

基于粗糙集的决策规则设计算法研究

邓九英^{1,2}, 毛宗源¹, 杜启亮¹, 姜永生²

DENG Jiu-ying^{1,2}, MAO Zong-yuan¹, DU Qi-liang¹, JIANG Yong-sheng²

1. 华南理工大学 自动化科学与工程学院, 广州 510641

2. 广东教育学院 计算机科学系, 广州 510303

1. College of Automatic Science & Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China

2. Department of Computer Science, Guangdong Institution of Education, Guangzhou 510303, China

E-mail: djy1111@126.com

DENG Jiu-ying, MAO Zong-yuan, DU Qi-liang, et al. Study on algorithm of decision rules design based on rough set. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(30): 209-212.

Abstract: In the view of certain decision-rule, an algorithm of decision-rule performance is introduced underlying decision-rules reduction knowledge of rough set. It is designed by approaches related to high-dimension database. By the approach, time of decision-rule generated is cut sharply, and error margin of decision-rule control, compares with practical control, is restricted in small zone.

Key words: certain decision-rule; rules reduction; attribute-value reduction; simplification algorithm

摘要: 从获取确定性决策规则的角度出发, 基于粗糙集对高维知识库的决策规则约减知识, 采用相关方法设计决策规则实现的算法。在不损失信息量的前提下, 使决策规则的表达简单化。使用这种算法生成决策规则的时间大大减少, 与白钨窑实际控制的数据相比, 决策规则控制的误差小于 ± 1 。

关键词: 确定性决策规则; 规则约减; 属性值约减; 简化算法

文章编号: 1002-8331(2007)30-0209-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP301.6

1 引言

Pawlak 在 1982 年提出的粗糙集(Rough Set)理论是一种处理模糊、不精确数据的有效数学工具^[1], 随着 RS 理论的逐步完善, RS 在大数据库的特征提取方面正逐渐显示出威力, 与一些有效的知识获取的传统方法(如: 概率论、信息熵)相比, RS 在高维数据的分析与知识获取方面具有独特的优势^[2]。在 RS 的发展过程中, 科研人员在 RS 的理论补充与完善方面做了大量的工作^[3,4], 并逐步把 RS 应用到实践中进行知识获取与决策控制^[5,6]。

但是, RS 在做大数据库的特征提取时的繁重计算量是制约 RS 广泛应用的主要障碍, 对 RS 的决策规则获取及其实现的软件算法进行简化与设计研究就显得格外重要^[6]。本文把 RS 决策规则简化算法与计算机软件实现算法结合起来, 使用组合关键属性的方法, 设计了决策规则的软件实现算法, 在保持系统的决策规则支持度不削弱的情况下, 大大缩短了软件的运行时间。最后, 用这种优化算法对白钨窑控制系统的实测数据进行分析, 并生成一组决策规则, 再用这组决策规则对白钨窑实施控制, 实验结果与实际控制系统的结果相比误差不超过 ± 1 。

下面从 RS 理论的决策规则简化算法、计算机软件实现的算法设计和算法实施, 以及算法在实际控制系统中试运行的结

果分析等几个方面展开。

2 决策逻辑

设用属性值表来表示的知识称为具有二维表形式的知识表示系统(Knowledge Representation System)。数据表被认为是一种特殊逻辑——决策逻辑的模型, 使用决策逻辑可以从知识表示系统中的有效数据得出结论。

2.1 决策逻辑语言

决策逻辑语言由原子公式组成, 原子公式是由运算符(and, or, not 等)连接一对属性值所形成的复合公式^[7]。

首先, 给出语言中使用的符号及含义为: (1) A —常量属性的集合; (2) $V = \cup V_a$ —属性值的集合, $a \in A$; (3) 前置连接运算符的集合 $\{\sim, \vee, \wedge, \rightarrow, \equiv\}$, 它们分别称为“取非”、“合取”、“析取”、“蕴含”和“等价”。

DL-语言的公式集是满足以下条件的最小集合:

