



认知工程方法学：

# 机器认知三部曲



## 认知的形式化

### 导 读

人类认知的整个活动，就是如何解释自然现象、解决人类在生存和繁衍过程中所遇到的现实问题。可以将认知活动视为“感知、思维、行为、再感知”的螺旋上升过程。我们从符号主义中拓展“抽象”，从连接主义中拓展“联想”，从行为主义中拓展“交互”，集之大成。感知是认知的源泉，思维是认知空间里的内在思考，行为是认知的外化表现。认知活动不停地在物理空间和认知空间交互，以回答“在哪里”“是什么”“为什么”“怎么做”等问题。本文分析了古今中外 20 个著名的认知案例，概括了人类认知的四种基本模式：记忆驱动的经验模式、知识驱动的推理模式、联想驱动的创新模式，以及假说驱动的发现模式，并用不同的认知模式来完成认知的形式化。经常使用的经验模式和难能可贵的创新模式由下而上思维，从物理空间转向认知空间；不时使用的推理模式和极为罕见的发现模式由上而下思维，从认知空间转向物理空间。

不同模式的使用频度不同，且相互之间的切换带有不确定性，构成趋于统一的无尽认知。认知的形式化为构建可交互、会学习、自成长的新一代人工智能的系统架构奠定了基础。

## 一、认知的螺旋式过程

著名的法国启蒙思想家、哲学家、教育家卢梭说：“人生而自由，却无往不在枷锁之中。”<sup>[1]</sup> 思想生而自由，却又无处不在形式化之中，这恰如其分地诠释了什么叫“以约束为前提”的思维。所以，认知活动离不开形式化。认知是学习的能力、解释现象并解决现实问题的能力，而学习的能力是通过解释、解决预设问题来培养的，预设问题就是现实问题的形式化规约<sup>[2]</sup>。

人类作为地球上最具智慧的物种，相较于其他生物，以抽象、联想和交互能力见长；正是凭借这得天独厚的认知能力，人类得以仰观宇宙之大，探索天体运行与时空演化的规律；又能俯察品类之盛，洞悉生命形态与生态系统的奥秘。但人类能否把宇宙的奥秘探寻清楚仍然是个谜，人类和新冠病毒抗争的这几年就是一个例子。在宇宙这个巨大的物理空间里，绝大多数的物质硬构体是自在演化的，并非以人类为中心运转。人类一定能够认知它们吗？是如何认知的？人的本性是求知。杰出科学家和工程师们都有一个基本的信念，即相信宇宙在本质上是有序的和可被认知的，这是一切科学研究的基础。伟大的物理

学家阿尔伯特·爱因斯坦曾说：“宇宙最不可理解之处在于它是可理解的”。<sup>[3]</sup>但个体在宇宙里的地位太过渺小，在有限短暂的生命中要认知无限宇宙规律，无疑是一项艰巨挑战。人类竟然能够通过文明与文化的代代传承，构建起系统的科学理论，解释如此广袤的宇宙。站在牛顿、爱因斯坦、达尔文、图灵等科学巨人的肩膀上，人类永不停止探索的脚步，就能够把越来越多的未知变成已知。“可理解”本质上是人类认知的群体共识，尽管人类认知的道路曲折，千万年前还不可理解的事物，因为“知识断层”或者“学科壁垒”等诸多因素，如今人类可能仅仅能解其一隅，但在一步步逼近真理，永无止境。

人类认知的核心，就是如何解释现象、解决人类在生存和繁衍过程中所遇到的现实问题<sup>[4]</sup>。每一次完整的认知活动可以分为感知、思维和行为三个阶段。感知是认知的源泉，思维是认知空间里的内在思考，行为是认知的目的和外化表现<sup>[5]</sup>。无论是认知自然的能力还是认知人文的精神，都不是与生俱来的物质存在，它自成体系，盘根错节，比物理世界更为深远广阔。认知活动不停地在物理空间和认知空间循环交互，以回答“在哪里”“是什么”“为什么”“怎么做”等问题。近300万年来，人类大脑容积激增、大脑皮层组织与功能爆发式进化，使得人类认知有了生物学基础。尤其是近1万年以来，人类发明了语言、文字、工具、教育、科学和技术，产生了文化和文明，群体认知所积累的人工智能对环境生态的改变虽然微弱，但使人类看到了未来的希望。每个人都有一个由生物进化塑造、基于大脑皮层复杂神经网络形成的认知空间<sup>[6]</sup>，在他或她短暂一生的成长与生活环境里，通过

