

关于类比学习

徐立本 张奇志

(吉林大学 管理科学系)

摘要

A model for systems of learning by analogy and survey of theories and implementations of learning by analogy are given in this paper, we review five systems of learning by analogy.

类比 (Analogy) 是人们进行思维的重要方法之一。人们在遇见一个新问题时, 往往去回忆过去经验, 参照解过的相似问题的解法, 解决新问题。著名数学家 G. Polya 曾对如何用类比解决数学问题做过透彻的研究^[1]。类比的方法也引起思维科学学者的重视^[2]。显然在用计算机解决问题中, 如何利用类比, 特别来谈, 计算机如何利用类比进行学习, 是一个具有实际意义和理论价值的研究课题。比如, 要使专家系统具有类比的推理能力, 要使第五代计算机具有联想能力, 要使机器人能“举一反三”, 都离不开类比学习的研究。因此, 类比学习也引起人工智能研究者的重视, 它是一类重要的机器学习方法。

一、类比学习系统的一般模式

已经开发出多种类比学习系统, 这种学习系统的共同特点是什么, 给出一个统一的模式, 对于进一步开展研究必将是有意义的。

首先, 可以把类比学习问题描述如下:

已知: 1. 一个知识库。它是包括用一种或多种知识表示方法描述的已知问题及其解法的数据集合。2. 一个待解决的问题

求解: 1. 参照上述知识库中已知问题的解法, 解决待解决的问题。2. 如果问题得到解答, 把新问题及其解法按知识库的知识表示方法纳入知识库。

其次, 我们给出解决上述类比学习问题的学习系统的一般模式如图1, 其中各模块功能说明如下:

模块1. 对已解决问题及其解法进行索引, 以便将来检索。

模块2. 给出新问题后在知识库中搜索相似问题, 如找到相似问题做模块3, 否则转去用其它方法求解。

模块3. 对找到的相似问题的解法进行改造, 使之适于解新问题。

模块4. 用改造好的新解法解决新问题。

模块5. 把成功的新解法用知识库的表示方法进行“规范化”, 并纳入知识库, 以便日后调用。

下面, 还要对其中的两个模块补充说明。

在第2个模块中, 如何定义两个问题相似, 值得注意。在只有较高级“智能”的类比学习系统中可以允许两个问题在相当一般的意义上相似, 即“广义”的相似。

在第4个模块中, 在解新问题中可能遇到困难,

即改造后的解法不能解决新问题，于是，提出一个子问题，寻找子问题解法（当然，在解决子问题中仍可用类比方法），待子问题解决后，继续解决原来的问题。如果子问题解决不了，就需要另觅蹊径去解决原问题了。

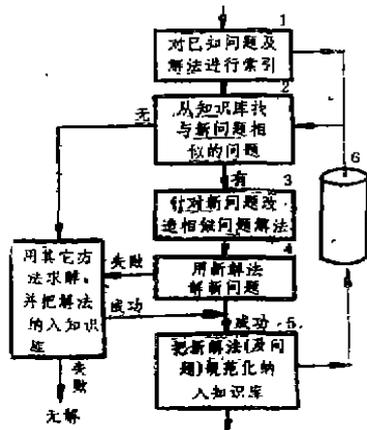


图1 类比学习系统的一般模式

二、对五种系统的比较研究

目前许多学习系统都使用类比学习，如AM^[3]，BACON^[4]等。专门的类比学习系统也有多种。下面，我们只选其中五种进行分析、比较。

2.1 ANA系统^[5] ANA系统为产生式系统，它的任务是管理一个油漆店。ANA操作店里的一台机器，管理3×6个地点。店里只有可油漆的物件，每个物件都有“类型”、地点、颜色和状态（干净或脏）等特性。ANA可进行五种基本操作：Spray, Carry, push, cart和scan。还已知能完成六种操作的基本操作序列（如其中一种操作为“把甲处的桌子油漆成红色”）。

ANA的任务是，给定一种操作（如“把乙处的椅子油漆成蓝色”），要求ANA查找并参照已知的六种操作中的相似者，完成给定的操作。当ANA为新问题找到类似解法后，它用目标驱动的方式搜索解题步骤。在遇到障碍时，提出一个新的子目标，设法解决（也可用类比法），如果子问题已解决，对原来解法打一个补丁，然后，接着解决原来

的问题。如果无法解决子问题，原解法也无法进行下去了。

ANA系统是一个学习解决多步任务的类比学习系统，具有一般性，可供借鉴。但是，ANA系统为新问题找类似问题的匹配算法过于简单（只看操作类型和对象是否同类），当实际的任务环境比较复杂时，ANA系统的匹配算法就不敷使用了。

