{ij}^l, x_j^l = \xi_{ji}^{ll} + \rho_{ji}^l - 1 - \sigma_j^l/\sigma_i^l, \text{others}=0\}$
$\lambda_{ii}^l = -\sigma_i^l$	$\vec{v}_{ii}^l = \{x_i^l = 1, \text{others}=0\}$
$\lambda_{ii+1}^l = \sigma_{i+1}^l - \sigma_i^l(\xi_{i+1,i}^{ll} + \rho_{i+1,i}^l)$	$\vec{v}_{ii+1}^l = \{x_i^l = \xi_{ii+1}^{ll} + \rho_{ii+1}^l, x_{i+1}^l = \xi_{i+1,i}^{ll} + \rho_{i+1,i}^l - 1 - \sigma_{i+1}^l/\sigma_i^l, \text{others}=0\}$
$\lambda_{iN+l+1}^l = \sigma_{i+1}^{l+1} - \sigma_i^l \xi_{ii}^{l+l+1}$	$\vec{v}_{iN+l+1}^l = \{x_i^l = \xi_{ii}^{l+l+1}, x_{i+1}^l = \xi_{ii}^{l+l+1} - 1 - \sigma_{i+1}^{l+1}/\sigma_i^{l+1}, \text{others}=0\}$
$\lambda_{iN+m}^l = \sigma_i^m - \sigma_i^l \xi_{ii}^{lm} (1 \leq m \leq L, m \neq l, l+1)$	$\vec{v}_{iN+m}^l = \{x_i^l = \xi_{ii}^{lm}, x_i^m = \xi_{ii}^{lm} - 1 - \sigma_i^m/\sigma_i^l, \text{others}=0\}$

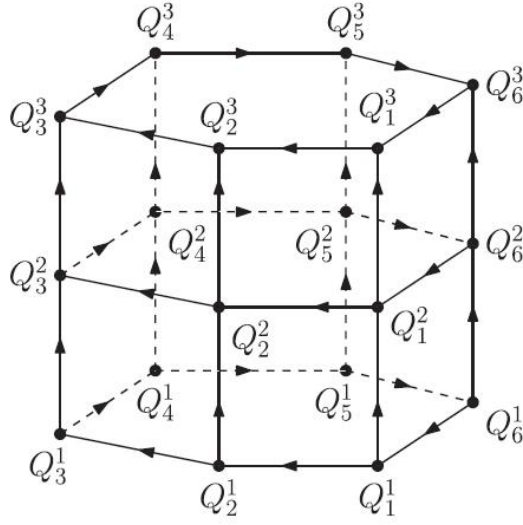


图 4 所述 MHN 的在系统中时 $L=3$ 和 $N=6$. 一种图示。

V 该系统复杂性

我们已经在第 IV 节中所示的对于拓扑马尔可夫链 (Ω_A, σ) 的任一气缸中，有在系统 (1) 根据所述符号描述，其行为表示由气缸的轨迹。这自然要问的轨迹多少不同的路线有，即有多少不同的非空的钢瓶可以由系统来实现。拓扑马尔可夫链 (Ω_A, σ) 的符号复杂性被定义为

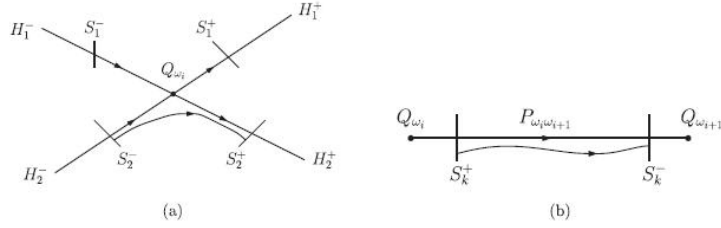


图 5. 本地 (a) 和全球 (b) 轨迹的行为方案在 C 的附近

$$C_n = \{\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_{n-1}\}$$

它是已知的 (参见, 例如, 第 73 页中参考文献 16), $EA^{n-1}E^T, E=(1,1,\dots,1)$, 其中 $E=(1,1,\dots,1)$ 是行矢量与所有坐标等于一而 A 是转换矩阵。现在我们证明如下引理。

