语言真值格值命题逻辑系统中广义文字的归结判定

许伟涛[1] 徐 扬[2]
(河南工业大学信息科学与工程学院 郑州 450001)[1] (西南交通大学数学学院 成都 610031)[2]

摘 要 自动推理是人工智能研究的一个重要内容,基于归结原理的自动推理是自动推理研究的重要分支。基于语言真值格蕴涵代数的格值逻辑系统能处理带有可比较项和不可比较项的信息或知识,为自动推理研究提供了严格的逻辑基础。给出了语言真值格蕴涵代数 $\mathscr{L}_{V(n\times 2)}$ 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,给出了其广义文字的可归结性。这些工作将为基于语言真值格值逻辑系统的归结自动推理提供重要的研究基础。

关键词 自动推理,格值逻辑系统,语言真值格蕴涵代数,广义文字,归结

中图法分类号 TP391 **文献标识码** A

Resolution Determination of Generalized Literals in Linguistic Truth-valued Lattice-valued Propositional Logic System

XU Wei-tao[1] XU Yang[2]
(College of Information Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)[1]
(School of Maths, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)[2]

Abstract Automated reasoning is an important realm in artificial intelligence. Resolution-based automated reasoning is one of the research branches. Lattice-valued logic system based on lattice implication algebra can deal with information or knowledge with comparability and incomparability, provide a stick logical foundation for automated reasoning. The present paper gave some properties of linguistic truth-valued lattice implication algebra $\mathscr{L}_{V(n\times 2)}$. Under lattice-valued propositional logic system $\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$ based on linguistic truth-valued lattice implication algebra $\mathscr{L}_{V(9\times 2)}$ with eighteen elements, the structures of generalized literals about 1-IESF and 2-IESF were given. In addition, the resolution determination of generalized literals was obtained. These works can offer an important foundation for automated reasoning based on linguistic truth-valued lattice-valued logic system.

Keywords Automated reasoning, Lattice-valued logic system, Linguistic truth-valued lattice implication algebra, Generalized literal, Resolution

自动推理是人工智能研究的重要内容之一。自 1965 年 Robinson[1] 提出基于归结原理的自动推理之后,其归结理论和方法得到了广泛研究[3,5,6]。尤其,随着非经典逻辑的发展和应用,作为一种重要的非经典逻辑,格值逻辑在处理带有不可比较性的信息或知识方面具有重要作用。

为处理模糊性、不可比较性提供一种有效的工具,徐扬提出了格蕴涵代数的概念[2],并建立了基于格蕴涵代数的格值命题逻辑系统[4],为不确定性推理和自动推理提供了一个严格的、科学的、可靠的和完备的逻辑基础。2000 年,徐扬等[5]提出了基于格值命题逻辑系统的 α-归结原理,其能在不同水平上处理广义子句集的不可满足性,为建立基于格值逻辑系统的归结自动推理方法提供了依据。

在现实生活中存在大量的用自然语言描述的不确定性,为基于语言信息处理的不确定性推理和自动推理提供一个数学模型,2006 年徐扬基于逻辑代数结构以科学的方法构造了带语言项的代数模型——语言真值格蕴涵代数[7],并于 2007 年实现了基于语言真值格蕴涵代数 $\mathscr{L}_{V(n\times 2)}$ 的格值逻辑系统的语言真值归结自动推理的可靠性和弱完备性[8]。深入研究基于语言真值格值逻辑系统的归结方法时,广义文字的结构和可归结性(文献[9,10]已做了部分研究)对自动推理的有效实施起着至关重要的作用。2011 年,徐扬综述了处理不可比较性的理论和方法,指出语言真值在处理不确定性信息上的重要性。2012 年,文献[12]给出了基于语言真值格值命题逻辑系统的 α-准锁语义归结方法,文献[13]给出了语言真值时间推理系统,并将其应用于智能环境下推理系统的设计。

本文给出了语言真值格蕴涵代数 $\mathscr{L}_{V(n\times 2)}$ 的性质,刻画了基于语言真值格蕴涵代数 $\mathscr{L}_{V(9\times 2)}$ 的格值命题逻辑系统 $\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$ 中广义文字的结构,给出了语言真值格值命题逻

到稿日期:2012-04-18 返修日期:2012-07-28 本文受国家自然科学基金(61175055),国家自然科学青年基金项目(61100046),河南工业大学高层次人才基金项目(2012BS012)资助。

许伟涛(1979—),男,博士,讲师,主要研究方向为格值逻辑、自动推理、智能信息处理,E-mail:hnxmxwt@163.com;徐 扬(1956—),男,博士,教授,主要研究方向为逻辑代数、代数逻辑、自动推理、不确定性推理。

辑系统 $\mathscr{L}_{V(9\times2)}P(X)$ 中广义文字的可归结性。这些研究工作都为语言真值格值逻辑系统的归结自动推理奠定了一定的基础。

