

解释学习中的多知识库协作

石纯一 龚义涛

(清华大学计算机系,北京 100084)

MULTI — KB COOPERATION IN EXPLANATION — BASED LEARNING

Shi Chunyi and Gong Yitao

(Computer Science Department, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract In order to solve the problem of KB's incompleteness in Explanation-Based Learning. We introduce Multi-KB cooperation in EBL and propose a new learning method—Explanation and Association-Based Learning.

摘要 为了解决解释学习中知识库不完备的问题,本文引入了多知识库协作,提出了解释与联想的学习方法。

§ 1. 引言

解释学习(Explanation-Based Learning, EBL)系统的输入是一个训练例,通常为正则。解释学习的过程包括,首先依知识库,解释此训练例属于要学习概念的一种特殊情形,然后将此解释结构加以概括一般化,从而学得新知识,解释学习系统的输出是在可操作意义下的对训练例的一种概括化描述,它适用于更广的范围。因此,解释学习也可理解为一种知识转换:用训练例来激发知识库,将概念的不可操作描述转化为可操作的描述。从而提高相应执行系统的效率。

由此可以看出,解释学习要求领域理论完善,但实际上出现的往往是领域理论不完善(Imperfect theory),因此这是需要研究的问题。不完善的领域理论有以下三种情形。

- (1)不完备的理论。由于缺少一些公理或规则,使某些演绎不能完成。
- (2)不一致的理论。从该理论中可以导出不一致的结论来。
- (3)难处理的理论。演绎由于受到计算复杂性的限制而不能完成。

这三种情形往往交错在一起,由于不完善的理论,在构造解释过程中,会出现解释中断、矛盾、多种解释、资源不足等现象。

为解决上述不完备的理论问题,本文提出了多知识库协作的途径,给出了一种解释与联想的学习方法(EABL: Explanation and Association—Based Learning)。EABL将EBL中的单向解释树扩展为双向连通图,称为解释联想图EAG。利用EAG可以找出原有知识库的不完备之处,并通过多知识库协作来解决这个问题,而且利用EAG及多知识库协作,EABL具有联想功能,可以学到不为原系统所蕴含的新知识,不完备理论中的大部分问题单靠原来的知识库,即使引入归纳学习也是难以解决的,这正是EABL的意义。

§ 2. 知识库的不完备性

为描述知识库不完备在 EBL 中的具体含义,引入下述概念.

定义:EBL 中对目标概念 G 利用知识库 KB 所产生的解释结构记为 E,E 的可操作性界限是指:在此界限之下第一层结点均为可操作的,而其上(往根结点)的 E 的所有结点无一可操作的.对 E 若存在某一结点,它的所有子结点都是不可操作的,则 E 称为不可操作的解释结构.进而若 E 是不可操作的,则称 KB 相对 G 是不完备的.

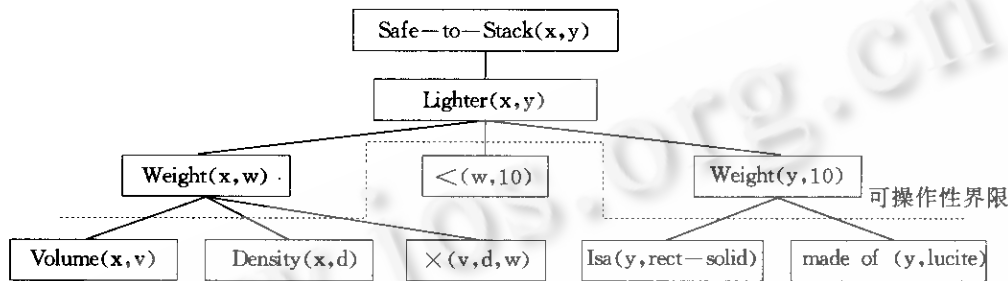


图 1 知识库完备的情形

例如,在积木世界中,积木块 X 能安全地放在 Y 之上这一概念的描述.对此目标概念,EBL 利用某知识库 KB1 建立解释结构 E1(如图 1),依已知的执行系统知,可操作性界限为图中虚线所示.可看出解释树中越靠近根结点的结点所描述的一般性越强,从而获得的解释规则,是在可操作性的前提下,由尽量靠近根结点的一组结点来表现的,即

If Volume(X,V)∧ Density(X,d)∧ Times(v,d,w)∧ Isa(y,rect-solid)∧ Made of(y,lucite)∧ Less(w,10) then Safe-to-stack(x,y)

如果另有一知识库 KB2,与 KB1 不同之处仅在于没有计算重量 W 的有关规则,则所对应的解释结构 E2 是不可操作的,因为结点 Weight(x,w) 及其所有子结点都是不可操作的,从而 KB2 相对于 Safe-to-stack(x,y) 这一目标概念是不完备的.

