语言真值格值命题逻辑中的α-语义归结方法

张家锋[1] 徐 扬[2] 陈 琴[3]
(贵州民族大学理学院 贵阳 550025)[1] (西南交通大学智能控制开发中心 成都 610031)[2]
(贵州财经大学信息学院 贵阳 550025)[3]

摘 要 语言值智能信息处理是人工智能的一个重要研究方向，基于归结原理的自动推理因易于在计算机上实现而得到广泛研究。为了提高基于语言真值格值逻辑的α-归结原理的效率，将语义归结策略应用于α-归结原理，研究了基于格值逻辑的归结自动推理方法。首先给出了语言真值格值命题逻辑系统的α-语义归结与$\mathscr{L}_nP(X)$中相应归结水平的语义归结之间的等价性，并通过实例说明其有效性。接着，给出了语言真值格值命题逻辑系统的α-语义归结算法，并证明了该算法的可靠性和完备性。

关键词 自动推理，语义归结，语言真值格蕴涵代数，格值逻辑
中图法分类号 TP181 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.11.026

α-Semantic Resolution Method Based on Linguistic Truth-valued Lattice-valued Propositional Logic

ZHANG Jia-feng[1] XU Yang[2] CHEN Qin[3]
(School of Science, Guizhou Minzu University, Guiyang 550025, China)[1]
(Intelligent Control Development Center, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)[2]
(School of Information, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China)[3]

Abstract Linguistic-values-based intelligent information processing is one of the most important research directions in artificial intelligence, and resolution-based automated reasoning has been extensively studied because of its easy implement on computer. For improving the efficiency of α-resolution principle in linguistic truth-valued lattice-valued logic, we applied the semantic resolution strategy to α-resolution and investigated the resolution-based automated reasoning method in lattice-valued logic. Firstly, the equivalence of α-semantic resolution in linguistic truth-valued lattice-valued propositional logic $\mathscr{L}_{V(n\times 2)}P(X)$ and the α-semantic resolution in corresponding resolution level for $\mathscr{L}_nP(X)$ was given, and the effectiveness of α-semantic resolution method was illustrated through an example. Subsequently, the semantic resolution algorithm for this resolution was investigated, and sound theorem and weak complete theorem of this semantic resolution method were proved.

Keywords Automated reasoning, Semantic resolution, Linguistic truth-valued lattice implication algebra, Lattice-valued logic

1 引言

自动推理是人工智能的一个重要的研究方向。由于归结方法易于机械化，自从1965年Robinson提出归结原理[1]以来，基于归结原理的自动推理方法便得到了迅速的发展，目前已广泛应用于问题求解、逻辑编程以及程序验证等领域。由于归结规则很少利用领域的知识，导致了其效率低下。许多学者对经典归结进行了改进，其中最著名的改进策略有语义归结、线性归结和锁归结[2]。

格值逻辑是一种重要的非经典逻辑，它是真值取在格上的逻辑系统。由于格中既有可比较元素也有不可比较元素，因此格是刻画不确定性信息的序关系和不可比较性的一个代数结构，在处理包含不确定信息的智能系统中将起到至关重要的作用。作为其理论基础的格值逻辑系统也是一个重要且有发展前途的研究方向。

徐扬[3,4]将基于经典逻辑的归结原理扩展到基于格蕴涵代数[5]的格值逻辑上，给出了格值命题逻辑系统$LP(X)$和格值一阶逻辑系统$LF(X)$中的α-归结原理，奠定了格值逻辑系统上α-归结自动推理的理论基础。α-归结原理能够对格值逻辑中某一真值水平下的不可满足广义子句集给出判定。自2000年α-归结原理被提出以来，基于α-归结原理的归结方法以及归结方法的相容性就得到了大量研究。

到稿日期：2014-07-18 返修日期：2014-11-13 本文受国家自然科学基金项目(61175055，61305074)，贵州省科学技术基金项目(黔科合J字LKB[2012]02号，黔科合J字[2010]2097号)资助。
张家锋(1981－)，男，博士，副教授，主要研究方向为格值逻辑、自动推理，E-mail：jiafengzhang@163.com；**徐 扬**(1956－)，男，博士，教授，博士生导师，CCF会员，主要研究方向为逻辑代数、代数逻辑、自动推理和不确定性推理；**陈 琴**(1977－)，女，硕士，副教授，主要研究方向为电子商务技术、网上支付与结算。

基于语言值的智能信息处理方法比数值智能信息处理方法更贴近于客观实际，其中较为热门的方向有语言值自动推理、语言值不确定性推理、文字计算(CWW)等[6]。

为充分体现格值逻辑与基于格值逻辑的归结自动推理的有效性与实用性，徐扬利用人们常用的刻画程度性的修饰词和格蕴涵代数，采用数学方法构造了语言真值格蕴涵代数并对其性质进行了详细研究[7]，为基于语言值的知识表示和近似推理提供了必要的逻辑基础。接着一些学者研究了基于格值逻辑的语言真值归结自动推理和语言真值不确定性推理。文献[8]建立了基于格蕴涵代数 $L_n\times L_2$ 的格值命题逻辑($L_n\times L_2$)$P(X)$的 α 归结的弱完备性定理，并给出了基于语言真值格蕴涵代数 L-LIA 的语言真值命题逻辑 $\mathscr{L}$ 的 α 归结的弱完备性。文献[9]刻画了格值命题逻辑 $L_{n\times 2}P(X)$ 中的广义文字的 α-归结域的性质，及 $L_{n\times 2}P(X)$ 中的 α-归结与 $L_nP(X)$、$L_2P(X)$相应归结水平之间的关系。文献[10]建立了语言真值命题逻辑系统 $L_6P(X)$，研究了 $L_6P(X)$的“不太真”归结原理，并证明了其可靠性和完备性。文献[11]给出了格值命题逻辑系统 $L_9P(X)$上的放缩原理和放缩归结原理，基于放缩归结原理，给出了一种判断 $L_9P(X)$上子句集 S 为 M-可满足的自动推理算法(这里 M 为 L_9 上的中界元)，并证明了其可靠性和完备性。李晓冰[9]研究了语言真值格值命题逻辑系统 $L_nP(X)$中 0-IESF、1-IESF 和部分 2-IESF 的 α-归结域。许伟涛等[12]研究了语言真值格值命题逻辑系统中广义文字的结构；接着，许伟涛等[12]研究了语言真值格蕴涵代数中蕴涵运算的性质，确定了哪些蕴涵运算是可归约的，哪些蕴涵运算是不可归约的；然后提出了基于语言真值格值命题逻辑 $\mathscr{L}_{V(n\times 2)}P(X)$的 α-有序线性归结自动推理方法和 α-广义线性归结自动推理方法，并分别构造了这两种自动推理方法的算法以及实现 α-广义线性归结的程序。X. M. Zhong 等[14]研究了语言真值格值命题逻辑 $\mathscr{L}_{V(n\times 2)}P(X)$中 α-归结原理的一般形式。同时钟小梅[15]研究了基于语言真值格值命题逻辑 $\mathscr{L}_{V(n\times 2)}P(X)$的 α-准锁语义归结方法和 α-群准锁语义归结方法，并建立了与这两种归结方法相对应的算法。2012 年，何星星等[16]讨论了语言真值格值命题逻辑中的 α-广义锁归结方法，并给出了其可靠性和完备性，同时设计了实现 α-广义锁归结的算法。2013 年，许伟涛等[17]给出了语言真值格蕴涵代数 $\mathscr{L}_{V(9\times 2)}$的一些性质，在基于十八元语言真值格蕴涵代数 $\mathscr{L}_{V(9\times 2)}$的格值命题逻辑系统 $\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$框架下，刻画了 1-IESF 和 2-IESF 型对应广义文字的结构，给出了广义文字的可归结性。

