

TP18

语义网络中的性质继承

韩建超 (中国人民大学信息系)

摘要

语义网络是知识表示的一种重要形式,网络表示的特性之一是处理性质的继承问题,但早期的网络表示法不能处理带有例外的情形,因而无法实现非单调推理。最早把多元继承与非单调推理结合起来的基本思想是树型继承系统的直接扩展,然而这种系统并非十分有效。本文介绍语义网络的各种表示及其上的推理,包括最短路径法,标志传播法,E&R方法和推理距离排序法,并讨论了带有例外的语义网络产生不一致性的四个方面。

一 引言

语义网络已被广泛用作人工智能中知识表示的一种有效机制,在这样的网络上,所谓“推理”实际上就是结点从其祖先中继承性质。继承网络是按照通常的IS-A关系组织的分类,如图1所示: Hayes^[1]和Schubert^[2]已经证明了这样的网络自然地对应于特定的一阶逻辑的理论。例如:

Nautilus(Fred)

$\forall x. \text{Nautilus}(x) \rightarrow \text{Cephalopod}(x)$

$\forall x. \text{Cephalopod}(x) \rightarrow \text{Mollusc}(x)$

$$\therefore CF(H_2) = 0.8(0.837 + 0.8) - 0.8^2 \times 0.8 \times 0.837 \\ = 0.8811$$

$\therefore CF(H_2) > AF_2$, 所以继续往下推

$$CF_2(H) = 0.9 \times 0.8811 = 0.7923$$

(3) 求 $CF(H)$

$$CF(H) = (0.5518 + 0.7923) - 0.5518 \times 0.7923 \\ = 0.4372$$

参考文献

- [1] Zadeh, L., «A theory of approximate reasoning» in MI-9, 1979.
- [2] Lenat, D. B., «Heuristics: The Nature of Heuristics» Artificial Intelligence, Vol. 19, No. 2, Oct. 1982.
- [3] Winston, P. H., «Artificial intelligence», Addison Wesley Publishing Company, 1977.

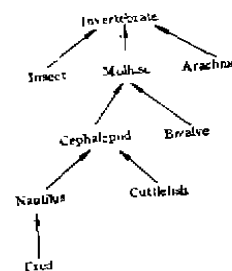


图1: 分类的网络

$\forall x. \text{Mollusc}(x) \rightarrow \text{Invertebrate}(x)$

.....

- [4] Nilsson, N. J. «Principles of artificial intelligence» Tioga Publishing Co. 1980.
- [5] Borkin, «Data Models: A Semantic approach of DBS» 1980.
- [6] Davis, R. and Lenat, D. «Knowledge-Based Systems in AI.» New York, McGraw-Hill. in Press, 1980.
- [7] Carbonell, J. G., Jr. «A Computational Model of Analogical Problem Solving» in Proc. IJCAI7, 1981.
- [8] 赵瑞清、单惠琴, «专家系统中知识库的维护», 计算机学报(2), 1988.
- [9] 王湘浩等, «关于人工智能», 计算机科学, (2), 1983.
- [10] 管纪文, 赵瑞清, «医疗专家系统的研制 I, II», 医学信息处理学报(1), 1984, (1, 2), 1985.
- [11] 赵瑞清, «专家系统初步», 气象出版社, 1986.
- [12] 赵瑞清, «专家系统原理», 气象出版社, 1987.

这样的对应可看作是“语义”网络所表达的语义^[16]，这种语义的重要特性在于：

(1) 继承是网络表示的逻辑性质，例如从上面的一阶公式中可证明 $Mollusc(Fred)$ ，继承是假言推理的重复使用。

(2) 网络中每个结点都是一元谓词。

(3) 网络中的继承关系不允许有任何例外。

如果 $Fred$ 是 $Nautilus$ ，则它必须也是 $Invertebrate$ 。

但是当允许出现继承的例外情形时，这种对应关系不再成立，这样网络的逻辑性质也发生巨大变化。例如，给定下列关于大象的事实：

- (1) 大象是灰色的，除了白公象；
- (2) 所有白公象都是大象。

如果对“大象”进行常识推理，则当给定一个未知是否为白公象的大象时，一般推理得出它是“灰色的”，但当知道它是白公象时就必须撤消这个推论。这个推理过程是非单调的，新信息的加入使得先前推出的结论无效。这一非单调性无法用一阶公式来表示。