(1) 表示式 (a, v) (简称 a_v) 称作基本(或原子)公式, 它是对任意 $a \in A$ 和 $v \in V_a$ 都成立的 DL-语言公式。

(2) 如果 ϕ 和 ψ 是 DL-语言的公式, 那么 $\sim\phi$ 、 $(\phi \vee \psi)$ 、 $(\phi \wedge \psi)$ 、 $(\phi \rightarrow \psi)$ 和 $(\phi \equiv \psi)$ 也是 DL-语言的公式。

对象 $x \in U$ 满足 $S = (U, A)$ 中的公式 ϕ , 可用符号表示: $x \models$

作者简介: 邓九英, 女, 副教授, 目前研究方向: 智能控制、数据挖掘技术、仿真技术; 毛宗源, 男, 教授, 博士生导师, 目前研究方向: 现代控制理论及应用、电力电子技术; 杜启亮, 男, 博士生, 目前研究方向: 人工智能与模式识别、电力电子技术; 姜永生, 男, 讲师, 目前研究方向: 智能计算技术、数据库与数据挖掘技术。

ϕ , 或者简写为: $x|\phi$ 。如果 ϕ 是一个公式, 那么集合 $|\phi|_S$ 定义为 S 中公式 ϕ 的具体含义:

$$|\phi|_S = \{x \in U : x|\phi\}$$

2.2 约减的决策逻辑

设 $P \subseteq A$, ϕ 为 P -公式, $x \in U$ 。如果 $x|\phi$, 那么 ϕ 被称为 x 在 S 中的 P -描述。所有 A 满足知识表示系统 $S=(U, A)$ 的基本公式集合称作 S 中的基本知识。公式 $\sum_S(P)$ (或简称 $\Sigma(P)$) 是所有 S 中 P -公式的合取; 如果 $P=A$, 那么 $\Sigma(A)$ 就称为 KR-系统 $S=(U, A)$ 的特征公式。

给出 DL-逻辑的特性为:

- (1) $(a, v) \wedge (a, u) \equiv 0$, 对任意 $a \in A, v, u \in V$ 和 $v \neq u$ 都成立;
- (2) $\bigvee_{v \in V} (v, a) \equiv 1$, 对所有 $a \in A$ 都成立;
- (3) $\sim(a, v) \equiv \bigvee_{(u \in V, u \neq v)} (a, u)$, 对所有 $a \in A$ 都成立。

命题 1 $|\Sigma_S(P)|_S \equiv 1$, 对任意 $P \subseteq A$ 。

定义 1 公式 ϕ 可由公式集合 Ω 中导出, 记作 $\Omega \vdash \phi$ 。表明, 当且仅当用有限次的推理规则可从 Ω 的公式与定理中导出。

定义 2 公式 ϕ 是 DL-逻辑的公理式, 用符号 $\vdash \phi$ 表示。当它能仅从原子式中导出时成立。

定义 3 当且仅当在 Ω 中, $\phi \wedge \sim \phi = \text{False}$, 那么公式集 Ω 是一致的。

设 $P \subseteq A$ 是属性子集, ϕ 是 KR-语言公式; 当且仅当 ϕ 为 0 或 1, 或者 ϕ 为 S 中非空 P -公式的合取, 则 ϕ 是 S 中的一个 P -范式。(如果 $|\phi| \neq 0$, 则公式 ϕ 为非空)

命题 2 设 ϕ 是 DL-语言中的公式, P 包含 ϕ 中所有的属性, 并且有特性(1)-(3)和公式 $\Sigma_S(A)$; 那么, 在 P 范式中会有公式 ψ 使得 $\vdash \phi \equiv \psi$ 成立。

3 决策规则的约减 (Reduction of Decision Rules)

3.1 决策规则的形成

某蕴含式 $\phi \rightarrow \psi$ 称为 KR-语言中的决策规则, ϕ 和 ψ 就分别定义为 $\phi \rightarrow \psi$ 式的前件和后件。如果决策规则在 S 中为真, 那么决策规则在 S 中是一致的; 否则, 决策规则在 S 中是不一致的。

定义 4 如果 $\phi \rightarrow \psi$ 是决策规则, ϕ 和 ψ 分别是 P -基本公式和 Q -基本公式, 那么决策规则 $\phi \rightarrow \psi$ 就称作 PQ -基本决策规则 (简称 PQ -规则), 或者, 当 PQ 已知时, 称作基本规则。