为了提高基于语言真值格值逻辑 $\mathscr{L}_{V(n\times 2)}P(X)$的 α 归结自动推理的效率，本文研究了语言真值格值命题逻辑系统中的 α-语义归结；具体讨论了语言真值格值命题逻辑系统中的 α-语义归结与格值命题逻辑系统 $\mathscr{L}_nP(X)$中的相应归结水平的语义归结的等价性，同时给出了语言真值格值命题逻辑系统中的 α-语义归结算法，并证明了该算法的可靠性和弱完备性。

2 预备知识

首先给出本文需要的一些基本知识。

定义 1[5] 设$(L,\vee,\wedge,{}',O,I)$是带有逆序对合“$'$”的有界格，I 和 O 是 L 的最大元和最小元，$\rightarrow:L\times L\rightarrow L$ 是一个映射，称$(L,\vee,\wedge,{}',O,I)$是格蕴涵代数，如果对于任意 $x,y,z\in L$，下列条件成立：

$(\mathrm{I}_1)\ x\rightarrow(y\rightarrow z)=y\rightarrow(x\rightarrow z)$；

$(\mathrm{I}_2)\ x\rightarrow x=1$；

$(\mathrm{I}_3)\ x\rightarrow y=y'\rightarrow x'$；

$(\mathrm{I}_4)\ x\rightarrow y=y\rightarrow x=1$ 蕴涵 $x=y$；

$(\mathrm{I}_5)\ (x\rightarrow y)\rightarrow y=(y\rightarrow x)\rightarrow x$；

$(\mathrm{L}_1)\ (x\vee y)\rightarrow z=(x\rightarrow y)\wedge(x\rightarrow z)$；

$(\mathrm{L}_2)\ (x\wedge y)\rightarrow z=(x\rightarrow y)\vee(x\rightarrow z)$。

以下总假设$(L,\vee,\wedge,{}',\rightarrow,O,I)$为一格蕴涵代数，记为 L。

定义 2[6,7] 设 $L_n=\{d_1,d_2,\cdots,d_n\}$，且 $d_1<d_2<\cdots<d_n$，$L_2=\{b_1,b_2\}$，且 $b_1<b_2$，$(L_n,\vee_{(L_n)},\wedge_{(L_n)},{}'^{(L_n)},\rightarrow_{(L_n)},d_1,d_n)$ 和 $(L_2,\vee_{(L_2)},\wedge_{(L_2)},{}'^{(L_2)},\rightarrow_{(L_2)},b_1,b_2)$ 是两个 Łukaisewicz 蕴涵代数，对于任意(d_i,b_j)，$(d_k,b_m)\in L_n\times L_2$，定义：

$$(d_i,b_j)\vee(d_k,b_m)=(d_i\vee_{(L_n)}d_k,b_j\vee_{(L_2)}b_m)$$

$$(d_i,b_j)\wedge(d_k,b_m)=(d_i\wedge_{(L_n)}d_k,b_j\wedge_{(L_2)}b_m)$$

$$(d_i,b_j)'=(d_i^{'(L_n)},b_j^{'(L_2)})$$

$$(d_i,b_j)\rightarrow(d_k,b_m)=(d_i\rightarrow_{(L_n)}d_k,b_j\rightarrow_{(L_2)}b_m)$$

则$(L_n\times L_2,\vee,\vee,{}',\rightarrow,(d_1,b_1),(d_n,b_2))$是一个格蕴涵代数，记为 $\mathscr{L}_n\times\mathscr{L}_2$。

定义 3[6,7] 若 $MT=\{f,t\}$，则称之为元语言值集。定义在元语言值集上的格蕴涵代数称为元语言真值格蕴涵代数，其中 $f<t$，运算“$'$”定义为 $f'=t$、$t'=f$，运算“$\rightarrow$”定义为$\rightarrow$：$MT\times MT\longrightarrow MT$，$x\rightarrow y=x'\vee y$。

定义 4[6,7] 记 $AD_n=\{a_i\mid i=1,2,\cdots,n\}$，$a_1<a_2<\cdots<a_n$ 且 $a_i(i=1,2,\cdots,n)$为元语言的修饰词，AD_n 上的运算定义为，对于任意 $a_j,a_k\in AD_n$：

$$a_j\vee a_k=a_{\max(j,k)}$$

$$a_j\wedge a_k=a_{\min(j,k)}$$

$$(a_j)'=a_{n-j+1}$$

$$a_j\rightarrow a_k=a_{\min(n-j+k,n)}$$

则$(AD_n,\vee,\wedge,{}',\rightarrow,a_1,a_n)$是一个格蕴涵代数，称之为修饰词格蕴涵代数。

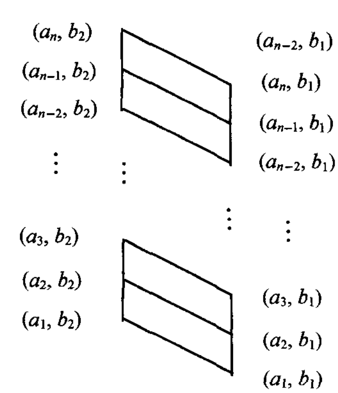

图 1 $L_n\times L_2$ 的 Hasse 图

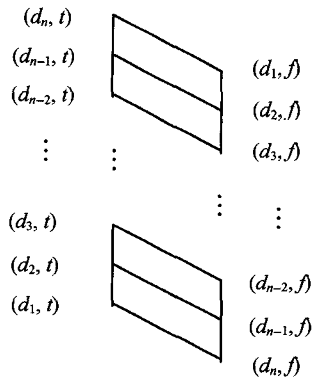

图 2 $L_{V(n\times 2)}$ 的 Hasse 图

定义 5[6,7] 设 $AD_n=\{a_i \mid i=1,2,\cdots,n\}$ 是带有 n 个修饰词的集合，且 $a_1<a_2<\cdots<a_n$，$MT=\{f,t\}$ 是元语言值集，且 $f<t$，记 $L_{V(n\times 2)}=AD_n\times MT$，定义映射 $g:L_{V(n\times 2)}\longrightarrow L_n\times L_2$，

$$g((a_i,mt))=\begin{cases}(d_i{}',b_1), & mt=f\\ (d_i,b_2), & mt=t\end{cases}$$

则 g 是一个双射，记其逆映射为 g^{-1}。对于任意 $x,y\in L_{V(n\times 2)}$，定义

$$x\vee y=g^{-1}(g(x)\vee g(y))$$
$$x\wedge y=g^{-1}(g(x)\wedge g(y))$$
$$x\rightarrow y=g^{-1}(g(x)\rightarrow g(y))$$
$$x'=g^{-1}((g(x))')$$