把多元继承与非单调推理相结合的早期工作是基于树型继承系统的直接扩展，采用最短路径推理器对某些特殊类型的问题无法处理，标志传播法并不能从根本上解决这些问题，E & R 算法用缺省逻辑表示带有例外的语义网络，从而把网络上的推理转化为缺省推理，而推理距离排序法则用推理距离代替推理路径来消除二义性，但是这些方法均与人们的直观常识推理有不同之处。本文分别介绍这些处理方法，并讨论产生不一致性的四个方面。

二 最短路径推理

在早期的语义网络研究中，对于多元继承系统，通常采用最短路径的推理算法，如 NETL^[6,7]。所谓最短路径推理是指对查询的回答总具有从初始结点开始的最短路径，这些推理算法可用宽度优先搜索策略或深度优先搜索策略。例如，设有图2所示的继承网

络，对于查询 $A \rightarrow D?$ ，其系统回答是“yes”，因为从 A 到 D 有两条路径 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ 和 $A \rightarrow B \rightarrow D$ ，但后者比前者具有更短的推理路径。

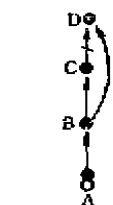


图2：多元继承网络的例子

最短路径推理算法对

于任何树型继承系统可以证明是正确的，对于不含有例外的多元继承系统也是合适的。但是对于含有例外的多元继承系统就不适用了，特别是对于下述两种情形，最短路径推理无法工作^[14,15]：

问题1 带有冗余语句的推理。如图3所示，由于存在路径 $Clyde \rightarrow Royal\text{-}Elephant \rightarrow Elephant$ ，因而 $Clyde \rightarrow Elephant$ 是多余的，但正是这种多余使系统出现了矛盾，因为从 $Clyde \rightarrow Royal\text{-}Elephant \rightarrow Gray\text{-}thing$ 和 $Clyde \rightarrow Elephant \rightarrow Gray\text{-}thing$ 可推出 $Clyde$ 既是灰色的又不是灰色的，且两条推理路径等长。

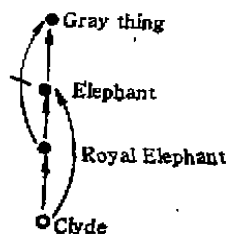


图3：带有冗余的网络

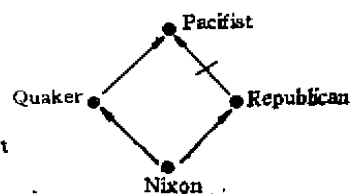


图4：Nixon 菱形

问题2 存在二义性的推理。如图4所示，这是典型的Nixon菱形问题，可同时推出Nixon既是又不是反战论者(Pacifist)。

对于第一种情形，可采用如下的方法避免之，即由于 $Royal\text{-}Elephant$ 是 $Elephant$ 的子集，因而可规定特殊信息优先，使 $Clyde$ 优先继承 $Royal\text{-}Elephant$ 的性质。但对于第二种情形却无法解决，简单的最短路径推理法甚至无法识别这种二义性。

三 标志传播法

图3所示的情形是带有例外的语义网络。因为 $Elephant$ 是 $Gray\text{-}thing$ ，而 $Royal\text{-}Elephant$ 是 $Elephant$ 的子集，却是 $Not\ Gray\text{-}thing$ ，我们说 $Royal\text{-}Elephant$ 是 $Elephant$ 中的例外。对于带有例外的网络上的推理，有

些知识库系统倾向于由系统内部来处理^[3], 而另一些系统则由一局部屏蔽的子系统来处理^[4], 其方法是用较局部的信息(如Royal Elephant→White thing)屏蔽较抽象的信息(如Elephant→Gray thing)。但是由于局部信息与抽象信息之间的关系及矛盾性等难以判定, 因而这种方法并非十分有效。

