

基于事例推理的检索模型研究 TP18

徐 明 胡守仁

(国防科技大学计算机系 长沙 410073)

摘 要

The paper, firstly, gives a brief introduction to Case-Based Reasoning (CBR). After discussing the goal of the CBR retrieval, the paper summarizes the features and problems of the current CBR retrieval strategies. Based on constraint object knowledge model, a retrieval model, which provides homogeneous class hierarchy for both cases and background knowledges, is presented. The paper concludes with the analysis of the characteristics of our retrieval model.

一、引言

基于事例的推理(CBR—Case-Based Reasoning)是通过访问知识库中过去同类问题的求解从而获得当前问题解决的一种推理模式。CBR研究兴起的主要原因是传统的知识处理系统对其“边界”以外的知识处理十分低效,不能从知识的积累中进行学习而达到自我完善,也不能对问题求解的策略与结果提供有效的解释,因而其整体性能十分脆弱。

在CBR中,一个问题的状态描述及其求解策略用一个事例(Case)表示,而事例本身则可用语义网节点、框架或对象实现。事例按一定的模式在知识库中组织。当一个新的问题出现时,系统根据索引,从知识库中检索出相似的事例(集),并对其求解策略进行修改,使之达到当前问题的求解要求,最后将新问题与求解策略当作一个新的事例存入知识库中,备以后之需。CBR反映了人类认知过程中根据经验进行推理,从失败中进行学习的特征。为传统知识处理系统问题的解决提供了一条有效的途径。实质上, CBR是类

比推理的一种具体表现形式。

显然,如何在CBR中高速、有效地完成事例的检索是十分重要的,对问题求解的性能有直接影响。特别是当知识库足够大时,事例适配很可能变得简单,但检索的目标更难达到。CYRUS、CHEF、CASEY等系统的检索策略各有特色^[1,6,7]。本文首先对当前的CBR检索模型与算法进行分析和讨论。然后,在面向对象思想基础上,提出一种基于限制对象的CBR检索模型并对该模型下的检索策略及特点进行了讨论。

二、CBR检索模型与算法

- CBR检索要达到以下两个目标:
- (1) 检索出来的事例应尽可能的少;
 - (2) 检索出来的事例应尽可能与当前事例相关或相似。

根据事例知识库所依托的存储器结构,宏观上, CBR的检索分为串行与并行两种策略。串行检索多采用Feigenbaum的分类网(discrimint networks)思想。其中,事例按概括/特化层次结构组织,检索时采用一种由上至下逐层求精的“探针”策略,越往下,

收到日期: 92-12 05

相似程度越高。当检索停止时，位于当前停止点以下的所有事例就是应该检索的事例。由于相似度很可能随时间与事例知识库的扩充而变化，Owens指出基于分类网的检索只适用于静态情形^[9]。并行检索就是同时检索所有的（或多个）事例，返回一个相似度最高的事例。Kolodner在其CYRUS系统中首先将共享属性网与冗余分类网结合起来实现并行检索，并将它扩展到具有层次存储结构的Paradyne系统上^[1]。MBRTalk在平坦结构的相联存储器上实现并行搜索并将搜索的结果直接作为“推理”的结果。准确地说，MBRTalk实现的是连接机制下基于存储的相联检索^[4]。

Stottler等人完全撇开分类网，提出基于计算几何Voronoi算法的定性算法与tree-hash定量算法^[8]。在定性算法中，建立一个由多维小超立方体组成的超空间。其中，维数为事例的属性数目，每个小超立方体中包含至多两个事例，也可能没有事例。因此，对事例的匹配查找缩减为对事例所在小空间的查找。经过分析，定性算法的复杂性为 $O(\log N)$ ，其中， N 为事例的数目。而定量算法是针对属性值是数量的情形，仍然用维数来表示事例的属性数目，例如， (d_1, d_2, d_1, d_2) 表示一种可能的二维匹配序。其中， d_1, d_2 表示两个属性值必须同时满足匹配。在采用朴素检索的算法时，算法复杂性仅为 $k_1 \times (2^D - 1)$ ，其中， D 为维数， k_1 为一常数。它们为快速实现事例的检索提供了一条有效的途径。

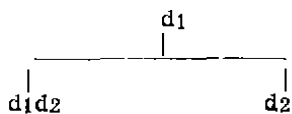


图1 属性维数的结构

具体的检索策略还包括模板检索、归纳检索、加权检索与基于知识的深检索。模板检索是根据系统或用户提供的具有特定性质的模板或模式实现检索，其匹配过程类似于关系数据库的SQL查询。归纳检索基于决策树实现。而加权检索是根据问题中状态属性