1 基础知识

定义 1[7] 设 $L_n=\{d_1,d_2,\cdots,d_n\}$，$d_1<d_2<\cdots<d_n$，$L_2=\{b_1,b_2\}$，$b_1<b_2$，且 $(L_n,\vee_{(L_n)},\wedge_{(L_n)},{}'^{(L_n)},\rightarrow_{(L_n)},d_1,d_n)$，$(L_2,\vee_{(L_2)},\wedge_{(L_2)},{}'^{(L_2)},\rightarrow_{(L_2)},b_1,b_2)$ 都是 Łukasiewicz 蕴涵代数。对任意的 (d_i,b_j)，$(d_k,b_m)\in L_n\times L_2$，定义下面运算：

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

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

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

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

则 $(L_n\times L_2,\vee,\wedge,',\rightarrow,(d_1,b_1),(d_n,b_2))$ 是格蕴涵代数，记作：$\mathscr{L}_n\times\mathscr{L}_2$（见图 1）。

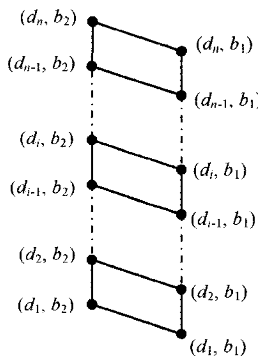

图 1 格蕴涵代数 $\mathscr{L}_n\times\mathscr{L}_2$ 的 Hasse 图

定义 2[7] 设 $AD_n=\{a_1,a_2,\cdots,a_n\}$ 是 n 个修饰词的集合，$MT=\{f,t\}$ 是元真值的集合，并且 $a_1<a_2<\cdots<a_n$，$f<t$，记 $L_{V(n\times2)}=AD_n\times MT$。定义映射 g 如下：

$$g:L_{V(n\times2)}\rightarrow L_n\times L_2$$

且 $g((a_i,mt))=\begin{cases}(d'_i,b_1), & mt=f\\(d_i,b_2), & mt=t\end{cases}$，则 g 是一个双射，记它的逆映射为 g^{-1}，对任意的 $x,y\in L_{V(n\times2)}$，定义如下运算：

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

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

$$x'=g^{-1}((g(x))')$$

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

我们称 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}=(L_{V(n\times2)},\vee,\wedge,',\rightarrow,(a_n,f),(a_n,t))$ 是一个由 AD_n 和 MT 生成的语言真值格蕴涵代数。它的元素被称为语言真值，映射 g 是一个从 $(L_{V(n\times2)},\vee,\wedge,',\rightarrow,(a_n,f),(a_n,t))$ 到 $\mathscr{L}_n\times\mathscr{L}_2$ 的同构映射。

下面给出构造的十八元语言真值格蕴涵代数。

设 $L_9=\{$稍微(Slightly，简记为 Sl)，有点(Somewhat，简记为 So)，有些(Rather，简记为 Ra)，几乎(Almost，简记为 Al)，恰好(Exactly，简记为 Ex)，十分(Quite，简记为 Qu)，非常(Very，简记为 Ve)，极为(Highly，简记为 Hi)，绝对(Absolutely，简记为 Ab)$\}$ 为修饰词集，$L_2=\{$真(True，简记为 T)，假(False，简记为 F)$\}$，且 $Sl<So<Ra<Al<Ex<Qu<Ve<Hi<Ab$，$F<T$，按上面的定义知，$(L_{V(9\times2)},\vee,\wedge,',\rightarrow,(Ab,F),(Ab,T))$ 是十八元语言真值格蕴涵代数，记作：$\mathscr{L}_{V(9\times2)}$（见图 2）。

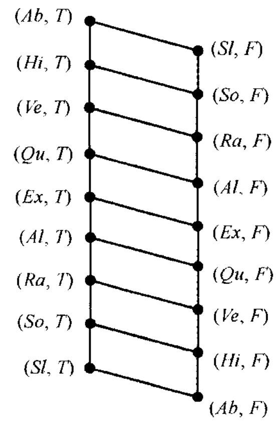

图 2 语言真值格蕴涵代表 $\mathscr{L}_{V(9\times2)}$ 的 Hasse 图

定义 3[6] 在格值命题逻辑系统 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 中，F，G 是两个格值命题逻辑公式。如果对于 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 上的任意的赋值 v，都有 $v(F)=v(G)$，则称 F 和 G 是等值的，记作：$F=G$。

定义 4[6] 在格值命题逻辑系统 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 中，F，G 是两个格值命题逻辑公式。如果对任意的赋值 v，都有 $v(F)\leqslant v(G)$，则称 F 小于等于 G，记作：$F\leqslant G$。

定义 5[6] 在格值命题逻辑系统 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 中，F 是一个格值命题逻辑公式。如果对任意的赋值 v，都有 $v(F)\leqslant\alpha$，则称 F 是 α-恒假，记作：$F\leqslant\alpha$。

定义 6[6] 在格值命题逻辑系统 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 中，G 是一个格值命题逻辑公式。如果删除 G 中的任何常量、文字或蕴涵项，得到新的格值命题逻辑公式 G^* 都不与 G 等值，则称 G 为极简式，简记为 ESF。