2.2 类比学习和推理系统^[6] Winston

提出一个利用类比进行学习和推理的理论，并且研制了一个实现这个理论的智能学习系统。这个理论及其实现系统的关键技术如下：

1. 采用可扩展表示法来描述局面 (Situation)，即使用语义网络知识表示方法。

2. 用重要性决定匹配。也即，两个局面是否匹配，由两个局面的语义网络中的“重要”结点及其约束是否一一匹配决定，不求所有结点及所有约束都一一匹配，以避免匹配算法费用过大。哪些结点是重要的，由附加在结点上的某约束决定，或者由用户决定。

3. 在新旧两个局面中，两个结点是否相似不仅包含在狭义上两结点类型完全相同的情况，还包括两结点在广义上，同属一类的情况。这个思想，扩大了系统的抽象匹配能力，从而扩大了用类比方法解决问题的范围。

4. 用类比驱动学习。当一个新局面与一个已知局面相似时，把旧局面的各结点与新局面的相应结点对应起来，同时，把旧局面的各种约束关系映射到新局面上来。于是，通过这种映射，可以学习到在新局面的一些结点间存在的约束关系。

5. 由类比驱动推理。当要查验新局面的某些结点间是否存在某些关系时，到与之相似的旧局面的相应结点间去找相应的关系，有可能能得到一些得启发的先例。从而发现和导出在新局面的结点间的某些关系。

Winston的类比学习和推理理论及系统提供了一个可扩充的描述局面的结构化机制。同时,其利用“重要性”,广义的抽象的“同类型”进行匹配的技术,提供了一个对局面进行匹配的有力方法;提高了匹配的效率和扩大了类比学习和推理的应用范围。用这个理论进行单步任务的学习和推理是很有力的,但是,在Winston的理论和实现中,类比没有直接参加问题求解过程本身。在多步任务的类比学习和推理中,Winston的理论尚显不足。

2.3 转换类比系统^[7] 这个理论和用于多步任务类比学习。假设给定一个问题集合 T 及其解法集合 S (其中各解法表示为一个操作序列)。又给出一个新问题 T_{new} ,要求在集合 T 中找一个与 T_{new} 类似的问题(记为 T'_{new})并要求参照 T'_{new} 的解法 S' 去找新问题 T_{new} 的解。在该系统中,Carbonell用“存储——索引体制”^[10]和局部匹配程序等技术完成两问题的匹配任务。在两问题匹配后,当把已知解法的映射解法用于解决新问题遇到障碍时,Carbonell用一种推广的“手段-结果分析(Means-Ends-Analysis)”技术改造映射解法,并且,在改造该解法时可使用其它种类的学习技术。

转换类比理论把类比直接用于多步任务的求解过程。当给出一个新问题后,系统可以根据不同的抽象程度的相似性,找到与之相似的问题。在系统中可采用推广的手段-结果分析技术及多种机器学习方法,改造相似问题的解法使之能适于解决新问题。因而,该系统具有很强的解题能力。该理论与技术扩大了用类比方法解决多步任务的范围。

这个系统的不足之处是,在改造旧解法遇到失败时,不能对旧解法的导出过程进行分析。但是,事实上,常常可以在对旧解法的导出过程进行深层分析中,找出旧解法为什么在解新问题中失败的原因,有的放矢地加以改造,从而得到新问题的有效解法。Carbonell本人已经注意到了这个问题,并在他后来的工作中初步解决了这个问题^[8]。

2.4 派生类比系统^[8] 用派生类比学习方法解决的任务也是多步任务。但派生类比方法与转换类比方法有很大不同。通常,一个问题的解法,往往是在逐步求精过程中产生的。我们把这个过程称为解法的生成过

程。在转换类比方法中,不记录解法的生成过程,只记录最后生成的算法。而在派生类比方法中,不仅记录最后的解法,而且记录与解法生成有关的信息。在派生类比系统用改造好的老问题解法解决新问题时,如果遇到困难,系统可以对有关解法的生成过程进行深层分析,查明原因,根据新的条件,改造新解法。因此在派生类比方法中,可以更多地更深入地利用类似问题的解法知识。不仅利用最后的解法操作序列,而且利用解法的生成过程的信息。也即,不仅要知其然,而且要知其所以然。所以派生类比方法比转换类比方法具有更强的“智能”。

派生类比方法比其它类比方法具有更强的解题能力。这种技术也为在专家系统中进行基于事件推理(Case-Based Reasoning)提供了一个有力机制(目前专家系统多是基于规则的推理,有一定局限性)。此外,在自动分析解法生成过程和改造旧解法过程中,必然有机会更加充分地使用各种其它机器学习技术,从而进一步提高了这种系统的解题能力。

