

粗糙集理论及进展的研究

纪 滨

(安徽工业大学 计算机学院, 安徽 马鞍山 243002)

摘 要:粗糙集理论是一种较新的软计算方法,是分析和处理不完备信息的一种有效工具。目前已在人工智能、知识与数据发现、模式识别与分类、故障检测等方面得到了广泛应用。文中描述了粗糙集的基本理论,分析了粗糙集理论研究的最新进展,指出了粗糙集理论研究中存在的问题,并对粗糙集理论研究的发展趋势进行了展望。

关键词:粗糙集;知识发现;属性约简;规则提取;数据挖掘

中图分类号:TP301.6;TP18

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2007)03-0069-04

Research on Rough Set Theory and Its Progress on Applications

Ji Bin

(School of Computer Science, Anhui University of Technology, Maanshan 243002, China)

Abstract: Rough set theory is a relatively new computing method and tool to analyze and deal with vagueness and uncertainty effectively. It has been widely used in the area of AI, data mining, pattern recognition, fault diagnostics etc. The basic rough set theory is described. Recent studies and the existing problems of rough set theory are analyzed. Future research directions are predicted.

Key words: rough set; knowledge discovery; attribute reduction; rule abstraction; data mining

0 前 言

粗糙集(RS)理论是一种刻画不完整性和不确定性的数学工具,能有效分析和处理不精确、不一致和不完整等各种不完备信息,并从中发现隐含的知识,揭示潜在的规律。1982年,以波兰数学家 Pawlak 为代表的研究者首次提出了粗糙集理论,并于1991年出版第一本关于粗糙集的专著^[1],接着1992年 Slowinski R 主编论文集^[2]的出版,推动了国际上对粗糙集理论与应用的深入研究。1992年在波兰 Kiekrz 召开了第一届国际粗糙集合研讨会。这次会议着重讨论了集合近似定义的基本思想及其应用和粗糙集合环境下的机器学习基础研究,从此每年都会召开一次以粗糙集理论为主题的国际研讨会,从而推动了粗糙集理论的拓展和应用。我国 RS 研究起步较晚,所能搜索到的最早发表的论文时间是1990年^[3],直到1998年由曾黄麟^[4]编著了国内最早的 RS 专著。目前粗糙集理论已成为国内外人工智能领域中一个较新的学术热点,引起了越来越多科研人员的关注。

1 粗糙集的基本理论

1.1 粗糙集理论的特点

1) RS不需要先验知识。模糊集和概率统计方法是处理不确定信息的常用方法,但这些方法需要一些数据的附加信息或先验知识,如模糊隶属函数和概率分布等,这些信息有时并不容易得到。RS分析方法仅利用数据本身提供的信息,无需任何先验知识。

2) RS是一个强大的数据分析工具。它能表达和处理不完备信息;能在保留关键信息的前提下对数据进行化简并求得知识的最小表达;能识别并评估数据之间的依赖关系,揭示出概念简单的模式;能从经验数据中获取易于证实的规则知识,特别适于智能控制。

3) RS与模糊集分别刻画了不完备信息的两个方面^[1]:RS以不可分辨关系为基础,侧重分类;模糊集基于元素对集合隶属程度的不同,强调集合本身的含混性。从RS的观点看,粗糙集合不能清晰定义的原因是缺乏足够的论域知识,但可以用一对清晰集合逼近。有关RS和模糊集内在联系的阐述及模糊粗糙集的概念,请参见文献[5~7]。RS和证据理论也有一些相互交叠之处^[8],在实际应用中可以相互补充。

1.2 粗糙集理论的基本概念

1.2.1 知识与不可分辨关系

在RS理论中,“知识”被认为一种将现实或抽象

收稿日期:2006-07-07

基金项目:安徽省教育厅自然科学基金项目(2006KJ063B)