定义 5 如果 $\phi_1 \rightarrow \psi, \phi_2 \rightarrow \psi, \dots, \phi_n \rightarrow \psi$ 是基本决策规则, 那么决策规则 $\phi_1 \vee \phi_2 \vee \dots \vee \phi_n \rightarrow \psi$ 就称为决策规则 $\phi_1 \rightarrow \psi, \phi_2 \rightarrow \psi, \dots, \phi_n \rightarrow \psi$ 的组合规则, 或者简称为组合规则。

如果 PQ -规则 $\phi \wedge \psi$ 在 S 中成立, 则 $\phi \rightarrow \psi$ 在 S 中为可纳的。利用下面的性质可以证明 PQ -规则是否为真, 还是为假 (一致或不一致)。

命题 3 当且仅当所有 $\{P \cup Q\}$ -公式在规则前件的 $\{P \cup Q\}$ -范式中, 也在规则后件的 $\{P \cup Q\}$ -范式中; 那么 PQ -规则在 S 中为真 (一致), 否则, PQ -规则在 S 中为假 (不一致)。

3.2 决策算法

任意有限的基本决策规则集被称作基本决策算法。如果基本决策算法所有的决策规则都是 PQ -决策规则, 那么算法可以说是 PQ -决策算法, 或简称为 PQ -算法, 用符号 (P, Q) 表示。

定义 6 如果算法是所有在 S 中可纳的 PQ -规则的集合, 那么 PQ -算法是在 S 中可纳的。

定义 7 如果对每一个 $x \in U$, 在 S 中对应了一条算法中的

PQ -决策规则, 那么 PQ -算法在 S 中是完备的; 否则, 算法在 S 中是不完备的。

当且仅当算法中所有的决策规则在 S 中都为一致 (真), 那么 PQ -算法在 S 中为一致; 否则, 算法在 S 中为不一致。

命题 4 PQ -决策算法中的 PQ -决策规则在 S 中是一致 (真) 的, 当且仅当 PQ -决策算法中的任意 PQ -决策规则 $\phi' \rightarrow \psi'$, 有 $\phi = \phi'$ 蕴涵 $\psi \rightarrow \psi'$ 。

3.3 决策规则的约减

在一致与完备算法的情况下, 探讨决策算法的简化问题, 更确切地说, 是考查所有的条件属性是否都是做决策所必需的^[7,8]。

设 (P, Q) 是一致算法, $a \in P$, 属性 a 是算法 (P, Q) 中不必要的, 当且仅当算法 $((P - \{a\}), Q)$ 是一致的; 否则属性 a 算法 (P, Q) 中必要的。

定义 8 如果所有属性 $a \in P$ 都是算法 (P, Q) 中必要的, 那么算法 (P, Q) 就称为独立的。

如果算法 (R, Q) 是独立与一致的, 属性子集 $R \subseteq P$ 就称为算法 (P, Q) 中 P 的约减。

定义 9 如果 R 是算法 (P, Q) 中 P 的约减, 那么算法 (R, Q) 可说是算法 (P, Q) 的约减。

算法 (P, Q) 中所有必要的属性集合称作算法 (P, Q) 的核, 用符号表示为: $CORE(P, Q)$ 。

命题 5 $CORE(P, Q) = \cap RED(P, Q)$

其中, $RED(P, Q)$ 是所有 (P, Q) 约减的集合。

使用决策逻辑分别把决策算法中每条决策规则不需要的属性剔除, 可以进一步简化决策算法, 同时对所有的决策规则作相应的约减。

如果 ϕ 是 P -基本公式, $Q \subseteq P$; 那么用符号 ϕ/Q 表示从 ϕ 删除基本公式 (a, v_a) (如 $a \in P - Q$) 后得到的 Q -基本公式。

设 $\phi \rightarrow \psi$ 是 PQ -规则, $a \in P$; 当且仅当 $|\phi - \psi|_S \equiv \phi / (P - \{a\}) \rightarrow \psi$, 则属性 a 是规则 $\phi \rightarrow \psi$ 中不必要的; 否则属性 a 是 $\phi \rightarrow \psi$ 中必要的。

