

基于Piaget认知理论的同化调节学习策略

李彦 李冠英

(华南师范大学)

摘要 本文以瑞士儿童心理学家Piaget结构主义认知心理学的学习理论构造一个机器学习模型,并提出一个控制策略——同化调节法。

一、 示例学习模型

Piaget创立了具有辩证思想的结构主义认知心理学,他强调认识的获得必须用一个把结构学说和构造学说紧密结合的理论来说明,这个理论为在计算机上表示和获取知识奠定了基础。在Piaget看来,认知结构的发展涉及到四个方面:图式,同化,调节和平衡。

1. **图式** (schemata) 是动作的结构和组织,这种动作在相同或相似的环境中,由于重复而引起迁移或概括^[1]。它是人类认识事物的基础,可用来表示各种已掌握概念。它是有组织地存储在长时记忆中的^[2]。对一个产生式系统而言,图式就是系统已掌握的各种推理规则。

2. **同化** (assimilation) 是刺激输入的过滤和

改变^[3]。它不改变或创新图式,而是把环境的因素纳入到个体已有的图式中。从示例学习的角度看,同化的作用是按照系统已掌握的概念修改示例。Piaget在论述同化操作时,特别强调已有图式对识别外部刺激时的作用,认为一个刺激可以引起机体反应的必要条件是机体已具备同化这个刺激所必需的图式。

3. **调节** (accommodation) 是内部图式的改变,以适应现实^[4]。它是由于主体中的已有图式不能同化客体而引起的,是思维发展的基础,它包括调整原有图式和构造新图式两种基本功能。从示例学习的角度看,调节的作用是根据提供的示例调整已掌握概念,或构造新的概念。

4. **平衡** (equilibrium) 是指同化和调节两种

参 考 文 献

1. Laird, J.E., Newell, A., and Rosenbloom, P.S. SOAR: An Architecture for General Intelligence. *Artificial Intelligence* 33(1987) 1-84.
2. Laird, J.E., Rosenbloom, P.S., and Newell, A. Chunking in SOAR: The anatomy of a general learning mechanism. Computer Science Department, Carnegie-Mellon University, CMU-CS-85-154.
3. Rosenbloom, P.S., Laird, J.E., McDermott, J., Newell, A., and Orlich, E. RI-SOAR: An experiment in knowledge-intensive programming in a problem-solving architecture. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, No.5 1985, 561-568.
4. Rosenbloom, P.S., and Newell, A. The chunking of goal hierarchies: A generalized model of Practice. In R.S. Michalski, J.G. Carbonell, and T.M. Mitchell (editors), *Machine Learning: An artificial intelligence approach*. Vol. II, 1986, 247-287.
5. Laird, J.E., and Newell, A. A Universal weak method: Summary of results. *IJCAI-83*, 771-773.
6. Rosenbloom, P.S., Laird, J. E., and Newell, A. Meta-Level in SOAR. In P. Maes and D. Nardi (editors), *Meta-Level Architecture and Reflection*, 1988, 227-240.

机能的平衡。它既是一种状态，反映机体对环境的认识达到了平衡，为学习系统提供结束条件，保证新旧概念逻辑上的一致；同时，它又是一种过程，说明机体每遇到新事物，在认识过程中，总是试图用原有的图式去同化它，若获得成功，便得到认识上的暂时平衡，否则，机体便做出调节，调整原有图式或创立新图式去同化新事物，直到达到认识上的新平衡。平衡为示例学习提供了完整的学习过程和控制策略。

二、控制策略

根据上面描述的认知心理学，建立基于认知理论的学习模型，它的主要控制策略是：系统首先接收一个以（类）自然语言形式书写的示例E，把该示例E转化成为系统的内部形式，以便形成最初的试用概念I。然后，系统有目的地搜索长时记忆中可能已掌握的概念T，实现已掌握概念T对试用概念I的同化操作。反之，则调整长时记忆中的已掌握概念，或生成新的概念，去同化试用概念I，并把调节后的已掌握概念有组织地存储到长时记忆中，直至满足结束条件，达到“认识上”的新平衡。

在对试用概念施行同化操作时，可能有多个已掌握概念均能同化试用概念，也可能没有已掌握概念能够同化试用概念。对于第一种情况，由于同化操作不能修改已掌握概念，因此，只可能是这些已掌握概念体与试用概念的一部分完全匹配，如果要建立的学习模型其目标是针对概念的区别描述，那么，这些已掌握概念中只可能有一个与试用概念完成同化操作。当系统缺乏足够的信息确定用于同化操作的已掌握概念时，系统可以采用询问“教师”的方式解决。对于第二种情况，系统需要执行调节操作，因此，系统需要掌握一定的启发式信息，如，已掌握概念与试用概念的匹配情况，确定调整哪一个已掌握概念，或构造新的概念。

