S_P–上阶梯知识挖掘及状态识别算法

刘若慧 [1]，刘保仓 [2]
LIU Ruo-hui[1]，LIU Bao-cang[2]

1.黄淮学院 计算机科学系，河南 驻马店 463000
2.黄淮学院 数学科学系，河南 驻马店 463000
1.Department of Computer Sciences，Huanghuai University，Zhumadian，Henan 463000，China
2.Department of Mathematics Sciences，Huanghuai University，Zhumadian，Henan 463000，China
E-mail：lruohui@126.com

LIU Ruo-hui，LIU Bao-cang.Mining of S_p-upper ladder knowledge and algorithm of state recognition.Computer Engineering and Applications，2010，46（1）：45-47.

Abstract：In one direction S_p-rough sets，the knowledge $[x]$（R-element equivalence class $[x]$）with the attribute set α has such characteristic：If there are new attributes supplemented to α，then the elements in $[x]$ will decrease；By using these characteristics and considering the reliability characteristics of the element transference random，the concepts of S_p-upper ladder knowledge，the generation of depending on reliability of S_p-upper ladder knowledge，and attribute dependence of S_p-upper ladder knowledge are presented.Attribute dependence mining theorem of S_p-upper ladder knowledge，and attribute dependence algorithm are also given.
Key words：S_p-upper ladder knowledge；attribute dependence；generation of depending on reliability；dependence mining；unit circle theorem；state recognition；mining algorithm

摘　要：单向 S_p–粗集中，具有属性集 α 的知识$[x]$（R–元素等价类$[x]$）具有这样的特征：若 α 内被补充属性，则$[x]$内的元素个数被减少。利用这一特征，考虑属性补充的随机性，给出 S_p–上阶梯知识，S_p–上阶梯知识的依信度生成，S_p–上阶梯知识属性依赖的原理，给出 S_p–上阶梯知识的属性依赖挖掘定理，S_p–上阶梯知识的状态识别算法。
关键词：S_p–上阶梯知识；属性依赖；依信度生成；依赖挖掘；单位圆定理；状态识别；挖掘算法
DOI：10.3778/j.issn.1002-8331.2010.01.015　**文章编号**：1002-8331（2010）01-0045-03　**文献标识码**：A　**中图分类号**：O159

文献[1-2]提出了 S–粗集。在静态、动态意义下，S–粗集是 Z.Pawlak 粗集[3]的推广。S–粗集是用具有动态特征的 R–元素等价类$[x]$（知识$[x]$）定义的。文献[4-9]提出 S_P–粗集和变异 S_P–粗集并对其进行了诸多讨论，使得具有动态特征的 R–元素等价类$[x]$（知识$[x]$）及其相对应的属性集 $\alpha=\{\alpha_1,\alpha_2,\cdots,\alpha_k\}$不仅具有动态性而且具有随机性。$S_P$–粗集、变异 S_P–粗集均具有两种形式：单向 S_P–粗集、双向 S_P–粗集，单向变异 S_P–粗集、双向变异 S_P–粗集。S_P–粗集和变异 S_P–粗集具有依赖关系。结果是利用单向 S_P–粗集和单向变异 S_P–粗集所具有的依赖关系得到的。在单向 S_P–粗集中，知识$[x]$的变化，依赖于单向变异 S_P–粗集中的 $\alpha=\{\alpha_1,\alpha_2,\cdots,\alpha_k\}$的变化，知识$[x]$具有上阶梯特征。如何利用这一特征，挖掘人们还不知道的知识是主题。

约定：在讨论中，R–元素等价类$[x]$，知识$[x]$两个概念不加区别，直接使用，$f\in F$ 是属性迁移[6-7]，V 是有限属性论域，$P_F(f)$为属性迁移的信度函数，S_P–粗集和变异 S_P–粗集所涉及的概念和符号在文献[4-8]中均能找到。

1　S_P–上阶梯知识与它的依信度生成

定义 1　称$[x]_p^f$是$[x]$的依信度 p 生成的 S_P–上阶梯知识，如果$[x]_p^f$的属性集 α_p^f与$[x]$的属性集 α 满足

$$\alpha\subseteq\alpha_p^f \tag{1}$$

称 η_p^f是$[x]_p^f$关于$[x]$的 S_P–上阶梯度，简称$[x]_p^f$的 S_P–阶梯度，如果

$$\eta_p^f=\frac{card(\alpha_p^f)}{card(\alpha)} \tag{2}$$

这里：$\alpha_p^f=\alpha\cup\{f(\beta_i)=\alpha_i{}',i=1,2,\cdots,m,P_F(f)\geqslant p\},\beta_i\in V,\beta_i\overline{\in}\alpha,f(\beta_i)=\alpha_i{}'\in\alpha,\alpha=\{\alpha_1,\alpha_2,\cdots,\alpha_k\},card(\alpha)$是 α 的基数。