Fahlman^[5,7]设计的NETL系统使用标志传播的方法解决上述问题。他的基本思想是并行处理, 其中包括两个过程, 一个上行扫描, 它一开始在一个叶结点上加一标志, 并试图将该标志传播到该结点的所有祖先。如果不存在例外链, 则这种扫描可直接把标志按上行方向通过IS-A链进行传播。由于网络中存在着并行性, 这种操作的时间与网络中的最长路径成正比, 而与结点个数无关。另一过程是下行扫描, 它从祖先结点开始把标志通过IS-A链向下传播。上行扫描与下行扫描是一致的, 只不过两者扫描方向不同, 而且两者必须是互补的: 如果上行扫描从结点X标记结点Y, 则下行扫描就应从结点Y标记结点X。标志传播过程实际上就是性质继承过程。

Fahlman的标志传播算法要用到两个新的链表示: CANCEL和UNCANCEL链, 前者用来说明结点的例外情形, 而后者则说明CANCEL链的例外情形。如图5所示, B是C的例外, A是“B不能继承D”的例外。

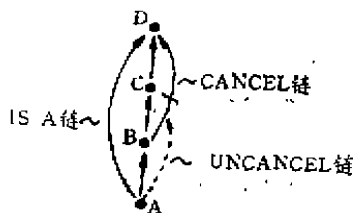


图5: CANCEL链与UNCANCEL链

下面以图6为例说明标志传播的算法。该算法使用3个标志 M_1 , M_2 和 M_3 。

第一步: 用标志 M_1 标记结点A的前导结点并将 M_1 放在结点A上。

第二步: 如果任意UNCANCEL链在其尾部结点上具有 M_1 , 且在该链所指的CANCEL链上没有标

志 M_3 , 则将 M_3 放到这个CANCEL链上; 如果被 M_3 标志的这个CANCEL链的头部结点上已经有了标志 M_2 , 则将 M_2 去掉。

第三步: 如果任意CANCEL链在其尾部结点上具有 M_1 , 且该链本身没有标志 M_3 , 则将 M_2 放到它的头部结点上。

第四步: 如果任意IS-A链在尾部结点上具有 M_1 , 且头部结点既无 M_1 又无 M_2 , 则将 M_1 放到其头部结点上。

第五步: 交替地重复第二、三、四步, 直到第四步不再用 M_1 标记新的结点为止。如果此时不存在既有 M_1 又有 M_2 的结点, 则算法结束, 这样A就继承了所有除A之外的标有 M_1 的结点的性质。

第六步: 如果在第五步发现既有 M_1 又有 M_2 的结点, 则表明 M_2 到达该结点太晚, 未能禁止 M_1 进入并通过该结点向上传播。这时要进行第二遍扫描, 首先去掉所有 M_1 标志, 仅剩下 M_2 和 M_3 , 然后重置 M_1 到A, 重复上述过程。

图6给出了扫描后的标志状态。这时说明A继承了B, C, D, E, F和G的性质, 但图7所示情形, A只能继承B, C, D和E的性质。

图6中, B和A均称为CANCEL链D→F下面的合并点, 其中B是该链的最上合并

点。最上合并点有重要的意义: 如果用户要使所有合并点继承CANCEL链头部的结点的性质, 则只需从该最上合并点引一条到该链头部结点的UNCANCEL链, 否则只需从该最上合并点引一条到该CANCEL链头部结点的CANCEL链即可。图6和图7分别说明了这两种情形。但是由于多元继承网络不是全序的, 因而一个CANCEL链下面的最上合并点

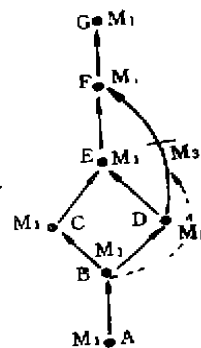


图6: 标志传播示意图

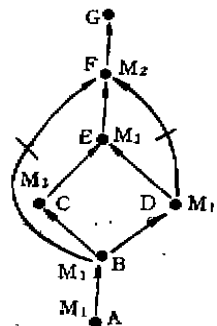


图7: A不能继承F和G的性质

可能不止一个, 这时应尽量使其个数最少。

对于下行扫描也有类似的情形^[6], 文[6]还详细讨论了寻找最上(下)合并点的算法以及这种网络的相容性问题。

四 E & R 算法

Etherington^[3,4]利用缺省逻辑来处理语义网络上的非单调推理。由于正确的推理要求所有的结论都在一个公共扩展中, 而一个网络可能有多个扩展, 因此上节的并行标志算法不可能实现这样的正确推理。实际上, 标志传播的方法仍然是最短路径推理, 因为标志 M_1 和 M_2 , 哪个先到达祖先结点, 则它就决定了该结点的性质是否可被其子结点继承。而且这种标志传播法很难识别网络中的二义性, 又难以形式化。