为了证明这个引理, 我们需要计算 $EA^{n-1}E^T$ 。由此可见, 转移矩阵 A 可以被划分成一个 L 块矩阵:

$$A = \begin{pmatrix} B & I & 0 & \dots & 0 \\ 0 & B & I & 0 & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & & & B & I \\ 0 & \dots & \dots & 0 & B \end{pmatrix}$$

其中 I 是 $N \times N$ 单位矩阵, 0 是 $N \times N$ 零矩阵, 并且 B 是以下形式的 $N \times N$ 置换矩阵:

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 & 1 \\ 1 & \dots & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$A^{n-1} = \begin{pmatrix} B^{n-1} & \binom{n-1}{1} B^{n-2} & \binom{n-1}{2} B^{n-3} & \dots & \binom{n-1}{L-1} B^{n-L} \\ 0 & B^{n-1} & 1 & 0 & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & B^{n-1} \end{pmatrix}$$

因此，对于 $e = (1, 1, \dots, 1)$ ，所有的坐标 N 行向量，我们这里注意，置换矩阵的迭代仍然是一个置换矩阵。所以任何整数是 $N \times N$ 置换矩阵。我们可以看到， n 的多项式的最高程度是由项 $k = L - 1$ 确定。因此，正度最高的 $\binom{n-1}{L-1}$ 。因此，我们在这里看到的拓扑熵，这意味着，象征性的系统不乱。尽管如此，结合导致一个重要变化的复杂功能的定性（定量）行为，因为它是在第四节已经提到。

VI 结束语

在我们的模型（1）的框架内，不同模态的结合是指在由内模式的子空间和异轨迹连接它们异周期的异网络的相空间的存在。因为在纸上的主要定理，有各种的阴影轨迹留在异周期的附近，从一个周期到另一个可能性。换句话说，大约有上了我们的网络图的特定路径多异渠道。它是一种方式来理解：（i）针对噪声装订处理的鲁棒性是如何发生的，和（ii）如何由于结合的网络的复杂性增加。事实上，根据点（i）中，可以看到，小噪声不能破坏异信道，它只可以改变它的形式一点点。此外，根据（ii）点，一个可确信的符号说明是为了复杂的功能研究的合适的语言。在现实中，不同的信道必须被实现-不同的概率的集合对应于它们的初始点的体积是不同的。这将是进一步研究的主题。

我们要强调的是，异网络和渠道的研究开辟了理解的认知活动和疾病的高维模型的动态的有效途径。在本文所提出的理论的重要和有趣的应用程序可用于这种顺序精神疾病如强迫症，双相情感障碍，注意力缺陷，以及其他的动态分析。一些非常有希望的结果已经. 17-19 事实上，行为，感知和认知的问题手中的时间相关的信息在不同的感觉通道的合成都极力塑造。这是结合动态。这种多传感器集成常常导致反映由具有从多个顺序方式，诸如在语音听觉. 20 的感知过程线索的时间间隔是可动态过程中从不同的模态，其信息赋予的有效的信息的性能和益处的感知综合被称为时间结合 window. 21 越来越多的证据表明，这种时间窗口在一系列疾病，包括孤独症，诵读困难，并考虑 21 饲养的改变，绑定窗口，并结合过程的动态能力的稳定性取决于价值在绑定模型控制参数，它看起来非常的角度对这些参数相关的感官. 22 类似的问题中的可塑性是连接其他认知过程很重要，特别是对工作 23 和 24。

致谢 感谢 T. 年轻有用的建议。V. A. 俄罗斯教育部的联邦目标计划和科学部，批准号为部分支持 14.584.21.0010，ID RFMEFI58414X0010。

附录 A: 证明, 因为该系统 (1) 的形式的定理的, 人们可以很容易地看到该系统 (1) 的线性化中的 Q_i^l 的矩阵可以被对角化, 即使在它的一些特征值是多个的情况下大于 1。我们用 Y_1, Y_2 对应于相关正的特征值特征向量, 由喜那些与负面的变量。因此, 假设 1-6 下, 在 Q_i^l 的邻域的系统 (1) 可改写为