作者简介:纪 滨(1970-),男,江苏人,讲师,硕士,研究方向为人工智能、信息安全。

的对象进行分类的能力。假定具有关于论域的某种知识,并使用属性及其值来描述论域中的对象。例如:空间物体集合 U 具有“颜色”、“形状”这两种属,“颜色”的属性值取为红、黄、绿,“形状”的属性值取为方、圆、三角形。从离散数学的观点看,“颜色”、“形状”构成了 U 上的一族等效关系。 U 中的物体,按照“颜色”这一等效关系,可以划分为“红色的物体”、“黄色的物体”、“绿色的物体”等集合;按照“形状”这一等效关系,可以划分为“方的物体”、“圆的物体”、“三角形的物体”等集合;按照“颜色+形状”这一合成等效关系,又可以划分为“红色的圆物体”、“黄色的方物体”、“绿色的三角形物体”等集合。如果两个物体同属于“红色的圆物体”这一集合,它们之间是不可分辨关系,因为描述它们的属性都是“红”和“圆”。不可分辨关系的概念是 RS 理论的基石,它揭示出论域知识的颗粒状结构。

1.2.2 粗糙集合的下逼近、上逼近和边界区

给定一个有限的非空集合 U 称为论域, R 为 U 上的一族等效关系。 R 将 U 划分为互不相交的基本等效类,二元对 $K = (U, R)$ 构成一个近似空间。设 X 为 U 的一个子集, α 为 U 中的一个对象, $[\alpha]_R$ 表示所有与 α 不可分辨的对象所组成的集合,即由 α 决定的等效类。当集合 X 能表示成基本等效类组成的并集时,则称集合 X 是可以精确定义的;否则,集合 X 只能通过逼近的方式来刻画。集合 X 关于 R 的下逼近定义为:

$$\underline{R}(X) = \{\alpha \in U \mid [\alpha]_R \subseteq X\} \quad (1)$$

$\underline{R}(X)$ 实际上是由那些根据已有知识判断肯定属于 X 的对象所组成的最大的集合,也称为 X 的正区,记作 $\text{POS}(X)$ 。由根据已有知识判断肯定不属于 X 的对象组成的集合称为 X 的负区,记作 $\text{NEG}(X)$ 。集合 X 关于 R 的上逼近定义为:

$$\overline{R}(X) = \{\alpha \in U \mid [\alpha]_R \cap X \neq \emptyset\} \quad (2)$$

$\overline{R}(X)$ 是由所有与 X 相交非空的等效类 $[\alpha]_R$ 的并集,是那些可能属于 X 的对象组成的最小集合。

显然, $\overline{R}(X) + \text{NEG}(X) = \text{论域 } U$ 。

集合 X 的边界区定义为:

$$\text{BN}(X) = \overline{R}(X) - \underline{R}(X) \quad (3)$$

$\text{BN}(X)$ 为集合 X 的上逼近与下逼近之差。如果 $\text{BN}(X)$ 是空集,则称 X 关于 R 是清晰的;反之如果 $\text{BN}(X)$ 不是空集,则称集合 X 为关于 R 的粗糙集。下逼近、上逼近及边界区等概念刻画了一个不能精确定义的集合的逼近特性。逼近精度定义为:

$$\alpha_R(X) = \frac{|\underline{R}(X)|}{|\overline{R}(X)|} \quad (4)$$

式中 $|\overline{R}(X)|$ 表示集合 $\overline{R}(X)$ 的基数或势,对有限集合来说表示集合中所包含元素的个数。显然, $0 \leq$

$\alpha_R(X) \leq 1$, 如果 $\alpha_R(X) = 1$, 则称集合 X 相对于 R 是清晰的; $\alpha_R(X) < 1$, 则称集合 X 相对于 R 是粗糙的。 $\alpha_R(X)$ 可认为是在等效关系 R 下逼近集合 X 的精度。

1.2.3 决策表、约简与核

RS 理论中应用决策表来描述论域中对象。它是一张二维表格,每一行描述一个对象,每一列描述对象的一种属性。属性分为条件属性和决策属性,论域中的对象根据条件属性的不同,被划分到具有不同决策属性的决策类。对于分类来说,并非所有的条件属性都是必要的,有些是多余的,去除这些属性不会影响原来的分类效果。约简定义为不含多余属性并保证分类正确的最小条件属性集。一个决策表可能同时存在几个约简,这些约简的交集定义为决策表的核,核中的属性是影响分类的重要属性。

从另一个角度看,决策表中每一个对象都蕴含着一条分类规则,决策表实际上也是一组逻辑规则的集合。“约简”和“核”这两个概念很重要,是 RS 方法的精华。RS 理论提供了搜索约简和核的方法。计算约简的复杂性随着决策表的增大呈指数增长,是一个典型的 NP 完全问题,当然实际中没有必要求出所有的约简。引入启发式的搜索方法有助于找到较优的约简,即所含条件属性最少的约简。

