

## 《智能简史》5：模型思考者

我们继续讲麦克斯·班尼特的《智能简史》这本书，接着说大脑演化史上的第三次突破，也就是哺乳动物长出了新皮层，获得了想象力。这是大脑结构上一个微小的改变，你从远处旁观，似乎动物的行为也没有什么不同，哺乳动物还是打不过恐龙。但是在细微之处，新皮层却是带来了极为惊人的新能力。我读书读到这里，真是为大自然的造化，那个神机妙算，而击节赞叹。

这一讲咱们说说新皮层给哺乳动物带来的几个新能力。这一切能力的背后有个统一的原理，那就是用模型思考。

新皮层的功能千变万化，但是归根结底就是两件事儿。第一是根据输入的信息生成一个可理解的模型，第二是用这个模型生成对世界的预测。

咱们先看个直观的例子。下面有一张图，只有黑白两色，你能不能看出来图中是个什么东西？

我自己是真没看出来。这就是无感，是只有输入信息而没有形成模型。

那么面对这张图我们的大脑就表示不理解，也无法处理，也记不住，也不知道图中接下来会发生什么。

而一旦形成模型，感觉就完全不一样了。我可以告诉你图中画的是一只青蛙。

如果你还没看出来，可以去文稿末尾找答案。你会恍然大悟。那么下一次再看到这个黑白图，你立即就能注意到那只青蛙，你对它的眼光从此就不同了。你可以对这张图说各种话…这就是有模型的好处。

而模型的作用绝不仅仅是识别，更是模拟。那些没有新皮层的脊椎动物，比如鱼类，只要图像清晰，也会识别一个物体。我们前面讲了，你把你一个捕食者换个角度给它看，它还是能一眼看出来，这很了不起。但是鱼不能在大脑里\*模拟\*这个物体，它无法想象比如说自己出现在这个物体下方是个什么情形，它无法设想自己躲在捕食者视野的盲区那样的战术。

而我们可以。我们看到一把椅子，不但能识别出来这是椅子，而且还可以在头脑里对这个椅子进行旋转，改变它的颜色和材质，调整它的高度和宽度，想象六把这样的椅子摆在自家客厅的情形…我们可以对椅子未来可能发生的各种事件进行预测，然后做出选择。

有模型和没有模型，是非常不一样的智能。

没有模型的脊椎动物，最高级的技能也只是强化学习得来，做什么都是冲动之下的选择；有模型的哺乳动物，却可以谋定而后动。

咱们看看哺乳动物的几项新能力。

第一个能力叫「替代性试错 (vicarious trial and error)」，先在头脑中的模型里想象一下每个方案会得到什么结果，再采取行动---这也就是做计划的能力。

我们前面讲了十九世纪末哈佛大学的桑代克研究动物学习的故事。当时重点说的是小鸡和小鱼这些非哺乳动物，主打一个强化学习。到 20 世纪 30 年代，加州大学伯克利分校的心理学家爱德华·托尔曼 (Edward Tolman) 继续了桑代克的研究，这一次主攻老鼠，这可是长着新皮层的哺乳动物。

托尔曼有一个很新奇的发现：老鼠在迷宫的岔路口有时会停下来，左右摆头，来回张望几秒钟，然后再选择一个方向。

这可不像强化学习。强化学习的试错都是横冲直撞做了再说，都是一刻不停地到处找出口，怎么还犹豫上了呢？

托尔曼猜测，老鼠是在想象眼前的每个路径意味着什么。这明显是比行动试错更高级的能力，他称之为「替代性试错」。

进一步的研究表明，老鼠只在面临两难的选择时才会这样犹豫。比如你可以在迷宫中设置一些门，门后放着食物，每个门都会播放声音，训练老鼠根据声音提示判断这个门还有多长时间会打开。

如果提示音显示几秒钟后开门，老鼠就会在这等着；如果提示音表示还要过半分钟才会开门，老鼠就直接去下一个门。只有当提示音显示中等程度的延迟的情况下，老鼠走也不是留也不是，才会表现出犹豫。

咱们借用修仙小说的语言来说，老鼠开灵智了。

托尔曼这个猜测直到 2000 年代才找到证据。当时有了功能性核磁共振成像技术，神经科学家观察发现，当老鼠在岔路口张望的时候，它大脑里的海马体编码的不是此刻所处的位置，而是未来可能的路径。老鼠的确在规划未来的行动。

老鼠能根据自己头脑中的地图规划路线，而鱼类和爬行动物只能依靠多巴胺的指引。

还有个实验更惊人。一个迷宫里有两个地方放着食物，一处放的老鼠喜欢的正常食物，另一处放的是特别咸的食物，老鼠很不喜欢。老鼠经过几次训练，每次走迷宫都去有正常食物的地方，这没问题。但是，如果研究者让老鼠处在一个严重缺盐的状态，再放入迷宫，它就会直奔那个特别咸的食物。

你仔细想想就知道这有多了不起。前面所有的强化学习都在训练老鼠去找正常的食物，那已经是它的本能。可是一旦身体需要盐，老鼠立即就克服了以往的习惯，采取了没有经过强化的行动！

模型思考能克制自动化本能。

模型思维带来的第二个新能力是「反事实学习」，也就是如果我当初\*没做\*这个选择，我会得到什么。

比如说有两条鱼，本来在一起，去了两个不同方向捕猎。第一条鱼只捕获了一个猎物，回来一看另一条鱼捕获了四个猎物。那你说第一条鱼会不会因为看到同伴的成绩这么好，而后悔自己当初的选择，于是下次去另一条鱼选择的那个方向呢？不会的。强化学习只看自身的回报。