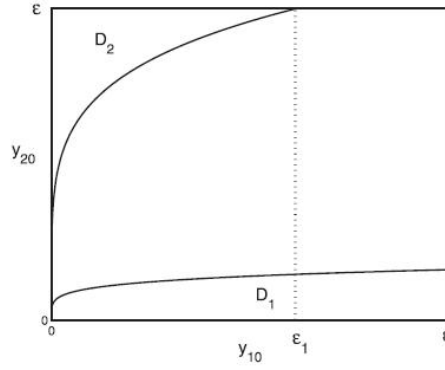


图 6. 1 和 2 的域到 y 平面的投影。

$$\dot{y}_1 = \gamma_1 y_1$$

$$\dot{y}_2 = \gamma_2 y_2$$

$$\dot{X} = AX$$

不失一般性, 我们假定 x_1 为对应的坐标 Q_i^l 与平面 $\{x_j^m = 0, m \neq l\}$ 稳定歧管的交叉点的引导方向;

米 Q_i^l (见的假设 2)。坐标 x_2 对应于与特征值 $\sigma_i^{l-1} - \sigma_i^l \xi_{i+1}^{l-1} < 0$, 即本征向量, 其对应于异轨迹

的方向接合的平衡点 Q_i^l 和 Q_i^{l-1} 下它涉及到 Q_i^l 。

Q_i^l 属于异轨迹附近的路口有公式

$$X = 0, y_2 = 0$$

在异周期的局部块的轨迹的 Γ_1 和

$$X = 0, y_1 = 0$$

换了一块轨迹接合 Q_i^l 和 Q_i^{l+1} 。此外, 在 Q_i^l 结束异轨迹的地方件有公式。

为了证明定理, 即, 发现遮蔽 MHN 轨迹, 我们赋予 MHN 与部分的序列横向于流动和我们将研究在这些部分区域的图像 (和原像) 相对于所述相应的地图。因此, 我们引入

$$S_1^- = \{(x, y) : x_1 = \delta, (x_2, \dots, x_m) \leq \epsilon, |y_1| \leq \epsilon, |y_2| \leq \epsilon\}$$

$$S_2^- = \{(x, y) : x_2 = \delta, (x_2, \dots, x_m) \leq \epsilon, |y_1| \leq \epsilon, |y_2| \leq \epsilon\}$$

$$S_1^+ = \{(x, y) : y_1 = \delta, (x_2, \dots, x_m) \leq \epsilon, |y_1| \leq \epsilon, |y_2| \leq \epsilon\}$$

$$S_2^+ = \{(x, y) : y_2 = \delta, (x_2, \dots, x_m) \leq \epsilon, |y_1| \leq \epsilon, |y_2| \leq \epsilon\}$$

其中， ε 是一个小的参数，该参数是在实际上，尺寸（直径）的截面。备注所有的变量都应该非负。此外，我们将用 $s_{1,2}^+(Q)$ ； $s_{1,2}^-(Q)$ 那里将是必要的。