于是有知识库 KB 相对于某目标概念 G 的完备性判别算法:

- (1) 利用 KB,依执行系统找出 G 的一个证明,设 E 为证明所形成的解释结构,对 E 的所有端结点均向下延伸一个结点记为 nil,并规定 nil 为可操作的.
- (2) 利用宽度优先搜索算法,从根结点 G 开始逐层向下判断每个结点的可操作性,若某一结点为可操作的,则以它的根的子树不再判断.
- (3) 由(2)可得 E 的可操作性界限,若依此界限所形成的解释学习规则中含有 nil,则 KB 相对 G 不完备,否则是完备的.

§ 3. 解释与联想的结合

若知识库 KB1 相对目标概念 G 不完备,那么单纯利用 KB1 自身已无法解决完备性问题.一个解决的办法是多知识库协作或称联想.

3.1 外部联想:多知识库协作的一种方式

设某不完备解释结构 E 如图 2 所示,其中 E0 为可操作的子结构,P1,⋯,PK 为所有不可操作的端结点.联想的目的是使 E 可操作化,外部联想就是利用多知识库的协作,分别将 Pi(i=1,⋯, k) 作为子目标概念,建立各自的可操作结构以使 E 可操作化.由于知识库间连接方式不同又可分为间

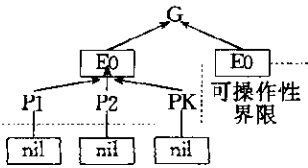


图2 不可操作的解释结构E

答式和讨论式多知识库协作。

(1)问答式协作. 以 KB1为中心结构,KB1与 $KB_i (i \geq 2)$ 都相连,而 $KB_i, KB_j (i, j \geq 2, i \neq j)$ 不连,这样由 KB_1 向 KB_2, \dots, KB_n 提出问题,而 KB_2, \dots, KB_n 向 KB_1 返回答案,算法如下:

1. 找出图2中所有不可操作端结点集 $\sim oe = (p_1, \dots, p_k)$
2. 将 $\sim oe$ 中各元素作为新的子目标概念,以广播方式通知

KB_2, \dots, KB_n . 这些知识库接到广播后,利用各自的知识及 EBL 方法,对 p_i 建立相应的解释结构.

3. $KB_i (2 \leq i \leq n)$ 将所建解释结构返回 KB_1 ,而 KB_1 在判断可操作的前提下,依某种仲裁原则,选出一组合适的可操作子结构集 $oe = (E_{p_1}, \dots, E_{p_j})$.

4. 将 oe 中的 E_{p_i} 分别拼接到图2中 p_i 之后,使 E 成为 E' ,若 oe 元素个数小于 k ,则 E' 仍为不可操作只是其不可操作性有所下降.若 E' 成为可操作的,则联想成功.

(2)讨论式协作. 这时各知识库是全连通方式,其协作算法是一种递归形式:

1. 找出图2中所有不可操作端结点集 $\sim oe = (p_1, \dots, p_k)$
2. KB_1 将 p_1, \dots, p_k 作为新的子目标概念以广播方式通知 KB_2, \dots, KB_n ,这些知识库接到广播后,利用各自的知识及 EBL 方法,对 p_i 建立相应的解释结构 $E(p_i, KB_j)$. 若 $E(p_i, KB_j)$ 为不可操作结构,则以 KB_j 为中心进行讨论式协作算法以求得可操作化,这是个递归过程,算法的3,4步同问答式协作算法.

3. 2 双向联想:多知识库协作的另一种方式

在讨论 KB_1 解释结构可操作化过程中,既可利用其它知识库的知识,同时可进一步利用 KB_1 自身的知识,由于可操作性判断的标准并不唯一,因而可能会出现可操作性结点为根的子树中存在不可操作结点,且此子树结点描述的一般性并非向根结点方向呈单调非减,或者说会存在图3的情形.

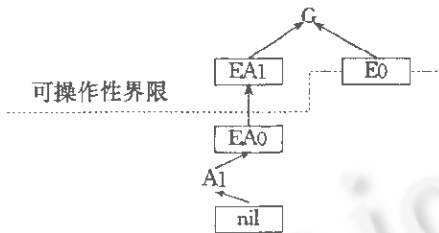


图3 由知识库 KB 得出的异常可操作的解释结构

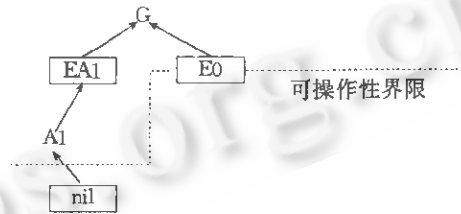


图4 由知识库 $KB-KB(EA_0)$ 得出的常规不可操作解释结构

图3,图4中的 EA_1 为不可操作的子结构, EA_0 为可操作的子结构, A_1 为不可操作的端结点. 若图3是由知识库 KB 推出的,而推出子结构 EA_0 的知识库为 $KB(EA_0)$,则图4是由知识库 $KB-KB(EA_0)$ 推出的. 双向联想的任务就是已知图4,如何将它可操作化为图3,显然仍像外部联想那样试图在 A_1 之后拼接一个子结构是不可行的,实际是在 A_1 与 EA_1 之间插入一个可操作子结构.