可是老鼠会后悔。在迷宫实验中，如果老鼠错过了一个能立即吃到香蕉的地方，它会回头看那个地方，同时核磁共振显示它的头脑里正在想象吃香蕉：它想象了一个不同的世界，一个反事实的世界——在那个世界里它吃到了香蕉。

如果环境有一定的稳定性，后悔真的很有用。后悔能让你学到教训，下次改进。

反事实学习还能让我们找到因果关系。

从纯逻辑的角度来说，因果关系不是一个科学概念，你做多少实验也不能证明是 X 导致了 Y。我们专栏以前讲朱迪亚·珀尔的《为什么：因果关系的新科学》一书的时候专门说过这个问题【1】：因果关系没有科学定义，但是你可以给一个哲学定义，其中一种选择就是反事实的定义：

如果当初 X 没发生，Y 就不会发生，那么我们就可以说是 X 导致了 Y。如果不是闪电，森林就不会着火，所以是闪电导致了森林着火。

你得会想象那个「如果」，才能掌握这个因果。而掌握因果对我们的生存很有帮助。没有想象力就没有因果知识。

米模型思维带给哺乳动物的第三个新能力是「情节记忆（episodic

memory)」。]

你注意到没有，有些得了失忆症的人不记得以前发生过的事儿，连亲

人都不认识，可是却记得怎么说话、怎么打字。这是为什么呢？

这是因为记忆有两种。一种是「程序记忆」，也就是说话、打字、体

育活动那些，是一项技能，是长在头脑中的自动化程序。另一种是「情

节记忆」，也就是对具体事件的记忆。

关键在于，情节记忆本质上是生成出来的。它需要调用想象力。

我们回忆过去的事和想象未来的事，使用的神经网络非常相似，其实

都是在生成模型，进行预测。

你想想是不是如此。你还记得新冠疫情期间自己都做了什么吗？那些

细节感觉历历在目，但是就好像看那张黑白青蛙图一样，你做了大量

的脑补。而脑补很容易出错。我们专栏多次讲过，人的记忆很不可靠。

事实上，如果有人反复向你灌输一个什么事儿，你会相信那个事儿真

的曾经在你身上发生过。我们其实分不太清哪些是想象，哪些是真的。

回忆过去其实是一种生成性的重放，是新皮层的功夫。

但是存储记忆不能只靠新皮层，因为你必须实时快速编码才行，这是

海马体的本领。我们前面讲了，海马体本来是用来编码地理位置信息的，它能给大脑一张地图，那它怎么又跟情节记忆有关了呢？原来演化喜欢重复利用同一个东西。海马体能对地理信息编码，本质上是一种形成模式的能力，这个能力正好可以用来给情节记忆编码。

一个事件，本质上也就是新皮层不同区域想象的各种事情的综合体，是一种模式。海马体和新皮层配合，正好把事件映射到新皮层的区域中。你每次调用这个记忆的时候，是先找海马体的编码，然后再找新皮层中的想象。调用多次之后，新皮层自己就学会了，也就不需要通过海马体了，这就形成了长期记忆。

这就导致一个有意思的现象。一个人的海马体被切除了，他还能调用以前旧的记忆，但是再也无法形成新的记忆…

总而言之，记忆需要想象力。

最后咱们再说说老鼠在迷宫岔路口的那个犹豫。先想象每条路走下去会发生什么，然后再做选择，对 AI 来说，这叫「基于模型的强化学习」。

我们前面讲了萨顿那个「时序差分学习」，也就是一种强化学习方法，在很多小游戏上取得了成功。后来 AlphaZero 下围棋本质上也是这个



方法，但是其中还有个关键的细节。

强化学习靠的是多巴胺，是你感觉哪步是好棋就走哪一步。但如果完全跟着感觉走，好像也不行…毕竟感觉没有那么准，对吧？可是如果不跟感觉走，那就得把所有可能性都计算一遍，那是爆炸式的算力，谁也算不起。

AlphaZero 的办法是对感觉进行搜索。

本质还是强化学习，需要随时问感觉，但是不只问一个感觉。棋下到这个局面，系统会问，下一步最好的走法是什么？回答是 A 走法。但系统不会立即采用 A 走法，而是继续问，你感觉第二好的走法是什么？回答是 B 走法。以此类推，多问几个感觉。

然后系统会对每个感觉进行模拟。假设模拟发现用 A 走法，未来 40 盘棋里边能赢 35 盘；用 B 走法，未来 40 盘棋能赢 39 盘。那么我们可以判定 B 方法更好---尽管它不是第一个感觉。

使用直觉节省算力，但不只用直觉，你需要多考察几个直觉。这正是老鼠在岔路的犹豫！

纯粹的强化学习是只用直觉。有犹豫的，就是基于模型的强化学习。

现在几乎所有自动驾驶 AI 都是纯粹的强化学习，根据直觉直接行动，没有犹豫。但是应该有犹豫才好。

我们在生活中不也是这样吗？每天上班的路线早就走熟了，想都不用想就能走到，就如同“爬行脑”。只有做重大决策的时候，面临两难选择拿不定主意，你会把每个选项仔细想一遍。

这个能力听起来是如此简单，却是如此的不平凡。那可不是一般的“想一想”，那是在新皮层生成的模型中进行模拟推演！关于这一点我们还没讲完，下一讲还有更惊人的东西。

## 划重点

大脑演化史上的第三次突破：哺乳动物长出了新皮层，获得了想象力。新皮层给哺乳动物带来的几个新能力，这一切能力的背后有个统一的原理，那就是用模型思考。

第一个能力叫「替代性试错」：先在头脑中的模型里想象一下每个方案会得到什么结果，再采取行动---这也就是做计划的能力。

第二个新能力是「反事实学习」：如果我当初\*没做\*这个选择，我会得到什么。

第三个新能力是「情节记忆」：情节记忆本质上是生成出来的。它需要调用想象力。