计算机科学 2008Vol. 35№.9

基于语言真值格值命题逻辑系统 ℓ_{vpl} 的推理规则*)

赖家俊[1,2] 徐 扬[2]

（西南交通大学信息科学与技术学院 成都 610031）[1] （西南交通大学智能控制开发中心 成都 610031）[2]

摘 要 一个逻辑系统在实际应用中，推理规则的选取往往很重要。本文基于语言真值格值命题逻辑系统 ℓ_{vpl}，提出了几种推理规则，这些推理规则包含有语义和语法，且它们之间具备协调水平的特性，证明了推理规则在一定程度上具备闭性特性。

关键词 语言真值蕴涵代数，语言真值命题逻辑，推理规则，闭性

Rules of Reasoning Based on Linguistic Truth-valued Lattice Value Propositional Logic System ℓ_{vpl}

LAI Jia-jun[1,2] XU Yang[2]

(School of Information Science & Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)[1]

(Intelligent Control Development Center, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)[2]

Abstract In general, the selection for rules of reasoning are more important in some practical applications of logic system. In this paper, some rules of reasoning based on linguistic truth-valued lattice value propositional logic system ℓ_{vpl} are proposed. They comprise syntax and semantics, and have the characteristic of consistency level between syntax and semantics. It is proved that these rules of inference are closed to appropriate degree.

Keywords Linguistic truth-valued LIA, Linguistic truth value lattice-valued propositional logic, Rules of reasoning, Closed

非经典逻辑为智能控制处理不确定信息和自动推理提供了有意义的形式工具。多值逻辑是经典逻辑的扩充[1]，并且为经典逻辑的推理和模型提供了一种变化形式。Goguen[2]，Pavelka[3]和 Novak[4]对格值逻辑形式进行了系统的研究，发现格值在多值逻辑这一领域起着重要作用[5,6]。为了给近似推理、自动推理以及知识表示提供一个逻辑基础，徐扬教授于 1993 年给出了一个逻辑代数（LIA）[7]。它既能描述不确定性，特别是不可比较性，又能描述人的推理方式。随后经过多位学者的研究，相继提出了以格蕴涵代数为真值域的格值命题逻辑 $LP(X)$[8-10]、格值一阶逻辑 $LF(X)$[11]，分层格值命题逻辑 L_{vpl} 和分层格值一阶命题逻辑 L_{vfl}[12-14]，并且将其应用于近似推理和自动推理[15-17]。由于格蕴涵代数有其特殊的结构，从而使得格值逻辑既能处理全序性的不确定性信息，又能处理非全序性的信息。因而以特殊的格蕴涵代数为真值域的格值逻辑就可以处理现实生活中定性的信息，徐扬教授等多位学者从 2004 年开始从事这一领域的研究[18-21]。在文献[22]中，作者对语言真值格蕴涵代数的性质进行了研究，并且探讨了以语言真值格蕴涵代数为真值域的语言真值格值命题逻辑系统 $\ell P(X)$。

记 $MT=\{Tr, Fa\}$ 为元真值集合，$AD=\{Sl, S, Ra, Al, Ex, Qu, Ve, Hi, Ab\}$ 为修饰词集合。

定义 1[21] 称由 AD 和 MT 生成的格蕴涵代数为语言真值格蕴涵代数，并记为 L-LIA。

设 $L=AD\times MT$，$(L, \vee, \wedge, ', \rightarrow, O, I)$ 为 L-LIA，$\ell P(X)$ 为基于 L-LIA 的格值命题逻辑系统，Fp 为 $\ell P(X)$ 的公式集，$P=(a_i, b_m)$，$q=(a_j, b_n)\in Fp$ 表示 $\ell P(X)$ 的公式，记 $F_L(Fp)$ 为 Fp 的 L 型模糊集，令 $T\subseteq F_L(Fp)$，$\mathfrak{I}_H=\{T \mid T: F_P\rightarrow L$ 为同态映射$\}$。