具身行为和物理世界进行交互，与他人进行交互。人在成长过程中接受教育，学习科学和技术，吸收群体的智能，并通过自己的思维和实践，持续地调整、修剪或重塑大脑皮层神经网络的神经元及突触连接，形成个体独特的认知。世间没有两个绝对相同的个体。

## 1. 时间是认知的基石

宇宙始终处于运动状态，其中的物质持续变化，在人类创造出时间概念之前，在地球上生物出现之前或者灭绝之后，这些运动和变化都一直延续<sup>[7]</sup>。宇宙里没有绝对时间，同一个时钟放置在宇宙的不同位置会呈现不同的时间，时间不能完全脱离和独立于空间。但对人类来说，进化使人脑形成了功能分化的记忆区，包括瞬时记忆区、工作记忆区和长期记忆区<sup>[8]</sup>。正是记忆让我们能够为过去和现在的认知提供连续性，得以区分过去和现在。历史就是过去的当下，当下亦将成为历史。以史为镜，这是人类这个高等生物群体特有的认知方法。时间不是物质，可以用年、月、日、时、分、秒表达时刻，用高精度的时钟度量时间间隔。时间不是被发现而是被发明的。时间是物质变化和运动顺序的表现，用来描述物体或者天体的运动，用来描述人类自身进化的历史和文明的发展，用来度量从有序走向无序的熵增过程；反过来，正是这些描述或度量，让我们感受到了时间的存在。

认知机器包含物质、能量、结构和时间四大基本要素<sup>[9]</sup>。时间对机器认知至关重要，而能量供给是机器维持认知功能的前提。时钟依赖能量，时间依赖时钟，秩序依赖时间，机器自举，实现思维自动化；

进而自我复用，实现认知自成长。机器运行靠程序，程序靠时序，软件靠交互，时序支撑交互，产生负熵，机器赖负熵为生。时钟不停，与外界交互不息，思维和认知不止。机器之所以能进行思维活动，是因为至少存在下一个时间周期，使得机器能继续去“想”；在数学层面，人的思维和机器的思维具有同构性<sup>[10]</sup>。

唯有人类的想象力和创造力发明了“时间”这个概念，人类才能够认知时间、标记时间、度量时间，用时间来记忆、记录、解释宇宙天体的运动变化、物质的化学变化、物体的空间变化、生物的机体变化，以及人类社会自身文明的发展等。时间成为认知空间不可或缺的核心要素，更是认知活动的基石。

## 2. 数学是认知最抽象的语言

宇宙有运动，运动有秩序。宇宙里没有数学，数学却可以解释宇宙。对宇宙本身而言，数学没有意义；对人类来说，数学是人类抽象现实世界的主观反映。思维的核心是抽象、联想和交互，抽象是结构形成的基础。科学的各个学科都有自己的专业语言，但自然语言是所有专业语言的元语言。思维的最高形式是数学，数学是人类自然语言的高阶形态，是建立在明确的公设定理体系之上的，通过数反映万物，通过函数和泛函反映万物之间的关联，形成人类认知自然的一个飞跃。抽象的数学语言从无到有的形成过程很漫长。文字产生之初就开始发明数字符号，数、直线等基础概念的形成经过了漫长的时间，数学作为一种基于公理知识的形式系统，不断地被人们用来解释现实世界的



实体。人们只是想利用数学来解释、证明自然界的现象而已，数学思维对于认识宇宙发挥了极其重要的作用。数学产生结构和数据，抽象的数据在智能时代被比作“石油”，可以进行大数据挖掘，帮助人类寻求事物运行的规律。数学是基于想象和推理的，数学并非人类的发现，而是人类的发明。例如，无理数的发明就是体现数学理论在解释自然规律和现象的威力与深刻性方面的一个典型例子，无理数是无限不循环小数，是无法在自然界测量到的。又例如，点是没有大小的，线是没有宽度的，面是没有厚度的。再例如，数学研究无限，解释神奇的无限世界，利用无限研究有限，整数有无限个，实数也有无限个，这两个无限是有本质差别的。伟大的数学家戴维·希尔伯特说过：“从未有其他的问题能如此深刻地触动人的心灵；没有其他的思想能如此富有成果地激发人的思维逻辑领悟力。”<sup>[11]</sup> 在个人的认知王国里，思维常常远超实际范畴。例如，虚数源于求解方程  $x^2+1=0$ ，其广泛应用在后续才被发现。两千多年前希腊人关于圆锥曲线的研究，到 17 世纪才被用于描述天体的运动；黎曼几何构成广义相对论的数学框架，纤维丛理论支撑着规范场理论，矩阵和无限维空间被用于描述量子力学，还有概率论在统计力学、生物和金融中的应用等。