2 粗糙集理论研究的最新进展

2.1 可变精度粗糙集的研究

传统粗糙集理论也存在一定的局限性,如它处理的分类必须是完全正确或肯定的、所处理的对象是已知的,且从模型中得到的结论仅适用于这些对象等。这些局限性都限制了它的应用。许多学者从多方面推广了这一模型,其中最主要的是可变精度粗糙集 (VPRS) 模型。在这个模型中,给定一个阈值,当对象所在的等价类在某种程度上包含于集合 X 中时,就认为这个对象属于 X 。这一推广在应用中非常重要,因为实际问题中绝对的包含有时是不必要的。目前,很多学者开始对 VPRS 进行研究,并取得了一定的成绩。Ju-Sheng Mi^[9] 和米据生^[10] 等提出了基于可变精度粗糙集模型的知识约简方法,并给出了基于 VPRS 的 β 下分布约简及 β 上分布约简的概念及其等价定义,从而拓展了传统粗糙集理论的模型,是不协调目标信息系统知识约简的新方法。

2.2 连续属性的离散化处理

粗糙集的数学基础是集合论,难以直接处理连续的属性。而现实决策表中连续属性是普遍存在的,因此,连续属性的离散化是制约粗糙集理论实用化的难点

之一。这个问题一直是人工智能界关注的焦点。连续属性离散化的根本出发点,是在尽量减少决策表信息损失的前提下,得到简化和浓缩的决策表,以使用粗糙理论分析,获得决策所需要的知识。目前国内学者在这方面的研究比较多,提出的方法也比较多,在这方面做出最新研究的学者主要有张建军^[11]、于达仁^[12]等。张建军等提出了基于决策表属性重要性的连续属性离散化算法,该算法可以大大地减少计算量,提高数据离散化的精度;于达仁等针对粗糙集理论应用于电厂与电力系统数据挖掘中存在的连续属性离散化问题,提出了基于模糊聚类的离散化方法。

2.3 不完备信息的处理

不完备信息系统广泛地存在于日常实际数据中(如带有缺失值的数据库、遗产数据库和集成的数据仓库等),而粗糙集理论却只能处理完备的信息系统。为了解决不完备信息的处理问题,以前很多学者都提出了各自不同的方法,这里不再罗列。目前有关该问题的最新研究是如何利用粗糙集理论在不完备信息系统中提取规则集。该方法利用粗糙集理论直接对不完备信息系统进行知识约简,然后根据获得的约简集建立知识层次树,利用规则的支持度阈值 S_0 和置信度阈值 C_0 从知识层次树的压缩搜索空间中提取不完备系统的规则集。这种方法可以保持原始数据和数据挖掘所获得知识的真实性,并且实验结果也表明了该方法的有效性。

2.4 粗糙集理论拓广方面的研究

随着对粗糙集理论研究的深入,其内涵和外延都有了进一步的拓宽和延伸。如奇异粗糙集^[11],基于相异关系的粗糙集理论^[13],基于相似^[14]关系的粗糙集理论,基于相容关系的粗糙集理论^[15]等,这些都是对传统粗糙集理论在一定程度上的扩展和补充。

2.5 粗糙集理论有效算法的研究

目前有关粗糙集有效算法的研究主要集中于规则提取、属性约简和数据挖掘等方面,有关这方面的研究文献很多,另外,除了有效算法的研究以外,还有很多学者直接利用粗糙集在规则提取及数据挖掘方面的优势,运用粗糙集理论解决实际中的问题^[16~26]。

2.6 与神经网络的结合研究

粗糙集和神经网络是数据挖掘问题中最常用的两种技术。因为粗糙集理论对错误判断的决定性机制比较简单,由此产生的决策规则不太稳定而且分类精确性不高;而神经网络有较低的分类错误判断出错率且稳健性比较好,两者的结合可以很好地弥补各自的缺点,因此目前有众多学者在该方面提出了各自不同的见解。如 Renpu Li 等^[27]利用粗糙集和神经网络设计