定义 2[12,17] 设 $D_n\subseteq F_p^n$，称映射 $r_n: D_n\rightarrow F_P$ 为公式集 F_P 上 n 元部分运算，D_n 为 r_n 的定义域，记为 $D_n(r_n)$。

定义 3[12,17] 称映射 $t_n: L^n\rightarrow L$ 为 L 上的 n 元真值运算，如果满足：(1) 对于任意 $\alpha\in L$，$(\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_n)\in L^n$ 均有 $\alpha\rightarrow t_n(\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_n)\geqslant t_n(\alpha\rightarrow\alpha_1, \alpha\rightarrow\alpha_2, \cdots, \alpha\rightarrow\alpha_n)$ 成立；(2) 对于每个变元 t_n 保序。

对于任意自然数 n，设 $T_n\subseteq\{t_n \mid t_n$ 是 L 上的 n 元真值运算$\}$，$\mathscr{R}_n\subseteq R_n\times T$，$\mathscr{R}\subseteq\bigcup_{n=0}^{+\infty}\mathscr{R}_n$。如果 $(r, t)\in\mathscr{R}_n$，那么 (r, t) 为 ℓ_{vpl} 中的 n 元推理规则。

由于语言真值格值命题逻辑的真值域是一类特殊的格蕴涵代数，因此在 $\ell P(X)$ 系统中有类似的定义。

定义 4[12,17] 假设 $X\in F_L(F_P)$，$(r, t)\in\mathscr{R}_n$，$n\in N$，$\alpha\in L$。如果在 $D_n(r)$ 中有 $X\circ r\supseteq\alpha\otimes_n(t\circ\prod^n X)$ 成立，则称 X 关于 (r, t) 的 α-I 型闭。如果在 $D_n(r)$ 中有 $X\circ r\supseteq t\circ\prod^n(\alpha\otimes X)$ 成立，则称 X 关于 (r, t) 的 α-II 型闭。如果对于任意 $(r, t)\in\mathscr{R}$，都有 X 关于 (r, t) 的 α-I（α-II）型闭，则称 X 关于推理规则集 $\mathscr{R}$ α-I（α-II）型闭。

类似文献[11]中的证明，在语言真值格值命题逻辑系统中很容易得到以下四个命题：

命题 1 在 ℓ_{vpl} 中，假设 L 为格 H 蕴涵代数，$\alpha\in L$，$i=I, II$，对于 $p, q\in F_p$，$\beta, \gamma\in L$，定义 $r_2^0(p, p\rightarrow q)=q$，$t_2^0(\beta, \gamma)=\beta$

*）国家自然科学基金资助项目（编号：60474022），教育部博士点专项基金资助项目（编号：20060613007）。**赖家俊** 博士研究生，研究方向为智能信息处理；**徐 扬** 教授，博士研究生导师，CCF 会员，主要研究方向为逻辑代数、智能信息处理、不确定性推理和自动推理等。

$\wedge\gamma$,则对于任意 $T\in\Im_H$,T 关于(r_2^0,t_2^0)的 α-i 型闭,$\alpha\in L$,$i=I,II$。

命题 2 在 ℓ_{vpl} 中,假设 L 为格 H 蕴涵代数,$\alpha\in L$,$i=I,II$,对于 $p,q\in F_p$,$\beta,\gamma\in L$,定义 $r_2^0(p,p\to q)=q$,$t_2^{0^*}(\beta,\gamma)=\beta$,则对于任意 $T\in\Im_H$,T 关于$(r_2^0,t_2^{0^*})$的 α-i 型闭,$\alpha\in L$,$i=I,II$。

命题 3 在 ℓ_{vpl} 中,假设 L 为格 H 蕴涵代数,$\alpha\in L$,$i=I,II$,对于 $p,q\in F_p$,$\beta,\gamma\in L$,定义 $r_2^{2^*}(p,p\to q)=p\vee(p\to q)$,$t_2^{0^\Delta}(\beta,\gamma)=\beta\vee\gamma$,则对于任意 $T\in\Im_H$,T 关于$(r_2^{2^*},t_2^{0^\Delta})$的 α-i 型闭,$\alpha\in L$,$i=I,II$。