定义 2　设$[x]_p^f$是$[x]$的依信度 p 生成的 S_P–上阶梯知识，称$[x]$是$[x]_p^f$的依信度 p 生成的 S_P–上阶梯属性还原知识，简称 S_P–上阶梯还原知识，如果存在属性差集 $\nabla\alpha_p$ 满足

$$\nabla\alpha_p=\alpha_p^f-\alpha \tag{3}$$

称 φ_p^f是$[x]$关于$[x]_p^f$的 S_P–上阶梯还原系数，简称 φ_p^f是$[x]$的 S_P–上阶梯还原系数，如果

$$\varphi_p^f=\frac{card([x]_p^f)}{card([x])} \tag{4}$$

基金项目：河南省基础与前沿技术研究重点资助项目（No.082300410040）；河南省教育厅自然科学研究基金（No.2008C120002）。
作者简介：刘若慧（1965–），女，副教授，研究方向：软件工程，数据挖掘；刘保仓（1965–），男，教授，主要研究方向：模糊系统、粗系统理论与应用研究。
收稿日期：2008-07-22　**修回日期**：2008-10-17

这里：α_p^f，α 分别是$[x]_p^f$，$[x]$的属性集，$\nabla\alpha\neq\phi$，$card([x])$是$[x]$的基数。

由定义 1，定义 2，直接得到

命题 1 $[x]_p^f$的属性集 α_p^f 与$[x]$的属性集 α 满足 $\alpha_p^f-\alpha\neq\phi$，$S_P$–上阶梯知识$[x]_p^f$存在。

命题 2 若$\forall f\in F,P_F(f)=0$，则$[x]_p^f$的属性集 α_p^f 与$[x]$的属性集 α 满足 $\nabla\alpha_p=\phi$，S_P–上阶梯知识$[x]_p^f$不存在。

命题 3 若$\forall f\in F,P_F(f)=1$，则$[x]_p^f$的属性集 α_p^f 与$[x]$的属性集 α 满足 $\nabla\alpha_p\neq\phi$，则 S_P–上阶梯知识$[x]_p^f$存在。

定理 1（S_P–上阶梯度单位圆定理） 若$[x]_p^f=\{[x]_{p_i}^f|,i=1,2,\cdots,n-1,n;p\leqslant p_1\leqslant p_2\leqslant\cdots\leqslant p_{n-1}\leqslant p_n\}$是 S_P–上阶梯知识$[x]_{p_i}^f$构成的上阶梯知识集，$I(\eta_p^f)$是上阶梯度 $\eta_p^f=1$ 为半径构成的单位圆，则$\forall[x]_{p_k}^f\in[x]_p^f$的上阶梯度 $\eta_{p_k}^f$ 落在 $I(\eta_p^f)$之外，$k=1,2,\cdots,n$；或者

$$\eta_{p_k}^f\,\overline{\in}\,I(\eta_p^f)\tag{5}$$

这里：是一个记号 $\eta_{p_k}^f\,\overline{\in}\,I(\eta_p^f)$，它表示$\forall k,\eta_{p_k}^f\geqslant\eta_p^f,k=1,2,\cdots,n$。

证明 $[x]^f=\{[x]_{p_k}^f|k=1,2,\cdots,n\}$是上阶梯知识集，$\forall[x]_{p_k}^f\in[x]_p^f$，$k\in(1,2,\cdots,n)$，或者$[x]_{p_n}^f\subseteq[x]_{p_1}^f\subseteq\cdots\subseteq[x]_{p_{n-1}}^f\subseteq[x]_{p_n}^f\subseteq[x]$由定义 1 得到 $\alpha\subseteq\alpha_{p_n}^f\subseteq\alpha_{p_{n-1}}^f\subseteq\cdots\subseteq\alpha_{p_1}^f\subseteq\alpha_{p_1}^f$，$1=\eta_p^f\leqslant\eta_{p_1}^f\leqslant\eta_{p_2}^f\leqslant\cdots\leqslant\eta_{p_{n-1}}^f\leqslant\eta_{p_n}^f$；显然，$\forall\eta_p^f$都在以 $\eta_p^f=1$ 为半径的圆 $I(\eta^f)$之外。这里：$1=\eta_p^f=card(\alpha)/card(\alpha)$是$[x]$关于$[x]$的上阶梯度。