定义 10 如果所有属性 $a \in P$ 是 $\phi \rightarrow \psi$ 中必要的, 那么 $\phi \rightarrow \psi$ 称为独立的。

所有 $\phi \rightarrow \psi$ 中必要属性的集合称作 $\phi \rightarrow \psi$ 的核, 用符号表示为: $CORE(\phi \rightarrow \psi)$ 。

命题 6 $CORE(P \rightarrow Q) = \cap RED(P \rightarrow Q)$

其中, $RED(P \rightarrow Q)$ 是所有 $(P \rightarrow Q)$ 约减的集合。

接着要删除具有相同后件决策类中的冗余决策规则, 由于一些规则可以代替其它规则的功能, 去除那些被代替的规则显然不会影响决策的正确性。

取 A 是基本算法, $S=(U, A)$ 是 KR-系统, 所有 A 中有相同后件 ψ 的基本规则集合表示为 A_ψ ; 则 P_ψ 是所有属于 A_ψ 的规则前件集合。

如果 $|\Sigma_S \vee P_\psi|_S \equiv \vee \{P_\psi - \{a\}\}$, A 中基本规则 $\phi \rightarrow \psi$ 就是 A 中不必要的。如果 A_ψ 中所有决策规则是必要的, 规则集合 A_ψ 就是独立的。

定义 11 如果 A' 中所有决策规则都是独立的, 且 $|\Sigma_S \vee P_\psi|_S \equiv \vee |\Sigma_S P'_\psi|_S$, 决策规则 A_ψ 的子集 A' 就是 A_ψ 的约减。

如果 A_ψ 的约减是 A_ψ 本身, 决策规则 A_ψ 的集合是约减了的。如果 A 中每条决策规则约减了, 且对 A 中每条决策规则 $\phi \rightarrow \psi, A_\psi$ 约减了, 那么基本算法是极小化的。

表1 两组数据预处理与约减方案

方案与 分区数	条件属性												决策属性	
	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8	c_9	c_{10}	c_{11}	c_{12}	d	
I	数目	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	8
	约减	√	√	√	-	-	√	√	√	-	√	-	√	√
II	数目	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	12
	约减	√	√	√	√	-	-	-	√	-	√	-	√	√

注:表中符号“√”标明属性约减子集中含有的属性。

4 决策规则实现算法

为了简化PQ-算法,首先是对属性进行约减;第二步是算法约减,如决策规则的简化;最后一步是从算法中删除所有冗余决策规则。

属性约减用区分函数实现^[9,10],决策规则设计算法中的约减由三个模块组成:属性值的约减;非空的决策规则核或较小决策规则集;以及冗余决策规则的删除。下面是具体的实现过程。

假定一已知KR-系统 $S=(U,A)$,取 $n=|U|,m$ 为条件属性的数目, i 表示行指针, j 表示列指针。属性数组 $AttributeFlag(i,j)$ ($1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m$)的值为-1时,表示属性 $a(i,j)$ 是决策规则中不必要的;数组 $RuleTypes(i)$ ($1 \leq i \leq n$)用于保存规则的类型;数组 $Asum(i)$ ($1 \leq i \leq n$)用于保存规则的可选数。

4.1 属性值约减

算法1 (简称RAV算法)

RAV 1 (初始化) $0 \rightarrow AttributeFlag(i,j)$ ($1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m$);

RAV 2 设 $1 \rightarrow i$;

RAV 3 设 $1 \rightarrow j$;

RAV 4 如果属性 $a(i,j)$ 是 $\phi \rightarrow \psi$ 中不必要的,则 $-1 \rightarrow AttributeFlag(i,j)$;

RAV 5 $j+1 \rightarrow j$;如果 $j > m$,继续;否则,返回RAV 4;

RAV 6 $i+1 \rightarrow i$;如果 $i > n$,退出;否则,返回RAV 3;

$CORE(P \rightarrow Q)$ 可由数组值 $AttributeFlag(i,j) \neq -1$ 对应的属性生成。

4.2 核或较小的决策规则

算法2 (简称CDR算法)

CDR 1 设 $1 \rightarrow i$;