命题 4 在 ℓ_{vpl} 中,假设 L 为格 H 蕴涵代数,$\alpha\in L$,$i=I,II$,对于 $p,q\in F_p$,$\beta,\gamma\in L$,定义 $r_2^3(p,p\to q)=p'\to(p\to(p\to q))$,$t_2^{0^\nabla}(\beta,\gamma)=\beta$,则对于任意 $T\in\Im_H$,T 关于$(r_2^3,t_2^{0^\nabla})$的 α-i 型闭,$\alpha\in L$,$i=I,II$。

下面就语言真值格值命题逻辑系统 $\ell P(X)$ 的推理规则作一些探讨。

定理 5 在语言真值格值命题逻辑系统 $\ell_P(X)$ 中,对于 (a_i,b_m),$(a_j,b_n)\in F_p$,其中 i,j,m,n 为任意的自然数,$(\alpha,\beta)\in L$,定义 $r_1^2((a_i,b_m)\vee(a_j,b_n))=(a_i,b_m)\oplus(a_j,b_n)$,$t_1(\alpha,\beta)=(\alpha,\beta)$,则对于任意 $T\in\Im_H$,T 关于(r_1^2,t_1)的(α,β)-i 型闭,$(\alpha,\beta)\in L$,$i=I,II$。

证明:因为 $t_1(\alpha,\beta)=(\alpha,\beta)$,故易知 t_1 为 L 上的一元真值运算,对任意(a_i,b_m),$(a_j,b_n)\in F_p$,$(\alpha_0,\beta_0)\in L$,则有

$T(r_1^2((a_i,b_m)\vee(a_j,b_n)))=T((a_i,b_m)\oplus(a_j,b_n))$

$\geqslant T((a_i,b_m)\vee(a_j,b_n))=t_1(T((a_i,b_m)\vee(a_j,b_n)))\geqslant(\alpha,\beta)\otimes t_1(T((a_i,b_m)\vee(a_j,b_n)))$

(因为$(a_i,b_m)\vee(a_j,b_n)\to(a_i,b_m)\oplus(a_j,b_n)=I$)

又因为 $t_1(T((a_i,b_m)\vee(a_j,b_n)))\geqslant t_1(\alpha,\beta)\otimes T((a_i,b_m)\vee(a_j,b_n))$,故对任意 $T\in\Im_H$,$(\alpha,\beta)\in L$,T 关于(r_1^2,t_1)的α-i 型闭,$(\alpha,\beta)\in L$,$i=I,II$。

定理 6 在语言真值格值命题逻辑系统 $\ell P(X)$ 中,对于 (a_i,b_m),$(a_j,b_n)\in F_p$,其中 i,j,m,n 为任意的自然数,(α_1,β_1),$(\alpha_2,\beta_2)\in L$,定义 $r_2^1((a_i,b_m),(a_j,b_n))=(a_i\wedge a_j,b_m\wedge b_n)$,$t_2^1((\alpha_1,\beta_1),(\alpha_2,\beta_2))=(\alpha_1\wedge\alpha_2,\beta_1\wedge\beta_2)$,则对于任意 $T\in\Im_H$,T 关于(r_2^1,t_2^1)的 α-i 型闭,$(\alpha,\beta)\in L$,$i=I,II$。

证明:由前面可知 t_2^1 为二元真值运算,对于任意(a_i,b_m),$(a_j,b_n)\in F_p$,$(\alpha,\beta)\in L$,

$T(r_2^1((a_i,b_m),(a_j,b_n)))=T(a_i\wedge a_j,b_m\wedge b_n)=T(a_i,b_m)\wedge T(a_j,b_n)$

$=t_2^1(T(a_i,b_m),T(a_j,b_n))\geqslant(\alpha,\beta)\otimes t_2^1(T(a_i,b_m),T(a_j,b_n))$

又因为 $t_2^1(T(a_i,b_m),T(a_j,b_n))\geqslant t_2^1((\alpha,\beta)\otimes T(a_i,b_m),(\alpha,\beta)\otimes T(a_j,b_n))$。