的重要程度来赋予属性不同的权值，从而控制检索中匹配比较的“倾斜度”，由于它反映了部分领域知识，因此，可将它看成是一类特殊的基于知识的检索。Carbonell提出用问题的求解目标来控制检索中属性的个数^[10]，Genter, Kolodner分别在其系统中考虑了属性间的谓词关系与高阶关系在检索匹配时的作用^[1, 5, 11]。最近的几个系统，如CYCLOPS利用了表层与深层知识的结合。其深层知识包括领域的因果模型，能针对推理过程、方法策略修改的原则与求解结果进行解释。其深层知识避免了不相关事例的检索，甚至可在检索过程中对索引方式进行动态修改^[8]。不过，Simoudis策略有所不同，它将检索的过程分为两个阶段（图2）。其中，合法模型（validation model）建立在语义网的基础上，其节点表示各项测试，连接弧表示它们之间的关系。经过两级检索，事例的检出数目要减少72—86%，剩下的事例是与当前事例最相似的事例^[2]。生成菜谱规划的CHEF系统在检索出相似事例之后，亦存在一个类似的验证周期，在这个过程中，找出符合要求的菜谱并进行修改和调整。当出现无法完全满足新问题的要求之后，领域因果模型判定不能够匹配的原因并检查有无通过修改从而达到要求的可能性。以上的检索策略都可以很好地结合到串行或并行的策略中去。

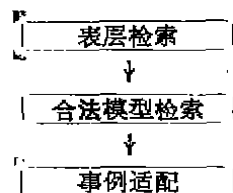


图2 Simoudis两段检索

实际上，针对CBR检索，我们可得到以下几点认识：

(1) 模板检索、加权检索等浅检索至多只能找出（表面上）最相似的事例。按照Hammond的理解，最理想的事例是那些只需要很少的修改工作量就能满足新问题要求的事例^[6]。但表面上最相似的事例可能不是最理

· **语义关联知识。**这是一类特殊的领域知识,因为多个事例之间很可能存在某种关联。例如,一项复杂的设计由多项子设计聚合而成。这些子设计之间存在相互制约关系,从而影响到事例类之间的语义关系。该类型知识在进行事例适配时的作用尤其重要。

· **组织策略。**事例知识库的组织策略具体包括索引方式的建立与调整、建立相应事例类的信息(如事例的数目、事例类在类层次结构中的位置)、将不再需要的事例从知识库中剔除、事例类及相应约束类的生成。新事例的加入由约束类的根类完成。领域知识亦驻留在约束类的根类中。类层次结构上的继承关系使得父类的信息能够被子类共享。例如,可使限制类只继承与自身(即所控制的事例类)有关的那一部分领域知识。除非约束子类重新定义相似度,否则它将从其父类中继承相似度。

在此模型下完成一次事例检索的过程为:

①首先根据约束类根类的领域模型知识确定要检索的事例类及相应的约束类;

②在约束类的控制下(例如,通过相似度),完成一个事例类及其子类的检索;

③根据需要,对已检索出来的事例进行测试、筛选,从中挑选出满足要求的事例并按有关原则完成新事例策略的生成与调整;

④最后,完成事例知识库的事例接收与有关信息的更新;索引方式与相似度以及限制类的调整。

四、结束语

本文提出的基于约束对象的CBR检索模型,将领域知识、控制性知识与事例知识分别统一到对象-类层次结构上,结构清晰,可重用性高,避免了概念与结构上的冗余。对事例知识的修改与维护不会干扰到领域知识,反之亦然。同时,约束类知识的更改除了影响其子类外,不会影响其它约束类。因而,其管理与维护十分方便。该模型的最大

特点在于各个事例类的控制信息分布到各个相应的约束类上,并可方便地实现继承共享。控制信息的分布也为并行检索提供了实现的基础。模型中,所有的约束类对象均按第一类对象(first-class object)进行处理,并可由用户完成动态维护。正是基于消息机制实现的动态性可满足约束类层次知识随时间变化的要求,这样,就对Owens关于分类网中动态性无法满足的问题提供了较圆满的解决办法。在进行事例检索时,无论是先分析、后检索,还是先检索,其结构都无需调整,因而模型具有较广的适应面。