则 $\mathscr{L}_{V(n\times 2)}=(L_{V(n\times 2)},\vee,\wedge,',\rightarrow,(a_1,f),(a_n,t))$ 被称为由 AD_n 和 MT 生成的格蕴涵代数，称其中的元素为语言值，且 g 是一个从 $(L_{V(n\times 2)},\vee,\wedge,',\rightarrow,(a_1,f),(a_n,t))$ 到 $L_n\times L_2$ 的同构映射。

定义 6[18] 设 X 为一个命题变元集，$T=L\cup\{',\rightarrow\}$ 是一个型，其中 $ar(')=1$，$ar(\rightarrow)=2$，对任意 $a\in L$，有 $ar(a)=0$，称 X 上的自由 T-代数为命题变元集合 X 上的格值命题演算系统的命题代数，简记为 $LP(X)$。

为下文叙述方便，称 L 中的元素为常元。

定义 7[18] $LP(X)$ 为满足下列条件的最小的集合 Y：

(1)$Y\cup L\subseteq Y$；

(2)如果 $p,q\in Y$，则 $p',p\rightarrow q\in Y$。

定义 8[18] 如果映射 $v:LP(X)\rightarrow L$ 是一个 T-代数同态，则称 v 为 $LP(X)$ 的一个赋值。

定义 9[3] 设 F 为 $LP(X)$ 中的格值命题逻辑公式，如果删除 F 中的任何常量、文字和蕴涵项，得到的新的格值命题逻辑公式 F^* 都不与 F 等值，称 F 为极简公式，简记为 ESF，其中，文字指的是 $LP(X)$ 中单个命题变元。

定义 10[3] 格值命题逻辑公式 F 称为不可分极简式，且为 ESF，如果 F 中除了蕴涵项之外不含有其它运算，则称 F 为极简不可分蕴涵式，简记为 IESF，如果：

(1)F 是 ESF 且至多含有连接词$\rightarrow$和 $'$；

(2)对于任意 $g\in LP(X)$，如果 $g\in\bar{F}$ 属于 $\overline{LP(X)}$，则 g 是 ESF 且至多包含连接词$\rightarrow$和 $'$，此处 $\overline{LP(X)}=(\overline{LP(X)}/_{=},\vee,\wedge,',\rightarrow)$ 是格蕴涵代数，$\overline{LP(X)}/_{=}=\{\bar{p}\mid p\in LP(X)\}$，$\bar{p}=\{q\mid q\in LP(X),q=p\}$，其中对于任意 $\bar{p},\bar{q}\in\overline{LP(X)}/_{=}$，$\bar{p}\vee\bar{q}=\overline{p\vee q}$，$\bar{p}\wedge\bar{q}=\overline{p\wedge q}$，$(\bar{p})'=\bar{p}'$，$\bar{p}\rightarrow\bar{q}=\overline{p\rightarrow q}$。

定义 11[3] 所有的常量、文字和 IESF 称为广义文字。

定义 12[3] $LP(X)$ 中的格值命题逻辑公式 G 称为广义子句，如果 G 具有下列形式：

$$G=g_1\vee\cdots\vee g_i\vee\cdots\vee g_n$$

其中，$g_i(1\leqslant i\leqslant n)$ 是广义文字。

定义 13[3] 设 G_1,G_2 为 $LP(X)$ 中有如下形式的广义子句：

$$G_1=g_1\vee\cdots\vee g_i\vee\cdots\vee g_m$$
$$G_2=h_1\vee\cdots\vee h_j\vee\cdots\vee h_n$$

若 $g_i\wedge h_j\leqslant\alpha$，称 $G=g_1\vee\cdots\vee g_{i-1}\vee g_{i+1}\vee\cdots\vee g_m\vee h_1\vee\cdots\vee h_{j-1}\vee h_{j+1}\vee\cdots\vee h_n$ 为 G_1 和 G_2 的 α-归结式，记为 $G=R_\alpha(G_1,G_2)$；称 g_i 和 h_j 为 α-归结对，记为(g_i,h_j)-α。

3 语言真值命题逻辑系统 $\mathscr{L}_{V(n\times 2)}P(X)$ 中的语义归结方法

本节将讨论语言真值格值命题逻辑系统中的 α-语义归结方法。

定义 14[20](α-$\mathcal{G}v$ 语义互撞) 设 $\mathcal{G}$ 是 $LP(X)$ 中广义子句集 S 中广义文字的一个次序，$E_1,E_2,\cdots,E_q,N$ 是 S 中的广义子句，v 是 S 的一个赋值，称有限广义子句序列$(E_1,E_2,\cdots,E_q,N)$为一个 α-Gv 语义互撞，若下列条件成立：

(1)$v(E_i)\leqslant\alpha(1\leqslant i\leqslant q)$；

(2)设 $R_1=N$，对于任意 $i=1,2,\cdots,q$，存在广义子句 R_i 和 E_i 的 α-归结式 $R_\alpha(R_i,E_i)$；

(3)E_i 中的归结文字是 E_i 中最靠前的广义文字；

(4)$v(R_{q+1})\leqslant\alpha$。

称 R_{q+1} 为这次 α-$\mathcal{G}v$ 语义互撞的 α-语义归结式。

定义 15[20] 设 S 为 $LP(X)$ 中包含广义子句 $C_1,C_2,\cdots,C_n$ 的广义子句集，记为 $S=C_1\wedge C_2\wedge\cdots\wedge C_n$，称 $\omega=\{D_1,D_2,\cdots,D_m\}$ 为从 S 到广义子句 D_m 的 α-语义归结演绎，如果有：

(1)$D_i\in\{C_1,C_2,\cdots,C_n\}$，或者

(2)D_i 是一个 α-$\mathcal{G}v$ 归结式。

3.1 基于语言真值格值命题逻辑 $\mathscr{L}_{V(n\times 2)}P(X)$ 的 (d_i,t)-语义归结自动推理方法

设 v,v_1 分别为 $\mathscr{L}_{n\times 2}P(X)$ 和 $\mathscr{L}_{V(n\times 2)}P(X)$ 中的赋值，且对任意命题变元 p，满足：

$$g(v_1(p))=v(p)$$

其中 g 为定义 5 中的映射。

定义 16 设 F 为 $\mathscr{L}_{n\times 2}P(X)$ 中的逻辑公式，若 F 中无常元，则记 $F^*=F$；若 F 中有常元 (a_i,b_1)，(a_j,b_2)，则分别将其替换为 (d_{n-i+1},f)，(d_j,t)，替换后得到的新的逻辑公式记为 F^*。