因此对于任意 $T\in\Im_H$,(α_1,β_1),$(\alpha_2,\beta_2)\in L$,T 关于(r_2^1,t_2^1)的(α,β)-i 型闭,$(\alpha,\beta)\in L$,$i=I,II$。

定理 7 在语言真值格值命题逻辑系统 $\ell P(X)$ 中,对于 (a_i,b_m),(a_j,b_n),$(a_k,b_h)\in F_p$,
其中 i,j,m,n,k,h 为任意的自然数,(α_1,β_1),(α_2,β_2),$(\alpha,\beta)\in L$,

定义 $r_2^2((a_i,b_m)\to(a_j,b_n),(a_i,b_m)\to(a_k,b_h))=(a_i,b_m)\to(a_j\wedge a_k,b_n\wedge b_h)$,$t_2^1((\alpha_1,\beta_1),(\alpha_2,\beta_2))=(\alpha_1\wedge\alpha_2,\beta_1\wedge\beta_2)$,则对于任意 $T\in\Im_H$,T 关于(r_2^2,t_2^1)的(α,β)-i 型闭,$(\alpha,\beta)\in L$,$i=I,II$。

证明:根据 $T(r_2^2((a_i,b_m)\to(a_j,b_n),(a_i,b_m)\to(a_k,b_h)))$

$=T((a_i,b_m)\to(a_j\wedge a_k,b_n\wedge b_h))$

$=T(a_i\to a_j\wedge a_k,b_m\to b_n\wedge b_h)$

$=T((a_i\to a_j)\wedge(a_i\to a_k),(b_m\to b_n)\wedge(b_m\to b_h))$

$=T((a_i,b_m)\to(a_j,b_n))\wedge T((a_i,b_m)\to(a_k,b_h))$

$=t_2^1(T((a_i,b_m)\to(a_j,b_n)),T((a_i,b_m)\to(a_k,b_h)))$

$=(\alpha,\beta)\otimes t_2^1(T((a_i,b_m)\to(a_j,b_n)),T((a_i,b_m)\to(a_k,b_h)))$

并且有 $t_2^1(T((a_i,b_m)\to(a_j,b_n)),T((a_i,b_m)\to(a_k,b_h)))$

$\geqslant t_2^1((\alpha,\beta)\otimes T((a_i,b_m)\to(a_j,b_n)),(\alpha,\beta)\otimes T((a_i,b_m)\to(a_k,b_h)))$。

因此对于任意 $T\in\Im_H$,T 关于(r_2^2,t_2^1)的(α,β)-i 型闭,$(\alpha,\beta)\in L$,$i=I,II$。

定理 8 在语言真值格值命题逻辑系统 $\ell P(X)$ 中,对于 $p=(a_i,b_m)$,$g=(a_j,b_n)$,,$q=(a_k,b_h)\in F_p$,其中 i,j,m,n,k,h 为任意的自然数,(α_1,β_1),(α_2,β_2),$(\alpha,\beta)\in L$,定义 $r_2^3(p\to g,q\to g)=g'\to(p\to q)$,$t_2^2((\alpha_1,\beta_1),(\alpha_2,\beta_2))=(\alpha_1\oplus\alpha_2,\beta_1\oplus\beta_2)$,则对于任意 $T\in\Im_H$,T 关于(r_2^3,t_2^2)的(α,β)-i 型闭,$(\alpha,\beta)\in L$,$i=I,II$。

证明:依据 $T(r_2^3(p\to g,q\to g)=g'\to(p\to q))=T((a_j,b_n)'\to((a_i,b_m)\to(a_k,b_h)))$

$=T((a_i,b_m)\to((a_j,b_n)'\to(a_k,b_h)))=T(a_i\to(a_i'\to a_k),b_m\to(b_n'\to b_h))$