的分类挖掘系统,该系统利用粗糙集作为神经网络的预处理工具,通过过滤数据库中的冗余数据,粗糙集方法可以极大地缩短网络训练时间并提高它的预测精确性,然后在保持分类精确性的情况下利用神经网络删除数据表中的噪声属性。因此,在该系统中神经网络是主要的知识提取工具,而粗糙集则是作为加速或简化从数据库中挖掘知识过程的一个工具。

2.7 与模糊集的结合研究

粗糙集理论和模糊集理论都是研究信息系统中知识不完善、不精确问题的方法,但粗糙集理论解决问题的出发点是信息系统中知识的不可分辨性,而模糊集理论则关注信息系统中知识的模糊性,两者在处理方法上各有特色。两者的结合可以更好地解决信息系统中不完善、不精确性知识的问题。目前有关这方面的研究主要集中于模糊集的粗糙度概念、模糊集的近似算子以及粗糙集和模糊集的结合建立新模型等。模糊集理论是发展相对较成熟的理论,在许多领域已有不小的成就,它与粗糙集的特点相互补充,将成为新的研究热点。

3 粗糙集理论研究中存在的问题

粗糙集理论是一种有效分析和处理不精确、不一致、不完整等各种不完备信息的工具。虽然目前在有关粗糙集理论及其相关的研究中取得了一些令人瞩目的成果,但是仍然存在一些至今还没有很好解决的问题。

(1)在粗糙集理论中,对错误判断的决定性机制非常简单。因此,由粗糙集产生的决策规则很不稳定而且有较差的分类精确性^[28]。因此为得到精确的决策规则,必须把粗糙集理论和其他数据挖掘方法结合起来。常用的方法是把粗糙集和神经网络及模糊集等软计算方法结合应用。

(2)约简的有效计算问题,如何处理数据中的噪音和丢失值问题,连续属性离散化等。虽然目前在这些方面已经有了一些初步的研究,但是到目前为止还没有找到真正令人满意的方法^[29]。

(3)粗糙集理论所处理的分类必须是完全正确或肯定的,因而它的分类是精确的,亦即只考虑完全“包含”与“不包含”,而没有某种程度上的“包含”与“属于”;另一个方面它所处理的对象是已知的,且从模型中得到的结论仅适用于这些对象。但在实际应用中,往往需要把从小规模对象集中得到的结论应用于大规模对象集上去。因此,这些局限性限制了粗糙集在实际中的应用^[30]。

4 粗糙集理论研究的发展趋势

4.1 大数据集问题的解决

现实中的数据库已经越来越大,如何降低算法的执行效率和复杂度,从众多数据中寻找最有用的数据,是粗糙集理论需要应对的一个挑战。虽然目前这方面已有了一些研究成果,但是还不完善,仍需要进一步研究。

4.2 缺失值处理方法研究

在对样本数据进行处理时,往往会遇到数据丢失的问题,即不完备的信息系统。造成数据丢失的原因很多,如对数据测量的误差、数据处理和数据获取的限制等。由于经典粗糙集理论是基于完备信息系统的,为了使这一理论适合于不完备信息系统的处理,需要采用特定的方法对缺失值进行处理,建立处理不完备信息系统的扩展粗糙集模型。

4.3 高效约简算法探索

属性约简的求解是一个 NP 困难问题,导致该问题的主要原因是属性的组合爆炸。高效的约简算法是粗糙集理论应用于知识发现的基础,要在令人可接受的时间内获得约简的通常做法是基于启发式知识的约简方法。国内外学者在这方面做了大量的研究,但是目前还不存在一种非常有效的方法,因此寻找快速的约简算法及其增量版本这一问题仍是粗糙集理论的研究热点之一。

4.4 多方法融合

由于粗糙集在处理数据时存在一定的缺点,因此有必要把粗糙集和其他不确定方法结合起来。目前比较常用的做法是粗糙集和神经网络及模糊集的结合应用。虽然在这方面已经取得了一定的成绩,但是还有很多难点并没有解决,仍需进一步的研究。

4.5 连续属性的离散化处理

因为粗糙集只能处理离散化的属性,而现实中存在的数据一般具有连续型的属性,因此,连续属性的离散化变得极为重要,已成为制约粗糙集实际应用的一个很大障碍。目前已经有了一些这方面的相关研究,但是这些方法或多或少都存在一定的缺陷,还没有一种比较合理化的方法,因此该问题的研究仍是今后的热点。

