

# 案例决策技术及案例决策支持系统研究综述

倪志伟<sup>1</sup> 李建洋<sup>1</sup> 李锋刚<sup>1,2</sup> 杨善林<sup>1</sup>

(合肥工业大学过程优化与智能决策教育部重点实验室 合肥 230009)<sup>1</sup>

(中国科学技术大学计算机科学技术系 合肥 230027)<sup>2</sup>

**摘要** 案例是人类直觉、逻辑和创造性三种思维的综合表现形式,案例推理是人脑类比学习的模仿者,在知识难以获取的应用领域取得了丰硕的成果。从认知学角度探讨了案例推理的逻辑合理性,研究了案例智能决策技术;针对决策支持系统研究与开发中出现的系统柔性差等核心问题,提出了以案例推理为基础的案例智能决策支持系统,该系统可以很好地实现决策支持。对此进行了深入研究,最后探讨了该系统的研究与发展的方向。

**关键词** 案例推理, 案例逻辑, 案例决策技术, 案例决策支持系统

## Survey of Case Decision Techniques and Case Decision Support System

NI Zhi-wei<sup>1</sup> LI Jian-yang<sup>1</sup> LI Feng-gang<sup>1,2</sup> YANG Shan-lin<sup>1</sup>

(Key Laboratory of Process Optimization and Intelligent Decision-making, Ministry of Education, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)<sup>1</sup>

(Department of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Case is the integrated representation of the human sense, logics and creativity. Case-based Reasoning (CBR) is the simulator of human analogy learning, great achievement has been acquired for CBR in the field of knowledge lack. This paper discussed the logic rationality of CBR and the case intelligent decision techniques. The intelligent decision support system (IDSS) that is built from CBR can overcome some defects, such as poor flexibility of traditional IDSS, and provides decision support. This decision support system technique and the aspect of research and development about case decision support system were investigated in the end.

**Keywords** Case-based reasoning, Case logics, Case decision techniques, Case decision support system

人工智能中有很多推理方法,最实用的有基于规则的推理、基于模型的推理和基于案例的推理等。从认识论的角度看,规则推理仅是对人类抽象思维的简单模拟;而专家在决策中用到大量的形象思维,问题的解决不只是单纯依赖抽象的规则,还需要专家的经验,忽略经验知识是导致智能决策支持系统难以使用的主要原因之一<sup>[1,2]</sup>。

案例(case)是专家经验的计算机存储形式,是专家长期实践的产物。基于案例推理(case-based reasoning, CBR)是区别于基于规则推理的一种推理和学习模式,已经成为智能系统一种新的推理方法。它提供了一种近似人类思维模型的建造专家系统的新的方法学,这与人对自然问题的求解相一致。研究 CBR 有助于进一步认识人类思维的机理,对于科学决策具有重要的指导作用<sup>[3]</sup>。

### 1 案例逻辑

长期以来,从人脑思维的不同层次对人工智能进行研究,形成了基于逻辑学的符号主义、基于仿生学的连接主义和基

于控制论的行为主义三大学派。传统的人工智能是符号主义,它以 Newell 和 Simon 提出的物理符号系统假设为基础。物理符号系统假设认为物理符号系统是智能行为的充要条件,由一组符号实体组成,可在符号结构的实体中作为分组出现。该系统可进行建立、复制修改、删除等操作,生成其它符号结构<sup>[4]</sup>。

常识是人工智能研究的重要内容之一,因为机器智能必须处理常识和实现常识推理。然而常识并无明确的定义,而且有众多的例外。常识推理的基本特征是在知识不完全情况下进行的,要作出各种假设具有非单调性。人类知识的增长实际上是非单调的发展过程,原因是人们推理时所依据的知识具有不完全性。然而,经典逻辑如形式逻辑、演绎逻辑等,对人类认知世界的处理却是单调的<sup>[5,6]</sup>。

非单调逻辑是处理不完全知识的工具;非单调推理过程就是建立假设、进行标准逻辑意义下的推理,若发现不一致,进行回溯,以便消除不一致,再建立新的假设;非单调推理明显比单调推理复杂。为此,Reiter 于 1978 年,提出了非单调

到稿日期:2008-12-04 返修日期:2009-03-02 本文受国家自然科学基金重点项目(70631003),国家高技术研究“863”计划项目(2007AA04Z116),国家自然科学基金项目(70871033),合肥工业大学博士专项基金项目(2007GDBJ039),福建省科技基金(2008F5043),安徽省高校基金(KJ2008B107)资助。

倪志伟(1963—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为智能决策等, E-mail: zhwnelson@163.com; 李建洋(1968—),男,博士生,教授,主要研究方向为智能知识处理等; 李锋刚(1976—),男,博士,讲师,主要研究方向为智能优化与决策等; 杨善林(1948—),男,教授,博士生导师。

推理方法的封闭世界假设(CWA),1980年提出默认推理; McCarthy 提出限定逻辑, Moore 提出自认知逻辑等。目前,实现非单调推理的基本方法是:(1)扩充经典逻辑,在经典逻辑的框架内增加几个公理(或元公理),以此引导非单调推理取得预想的结果;(2)定义特定的非单调逻辑,其研究相当繁杂<sup>[7,8]</sup>。

在人工智能中,如机器定理证明的归结原理,使用的是演绎推理,是从一般到特殊的推理过程,并未发现新的知识;反之,归纳推理则是从特殊到一般的推理过程,属于非标准逻辑,能根据某些已知的特殊性知识,归纳出未知的一般性知识。如果这些特殊性知识已经直接或间接包含了未知的一般性知识的所有可能情况,则归纳推理的结论完全有效,是完全归纳推理,仍然属于形式逻辑;否则结论可能有效,也可能无效,是不完全归纳推理。