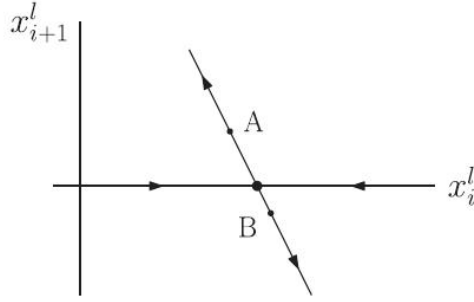


图 7. Y1（点 A）对应的正值到 XL ITH1 的正值。负值（点 B）对应于负的。

1. 局部映射

要构造一个映射 $T_{i1}: S_i^- \rightarrow S_1^+, i=1,2$ ，如图 2 所示，我们解决系统 (A1)，以获得

$$y_1(t) = y_{10} e^{\gamma_1 t}$$

$$y_2(t) = y_{20} e^{\gamma_2 t}$$

$$X = X_0 e^{At}$$

不失一般性，我们假定 x_1 为对应的坐标 $y_1(t) = \delta$ ：

$$t_1 = 1/\gamma_1 \ln(\delta / y_{10})$$

因此，我们可以写 T_{i1} 公式：

$$y_2(t) = y_{20} (\delta / y_{10})^{\gamma_2 / \gamma_1}$$

$$X = X_0 e^{At_1}$$

我们需要证明的说法， $y_2(t) \leq \varepsilon$ ，这相当于

$$y_{20}(t) \leq y_{20} (\delta / y_{10})^{\gamma_2 / \gamma_1}$$

如果 $y_{10} = \varepsilon$ ，(A3) 的右手侧是 $\delta y_{10}^{\gamma_2 / \gamma_1}$ ，其小于 ε 如果 $\varepsilon \ll 1$ 。所以 T_{i1} 的到 y 平面看起来 D1

图 2 中的域的投影 6。

构建 T_{i2} ，要构造一个映射 $T_{i2}: S_i^- \rightarrow S_2^+, i=1,2$ ，如图 2 所示，我们解决系统 (A1)，以获得

不失一般性，我们假定 x_1 为对应的坐标 $y_1(t) = \delta$ ：

$$t_2 = 1/\gamma_2 \ln(\delta / y_{20})$$

因此，我们可以写 T_{i1} 公式：

$$y_1(t) = y_{10} (\delta / y_{10})^{\gamma_2 / \gamma_1}$$

$$X = X_0 e^{At_1}$$

我们需要证明的说法， $y_2(t) \leq \varepsilon$ ，这相当于

$$y_{20}(t) \geq y_{20}(\delta y_{10})^{\gamma_2/\gamma_1}$$

如果 $y_{10} = \varepsilon$ ，(A3) 的右手侧是 $\delta y_{10}^{\gamma_2/\gamma_1}$ ，其小于 ε 如果 $\varepsilon \ll 1$ 。所以 T_{i2} 的到 y 平面看起来 D1。

通过 T_{ij} 表示 $T_{ij}, i, j \in \{1, 2\}$ 的域。我们现在表明， T_{i1} ($\text{dom } T_{i1}$) 包含，即矩形的较小值； $0 < Y_2$ 例如和 T_{i2} ($\text{dom } T_{i2}$) 我们有：

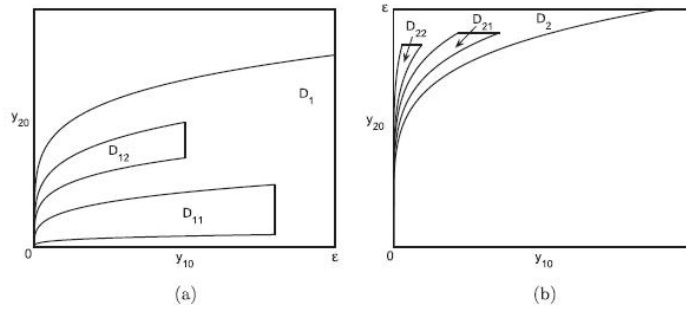


图 8. 投影到本地和全局地图的组合物的原像的 y 平面。

$$x_1(t) = y_{20}(\delta y_{10})^{\gamma_2 t}$$

于是 $y_2(t) = y_{20}(\delta y_{10})^{\gamma_2 t}$

我们已经知道，对于 D2， $y_1(t) = y_1(t_2) \leq \varepsilon$ 。现在

$$x_\alpha(t) = x_{k0}(\delta y_{10})^{\gamma_2 t}$$

于是 $\max |x_k| = (\delta y_{10})^{\gamma_2 t} := \alpha_k$

2. 全局映射

我们定义了全球地图沿着轨迹贴近异宿轨道加盟 Q_i^l 和 Q_{i+1}^l

一个映射 $T_1^{gl}: S_1^+(Q_i^l) \rightarrow S_1^-(Q_{i+1}^l), i=1, 2$ ，这是一个微分同胚，这是很好定义的，因为从 Q_i^l 的沿相

