第5卷第2期 软 件 学 报 Vol. 5, No. 2
1994年2月 JOURNAL OF SOFTWARE Feb. 1994

对Etherington并行网络推理算法不完整性问题的探讨*

范仲春

（南京师范大学，南京 210024）

摘要 网络缺省推理中扩展的计算需要进行并行性处理. Etherington的并行网络推理算法（PNIA）为缺省推理提供了一条有效的途径，但它存在不能穷尽所有扩展的不完整性问题. 本文提出了一个解决这一不完整性问题的并行网络推理算法.

关键词 缺省推理，例外，扩展，网络缺省理论，并行网络推理算法.

现行的AI知识库系统要么完全不处理例外，如传统的推理系统，要么通过局部信息的屏蔽来处理例外. Touretzky[1]的推理距离法就是基于这样的一种推理. 即利用局部信息来屏蔽或替代与局部信息发生冲突的抽象信息. 事实上，局部信息与抽象信息的划分是比较困难的，为此有两种解决途径，其一就是基于证据表达的推理距离法[2]；其二就是并行处理的方法.

Fahlman的NETL系统[3]是通过删除（CANCEL链）和处理这些删除（UNCANCEL链）这两个结点，利用标记传播来实现其并行性. 它能处理简单的网络情形，但对缺省理论所要求的继承网络形式似乎有很大的局限性. 主要表现在不确定性问题上. Etherington通过建立有序缺省理论与带有例外网络的一一对应关系，提出了缺省推理继承网络的并行算法（PNIA）[4]. 现以证明这个算法的正确性，但它不能并行地计算所有的扩展，即它是不完整的. 为此，本文提出了一个解决这一不完整性问题的并行网络推理算法.

1 Etherington的并行网络推理算法（PNIA）

一个缺省理论[5]是一个二元组Δ=（D，W），其中W是一阶公式集，D是缺省集. 一个缺省是如下形式的表达式：

$$(A(x):MB_1(x),\cdots\cdots,MB_n(x))/C(x)$$

其中$A(x)$，$B_i(x)$和$C(x)$是一阶公式. A，B_i，和C分别是前提，合理条件和结论. 如果合理条件只有一个$B(x)$且$B(x)=C(x)$，则称其为正规缺省；若合理条件为$B(x)\wedge C(x)$，则称其为

* 本文1990年12月25日收到，1991年9月13日定稿

作者范仲春，29岁，讲师，1990年硕士毕业于东南大学，主要研究领域为非单调推理，专家系统，心理工程学.

本文通讯联系人：范仲春，南京210024，南京师范大学

半正规缺省;缺省理论 $\Delta=(D,W)$的扩展 E 定义为满足一定性质的最小不动点. 现已证明,如下三种情形存在扩展:

(1) 不含缺省的理论 $\Delta=(\{\},W)$,退化为一阶谓词逻辑,具有唯一的扩展 TH(W);

(2) 所有缺省都是正规的缺省理论至少有一扩展;

(3) 所有缺省是正规的或者是半正规的缺省理论,如果它是有序的,则它至少有一扩展. 情形(1)是基于一阶谓词逻辑的推理,其扩展是确定的. Etherington 和 Reiter[4]就情形(2)和(3)给出了一个计算有序半正规缺省理论扩展的算法. 即:通过逼近的方法来求解该扩展. 一开始一阶事实作为扩展的第一个逼近,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. 这样一直重复该过程,直到相临的两个逼近完全一致为止.

正确的推理要求所有的结论都在一个公共的扩展上,而一个网络可能有多个扩展,因此需要一种网络缺省理论,即能建立缺省理论与带有例外的网络之间的一一对应关系. 为此,E&R 定义了满足如下条件的网络缺省理论 $\Delta=(D,W)$:

(1) W 仅含有文字(即原子公式或其否定)或原子公式的析取;

(2) D 仅含有正规或半正规的缺省.

E&R 算法可描述为:对于一个网络缺省理论,可将它划分成若干个子网络,实现在子网络上的并行缺省推理. 事实上,网络中的每一个结点都可根据它所依赖的例外联结数目来标记,进而可把每一结点安排在保持这种次序的最低可能层上,并以并行的方式按网络中最长链的路径进行处理,这样的处理一直进行 K 个并行步为止(其中 K 是分配给结点的最高层数目),在第 N 步,所有第 N－1 步加入的带有例外的结点将变得无效,在少于或等于 N 的层次上,包含有所有的余留结点的子网络将以并行的忽略例外联结的方式,并按在 N－1 步加入的结点标记传播. 在第 0 层上加入的结点为 TH(W),它对应于那些相应于网络被激活的结点.