在人类思维中还经常使用类比推理模式和假设推理模式,如基于案例的推理,其是人类应用过去的经验来求解新问题的一种策略,是一种允许知识在具有“相似”性质的领域中进行转换的学习策略。类比学习是人类重要的认知方法,也是人们经验决策过程中常用的推理方式;所谓类比学习就是把两个相似的事物进行比较,找出它们在某一个抽象层次上的相似关系,并以此为依据,进行问题空间映射,经过适当的知识变换,获得新问题的解<sup>[9]</sup>。

类比有方法类比、概念类比、图形类比、联想类比等,都是人类智能的体现。它根据相似性原理,由一个已知系统具有某些属性,猜想另一个未全知系统也具有这些属性,是从特殊到特殊的推理过程。CBR 由于推理需要的前提知识不完全,类比的结论可能有效,也可能无效,因而需要客观验证,待获得新的知识或推出矛盾时再行调整。

各种非单调推理和开放逻辑都属于假设推理模式<sup>[10-12]</sup>。不完全归纳推理、类比推理和假设推理模式都是能真正发现和不断完善新知识的过程,属于辩证逻辑。由于柔性量词的作用,上述推理模式可以在一定条件下相互转化。这些研究已经触及到了推理模式的连续可变性,它表明在逻辑学中可引入模式柔性,用来描述推理模式的不确定性<sup>[13-15]</sup>。

CBR 系统是人脑类比学习的模拟者,是人类三种思维(直觉、逻辑、创造性思维)的一种综合表现形式。对案例学习系统的研究,有助于对人类思维的模仿,实现人类智能。案例推理符合人类的思维活动。当遇到一个新事物时,专家不仅仅看到一个具体问题,还会产生联想,然后把事物归类,从中找出以往处理过的类似问题的经验和相关知识,经过一定的修正去处理新事物。对于简单的问题,案例的检索和匹配主要是形象思维的过程。而对于复杂的问题,往往难以通过简单匹配检索到一个相似的实例;此时人们会将问题分解,使每个子问题都能映射到一个相似案例,或从不同角度出发,抽取不同角度的类似问题,最后运用逻辑思维和创造性思维把匹配的子案例集成起来,形成解决当前问题的新方法。

CBR 是人的一种认知行为,它是基于记忆的推理。可以从记忆理论的发展来研究 CBR 的心理学模型。心理学家提出的语义网络记忆模型只表示了关于世界的静态知识,为此 Tulving 提出情景记忆作为补充,情景记忆是人对在一定时间内发生的事件的记忆。Tulving 认为这两种记忆相互区别,相互联系,又相互补充。同时,研究人员在语言理解的任务中发

展了类似的理论,如联想记忆等。Schank 和他的学生在研究概念和句子进而短文和故事理解的过程中,提出了以记忆组织包为核心的概念记忆或动态记忆理论。另一类相对独立的研究,如类比推理研究、哲学和心理学研究中的概念形式理论及经验学习理论,也对早期的 CBR 思想产生了影响。

## 2 案例智能

学习是人类智能的主要标志和获取知识的基本手段,人工智能的目标就是使计算机模拟人类智能;早在人工智能诞生之初,人们就认为实现计算机模拟人脑智能的根本方法是机器学习技术。机器学习领域研究的主要目标就是开发能够实现各种学习形式的计算方法,尤其能够从样本或数据中归纳出知识的机制<sup>[17,18]</sup>。智能化研究的重要成就之一,在于把早期计算机无法实现的常规的编程思维解决问题模式,通过引入领域知识,转变为更加精确的“智能化问题求解”。应用领域知识,以某种适当的数据结构编码,构成了求解此类问题的基础。

人工智能的研究者大都致力于开发能够解决此类智能问题的有效方法,因为智能问题求解的关键已转换为领域知识的获取。传统上,启发式规则是专家系统中模拟弱理论领域知识的主要表述形式,并通过规则来进行问题求解。然而,利用经验知识,以及领域知识,在现实世界中,从专家那里抽取知识绝不是一件容易的事——知识获取是专家系统的瓶颈; if-then 规则的知识表示局限性大,特别是在领域众多常识的情况下;经验表明有很多局限性。因此只是把瓶颈从编程转移到知识工程那里,虽然研究取得了许多重要的成果,但是进展比较缓慢。

Roger Schank 于 1982 年提出了在计算机上建造 CBR 这种类比推理系统的方法:利用一个学习系统,通过与人类学习类似的样本进行处理。CBR 一般由检索(Retrieve)、复用(Reuse)、修正(Revise)、学习(Retain)4个主过程组成,因此亦称为 4R。应在缺乏求解算法、定义不明确或仅仅是非正式表述的问题中获取此类高层次概念或问题的求解策略<sup>[19]</sup>。

1984 年, Kolodner 提出了动态记忆组织框架模型;随后, Carbonell 从映射、修正技术的角度研究了类比转换过程。CBR 兴起的主要原因是传统的基于规则的推理系统存在诸多的缺点,如知识获取的瓶颈问题、对于处理过的问题没有记忆、导致推理效率低下、处理领域中例外事件格外困难、整体性能较为脆弱等。随着专家系统和知识工程的发展,利用实例将知识引入计算机的思想更加吸引人,更加具有号召力。

从人工智能的角度来看, CBR 主要处理两方面的问题:第一是建立一种认知模型以便理解人类思考和处理问题的行为;第二是建立实际系统以便解决现实世界的实际问题。在 CBR 中,通常把目前要解决的问题或情况称为目标案例(Target Case),而把历史案例称为源案例(Base Case)<sup>[20,21]</sup>。