由于派生类比方法需要对问题解法生成过程进行分析,因此,必然要降低解题效率。同时,这种分析涉及领域知识,增加了问题的复杂性。所以,需要在进一步实现中,对这种方法进行检验、修改和完善。

2.5 学习系统NLAG^[9] R.Greiner给出了一个名为NLAG的类比学习系统,他认为类比推理是一个以某个对象(称为源类比物)的已知事实为基础,对一个目标对象(称为目标类比物)提出新的推测的过程。他定义了一个有用类比推理过程,如下:

定义 $Th, A \sim B | \sim_{PT} \phi(A)$
 其中 $Unknown; Th | \neq \phi(A)$
 $Consistent; Th | \neq \neg \phi(A)$
 $Common; Th | = \phi(B)$
 $Useful; Th \cup \{\phi(A)\} = PT$

符号 \sim 代表“有用类比推理过程”,它有三个输入:一个“理论” Th (theory),一

个类比暗示 $A \sim B$ (读作“A象B”) 和一个要解决的目标问题PT。该过程的输出是一个新命题, $\phi(A)$ 。

1. 学习 NLAG认为知识即是一个有限的一致命题集合(事实、规则、约束等), 我们称之为“理论”Th。一个完全的演绎推理过程, 对于出现在Th的演绎闭包(deductive closure)里的问题, 总是能够解决的。反之, 如果 $Th \neq \phi$, 你就不能解决 ϕ 。NLAG把学习过程当作是Th的演绎闭包的扩展, $Th' \leftarrow Th \cup \{\phi(A)\}$, 其中 $\phi(A)$ 不能通过理论本身的演绎而得到, 即 $Th \neq \phi(A)$ 。为了使得到的理论 Th' 一致, 我们还要求从该理论Th不能推出 $\phi(A)$ 为假的理论。这两个约束条件即是定义中的Unknown条件($Th \neq \phi(A)$)和Consistent条件($Th \neq \neg \phi(A)$)。

2. 类比学习 类比推理利用源类比物B, 为类比提供某些基础。它要求源类比物也要满足命题 ϕ , 称为类比公式: 即 $Th \models \phi(B)$ 。这一点规定了定义中的Common条件, 一个一般类比推理寻找这样一些公式 ϕ , 它们要是Unknown的, Consistent, 且Common, 对于每个这样的 ϕ 句子 $\phi(A)$ 就是类比(analogy)。

3. 有用类比 称一个命题 ρ 对一个问题PT是“有用的”(问题PT对应于一个理论Th), 是指理论Th加入该命题后, 足以解决这个问题, 即 $Th \cup \rho \models PT$ 。这就是定义中的Useful条件。我们要寻找的, 就是只有那些能够帮助解决目标问题的类比, 具体地, $\sim PT$ 只返回那些对问题PT“有用”的 $\phi(A)$ 推测。

给定一个类比暗示, 和一个初始理论, 我们可能得到很多个类比。我们的问题是, 如何有效地找到正确的推测(有用类比), 因此, 我们需要一些启发式规则(heuristics)来指导我们去搜索“最”有用的类比。因此NLAG引入一个概念: 抽象(Abstraction)——一个关于某一领域的一般化的可再用抽象关系。它就是一个包括以前的问题的解法的抽象关系。这样, NLAG只需要寻找那些被已知抽象关系包括了的具体的类比。

例如, 关系RKK(电流, 电压, 电阻,

电阻器)代表的是电子学中有关电阻的规律。对这个公式进行抽象, 得到RKK(t, c, r, t), 它就是一个一般的, 可再用的, 称之为抽象的关系。公式RKK(t, c, r, t)可帮助解决抽象在电子学, 水力学, 热系统, 翻译系统里的问题, 即这个公式反映了这些不同领域的共性。

NLAG的目标就是利用这些实现定义的abstractions提出有用的新推测。NLAG给出了几个基于抽象的试探规则, 以指导对有用类比的探索。关于基于抽象的有用类比搜索的详情, 见^[1]。

这项研究的主要贡献是给出一个有效的类比过程的定义, 即已知一个类比暗示, 给定一个特殊问题, 要求提出一个该特殊问题有用的推测。该理论的实现系统证实了关于类比的直觉知识, 并提供了关于抽象本质的观点。说明了这个基于抽象方法的作用。作者还指出一个综合类比系统必须具有两种能力: 具有利用有关抽象物的能力, 和针对当前具体问题, 产生可再用解法的能力。