针对上述控制策略，学习过程的框图如图1所示。

下面进一步对有关同化、调节等方面进行深入探讨和研究，确定学习模型的细节，制定学习的同化调节法。

三、同化作用的形式描述

按照Piaget的理论，同化是一种认知过程，它把新的信息，即环境的某一方面加以改变，使之更好地适合于已有的知识。Piaget把生物学意义上的同化作用引伸到心理思维活动中，从而，将同化过程形式地描述为^[4]：

$$(T+I) \rightarrow AT+E$$

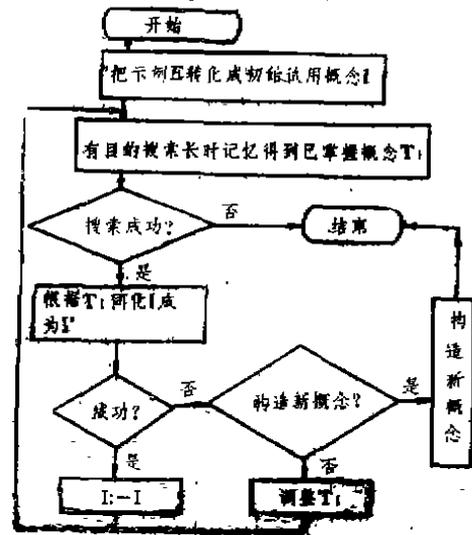


图1

其中，T是长时记忆中的认知结构，I是外部环境对机体的刺激，AT是I同化于T的结果，而E是在刺激情况下，排除在认知结构之外的信息。

按照Piaget对同化作用的定义，同化过程不应对于同化试用概念I的认知结构T做任何的修改。因此，这个公式没有表达同化的执行过程，而是反映了整个思维活动的开始和结束，说明了整个长时记忆从T变为AT是经过一系列同化、调节作用的结果。至于同化的作用只是把短时记忆^[4]中一种形式表示的试用概念变换成为另一种形式表示的试用概念，因此，就同化的主要操作而言，同化作用的形成描述应该是：

$$(T+I) \rightarrow I'+E \quad (1)$$

其中，T是长时记忆中的认知结构，即系统已掌握的概念I是短时记忆中的试用概念，初始试用概念是系统转在外部刺激的结果，I'是I同化于T的结果，它构成了新的试用概念，对整个学习过程，最终的I'表示系统学习的结果，E是在I'的作用下，系统得到的除I'以外的信息。

(1)式说明，同化过程是一个充满了逻辑推理的过程，包括：演绎推理，如缺省推理，非单调推理，和归纳推理等。其中，归纳推理的前提是已掌握概念T和试用概念I，结论是I'和E，推理规则是T。

另一方面，由于试用概念I描述的是示例的性质，具有特殊性，而归纳推理用于求解逻辑上重言蕴含I，并以具一般形式描述的试用概念I'，因此，

系统的长时记忆中可能存在多个已掌握概念 $T_i (i=0, \dots, n)$ 可以同化 I , 若学习的目标是概念的个别描述, 则 $T_i (i=0, \dots, n)$ 至多只可能有一个已掌握概念, 设为 $T=T_0$, 把 I 同化 I' 。然而, 其它已掌握概念 $T_j (j=1, \dots, n)$ 仍然有同化 I 的可能, 为了保证概念的区别描述, 在利用 T 同化 I 的同时, 还要对 $T_j (j=1, \dots, n)$ 做适当的调整。

如前所述, 可以同化 I 的已掌握概念 $T_i (i=0, \dots, n)$ 只可能出现在 T_i 的概念体 $body(T_i)$ 与 I 或 I' 的一部分完全匹配的情况。而对已掌握概念 $T_j (j=1, \dots, n)$ 的调整, 就同化操作而言, 意味着消除 $body(T_j)$ 与 I 之间的完全匹配, 生成 T_j' 。因此, 同化操作涉及到选择满足 $\delta(body(T_i)) \subseteq I$ 条件的 $T_i (i=0, \dots, n)$, 并对 $T_j (j=1, \dots, n)$ 生成满足 $\delta(body(T_j')) \subseteq I'$ 条件的 T_j' 。

