

# 再认、思维和学习的信息过程 (续)

Herbert A. Simon

荆其诚

(美国卡内基—梅隆大学)

(中国科学院心理研究所)

## 三、思维与推理

在历史上,思维,特别是“逻辑”思维和数学思维一直是与形式逻辑和数学的严密性联系在一起的。这种观点代表如此不完善的真理,不如说根本就不是真理。这一错误是把逻辑学和数学的形式推论规则,其本身的功能是检验已作出的推论是否有效,与发现可以从已有定律推论出来的新定律的过程相混淆而产生的。

我们已经讨论了一类思维——直觉思维——通常它被认为是处在逻辑学的王国之外的,在这一节我们要介绍其它思维过程,包括启发式搜寻、表象的运用、以及非标准的逻辑形式。在讨论过程中我们还将表明计算机并不局限于逻辑推理,实际上它能够进行我们所描述的各种思维。因此,计算机可以用来模拟各种形式的思维。

### 逻辑与启发式搜寻

我们称之为思维或推理的大部分日常活动,包括职业活动,都与发现正确的答案有关,只有一小部分活动是用以验证这种发现。因此,在细查解答难题的被试的出声思维的原始记录时,我们发现,他们的大部分活动可以描述和解释为在很大的(有时是极大的)可能性空间中进行的搜寻,这种搜寻往往是高度选择性的。大多数形式逻辑系统只允许很少几个推论规则,与此相反,解题者运用大量既包括公认的逻辑学原理又包含大量的本领域知识的推论规则。

结果,正规的论证所需要的大量的小步子在真正的人类推理中被少得多的大步子所代替,每一步都包含也许是很复杂的推论,它可能只在有限的任务范围内才有效。如果采取这些步骤的大算子非常有效,就象解题者是专家时常出现的那样,那么在问题空间中的几乎无法穷尽的搜寻将被极有限的搜寻所取代,甚至是有条不紊地走向目的,不存在任何尝试错误。

顺带说一下,我们发现,建立在思维乃逻辑派生物这一隐喻基础上的程序语言如PROLOG;对人类问题解决的描述不如图表处理语言如LISP或产生式系统语言如OPS,令人满意。后面的这些语言更接近于人类思维,因为它们允许——甚至鼓励——为搜寻问题空间而引入大量高效的、有赖于任务性质的算子。

用以搜寻问题空间的算子不必总是正确无误的,它可以是启发式的(有时也称“直觉的”),通常它能导向正确的结论,但并不保证总是如此。所使用的是可能犯错误的启发式

注:本文第一、二部分见本刊1989年第三期。

这一点解释了如下事实，即在发现问题的“答案”以后，人们通常以各种方式来验证这些解答的有效性。如果推论中只使用经过严格证明的推论规则，那么，得出错误结论的话就只能归罪于用法上的“犯臭”（“bugs”）了。但是，对人类错误的研究表明，实际错误的种类和来源远比如上看法所容许的要多（Brown and Van Lehn, 1980）。启发式会出错这一点部分解释了为什么人类推理得出的结论普遍需要进一步的核实。

### 非标准逻辑

有时人们认为，标准的形式逻辑不适合于描述人类推理应该用引入经修改的非标准逻辑的办法来克服。多种供选择的方案已提出来，如“模糊”逻辑（Zadeh, 1975年）、程式逻辑（McCarthy and Hayes, 1969）、非单调逻辑（Doyle, 1979, Weyhrauch, 1980）等等。然而还有一个简单得多的并且远为合适的解决方案。如果我们干脆就把搜寻作业空间的那堆启发式算子看成是该作业空间的“逻辑”，那么我们便一笔勾销这一问题了。这个问题不在于规定新的形式逻辑，而在于直接表达人在推理或解题时常采用的有效的信息过程，这在上一节中已提到过。

### 计算机必然是“逻辑的”吗？

这样回答如何解释推理的问题——把它看成是启发式搜寻——不仅与经验事实相符合，也带了一大堆好处。首先，它排除了这样的谬见，即认为计算机所能作的任何推理或思维内在必然是“逻辑的”，因此计算机不能模拟不受任何形式逻辑的推理规则限制的人类思维过程。相反，用于启发式搜寻的算子能够随我们的意愿脱离形式逻辑的各种形式，甚至于达到能模拟各种“非逻辑”思维和谬误思维的水平。例如，编制一个下棋程序或医疗诊断程序让它根据不充分的证据——可以是毫无理由的，也可以是由于计算时间有限——匆匆作出结论，这并不困难。