定义 17 设 F 为 $\mathscr{L}_{n\times 2}P(X)$ 中的逻辑公式，若 F 中无常元，则记 $F^{**}=F$；若 F 中有常元 (a_i,b_j)，则将其替换为 a_i，替换后得到的新的逻辑公式记为 F^{**}。

定理 1[14] 设 g 为 $\mathscr{L}_{n\times 2}P(X)$ 中的广义文字，v 为 $\mathscr{L}_{n\times 2}P(X)$ 的一个赋值，$\alpha\in L_{n\times 2}$，g^{**} 为由定义 17 所确定的 $\mathscr{L}_n P(X)$ 中的广义文字，则下列结论成立：

(1)$v(g)\leqslant\alpha$ 当且仅当 $v_2(g^{**})\leqslant a_i$；

(2)$v(g)\nleqslant\alpha$ 当且仅当 $v_2(g^{**})>a_i$，其中 $v_2=v\mid\mathscr{L}_n P(X)$。

定理 2[14] 设 C 为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 中的广义子句，v 为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 的一个赋值，$\alpha\in L_{n\times2}$，C^{**} 为由定义 17 所确定的 $\mathscr{L}_nP(X)$ 中的广义子句，则下列结论成立：

(1)$v(C)\leqslant\alpha$ 当且仅当 $v_2(C^{**})\leqslant a_i$；

(2)$v(C)\nleqslant$当且仅当 $v_2(C^{**})>a_i$。其中 $v_2=v\mid\mathscr{L}_nP(X)$。

定理 3 设 S,S^* 分别为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 和 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 中的广义子句集，其中 S^* 为由 S 转化而来的，$\alpha\in L_{n\times2}$，$\alpha=(a_i,b_2)$，则下列结论等价：

(1)存在一个从 S 到 α-□的关于赋值 v 的 α-语义归结演绎；

(2)存在一个从 S^* 到 (d_i,t)-□的关于赋值 v_1 的 (d_i,t)-语义归结演绎。

证明：(1)⇒(2)：若存在一个从 S 到 α-□的关于赋值 v 的 α-语义归结演绎。设其为 $\omega:D_1,D_2,\cdots,D_m=\alpha$-□，则能够通过如下方式构造出从 S^* 出发到 (d_i,t)-□的关于赋值 v_1 的 (d_i,t)-语义归结演绎 $\omega^*:D_1^*,D_2^*,\cdots,D_m^*=(d_i,t)$-□。

通过定义 16 的方式将 D_i 中每一个广义文字 g 转化成 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 中的广义文字 g^*，这样，得到的广义子句 D_i^* 为 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 中的广义子句。

对于 ω 中的每一个 α-语义互撞$(E_1,E_2,\cdots,E_q,N)$，由于 $v_1(E_i)\leqslant\alpha(i=1,2,\cdots,q)$，由 $E_1^*,E_2^*,\cdots,E_q^*$ 的构造方式知 $v_1(E_i^*)\leqslant(d_i,t)$，且其 (d_i,t)-语义互撞结果 E_{q+1}^* 在赋值 v_1 下为 (d_i,t)-假的。

又因为 ω^* 中所有广义文字的次序与其在 ω 中的对应广义文字具有相同的排序，所以$(E_1^*,E_2^*,\cdots,E_q^*,N^*)$为 (d_i,t)-语义互撞，且其 (d_i,t)-语义互撞结果 E_{q+1}^* 为 (d_i,t)-假的，特别地，D_m^* 为 (d_i,t)-假的。

(2)⇒(1)：若存在一个从 S^* 到 (d_i,t)-□的 (d_i,t)-语义归结演绎 $\omega^*:D_1^*,D_2^*,\cdots,D_m^*=(d_i,t)$-□，则可以通过如下方式构造从 S 出发到 α-□的 α-语义归结演绎 $\omega:D_1,D_2,\cdots,D_m=\alpha$-□。

将 D_i^* 中每一个广义文字 g^* 还原为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 中的广义文字 g，则此时 D_i^* 转化为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 中的广义子句 $D_i(i=1,2,\cdots,m)$，对于 ω^* 中的任何一个 (d_i,t)-语义互撞$(E_1^*,E_2^*,\cdots,E_q^*,N^*)$，有 $v_1(E_i)\leqslant(d_i,t)(i=1,2,\cdots,m)$。又由 ω^* 的构造方式知：$v(E_i)\leqslant\alpha$(其中 $i=1,2,\cdots,m$)，ω 中所有广义文字与 ω^* 中的其对应广义文字有相同的次序，且 E_i 中的广义文字与 E_i^* 中其对应文字有相同的排列次序，所以$(E_1,E_2,\cdots,E_q,N)$是一个 α-语义归结互撞，且其 α-语义互撞式 E_{q+1} 在赋值 v 下为 α-假的，尤其是 D_m 在赋值 v 下为恒 α-假的。

定理 4 设 S 为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 中的广义子句集，$\alpha\in L_{n\times2}$，$\alpha=(a_i,b_2)$，S^{**} 为 S 在 $\mathscr{L}_nP(X)$ 上的限制的广义子句集，v 为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 的一个赋值，则下列结论等价：

(1)存在一个从 S 到 α-□的关于赋值 v 的 α-语义归结演绎；

(2)存在一个从 S^{**} 到 a_i-□的关于赋值 v_2 的 a_i-语义归结演绎。

证明：(1)⇒(2)：若存在一个从 S 到 α-□的关于赋值 v 的 α-语义归结演绎，则能够通过如下方式构造从 S^{**} 到 a_i-□的关于赋值 v_2 的 a_i-语义归结演绎，其中，v_2 是 v 在 $\mathscr{L}_nP(X)$ 上的限制。

对于 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 中每一个 α-语义互撞$(E_1,E_2,\cdots,E_q,N)$，则$(E_1^{**},E_2^{**},\cdots,E_q^{**},N^{**})$中的每一个广义子句均为 $\mathscr{L}_nP(X)$ 中的广义子句。由于 E_i 在赋值 v 下为 α-假的，则 E_i^{**} 在赋值 v_2 下为 a_i-假的，且 E_i 中的所有广义文字与 E_i^* 中的广义文字具有相同的次序，因而，$(E_1^{**},E_2^{**},\cdots,E_q^{**},N^{**})$是一个 a_i-语义互撞。