由于约束类要与事例类一一对应,因而当事例知识库规模变大时,可能导致约束类的数目过大,造成有关表格管理开销的增加。一种针对性的策略是适当收缩类层次,使得约束类所控制的事例数目大致保持在一个常数,这样,约束类可扩充为控制一棵子事例分类树。但新事例的不断接收将造成频繁收缩,从而增大时间开销,并且,还有一个语义一致性问题。可见,这里需要折衷考虑。

参考文献

- [1] J. L. Kolodner, Retrieval and Organization Strategies in Conceptual Memory, A Computer Model, Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum
- [2] E. Simoudis, et al., Validated Retrieval in CBR, Proc. of AAAI/89
- [3] R. H. Stottler et al., Rapid Retrieval Algorithms for CBR, Proc. of AAAI/89
- [4] C. Standfill, et al., Toward Memory-based Reasoning, Comm. of ACM, Vol. 29, 1986
- [5] H. Kjellin, et al., Non-Exact Matching, Proc. of EPAR/89
- [6] K. Hammond, CHEF, A Model of Case-based Planning, Proc. of AAAI/86
- [7] P. Koton, Reasoning about Evidence in Casual Explanations, Proc. of AAAI/88

(转第18页)

从上面规则的条件中,我们可以看出,在证明搜索过程中, P_+ , P_* 优先使用,仅当 α 中不含有可交换公式时,才能使用 P' 和 P'_* 。 W 规则的功能嵌入到 P'_* 和 P' 规则中,具体地说:对于 P'_* 规则,收缩仅发生在条件(B)(b),且每次收缩1;对 P' 规则,收缩仅发生在条件(B)(a)(iii)、(C)(b)(iii),每次收缩1;(C)(a)(ii)、(iii)、(iv),每次收缩最多2; P'_* 规则仅收缩主成份拷贝; P' 规则的(B)(a)(iii)收缩参成份,其余是收缩主成份拷贝。因此, L_5 对 W 规则影响的限制要比 L_4 对 W 规则影响的限制强得多,从而使得在生成 $pst(\alpha)$ 过程中,规则前提(对)的可选性显著减少。

[1]中仅证明了, W_+ , W_* , W'_* 规则是 L_5 可接受的,因而使用了加限制的Curry性质证明 L_5 的可判定性,即:

定理6 L_5 是可判定的,且在范式意义下, L_5 等价于 L_1 。

我们在[6]中证明了 W_+ , W_* 仍是 L_5 可接受的,且不增加证明的长度,因此, L_5 的证明具有Curry性质。从而化简了 L_5 的可判定性证明,也提高了具体实现中证明搜索剪枝的效率。

Thistlewaite依据LR的形式系统 L_5 , 设

计实现了LR的自动定理证明系统KRIP-KE^[11], 用实例验证了他的系统确比Kripke-Meyer判定过程的效率高。

参考文献

- [1] P.B.Thistlewaite, et al., Automated Theorem-Proving in Non-Classical Logics, Pitman Publishing, London, 1988
- [2] A. R. Anderson et al., Entailment, The Logic of Relevance and Necessity, Vol. 1, Princeton University Press, New Jersey, 1975
- [3] C.G.Morgan, Methods for Automated Theorem Proving in Nonclassical Logics, IEEE Transactions on Computer C-25, 852-862, 1976
- [4] A. Urquhart, The Undecidability of Entailment and Relevant Implication, J.Symbolic Logic 40, 1059-1073, 1984
- [5] A.W.Bollen, Relevant Logic Programming, J. Automated Reasoning 7, 563-585, 1991
- [6] Ji-gui Sun and Xu-hua Liu, The Curry Property for automated theorem proving in the relevant logic LR, (待发表)

(接第35页)

- [8] K. P. Sycara et al., Index Transformation and Generation for Case Retrieval, Proc. of DARPA Workshop on CBR, 1989
- [9] W. Dilger, Object-Oriented Knowledge Representation — An Overview, J. New Gener. Comput. Syst., Vol.2, 1989
- [10] J. G. Carbonell, Learning by Analogy: Formulating and Generalizing Plans

from Past Experience, Machine Learning: An AI Approach, Tiogo Pub. Co., CA, 1985

- [11] D. Genter, Structure-Mapping: A Theoretical Framework for Analogy, Cognitive Science, Vol.7, 1983
- [12] 奚建清, 面向对象数据库模型及语言系统的研究, 工学博士论文, 国防科大, 1992

□