### 辩证推理

把启发式搜寻当作人类思维的一般模型的第二个好处是它使我们能为困难而复杂的推理过程提供明确的解释。假如我们想使一个程序在思维时能使用辩证的方法，我们必须给该方法下个定义。为了起见，让我们举几个也许是相互补充的辩证推理的例子。

我们将使用产生式系统的语言。也就是说我们这样来考虑条件集合 $C_i (i=1, \dots, n)$ 间的关系，即一旦条件 $C_i$ 得到满足，便采取行动 $A_i$ ，可以写成 $C_i \rightarrow A_i$ 。现在我们可以把 $C_1 \rightarrow A_1$ 当作一个命题，将 $C_1 \rightarrow A_2$ 当作一个反命题，这里 $A_1 < \text{不等于} > A_2$ ，在这儿， $C_1$ 的满足带来动作 $A_1$ 也带来反动作 $A_2$ 。在这两个互反产生式基础上建立合命题的一种方法是引入新的条件以区分 $A_1$ 发生的情景和 $A_2$ 发生的情景。例如，我们可以设 $C'_1 = C_1 < \text{与} > D \rightarrow A_1$ ， $C''_1 = C_1 < \text{与} > \text{非} D \rightarrow A_2$ 。

当采取一个行动是为了实现某一结果，如 $A < \text{蕴涵} > R$ 这样一个命题，但它又会进一步带来一个我们不想要或不愿意要的结果 $A < \text{蕴涵} > U$ 这一反命题的话，辩证方法的另一可能性便出现了。如果我们能构筑一个经修改的动作 $A'$ ，使得 $A'$ 产生 $R$ 而不是 $U$ ： $A' < \text{蕴涵} > (R < \text{与} > \text{非} U)$ ，一个合命题便产生了。

对这一程序略作修改会使附带产生的结果本身便触发这种综合。即我们假设 $A < \text{蕴涵} > R$ 和 $U$ ；而 $U < \text{蕴涵} > B$ ，以取代 $A$ 。这里 $A < \text{蕴涵} > R$ 是原命题， $A < \text{蕴涵} > U$ 是反命题，而 $U < \text{蕴涵} > B$ 则是合命题。在系统的一系列“阶段”的发展过程中牵涉矛盾和辩证过程的理论可以用这样的程序来使之形式化。

如上仅仅是对辩证推理的三种可能解释，辩证推理允许有一个命题和一个反命题，并且通过综合解决矛盾。在所谓的非单调逻辑内所用的解决矛盾的方法中也能找到其它辩证类型的过程（Doyle, 1979; Weyhrauch, 1980）。

### 形象思维和表象

启发式搜寻的第三个副产品是它提供给我们一条路子以引入形象表征和图解，并表明它们如何被用于思维与推理过程，以及它们如何有助于理性的知觉和问题解决（Simon and Barenfeld 1969; Larkin and Simon, 1987）。图片和图表既有内在的一面也有外在的一面，因为人们在书中或纸上利用图表帮助其解决问题，但为了同样的目的他们也形成心理表象。

尽管单独一个心理表象所含的信息量与一张纸上的图表所记录的信息量相比相当有限，可是从表象和图表中获得的信息的种类却是非常类似的，有了它可以从中很容易地作出各种推论。由于这一原因，在对物理符号系统中的心理表象的表征作一点尝试性的评述之后，我们将把表象和图表放在一块讨论，对两者不作区分。

**心理表象的表征** 使心理表象在符号系统中得以表达的方法很多。Kosslyn (1980) 相当全面地讨论了这些方法，认为心理可能至少使用两种这样的表征。一个是作为图表或图片的“照片”起作用的离散点光栅，符号过程从中可以抽取出特征。这个光栅可以看成是网膜兴奋模式的翻版。但是，表象不仅可以由外部呈现的信息引起也可以由记忆中抽取的信息产生。

