

问答：为什么产生生命比产生智能困难得多？

来自日课：争斗的起源

读者 扔色子曰：

这句话应该如何理解呢：“频率会对环境做出适应，这使得我们用一个有限的编码系统就可以编码各种尺度的东西”？是说我们可以用不同的频率和频率组合来编码？

万维钢回复——

这是英国电生理学家埃德加·阿德里安（Edgar Adrian）在上世纪二十年代的招牌发现，是帮他赢得诺贝尔奖的工作之一。这是我们完全感受不到的底层机制，而且这真是一个绝妙的办法，咱们详细说说。

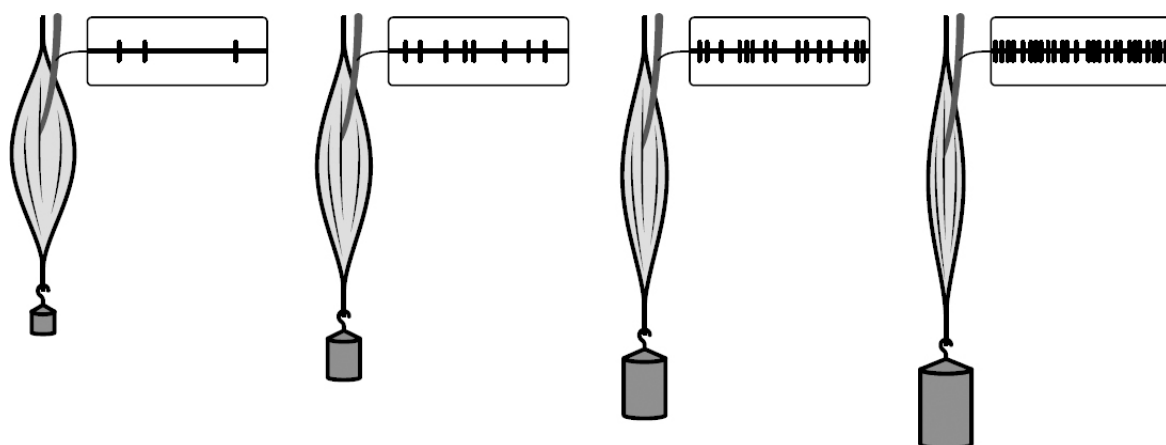
神经元必须对外界信号的强弱进行编码。比如我们的肌肉输出的力度，必须跟要处理的这个东西自身的轻重有关；再比如我们要观察任何事物，都得能识别光线的强弱区别。我们必须把压力或者光线等等信号的强弱，用神经元的信号进行编码。

直观的办法，大概是让神经元信号的强弱跟目标信号的强弱成正比。这差不多相当于你要表达的事儿越严重就用越大的音量去喊。对神经元来

说这可能是比较费力的，而且对特别弱或者特别强的信号的反应灵敏度恐怕会比较低，又或者因为别的原因，地球生命的神经元都没有这么做。

阿德里安的发现是，神经元传递的所有信号的强度都是一样的：它们唯一的区别是信号中间的间隔，或者说，是信号发射的频率。

如下图所示，阿德里安把不同重量的砝码挂在青蛙的一部分肌肉上，发现砝码重量越大，也就是肌肉感受到的力度越高，它的神经元传输的信号频率就越高。



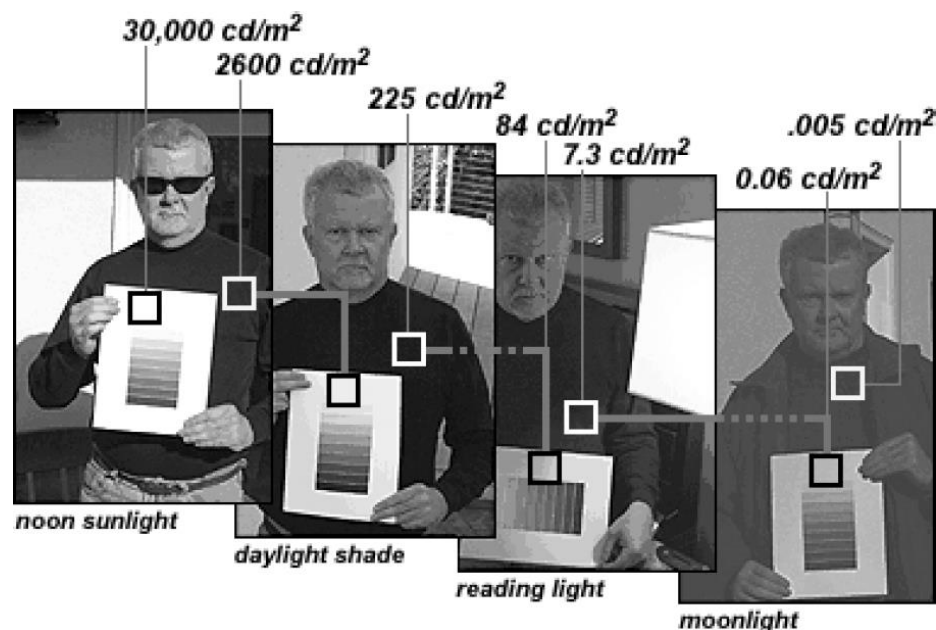
看着就好像摩尔斯电码一样。只需要一个信号，这个信号的发射频率代表它要传达的强度信息的大小。这个机制暗合了香农对无线电信号传输的洞见：为了确保你的信号能在一大堆噪音中得到正确传递，你要做的不是用更高的音量喊，而是多说几遍！

