第3卷第4期
1992年11月

软 件 学 报
JOURNAL OF SOFTWARE

Vol.3,No.4
Nov.,1992

一种缺省推理方法及其应用

陈世福 潘金贵 徐殿祥

(南京大学计算机科学系,南京 210008)

ONE METHOD OF DEFAULT REASONING AND ITS APPLICATION

Chen Shifu, Pan Jingui and Xu Dianxiang

(*Computer Science Department, Nanjing University, Nanjing* 210008)

Abstract The DFSES system adopts a method of default reasoning to improve its decision efficiency. This paper introduces the default theory, the extension and the candidate extension, and focuses on the implementation of default reasoning based on these ideas and tree-like architecture of knowledge in DFSES.

摘要 DFSES系统采用了一种缺省推理方法,大大地提高了该系统的决策能力.本文介绍了DFSES系统中的缺省理论及其扩张,并阐述了基于这些思想和类树形知识结构的特点缺省推理的实现.

§1. 引 言

以经典的一阶逻辑为基础的推理方法由于其单调性而受到限制.为了弥补这种不足,已提出了几种非单调推理方法.Reiter的缺省推理[2]和Macarthy的界限推理[9]等已吸引越来越多的人工智能研究者的兴趣.已经证明规范的缺省理论存在扩张[8],这是很好的结果.目前人们对非规范缺省理论的不协调性处理,通过优先化和分层方法求解多重扩张以及传递性导致矛盾等方面进行深入地研究.但这些问题在不同领域由于其特定的知识结构可采用一些特殊的方法.本文将描述数字地震仪故障诊断专家系统DFSES中缺省推理的设计与实现技术.

§2. 缺省理论及其扩张

设L是所有一阶公式的集合,L称为一阶语言.一个公式若无自由变量出现则该公式叫封闭式.缺省公式是任意形如$\alpha \wedge M\beta \rightarrow \gamma$的公式.

定义1:缺省理论△是二元组(W,D),其中W是封闭的一阶公式集.D是缺省公式集,若D中每个缺省式是封闭的,则△是封闭的缺省理论.

本文1990年12月定稿.作者**陈世福**,南京大学教授,主要研究领域为人工智能、知识工程和图象处理.**潘金贵**,南京大学副教授,主要研究领域为人工智能、知识工程等.**徐殿祥**,博士生,主要研究领域为人工智能、专家系统和决策支持系统.

将非封闭缺省理论转化为封闭的缺省理论的方法参见〔2〕,本文所讨论的缺省理论均假设是封闭的.

定义 2:设封闭公式集 $S\subseteq L$,L 是一阶语言,

$Th(S)=\{W|W\in L,W$ 为封闭的一阶公式且 $S\vdash W\}$.

定义 3:对一阶公式集 $E\subseteq L$,L 是一阶语言.设 $\Gamma(E)$是满足下列条件的最小集:

(1)$W\subseteq\Gamma(E)$

(2)$Th(\Gamma(E))=\Gamma(E)$

(3)如果 $\alpha\wedge M\beta\rightarrow\gamma\in D$ 且$\sim\beta\notin E$

则 $\alpha\rightarrow\gamma\in\Gamma(E)$(若 $\alpha\in E$ 则 $\gamma\in\Gamma(E)$)

E 是缺省理论(W,D)的扩张当且仅当 $\Gamma(E)=E$,即 E 是操作 Γ 的不动点.

从下面一些例子可看出,缺省理论的扩张可能有不止一个,也可能没有.

例 1: $W=\{A\},D=\{A\wedge MB\rightarrow C,A\wedge MD\rightarrow\sim C\}$

则$\triangle=(W,D)$没有扩张.