应的异宿轨道 Q_i^l 的相邻区域中的邻域中的有限转变时间。类似地，世界地图（一个微分同

胚）沿轨迹贴近异一个接合 Q_{i+1}^l 是良好定义为好。它表示为

$$T_2^{gl}: S_2^+(Q_i^l) \rightarrow S_2^-(Q_{i+1}^l), i=1, 2$$

要写入全球地图公式中 (x, y) 坐标，一个需要使用的部分 $S_{1,2}^+ Q_i^l, S_{1,2}^- Q_i^l$ 的第 i 个原始坐标 $\{x_i^l\}$

克，超过有限转变时间的系统 (1) 整合，以及在新的 (x, y) ，以呈现所述图像坐标。

但是，我们不需要他们，我们只用了要求，这些 (x, y) 确定微分同胚，从事实，我们使用的变量的变化是同胚及其与全球地图在 (x, y) 坐标容易如下也是微分同胚。要检查的主要的事实是，与 y 坐标的非负值的点被映射到那些具有相同的属性。确实，

(i) 对于系统 (1)，正极（非负）“八分圆”是可被直接检查一个不变集。

(ii) 每个 (x_α, x_β) 面，其中 $x_\alpha = x_i^l$ 和 $x_\beta = x_i^l$ 是任意的指标，是不变的。

(iii) 将一块在 $x_\alpha = x_i^l$ 相位肖像； $x_\beta = x_i^l$ 平面（或在 $x_\alpha = x_i^l$ ； $x_\beta = x_i^l$ 平面）。长相如在图 7（参见表 I 为特征向量）。

类似的画面上 $x_\alpha = x_i^l$ 观察到 $x_\beta = x_i^l$ 第 i 个面。这意味着，随着 Q_i^l 的附近的 y 坐标的非负值到那些与 y 坐标的非负值地图 Q_i^l 和 Q_i^{l+1} 送分，同样 k 的值如此。

因此，集 $R_\alpha^1 \cap (T_1^{gl})^{-1}(S_1^-) \subset S_1^+$ 以及 $R_\alpha^2 \cap (T_2^{gl})^{-1}(S_2^-) \subset S_2^+$

3. 图像和原像

现在得出，投影到集的 y 平面 $T_1 \cap (T_1^{gl})^{-1}(S_1^-) \subset S_1^+$

我们让这种投影被表示为 D1, 类似地，该组的投影 $(T_2)^{-1} \cap (T_2^{gl})^{-1}(S_2^-) \subset S_2^+$.

到 y 平面，也就是说属于 D2。因此，轨迹通过初始点 (x_0, y_0) 上 $S_2^+(Q_i^l)$ 去，用 (x_0, y_0) 相交然后的小值将跟随异轨迹接合 Q_i^l 和 Q_i^{l+1} ，至多为 $S_2^+(Q_i^l)$ 的交集。

$$T_{ij} : S_1^-(Q_{i+1}^l) \rightarrow S_2^+(Q_{i+1}^l), i, j = 1, 2$$

$\text{dom } T_{ij}$ 的突起到 y 平面看完全一样 D1 和 D2 在图 6 另外，由于 $\text{dom } T_{ij}$ 是在其上良好定义。因此，在 $T_2^{gl} : S_2^+(Q_i^l) \rightarrow S_2^-(Q_{i+1}^l), i = 1, 2$ 上，由于 D11 和 D12 它们的投影到 y 平面表示。他们看起来如图 8.