CDR 2 如果 $\{AttributeFlag(i,j) = -1, j=1, \dots, m\}$ 成立,则 $RuleTypes(i) = -1, CORE(\phi, \psi_i)$ 为空,转CDR 7;否则,继续;

CDR 3 $Asum(i) = 0$;

CDR 4 如果 $|\phi| \subseteq |\psi|, CORE(\phi \rightarrow \psi)$ 为真; $RuleTypes(i) = 1, Asum(i) = 1$,转CDR 7;否则,继续;

CDR 5 无 $AttributeFlag(i,j) = -1$ 的属性可取,转CDR 7;否则,任取不同一个(或多个)数组值 $AttributeFlag(i,j) = -1$ 的属性 $a(i,j), P + a(i,j) \rightarrow P$;如果 $|\phi'| \subseteq |\psi'|, \phi' \rightarrow \psi'$ 为真, $Asum(i) + 1 \rightarrow Asum(i)$,继续;否则,继续;

CDR 6 如果 $Asum(i) > m - amount(|\phi|)$,继续;否则,返回CDR 5;

CDR 7 $i+1 \rightarrow i$,如果 $i > n$,退出;否则,返回CDR 2。

如果 $CORE(\phi, \psi_i)$ 为假,保存该行的规则集: $\phi_{i1} \vee \phi_{i2} \vee \phi_{i3} \vee \dots \rightarrow \psi_i$;当 $CORE(\phi, \psi_i)$ 为真时,其规则集中只有一条规则;当 $CORE(\phi, \psi_i)$ 为空时,得不出相应规则,也就是为空。

4.3 冗余决策规则的删除

算法3 (简称ESDR算法)

ESDR 1 Each A_ψ Do

ESDR 2 for $i=1 \rightarrow k_\psi$;

ESDR 3 如果 $RuleTypes(i) \neq -1$,转ESDR 6;否则, $P_\psi' = P_\psi - \phi$,继续;

ESDR 4 如果 $|\psi| \vee P_\psi \equiv |\psi| \vee P_\psi'$,则 $P_\psi = P_\psi'$;

ESDR 5 如果end-for为真,继续;否则,转ESDR 3;

ESDR 6 如果end-do为真,退出;否则,取下一个 A_ψ ,转ESDR 2。

最后是判别行号为 t 的数组值 $RuleTypes(t) = -1$ 是否成立;如果成立,则结束;否则行 t 的规则集应加入 P 中,再转去执行算法1。

由于 $CORE(\phi, \psi_i)$ 为假时, ϕ_i 的可选规则数 $Asum(i)$ 会大于1,软件实现的目标是在多种组合规则集中找到较简化(k_ψ 数值较小)的决策规则集 A_ψ 。

5 实例

选取广州某化工厂锌钡白煅烧过程实测数据,采样时间为2004-02-03 12:35 PM-2004-02-07 10:33 AM,数据每5分钟采样一次,采样数据一共分为19个属性。剔除异常与无关数据,保留了13个属性与400组数据,取其中200组数据(简称A组数据)用于决策规则的获取,后200组数据(简称B组数据)用于决策规则的验证数据。

其中属性用符号表示为:条件属性, c_1 -窑头温度(ytwd), c_2 -干燥温度(gzwd), c_3 -排风温度(pfwd), c_4 -#1进料电流(jldl1), c_5 -#1进料频率反馈(jlfreq1), c_6 -#2进料电流(jldl2), c_7 -#2进料频率反馈(jlfreq2), c_8 -#3进料电流(jldl3), c_9 -#3进料频率反馈(jlfreq3), c_{10} -#4进料电流(jldl4), c_{11} -#4进料频率反馈(jlfreq4), c_{12} -立德粉粉种(fenkind);决策属性, d -煅烧温度(ds wd)。

对数据组A进行数据预处理,并进行数据约减得到两组方案(见表1),依据本文提出的算法可以得出对应的两套确定性决策规则集(见表2)。

选择方案I的第一组相对约减子集 $X_1 = \{c_1, c_2, c_3, c_6, c_7, c_8, c_{10}, c_{12}\}$,对生成的决策表求决策规则,得出的决策规则集参见表2。表中每组规则的第一条规则是规则核,是经过规则约减后得出的,冗余规则的简化工作主要针对除规则核以外的规则进行。例如, d 是7相应行的决策规则简化结果列出在最后一行。当然全部应用所生成的决策规则做决策是不会出错的,最简规则的得出可在一定的误差允许范围内进行。