Etherington^[3]在带有例外的网络与网络缺省理论之间建立一个对应。这种对应为网络提供了形式语义和正确推理的表示。个体 b 所继承的性质 $p_1, \dots, p_n$ 记为 $p_1(b), \dots, p_n(b)$, 它们都属于缺省理论的一个公共扩展, 如果该理论有多个扩展, 则 b 可继承不同的性质集, 这要依赖于所选择的扩展。

一个网络缺省理论定义为满足如下条件的缺省理论 $\Delta = (D, W)$:

(1) W 仅含有: a) 文字 (即原子公式或其否定) b) 形如 $(\alpha \vee \beta)$ 的析取。

(2) D 仅含有正规的或半正规的缺省, 形式为:

$$\frac{\alpha \mid \beta}{\beta} \text{ 或 } \frac{\alpha \mid \beta, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n}{\beta}$$

其中 α, β, γ_i 都是文字。

为了说明如何用缺省来表示带有例外的网络, 我们考虑图3, 它可用缺省理论表示为:

$$W = \{ \forall x. (Royal-Elephant(x) \rightarrow Elephant(x)), Royal-Elephant(Clyde), Elephant(Clyde) \}$$

$$D = \left\{ \frac{Elephant(x) \mid Gray(x), \neg Royal-Elephant(x)}{Gray(x)} \right\}$$

Etherington^[3]采用七种链来表示网络, 每种链对应于一个缺省或一阶公式。

(1) 严格的IS-A链: $A \rightarrow B$, 语义为A总是B, 对应于一阶公式 $\forall x. (A(x) \rightarrow B(x))$ 。

(2) 隶属链: $a \rightarrow A$, 表示一阶事实 $A(a)$ 。

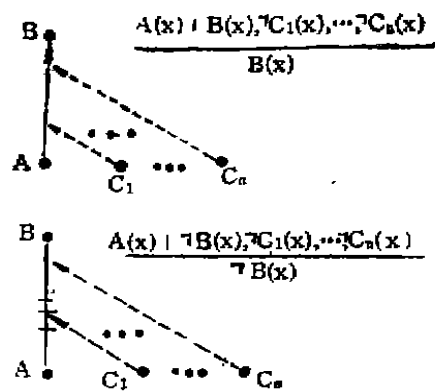
(3) 严格的IS-NOT-A链: $A \not\rightarrow B$, 对应于一阶公式 $\forall x. (A(x) \rightarrow \neg B(x))$ 。

(4) 非隶属链: $a \not\rightarrow A$, 表示 $\neg A(a)$ 。

(5) 缺省IS-A链: $A \rightarrow B$, 语义为一般说来A的元素是B的元素, 但可能有例外, 对应于缺省 $\frac{A(x) \mid B(x)}{B(x)}$ 。

(6) 缺省IS-NOT-A链: $A \not\rightarrow B$, 对应于缺省 $\frac{A(x) \mid \neg B(x)}{\neg B(x)}$ 。

(7) 例外链: $A \dashrightarrow B$, 例外链没有独立的语义, 它只能在第(5)和(6)种链出现例外时才能出现, 表示缺省链的一个例外, 它必须指向某个缺省链。根据(5)、(6)知有两种例外链, 如下所示:



我们用Fahlman等的例子^[6]来说明这种对应。网络如图8所示, 对应的缺省逻辑表示为:

$$W = \{ \forall x. (C(x) \rightarrow M(x)), \forall x. (N(x) \rightarrow C(x)), \forall x. (N(x) \rightarrow Sb(x)) \}$$

$$D = \left\{ \frac{M(x) \mid Sb(x), \neg C(x)}{Sb(x)} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l} C(x) \mid \neg Sb(x), \neg N(x) \\ \neg Sb(x) \end{array} \right\}$$