表象的第二种表征方法以一种略为抽象的方式利用符号结构。这些结构由结点和连结这些结点（表式结构）的连线构成，它是以这样的方式联结的，即结点与图表或图象中的元素相对应，而连线与这些元素的空间关系相对应。例如，一个挂着几个重物的滑轮系统的心理表象将包含代表每个重物、每个滑轮、和悬重物与滑轮的每一段重要的绳子的符号。因此，直接相连并相互作用的每对元素在心理图象中将用一连线来连结。

两类表象，离散点光栅和符号结构，也许能作为“心灵的眼睛”联合起作用。

**表象的作用** 心灵之眼和外界图表在两方面非常有助于思维和推理（Larkins and Simon, 1987）。首先，正是产生心理图象或外在图表的过程使得许多客体及其关系明朗化了，而这些在原来图象形成的信息中只能是隐含的。

假如要我们去考虑长方形的两条对角线，我们不仅会想像长方形的周边长和对角线，也会想到对角线的交叉点。在该图表的言语描述中并没有提及这一交叉点，但当我们想像这个长方形的时候，它立刻（毫不费力地）跳到眼前来，就象我们在纸上画出这个长方形和对角线一样。无论是在内部还是在外部，两种情况下，形成表象的过程都以一种在计算上行之有效的方式提供新信息（作出新的推论）。

但是这还不是全部，和以命题形式进行推论相比，一旦画出来或在头脑中形成表象，图表便为用少得多的计算作进一步的推论提供了手段。这是通过上面讨论过的再认过程实现的。

具有相关专门领域的知识使得该图表的某些特征得以辨认，而记忆中与这些特征有关的信息使得恰当的推论成为可能。举一个简单的例子，假如两个重物挂在一个滑轮上的绳子两端。一个有物理学基础知识的人来想像这一情境，会注意第一个重物与该绳子一端的连结处，进而“看到”（即根据再认立刻推断）绳子所施的力与重物的重量相等。与此相类似，

他或她将“看出”，两段绳子上的力是相等的。

和外部图表相比，心灵之眼还有另一个优点，即心理表象能被任意操纵从而有助于计划物体在空间上的排列，如在一个空房子里安排家俱的各种方案。家俱可以被想像处在各种位置上，考虑其空间大小和美学特点。正是通过对机器或仪器的零部件的表象的这类操作，科学家和工程师有时能解决技术问题甚至作出发明。

“看”不仅牵涉空间关系的推论也牵涉对物理关系的推论：再认算子不仅包含几何定律也包含物理定律，注意到这一点至关重要。系统的什么特征能被再认出来明显地依赖于主体对情境的物理定律具有什么样的知识。

### 小结：思维的形式

总的说来，物理符号系统假设和启发式搜寻的概念为我们提供了一种对思维的现实的描述和解释。这一解释表明思维一般说来和逻辑的演绎过程是很不相同的，它容易包容人类既可以分开来使用也可以结合起来使用的各种思维形式。其中一种就是使用再认过程的直觉思维，因而它是基于过去经验的。

思维的另一形式是启发式搜寻。它可以在选择搜寻算子时运用再认过程，还运用一般的启发法如手段——目的的分析来指导其搜寻。我们称为逻辑的或分析性的思维一般符合启发式搜寻这一模型。所用的推论算子可能会远远超出标准逻辑，甚至非标准逻辑。实际上，这些算子一般并不重复，而是利用了有关推论对象的知识。

还有一种推理形式，它常常和启发式搜寻联系在一起，运用心理表象来模拟外界现实，但通常还要借助于外部的图表或图片。

这些形式——直觉思维、启发式搜寻和形象思维——可能还没有穷尽所有我们称之为人类“思维”的过程。然而，采用这些思维形式的模拟已表明它能完成各种各样人的需要用心去做的工作。

## 四、学与干

人类认知的理论不仅要解释人怎样进行复杂的思维和解题工作，还要解释人是怎么学会这么做的。在认知科学研究的第一个十年里，重点被放在理解作业上，只是最近才把重点转向知识技能的习得过程，或发现新知识的过程。当前有关机器学习的信息加工研究，其中有一些主要关心的是人工智能，而另一些则偏向人类的学习，可以在已出版的两个机器学习研讨会的会议录，也可以在新杂志《机器学习》和期刊《认知科学》中找到。

