

# 一种基于 Petri 网推理的实例修改方法<sup>①</sup>

## A Method of Case Adaptation Based on Petri Net

张智颖 王建维 魏小鹏 (大连大学 先进技术设计中心 辽宁 大连 116622)

**摘要:** 实例修改是 CBR 的关键技术,实例在修改过程中具有较强的领域依赖性,与实例修改相关的领域知识通常以规则的形式存储于规则知识库中,而规则知识库缺乏整体的协调和组织,基于规则的推理效率比较低。本文提出了一种基于 Petri 网推理的实例修改方法。首先采用 Petri 网表示规则,较好地反映知识的条理性 and 内部逻辑;其次利用 Petri 网的数学原理进行推理,克服了规则推理效率低的缺点。并采用电冰箱为应用实例,验证了上述方法的可行性和有效性。

**关键词:** 实例推理 实例修改 Petri 网 规则推理 电冰箱

### 1 引言

在传统人工设计中,方案设计主要采用类比设计或者经验设计,工业中 60% 的机械产品设计表现为在原产品基础上的改型或者改进<sup>[1]</sup>。基于实例推理 (Case-Based Reasoning, 简称 CBR) 正是这种思想的体现。其核心思想是用过去问题的求解经验来解决当前问题。一般来说,实例推理过程以 4R 模型表示,即实例的检索、重用、修改和存储<sup>[2]</sup>。目前,对于实例的表示、检索与重用的研究较多并产生了一些相对成熟的算法。由于实例修改知识具有很强的领域依赖性,所以对于实例修改这一领域的研究并不多,许多已投入使用的 CBR 系统也缺少行之有效的实例修改过程<sup>[3]</sup>。根据不同的设计要求,在设计过程中很少出现完全一样的问题,心须对相似实例进行一系列的修改来适应新的设计要求。因此实例修改是 CBR 系统中必不可少的组成部分,已成为 CBR 系统的关键技术,实例修改的成功与否很大程度上决定了 CBR 系统的优劣。

在已有的 CBR 系统中,基于规则推理的修改策略被大量采用。方峻等<sup>[4]</sup>提出了一种半自动的、具有学习功能的实例修改策略,将专家对实例的修改过程以规则形式自动存储用来指导以后类似的修改过程,但此修改规则只是作为修改建议呈现给用户,实例修改

过程由用户来完成。张斌等<sup>[5]</sup>提出了实例推理和规则推理进行整合后引入到实例修改过程中,又一次运用 CBR 思想建立包含实例修改信息的适应实例库来完成实例修改,克服了单纯运用规则推理进行实例修改遇到的建立规则库的困难,但两级 CBR 的使用使实例的提取增加了难度。汤廷孝等<sup>[6]</sup>在实例检索阶段融入了以规则形式存储的实例修改知识,引导实例的检索方向,获取相似性和修改性综合性能良好的实例进行重用,减少了实例修改的内容和难度。

基于以上分析,在实例修改过程中规则被大量使用。由于规则包含了相关领域专家在此领域多年实践、研究的经验,这种经验通过编码的方式被提取、归纳、内置到规则中,并以规则的形式表现出来,对于设计者来说这是一笔巨大的财富。而实例所包含的知识是一种未经加工或少许加工处理的粗知识,极难于或不可能提取归纳出来。因此通过建立修改规则库采用规则推理来进行实例修改是一种合理有效的方法。但这种方法有两个需要解决的困难:(1)知识完备的规则库难于建立;(2)规则推理的效率较低。因此,本文提出一种基于 Petri 网推理的实例修改方法,采用 Petri 网组织修改规则库,较好的反映了规则库的整体情况及规则之间的关联关系,依据 Petri 网严密的数学原理进行推理,克服了规则推理效率低的缺点。

<sup>①</sup> 基金项目:国家自然科学基金项目(50575026);辽宁省高校科研项目(2008S007)

收稿时间:2008-09-11

## 2 实例修改的数学模型<sup>[5]</sup>

CBR 系统中,实例修改是应用修改知识对不满足设计要求的相似实例按照特定次序进行一系列的修改操作,例如删除、替换、修改和添加,使其满足设计要求。实例修改的目标是通过最小的改变,将实例检索出的相似实例修改成为目标实例。实例修改的预期模型将实例修改的过程表示为一个修改规则序列,称之为修改历史。在修改历史中,修改规则被定义为两个实例之间功能的改变。实例之间的关系可以用数学关系式表示为:

$$C' = \alpha_m * \alpha_{m-1} * \dots * \alpha_3 * \alpha_2 * \alpha_1 * (C) \quad (1)$$