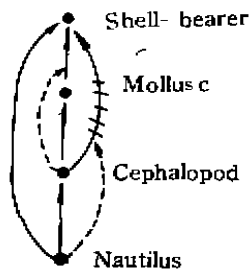


图8, Fahlman的例子

如果给定 $N(\text{Fred})$, 则该理论有唯一的扩展: $N(\text{Fred})$, $C(\text{Fred})$, $M(\text{Fred})$ 和 $Sb(\text{Fred})$ 。

Etherington和Reitor用这种方法把带有例外的语义网络上的推理转化为缺省推理。对于缺省理论的扩展的计算, Etherington和Reitor给出了一个算法, 称为E&R算法, 其基本思想是: 首先导出所有位于一个缺省理论中的结论, 当遇到有多个扩展时, 随机地选取其中之一, 算法通过连续地对一个扩展进行逼近来求解该扩展。一开始, 一阶事实作为一个扩展的第一个逼近, 然后随机地选取缺省规则使得被选取的这些缺省不与现行逼近或前面已得到的任何逼近相矛盾, 并使用这些规则将其结论加入现行逼近中, 直到所有缺省使用完毕。每次逼近时总把前一个逼近导出的相容性约束传输到现行逼近, 这样一直重复该过程, 直到相邻的两个逼近完全一致为止。

可以证明, 对于有限的且有序的网络理论, E&R算法总收敛到一个扩展^[3,4], 并且如果能把网络划分成若干个子网络, 则可在其上实现并行缺省推理^[2]。

虽然E&R用缺省逻辑表示继承, 能够给出继承系统的形式语义以及可证明的正确性推理过程, 但由于它们的表示不包含子结点信息可掩盖、优先于父结点, 因而不能充分表达继承的含义。

五 推理距离排序法

Touretzky^[13,14]与E&R一样也使用缺省

逻辑表示带有例外的语义网络, 但它与E&R不同的是, 它认为所有链都是缺省链。为了使网络中的结论能够处在一个公共扩展中, 避免二义性的出现, 定义了推理距离的概念。这种方法不仅弥补了最短路径的不足, 而且也使继承的缺省表示更简化。

推理距离排序指的是, A是B的子组当且仅当存在一条从A到B的继承路径。它与最短路径排序的最大不同在于确定子组与父组的关系上。对于单一继承(树型)系统, 两者是相同的, 但对于多元继承系统, 在带有冗余语句或存在二义性的网络中, 两者是不一致的。例如, 图3所示的网络表示如下缺省:

$$D_1: \frac{\text{Elephant}(x) \mid \text{Gray}(x) \therefore \neg \text{Royal-Elephant}(x)}{\text{Gray}(x)}$$

$$D_2: \frac{\text{Royal-Elephant}(x) \mid \text{Elephant}(x)}{\text{Elephant}(x)}$$

$$D_3: \frac{\text{Royal-Elephant}(x) \mid \neg \text{Gray}(x)}{\neg \text{Gray}(x)}$$

和一阶事实: $\text{Royal-Elephant}(\text{Clyde})$, $\text{Elephant}(\text{Clyde})$ 。

使用 $D_1 \rightarrow D_3$, 我们可推出两个扩展, 一个含有 $\text{Gray}(\text{Clyde})$, 另一个含有 $\neg \text{Gray}(\text{Clyde})$, 推理路径为:

$$S_1: \text{Royal-Elephant}(\text{Clyde}) \rightarrow D_3 \rightarrow \neg \text{Gray}(\text{Clyde})$$

$$S_2: \text{Elephant}(\text{Clyde}) \rightarrow D_1 \rightarrow \text{Gray}(\text{Clyde})$$

实际上, 除 S_1 , S_2 之外, 还有推理路径 S_3 :

$$S_3: \text{Royal-Elephant}(\text{Clyde}) \rightarrow D_2 \rightarrow \text{Elephant}(\text{Clyde}) \rightarrow D_1 \rightarrow \text{Gray}(\text{Clyde})$$