推论 1 若$[x]_p^f=\{[x]_{p_k}^f|k=1,2,\cdots,n\}$是 S_P–上阶梯知识$[x]_{p_k}^f$构成的 S_P–上阶梯知识集，$I(\varphi_p^f)$是S_P–上阶梯还原系数 $\varphi_p^f=1$ 为半径构成的单位圆，则$\forall[x]_{p_\lambda}^f\in[x]^f$的 S_P–上阶梯还原系数 φ_λ^f落于 $I(\varphi_{p_\lambda}^f)$之内，$\lambda=1,2,\cdots,n$；或者

$$\varphi_{p_\lambda}^f\in I(\varphi_p^f)\tag{6}$$

2　属性依赖 S_P–上阶梯知识挖掘定理

定义 3 设 α,α_p^f分别是$[x]$，$[x]_p^f$的属性集，称$[x]_p^f$ f–属性依信度 p 单依赖于$[x]$，记作$[x]_p^f\Rightarrow[x]$，如果

$$\alpha\Rightarrow\alpha_p^f\tag{7}$$

定义 4 设 α,α_p^f分别是$[x]$，$[x]_p^f$的属性集，称$[x]^f$ f–属性依信度 P 双依赖于$[x]$，记作$[x]^f\Leftrightarrow[x]$，如果

$$\alpha\Leftrightarrow\alpha^f\tag{8}$$

由定义 3~4，得到

定理 2（属性依信度单依赖 S_P–上阶梯度序定理）若$[x]_{p_i}^f$，$[x]_{p_j}^f$，$[x]_{p_k}^f\in[x]_p^f$，它们的属性集 $\alpha_{p_i}^f$，$\alpha_{p_j}^f$，$\alpha_{p_k}^f$满足

$$\alpha_{p_i}^f\Rightarrow\alpha_{p_j}^f\Rightarrow\alpha_{p_k}^f\tag{9}$$

则

$$\eta_{p_i}^f\leqslant\eta_{p_j}^f\leqslant\eta_{p_k}^f\tag{10}$$

这里：$\eta_{p_i}^f$，$\eta_{p_j}^f$，$\eta_{p_k}^f$分别是 S_P–上阶梯知识$[x]_{p_i}^f$，$[x]_{p_j}^f$，$[x]_{p_k}^f$的上阶梯度。

事实上，$\alpha_{p_i}^f\Rightarrow\alpha_{p_j}^f\Rightarrow\alpha_{p_k}^f$则有 $\alpha_{p_i}^f\subseteq\alpha_{p_j}^f\subseteq\alpha_{p_k}^f$，或 $card(\alpha_{p_i}^f)\leqslant card(\alpha_{p_j}^f)\leqslant card(\alpha_{p_k}^f)$；由式(2)得到式(10)，证明略。

定理 3（属性依信度单依赖 S_P–上阶梯还原系数序定理）若$[x]_{p_i}^f$，$[x]_{p_j}^f$，$[x]_{p_k}^f\in[x]_p^f$，它们的属性集 $\alpha_{p_i}^f$，$\alpha_{p_j}^f$，$\alpha_{p_k}^f$满足

$$\alpha_{p_i}^f\Rightarrow\alpha_{p_j}^f\Rightarrow\alpha_{p_k}^f\tag{11}$$

则

$$\varphi_{p_k}^f\leqslant\varphi_{p_j}^f\leqslant\varphi_{p_i}^f\tag{12}$$

这里：$\varphi_{p_i}^f$，$\varphi_{p_j}^f$，$\varphi_{p_k}^f$分别是$[x]$关于的$[x]_{p_i}^f$，$[x]_{p_j}^f$，$[x]_{p_k}^f$的 S_P–上阶梯还原系数。

