

多尺度互动与智能

陈童[†]

School of Science, East China University of Technology, Nanchang 330013, China

[†] *tongchen@ecut.edu.cn*

Abstract

对智能以及自由意志工作原理的一个探讨，核心在于所谓的多尺度互动原理。

1 相关信息与多尺度互动

前面在《重整化群（五）：从重整化群的物理实质到理解生命现象》(<https://newquanta.com/>)这篇文章中，我们建议从多尺度互动的角度考察生命系统。在那里我们说“生命现象也是从无生命的原子分子中呈展出来的，任何有生命的系统都是一个多尺度多自由度系统。但是这种多尺度多自由度系统和传统凝聚态物理或量子场论中研究的系统有所不同，其中一个关键的不同是，凝聚态系统和量子场论系统的大尺度物理都是由小尺度结构决定的，重整化群流只能从小尺度流向大尺度，然而生命系统的典型特征之一是，大尺度可以反过来影响和调节小尺度的结构，也即是说，在生命系统这样的系统中，多尺度之间的相互沟通更为复杂和丰富，因此重整化群的纲领很可能不能完全适用，这里很可能还需要全新的想法！”，这篇文章我们准备继续把多尺度互动的想法应用于考察智能的工作原理，尤其是人类智能的工作原理。

首先，真正的智能系统一定是一个多尺度多自由度系统，比如它可以是一个神经网络，这个神经网络按照不通过的空间或者时间尺度来组织，从而呈现出一种多尺度结构。与传统凝聚态系统一样，从这个神经网络的小尺度走向大尺度也是通过重整化群流，在重整化群流之下，不断舍弃小尺度的无关信息，从而使得相关信息从小尺度流向大尺度。然而，与凝聚态系统不同的是，在智能系统中许多真正有意思的信息并不是原来就存在于小尺度结构之中，反而正是来源于宏观大尺度的输入，因此，和生命系统

一样，智能系统从小尺度到大尺度不完全是一个提取相关信息舍弃无关信息的过程（正是这一点和重整化群有本质区别），它同时还需要相关信息（负熵）的输入。也许，正是这个相关信息的输入使得智能系统的大尺度结构可以反过来调节小尺度结构。归纳来说，和生命系统一样，在智能系统中存在两个不同的相关信息流向，一个是小尺度的相关信息随着重整化群流流向大尺度的结构，然而，在智能系统中同时还存在一个反向的相关信息流，它是从大尺度流向小尺度的。智能正是这两种相关信息流向共同作用的结果。

问题是，相关信息从小尺度向大尺度的流动是通过重整化，然而，反过来，从大尺度向小尺度的流向又是怎么进行的呢？我们的回答是，通过压缩，小尺度相关信息是对大尺度的持续压缩。正是通过持续的重整化和持续的压缩，在智能系统中，相关信息会在多个不同尺度间振荡。

通过相关信息在多尺度之间的振荡，智能系统将体现出一种全息的性质，也就是智能系统每一个小尺度局部都将在一定程度上编码系统整体的信息。这是因为，假设原来系统有两个相距遥远的小尺度局部，它们的信息是不相关联的，然而，随着小尺度信息跟着重整化群流流向大尺度，这两个局部的信息就可以在大尺度上关联起来，然后它们再被压缩回小尺度，因此，最后每一个小尺度局部都将含有最初相距遥远的两个局部的信息，从而体现出一种全息的性质，或者也可以说是某种非局域性。

2 快与慢，时间尺度

下面我们以人类的智能系统为例，进一步考察一下智能系统在时间尺度上的多尺度互动结构。

Daniel Kahneman 在《思考，快与慢》中将个体人类的智能系统分为快与慢两个系统，其中快系统被称之为系统1，也叫直觉系统，而慢系统则被称作系统2。系统1是在最短的时间尺度（几分之一秒）上工作，这时候人类个体几乎是凭本能作出反应的，比如下意识地完成已经熟悉的工作，不假思索地回答问题等等。系统1的特征就是反应很快，但要改变其反应模式就很困难，例如骑自行车形成的习惯，换成三轮车就无法立即调整过来。当人类个体面对更复杂问题的时候，就需要调出系统2来解决，相比于系