这个设计聪明吧？但阿德里安的下一个发现才是真正令人震惊的。

神经信号的最高发射频率能做到每秒 500 次，最低是 0 次。想象你正在房间里关着灯看电视。为了能看清屏幕上的信息，你必须对不同的光线强度用不同的频率编码。你给电视中人物黑色的头发编码为信号发射每秒 10 次，蓝色的衣服编码为每秒 30 次，灯光是每秒 200 次，似乎很不错。

现在想象你走到室外，见到一个真正的人，还看见了太阳。你打算给太阳这个最强光，编码为多少次呢？按比例放大吗？

室外阳光下事物的亮度，是室内的上百倍，是月光下事物的上百万倍。



如果按比例放大，那件衣服就得编码为每秒 3000 次，这大大超出了神经元的能力范围。

阿德里安的发现是，神经元发射的频率和目标信号的强度之间并不是绝对的比例关系。

室内环境下每秒 300 次的神经信号会让你觉得一张纸“很亮”；到了室外，同样每秒 300 次的神经信号，会让你觉得一个石头“很亮”——而后面这个很亮，比前面那个可能亮了 100 倍。

在神经信号看来，亮不亮，是相对的。神经元更关心信号强度的相对变化，而不是绝对值。

青蛙肌肉上的神经元第一次感受一个砵码，给了每秒 100 次的编码。下一次遇到这个砵码，就变成了每秒 80 次。再下次会更弱。神经元在自动调整自己的感受。这个行为叫做对环境的「适应（adaptation）」。

这大概就是我们专栏前面讲的「习惯化」的底层原理。既然习惯化是在神经层面进行的，它就是不可取消的，不是以大脑的意志为转移的。

来自日课：第一个大脑

读者 巨石：

是怎么确定最初的线虫是在 5 亿多年前就存在了的呢，或是刚好是那时才演化出来的呢？

万维钢回复——

是因为有化石证据。最初的线虫大约像一粒米那么大，但仍然被古生物学家找到了。而且找到了很多。而且找到了线虫的生存环境，而且把当时整个的生态环境全都摸明白了，一切都能互相印证。而且还找到了古代线虫的现代后代，叫“秀丽隐杆线虫（*C. elegans*）”：它们跟我们有共同的祖先，现在它们是我们的远亲。它们家这一支不幸地——或者说幸运地——没有发生什么改变，历经岁月漫长，还是只有 302 个神经元。

古生物学家自认为是比警察更厉害的侦探，因为他们能推断几亿年前发生的事情。

读者 贺鑫 ([Http](#)):

万师好，线虫脑的几百个神经元，以现在的研究条件，在这个量级上有精确研究之间链接机制的可能吗？有相关的解析成果吗？

万维钢回复——

秀丽隐杆线虫只有 302 个神经元，但我们至今不能 100%模拟它。因为它不只是 302 个神经元的事情，它还拥有多巴胺、血清素、肾上腺素等等的激素，它有相当完整的大脑结构，有身体组织，有肌肉……

要想完整模拟一条线虫，你必须从分子尺度上精确复刻它，可是小小的线虫是由一大堆分子 —— 我用 Claude 3.5 Opus 估算的结果是大约有 1400-1500 万个分子 —— 组成的。这些分子之间有复杂的互动，直接在分子层面模拟会涉及到天文数字的计算。

你大约只能做些近似，把它设想成一个多尺度的东西，重要的地方用分子尺度，不重要的地方用比如说器官尺度模拟。而就是这样，我们也没有详细的数据。

事实上现在有好几个公开项目，就是全世界的科学家一起合作，试图完整模拟一个线虫：OpenWorm, NemaSys, Perfect C. elegans Project, Virtual C. elegans Project 等等。