证明 因为 $\alpha_{p_i}^f\Rightarrow\alpha_{p_j}^f\Rightarrow\alpha_{p_k}^f$，或者 $\alpha_{p_i}^f\subseteq\alpha_{p_j}^f\subseteq\alpha_{p_k}^f$，则有$[x]_{p_k}^f\subseteq[x]_{p_j}^f\subseteq[x]_{p_i}^f$或者 $card([x]_{p_k}^f)\leqslant card([x]_{p_j}^f)\leqslant card([x]_{p_i}^f)$，$card([x]_{p_k}^f)/card[x]\leqslant card([x]_{p_j}^f)/card[x]\leqslant card([x]_{p_i}^f)/card[x]$；由式(6)得式(21)。

定理 5（属性依信度双依赖 S_P–上阶梯知识不可分辨定理）若$[x]_{p_i}^f$，$[x]_{p_j}^f\in[x]_p^f$，它们的属性集 $\alpha_{p_i}^f$，$\alpha_{p_j}^f$，满足

$$\alpha_{p_i}^f\Leftrightarrow\alpha_{p_j}^f\tag{13}$$

则

$$IND([x]_{p_i}^f,[x]_{p_j}^f)\tag{14}$$

这里：$IND=indiscernibility$

事实上，若 $\alpha_{p_i}^f\Leftrightarrow\alpha_{p_j}^f$，则有 $\alpha_{p_i}^f=\alpha_{p_j}^f$，显然有 $IND([x]_{p_i}^f,[x]_{p_j}^f)$，证明略。

利用定理 2~4，定义 1~4，得到

定理 5（属性依信度单依赖 S_P–上阶梯知识内挖掘定理）若$[x]_{p_i}^f$的属性集 $\alpha_{p_i}^f$与$[x]_{p_j}^f$的属性集 $\alpha_{p_j}^f$满足

$$\alpha_{p_i}^f\Rightarrow\alpha_{p_j}^f\tag{15}$$

则$[x]_{p_j}^f$在$[x]_{p_i}^f$之内被挖掘，而且

$$[x]_{p_j}^f\Rightarrow[x]_{p_i}^f\tag{16}$$

证明 设$[x]_{p_i}^f$，$[x]_{p_j}^f$是$[x]$上的 S_P–上阶梯知识；$\alpha_{p_i}^f$，$\alpha_{p_j}^f$分别是$[x]_{p_i}^f$，$[x]_{p_j}^f$的属性集，而且 $\alpha_{p_i}^f\Rightarrow\alpha_{p_j}^f$，或者 $\alpha_{p_i}^f\subseteq\alpha_{p_j}^f$，则有 $card([x]_{p_j}^f)\leqslant card([x]_{p_i}^f)$，$[x]_{p_i}^f$的粒度 $GRD([x]_{p_i}^f)$与$[x]_{p_j}^f$的粒度 $GRD([x]_{p_j}^f)$满足 $GRD([x]_{p_j}^f)\leqslant GRD([x]_{p_i}^f)$，或者$[x]_{p_j}^f\subseteq[x]_{p_i}^f$，$[x]_{p_j}^f$在$[x]_{p_i}^f$内被挖掘。

推论 2 若$[x]_{p_j}^f$是在$[x]_{p_i}^f$之内被挖掘的 S_P–上阶梯知识，则$[x]$关于$[x]_{p_i}^f$，$[x]_{p_j}^f$的上阶还原系数 $\varphi_{p_i}^f$，$\varphi_{p_j}^f$满足

$$\varphi_{p_j}^f-\varphi_{p_i}^f\leqslant 0\tag{17}$$

由定理 5，推论 2 直接得到。

3　基于属性依赖的 S_P–阶梯知识挖掘及识别算法

定义 5 称 $g(x)$是知识$[x]$的状态函数，简称 $g(x)$是$[x]$的状态，而且

$$g(x)=\sum_{j=1}^{n}y_j\prod_{\substack{i,j=1\\ i\neq j}}^{n}\frac{x-x_i}{x_j-x_i}=a_nx^{n-1}+a_{n-1}x^{n-2}+\cdots+a_1x+a_0\tag{18}$$

这里：$g(x)$是过数据点(x_1,y_1)，(x_2,y_2)，$\cdots$，(x_{n+1},y_{n+1})的插值多项

式规[9]$\{y_1,y_2,\cdots,y_{n+1}\}$是知识$[x]=\{x_1,x_2,\cdots,x_{n+1}\}$的特征数据集，$\forall y_k\in R$ 是 $x_k\in[x]$的特征值，$k=1,2,\cdots,n+1$，R 是实数集。