其中:  $C$  为从实例库中提取的相似实例,  $C'$  为目标实例,  $\alpha_i$  为修改规则或修改操作。

从上述公式中可以看出,实例修改可以看作是由相似实例到目标实例的过渡过程。修改规则没有通用的模式,根据设计领域的不同,修改操作一般是各不相同的,通常一种设计情况对应一种修改方法,要具体情况具体分析。修改次序可以人为的规定,根据不同的设计要求,将修改规则按一定顺序进行排列。

## 3 产生式规则及其推理

基于规则的推理机制是基于领域专家知识和经验的推理,是人工智能技术发展过程中比较成熟的一种推理模式。许多成功的专家系统都是采用产生式系统的典型结构,用产生式规则表达知识。通常,产生式系统包括如下三个部分:

(1)总数据库(事实库):用于存放求解过程中各种当前信息的数据结构,如问题的初始状态、事实或证据、中间推理结论和最后结果等。

(2)规则库:用于存放与求解问题有关的某个领域知识的规则之集合,其基本形式为:IF 前提 THEN 结论。前提说明这条规则必须满足的条件;结论部分称为操作;如果某条规则的条件满足了,那么系统的控制部分可以执行规则的操作部分,同时会引起总数据库的变化,这就使其他产生式规则的条件可能被满足。

(3)控制策略:是一个推理机构,用来控制产生式系统的运行,决定问题求解过程的推理路线,实现对问题的求解。

产生式系统表达自然直观,便于推理,可以进行模块化处理,格式清晰,设计和检验方便,表示灵活,因而得到广泛应用。但是随着深入的研究,产生式系

统的局限性也越来越明显:在描述知识的整体性方面,单一的规则不能刻画知识的整体情况,知识库缺乏整体的协调和组织,不能很好的反映人类知识的条理性和内在的逻辑关系;基于产生式规则的推理过程是通过知识库中每一条规则的检索和匹配实现,推理效率较低,而且推理过程必须依赖规则的具体形式,不能实现推理与规则的完全分离,当规则描述形式发生变化时,必须修改推理程序,因此推理的通用性和灵活性较差。而 Petri 网由于具有图形化的模型以及其严密的数学原理可以弥补规则推理存在的不足。用 Petri 网图形化的模型表示产生式规则,可以反映规则的整体情况以及规则之间的关联关系;基于 Petri 网模型的推理不依赖产生式规则的具体形式,可以实现规则和推理的分离,提高了推理的灵活性和适应用。

## 4 基于Petri网的产生式规则表示与推理

Petri 网是由德国的 Carl Adam Petri 教授于 1962 年首先提出的,起初是为了刻画计算机系统异步成份之间通讯时间的因果关系<sup>[7]</sup>。它是一种高效的建模与分析工具,一种可用图形表示的系统模型,具有直观、易于理解和使用的优点,并且能够很好的描述和分析复杂事件之间的顺序、并发、异步等关系。

### 4.1 有关 Petri 网理论<sup>[7]</sup>

定义 1. Petri 网是一个五元组,  $PN=(P,T,F,W,M_0)$ , 其中

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ , 是有限库所集合;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ , 是有限变迁集合,  $P \cap T = \emptyset$  并且  $P \cup T = \emptyset$ ;

$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ , 是弧的集合;

$W: F \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ , 是弧权集合;

$M_0: P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ , 是初始标识。

如图 1 所示, Petri 网是一种有向图,一个基本的 Petri 网由库所、变迁、连接弧组成。图中库所用圆圈表示,它是静态的,用来描述可能的系统状态;变迁用方块表示,用来描述改变系统状态的事件;弧用带箭头的线段表示,用来描述状态和事件之间的关系。库所中的圆点表示标记(token),库所中标记和不同分布叫做 Petri 网的标识(marking),表示系统不同的状态,因此也叫做 Petri 网的状态。系统的初始状态由初始标识表示。