(2)⇒(1)：若存在一个从 S^{**} 到 a_i-□的关于赋值 v_2 的 a_i-语义归结演绎 $\omega^{**}:D_1^{**},D_2^{**},\cdots,D_m^{**}=a_i$-□，则能够通过如下方式构造从 S 到 α-□的 α-语义归结演绎 $\omega:D_1,D_2,\cdots,D_m=\alpha$-□，即，对于 $D_i^{**}(i=1,2,\cdots,m)$ 中每一个广义文字 g^{**}，通过定义 17 的方式将 g^{**} 转化为 g，而将 D_i^{**} 转化为 D_i，此时 D_i 为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 中的广义子句。

对于 ω^{**} 中的每一个 a_i-语义互撞$(E_1^{**},E_2^{**},\cdots,E_q^{**},N^{**})$，由于 $E_1^{**},E_2^{**},\cdots,E_q^{**}$ 在赋值 v_2 下为 a_i-假的，由 $E_1^{**},E_2^{**},\cdots,E_q^{**}$ 的形成方式知：$E_1,E_2,\cdots,E_q$ 在赋值 v 下为 α-假的，又因 $E_1,E_2,\cdots,E_q$ 中的广义文字与 $E_1^{**},E_2^{**},\cdots,E_q^{**}$ 中与其相对应的广义文字具有相同的次序，因而$(E_1,E_2,\cdots,E_q,N)$为 ω 的一个 α-语义互撞，且其 α-语义归结式 E_{q+1} 在赋值 v 下为 α-假的。特别地，D_m 为恒 α-假的常子句。

根据定理 3 和定理 4 能得到，基于格蕴涵代数的语言真值格值命题逻辑 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 的 (d_i,t)-语义归结可等价转化为基于链型格蕴涵代数的格值命题逻辑 $\mathscr{L}_nP(X)$ 的 a_i-语义归结。

例 1 设 $S=\{(x\to(d_2,t))\vee(y\to(d_5,t))\vee z,x\vee z,y\vee z,z\to(d_9,f)\}$ 为 $\mathscr{L}_{V(9\times2)}P(X)$ 中的广义子句集，记为 $S=C_1\wedge C_2\wedge C_3\wedge C_4$，其中 x,y,z 为命题变元，$(d_2,t),(d_5,t),(d_9,f)\in L_{V(9\times2)}$，如果 $\alpha=(d_5,t)$，则存在一个从 S 到 α-□的 α-语义归结演绎。

设 v 为 $\mathscr{L}_{V(9\times2)}P(X)$ 中的一个赋值，且 v 满足：$v(x)=(d_1,f)$，$v(y)=(d_8,f)$，$v(z)=(d_7,f)$，设$\mathcal{G}$为 S 中所有广义文字的一个排序，且$\mathcal{G}$满足：$x\gg y\gg z\gg x\to(d_2,t)\gg y\to(d_2,t)\gg z\to(d_2,f)$。则有 $S\leqslant\alpha$。由定理 3、定理 4 知：要证明 $S\leqslant\alpha$，只需证明 $S^{**}\leqslant\alpha$ 即可，其中 S^{**} 为由定义 16、定义 17 所确定的 $\mathscr{L}_9P(X)$ 中的广义子句集。

按照定义 17 的方式有：$S^{**}=\{(x\to a_2)\vee(y\to a_5)\vee z,x\vee z,y\vee z,z\to a_9\}$，$v_2$ 是由 v_1 所确定的 $\mathscr{L}_9P(X)$ 中的一个赋值，且 v_2 满足：$v_2(x)=a_1$，$v_2(y)=a_8$，$v_2(z)=a_7$。

对 S^{**} 施行 a_5-语义归结方法，有如下 a_5-语义互撞：

①$(E_1^{**},E_2^{**},N^{**})$，其中 $E_1^{**}=x\vee z$，$E_2^{**}=y\vee z$，$N^{**}=(x\to a_2)\vee(y\to a_5)\vee z$，该 a_5-互撞的 a_5-语义归结式为 $E_3{}^{**}=z$。

②(E_1^{**},N^{**})，其中 $E_1^{**}=z$，$N^{**}=z\to a_9$，该 a_5-互撞语义的 a_5-语义归结式为 $E_2^{**}=a_5$-□。

我们得到一个从 S^{**} 出发到 a_5-□的 a_5-语义归结演绎，因而证得 $S^{**}\leqslant\alpha$，由等价性，有 $S\leqslant\alpha$。

3.2 基于语言真值格值命题逻辑 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 的 (d_{n-i+1},f)-语义归结自动推理方法

定理 5[14] 设 g 为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 中的广义文字，且 $g\geqslant(a_{i+1},b_1)$ 或者 $g\leqslant(a_i,b_1)$，v 为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 的一个赋值，$\alpha\in L_{n\times2}$，g^{**} 为由定义 17 所确定的 $\mathscr{L}_nP(X)$ 中的广义文字，$\alpha=(a_i,b_1)$，则下列结论成立：

(1)$v(g)\leqslant\alpha$ 当且仅当 $v_2(g^{**})\leqslant a_i$；

(2)$v(g)\nleqslant\alpha$ 当且仅当 $v_2(g^{**})>a_i$。其中 $v_2=v|\mathscr{L}_n P(X)$。

定理6[14] 设 C 为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 中的广义子句，且 $C\geqslant(a_{i+1},b_1)$ 或者 $C\leqslant(a_i,b_1)$，v 为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 的一个赋值，$\alpha\in L_{n\times2}$，且 $\alpha=(a_i,b_1)$，C^{**} 为定义 17 所确定的 $\mathscr{L}_nP(X)$ 中的广义子句，则下列结论成立：

(1)$v(C)\leqslant\alpha$ 当且仅当 $v_2(C^{**})\leqslant a_i$；

(2)$v(C)\nleqslant\alpha$ 当且仅当 $v_2(C^{**})>a_i$。其中 $v_2=v|\mathscr{L}_n P(X)$。

定理7 设 S,S^* 分别为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 和 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 中的广义子句集，其中 S^* 由 S 转化而来，$\alpha\in L_{n\times2}$，$\alpha=(a_i,b_2)$，则下列结论等价：

(1)存在一个从 S 出发到 α-□的关于赋值 v 的 α-语义归结演绎；

(2)存在一个从 S^* 出发到 (d_{n-i+1},f)-□的关于赋值 v_1 的 (d_{n-i+1},f)-语义归结演绎。

证明：(1)⇒(2)：若存在一个从 S 到 α-□的关于赋值 v 的 α-语义归结演绎。设其为 $\omega:D_1,D_2,\cdots,D_m=\alpha$-□，则能够通过如下方式构造出从 S^* 出发到 (d_{n-i+1},f)-□的关于赋值 v_1 的 (d_{n-i+1},f)-语义归结演绎 $\omega^*:D_1^*,D_2^*,\cdots,D_m^*=(d_{n-i+1},f)$-□。

通过定义 16 的方式将 D_i 中每一个广义文字 g 转化为 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 中的广义文字 g^*，这样，得到的广义子句 D_i^* 为 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 中的广义子句。