定义 6 称 $\rho^f_{p_j,p_i}$是 S_P–上阶梯知识$[x]^f_{p_j}$关于$[x]^f_{p_i}$的识别模，而且

$$\rho^f_{p_j,p_i}=\frac{\|y\|^f_{p_j}}{\|y\|^f_{p_i}} \tag{19}$$

这里：$\|y\|^f_{p_j}$是$[x]^f_{p_j}$的状态 $g(x)^f_{p_j}=b_{m-1}x^{m-1}+b_{m-2}x^{m-2}+\cdots+b_1+b_0$ 的系数构成的向量$(b_{m-1},b_{m-2},\cdots,b_1,b_0)^{\mathrm{T}}$ 2–范数，$\|y\|^f_{p_j}=(b^2_{m-1}+b^2_{m-2}+\cdots+b^2_1+b^2_0)^{1/2}$，$\|y\|^f_{p_i}$是$[x]^f_{p_i}$的状态 $g(x)^f_{p_i}=a_{n-1}x^{n-1}+b_{n-2}x^{n-2}+\cdots+a_1+a_0$的系数构成的向量$(a_{n-1},a_{n-2},\cdots,a_1,a_0)^{\mathrm{T}}$ 2–范数，$\|y\|^f_{p_i}=(a^2_{n-1}+a^2_{n-2}+\cdots+a^2_1+a^2_0)^{1/2}$。

定理 6（属性依信度单依赖 S_P–上阶梯知识状态识别定理）S_P–上阶梯知识$[x]^f_{p_j}$的状态 $g(x)^f_{p_j}$ 与 S_P–上阶梯知识$[x]^f_{p_i}$的状态 $g(x)^f_{p_i}$ 满足

$$DIS(g(x)^f_{p_j},g(x)^f_{p_i}) \tag{20}$$

的充分必要条件是

$$[x]^f_{p_j}\Rightarrow[x]^f_{p_i} \tag{21}$$

这里：$DIS=discernibility$

证明（1）若$[x]^f_{p_j}\Rightarrow[x]^f_{p_i}$或者$[x]^f_{p_j}=\{x_1,x_2,\cdots,x_m\}\subseteq\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}=[x]^f_{p_i}$。令 $y^f_{p_j}=\{y_1,y_2,\cdots,y_m\}$是$[x]^f_{p_j}$的特征值集合，$y_j\in R$ 是 $x_j\in[x]^f_{p_j}$的特征值，R 是实数集，令 $y^f_{p_i}=\{y_1,y_2,\cdots,y_n\}$是$[x]^f_i$的特征值集合，$y_i\in R$ 是 $x_i\in[x]^f_{p_i}$的特征值；$g(x)^f_{p_j}$，$g(x)^f_{p_i}$分别是$[x]^f_{p_j}$，$[x]^f_{p_i}$的状态，而且 $g(x)^f_{p_j}=a_{m-1}x^{m-1}+a_{m-2}x^{m-2}+\cdots+a_1x+a_0$，$g(x)^f_{p_i}=b_{n-1}x^{n-1}+b_{n-2}x^{n-2}+\cdots+b_1x+b_0$，因为 $m<n$，则有 $DIS(g(x)^f_{p_j},g(x)^f_{p_i})$，或者$[x]^f_{p_j}$关于$[x]^f_{p_i}$可分辨，而且 $\alpha^f_{p_i}\Rightarrow\alpha^f_{p_j}$。

（2）若 $g(x)^f_{p_j}$，$g(x)^f_{p_i}$分别是$[x]^f_{p_j}$，$[x]^f_{p_i}$的状态，而且 $DIS(g(x)^f_{p_j}$，$g(x)^f_{p_i})$，则$[x]^f_{p_j}$在$[x]^f_{p_i}$之内，而且$[x]^f_{p_j}\Rightarrow[x]^f_{p_i}$；$[x]^f_{p_j}\neq[x]^f_{p_i}$。

推论 3 S_P–上阶梯知识$[x]^f_{p_j}$的状态 $g(x)^f_{p_j}$ 关于上阶梯知识$[x]^f_{p_i}$的状态 $g(x)^f_{p_i}$是可识别的，必有

$$\rho^f_{p_j,p_i}\leqslant 1 \tag{22}$$

由 1~3 章的讨论，得到 S_P–上阶梯知识属性依赖顺序挖掘及状态识别准则：

给定具有属性集 α 的知识$[x]$，若存在 $\nabla\alpha_i\neq\phi$，$i=1,2,\cdots,n$，而且

$$card(\nabla\alpha_{p_n})\leqslant card(\nabla\alpha_{p_{n-1}})\leqslant\cdots\leqslant card(\nabla\alpha_{p_1}) \tag{23}$$