5 结束语

粗糙集理论是一种新颖、有效的软科学方法,能够分析和处理不完备信息,其对不确定信息处理的方式及与其他软科学和软计算方法的结合,是人工智能领域的进一步发展方向,其应用中的巨大潜力,必将开拓基于粗糙集诸多实际应用领域的发展空间。但是,粗

糙集理论还处在继续发展之中,正如粗糙集理论的创立人 Pawlak Z 所指出的那样,尚有一些理论上的问题需要解决,而且粗糙集理论及其应用研究在我国还处于发展阶段,还有待于进一步的研究和探讨。但是,我们相信,粗糙集理论仍具有广阔的发展空间,今后将会在更多的实际领域中发挥作用。

参考文献:

- [1] Pawlak Z. Rough Set theoretical Aspects of Reasoning about Data[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [2] Slowinski R. Intelligent Decision Support - handbook of Applications and Advances of the Rough Sets Theory[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1992.
- [3] Liu Q. A Model of Topological Reasoning Expert System With Application To an Expert System for Computer - Aided Diagnosis and Treatment Acupuncture and Moxibustion[C]//The proceedings of 2nd IASTED. Hawaii, USA: [s. n.], 1990.
- [4] 曾黄麟. 粗糙集理论及其应用[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1998.
- [5] Wygralak M. Rough sets and fuzzy sets - some remarks on interrelations[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1989, 9(3): 241 - 243.
- [6] Nanda S. Fuzzy rough sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1992, 45(2): 157 - 160.
- [7] Banerjee M, Pal S K. Roughness of a fuzzy set[J]. Information Sciences, 1996, 93(3, 4): 235 - 246.
- [8] Skowton A. From rough set theory to evidence theory[C]//Advances in the Dempster Shafer Theory of Evidence. New York: John Wiley & Sons Inc, 1994: 193 - 236.
- [9] Ju Shengmi. Approaches to Knowledge Reduction Based on Variable Precision Rough Set model[J]. Information Sciences, 2004(159): 255 - 272.
- [10] 米据生, 吴伟志, 张文修. 基于变精度粗糙集理论的知识约简方法[J]. 系统工程理论与实践, 2004(1): 76 - 82.
- [11] 张建军, 张静波. 一种新的基于粗糙集理论的决策表离散化算法[J]. 西安电子科技大学学报: 自然科学版, 2004, 31(3): 469 - 472.
- [12] 于达仁, 胡清华, 鲍文. 融合粗糙集和模糊聚类的连续数据知识发现[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(6): 205 - 210.
- [13] 郑书富. 奇异粗糙集理论及其研究现状[J]. 三明高等专科学校学报, 2004, 21(2): 8 - 12.
- [14] 曾剑锋, 吴根秀. 基于相异关系的粗糙集理论[J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2004, 28(5): 426 - 430.
- [15] 李钢, 张雪婷. 基于相似关系粗糙集的分解[J]. 计算机工程与应用, 2004(2): 85 - 87.
- [16] 李千目, 戚湧, 张宏, 等. 基于粗糙集神经网络的网络故障诊断新方法[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(10): 696 - 702.

(下转第 76 页)

例指定的动作执行,否则自动生成新案例保存。

2.3 当前分层技术存在的问题

智能体从个体行为到团队行为的四个层次进行学习,为其它团队行为和对抗行为建立新的学习层次也是一个有意义的研究课题。目前的分层学习存在着一个很重要的问题,由于学习的过程是从低级到高级逐步进行,每步学习都是在低一层的基础上进行的,因此当某一层学习产生误差时,误差会通过层之间进行传递,使整个系统出现决策失误。这些问题留待以后的研究中解决。

对于单个智能体,分层学习相对比较简单。整个学习过程分三步进行:首先,训练智能体学会基本技能;然后训练智能体学会在一定的外部环境下选用合适的动作;最后,在模拟真实比赛的环境中,训练智能体在不断改变的外部环境中选取合适的动作。这种学习方法非常有效地解决了单个智能体在未知环境下的学习问题^[5]。相对单个智能体,多智能体在分层学习时存在角色的分工、多智能体之间的协调等一系列问题,实现起来困难得多。虽然多智能体的分层学习在当前的机器人足球中已经有了相当多的应用,但还没有得到很好的实现。