在(1)式中, E 表示除 I' 外系统获得的所有信息, 那么, 其中究竟包含了什么内容? 可用于什么场合? 哪些信息与学习活动有关? Piaget的整个理论体系中并没有对此做更多的探索和研究, 因此, 有必要从学习的角度对 E 进行分析。对于同化过程而言, 为了确定用于同化 I 的已掌握概念 T , 需要能够反映 T 与 I 拟合程度的信息, 以便选择与 I 完全匹配的 T 。对于调节过程而言, 也需要有关 T 与 I 拟合程度的信息, 以便确定需要调整的已掌握概念 T , 或构造新的概念, 除此之外, 系统还应包括反映 T 与 I 之间差别等方面的信息。由此看来, E 包含了用于评价归纳推理结论 I' 的有关信息, 其中, 主要是一些再认识熟悉事物的启发式信息。

综上所述, 整个同化过程的形式描述是:

$$(T + \sum_{i=1}^n T_i + I) \rightarrow \sum_{i=1}^n T_i' + I' + E \quad (2)$$

其中, I 是短时记忆中的试用概念, T 是长时记忆中用于同化 I 的已掌握概念, 它满足条件 $\delta(body(T)) \subseteq I$; T_i 是长时记忆中的已掌握概念, 它满足条件 $\delta(body(T_i)) \subseteq I$; I' 是 T 同化 I 的结果; T_j' 是根据 I 对 T_j 进行调整的结果, 满足条件 $\delta(body(T_j')) \subseteq I'$; E 是排除在 T_j' 与 I' 之外的信息, 主要是 T 与 I 拟合程度的启发式信息。

四、调节作用的形式描述

按照Piaget的理论, 调节也是一个认知过程, 它是个体受到外部刺激或环境的作用, 而引起或促进原有认知结构的改变或创新, 以适应外界环境的过程。它说明了人类思维活动的另一方面, 从学习

的调节, 调节的作用主要是完善已经学习的概念和构造新的概念, 因此, 调节是学习过程必不可少的关键环节。

调节的目的为了使长时记忆中的某个已掌握概念 T 可以同化试用概念 I , 因此, 根据已掌握概念 T 与试用概念 I 的相似程度存在着两种不同的调节方式。一种是试用概念 I 虽然与已掌握概念 T 不相适合, 但是, 二者之间还存在着很大相似性, 在很多, 特别是, 主要方面有共同之处, 因此, 只需对已掌握概念 T 做某些局部的调整或修改, 就可使已掌握概念 T 适合于试用概念 I , 以实现试用概念 I 的同化。形式地说, 就是把某个满足 $\delta(body(T)) \subseteq I$ 条件的已掌握概念 T , 调整或完善成为满足条件 $\delta(body(T')) \subseteq I$ 的已掌握概念 T' 。另一种是试用概念 I 与已掌握概念 T 之间有很大差别, 这种差别不能通过对已掌握概念 T 做某些局部调整来消除, 只能通过构造新的概念 T 加以解决, 这可采用消除 I 中某些特殊信息的方法实现。形式地说, 就是生成满足 $\delta(body(T)) \subseteq I$ 条件的已掌握概念 T 。

由于调节过程存在着两种不同的操作, 因此, 在执行调节操作时, 需要系统能够明确地判断这次调节操作的类型, 在此, 仍根据试用概念 I 与已掌握概念 T 之间拟合程度的大小来判断。为实现这个判断, 需要在系统中设置一个阈值 λ , 具体判断过程是: 若系统搜索过程中选择的某些已掌握概念 T 与试用概念 I 的拟合程度值(设为Match)大于 λ , 则系统按 T 的Match值从大到小的顺序询问'教师', 以此确定经过调整可以同化 I 的已掌握概念 T , 若存在这样的已掌握概念 T , 则通过对比试用概念 I 与已掌握概念 T 之间的差别, 局部调整或修改已掌握概念 T 的内容; 否则, 根据试用概念 I 提供的信息, 构造新的概念。

综上所述, 整个调节过程的形式描述是:

1. 调整旧概念 T

$$(T + \sum_{i=1}^n T_i + I) \rightarrow T' + \sum_{i=1}^n T_i' + I' + E \quad (3)$$