例 2: $W=\{A\},D=\{A\wedge MB\rightarrow\sim C,A\wedge MC\rightarrow\sim B\}$

$\triangle=(W,D)$有两个扩张,即 $E_1=Th(W\cup\{\sim C\}),E_2=Th(W\cup\{\sim B\})$

例 3: $W=\{bird(x)\}$, $D=\{bird(x)\wedge Mfly(x)\rightarrow fly(x)\}$

$E=Th(W\cup\{fly(x)\})$

例 4: $W=\{\alpha_1\cup\alpha_2\},D=\{\alpha_1\wedge M\beta_1\rightarrow\beta_1,\alpha_2\wedge M\beta_2\rightarrow\beta_2\}$

$E=Th(W\cup\{\alpha_1\rightarrow\beta_1,\alpha_2\rightarrow\beta_2\})$

由(W,D)可知,$\alpha_1\cup\alpha_2$ 为真,而 α_1 一般是 β_1,α_2 一般是 β_2,我们可得到"或者 β_1 为真或者 β_2 为真",它已包含在 E 中.对这种情况的处理,定义 3 与〔2〕扩张定义有所不同.

定理 1:$\triangle=(W,D)$是封闭的缺省理论,E 是$\triangle$的扩张当且仅当 $E=\bigcup_{i=0}^{\infty}E_i$,其中 $E_0=W$,$E_{i+1}=Th(E_i\cup\{\alpha\rightarrow\gamma|\alpha\wedge M\beta\rightarrow\gamma\in D$,且$\sim\beta\notin E\})$,$(i\geqslant 0)$.

定理 2:E 是缺省理论(W,D)的扩张,则 E 是一致的当且仅当 W 是一致的.

为讨论方便起见,假设缺省理论(W,D)中 W 是一致的.

§3. 侯选扩张

缺省理论(W,D)中,缺省式集 D 是包括在 W 中的关于现实世界的非完全信息的一阶知识的扩展,其扩张是关于现实世界的可接受的信念集,利用不动点语义去考察定义 3,可知它是合理的,但因为要求解不动点方程,因而一般较难直接得到一般缺省理论的扩张.Reiter[2]和 Lukaszewicz[8]等人将缺省理论(W,D)的模型集看成是受限于 D 上的 W 的模型集,以不同顺序使用缺省式会得到不同的受限于缺省式集 D 的 A 的模型集合.利用这种思想考察定义 3,其语义也是合理的.更重要的是它有助于建立求解扩张,即进行缺省推理的过程.

假设 D 是可数的缺省式的集合,设$\langle D\rangle=(d_1,d_2,\cdots)$是 D 中所有元素组成的一个序列.其中 $d_1=\alpha_1\wedge M\beta_1\rightarrow\gamma_1,d_2=\alpha_2\wedge M\beta_2\rightarrow\gamma_2,\cdots$,设$\langle D_1\rangle=\langle d_1\rangle,\langle D_2\rangle=\langle d_1,d_2\rangle,\cdots$.

定义 4:设缺省理论(W,D),其中 W 是一致的非空集合,D 中有 n 条缺省式,$n\geqslant 0$,对于 D 的一个序列$\langle D\rangle=\langle d_1,d_2,\cdots\rangle$,$\triangle_W^{\langle D\rangle}$ 是(W,D)的一个侯选扩张,定义如下:

$\triangle_W^{\langle D\rangle}=\triangle_n$ 而 $\triangle_0=Th(W)$ $M_0=\Phi$

$$\triangle_1=\begin{cases}\triangle_0 & (1)\text{若}\triangle_0\vdash\sim\beta_1, M_1=M_0;\\ Th(W\cup\{\alpha_1\to\gamma_1\}) & (2)\text{若}\triangle_0\text{空非},\triangle_0\nvdash\sim\beta_1,\ \triangle_1\text{一致}, M_1=M_0\cup\{\beta_1\}\\ \Phi & (3)\text{否则}\quad(\triangle_n=\Phi,\text{结束})\end{cases}$$

$$\triangle_{i+1}=\begin{cases}\triangle_i & (1)\text{若}\triangle_i\vdash\sim\beta_{i+1}, M_{i+1}=M_i;\\ Th(W\cup\{\alpha_{i+1}\to\gamma_{i+1}\}) & (2)\text{若}\triangle_i\text{空非},\triangle_i\nvdash\sim\beta_{i+1},\ M_{i+1}=M_i\cup\{\beta_{i+1}\},\triangle_i\cup M_{i+1}\text{一致}\\ \Phi & (3)\text{否则}\quad(\triangle_n=\Phi,\text{结束})\end{cases}$$

此定义中 M_i 表示所作合理的缺省假设的集合. $\triangle_i\nvdash\sim\beta_{i+1}$ 等价于 $\sim\beta_{i+1}\notin\triangle_i$.