因此，如果 (x_0, y_0) 在 $S_1^-(Q_i^l) \rightarrow S_2^-(Q_{i+1}^l), i = 1, 2$ 具有小相交相应轨迹的第一，然后遵循相应异轨迹和相交小号在此之后，轨迹来到了异宿轨道连接的邻居： $S_1^-(Q_i^l)$ 和 Q_i^{l+1} 如果 $\alpha = \beta = 1$ ，(i) Q_{i+1}^l 和 Q_{i+1}^{l+1} 如果 Q_i^{l+1} 和 Q_{i+1}^{l+1} ，(ii) Q_i^{l+1} 和 Q_{i+1}^{l+1} 如果 $\alpha = 2$ 和 $\beta = 1$ ，和(iii) Q_i^l 和 Q_i^l 如果 $\alpha = \beta = 2$ 。由于这些初始点包含开集，我们实际上证明了定理缸 $[\omega_0, \omega_1, \omega_2]$ ，其中 ω_0 ，相当于 Q_i^l ，对应于 $Q_{i+1}^l, Q_i^{l+1}, Q_{i+2}^l$ 和 Q_i^{l+2} . 精确地以相同的方式，可以证明该定理的任意气缸 $[\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_k]$ 。

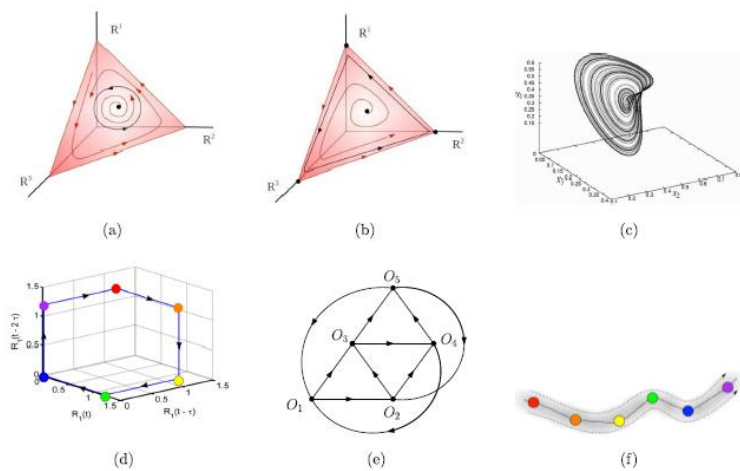


图 9. 稳定的极限循环（图（a））和异周期（图（b））上 2-d 单面，见参考文献。25-28。的数据是从 M. 拉比诺维奇，I. 特里斯坦和 P. 瓦罗纳重印，“注意力跨模态控制的神经动力学，”公共科学图书馆，许多其他描述在竞争性合奏稳定振荡。例如，见参考文献。30，用于一个有趣的分段线性模型。面板（c）所示，在规范模型的控制参数的一些区域，奇异吸引子的存在。可以看出，该吸引看起来如 R 的 FROM J. 瓦诺，J. Wildenburg，M. 安德森，J. 诺尔和 J. 博学折叠带。31 重印许可的 3-d 投影，“混沌比赛中，”非线性的低维的 Lotka-Volterra 模型。面板（d）示出了与的法服模型的稳定异周期。每个鞍具有形成异。7 面板（e）中的一维不稳定分界面示出了对于在典范模型的相位空间，存在的二维异吸引，其包括鞍座 O_j 的具有两个不稳定。32 面板（f）示出鲁棒异信道一个的六鞍式链的附近，各鞍的鞍值大于。7 图（d）和（f）从 M. 拉比诺维奇，Y. 索科洛夫重印，和 R. Kozma。

附录 B：无竞争竞争

1. 自治竞争动态在广义形式的古典高斯的 Lotka-Volterra 模型对于竞争者是当矩阵元素和参数 S 是常数，并且噪声不存在，我们将其命名模型规范。该系统动力学关键取决于数量和亚稳态的功能。亚稳态暂时保持固定值。它的特点是在静止状态下的一个附近的减缓系统的运动向下。在 N -观察到竞争者的曲线图中，这种现象是由高原或停顿来表示。在相位空间中的亚稳状态的图像是一个鞍点。图 9 总结了一些关于这个典范模型。以前的作品。