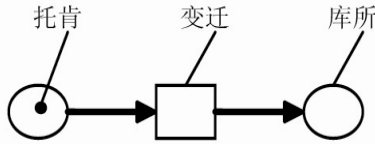


图 1 Petri 网模型示例

Petri 网由初始标识开始，按照变迁触发规则改变网中的标记的分布、模拟系统的动态行为。变迁触发规则如下： $\forall p \in \bullet t, M(p) \geq W(p,t)$ ；即当且仅当在当前标识  $M$  下， $t$  的所有前置库所中的标记数大于等于该库所到变迁的有向弧的条数。当变迁  $t$  触发后， $t$  的所有前置库所中的标记数减去该库所到变迁  $t$  的有向弧的条数，同时  $t$  的所有后置库所中的标记数增加变迁到该库所的有向弧的条数。当前标识  $M$  经过  $t$  变为  $M'$ ，即  $\forall p \in \bullet t, M'(p) = M(p) - W(p,t), \forall q \in t \bullet, M'(q) = M(q) + W(t,p)$ 。其中， $\bullet t = \{p | (p,t) \in F\}$ ，是变迁  $t$  的输入集； $t \bullet = \{p | (t,p) \in F\}$ ，是变迁  $t$  的输出集； $W(p,t)$  表示从库所  $p$  到  $t$  变迁的有向弧的条数； $W(t,p)$  表示从变迁  $t$  到  $p$  库所的有向弧的条数； $M(p)$  表示在标识  $M$  下库所  $p$  中的标记数。

#### 4.2 产生式规则的 Petri 网表示模型

定义 2 规则 Petri 被定义为  $RPN = (D, R, F, M_0)$ ，

其中， $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$  是一个有限命题集；

$R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$  是一个有限规则集；

$D$ 、 $R$ 、 $F$ 、 $M_0$  之间的关系满足 Petri 网的定义。

通过定义知产生式规则与 Petri 间存在着对应关系如表 1。

表 1 产生式规则与 Petri 网的对应关系

产生式规则	Petri 网
前提	输入库所
结论	输出库所
事实	托肯
规则	变迁
推理机制	变迁引发

设有一条产生式规则： $R_i: \text{IF } A \text{ AND } B \text{ THEN } C$ ，那么根据表 1 的对应关系，其对应的 Petri 网模型如图 2 所示。但在实际的产生式系统中，不仅含有如上简单的规则，对于复杂的产生式规则用命题逻辑的形式来表示，依据命题逻辑中的蕴含等值式、假言易位式及狄摩根定律将所有的产生式规则化为只含有否定

联接词、命题和合取联接词的等价形式，从而建立产生式规则的 Petri 网模型。

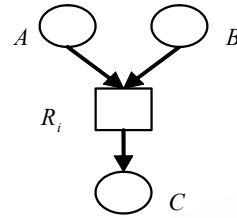


图 2 产生式规则 Petri 网示例模型

#### 4.3 基于网表示的产生式规则推理

将产生式规则用 Petri 网表示，依据 Petri 网的严密的数学原理进行推理，避免了单一使用规则推理时频繁的对规则库进行盲目搜索，提高了推理效率，实现了推理与规则表示的分离，推理过程不受规则变化的影响，提高了推理的灵活性与适应性。其推理过程如下：

(1) 根据网络的状态初始化  $M_0$ ；

(2) 根据 Petri 网结构形成关联矩阵  $C$ ，其中

$$C(p_i, t_j) = W(t_j, p_i) - W(p_i, t_j)$$

(3) 对关联矩阵进行搜索得到变迁集，以变迁集为序标构造列向量  $U$  即 Petri 网的  $T$  向量；

(4) 根据状态方程  $M = M_0 + CgU$ ，计算  $M$  得到推理结果；

(5) 结束。

对关联矩阵  $C$  搜索的具体步骤如下[8]：

(1) 在初始条件  $M_0$  中寻找 1 元素，标记以 1 元素为序标的行；

(2) 从只标记一次的行出发横向查找关联矩阵，找到值为 -1 的元素；

(3) 从 -1 的元素开始纵向查找其它为 -1 的元素，若找到则查看是否该行被标记，若被标记则再次标记，否则该路径终止；

(4) 当所有该列的值为 -1 的元素所在行均被标记，则在该列中查找值为 1 的元素，标记值为 1 的行，同时记录状态向量，并以 1 元素为当前标记行返回 2)，当此过程无法进行时结束，搜索过程得到的变迁序列即为变迁集。