对于 ω 中的每一个 α-语义互撞 $(E_1,E_2,\cdots,E_q,N)$，由于 $v(E_i)\leqslant\alpha(i=1,2,\cdots,q)$，由 $E_1^*,E_2^*,\cdots,E_q^*$ 的构造方式知 $v_1(E_i)\leqslant(d_{n-i+1},f)$，且其 (d_{n-i+1},f)-语义互撞 E_{q+1}^* 在赋值 v_1 下为 (d_{n-i+1},f)-假的。

又因为 ω^* 中所有广义文字的次序与其在 ω 中的对应广义文字的次序相同，因而 $(E_1^*,E_2^*,\cdots,E_q^*,N^*)$ 为 (d_{n-i+1},f)-语义互撞，且其 (d_{n-i+1},f)-语义互撞结果 E_{q+1}^* 为 (d_{n-i+1},f)-假的。特别地，D_i^* 为 (d_{n-i+1},f)-假的。

(2)⇒(1)：若存在一个从 S^* 到 (d_{n-i+1},f)-□的 (d_{n-i+1},f)-语义归结演绎 $\omega^*:D_1^*,D_2^*,\cdots,D_m^*=(d_{n-i+1},f)$-□，则我们能够通过如下方式构造从 S 到 α-□的 α-语义归结演绎 ω：$D_1,D_2,\cdots,D_m=\alpha$-□。

将 D_i^* 中每一个广义文字 g^* 还原为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 中的广义文字 g，则此时 D_i 转化为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 中的广义子句 $D_i(i=1,2,\cdots,m)$，对于 ω^* 中的任何一个 (d_{n-i+1},f)-语义互撞 $(E_1^*,E_2^*,\cdots,E_q^*,N^*)$，$v_1(E_i^*)\leqslant(d_{n-i+1},f)(i=1,2,\cdots,m)$。由 ω^* 的构造方式知：$v(E_i)\leqslant\alpha$(其中 $i=1,2,\cdots,m$)，又因为 ω 中每一个广义文字与 ω^* 中其对应广义文字有相同的次序，且 E_i 中的广义文字与 E_i^* 中其对应文字有相同的排列次序，所以 $(E_1,E_2,\cdots,E_q,N)$ 是一个 α-语义归结演绎，且其 α-语义互撞结果 E_{q+1} 在赋值 v 下为 α-假的，尤其是 D_m 在赋值 v 下为 α-假的。

定理8 设 S 为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 中的广义子句集，$\alpha\in L_{n\times2}$，且 $\alpha=(a_i,b_1)$，对于 S 中的任意广义文字 g，有 $g\geqslant(a_{i+1},b_1)$ 或者 $g\leqslant(a_i,b_1)$，S^{**} 为 S 在 $\mathscr{L}_nP(X)$ 上的限制构成的广义子句集，v 为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 的一个赋值，则下列结论等价：

(1)存在一个从 S 到 α-□的关于赋值 v 的 α-语义归结演绎；

(2)存在一个从 S^{**} 到 a_i-□的关于赋值 v_2 的 a_i-语义归结演绎。

证明：(1)⇒(2)：若存在一个从 S 到 α-□的关于赋值 v 的 α-语义归结演绎，则能够通过如下方式构造从 S^{**} 到 a_i-□的关于赋值 v_2 的 a_i-语义归结演绎，这里 v_2 是 v 在 $\mathscr{L}_nP(X)$ 上的限制。

对于 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 中每一个 α-语义互撞 $(E_1,E_2,\cdots,E_q,N)$，则 $(E_1^{**},E_2^{**},\cdots,E_q^{**},N^{**})$ 中的每一个广义子句为 $\mathscr{L}_nP(X)$ 中的广义子句。由于 E_i 在赋值 v 下为 α-假的，则 E_i^{**} 在赋值 v_2 下为 a_i-假的，且 E_i^{**} 中的每一个广义文字与其在 E_i 中对应的广义文字具有相同的次序，因此 $(E_1^{**},E_2^{**},\cdots,E_q^{**},N^{**})$ 是一个 a_i-语义归结互撞。

(2)⇒(1)：若存在一个从 S^{**} 出发到 a_i-□的关于赋值 v_2 的 a_i-语义归结演绎 $\omega^{**}:D_1^{**},D_2^{**},\cdots,D_m^{**}=a_i$-□，则能够通过如下方式构造从 S 出发到 α-□的 α-语义归结演绎 ω：$D_1,D_2,\cdots,D_m=\alpha$-□，即，对于 $D_i^{**}(i=1,2,\cdots,m)$ 中每一个广义文字 g^{**}，通过定义 17 的方式，将 g^{**} 转化为 g，而将 D_i^{**} 转化为 D_i，此时 D_i 为 $\mathscr{L}_{n\times2}P(X)$ 中的广义子句。

对于 ω^{**} 中的每一个 a_i-语义互撞 $(E_1^{**},E_2^{**},\cdots,E_q^{**},N^{**})$，由于 $E_1^{**},E_2^{**},\cdots,E_q^{**}$ 在赋值 v_2 下为 a_i-假的，由 $E_1^{**},E_2^{**},\cdots,E_q^{**}$ 的形成方式知：$E_1,E_2,\cdots,E_q$ 在赋值 v 下为 α-假的，又因 $E_1,E_2,\cdots,E_q$ 中的每一个广义文字与 $E_1^{**},E_2^{**},\cdots,E_q^{**}$ 中其相对应的广义文字具有相同的次序，故 $(E_1,E_2,\cdots,E_q,N)$ 为 ω 的一个 α-语义互撞，且其 α-语义归结式 E_{q+1} 在赋值 v 下为 α-假的。特别地，D_m 为恒 α-假的常子句。

根据定理 7 和定理 8 可得，基于格蕴涵代数的语言真值格值命题逻辑 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 的 (d_{n-i+1},f)-语义归结在一定条件下可等价转化为基于链型格蕴涵代数的格值命题逻辑 $\mathscr{L}_nP(X)$ 的 a_i-语义归结。

3.3 语言真值格值命题逻辑系统的语义归结自动推理算法

下面给出语言真值格值命题逻辑系统 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 中的 α-语义归结自动推理算法，其中 $\alpha=(d_i,t)$ 或者 $\alpha=(d_i,f)$。

设 $S=\{C_1,C_2,\cdots,C_m\}$ 为 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 中的广义子句集。

预处理：

1. 通过定义 16 和定义 17 的方式，将 S 转化为 $\mathscr{L}_nP(X)$ 中的广义子句集 S^{**}，这时有 $S\leqslant\alpha$ 当且仅当 $S^{**}\leqslant a_i$；

2. 对于 S^{**} 中的每一个广义子句 g，若 $g\leqslant\alpha$，则将 g 删去；若 g 不小于或等于 α，则将 g 所在的整个广义子句删去，而不影响 S^{**} 的 α-不可满足性。