一切数学结论均需根据事先明确规定的公理，通过演绎法推导得出。伟大的数学家高斯曾说：“数学是科学的皇后。”那么宇宙或许应该被视为数学的“皇帝”。把数学归属于自然科学并不准确：物理研究现实存在，以观察和实证为基础；但倘若没有数学，宇宙中的诸多现象和规律是无法被精准表达的。物质和能量都有量纲。数学是不带有任何

物理量纲的主观认知体系，仅关注量与形的内在规律。物理学被书写在宇宙这本天书里，它始终摊开在人类眼前，但在我们的认知空间里，在我们学会书写文字和符号、发明数学之前，人类根本无从读懂。因此，数学是探索物理世界的精灵，亦是认知物理世界的工具。人类在数学领域的探索使得我们能够开始理解宇宙，当继续发展越来越高级的数学时，似乎可以十分美妙地解释宇宙。爱因斯坦说过：“纯粹的数学构造使我们能够发现概念和联系这些概念的规律，这些概念和规律给了我们理解自然现象的钥匙。”<sup>[12]</sup>因此，数学享有高于其他一切学科的特殊尊重。但是，无论数学语言如何抽象，结构如何复杂，它也离不开人类自然语言的支撑。

### 3. 认知的螺旋

人类既是大自然的参与者，也是自然的观察者。一个人在物理空间里的具身行为和认知空间里的思维活动，总是以“感知、思维、行为、再感知、再思维、再行为”的方式交互、循环、迭代。人脑进化形成瞬时记忆、工作记忆和长期记忆三个不同的、分层级的区域<sup>[13]</sup>。感知是认知的源泉，利用各种感觉器官联合观察，在瞬时记忆区依据当前注意力，通过跨模态感知融合得到的信息，进一步在工作记忆区利用记忆智能和计算智能进行判断和决策；同时对内巩固或调整长期记忆区，对外通过具身行为与客观世界交互。行为是认知的目的和外化表现。感知和行为都发生在物理空间中，思维发生在认知空间中，感知、思维和行为随时间变化在物理空间和认知空间中不停循环。一个正确



的认知往往需要经过由物理空间到认知空间、再到物理空间的多次迭代。每一次迭代得到的结果作为下一次迭代的初始输入，不断地纠错、调整和提升各记忆区。认知的形式化需要分析以下几点：①认知的开放性，尤其是交互性；②认知的不确定性，尤其是不确定性中的基本确定性；③认知的层次性，尤其是递归性；④认知的主动性，尤其是注意力机制；⑤认知的复杂性，尤其是新信息的涌现；⑥认知的整体性，尤其是感知、思维、行为之间的协同性。

物理空间和认知空间的交互，不仅激发了人类的想象力和创造力，还激发了从感知到思维的再抽象。每一次感知到的可能仅仅是部分特征、不完整碎片和属性，如时空识别或者目标识别，而思维是对被认知事物整体进行领悟、顿悟的过程，是对已有的记忆概念进行联想、再理解、再调整，或者是对认知事件尽可能地统一、形成整体记忆。因此，思维是感知的高阶，行为是思维的目的和外化，认知随时间形成螺旋，不断提升。

人类是群居动物，人类智能始于语言，人工智能始于文字，语言和文字是人类思维共通共有的载体<sup>[14]</sup>。人在主观的、抽象的和内在的认知空间里通过语言、文字进行学习、思维、分享，试图以此解释外在的、客观的和实在的物理空间的奥秘，解决现实中的各种问题，形成群体共识，最终形成人类文明生态。只有通过思维实现认知和记忆的不断累积，人类或机器在认知空间里的知识和智能才能成长，越来越逼近真实，才能不断解释新的现象、解决物理空间的诸多现实问题以及从未出现过的新问题<sup>[15]</sup>。无论是个人、群体，还是人类或者智能机器，弄清认知的