则 S_P–上阶梯知识$[x]^f_{p_k}$，依 $p_1\leqslant p_2\leqslant\cdots\leqslant p_{n-1}\leqslant p_n$ 的顺序依次在$[x]$内被挖掘，$[x]^f_{p_k}$的状态 $g(x)^f_{p_k}$关于$[x]$的状态 $g(x)$，依 $\rho^f_{p_k}-1\leqslant 0$ 被识别。

S_P–上阶梯知识挖掘及状态识别算法：

输入 信息系统$[x]$的数据分布与具有特征（属性）入侵的信息系统$[x]^f_{p_k}$（$k=1,2,\cdots,n$）的数据分布

输出 被挖掘的阶梯知识$[x]^f_{p_k}$

步骤 1 初始化 $k=1$，$find$=true；

步骤 2 输入信息系统$[x]$的数据分布；

步骤 3 计算$[x]$的状态函数 $g(x)$；

步骤 4 具有特征（属性）入侵的信息系统$[x]^f_{p_k}$（$k=1,2,\cdots,n$）的数据分布；

步骤 5 计算阶梯知识$[x]^f_{p_k}$的状态函数 $g(x)^f_{p_i}$；

步骤 6 计算上阶梯知识$[x]^f_{p_k}$关于$[x]^f_{p_{k-1}}$的识别模，$\rho^f_{p_{k-1},p_k}=\|y\|^f_{p_k}/\|y\|^f_{p_{k-1}}$，其中$\|y\|^f_{p_k}$是$[x]^f_{p_k}$的系数构成的向量的 2–范数；

步骤 7 if $\rho^f_{p_{k-1},p_k}<1$ then 输出$[x]^f_{p_k}$在$[x]$内被挖掘，$[x]^f_{p_k}$的状态$g(x)^f_{p_k}$被识别

else $find$=false；

步骤 8 $k=k+1$；

步骤 9 重复步骤 4~步骤 9，直到 $k=n$ 或者 $find$=false。

4 结束语

S_P–粗集是改进了 S–粗集被提出的，S_P–粗集中没有改变 S–粗集中的等价关系，S_P–粗集与 S–粗集相比，不仅具有动态性而且具有个随机特征，正是这些特征为研究动态信息系统提供了诸多方便，因为一般的信息系统都具有动态性又具有随机性，实际的信息系统具有动态特性和随机性，构成信息系统的知识$[x]$（R–元素等价类$[x]$）也具有动态特性及随机性。利用单向 S_P–粗集，变异单向 S_P–粗集的关系，给出 S_P–上阶梯知识的依信度生成，给出知识状态识别及其算法的讨论，给出一些基本结果，这些结果对于挖掘–识别动态信息系统中的知识（知识状态）研究，有较好的应用前景。

参考文献：

[1] Shi Kai-quan.S-rough sets and its applications in diagnosis-recognition for disease[C]//IEEE Proceedings of the 1st International Conference on Machine Learning and Cybernetics，2002：50-54.

[2] 史开泉，崔玉泉.S-粗集和它的两类基本形式[J].计算机科学，2004（10A）：24-27.

[3] Pawlak Z.Rough sets[J].International Journal of Computer and Information Sciences，1982，11：341-356.

[4] 刘保仓，史开泉.S-粗集的信度特征[J].山东大学学报：理学版，2006，41（5）：26-32.

[5] 刘保仓，卢昌荆.副集的随机特征[J].山东大学学报：理学版，2007，42（2）：77-82.

[6] 刘保仓，张环理.单向变异 S-粗集的信度特征[J].南阳师范学院学报，2006，5（9）：11-13.

[7] 刘保仓，刘若慧.双向变异 S-粗集的信度特征[J].海南师范学院学报：自科版，2006，19（2）：116-119.

[8] 刘若慧，刘保仓.S-粗集的 F_p-分解与 $\bar{F}_{p'}$-还原[J].天中学刊，2007，22（2）：17-19.

[9] 刘保仓，刘若慧.函数 S-粗集的随机刻画[J].信阳师范学院学报：自科版，2007，20（2）：143-146.

[10] 史开泉，刘保相.S-粗集与动态信息处理[M].北京：冶金工业出版社，2005.