$=T(a_i\to(a_j\oplus a_k),b_m\to(b_n\oplus b_h))$

$=T((a_i\to a_j)\oplus(a_i\to a_k),(b_m\to b_n)\oplus(b_m\to b_h))$

$=T((a_i,b_m)\to(a_j,b_n)\oplus T((a_i,b_m)\to(a_k,b_h))$

$=t_2^2(T((a_i,b_m)\to(a_j,b_n),T((a_i,b_m)\to(a_k,b_h)))$

$\geqslant(\alpha,\beta)\otimes t_2^2(T((a_i,b_m)\to(a_j,b_n),T((a_i,b_m)\to(a_k,b_h)))$

并且有 $t_2^2(T((a_i,b_m)\to(a_j,b_n),T((a_i,b_m)\to(a_k,b_h)))$

$\geqslant t_2^2((\alpha,\beta)\otimes T((a_i,b_m)\to(a_j,b_n)),(\alpha,\beta)\otimes T((a_i,b_m)\to(a_k,b_h)))$,

因此对于任意 $T\in\Im_H$,T 关于(r_2^3,t_2^2)的(α,β)-i 型闭,$(\alpha,\beta)\in L$,$i=I,II$。

定理 9 在语言真值格值命题逻辑系统 $\ell P(X)$ 中,对于 (a_i,b_m),(a_j,b_n),$(a_k,b_h)\in F_p$,其中 i,j,m,n,k,h 为任意的自然数,(α_1,β_1),(α_2,β_2),$(\alpha,\beta)\in L$,定义

$r_2^4((a_k,b_h)\to(a_i,b_m),(a_k,b_h)\to(a_j,b_n))=(a_k,b_h)\to((a_i,b_m)\vee(a_j,b_n))$,

$t_2^3((\alpha_1,\beta_1),(\alpha_2,\beta_2))=(\alpha_1\vee\alpha_2,\beta_1\vee\beta_2)$,则对于任意 $T\in\Im_H$,T 关于(r_2^4,t_2^3)的(α,β)-i 型闭,$(\alpha,\beta)\in L$,$i=I,II$。

证明:根据 $T(r_2^4((a_k,b_h)\to(a_i,b_m),(a_k,b_h)\to(a_j,b_n)))$

$=T((a_k,b_h)\to((a_i,b_m)\vee(a_j,b_n)))$

$=T(((a_k,b_h)\to(a_i,b_m))\vee((a_k,b_h)\to(a_j,b_n)))$

$=T((a_k,b_h)\to(a_i,b_m))\vee T((a_k,b_h)\to(a_j,b_n))$

$=t_2^3(T((a_k,b_h)\to(a_i,b_m)),T((a_k,b_h)\to(a_j,b_n)))$

$\geqslant(\alpha,\beta)\otimes t_2^3(T((a_k,b_h)\to(a_i,b_m)),T((a_k,b_h)\to(a_j,b_n)))$

并且有 $t_2^3(T((a_k,b_h)\to(a_i,b_m)),T((a_k,b_h)\to(a_j,b_n)))$

$\geqslant t_2^3((\alpha,\beta)\otimes T((a_k,b_h)\to(a_i,b_m)),(\alpha,\beta)\otimes T((a_k,b_h)\to(a_j,b_n)))$。

故有 T 关于(r_2^4,t_2^3)的(α,β)-i 型闭,$(\alpha,\beta)\in L$,$i=I,II$。

定理 10 在语言真值格值命题逻辑系统 $\ell P(X)$ 中,对于

$(a_i,b_m),(a_j,b_n),(a_k,b_h)\in F_p$，其中 i,j,m,n,k,h 为任意的自然数，$(\alpha_1,\beta_1),(\alpha_2,\beta_2),(\alpha,\beta)\in L$，定义

$r_2^5((a_k,b_h)\otimes(a_i,b_m),(a_k,b_h)\otimes(a_j,b_n))=(a_i\otimes(a_j\vee a_k),b_m\otimes(b_n\vee b_h))$，

$t_2^3((\alpha_1,\beta_1),(\alpha_2,\beta_2))=(\alpha_1\vee\alpha_2,\beta_1\vee\beta_2)$，则对于任意 $T\in\Im_H$，T 关于 (r_2^5,t_2^3) 的 (α,β)-i 型闭，$(\alpha,\beta)\in L$，$i=I,II$。