### (1) 研究案例智能技术的动机

研究案例智能的目的在于克服知识系统中出现的关键难题,如①克服理论不完善或信息缺失,②及时获取与更新知识,③对付计算复杂性问题,④辅助决策。

对于问题①,案例知识本身也许就足以胜任了;即便是领域知识缺失,案例自身可以通过案例间关系隐含了缺失的领域知识,同时可以通过“例外”来获取相关参数。对于问题②,

案例知识是便于知识的获取,在正常情况下案例总是可以使用的;案例也并不需要分析和泛化;专家们喜欢告诉案例知识,而不是获取的规则。对于问题③,从先前的成功案例推理,避免了再次计算;即使回忆先前的失败案例,也可避免重蹈覆辙;从特定的案例开始推理,可以便于知识处理。对于问题④,CBR 特别便于与用户交互,用户喜好运用相关的先前案例知识,而不是类似“该怎么、不该怎么”的规则,从而便于用户接受<sup>[22-24]</sup>。

## (2) 知识重用

通过案例检索获取初步匹配的候选相似案例;然后从中选取一个或几个与当前问题最相关的最佳案例。最佳案例的选取与领域知识密切相关。做法是,由领域知识模型对候选案例进行解释或生成某些期望的结果,然后对这些解释或结果进行有效性测试或评估,最后依据某种度量标准对候选案例进行排序,得分最高的就成为最佳案例。一般地,案例匹配不可能是完全相符的,只是部分匹配或近似匹配。

转换源案例中与目标案例相关的信息,以便将其应用于目标案例的求解过程中。其中,涉及到对源案例的求解方案的修改。把检索到的源案例的解复用于新问题或新案例中,分别考察源案例与目标案例间的不同之处,源案例中的哪些部分可以用于目标案例。对于简单的分类问题,仅需要把源案例的分类结果直接用于目标案例,无需考虑它们之间的差别,因为实际上案例检索已经完成了这项工作;而对于问题求解之类的问题,则需要根据它们之间的不同对复用的解进行调整。

从复用的信息内容来看,主要有两种类型:结果的复用和方法的复用。对于前者来讲,当源案例的解答结果需要调整时,它依据一些转换操作知识,把源案例中的种种可能解转换为目标案例中相应的解;方法的复用则关心源案例中的问题是如何求解的,而不是解答结果,源案例带有求解方法的信息,复用时需要把这些方法重新例化。

## (3) 增量学习

学习是智能行为的最主要体现形式之一,增量式学习是智能系统适应性所需要的功能。与传统专家系统相比,案例智能的最大优点在于动态知识库,即通过增量学习而不断增加知识的案例库。将 CBR 中“4R”循环中的第四个步骤案例保存,并将新案例及其解根据一定的策略存入案例库,是系统学习的方式,是一种最自然、增量式学习的方式。CBR 中的学习功能即是不断往案例库中增加新的案例,当案例库不断增大时,带来的好处是很容易找出相同案例或相似案例,减少修正的次数与时间,这完全符合人们对现实世界的认识过程,即人们随着知识、经验的逐渐增加,认识问题和解决问题的能力在不断增大。

# 3 案例决策技术

人类认识世界的过程是个否定之否定的辩证发展过程,人类知识的增长实际上是非单调的发展过程;原因就是人们推理时所依据的知识具有不完全性。现实世界的问题大多具有病态定义的结构,例如不完全信息的问题求解和学习等,这些问题属于直觉信息处理的范畴。人们在分析和求解问题时,大多自觉或不自觉地使用着分层次、有步骤、逐步求精的方法,有时需要从全局到局部,有时需要从细节到全貌,也有

时是上面多种方法的组合,即从各侧面对事物进行了解,然后进行综合、推理,之后,对不甚了解的部分再进行分析判断。总之,根据需要从不同侧面、不同角度反复对事物分层次、有目的地进行了解、分析、综合、推理,最后得出事物本质的属性和结论。

在不确定知识大量存在于现实世界中、知识不完备的情况下,人脑可以相应作出比计算机快且精确得多的判断。基于传统知识处理方法的系统,在对认知领域有足够完备、清晰认识的基础上,可以很好地工作,但一旦所给信息缺损、或模糊化,则其认知能力会急剧降低。这是因为传统的“硬”分析方法只能在给定的匹配模式下工作,对环境的适应能力较差,传统的“硬”知识处理方法不适合处理不确定知识,为此必须研究柔性信息处理的理论和技术<sup>[27]</sup>。真实世界的柔性问题具有下列特点:①包含意义不明确或不确定信息的各种复杂情况的集成;②主动获取必要的信息和知识,通过归纳学习范化知识;③系统能适应用户和环境的变化;④根据处理对象系统进行自组织;⑤容错处理能力。

CBR 以其独特的推理方式和成功的应用,引起了人工智能界的广泛关注。CBR 是基于知识的系统的方法,CBR 按照案例重用的思维进行推理,从而辅助决策。对于历史的结果进行重用,而不是再次从头推导,可以提高问题求解的效率;可以利用过去的成功与失败的经验指导问题求解;还可以通过对历史案例知识的挖掘,获取蕴涵于历史案例库中的丰富经验知识,从而避免从专家那里获取不完全、不确定的知识。

CBR 能够在知识难以获取并且已积累了丰富案例的诸多复杂领域中,如医疗诊断、法律、设计、气象、软件工程等领域得到成功的应用<sup>[28]</sup>,主要是它的固有的特性——柔性,这一直是一个主要的研究热点<sup>[29]</sup>。由于 CBR 系统对应用领域没有特殊的要求,只要新问题与原有的问题很相似,并且能够搜索到该问题,CBR 就可以获得很好的应用。有关 CBR 是一种方法学的观点预示着 CBR 是一个混合系统:“很清楚 CBR 是建造基于知识系统的普遍的方法学,而不是只能解决某一特定任务的孤立的技术”。