2 一个并行网络推理算法

2.1 PNIA 算法的不完整性问题

为具体说明 PNIA 算法的不完整性问题,定义了网络缺省理论的表达语言. 它有七种链来表示,每一种链对应于一个缺省或一阶公式.

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

(2) 隶属链:$a \nRightarrow A$,表示一阶事实$\neg A(a)$.

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

(4) 非隶属链:$a\Rightarrow A$,表示 $A(a)$.

(5) 缺省 IS－A 链:$A\rightarrow B$,对应于缺省$(A(x):B(x))/B(x)$.

(6) 缺省 IS－NOT－A 链:$A\nrightarrow B$,对应于缺省$(A(x):\neg B(x))/\neg B(x)$.

(7) 例外链:$A\cdots\rightarrow$,它没有独立的语义,它只能在第(5)种和第(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.

这样对于如图 1 所示的一个中等复杂程度的网络结构.

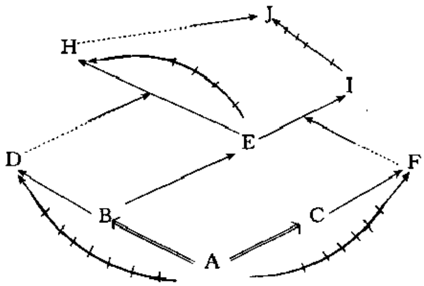

图1　一个中等复杂程度的网络缺省理论

如果由 A“激活”这个网络，其对应的网络缺省理论如下.

$W=\{A, A\supset B, A\supset C\}$

$$D=\left\{\frac{A:\neg D}{D},\frac{A:\neg F}{F},\frac{B:D}{D},\frac{C:F}{F},\frac{B:E}{E},\frac{E:\neg H}{H},\frac{E:H\wedge\neg D}{H},\frac{E:I\wedge F}{I},\frac{I:\neg J\wedge\neg H}{\neg J}\right\}.$$

如上的缺省已根据它们的结果所处的层次进行了分组(见表 1). 这样算法能依据并行标记传播过程来求得四个扩展. 若不选择并行标记传播过程求得此网络的另两个扩展. 即 PNIA 算法是不完整的，它仅是一种有限的并行.

表1　文字的层次

层次	文字
1	A,B,C,D,¬D,E,F,¬F,¬H
2	H,I
3	¬J

表2　文字的层次

层次	文字
1	A,B,C,E
2	D,¬D,F,¬F,H,¬H,I
3	¬J

2.2　分层原理

通过对 PNIA 算法的分析，我们发现不完整性的产生在于网络结构的层次划分上. 就表 1 而言，我们看到 H 和¬H 处于不同的层次. D,¬D 和 F,¬F 都在第一层上. PNIA 算法基于第一层上的并行计算. 即求得由正文字 D 和 F 及负文字¬D 和¬F 的四种组合形成了该理论的四种扩展，至于其它的扩展就不能同时产生. 鉴于此我们提出如下的分层原理：

(1) 第一层：由一阶公式集 W 和正规缺省集 D_1 组成(其中 $D_1\in D$，且由 D_1 能唯一地确定其缺省的结论)；

(2) 第 i 层($2\leqslant i\leqslant n-1$)：将第 $i-1$ 层上的结论与缺省集($D-\sum D_j[1\leqslant j\leqslant i-1]$)中的前提相匹配的 D_i 作为此层的缺省规则，直到不能匹配为止；

(3) 第 n 层：令 $i=n$，同(2)可得 D_n，当 $D=\sum D_i$ 时，D_n 将作为最后一层的缺省集.

根据如上的分层原理，如果由 A 来“激活”图 1 的网络，那么它对应的缺省理论的层次如下(其对应的文字层次见表 2)：

第一层：$\{A,(A\supset B),(A\supset C),(B:E/E)\}$

第二层：$\left\{\frac{A:\neg D}{\neg D},\frac{A:\neg F}{\neg F},\frac{B:D}{D},\frac{C:F}{F},\frac{E:\neg H}{\neg H},\frac{E:H\wedge\neg D}{H},\frac{E:I\wedge\neg F}{I}\right\}$