但还没有完全取得成功。

来自日课：学习的革命

读者 大雄：万老师，我们是怎么证明节肢动物无法感知时间的？

万维钢回复——

不是无法感知时间，是无法感知精确的时间间隔。

连最简单的细菌也能感受到一天中白天和黑夜的节律，但是以下这个测试，却是只有脊椎动物才能达标：

实验人员每次都先对受试对象亮一个灯，然后等五秒，然后再给一个电击，如此进行多次。很多动物能感觉到电击跟灯光有关，但只有脊椎动物能判断电击不是在灯光后立即发生，而是五秒后才发生。

实验中，鱼 —— 这是我们脊椎动物的光荣代表 —— 熟练了以后，看到灯光不会立即逃走，它会继续悠闲地游上几秒钟，感觉电击快来了才游向安全地带躲避。

这个精确感知的水平，螃蟹和蜜蜂都没有。而很多动物甚至无法把间隔两秒以上的事件联系在一起。

读者 刘朔：

请问万老师，【无脊椎动物】是“不能”发展出高级智能吗？【脊椎动物】之所以可以有更高级的智能，和【脊椎】的作用有关系吗？两种动物在“有无脊椎”之外，还有什么更本质的区别吗？

万维钢回复——

章鱼是一种无脊椎动物，而且被认为具有很高的智能。但章鱼没有像我们这样的大脑。章鱼的八个爪都有各自的神经中枢，它在中央也有个类

似于司令部的“大脑”，但其智能只占章鱼总智能的一小部分。章鱼基本上是个分布式的智能体，有点像西周的政治体制，地方有独立思考能力。

所以我们的大脑结构未必是通往高级智慧的唯一路线。

脊椎动物和无脊椎动物的本质区别就在于是否把大脑作为中央指挥系统。脊椎动物大事小情基本都要由中央的大脑拿主意，地方上没有什么自由裁量权，相当于极端的秦制。因为地方事事都要请示中央，你就必须有个很强的连接大脑和身体各处的高速公路，这就是「脊椎」的作用。它用骨骼把最重要的神经传导路线保护起来。

而无脊椎动物，因为是西周封建制，地方有事儿一般自己就定了，无须事事请示，也就不需要信息高速公路。

无脊椎动物是个什么思维模式呢，我打个比方。想象一个盲人正在读一封信。你知道盲文是一种点阵文字，可以用手指摸着读，不必经过眼睛。无脊椎动物的思维模式，就相当于这个盲人的几个手指头读完信，商量商量就把回信也给写了，而自始至终他的大脑都不知道收到过这么一封信。

读者 举掌先生：

多巴胺机制可以理解为：更能给自己，给队友画饼的人，更能帮自己人做成大事么？

万维钢回复——

多巴胺不但不是真奖励，而且也不是画饼那种假奖励：它是一个有用的反馈信号，告诉主公现在的方向对，奖励就在附近。它的角色更像侦察兵和记者，是根据自己的观察提供有效反馈；而不是明明看见车都快开到沟里了还在那里赞美驾驶员。

来自日课：这个脑区不像碳基生物的

读者 瓠铖核：

哺乳类的“计划能力”是依赖于大脑新皮质，也不知道鸟类的“计划”能力是依赖于什么物质基础？

万维钢回复——

鸟类独立进化成了温血动物，而且还独立进化出了自己的类似新皮层的结构。好的解决方案会被独立重复发现，这叫「趋同演化 (Convergent Evolution)」。

读者 Monte Carlo 精英怪：

万老师，只见人工智能，未见人工生命，说明智能的产生远远比生命的产生更容易吗？

万维钢回复——

是的，产生生命比产生智能困难得多。

一个系统要想被称为生命，它最起码得满足三个条件：第一，会复制出下一代；第二，会自己获取和利用能量；第三，能智能地应对外部环境，比如说有一定的防御能力，知道去哪觅食等等。

这些不但是智能，而且是极高的智能。单是其中涉及到的各种化学反应过程，对我们来说都过于复杂。现实是不要说整个生命，我们连一个细胞都制造不出来。

而且我相信这个宇宙中真正的生命一定是碳基的。碳是一个非常有亲和度的原子，它可以跟别的原子发生各种反应，组成特别复杂的结构，这才有了生命必需的大分子结构。而硅的社交能力就要弱的多，以它为组织者无法形成超大分子。

还有，硅的氧化反应物都是固体而不是气体，不能在空气和水中到处跑。这就使得硅基生物无法参与像氧气+糖 —— 二氧化碳那样的能量循环，它就没有生态圈。

所以千万别看不起咱们碳基生物，一定要有道路自信。AI 再怎么发展，也只能展现各种智能，而难以形成真的生命。