CBR 作为智能系统中一种较新的推理方法,案例库和推理机是其两个极其重要的组成部分,系统以案例作为智能系统中知识表达的基本单元,并构造智能系统中的知识库——案例库;CBR 推理机——基于案例库存储的案例检索。由于计算机的记忆特性,故用 CBR 可以方便、快捷地得到求解问题的方法或提示;另一方面,人类在遇到新问题时,不仅仅是简单地照搬经验或需要最优解,多数情况下需要的是满意解、可行性提示或启发信息。因此,基于案例的决策是决策者认知心理的决策过程的一个合理描述,是提供了一种实现决策过程的现实环境和决策技术。

案例决策技术中的知识表示以案例表示为核心,主要的任务是确定适当的案例特征,包括领域专有名词的定義和专家藉以解决问题的代表性案例的收集<sup>[25,26]</sup>。就最简单的形式来说,案例就是能导致特定结果的一系列特征属性的集合,例如病历及其诊断情况、菜谱及其调配方案等。就最复杂的形式而言,案例就是形成问题求解结构的子案例的关联集合,如:一架飞机和一个电路的设计由许多子设计组成,一座城市的规划和每一个城区的建设布局等,整个问题的每一组成部分对整个问题的来说可以认为是一个案例。以一种适当的形式

将知识在计算机中表示出来是使机器具有智能的前提和基础,同样,案例表示也是整个 CBR 研究的基础和核心。

决策案例的内容一般有 3 个主要组成部分:①问题或情景描述:案例发生时要解决的问题及周围世界的状态;②解决方案:对问题的解决方案;③结果:执行解决方案后导致的结果(周围世界的新的状态)。问题或情景描述和解决方案是必不可少的部分,任何基于案例的推理系统必须要有,而结果部分在有的系统中没有。由于案例包括了对问题的描述及其求解的情况,因此案例的表示至少应该包含这两个方面,即表示为一个有序对:(问题描述,解描述);如果有对于解的描述,即解的效果情况,所给出的解是否有效等,这样就表示成三元组:(问题描述,解描述,效果描述)。

案例的知识结构必须反映出整个知识系统的体系结构,有关案例表示的研究,实际上就是对人类自身记忆和推理体系的研究。虽然在目前的知识系统中使用了产生式、语义网、框架、面向对象等诸多知识表示方法,但它们在类比学习系统中却显得有些难于胜任了。心理学的研究者们已经在研究记忆的一般理论的基础上,提出了许多记忆模型。比较有代表性和有影响的研究成果包括情景记忆(episodic memory)、语义记忆(semantic memory)、联想记忆(associative memory)和动态记忆理论(dynamic memory)等。如在语义记忆模式中,一个记忆网便是以语义记忆单元为结点、以语义记忆单元间的各种关系为连接建立起来的网络。记忆网是经过知识的长期学习、思考、积累以至逐步完善而形成的;网络建立的过程事实上便是知识的学习过程。知识之间彼此并不是孤立的,而是通过某种内在的因素相互之间紧密地或松散地有机联系而形成的一个统一体系。

由于处理的问题大多是半结构化、非结构化的问题,因此我们有时甚至很难用公理化的方法进行表示。通常对整个领域来说,总结出通用的因果模型是比较困难的;但是对具体的案例而言,归纳出局部的因果模型却是比较容易的,因此可依据案例知识来指导解决实际工作中遇到的新问题。因而基于案例推理特别适用于领域定理难以表示成规则形式,而易表示成案例形式并且已积累了丰富案例的领域。由于类比是人类思维的创造能力的体现,对 CBR 系统多方位的探索研究与实践,可望为人类思维的研究与模拟提供线索和前进的动力。

#### 4 案例决策支持系统

20 世纪 60 年代初,H. A. Simon 教授提出了一套管理决策的基础理论,推动了决策科学方法的应用与研究。70 年代初,美国的 Gerrity, Scott Morton 和 Keen 等人在此基础上提出了决策支持系统 DSS(Decision Support System)的基本概念,强调这种系统对决策过程的积极辅助作用;不仅弥补了一般管理信息系统 MIS(Management Information System)效益不明显的缺陷,而且将计算机在信息处理中的应用推向了一个新的阶段,引起了计算机界和管理界广泛的兴趣和重视<sup>[30]</sup>。

随着应用的发展,决策过程中出现的信息越来越多,也越来越复杂,原先决策支持系统单纯的数值分析方法远远不能满足决策者的需求。在这种情况下,Bonczek 等人在 20 世纪 80 年代初期提出智能决策支持系统 IDSS(Intelligent DSS)思想,将人工智能中的专家系统和知识处理等方法引入决策支

持中,分别发挥了 DSS 数值分析与人工智能符号处理的特点。通常认为,智能决策支持系统就是在决策中运用人工智能技术,模拟人的思维方法和决策过程,以专家的决策过程作为模型,提炼专家的决策经验作为启发式规则,在决策阶段的全过程为决策者提供更加有效的支持。知识推理是智能决策支持系统的核心,即由所获取的信息通过数据分析、推理,从而产生合理的决策规则,形成有用知识的过程。

自 20 世纪 80 年代初,DSS 演变为 IDSS 以来,人工智能技术、专家系统技术、数据库技术和 Internet/Intranet 技术的发展为智能决策支持系统提供了强大的技术支持;由此产生出四大代表性的决策支持技术工具,即数据仓库(data warehouses)、联机分析(on-line analytical processing)、数据挖掘(data mining)、互联网决策系统(Web-based DSS),它们对智能决策支持系统的演变、发展产生了极大的影响<sup>[31]</sup>。20 多年来,国内外在智能决策支持系统研究和应用方面取得了不少成果,但始终难有大的突破。究其原因,除缺乏应用领域的需求动力外,脆弱性和知识获取困难是大多数智能决策支持系统难以开发应用的主要原因。如何增强系统的柔性,是 IDSS 研究与开发的当务之急。