第三层：$\left\{\frac{I:\neg J\wedge\neg H}{\neg J}\right\}$

2.3 PNIA*算法

根据上述的分层原理，我们将得到表2的层次结构，即文字D，¬D，F，¬F和H，¬H都处于第二层上(详见PNIA*算法的第6—9步)。这样可在此层上实现并行推理求得所有扩展(即PNIA*算法的第10—13步)。具体的PNIA*算法如下：

```
(1) D[1]←{UNIQUE(D)}+W;
    H[1]←CONSEQUENT(D[1]);
(2) i←1;
(3) repeat
(4) DD[i]←D−∑D[i]
    GD[i+1]←D[i+1]←{((α:β)/γ)∈DD[i]|α∈H[i]};
    HH[i,maxium]←H[i];
(5)  GG[0]←{};j←0;
(6)  repeat
(7)    choose δ from GD[i+1]
       if CONSEQUENT(δ) = ¬CONSEQUENT(δ'∈GD[i+1]) then
         GG[j+1]←GG[j]+{δ,δ'};
         j←j+1;
         GD[i+1]←GD[i+1]−({δ}+{δ'});
       endif
(8)     GD[i+1]←GD[i+1]−{δ};
(9)   until null(GD[i+1])
(10)  if j>0 then
        HH[i,k]←H[i]+CONSEQUENT(COMPOSE(GG[j]));
(11)  endif
(12)  H[i+1]← CONSEQUENT({((α:β)/γ)∈(D[i+1] − GG[j])
                         |α∈H[i],β∈HH[i,k]});
(13)  HH[i+1,k]←HH[i,k]+H[i+1];
      i←i+1;
(14) until null(DD[i−1])
```

其中：

(1) 函数(α:β)/γ)被定义成要么满足((α:γ)/γ)∈D，要么满足((α:¬γ)/¬γ)∈D的缺省；

(2) 函数((α:β)/γ))被定义为γ；

(3) 函数COMPOSE(GG[i])用于检查和标记缺省组合GG[j]的相容性和合理性。

就2.1节的网络缺省理论，PNIA＊算法将求得如下扩展：

E1=TH(W∨{A,B,C,E,¬H,D,F}),

E2=TH(W∨{A,B,C,E,¬H,D,¬F,I,¬J}),

E3=TH(W∨{A,B,C,E,¬H,¬D,F}),

E4=TH(W∨{A,B,C,E,¬H,¬D,¬F,I,¬J}),

E5=TH(W∨{A,B,C,E,H,¬D,F}),

E6=TH(W∨{A,B,C,E,H,¬D,¬F,I}).

可以看出，与PNIA算法相比，PNIA*算法增强了网络缺省理论的并行推理程度，解决

了 PNIA 算法的不完整性问题.理论分析和实现结果表明,假设 n 为网络中的结点,则最坏情况复杂度为 $O(n*n)$,平均复杂度可达 $O(n*\sqrt{n})$.

结束语:缺省推理继承网络问题已要求人们把兴趣转向于并行性处理. Touretzky 利用推理距离法的继承特性,设计了一个通过加入冗余链的条件限制来决定一网络扩展存在的并行标记传播机制. Touretzky 在[6]中给出了此条件限制的修改代价为 $O(n*n)$,最坏情况下可达到指数级. Cottrell 提出了一种由合取联结和禁止联结所构成的并行联结方法. Cottrell 采用一种随机修改技术,或是通过 Spock 激活函数来进行修改,他在[7]中指出了这种并行算法的有效性,但未给出此并行算法正确性的证明. PNIA * 算法根据分层原理将整个网络划成子网络并在子网络上实现并行处理. PNIA* 算法和 PNIA 算法都避免了 NETL 中的不确定性. 但是就继承网络的并行性而言,我们需要考虑如下两个方面的问题:首先,是否存在一个继承网络的自然层次,使得该层次的划分能适应更加有效的并行;其次,能否利用 Fahlman 所使用的最短路径法实现有效的并行,因为最短路径法是一种应用最为广泛的搜索方法. 这两方面可作为缺省推理继承网络并行算法得以进一步改善的依据.

参考文献

1 Davids. Touretzky implicit ordering of defaults in inheritance system. Proc. AAAI, 1984:322—325.

2 范仲春,邢汉承. 不完整知识的非单调处理方法. 知识工程,1990(1).

3 Fahlman S E, Touretzky D S, Roggen W. Cancellationin a parallel sematic network. Proc. IEEE, 1981:257—263.

4 Etherington D W. Reasoning with incomplete information. Pitman, London, 1988.

5 Reiter R. A logic for default reasoning. AI, 1980(13).

6 Thayse A. From standard logic to logic programing. Anchor Brendon ltd., 1988:159—202.

7 Cottrell G W. Parallelism in hierarchies with exception. Proc. IJCAI—85, 1985:194—202.

DISCUSSION ON INCOMPLETENESS PROBLEM OF ETHERINGTON'S PARALLEL NETWORK INFERENCE ALGORITHM

Fan Zhongchun

(*Nanjing Normal University, Nanjing* 210024)

Abstract The computational complexity of default reasoning has sparked interest in the possibility of determining extension in parallel. The Parallel Network Inference Algorithm (PNIA) of Etherington has supplied default reasoning with an effective approach, but it can't compute all extensions, i.e., there is a problem of incompleteness in PNIA. In order to solve this problem, this paper presents a new parallel network inference algorithm.

Key words Default reasoning, exception, extension, network default theory, parallel network inference algorithm.