表1中的三个属性约减子集都具有相同的对决策属性的支持度,与 $X_3 = \{c_1, c_2, c_3, c_6, c_7, c_8, c_{10}, c_{12}\}$ 相比较, X_1 更适合用于生成简单且较短规则集, X_1 只是比 X_3 多了一个条件属性,但属性值的分区数却少了许多。用B组数据按方案I量化后,测出表2中决策规则的控制(平均)误差在 ± 1 之内。

6 结论

本文提出的方法对实际应用较有效,由于决策规则是确定的,就可以通过软件实现对决策规则的简化实现。这样,决策规则控制结果就有较高的精度与准确性,在大数据库的应用中,这种特性尤为重要。如何根据生成决策规则的情况,决定属性

表2 决策规则的描述

规则前件(IF ... then)	规则后件
c_3 is 2	d is 0
$(c_2$ is 3 and c_2 is 9) or (c_1 is 4 and or c_{10} is 10) or (c_2 is 5 and c_3 is 8)	
c_2 is 3 and c_3 is 7 and(c_1 is 4 or c_6 is 11 or c_7 is 9 or c_8 is 11 or c_{10} is 0 or c_{12} is 4)	d is 1
$(c_1$ is 7 and c_2 is 6) or (c_1 is 9 and c_3 is 7) or ($(c_3$ is 8 or c_1 is 6) and (c_2 is 7))	
$(c_2$ is {4,9}) and (c_1 is 5 or c_3 is 7 or c_6 is 11 or c_7 is 9 or c_8 is 11 or c_{10} is 0 or c_{12} is 4)	d is 2
$(c_2$ is 6 or c_2 is 8) and (c_6 is 0 or c_7 is 5 or c_8 is 0 or c_{10} is 10)	
$(c_2$ is 3) and (c_3 is 6) and (c_1 is 4 or c_6 is 11 or c_7 is 9 or c_8 is 11 or c_{10} is 0 or c_{12} is 4)	
c_2 is 2 or c_2 is 11 or c_6 is 11 or (c_1 is 5 and (c_2 is 5 or c_7 is 9)) or (c_1 is 6 and c_2 is 4) or (c_1 is 4 and c_2 is 9) or (c_1 is 8 and c_{10} is 10)	d is 3
...	
c_1 is 2 or c_2 is 10 or c_6 is 7 or c_7 is 7 or (c_1 is 8 and c_{10} is 9) or (c_1 is 6 and c_2 is 3) or (c_1 is 7 and c_2 is 4) or (c_1 is 4 and c_2 is 3 and c_{10} is 9) or (c_1 is 11 and c_3 is 7) or (c_2 is 9 and c_3 is 8) or (c_2 is 7 and (c_3 is 6 or c_6 is 0))	d is 4
...	
c_2 is 1 or c_3 is 9 or c_6 is 8 or(c_2 is 7 and c_8 is 7) or(c_1 is 8 and c_2 is 5) or (c_1 is 7 and c_2 is 8) or (c_1 is 8 and c_3 is 7 and c_8 is 7) or (c_2 is 4 and (c_1 is 8 or c_3 is 9))	d is 5
...	
$(c_1$ is 3 and c_2 is 7) or (c_1 is 9 and c_2 is 5) or (c_1 is 8 and c_3 is 6)	d is 6
...	
...	
$(c_1$ is 7 and c_2 is 9) or (c_2 is 4 and c_3 is 6) or (c_2 is 5 and c_6 is 0)	d is 7

(上接 123 页)

可见,本系统无论是对已经参加过训练的攻击,还是对未参加过训练的攻击或正常数据的检测的正确率都达到了 91% 以上,尤其是对参加过训练的攻击数据能达到 98.3% 的检测率。这说明本神经网络模型是非常有效的,尤其是它的检测速度,完全符合实时性要求。这从另外一个角度说明了训练样本的完善与否直接关系到神经网络的检测率。只要能给出好的训练样本,神经网络完全可以胜任入侵检测的重任。(收稿日期:2007年5月)