智能决策支持系统的柔性表现为易修改性、适应性、求解灵活性、可扩充性等几个相互联系的方面<sup>[32-35]</sup>。(1)运行柔性:智能决策支持系统的运行求解过程和一般的软件系统相比,要求有更好的“弹性”。首先,系统要支持多种问题求解方式、知识处理的方法、数学建模的方法、数据挖掘的方法等;其次,系统要支持灵活地组织这些求解方法;另外,这样的运行过程允许用户进行干预;最后,系统的运行逻辑应具有某种程度的动态可修改性。(2)结构柔性:数据的多样性和运行方式的多样性是智能决策支持系统的特征,多样的数据组织和运行方式被组织在同一系统框架中,而这种结构又总是面临多变的要求,这就要求系统在结构上具有灵活的特点。多年来,“集成”一直是智能决策支持系统的研究重点,其要解决的主要问题,正是建立一种这样的组织结构。(3)界面柔性:智能决策支持系统不仅强调交互而且强调交互的灵活性。由于决策系统灵活多变的特点,用户不仅需要界面的丰富多样,而且需要界面具有某种可组织性,可以无需编程定义输入、输出的形式。(4)开放性:智能决策支持系统不仅要求人机界面灵活多样,而且对于智能决策支持系统和其他系统接口也有类似的要求。

人类思维并不只是简单的形式,复杂问题的决策过程也决非是简单的规则形式。上述智能决策支持系统的柔性特征,涉及到智能决策支持系统的所有问题的主体方面,是智能决策支持系统可否有效地提供决策支持的核心问题,也是设计智能决策支持系统中面临的首要问题。案例决策技术是决策者认知心理的决策过程的一个合理描述,它提供了一种实现智能系统及决策的现实环境和技术方法。以 CBR 技术为核心的案例智能系统,能够有机地实现人类思维的模拟。因此以 CBR 技术为依托的多种综合推理技术集成,成为智能决策支持系统的新的发展方向。

案例决策支持系统是在 CBR 的基础上发展起来的,它可以用于许多决策领域,其功能取决于它所应用的领域和所积累的案例知识,系统的有效性则取决于案例的抽取、案例表示、案例检索、案例修正、案例系统的维护等。用于实现决策

支持的案例要记录现实环境中已经发生过的决策、在一定决策环境中所产生的决策后果,以及对整个决策过程的评估。

图1所示即为案例决策支持系统,其中案例库存放有关的决策案例,案例库管理系统完成案例存储、特征的抽取、案例的索引、案例的学习和维护等;模型库系统管理能支持该领域决策的模型;知识库存储专家经验和以规则形式表示的有关知识、案例推理中的相关知识等,其管理系统则完成维护功能;基于案例的推理系统完成基于案例的推理过程;其它部分与一般的决策支持系统的相应部分相同。

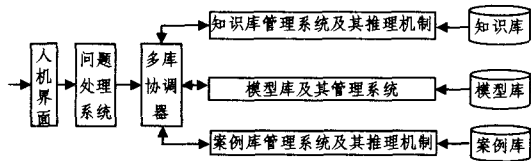


图1 案例决策支持系统的体系结构

在案例决策支持系统中,决策用户扮演着重要的角色,解决那些机器很难解决的问题。决策用户主要利用自己的心智完成以下任务:(a)在相关算法辅助下,抽取当前问题(或子问题)的主要特征;(b)将基案例解适配到当前问题环境中,形成解建议;(c)在计算机的辅助下分析案例匹配失败的原因;(d)建立收集信息的学习目标;(e)根据收集到的知识和启发信息分解当前子问题;(f)集成所有子问题的解,形成问题的最终解答。

用户的接受度是决策支持系统的生命力。一般而言,如果用户不接受其结果,没有任何系统可以说是成功的。用户能否接受系统的结论,往往是依据系统得出结论的推理过程是否合理。而有些方法是没有逻辑可言的,如神经网络,系统通过输入得出的结论是难以解释的;即便是基于规则的系统,要解释从众多规则推理出的结论,也几乎不大可能;即使能够解释,由于推理过程过于复杂,用户也难以理解接受。而案例决策支持系统根据过去实际发生的经验得出的结论,符合人类的思维习惯,易为用户所接受,其合理性为人们所广泛接受。

## 5 案例决策支持系统的研究发展

案例智能技术的显著优点有:信息的完全表达,增量式学习,形象思维的准确模拟,知识获取较为容易,求解效率高等。它的最大优点在于动态知识库,即通过增量学习而不断增加知识的案例库。然而,CBR中也存在一些问题,主要体现在以下几个方面:

①CBR系统的固有缺陷是新问题求解的质量,主要取决于相似案例检索和案例改写,如何快速地检索到一个最相似的案例和如何改写案例是CBR的关键技术。

②CBR对噪音数据较为敏感,错误数据及冗余数据容易影响系统检索效率和求解效果。

③深层、表层背景知识缺乏与案例所表示的特殊知识相互集成;案例工程过程的自动化程度不够,即缺乏案例知识的自动生成。

④CBR系统需要保持和管理一组数量较大的案例,时间和空间的复杂性都是必须仔细考虑的问题,否则有可能导致“沼泽问题”现象的出现。

从而需要研究可以弥补上述问题的技术,来不断完善案

例决策支持系统。例如,在推理过程中,可以采用一个比较可行的方案:容易形式化的部分,交由规则推理处理;对于形象化的描述以及难以结构化描述,甚至是病态结构的问题,用案例推理来完成。利用因果模型推理来提高系统的透明度以及可理解性,使推理的结论更加可信;同时,因果模型可以有效地提示问题中的不完备信息及案例库有关知识片段,帮助用户决策。