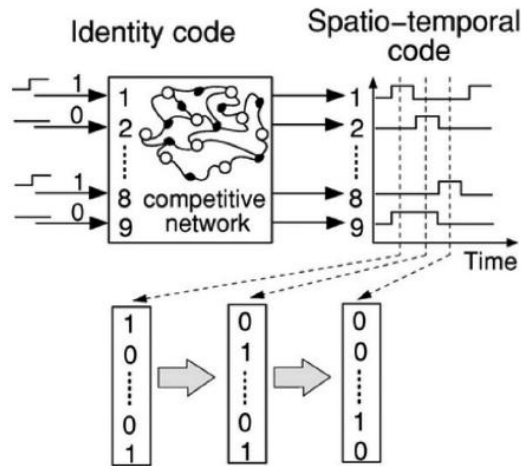


图 10. 动态编码输入依赖性 WLC. 4,34 转载许可从 M. I. 拉比诺维奇, P. 瓦罗纳, A. I. Selverston 和 H. D. 阿巴伯内尔, “神经科学原理动力,” 启国防部. 物理学. 78, 1213 (2006). 版权所有 2006 年美国物理学会。

请注意, SHC 由鞍状态, 异轨迹, 以及其附近的序列形成。如果周围的 SHC 的相体积的压缩比是沿着 SHC 卷的拉伸强, 这是由 SHC 吸引轨迹不能离开它, 直到最后的平衡点。SHC 是强大的瞬态行为的动力系统的图像。

从这些以前的工作中, 可以看出, 对于 $N > 3$, 典范模型可以具有, 在相位空间中, 更复杂的拓扑比一个维不稳定分离式形成的异轮廓的异网络。它可以是一个 2-d 异吸引或几个异轮廓的相互作用。

2. 非自治竞争态势 WLC: 一般动力现象, 导致参与者之间流行的顺序切换。例如, 如果在头对麦芒的竞争, 拳击手击败的拳击手 B, 拳击乙次拳手 C, 最后的拳击, 所有的参与者都是“赢家”在有限的时间, 但目前还没有总冠军如在“赢者通吃”。具有取决于刺激的连接矩阵元素的基本模型是用于动力学分析和认知过程的预测非常方便。5,15 图 10 示出了身份空间输入的基于神经合奏 WLC 的固有顺序动力学转化为时空输出。

参考文献

- ¹B. C. Dickerson and H. Eichenbaum, “The episodic memory system: Neurocircuitry and disorders,” [Neuropsychopharmacology](#) 35, 86-104 (2010).
- ²V. A. Diwadkar, P. A. Carpenter, and M. A. Just, “Collaborative activity between parietal and dorso-lateral prefrontal cortex in dynamic spatial working memory revealed by fMRI,” [Neuroimage](#) 12, 85-99 (2000).
- ³K. Nashiro and M. Mather, “The effect of emotional arousal on memory binding in normal aging and Alzheimer’s disease,” [Am. J. Psychol.](#) 124, 301-312 (2011).
- ⁴M. Rabinovich, A. Volkovskii, P. Lecanda, R. Huerta, H. Abarbanel, and G. Laurent, “Dynamical encoding by networks of competing neuron groups: Winnerless competition,” [Phys. Rev. Lett.](#) 87, 068102 (2001).
- ⁵M. I. Rabinovich, R. Huerta, P. Varona, and V. S. Afraimovich, “Transient cognitive dynamics, metastability, and decision making,” [PLoS Comput. Biol.](#) 4, e1000072 (2008).
- ⁶M. I. Rabinovich, K. J. Friston, and P. Varona, Principles of Brain Dynamics: Global State

Interactions (MIT Press, 2012).

7C. Bick and M. I. Rabinovich, "Dynamical origin of the effective storage capacity in the brain's working memory," [Phys. Rev. Lett.](#) 103, 218101 (2009).

8K. Friston, C. Frith, and R. Frackowiak, "Principal component analysis learning algorithms: A neurobiological analysis," [Proc. R. Soc. London, Ser. B](#) 254, 47-54 (1993).

9J. Kelso, A. Fuchs, R. Lancaster, T. Holroyd, D. Cheyne, and H. Weinberg, "Dynamic cortical activity in the human brain reveals motor equivalence," [Nature](#) 392, 814-818 (1998).