#### 5 实例验证

根据本文研究的基于 Petri 网推理的实例修改方

法,以电冰箱为应用实例,根据领域知识建立电冰箱实例的修改规则,采用 Petri 网表示修改规则并进行推理,修改相似实例。

5.1 修改规则的建立

根据设计领域知识建立修改规则,用产生式规则表示,以下列出了部分修改规则:

R<sub>1</sub>: IF 耗电量大于 0.56 瓦(P<sub>1</sub>) THEN 压缩机型号 = NSA30LACG 型号(R<sub>2</sub>);

R<sub>2</sub>: IF 压缩机型号 = NSA30LACG 型号 (P<sub>2</sub>) AND 使用寿命小于用户期望寿命(P<sub>3</sub>) THEN 添加储液器进行压缩机保护(P<sub>4</sub>);

R<sub>3</sub>: IF 耗电量大于 0.56 瓦 (P<sub>1</sub>)AND 噪音大于用户期望分贝(P<sub>5</sub>) THEN 采用隔声材料对压缩机仓进行处理(P<sub>6</sub>);

R<sub>4</sub>: IF 噪音大于用户期望分贝(P<sub>5</sub>) AND 管路噪声大(P<sub>7</sub>) THEN 在管路中加入橡胶阻尼块(P<sub>8</sub>);

5.2 基于 Petri 网表示的修改规则及推理

将上述修改规则用 Petri 网表示,如图 3 所示。

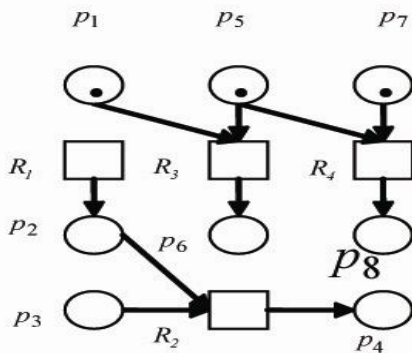


图 3 电冰箱修改规则的 Petri 网模型

网络给定的初始标识  $M_0 = (1,0,0,0,1,0,1,0)^T$ , 根据图 4 中 Petri 结构得到 Petri 网关联矩阵 C 如下:

$$C = \begin{pmatrix} -1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

通过对关联矩阵搜索得到变迁序列为:

1)  $p_1 \rightarrow p_2$ ; 2)  $p_1 \wedge p_3 \rightarrow p_6$ ; 3)  $p_5 \wedge p_7 \rightarrow p_8$ ; Petri

网 T 向量,即规则  $R_1$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  被执行,由  $M = M_0 + C \cdot U$  得网络推理后的状态为:

$M = (-1,1,0,0,-1,1,0,1)$ , 其中为 1 的元素表明其代表的命题为真,即  $p_2$ 、 $p_6$ 、 $p_8$  所代表的命题为真。

根据以上推理过程得到电冰箱相似实例修改的过程:即根据所得到的变迁序列的次序进行,首先改变压缩机的型号,然后采用隔声材料对压缩机仓进行处理,最后在管路中加入橡胶阻尼块。

6 结论

(1)本文提出了一种基于 Petri 网推理的实例修改方法,该方法着眼于克服在实例修改过程中使用规则推理效率低的缺点,为实例修改的智能化提供一种思路。

(2)通过电冰箱设计方案生成算例,验证了该方法的有效性与其可行性。

参考文献

- 1 Hyeon H J, Parsaei H R. Concurrent engineering: the manufacturing philosophy for the 90's. Computer Industry Engineering, 1991, 21(1-4):35 - 39.
- 2 陈朝阳,张代胜,任佩红.CBR 诊断系统实例获取的合成相似度量方法.机械工程学报, 2004,40(5):48 - 51.
- 3 Lee M. A study of automatic learning model of adaptation knowledge for case based reasoning. Information Sciences, 2003,155:61 - 78.
- 4 方峻,聂宏.一种能够学习和重用的实例修改策略.机械设计与制造, 2005,(9):16 - 51.
- 5 张斌,高全杰,应保胜,王家青.实例推理和规则推理在实例修改中的应用.计算机工程, 2005,31(13):156 - 158.
- 6 汤廷孝,刘勇,黄翔,廖文和.CBR 系统中的实例修改的研究.计算机工程, 2006,25(4):390 - 393.
- 7 袁崇义.Petri 网原理与应用.北京:电子工业出版社,2005.
- 8 傅荣,罗键.产生式知识表示的 Petri 网模型及其推理规则.厦门大学学报, 2000,39(6):748 - 752.