例 5: $W=\{A\},D=\{MC\to\sim D,MD\to\sim E\}$

设 $d_1=MC\to\sim D,d_2=MD\to\sim E$

$\langle D\rangle_1=\langle d_1,d_2\rangle,\triangle_1=Th(W\cup\{\sim D\}),M_1=\{C\}$, $\triangle_2=\triangle_1$, $M_2=M_1$

$\triangle_W^{\langle D\rangle_1}=\{\sim D\}$

$\langle D\rangle_2=\langle d_2,d_1\rangle,\triangle_1=Th(\{\sim E\}),M_1=\{D\},\triangle_2=\Phi,M_2=\Phi$

$\triangle_W^{\langle D\rangle_2}=\Phi$

候选扩张与定义 3 的扩张有如下关系:

定理 3:(1)若对任意 D 的序列 $\langle D\rangle$,候选扩张 $\triangle_W^{\langle D\rangle}=\Phi$,则 (W,D) 没有一致的扩张.

(2)若 (W,D) 有一个扩张 E,则必定存在 D 的一个序列 $\langle D\rangle_K$,使得 $\triangle_W^{\langle D\rangle_K}=E$.

(3)若候选扩张 $\triangle_W^{\langle D\rangle}\neq\Phi$,则 $\triangle_W^{\langle D\rangle}$ 是 (W,D) 的一个一致扩张.

定义 4 是与推理相关的. 遇到情况(3)时可以停止该序的扩展,但仍存在组合爆炸问题,它不能如此简单地在计算机中加以实现,必须采用分层、优先度、回溯等策略,否则存在严重的效率问题. 下节将介绍 DFSES 中基于定义 4 的缺省推理的实现方法.

§4. 缺省推理的实现

DFSES 系统是为大庆油田广泛使用的数字地震仪 DFS-V 而设计的,用来快速诊断仪器的故障. 维修者可方便地输入测试点情况,系统则能在知识不完全的情况下进行缺省推理,并迅速正确地诊断故障的位置.

由于故障的知识大多含有"一般是"等特性,这类知识采用了缺省式的表示方法. DFSES 中缺省规则的形式是:

DRm,n: IF $A\wedge\alpha_{m-1},n\wedge\beta_{m-1},n$

THEN $\alpha_{m,n}$

其中 $A,\alpha_{m-1},n,\beta_{m-1},n,\alpha_{m,n}$ 是原子命题,A 可缺省,显然这种缺省规则是前面所述缺省式的一种特殊形式.

例如:$DR_{01,01}$:IF $\alpha_{00,01}\wedge M\beta_{00,01}$

$THEN$ $\alpha_{01,01}$

其中 $\beta_{00,01}$="$HL13A8$",$\alpha_{00,01}$="$T-1$ 故障",$\alpha_{01,01}$="数据传输故障".

该规则可解释如下"一般情况下,$T-1$ 故障是数据传输故障,除非 $HL13A8\neq0$".

所有缺省规则组成一种类树形结构，如图 1 所示. 其中 α,β 的编号代表其所在的层次和结点位置，它方便了规则的访问以及树形结构知识的获取，这种结构有几个特性：(1)缺省规则是分层的并具有模块性. (2)缺省规则应用的次序是高层优先，即从根到叶逐层搜索方法，这样利用定义 4 得到的候选扩张如果非空，则它是缺省理论的一致扩张，若所有候选扩张为空，则 (W,D) 没有扩张. (3)树形结构有利于回溯. (4)若某规则的结点不成立，可以停止对其子树的搜索.