(3)式是调节操作

$$(T + \sum_{i=1}^n T_i + I) \rightarrow T' + \sum_{i=1}^n T_i' + E_1$$

与同化操作

$$(I' + I) \rightarrow I' + E_2$$

的(1)式。

2. 构造新概念 T'

$$\left(\sum_{i=1}^n T_i + I\right) \rightarrow \sum_{i=1}^n T_i' + T_0 + I' + E \quad (4)$$

(4) 式是调节操作

$$\left(\sum_{i=1}^n T_i + I\right) \rightarrow \sum_{i=1}^n T_i' + T_0 + E_1$$

与同化操作

$$(T_0 + I) \rightarrow I' + E_2$$

的合写形式。其中，I是短时记忆中的试用概念，T是长时记忆中需要调整的已掌握概念，它满足条件 $\delta(\text{body}(T)) \subseteq I$ ； T_i 是长时记忆中的已掌握概念，它满足条件 $\delta(\text{body}(T_i)) \subseteq I$ ； T_i' 是对已掌握概念T调整的结果，它代替了长时记忆中T的内容，并满足条件 $\delta(\text{body}(T_i')) \subseteq I$ ； T_i' 是根据I对 T_i 施行调整的结果，满足条件 $\delta(\text{body}(T_i')) \subseteq I$ ； I' 是对长时记忆调整后，系统对I实施同化操作的结果； T_0 是长时记忆中根据试用概念I构造的新概念，它满足条件 $\delta(\text{body}(T_0)) \subseteq I$ ；E是有关拟同程度的启发式信息。

(上接第19页)

主要原因是为了满足这一要求。然而，这可能会引起另一问题，即多级推理时，可能会使确定性因子的值递减过快，难以定出合理的取舍阈值。为了解决这一问题，可以改变(2)中的运算“ \circ ”，例如：

设 $0 \leq a_{ij} \leq 1$ ，规定运算“ \circ ”的定义为：首先按普通矩阵乘法进行计算，然后将其结果压缩到[0, 1]区间，即有

$$CF[A]_i = \min(1, CF[A]^{(2)}_i) \quad (11)$$

其中 $CF[A]^{(2)}_i$ 为利用普通矩阵乘法进行计算的结果。易知，这样的运算不但可使确定性因子不会递减过快，而且仍然满足乘法结合律。

同一推理系统，采用不同方法进行综合，所得结果不同，这和人们从不同的角度观察同一事物，可能得出不同结论一样。我们建议使用不同方法进行试验，然后设法让系统进行“自学”，从而不断提高其精度。

四、结束语

产生式规则过于精细的结构直接影响了大型知识库的知识检索、推理和维护的效率。多段规则实质上是根据知识的自然结构集成的阵列规则。引入这种块状结构，可以提高知识库的性能指标。这种

参考资料

1. Michalski, R. S.: A Theory and Methodology of Inductive Learning (见Michalski, R.S. Carbonell, J.G. Mitchell, T.M. 主编: Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach Tioga Publishing, Co.) p.83—134. 1983
2. Simon, H.A 著 荆其诚 张厚粲译: 人类的认知——思维的信息加工理论 科学出版社 1986
3. Piaget, J. Inhelder, B. 著 吴福元译: 儿童心理学 商务印书馆 1980
4. Piaget, J. 著: 皮亚杰的理论
5. 宗智贤: 皮亚杰儿童思维心理学简介 北京师范大学学报(社会科学通讯) No.1 p.71—82, 1980
6. 李彦: 机器的认知学习 全国高教系统第十次AI学术讨论会, 全国第二次自动推理研讨会论文 陕西 1989.9

集成化的规则表示也可以作为知识整理的工具，指导成块知识的获取，表示和存贮，有利于知识获取的系统化和完整化，以及全面综合考虑确定性因子(矩阵)的设定。多段规则的确定性矩阵集中表示了规则推理中的处理对象，可以直接利用现有的数值处理系统进行有效的推理综合，容易实现并行处理。现有的各种推理综合方法各有适用范围。我们可以根据知识的内在联系，对每个多段规则指定具体的综合方法，实现多种综合方法的混合使用。

参考文献

- [1] 李冠英, 李吉桂, 确定性理论及主观Bayes方法的一个统一框架, 华南师范大学学报(自然科学报), 1988年第1期
- [2] Frederick Hayes-Roth, Rule-based Systems, CACM, vol.28, No.9, 1985
- [3] Richard Fikes, Tom Keeler, The Role of Frame-based Representation in Reasoning, CACM, vol.28, No.9, 1985
- [4] 游子墨, 赵一鸣, 产生式系统的划分和并行处理, 计算机科学, 1988年第1期