参考文献:

- [1] Common intrusion detection framework[EB/OL].[2002].http://www.isi.edu/gost/cidff/.
- [2] Bace R,Mell P.National Institute of Standards and Technology. Intrusion detection systems:NIST Special Publication on Intrusion Detection Systems,2000:76-79.
- [3] 姚建新.人工神经网络在入侵检测中的应用研究[D].北京:北京林业大学,2002-06.
- [4] Fox K L,Henning R R,Reed J H,et al.A neural network approach towards intrusion detection [C]//Proceedings of the 13th National Computer Security Conference,1990:125-134.
- [5] Tan K.The application of neural networks to UNIX computer security[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks,1995,1:476-481.
- [6] Kumar G P,Venkateram P.Security management architecture for access control to network resources[J].IEE Proceedings on Computers and Digital Techniques,1997,144(6):362-370.

值的分区数;如何选择较合理的属性约减子集需要做进一步的探讨。(收稿日期:2007年3月)

参考文献:

- [1] Pawlak Z.Theorize with data using rough sets [C]//Proceedings of the 26th Annual International Computer Software and Applications Conference,IEEE,2002.
- [2] Pawlak Z.Rough set theory for intelligent industrial applications[C]//IEEE,1999:37-44.
- [3] 蒙祖强,蔡自兴.个性化决策规则的发现:一种基于 Rough Set 的方法[J].控制与决策,2004(9):995-1000.
- [4] 马廷淮,赵亚伟,张海盛,等.基于粗糙集的决策规则约减[J].计算机工程,2003(29):5-7.
- [5] Hassanien Aboul-Ella.Rough set approach for attribute reduction and rule generation:a case of patients with suspected breast cancer[EB/OL].Wiley Periodicals Inc.[2004-04-23].http://www.interscience.wiley.com.
- [6] Khan A,Revett K.Data mining the PIMA dataset using rough set theory with a special emphasis on rule reduction [C]//INMIC 2004,IEEE,2004:334-339.
- [7] Zdzislaw Pawlak.Rough sets-theoretical aspects of reasoning about data[M].Dordrecht:Kluwer Academic Publishers,1991:51-111.
- [8] 刘清.Rough 集及 Rough 推理[M].北京:科学出版社,2003:51-66.
- [9] He Ai-jing,Zhu Yao-yao,Mazlack L J.Data discovery using rough set based reductive partitioning:some experiments[C]//IEEE,2001:203-208.
- [10] 邓九英,毛宗源,徐宁.基于粗糙集属性变分区的属性约减[J].华南理工大学学报:自然科学版,2006(34):50-54.
- [7] Ghosh A K,Wanken J,Charron F.Detecting anomalous and unknown intrusions against programs[C]//Proceedings of the 1998 Annual Computer Security Applications Conference (ACSAC'98),December 1998:259-267.
- [8] Lippmann R,Cunningham R.Improving intrusion detection performance using keyword selection and neural networks[J].Computer Networks,2000,34(4):597-603.
- [9] Cannady J.Artificial neural networks for misuse detection[C]//Proceedings of the 21st National Information Systems Security Conference(NISSC'98),October 5-8,1998:443-456.
- [10] 潘志松.基于神经网络的入侵检测研究[D].南京:南京航空航天大学,2003-06.
- [11] 连一峰.基于遗传神经网络的入侵检测系统[D].成都:成都理工大学,2003-06.
- [12] 杨森.应用自组织特征映射神经网络技术实现的分布式入侵检测[J].计算机应用,2003,23(8):54-57.
- [13] 李之堂.模糊神经网络在入侵检测中的应用[J].小型微型计算机系统,2002,23(10):1235-1238.
- [14] 韩力群.人工神经网络理论、设计及应用[M].北京:化学工业出版社,2002,1:43-47.
- [15] 魏海坤.神经网络结构设计的理论与方法[M].北京:国防工业出版社,2005:33-39.
- [16] Rumelhart D E,Hinton G E,Williams R J.Learning representations by back-propagation errors[J].Nature,1986(323):533-536.
- [17] Kendall K.A database of comuter attacks for the evaluation of intrusion detection systems[D].Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1999.