如果我们所说的学习指的是符号加工系统由于某种变化而改进了对某类工作的作业，那么可能有很多种学习，因为一个复杂系统得以改进的方法是很多的。仅仅把新信息原封不动地加到知识库中去，不对信息作任何明显的变动，通常被称为机械学习。与真正理解所学材料的学习相比，我们对机械学习不怎么感兴趣。

近年来所研究的以理解为基础的学习与问题解决和发现有密切的关系，因而我们可以用这些概念来讨论学习。为了阐明这一点我们将描述两种特殊而重要的学习形式：样例学习（Learning from examples）和试干学习（Learnin by doing）。

假如给我们一个有关某一类问题的，一步一步做出来，最后得到解决的例题。那么，如果通过考察这个例子我们能学会解决类似的问题的话，我们便称这种学习为样例学习。如果

是另一种情况，只给我们问题，让我们努力设法直到问题解决，然后我们便能解决其它类似的问题的话，我们就称这种学习为试干学习。很明显，试干学习是一个有赖于问题解决过程的发现过程。

试干学习和样例学习是密切相联的，因为当我们成功地解决了一个问题的时候，解答本身——除去解题过程中不必要的走错的步子——便是一个已经做出来的例题，可以用来帮助学习，就象教科书或教师给的例题一样。

现在让我们来看看样例学习是怎么进行的。我们考虑解一个一元线性代数方程的例子，这个例子已经被许多人研究过。

$7X + 5 = 3X + 13$	如果N在左边	→减去N
$7X = 3X + 8$	如果NX在右边	→减去NX
$4X = 8$	如果NX在左边，N≠1	→除以N
$X = 2$	如果“X=N”	→停止并验证

在左边我们看到答案一步一步地做出来。在右边我们看到四个产生式（条件—动作对），表明采取何种动作以及什么线索触发这些动作。答案是一个这种形式的表达式：“X等于一个数”。当得到这一表达式时，解题者停下来并将其代入原方程进行验证（参见最后一行的第四个产生式）。原来的表达式不是这种形式，其中之一是在左边有一个数。第一个产生式注意到这一点，因而从方程两边减去这个数。现在的方程在右边还有一个“NX”形式的表达式，这是答案中不应有的。第二个产生式注意到这一点，因而从两边减去3X。现在方程和需要的形式的不同只在于X有一个系数4而不是1，第三个产生式注意到这一点，因而在两边都除以4。

我们假设，事实也支持这一假设，当一个学生学会解这类方程的时候，他或她已在记忆中储存了一套与上面相类似的产生式。这并不是说该学生记住了以自然语言表示这些产生式的规则，而是说他已学会注意线索（条件）在该规则的左边的出现，并学会一旦相应的线索被注意到，便在右边采取适当的行动。所学会的是由线索的知觉再认触发的一套动作——一种凭“直觉”或用“灵感”解方程的方法。

但是，这些产生式是怎样从样例中学到的呢？一行一行细心观察这一例题的学生能发现从一行到另一行到底发生了什么样的变化——例如，常数从左边消失、X的系数消失等。由于发现变形后的方程比原方程更接近于所要求的结果“X=N”，这种变化的“原因”便可以推导出来。与这一变化相连的动作——从以前的学习已知这一动作不会改变方程中X的值——对现有的和要求的方程间的这种差异的消除有明显影响。因此，通过应用手段——目的分析，例题可以被理解并且还能从中推导出适当的产生式。

David Neves (1958) 写了一个模拟这种学习的计算机程序。在显示样例以后程序接着考察它，注意线索和动作并构造相应的产生式。在把这些产生式加到记忆中去以后，它能够解有同样的通式的方程了。如果对人来说这确是一个可行的学习程序，那么将有可能设立一门样例学习的课程，仅仅给学生呈现一系列精心设计的有答案的例题和问题，让其从中培养解代数题的技能。这样的课程在中国科学院心理研究所的科学家的指导下确已设计出来，初步的试验表明它似乎有助于中学生进行高效的学习。