80年代以来, 类比学习的研究已经引起人们的重视, 并且取得显著进展, 尤其是Carbonell的派生类比学习理论为类比学习的研究打开了新局面。这项研究成果拓宽了类比学习系统解决问题的范围, 为类比学习中其他机器学习方法架起了桥梁, 为在专家系统中使用基于事件推理机制提供了有用的技术。此外, R.Greiner的NLAG类比学习理论, 揭示了类比学习的实质, 推动了类比学习的研究。记忆、联想和推理是人脑的重要的思维功能, 也是第五代计算机的特性, 类比学习的研究必将推动关于人脑和第五代计算机的研究。可以预料, 类比学习必将引起人数更多、领域更广的学者的重视, 必将在不久将来, 取得更大的进展。

参考文献

1. G.Polya, 数学与猜想, 第一卷 数学中的归纳与类比, 中译本, 科学出版社, 1982(原文, 1954出版)
2. 张光璧, 相似论, 见钱学森主编的“关于思维科学”, 1986.
3. R.Davis, D.B.Lenat, Knowledge-based System in Artificial Intelligence,

(下转54页)

四、 作为程序设计环境的MUFL

为了方便用户编制、监测和调试程序，MUFL提供了许多便利条件。它们大致可以罗列如下：

1) MUFL 提供了一系列可在顶层使用的命令以完成必须的日常工作。如：

关于MUFL文件的操作；

关于规则库，事实库的操作；

关于MUFL程序运行启、停，继续等等控制；

关于程序运行监控状态的设置和检查；等等；

2) MUFL提供了一个跟踪，监控程序运行的工具 (Debugging Tool) 。通过它，用户可在程序运行的每一个循环内监测到：

(a) 冲突集中所有的规则实例；

(b) 启用规则实例的内容；

(c) 启用规则实例操作部份的执行情况。

3) MUFL提供了与UNIX操作系统的接口，使得一些UNIX命令，如“编辑”，“打印”，“复制”等可在MUFL内得以执行。

4) MUFL还提供了与PROLOG的接口。因此，用户可以用 PROLOG提供的“trace”，“spy”等手段跟踪和调试他的产生式系统程序。

值得注意的是，MUFL允许用户用两种方式设置和查询程序运行的监控状态以及与PROLOG的通讯：一种是静态方式，即在语言的顶层用MUFL 命令来设置；另一种是动态方式，即在程序运行过程中的每一个中断点上(由用户事先设置)，用户可任意选择，修改程序的监控状态 以及开启，关闭和与

PROLOG的通讯。

五、 围绕MUFL可开展的进一步工作

由上可知，产生式系统语言MUFL 仅适宜于用来编写求解正向综合型问题的程序。然而，若以现有的MUFL 作为基本模型，在它的基础上，我们仍可以做大量的更深入的工作。这些工作对于改进和完善MUFL 的功能；实践和开拓人工智能新技术都将是有意义的。进一步的工作至少可以设想如下：

*扩大MUFL表现和应用知识的范围。具体地说，就是使不同问题领域的用户针对具体不同的问题，能以编写规则的方式来选择和修改控制策略和冲突解决策略。这一功能的实现涉及到元控制和元知识的应用问题。

*提高合一匹配效率，减少查找知识(即将规则与状态进行匹配)的花费。

*将MUFL 的基础逻辑由原来的一阶谓词逻辑推广到模糊逻辑、概率逻辑以致于非单调逻辑，以使MUFL能表现和应用不精确、不完整以及经验性知识。从而使MUFL的应用范围由确定性问题领域扩大到非确定性问题领域。

参考资料

- Brownston, L., Farrell, R., Kant, E. and Martin, N. (1985) : Programming Expert System in Ops5, Reading, Mass, Addison-Wesley.
- Bowen, J. A., (1985) MUFL, Draft User's Manual, Dept. of Computer Science, Univ. of Reading, U. K.

(上接63页)

- 1980.
4. P.Janglay, G. L. Bradshaw, H.A.Simon, BACON5, IJCAI-1981
 5. J.McDermott, Learning to Use Analogy, IJCAI-1979
 6. P.H.Winston, Learning and Reasoning by Analogy, CACM Vol. 23, No. 12 (1980)
 7. J.G.Carbonell, Learning by Analogy, Formulating and Generalizing Plans from Past Experience, Machine Learning,

- Vol.1, 1983.
8. J.G.Carbonell, Derivational Analogy, A Theory of Reconstructive Problem Solving and Expertise Acquisition, Machine Learning, Vol.2, 1986
 9. R.Greiner, Learning by Understanding Analogies, Artificial Intelligence, Vol. 35, No1, 1988.
 10. R.C.Schank, Dynamic Memory, A Theory of Learning in Computers and People.1982.