但由于 S_2 的长度小于 S_3 , 因而 S_3 被舍弃。另一方面由于 S_1 和 S_2 一样长, 最短路径推理将同时获得这两个相互矛盾的结论。而推理距离排序法能避免这种矛盾的出现。

我们首先给出缺省的排序, 对任意两个缺省 D_i 和 D_j , 我们说 $D_i < D_j$, 如果满足下述条件之一:

- (1) D_i 的前提是 D_j 的结论;
- (2) D_i 的前提是更强的合理条件;
- (3) 存在缺省 D_k , 使得 $D_i < D_k$ 且 $D_k < D_j$ 。

显然, 这样定义的“ $<$ ”是偏序关系。

现在我们对上面的两个推理路径 S_1 和 S_2 进行比较。根据“ $<$ ”的定义知 $D_3 < D_1$, 故在 S_1 和 S_2 中选取 S_1 , 于是有唯一结论 $\neg$ Gray (Clyde)。一般地, 对推理路径的排序依赖于缺省之间的偏序关系。我们称推理路径 $S_1 < S_2$, 如果 S_1 中的极大缺省小于 S_2 中的极大缺省。

这样, 使用推理距离排序法进行网络上的推理时, 应遵循如下原则:

- (1) 在推出相同结论的推理路径中, 选择最短者;
- (2) 在推出矛盾结论的推理路径中, 按推理路径排序选择较小者。

Touretzky在TMOIS^[14]中给出了推理距离排序下继承系统的形式分析, 得出如下定理:

- (1) 每个非循环继承网络有一个可构造的扩展;
- (2) 非循环继承网络的每个扩展是有限的;
- (3) 一个扩展是不相容的当且仅当该网络是不相容的;
- (4) 任意两个扩展的并是不相容的;
- (5) 一个网络是多义的(即有多个扩展)当且仅当它有一个不稳定扩展, 不稳定性的必要条件是该网络含有图9所示的子图;



图9: 不稳定网络的子图

- (6) 二义性网络的每个扩展都是不稳定的。因而可通过构造它的扩展之一并检查其稳定性来判定网络是否是多义的;

- (7) 每个继承网络都是可调整的, 即给定一个网络和它的一个扩展, 总可修正网络的拓扑结构使得最短路径推理将产生与所选扩展一致的结果;

- (8) 可加性调整(即可加入链但不减少链)是充分的。

这些定理和结论为判定和解决网络的二义性问题提供了良好的基础和方法。

六 不一致性的四个方面

前面介绍的几种网络表示及其推理方

法, 尽管能够在某种程度上解决问题1, 并能识别出问题2, 但是有些网络本身存在着固有的不可解的矛盾, 因而从不同的角度理解和处理就会产生不同的结果。由于上述各种方法都带有主观的目的色彩, 使得它们与人类的常识推理之间也多少存在一些鸿沟。本节将从直观上讨论各种推理方法不一致性的四个方面。

1. 怀疑推理与轻信推理的不一致性

怀疑推理在有二义性的情况下拒绝导出任何结论, 因而对图4的Nixon菱形, 推不出任何结论。另一方面, 轻信推理则试图导出尽可能多的结论, 由于这些结论可能是不相容的, 因此就必须产生多个扩展, 使得相矛盾的结论在不同的扩展中。

Horty等^[4]定义的怀疑继承不等价于取所有轻信扩展的交集。例如图10所示的Nixon瀑布, 尽管Nixon是否为Anti-military是不确定的, 但怀疑推理器识别不出来, 因为Nixon是否为Pacifist是不确定的, 因而从Nixon到Pacifist到Anti-military不存在有效路径, 这样就得出Nixon不是Anti-military的结论。

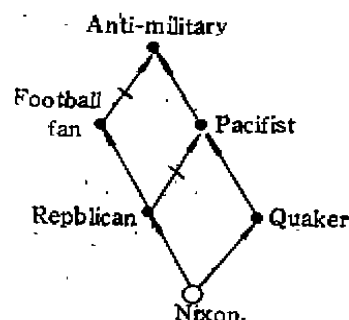


图10: Nixon瀑布

但是, 如果允许二义性传播, 则怀疑推理等价于所有轻信扩展的交集。例如当遇到Nixon是否为Pacifist这一二义性时, 假设他是, 则可推出Nixon是否为Anti-military也是不确定的, 因而推不出任何结论。