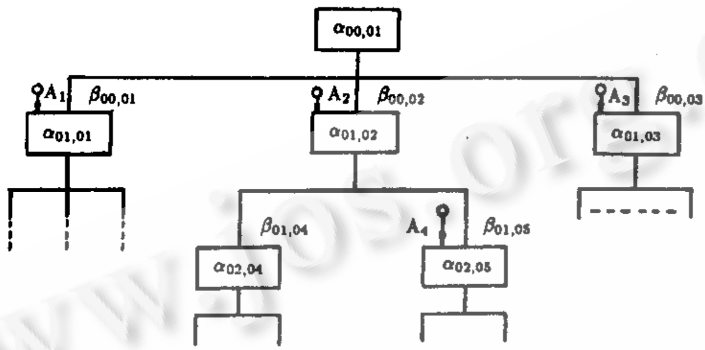

图 1　缺省规则的类树形结构

设 D 表示 DFSES 系统中所有缺省规则的集合，R 表示非缺省规则集，I 表示用户输入的事实，$W=R\cup I$，若 W 是一致的，则 (W,D) 是前面讨论的封闭缺省理论的特殊情形. 推理的过程是要验证该缺省理论的扩张即信念集中是否包含系统要求的目标. 因而求缺省理论的扩张是系统推理的主要部分. 设△表示已有的结论，它是一种栈结构. 基于定义 4 及缺省规则的类树形结构，DFSES 系统中交互式推理算法如下：

(1)正向推理求出 $Th(W)$.

(2)按树形结构中的根次序搜索缺省规则

$DR_{m,n}$　$A\wedge\alpha_{m-1},n\wedge M\beta_{m-1},n\rightarrow\alpha_{m,n}$

(i) $A\wedge\alpha_{m-1},n$ 不成立或 $\sim\beta_{m-1},n\in\triangle$ 则停止 $DR_{m,n}$ 子树的扩展.

(ii) $A\wedge\alpha_{m-1},n$ 成立且 $\sim\beta_{m-1},n\notin\triangle$

如果 $\triangle\cup\{\alpha_{m,n}\}$ 一致，则 $\triangle=\triangle\cup\{\alpha_{m,n}\}$

(iii)(ii)否则，回溯至其父结点. $A_k\wedge\alpha_{n-2},1\wedge M\beta_{m-2},n_1\rightarrow\alpha_{m-1},n_1$，废除△中 α_{m-1},n_1 及其子树得到的结论. 由用户确认 β_{m-2},n_1，若 β_{m-2},n_1 成立或至树根则停止回溯，转至(3)，否则继续该回溯过程.

(3)重复(2)直至树搜索结束.

§5. 结束语

专家系统 DFSES 中缺省推理的应用使得系统的性能得以改善，它能在知识不完全的情况下进行故障诊断. 该系统已投入使用一年多，从已诊断的大量实例来看，其诊断结果与领域专家的观点吻合.

大庆油田朱似心、潘会成等同志在 DFSES 系统中做了很多工作，提供了宝贵的资料，特此鸣谢.

参考文献

[1]Lukaszewicz, W., Nonmonotonic Logic for Default Theories, Advances in Artificial Intelligence, (1985), 403-412.
[2]Reiter, R., A Logic for Default Reasoning, Artificial Intelligence 13 (1,2), 1980, 81-132.
[3]Keki B. Irani, Qian, Z. G., Default Reasoning-Extensions and Sementics, Proc. 3th CAIA(1987), 277-281.
[4]Raymond Turner., Logics for Artificial Intelligence, Ellis Horwood Series, 1984.
[5]Christine FORIDEVAUX, Taxonimic Default Theory, Advances in Artificial Intelligence(1985), 305-311.
[6]Moore, R.C., Semantical Considerations on Nonmonotonic Logic, Proc. 8th IJCAI(1983), 272-279.
[7]McDermotte D., Doyle J., Nonmonotonic Logic I, Artificial Intelligence, 13(1), 1980, 41-72.
[8]Lukaszewicz, W., Two Results on Default Logic, Proc. 9th IJCAI(1985).
[9]MaCarthy, J., Circumscription-A Form of Nonmonotonic Reasoning, Artif. Intel., 13(1980), 295-303.
[10]林尧瑞,石纯一,专家系统原理与实践,清华大学出版社,北京,1988.
[11]何志钧,第二代专家系统工具 ZDEST-2 系统介绍,计算机学报,1989.6.
[12]刘大有等,专家系统中的一种模糊推理模型,计算机学报,1989.6.
[13]杨莉,胡守仁,缺省推理系统 GKD-DIS,软件学报,1991.3.
[14]陈火旺,王献昌,非单调推理与人工智能研究,模式识别与人工智能,1989.3.
[15]吴茂康,缺省推理中的三个定理,计算机学报,1991.8.