3 结束语

机器人足球领域,具有复杂、动态、实时、不确定性的特点,是机器学习应用的极佳领域。机器人足球赛中的各类机器学习方法已经引起了研究者的广泛关注。鉴于分层技术的重要性,目前各支球队都在积极

地开展对 RoboCup 中机器学习方法,建立了不同的基于分层结构的决策系统,成立了分层学习和多种机器学习技术相结合的机器学习系统,并将这一研究的初步结果应用到各自研制的仿真球队中,取得了不错的效果。

文中结合分层学习和机器学习的技术,设计了一个基于三层模型的决策子系统,使用机器学习的方法对分层后的决策和技能进行了研究与实现,并指出了当前机器人足球多智能体学习中存在的不足,为以后机器人足球研究又增加了一个新的研究课题。

参考文献:

- [1] 童亮,陆际联. 仿真机器人足球学习方法研究综述[J]. 计算机仿真学报,2004,21(6):1-5.
- [2] 赵逢达,孔令富,李贤善. 基于分层结构模型的机器人足球决策系统设计[J]. 哈尔滨工业大学学报,2005,37(7):933-935.
- [3] 杨佩陈,兆乾,陈世福. 机器学习在 RoboCup 中的应用研究[J]. 计算机科学学报,2003,30(6):118-121.
- [4] 李红娜,姚分喜,黄鸿. 分层增强学习在足球机器人比赛中的应用[J]. 计算机仿真学报,2005,22(6):145-147.
- [5] 周浦城,洪炳镨,郭耸. 基于强化学习的多机器人协作[J]. 计算机工程与应用,2005(28):10-13.
- [6] 洪炳镨,薄喜柱,韩学东. 基于人工神经网络的足球机器人分层学习研究[J]. 哈尔滨工业大学计算机工程与应用报,2004,36(7):859-861.
- [7] 柳在鑫,王进戈,王强. 基于 Q 学习与 CBL 结合的机器人足球行为学习研究[J]. 西华大学学报:自然科学版,2005,24(4):58-60.
- [8] 王强,王进戈,柳在鑫. 基于 Q 学习与 CBL 结合的机器人足球行为学习研究[J]. 甘肃科技,2004,20(10):83-85.
- [9] Witlox F, Tindemans H. The Application of Rough Sets Analysis in Activity-based Modeling: Opportunities and Constraints[J]. Expert Systems with Applications, 2004 (27): 585-592.
- [10] Tsumoto S. Mining Diagnostic Rules from Clinical Databases Using Rough Sets and Medical Diagnostic Model[J]. Information Sciences, 2004(162):65-80.
- [11] Li RenPu. Mining Classification Rules Using Rough Sets and Neural Networks[J]. European Journal of Operational Research, 2004(157):439-448.
- [12] Supriya K D, Krishna P R. Clustering Web Transactions Using Rough Approximation[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2004 (148):131-138.
- [13] 胡可云,陆玉昌,石纯一. 粗糙集理论及其应用进展[J]. 清华大学学报:自然科学版,2001,41(1):64-68.
- [14] 蒋良孝,蔡之华,刘钊. 一种基于粗糙集的决策规则挖掘算法[J]. 微型机与应用,2004(3):7-8.
- [15] Li Xiangshen, Han Tongloh. Applying Rough Sets to Market Timing Decisions[J]. Decision Support Systems, 2004 (37): 583-597.
- [16] 肖智,张志恒,黄海生. 粗糙集理论在企业财务危机预测中的应用[J]. 决策参考,2004(3):48-53.
- [17] 吴国芳. 粗糙集理论在房产定价决策中的应用[J]. 技术经济,2004(6):11-13.
- [18] Chun Chehuang, Tzu Liangtseng. Rough Set Approach to Case-based Reasoning Application[J]. Expert Systems with Applications, 2004(26):369-385.
- [19] 刘云忠,宣慧玉,林国玺. 粗糙集理论在我国税收预测中的应用[J]. 系统工程理论与实践,2004(10):98-103.
- [20] 黄沛,李剑. 基于粗糙集的保险风险规则挖掘模型[J]. 系统工程,2002,20(5):34-39.
- [21] 黄沛,李剑. 基于粗糙集理论的续保规则挖掘模型[J]. 上海交通大学学报,2004,38(4):641-645.
- [22] 刘嘉,梁勇勇. 基于粗糙集理论的客户分类规则挖掘模

(上接第 72 页)