2. 上行与下行推理的不一致性

性质继承的最一般的直观模型是: 从某个概念(组)下行传播到其子组或实例。相反的继承具有上行传播的推理, 它强调论证过程, 即证明序列。上行与下行的继承推理并不总是一致的^[15]。

3. 打开路径与关闭路径优先的不一致性

继承推理可采用两种优先法之一, 即打开路径

优先和关闭路径优先。打开路径优先^[14]是说,一条路径优先于另一条路径,仅当优先的路径含有冗余链,但当一结点中断了冗余链时,优先关系不再成立。对于关闭路径优先^[15],如果一个结点的性质没有明确说明,而是从其父结点中继承而来,则更特殊的信息可以将其否定。例如对图11所示的例子,打开路径优先将生成两个扩展:Clyde→Royal→Elephant→Gray-thing和Clyde→African-Elephant→Elephant→Gray-thing。但关闭路径优先则只含有前一个扩展。

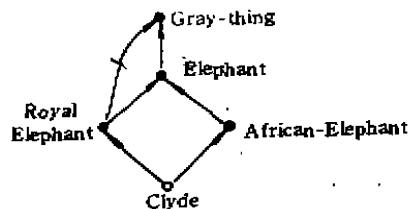


图11: Sandewall的一个例子

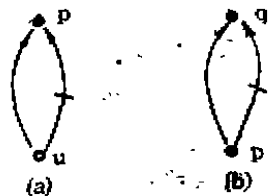


图12: 两个经典不相容网络

4. 经典表示与直观表示的不一致性

如图12所示,对于经典逻辑来说两者都是不相容的,但是非经典的直观表示则认为图12(b)是相容的。例如用缺省逻辑和非单调逻辑可以分别表示为:

$$\frac{p(x) | q(x)}{q(x)}, \quad \frac{p(x) | \neg q(x)}{\neg q(x)}$$

和

$$p(x), M[q(x)] \rightarrow q(x),$$

$$p(x), M[\neg q(x)] \rightarrow \neg q(x)$$

由于网络中一部分的不相容性不一定影响其它部分的推理,因而可忽略某些不相容性而对其它部分进行推理,有时仍能产生有用的结论。

七. 结 语

继承推理的研究已经获得了很大的成果,实用系统也层出不穷。在TMOIS^[14]中对这些推理进行了形式化分析,并得出了许多理论结果,本文仅简要地介绍了各种推理方法,讨论了存在不一致性的四个方面。Sandewall^[11]对这些系统进行了认真的分析比较,Touretzky^[15]认为这些理论研究必须与实用系统相结合,真正地理解和定义继承系统,使之更符合于人类的常识推理。

作者认为,将缺省逻辑用作继承网络的分析工具是具有很潜力的,E&R算法和推理路径排序法尽管还有许多不完善之处,但已能初步解决第二节中的两个问题。本文将这些方法介绍给读者,旨在引起国内人工智能工作者的高度重视。由于作者水平所限,文中不当之处谨请读者指正。

参 考 文 献

- [1] Bobrow, D.G., and Winograd, T., An Overview of KRL, A Knowledge Representation Language, 1:1, 1977.
- [2] Cottrell, G.W., Parallelism in Inheritance Hierarchies with Exceptions, Proc.IJCAI, 1985, PP.194-202.
- [3] Etherington, D.W., Formalizing Nonmonotonic Reasoning Systems, Artificial Intelligence, 31, 1987, PP.41-85.
- [4] Etherington, D.W., and Reitor, R., On Inheritance Hierarchies with Exceptions, Proc.AAAI, 1983, PP.104-108.
- [5] Fahman, S.E., NETL: A System for Representing and Using Real-World Knowledge, The MIT Press, Cambridge, MA, 1979.
- [6] Fahman, S.E., Touretzky, D.S., and van Roggen, W., Cancellation in a Parallel Semantic Network, Proc. IJCAI, 1981, PP.257-263.
- [7] Fahman, S.E., Design Sketch for a Million-Element NETL Machine, Proc. AAAI, 1980, PP.249-252.
- [8] Fikes, R. and Hendrix, G.G., A Network-Based Representation and its Natural Deduction System, Proc. IJCAI, 1977, PP.235-246.
- [9] Hayes, P.J., In Defense of Logic, Proc. IJCAI, 1977, PP.559-565.
- [10] Horty, J.F., Thomason, R.H. and Touretzky, D.S., A Skeptical Theory of Inheritance in Nonmonotonic Semantic Nets, AAAI, 1987.
- [11] Sandewall, E., Non-monotonic Inference Rules for Multiple Inheritance with Exceptions, Proceedings of the IEEE, 74, 1986, PP.1345-1357.
- [12] Schubert, L.K., Extending the Expressive Power of Semantic Networks, Artificial Intelligence, 7, 1976, PP. 163-188.