因此应研究各种推理技术集成,综合多种人工智能技术,充分运用多层次知识,来提高决策支持系统的性能。

### (1) 基于多Agent技术的案例决策支持系统

Agent是近年来计算机科学和人工智能领域中的一个重要概念,多Agent系统由一组具有一定资源和能力、相对独立且相互作用的Agent组成。机器学习有两个主要目的:一是理解和模拟人类的学习行为,二是使知识获取的自动化水平不断提高。多Agent协同支持工作原理为IDSS的数据获取、辅助建模和交互模式展现出新的前景;同时,面向Agent的编程方法也为新一代IDSS的构成与软集成提供了实现基础。

Agent的智能性表现为能够对复杂性问题进行求解,并能自主地适应环境的变化,通过不断地学习来提高自己的能力;从程序的观点来看,可以认为Agent就是一段能够在一定程度上模拟人类行为和关系、具有一定智能并能自主运行和提供相关服务的程序。针对不同的具体任务,人们构造出了各种不同种类的Agent来满足需要,这些Agent通过交互解决超过单个Agent的能力的问题。多Agent系统是一个松散耦合的Agent网络,是通过Agent之间的合作来完成任务求解的,主要内容为并发的Agent的构造、协调、协作等问题。

对于MAS而言,关键问题是如何实现自主Agent之间的灵活复杂的交互。目前,针对各种应用领域,出现了各式各样的Agent,在复杂系统的开发和实现中起到的作用越来越重要<sup>[36]</sup>。MAS技术和网络技术为建立IDSS提供了新的途径,Agent技术使建立一个实现网络化、智能化、集成化的人机协调的决策支持系统成为现实。

传统的CBR系统在求解问题时,案例库中的案例一般都处于被动的等待被检索的状态,缺乏主动根据新问题的环境来自我调整案例自身的知识结构而主动求解的能力;这种被动特性使得案例检索具有一定的盲目性,增大了计算量,降低了检索的效率。我们常常采用建立相应的索引和案例组织形式来存储案例,而固定的索引组织方式不能满足动态变化的需求;若采用动态索引组织方式,则会大大增加系统的开销与复杂度。为此,可以将Agent技术用于CBR系统之中,将案例转换为能主动为用户服务的、自主运行的智能体,该智能体具有知识、目标和能力;这样可以减少CBR系统检索的盲目性,提高案例检索与推理的效率。

### (2) 案例决策支持系统中的数据挖掘技术

虽然案例推理比传统专家系统较为容易地获取知识,但案例决策支持系统也存在一定程度的知识获取瓶颈问题,如案例、修正知识、相似性评估等知识的获取问题,无疑CBR中的知识获取瓶颈问题也影响了案例决策支持系统的性能。通过在案例推理中引入数据挖掘技术,针对案例决策支持系统中的多种数据源进行数据挖掘,来提高知识获取的自动化程度,提高系统的性能,加快智能系统的开发周期。数据挖掘的目标就是在大量的数据中找出许多人们难以发现的模式,而

这些隐含的模式恰恰是案例推理系统所需要的各种知识,所以丰富的数据就保证了数据挖掘技术在案例决策支持系统有着较大的应用价值<sup>[16]</sup>。

在案例决策支持系统中使用数据挖掘技术主要包括:1)在数据库上挖掘出构建案例系统所需要的各种知识,主要有:①从数据库中建立案例一级知识结构;②从数据库中建立案例库的组织结构;③从数据库中更新案例知识的结构等。2)在案例库上进行知识发现,称为 KDC(Knowledge Discovery in Case base)<sup>[3]</sup>,主要功能有:①从案例库中发现相似案例的修正知识;②从案例库中挖掘出一般性的泛化知识,以充实到知识库中;③从案例库中发现冗余案例知识,以实时维护案例库。

### (3) 案例决策支持系统中的分形技术

分形理论是现代非线性科学研究中十分活跃的一个数学分支。它自提出以来,就得到了快速发展,现在应用范围已十分广泛。虽然分形理论最初的提出是为了研究自然界和非线性系统中的一些非规则的几何形体,然而随着它的发展,其中的一些基本思想和观点已经形成了一种方法论,用于指导人们解决实际应用中一些看似混沌、无规律、复杂的问题。案例决策支持系统无论是它的结构、还是信息的获取和分析以及最终的决策都具有一定的复杂性,是一个复杂的系统,因此研究案例决策支持系统中的分形技术具有重要意义<sup>[36]</sup>。案例决策支持系统中的分形技术的应用主要表现为:①决策案例库中分形维数的计算;②决策案例库高维数据的约简;③决策案例库中的分形聚类技术;④分形时间序列决策案例库分析等。

### (4) 案例决策支持系统中的群体智能技术

群体智能通过对自然界生命现象的模拟,在不同层次上揭示生命现象和进化规律,利用群体的优势,在没有集中控制、不提供全局模型的前提下,为寻找复杂问题的解决方案提供了新的思路<sup>[28]</sup>。群体智能包括典型的蚂蚁群优化算法、粒子群优化算法、群体机器人以及相应算法。目前对群体智能系统底层机制的研究还没有获得深入的进展。案例决策支持系统随着数据量的增加,日益成为复杂系统,其中多案例库系统之间的协调机制、融合机制、决策机制是群体智能应用的着力之处。