下面给出判断广义子句集 S 是否是 α-可满足的 α-语义归结算法。

输入：广义子句集 S^{**}。

输出：当 S^{**} 是 a_i-可满足时，回答“是”；当 S^{**} 是 a_i-不可满足时，回答“否”。

1. 给出 $\mathscr{L}_nP(X)$ 的一个关于 S^{**} 的赋值，规定 S^{**} 中所有广义文字的一个排序 $\mathcal{G}$
2. 令 S_{01}、S_{02}、S_{21} 和 S_{22} 为不含任何元素的集合，S_{11} 为 S^{**} 中的在赋值 v 下为 a_i-假的所有广义子句组成的集合，S_{12} 为 S^{**} 中的在赋值 v 下为非 a_i-假的所有广义子句组成的集合
3. 对 S_{01} 中的每一个广义子句 C_1 与 S_{12} 中的每一个广义子句 C_2 以及

S_{02}的每一个广义子句 C_1 与 S_{11}中的每一个一个广义子句 C_2

4. 如果 C_1,C_2 可以进行 a_i-归结,且 C_1 中被归结的广义文字是 C_1 中按照排序$\mathcal{G}$最右边的广义文字,则
5. 计算它们的 a_i-归结式 $C=R_a(C_1,C_2)$
6. 如果 $C=a_i$-□,则
7. 输出"否",计算结束
8. 如果 S_{01}、S_{02}、S_{11}和 S_{12}都不含广义子句 C
9. 把 C 加入到 S_2
10. 对 S_{11}中的每一个广义子句 C_1 和 S_{12}中的每一个广义子句 C_2
11. 如果 C_1,C_2 可以进行 a_i-归结,且 C_1 中被归结的广义文字是 C_1 中的按照排序$\mathcal{G}$最右边的广义文字,则
12. 计算 C_1 和 C_2 的 a_i-归结式 $C=R(C_1,C_2)$
13. 如果 $C=a_i$-□,则
14. 输出"否",计算结束
15. 如果 S_{01}、S_{02}、S_{11}和 S_{12}都不含广义子句 C
16. 把 C 加入 S_2
17. 如果 S_2 中没有任何元素,则
18. 输出"是",计算结束
19. 否则把 S_{11}加入 S_{01},将 S_{12}加入 S_{02},令 S_{11}等于 S_2 中所有在赋值 v 下为 a_i-假的广义子句构成的集合,令 S_{12}等于 S_2 中所有在赋值 v 下为非 a_i-假的广义子句构成的集合,清空 S_2,返回 3。

定理 9(算法的可靠性与完备性) 设 S^{**} 是 $\mathscr{L}_nP(X)$中的广义子句集,$a_i\in L_n$,对 S^{**} 实行上述 a_i-语义归结算法,则:(1)算法在步骤 7 或 14 终止当且仅当 S^{**} 是 a_i-不可满足的;(2)算法在步骤 18 终止当且仅当 S^{**} 是 a_i-可满足的。

证明:由于 S^{**} 中只有有限个命题变元,有限个命题变元只能构成有限个不同的广义子句,算法从 3 到 19 的循环至多进行有限次,从而算法必在有限步内终止。(1)若算法在步骤 7 或 14 终止,则说明在 a_i-归结过程中产生了一个为 a_i-□的 a_i-语义归结式,由 a_i-语义归结演绎的可靠性知:$S^{**}\leqslant a_i$。(2)如果计算在步骤 18 结束,此时已计算出 S^{**} 能够通过 a_i-语义归结产生的所有广义子句,这些广义子句中没有 a_i-空广义子句,因而 S^{**} 没有 a_i-语义反驳。根据 a_i-语义归结的完备性可知,S^{**} 是 a_i-可满足的,算法回答正确。算法是正确的得证。

结束语 在客观现中,人们往往习惯于用语言值而非数值来对一个事物的结果进行判断,即用语言值进行描述更合适、更自然。基于此,国内外许多学者对基于语言值的智能信息处理作了大量研究。本文在语言真值格值逻辑框架下研究了语言真值格值命题逻辑系统中的 α-语义归结。作为对基于语言值的归结自动推理的探讨,设计相应的有效归结自动推理程序将是下一步的工作。

参 考 文 献

[1] Robinson J P. A Machine-oriented Logic Based on the Resolution Principle[J]. J. ACM,1965,12(1):23-41

[2] 刘叙华,姜云飞. 定理机器证明[M]. 北京:科学出版社,1987
Liu Xu-hua,Jiang Yun-fei. Mechanical Theorem Proving[M]. Beijing:Chinese Science Press,1987

[3] Xu Yang,Ruan Da,Kerre Etienne E,et al. α-Resolution Principle Based on Lattice-valued Propositional Logic LP(X)[J]. Information Sciences,2000,130:195-222

[4] Xu Yang,Ruan Da,Kerre Etienne E,et al. α-Resolution Principle Based on First-order Lattice-valued Logic LF(X)[J]. Information Sciences,2001,132:221-239

[5] 徐扬. 格蕴涵代数[J]. 西南交通大学学报,1993,28(1):20-27
Xu Yang. Lattice Implication Algebra[J]. Journal of Southwest Jiaotong University,1993,28(1):20-27

[6] Pei Zheng,Ruan Da,Liu Jun,et al. Linguistic Values-based Intelligent Information Processing:Theory,Methods and Applications[M]. Groningen:Atlantic Press,2009

[7] Xu Yang,Chen Shu-wei,Ma Jun. Linguistic Truth-valued Lattice Implication Algebra and its Properties[C]// IMACS Multi Conference on Computational Engineering in System Application. Beijing:Tsinghua University press,2006:1413-1418

[8] Xu Yang,Chen Shu-wei,Liu Jun,et al. Weak Completeness of Resolution in a Linguistic Truth-Valued Propositional Logic [C]// Melin P,Castillo O,Aguilar L T,et al.,eds. 12th International Fuzzy Systems Association World Congress: Theoretical Advances and Applications of Fuzzy Logic and Soft Computing. Berlin Heidelberg,Springer,2007:358-366

[9] 李晓冰. 基于语言真值格值逻辑的归结自动推理研究[D]. 成都:西南交通大学,2008
Li Xiao-bing. The Study of Resolution Automated Reasoning Based on Linguistic Truth-valued Logic[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University,2008

[10] 王伟. 基于 $L_6P(X)$的归结原理的研究[D]. 成都:西南交通大学,2007
Wang Wei. The Study of Resolution Principle Based on $L_6P(X)$[D]. Chengdu:Southwest Jiaotong University,2007

[11] 李晓冰,邱小平,徐扬. 格值命题逻辑系统 $L_9P(X)$中的自动推理算法[J]. 计算机工程与应用,2008,44(10):6-9
Li Xiao-bing,Qiu Xiao-ping,Xu Yang. Automated Reasoning Algorithm in Lattice-valued Propositional Logic System $L_9P(X)$[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(10):6-9