10A. McIntosh, F. Bookstein, J. V. Haxby, and C. Grady, "Spatial pattern analysis of functional brain images using partial least squares," [Neuroimage](#) 3, 143-157 (1996).

11A. J. Bell and T. J. Sejnowski, "An information-maximization approach to blind separation and blind deconvolution," [Neural Comput.](#) 7, 1129-1159 (1995).

12S. Makeig, T. P. Jung, A. J. Bell, D. Ghahremani, and T. J. Sejnowski, "Blind separation of auditory event-related brain responses into independent components," [Proc. Natl. Acad. Sci.](#) 94, 10979-10984 (1997).

13A. Banerjee, A. S. Pillai, and B. Horwitz, "Using large-scale neural models to interpret connectivity measures of cortico-cortical dynamics at millisecond temporal resolution," [Front. Syst. Neurosci.](#) 5, 102 (2011).

14M. I. Rabinovich, V. S. Afraimovich, and P. Varona, "Heteroclinic binding," [Dyn. Syst.](#) 25, 433-442 (2010).

15M. I. Rabinovich, A. N. Simmons, and P. Varona, "Dynamical bridge between brain and mind," [Trends Cognit. Sci.](#) 19, 453-461 (2015).

16V. Afraimovich and S. Hsu, *Lectures on Chaotic Dynamical Systems* (American Mathematical Society Providence, 2003).

17A. Bystritsky, A. Nierenberg, J. Feusner, and M. Rabinovich, "Computational non-linear dynamical psychiatry: A new methodological paradigm for diagnosis and course of illness," [J. Psychiatr. Res.](#) 46, 428-435 (2012).

18G. Schiepek, I. Tominschek, S. Heinzl, M. Aigner, M. Dold, A. Unger, G. Lenz, C. Windischberger, E. Moser, M. Plöchl et al., "Discontinuous patterns of brain activation in the psychotherapy process of obsessive compulsive disorder: Converging results from repeated fMRI and daily self-reports," [PloS One](#) 8, e71863 (2013).

19A. M. Hayes, C. Yasinski, J. B. Barnes, and C. L. Bockting, "Network destabilization and transition in depression: New methods for studying the dynamics of therapeutic change," [Clin. Psychol. Rev.](#) (2015).

20R. A. Stevenson, M. Segers, S. Ferber, M. D. Barense, and M. T. Wallace, "The impact of multisensory integration deficits on speech perception in children with autism spectrum disorders," [Front. Psychol.](#) 5, 379 (2014).

21M. T. Wallace and R. A. Stevenson, "The construct of the multisensory temporal binding window and its dysregulation in developmental disabilities," [Neuropsychologia](#) 64, 105-123 (2014).

22A. R. Powers, A. R. Hillock, and M. T. Wallace, "Perceptual training narrows the temporal window of multisensory binding," [J. Neurosci.](#) 29, 12265-12274 (2009).

23M. Quak, R. E. London, and D. Talsma, "A multisensory perspective of working memory," [Front.](#)

[Human Neurosci.](#) 9, 197 (2015).

²⁴D. Talsma, "Predictive coding and multisensory integration: An attentional account of the multisensory mind," [Front. Integr. Neurosci.](#) 9, 19 (2015).

²⁵R. M. May and W. J. Leonard, "Nonlinear aspects of competition between three species," [SIAM J. Appl. Math.](#) 29, 243-253 (1975).

²⁶D. F. Toupou and S. H. Strogatz, "Nonlinear dynamics of the rock-paperscissors game with mutations," [Phys. Rev. E](#) 91, 052907 (2015).

²⁷M. E. Gilpin, "Limit cycles in competition communities," [Am. Nat.](#) 109,51-60 (1975).

²⁸J. Hofbauer and J.-H. So, "Multiple limit cycles for three dimensional Lotka-Volterra equations," [Appl. Math. Lett.](#) 7, 65-70 (1994).

²⁹M. Rabinovich, I. Tristan, and P. Varona, "Neural dynamics of attentional cross-modality control," [PLOS ONE](#) 8, e64406 (2013).