定义:解释联想图 EAG 是指在一个不可操作解释结构中,以不可操作的端结点为原因,与知识库中规则的前提相匹配,反向逐层延伸此结构,直至出现可操作结点,这样所得的双向图.

双向联想算法:

- (1)将 G 作为目标概念广播到其它知识库 KB_2, KB_3, \dots, KB_n ,用多知识库协作算法分别生成可操作的解释结构 $E_2, E_3, \dots, E_m (m \leq n)$.

(2) 设 A_0 为 EAG 延伸出的可操作的结点集. 逐一检查其中元素 A_{0i} 是否在 E_2, \dots, E_m 中, 若 A_{0i} 在某个 E_j 中, 则从 E_j 中取出以 G 为根且包含 A_{0i} 的可操作子结构, 记为 EA_{0i} , 若 $\bigcup EA_{0i}$ 不空转(3), 否则转(4).

(3) 将诸 EA_{0i} 拼接到 EAG 中, 使之成为一个连通图. EAG 反向延伸的所有起点(即那些原解释树中的所有终端不可操作结点)同时有两个方向的边, 将这些结点的所有与它们相连的边去掉, 则连通 EAG 又成为一个单向可操作解释树. 结束.

(4) 对子结构 $EA_1 \rightarrow G$ 按宽度优先算法, 从 G 开始, 取出下一个结点记为 P , 若 P 不空, 则将 P 定为目标概念, 转(1), 否则双向联想失败.

双向联想的思想是在建立解释的多步推理中, 中间若干步要用到其它知识库的知识. 而最前、最后的推理只用原知识库. 可用图5, 图6说明双向联想算法.

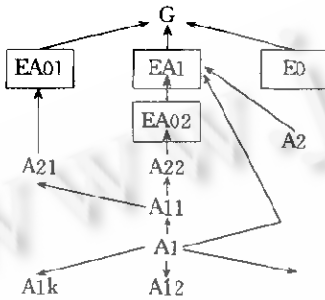


图5 双向连通 EAG

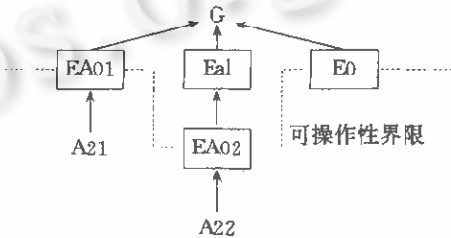


图6 由双向连通 EAG 裁剪后所得的可操作解释树

3.3 解释与联想学习的总体结构

可由图7来表示 EABL 总体结构.

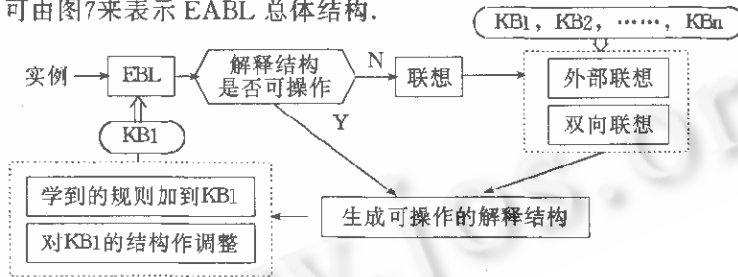


图7 EABL 总体结构

结语: 为了克服解释学习对知识库完备性的限制, 引入了多知识库协作, 提出了解释与联想的学习方法. 还有一些问题有待进一步研究, 如多知识库协作中调度、冲突问题, 以及随着问题规模的扩大, 知识库生长到一

定规模就要考虑一致性、冗余性、检索速度等问题.

参考文献

[1] Dejong, G., "Some Thoughts on the Present and Future of Explanation-Based Learning", ECAI-88, 1988, 690-697.
 [2] Keller, R. M., "Defining Operability for Explanation-Based Learning", Artificial Intelligence, 35, 1988, 227-241.
 [3] Rajamoney, S., Dejong, G., "The Classification, Detection and Handling of Imperfect Theory Problems", IJCAI-87, 1987, 205-208.
 [4] Chien, S. A., "Using and Refining Simplifications: Explanation-Based Learning of Plans in Intractable Domains", IJCAI-89, 1989, 590-596.
 [5] Lebowitz, M., "Integrated Learning, Controlling Explanation", Cognitive Science 10, 2, 1986, 219-240.
 [6] 石纯一, 龚义涛, "解释学习及其进展", 模式识别与人工智能, 1989, 2.
 [7] 龚义涛, 石纯一, "一个基于归纳的发现系统 CASM", 计算机研究与发展, 1990, 1.
 [8] 石纯一, 龚义涛, "解释学习的可操作性", 计算机学报, 1992, 2.