[12] Xu Wei-tao,Xu Yang,Li Tian-rui. The Structure of Generalized Literals in Linguistic Truth-Valued Propositional Logic Systems [C]// Vanhoof K,Ruan Da,Li Tian-rui,et al.,eds. 2009 International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering. Hasselt,Belgium,2009:631-636

[13] 许伟涛. 基于格值逻辑的语言真值 α-广义线性归结自动推理研究[D]. 成都:西南交通大学,2011
Xu Wei-tao. The study of linguistic truth-valued α-generalized liner resolution automated reasoning based on lattice-valued logic [D]. Chengdu:Southwest Jiaotong University,2011

[14] Zhong Xiao-mei, Xu Yang, Liu Jun, et al. General Form of α-Resolution Based on Linguistic Truth-valued Lattice-valued Logic[J]. Soft Computing,2012,10:1767-1781

[15] 钟小梅. 基于格值逻辑的 α-准锁语义归结自动推理研究[D]. 成都:西南交通大学,2012
Zhong Xiao-mei. The Study of α-Qusi-lock Semantic Resolution Automated Reasoning Based on Lattice-valued Logic [D]. Chengdu:Southwest Jiaotong University,2012

[16] He Xing-xing,Xu Yang,Liu Jun. α-Generalized Lock Resolution Method in Linguistic Truth-valued Lattice-valued Logic[J]. International Journal of Computational Intelligence Systems, 2012,5(6):1120-1134

[17] 许伟涛,徐扬. 语言真值格值命题逻辑系统中广义文字的归结判定[J]. 计算机科学,2013,40(2):208-211
Xu Wei-tao, Xu Yang. Resolution Determination of Generalized Literals in Linguistic Truth-valued Lattice-valued Propositional Logic System[J]. Computer Science, 2013, 40(2): 208-211
[18] 徐扬,秦克云. 格值命题逻辑(Ⅰ)[J]. 西南交通大学学报,1993,28(1):123-128
Xu Yang, Qin Ke-yun. Lattice-valued Propositional Logic (I) [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 1993, 28(1): 123-128
[19] 秦克云,徐扬. 格值命题逻辑(Ⅱ)[J]. 西南交通大学学报,1994,29(2):22-27
Qin Ke-yun, Xu Yang. Lattice-valued Propositional Logic (II) [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 1994, 29(2): 22-27
[20] 张家锋,徐扬,何星星. 格值语义归结推理方法[J]. 计算机科学,2011,38(9):201-204
Zhang Jia-feng, Xu Yang, He Xing-xing. Lattice-valued Semantic Resolution Reasoning[J]. Computer Science, 2011, 38(9): 201-204

(上接第 100 页)

[9] 王继民,彭波. 搜索引擎用户点击行为分析[J]. 情报学报,2006(2):154-162
Wang Ji-min, Peng Bo. User behavior analysis for a large-scale search engine [J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2006(2): 154-162
[10] Shen Rui-min, Han Peng, Yang Fan, et al. An open framework for smart and personalized distance learning[M]// Advances in Web-Based Learning. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2002: 19-30
[11] Jonathan H, Joseph K, John R. Explaining collaborative filtering recommendations[C] // Proceedings of the 2000 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work, 2000. New York: ACM, 2000: 241-250
[12] Joseph K, Bradley M, David M, et al. GroupLens: applying collaborative filtering to Usenet news [J]. Communications of the ACM, 1997, 40(3): 77-87
[13] Zeno G, Steffen R, Christoph F, et al. MyMediaLite: A free recommender system library[C] // Proceedings of the fifth ACM conference on Recommender systems. New York: ACM, 2011: 305-308
[14] Masahiro M, Yoichi S. Information filtering based on user behavior analysis and best match text retrieval[C] // Proceedings of the 17th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval. New York: Springer-Verlag, 1994: 272-281
[15] 张岚. 基于学习行为的用户兴趣建模及应用研究[D]. 济南:山东大学,2012
Zhang Lan. Research on user interest model and application based on learning behaviors[D]. Jinan: Shandong University, 2012
[16] Keunho C, Donghee Y, Gunwoo K, et al. A hybrid online-product recommendation system: Combining implicit rating-based collaborative filtering and sequential pattern analysis [J]. Electronic Commerce Research and Applications, 2012, 11(4): 309-317
[17] Paul R, Neophytos I, Mitesh S, et al. GroupLens: an open architecture for collaborative filtering of net news[C] // Proceedings of the 1994 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work. New York: ACM, 1994: 175-186
[18] Bamshad M, Robert C, Jaideep S. Automatic personalization based on Web usage mining[J]. Communications of the ACM, 2000, 43(8): 142-151
[19] Corin A, Pedro D, Daniel W. Personalizing web sites for mobile users[C] // Proceedings of the 10th international conference on World Wide Web, 2001. New York: ACM, 2001: 565-575
[20] John B, David H, Carl K. Empirical analysis of predictive algorithms for collaborative filtering[C] // Proceedings of the Fourteenth conference on Uncertainty in artificial intelligence, 1998. Burlington: Morgan Kaufmann Publishers, 1998: 43-52
[21] Andrew S, Alexandrin P, Lyle U. Generative models for cold-start recommendations [C] // Proceedings of the 2001 SIGIR Workshop on Recommender Systems, 2001. 2001
[22] Alexandrin P, Rin P, Lyle U, et al. Probabilistic models for unified collaborative and content-based recommendation in sparse-data environments[C] // Proceedings of the Seventeenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence. Burlington: Morgan Kaufmann Publishers, 2001: 437-444
[23] Andrew S, Alexandrin P, Lyle U. Methods and metrics for cold-start recommendations[C] // Proceedings of the 25th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, 2002. New York: ACM, 2002: 253-260
[24] Fábio S, Luiz A, Graca B. PersonalTVware: A proposal of architecture to support the context-aware personalized recommendation of TV programs [C] // European Interactive TV Conference, 2009. Leuven, Belgium, 2009
[25] Mahiye U, Zehra C, Esengul T. Content-based movie recommendation using different feature sets [C] // Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science. San Francisco, 2012: 517-521
[26] Zeno G, Steffen R, Lars S-T. Factorization models for context-/time-aware movie recommendations [C] // Proceedings of the Workshop on Context-Aware Movie Recommendation, 2010. New York: ACM, 2010: 14-19
[27] Steffen R, Christoph F, Zeno G, et al. BPR: Bayesian personalized ranking from implicit feedback [C] // Proceedings of the Twenty-Fifth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence. Arlington: AUAI Press, 2009: 452-461
[28] Denis P, Alexandros K, Xavier A, et al. Implicit feedback recommendation via implicit-to-explicit ordinal logistic regression mapping[C] // Proceedings of the 3rd Workshop on Context-Aware Recommender Systems. 2011
[29] 张立毅. 神经网络盲均衡理论、算法与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2013
Zhang Li-yi. Blind equalization theory, algorithm and application of neural network [M]. Beijing: Tsinghua university press, 2013