统1，系统2需要有意识的思考，因此反应就比较慢，其工作的时间尺度长长在几分钟到若干年这样的长时间尺度上。

也即是说，人类个体的智能系统是按照时间尺度来组织的，因此在时间尺度上也必然符合上一节所讲述的多尺度互动原理，即相关信息会在多个时间尺度间振荡，相关信息通过重整化群流从快的时间尺度（小尺度）流向慢的时间尺度（大尺度），又通过压缩流从慢尺度压缩回快尺度。

快慢尺度之间本来是连续过渡的，并没有明确的分野。但是人类个体的智能系统是有意识的，人类个体的意识在快慢之间作了一个分野，具体来说就是，人类个体有意识地进行的那部分慢过程，就构成了所谓的系统2，而更快的过程都是在人类个体意识之外的，构成系统1。而一个典型的人类思维过程都是同时调用系统1和系统2的，从而是多尺度互动的。

在人类个体的智能系统中，系统2的使用所带来的数据也会用于训练系统1，比如学习骑自行车的过程要反复使用系统2，但最终当你熟练驾驶自行车的时候，你就会形成新的直觉，从而几乎只要系统1就可以了，这就是你驾驶自行车的相关信息被压缩到系统1了。进一步，如果要修正你的驾驶习惯，那就要把这些压缩到系统1的相关信息展开回系统2，再开始重新训练，因此，改变系统1相对来说是比较难的。

其实，如果将整个人类看作一个整体，那这个整体也是一个智能系统。对于这个智能系统而言，除了有由个体负载的系统1和系统2之外，甚至还存在一个更大尺度上的系统3，那就是以人类的共识为中心的人类社会系统。这个系统3当然是一个更慢的系统，它的典型时间尺度是数十年到百年千年的尺度。

3 自由意志之谜

人类个体的智能系统可以分为系统1和系统2，并且系统2是由个体意识所统领的，而系统1则处于个体意识之外，这个事实，再加上多尺度互动的相关信息在系统1和系统2之间的振荡可以自然地解释人类的自由意志之谜。

所谓的自由意志之谜，我们指的是为什么人类可以自由地在多个不相关的选项中作出自由选择？

我们的回答是这样的，如图(1)所示，图中水平虚线上面的部分代表由

意识统领的系统2，而水平虚线下面的部分代表无意识的系统1。人类在决策时候，相关信息其实是连续流动的，由图中的实线表示，箭头代表相关信息的流动方向。只不过，从图(1)中可以清楚地看到，由于多尺度互动，流动的相互信息是在系统1与系统2之间振荡的。这样一来，由于系统1处于人类意识之外，因此在我们的意识看来，相关信息就被分割成了不连续(不相关)的若干段，因此，在我们的意识看来，我们就是在这分割开的相关信息段中自由选择！

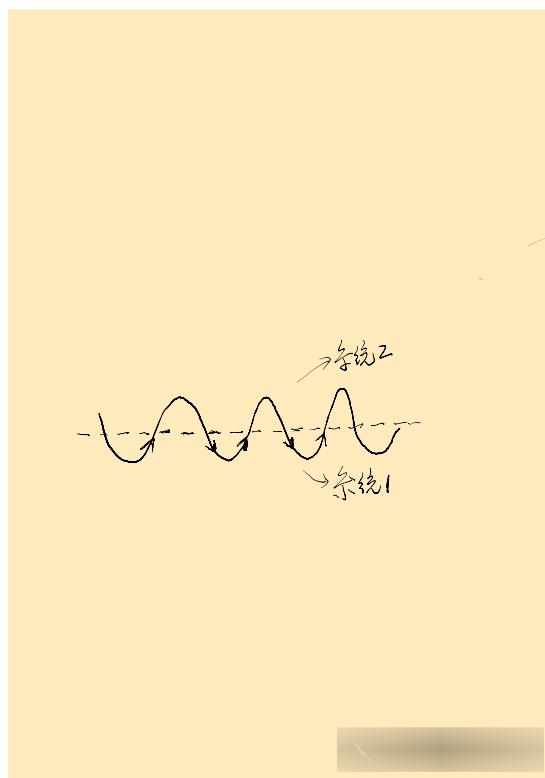


Figure 1: 自由意志之谜。