证明：根据 $T(r_2^5((a_k,b_h)\otimes(a_i,b_m),(a_k,b_h)\otimes(a_j,b_n)))$

$=T(a_i\otimes(a_j\vee a_k),b_m\otimes(b_n\vee b_h))$

$=T((a_i,b_m)\otimes((a_j,b_n)\vee(a_k,b_h)))$

$=T(((a_i,b_m)\otimes(a_j,b_n))\vee((a_i,b_m)\otimes(a_k,b_h)))$

$=T((a_i,b_m)\otimes(a_j,b_n))\vee T((a_i,b_m)\otimes(a_k,b_h))$

$=t_2^4(T((a_i,b_m)\otimes(a_j,b_n)),T((a_i,b_m)\otimes(a_k,b_h))))$

$\geqslant(\alpha,\beta)\otimes t_2^4(T((a_i,b_m)\otimes(a_j,b_n)),T((a_i,b_m)\otimes(a_k,b_h)))$

并且有 $t_2^4(T((a_i,b_m)\otimes(a_j,b_n)),T((a_i,b_m)\otimes(a_k,b_h))))\geqslant t_2^4((\alpha,\beta)\otimes T((a_i,b_m)\otimes(a_j,b_n)),(\alpha,\beta)\otimes T((a_i,b_m)\otimes(a_k,b_h)))$

因此对于任意 $T\in\Im_H$，T 关于 (r_2^5,t_2^3) 的 (α,β)-i 型闭，$(\alpha,\beta)\in L$，$i=I,II$。

在实际应用中，往往需要合理的推理规则。由上述所得到的推理规则可以看出这些推理规则具备两个特点：推理规则中含有自然语言；其次它们均有语义部分和语法部分。因此这些规则是可靠有效的。

参考文献

[1] Borns D W, Mack J M. An algebraic introduction on mathematical logic [M]. Berlin: Springer, 1975

[2] Goguen J A. The logic of inexact concepts [J]. Synthese, 1969, 19: 325-373

[3] Pavelka J. On fuzzy logic Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ [J]//Zeitschr. F, ed. Math. Logic and Grundlagend Math., 1979, 25: 45-52, 119-134, 447-464

[4] Novak V. First-order fuzzy logic [J]. Studia Logica, 1982, 46 (1): 87-109

[5] Bolc L, Borowik P. Many-valued Logics [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1992

[6] Ben-Eliyahu R, Dechter R. Default reasoning using classical logic [J]. Artificial Intelligence, 1996, 84: 113-150

[7] 徐扬. 格蕴涵代数[J]. 西南交通大学学报, 1993, 28(1): 20-27

[8] 徐扬, 秦克云. 格值命题逻辑(I). 西南交通大学学报, 1993, 1 (2): 123-128

[9] 秦克云, 徐扬. 格值命题逻辑(II)[J]. 西南交通大学学报, 1994, 2(1): 22-27

[10] 徐扬, 秦克云. 关于格值逻辑系统的研究[C]//西南交通大学百周年校庆论文集. 成都: 西南交通大学出版社, 1996: 72-80

[11] 徐扬, 秦克云, 宋振明. 格值一阶逻辑的 FM 算法[J]. 科学通报, 1997(10): 1052-1055

[12] Xu Y, Qin K Y, Liu J, et al. L-valued propositional logic L_{vpl}[J]. Information Science, 1999, 114: 205-235

[13] Xu Y, Liu J, Song Z, et al. On semantics of L-valued first-order logic [J]. International Journal Gen. Systems, 2000, 29: 53-79

[14] Xu Y, Song Z, Qin K, et al. Syntax of L-valued first-order logic L_{vfl}[J]. Mult. -valued logic, 2001, 7: 213-257

[15] Xu Y, Ruan D, Liu J. Approximate reasoning based on lattice-valued propositional logic L_{vpl}[J]//Ruan D. and Kerre E E, eds. Fuzzy If-Then Rules in Computational Intelligence: Theory and Applications. Kluwer Academic Publishers, 2000: 81-105