**结束语** 本文试图从案例的内在逻辑以及智能特性,来探讨案例推理作为决策技术的合理性,并在决策过程中利用以往决策案例来提高决策效率和性能。文中还探讨了以案例智能技术为基础的智能决策支持系统,系统具有高度的柔性,给出了案例决策支持系统的一般架构,最后讨论了新型案例决策支持系统的发展趋势。总之,未来的案例决策支持技术可以结合多种技术,以组件形式实现多个设定的技术目标。此外,集成人的智能和机器的智能,使用多种人工智能技术,并结合案例推理、规则推理、因果模型推理、不确定推理等技术,从而使得未来案例决策技术和案例决策支持系统具有以下优点:①具有快速反映环境变化的灵活性,对不同决策方式具有较高的适应性。②实现了多案例经验集成,提高了系统推理的柔性。③实现了人机智能结合,具有主动的目标学习机制。④提高了决策结论的可信度和可解释性。

## 参考文献

[1] 黄梯云. 智能决策支持系统[M]. 北京:电子工业出版社,2001

- [2] 杨善林,倪志伟. 机器学习与智能决策支持系统[M]. 北京:科学出版社,2004
- [3] 杨善林. 智能决策方法与智能决策支持系统[M]. 北京:科学出版社,2005
- [4] Bramer M A. Knowledge Discovery and Data Mining[M]. London: The Institution of Electrical Engineers, 1999
- [5] 周生炳,戴汝为. 基于标记逻辑的非单调推理[J]. 计算机学报, 1995, 18(6): 641-656
- [6] Raymond T. Logics for Artificial Intelligence[M]. Ellis Horwood Limited, 1984
- [7] 莫绍揆. 数理逻辑概貌[M]. 北京:科学技术文献出版社, 1989
- [8] 何华灿,王华,刘永怀,等. 泛逻辑学原理[M]. 北京:科学出版社, 2001
- [9] 史忠植. 高级人工智能(第2版)[M]. 北京:科学出版社, 2006
- [10] 林作铨,石纯一. 非单调推理十年进展[J]. 计算机科学, 1990, 17(6): 15-31
- [11] 伊波,徐家福. 类比推理综述[J]. 计算机科学, 1991, 18(1): 1-8
- [12] 李英华,叶天荣,张虹霞. 计算机非传统推理导论[M]. 北京:宇航出版社, 1992
- [13] 刘瑞胜,刘叙华. 非单调推理的研究现状[J]. 计算机科学, 1995, 22(4): 14-17
- [14] 李未. 开放逻辑—一个刻画知识增长和更新的逻辑理论[J]. 计算机科学, 1992, 19(4): 1-8
- [15] 金芝,胡守仁. 限制推理及其应用[J]. 计算机科学, 1990, 17(6): 42-46
- [16] 倪志伟. 范例推理及其数据挖掘的研究[D]. 中国科学技术大学, 2002
- [17] Ryszard S M, et al. Machine Learning and Data Mining: Methods and Applications[M]. 朱明,等译. 北京:电子工业出版社, 2004
- [18] Mitchell T M. Machine Learning[M]. 北京:机械工业出版社, 2003
- [19] Montani S, Portinale L. Case Based Representation and Retrieve with Time Dependant Features[C] // International Conference on Cased-Based Reasoning 2005. Springer Berlin, 2005: 353-367
- [20] Watson, Ian. CBR is a methodology not a technology[J]. Research & Development in Expert Systems XV, 1998: 213-223
- [21] Aha D W, Watson I. Case-based reasoning research and development[C] // International Conference on Cased-based Reasoning 2001. Berlin: Springer 2001
- [22] Huang C-C, Tseng T-L. Rough set approach to case-based reasoning Application [J]. Expert Systems with Applications, 2004, 26(3): 369-385
- [23] Davies J, Goel A K, Nersessian N J. Transfer in Visual Case-Based Problem Solving[C] // International Conference on Case-Based Reasoning 2005. Berlin: Springer, 2005: 163-176
- [24] Aha D W, Breslow L A. Conversational case - based reasoning [J]. Applied Intelligence, 2001, 14
- [25] Gavin F, Sun Zhaohao. Similarity and metrics in case-based reasoning [J]. INT J INTELL SYST, 2002, 17(3): 273-287
- [26] Armengol E, Plaza E. Similarity assessment for relational CBR [C] // International Conference on Cased-Based Reasoning 2001. Berlin: Springer, 2001: 44-58
- [27] 王迪兴. 准全息系统论与智能计算机[M]. 北京:长征出版社, 2004
- [28] 李锋刚. 基于优化型案例推理的智能决策技术研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2007



下面计算式(25)中函数  $f(x)$  的一阶导数。经推演可得:

$$f'(x) = \frac{\beta_2(1 + \frac{\sigma}{n_1\alpha_1}(1-\beta_1)B - \beta_1 + \beta_1(1 + \frac{\sigma}{n_1\alpha_1}\beta_2x)^2)}{(1 + \frac{\sigma}{n_1\alpha_1}\beta_2x)^2} \quad (28)$$

于是可得:

$$f'(0) = \beta_2(1 + \frac{\sigma}{n_1\alpha_1}(1-\beta_1)B)$$

再由式(27)可知,  $f'(0) > 1$ 。另一方面, 将式(28)加以变换, 可得:

$$f'(x) = \frac{\frac{\beta_2 - \beta_1}{1 - \beta_1} + \frac{\sigma}{n_1\alpha_1}\beta_2B}{(1 + \frac{\sigma}{n_1\alpha_1}\beta_2x)^2}(1 - \beta_1) + \beta_1 \quad (29)$$

很明显, 当  $x=B$  时, 式(29)右端第一项关于  $(1-\beta_1)$  的系数小于 1, 故当  $0 < \beta_1 < 1$  时,  $f'(B) < 1$ 。