(下转40页)

据这个框架我们可以建立对出现的因果关系的一种理解。这不仅对于学会更好地处理特定情况是重要的,这是推论出这种因果关系的直接动机,而且对于学习一般的因果关系也是重要的。

2.2.3 失败的解释 MOP或其它事件及情况的高级范畴的价值在于减轻了理解者的负担。通过存贮情况中的因果关系,提供以后的有关期望,这些范畴可以使理解者忽视情况的因果结构,直到需要这种知识为止。这基本上是自顶向下推理的优点的例子。

但当发生失败时,我们基本上是以一种自底向上的方式进行理解的。现在我们需要知道引起期望失败的客体或事件与MOP提供的事先组装好的因果结构的因果关系。

重要的是,我们实际上总在努力建立这种因果链,即解释失败,而不是仅把失败与失败了的期望存储在一起。这一点之所以必要有一些理由。

也许最重要的理由是,我们不必希望在失败的期望下建立失败的索引。特别是我们在进行规划时,我们确定引起失败的条件是很关键的。我们可以把期望的失败看作是“症状”,它也许是以前发生的一个没被认识到的失误造成的结果。在这种情况下,我们以这种方式对失败编索引,使那些条件重现,我们可以重获旧实例,避免再次重犯同样的失误。

与这种情况相反,特别是在规划环境中,同样重要的是,从失败中进行推理,这有助于预测以后在不断应用知识结构中出现的问题。

解释失败为我们做了以下事情:

- 可以找出索引一个失败的最早时刻;
- 可以把多个失败联系起来;
- 可以预测将来的失败;
- 可作为构成一个新结构的部分动机。

失败驱动记忆的概念提供了自底向上的因果推理和动机推理与自顶向下的MOP预测机制之间的关系。

总之,我们通过对学习课题的研究得到了这样的结论:下列问题极为重要。

1. 存在什么样的记忆结构,它们是在什么基础上进行组织的?
2. 什么样的特性是记忆结构的合理索引?
3. 由记忆结构提供的期望是如何表示的?
4. 有什么样的失败类型,其中每种类型是如何解释的?
5. 记忆结构有何类型变化,这些类型与可能发生的失败类型是如何相关的?

要开始有关学习课题的研究,我们必须建立一组合理的学习问题。回答这些问题是另一回事。我们已经较详细地回答了这些问题^[12]。然而,只有在满足本文开始提出的四项要求的理论基础上,借助模型的程序设计经验,才可能得到完全的答案。

参考文献(略)

[张晓东 董稚明译自《Progress in Artificial Intelligence》, ed. Luc Steels & J. A. Campbell, 示 兀校]

(上接67页)

[13] Touretzky, D.S., Implicit Ordering of Defaults in Inheritance Systems, Proc. AAAI, 1984, PP.322-325.

[14] Touretzky, D.S., The Mathematics of Inheritance Systems, Morgan Kaufmann Publisher, Los Altos, CA, 1986.

[15] Touretzky, D.S., Horty, J.F., and

Thomason, R.H., A Clash of Intuitions: The Current State of Nonmonotonic Multiple Inheritance Systems, Proc. IJCAI, 1987, PP.476-482.

[16] Woods, W.A., What's in a Link?, in: Representation and Understanding, Academic Press, New York, 1975, PP.35-82.