[16] 秦克云, 徐扬, 宋振明. 基于系统 L(X)的几种近似推理[J]. 模糊系统与数学, 1998, 12(2): 55-60

[17] Xu Y, Ruan D, Qin K Y, et al. Lattice-Valued Logic-An alternative approach to treat fuzziness and incomparability. Studies in Fuzziness and Soft Computing [M], Berlin: Springer, 2003

[18] Pei Z, Xu Y. Lattice implication algebra model of a kind of linguistic terms and its inference [C]//Proceeding of the 6th International FLINS Conference. 2004: 93-98

[19] Chen S W, Xu Y, Ma J. A linguistic truth-valued uncertainty reasoning model based on lattice-valued logic. Fuzzy Systems and Knowledge Discovery [C]//International Conference, FSKD2005. LNAI 3613, 2005: 276-283

[20] Meng D, Jia H D, XU Y. Framework of six linguistic lattice-valued evaluation system [C]// International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering. 2006

[21] Xu Y, Chen S W, Ma J. Linguistic truth-valued lattice implication algebra and its properties [C]//Proceeding of CESA2006 Conference. 2006: 1413-1418

[22] Lai J J, Xu K J, Xu Y, et al. Linguistic truth-valued lattice value propositional logic $\ell P(X)$ (in press)

(上接第 212 页)

[3] Yang Jian, Jin Zhong, Yang Jing-Yu, et al. Frangi: Essence of kernel Fisher discriminant: KPCA plus LDA. Pattern Recognition, 2004, 37(10): 2097-2100

[4] Billings S A, Lee K L. Nonlinear Fisher discriminant analysis using a minimum squared error cost function and the orthogonal least squares algorithm. Neural Networks, 2002, 15(2): 263-270

[5] Chen S, Hong X, Harris C J. Sparse kernel regression modeling using combed locally regularized orthogonal least squares and D-optimality experiments design. IEEE Trans. on Automatic Control, 2003, 48(6): 1029-1036

[6] Mika S, Rätsch G, Weston J, et al. Fisher discriminant analysis with kernels// Hu Y H, Larsen J, Wilson E, et al. Neural Networks for Signal Processing IX. IEEE, 1999: 41-48

[7] Mika S, Smola A J, Schölkopf B. An improved training algorithm for kernel fisher discriminants// Jaakkola T, Richardson T, eds. Proceedings AISTATS. Morgan Kaufmann, 2001: 98-104

[8] Xu Y, Yang J Y, Lu J F. An efficient kernel-based nonlinear regression method for two-class classification // Proceedings of 2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Guangzhou, China, 2005: 4442-4445

[9] Xu J, Zhang X, Li Y. Kernel MSE algorithm: A unified framework for KFD, LS-SVM and KRR// Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN-2001). Washington, D. C., 2001: 1486-1491

[10] Xu Yong, Zhang D, Song Fengxi, et al. A method for speeding up feature extraction based on KPCA. Neurocomputing, 2007, 70 (4/6): 1056-1061

[11] Xu Y, Yang J Y, Lu J, et al. An efficient renovation on kernel Fisher discriminant analysis and face recognition experiments. Pattern Recognition, 2004, 37 (10): 2091-2094

[12] Xu Y, Zhang D, Jin Z, et al. A fast kernel-based nonlinear discriminant analysis for multi-class problems. Pattern Recognition, 2006, 39(6): 1026-1033

[13] Duda R, Hart P. Pattern Classification and Scene Analysis. New York: Wiley, 1973

[14] Song Fengxi, Yang Jingyu, Liu Shuhai. Pattern recognition based on the minimum norm minimum-squared error classifier// The Eighth International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision. Kunming, China, December 2004

[15] 边肇祺, 张学工. 模式识别. 北京: 清华大学出版社, 2000

[16] 徐勇, 陆建峰, 金忠, 等. 改进的 KMSE 方法及其应用. 模式识别与人工智能, 2007, 20(3): 394-398

[17] 俞正光, 等. 线性代数. 北京: 清华大学出版社, 2005