因此, 存在  $0 < B_c < B$ , 使得  $f'(B_c) = 1$ 。由此可知,  $f'(x)$  为单调递减函数, 从而  $f(x)$  为上凸函数。易于证明:  $0 < B_c < B_f < B$ 。并且, 当  $0 < x < B_f$  时,  $x < f(x) < B_f$ ; 当  $x > B_f$  时,  $B_f < f(x) < x$ 。综上可知, 若  $0 < W_2(0) < B_f$  时,  $W_2(k)$  单调递增, 且  $W_2(k) < B_f$ , 从而  $W_2(k)$  收敛到  $B_f$ ; 若  $W_2(0) > B_f$ ,  $W_2(k)$  单调递减, 且  $W_2(k) > B_f$ , 从而  $W_2(k)$  收敛到  $B_f$ 。结论是  $W_2(k)$  收敛到  $B_f$ 。

$W_1(k)$  的稳态解  $\lim_{k \rightarrow \infty} W_1(k) = W_{1s}$ , 可由:

$$W_{1s} + W_{2s} = B$$

而求得, 即为:

$$W_{1s} = \frac{n_1\alpha_1}{(1-\beta_1)\sigma}(\frac{1}{\beta_2} - 1) \quad (30)$$

#### 4 仿真实验

我们利用网络仿真软件 NS2 系统<sup>[8]</sup>, 验证本文分析方法的合理性。实验采用单瓶颈网络拓扑, 各数据流往返传播延迟为 200ms, 数据包大小为 1000 字节。AIMD 数据流参数设置为:  $\alpha_1 = 1, \beta_1 = 0.5$ , MIMD 数据流参数设置为:  $\alpha_2 = 1.01, \beta_2 = 0.8$ 。

仿真实验中瓶颈带宽为 100Mbps, 3 个 FTP 数据流采用 AIMD 算法, 3 个 FTP 数据流采用 MIMD 算法。根据上述理论分析, 采用 AIMD 数据流的稳态窗口大小为 50 个数据包。图 1 显示了两类数据流窗口的变化情况。进一步, 将瓶颈带宽增大到 200Mbps, 5 个 FTP 数据流采用 AIMD 算法, 5 个 FTP 数据流采用 MIMD 算法, 图 2 显示了两类数据流拥塞窗

口的变化情况。可见, 仿真结果与理论分析是一致的。

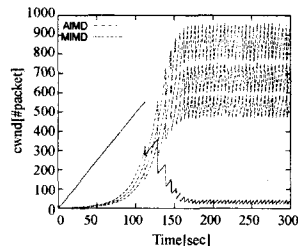


图 1 稳态时拥塞窗口的变化情况

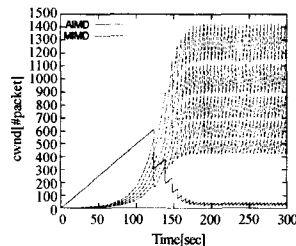


图 2 稳态时拥塞窗口的变化情况

**结束语** 本文对二值同步反馈拥塞控制系统在 AIMD 和 MIMD 源算法共同作用下进行了动力学分析, 以揭示不同用户群配置上述两种源算法时的资源竞争问题。本文的分析指出, AIMD 算法对低速网络和用户的公平性有利, 而 MIMD 算法对高 BDP 网络用户的资源竞争十分有利。

#### 参考文献

- [1] Low S H, Paganini F, Doyle J C. Internet Congestion Control [J]. IEEE Control Systems Magazine, 2002, 32(1): 28-43
- [2] Jain R. Congestion Control in Computer Networks: Issues and Trends [J]. IEEE Network Magazine, 1999, 4(3): 24-30
- [3] Chiu D M, Jain R. Analysis of the Increase and Decrease Algorithms for Congestions Avoidance in Computer Networks [J]. Journal of Computer Networks and ISDN Systems, 1989, 17(1): 1-14
- [4] Altman E, Avrachenkov K E, Prabhu B J. Fairness in MIMD Congestion Control Algorithms [C] // Proc. of the 24th Conference on Computer Communications, vol. 2, Miami, Piscataway: IEEE Press, 2005: 1350-1361
- [5] Kelly T. Scalable TCP: improving performance in highspeed wide area networks [J]. SIGCOMM Computer Communication Review, 2003, 33(2): 83-91
- [6] Altman E, Avrachenkov K, Barakat C, et al. Analysis of MIMD congestion control algorithm for high speed networks [J]. Computer Networks, 2005, 48(6): 972-989
- [7] Ramakrishnan K, Floyd S, Black D. The Addition of Explicit Congestion Notification (ECN) to IP [S]. RFC 3168, September 2001
- [8] The network simulator ns-2. 30. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>

(上接第 23 页)

- [29] Zan Mo, Shan Feng, Chao Tang. A Study on Integrated Model of Decision Support Systems [J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2002, 11(3): 62-66
- [30] 高洪深. 决策支持系统 (DSS): 理论、方法、案例 (第二版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000
- [31] Shim J P. Past, present, and future of decision support technology [J]. Decision Support Systems, 2002, 33(2)
- [32] 张建华, 刘仲英. 案例推理与规则推理结合的紧急预案信息系统 [J]. 同济大学学报, 2002, 30(7)

- [33] 王知行, 等. 知识管理系统中的 CBR 技术及其应用 [J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(7)
- [34] Ozbayak M, Bell R. A knowledge-based decision support system for the management of parts and tools in FMS [J]. Decision Support System, 2003, 35(4)
- [35] 徐晓臻, 高国安. 案例推理在多准则评价智能决策支持系统中的应用研究 [J]. 计算机集成制造系统, 2001, 7(1)
- [36] 倪志伟, 李锋刚, 毛雪岷. 智能管理技术与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2007