定义 7[6] 在格值命题逻辑系统 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 中，称 F 为不可分极简式，简记为 IESF，如果满足条件：

(1) F 是 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 中至多只含有"$\rightarrow$"和"$'$"的极简式；

(2) 对于任意公式 G，如果 $G\in\bar{F}$，则 G 是至多只含有"$\rightarrow$"和"$'$"的极简式。这里，$\bar{F}\in\overline{\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)}$

$$\overline{\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)}=(\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)/_{=},\vee,\wedge,',\rightarrow,\bar{O},\bar{I})$$

是格蕴涵代数，并且

$$\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)/_{=}=\{\bar{p}\mid p\in\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)\}$$

对于任意的 $\bar{p},\bar{q}\in\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)/_{=}$，有

$$\bar{p}\vee\bar{q}=\overline{p\vee q},\ \bar{p}\wedge\bar{q}=\overline{p\wedge q},\ (\bar{p})'=\overline{p'},\ \bar{p}\rightarrow\bar{q}=\overline{p\rightarrow q}。$$

定义 8[6] 设 G 是格值命题逻辑系统 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 中的不可分极简式，且含有 n 个蕴涵联结词，称 G 为 n 次不可分极简式，简记为 n-IESF。

注 1：(1) 对任意的 $p\in\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$，我们总是把 $p\rightarrow(a_n,f)$ 记作 p'。如果 $p\in\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$，$p$ 仅含有常量，则把 p 当作一个常量或一个 0-IESF。

(2) 如果 G 为 n 次不可分极简式，则称 n 是 G 的阶数。

定义 9[6] 在格值命题逻辑系统 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}P(X)$ 中，所有的不可分极简式称为广义文字。

2 语言真值格值命题逻辑系统 $\mathscr{L}_{V(9\times2)}P(X)$ 中广义文字的可归结性

引理 1 设 $\mathscr{L}_{V(n\times2)}$ 是语言真值格蕴涵代数。对任意的 $(a_i,b_j)\in L_{V(n\times2)}$，下列结论成立：

(1) $(a_1,f)\rightarrow(a_i,b_j)=(a_1,t)\vee(a_i,b_j)$；

(2) $(a_1,t)\to(a_i,b_j)=(a_1,f)\vee(a_i,b_j)$;

(3) $(a_i,b_j)\to(a_1,t)=(a_i,b_j)'\vee(a_1,t)$;

(4) $(a_i,b_j)\to(a_1,f)=(a_i,b_j)'\vee(a_1,f)$。

证明：我们仅证明(1)。

设任意的$(a_i,b_j)\in L_{V(n\times 2)}$，则

$$
\begin{aligned}
&(a_1,f)\to(a_i,b_j)\\
&=g^{-1}(g((a_1,f))\to g((a_i,b_j)))\\
&=\begin{cases} g^{-1}(g((a_1,f))\to g((a_i,f))), & b_j=f\\ g^{-1}(g((a_1,f))\to g((a_i,t))), & b_j=t\end{cases}\\
&=\begin{cases} g^{-1}((a_n,f)\to(a_{n+1-i},f)), & b_j=f\\ g^{-1}((a_n,f)\to(a_i,t)), & b_j=t\end{cases}\\
&=\begin{cases} g^{-1}((a_{n+1-i},t)), & b_j=f\\ g^{-1}((a_i,t)), & b_j=t\end{cases}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&(a_1,t)\vee(a_i,b_j)\\
&=g^{-1}(g((a_1,t))\vee g((a_i,b_j)))\\
&=\begin{cases} g^{-1}(g((a_1,t))\vee g((a_i,f))), & b_j=f\\ g^{-1}(g((a_1,t))\vee g((a_i,t))), & b_j=t\end{cases}\\
&=\begin{cases} g^{-1}((a_1,t)\vee(a_{n+1-i},f)), & b_j=f\\ g^{-1}((a_1,t)\vee(a_i,t)), & b_j=t\end{cases}\\
&=\begin{cases} g^{-1}((a_{n+1-i},t)), & b_j=f\\ g^{-1}((a_i,t)), & b_j=t\end{cases}
\end{aligned}
$$

因此，对任意的$(a_i,b_j)\in \mathscr{L}_{V(n\times 2)}$，有

$(a_1,f)\to(a_i,b_j)=(a_1,t)\vee(a_i,b_j)$。

类似地，可以证明(2)－(4)成立。证毕。

定理 1 在格值命题逻辑系统$\mathscr{L}_{V(n\times 2)}P(X)$中，对任意的格值逻辑公式$G$，下列结论成立：

(1) $(a_1,f)\to G=(a_1,t)\vee G$;

(2) $(a_1,t)\to G=(a_1,f)\vee G$;

(3) $G\to(a_1,t)=G'\vee(a_1,t)$;

(4) $G\to(a_1,f)=G'\vee(a_1,f)$。

十八元语言真值格蕴涵代数$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}$，其元素来自人们日常生活中常用的语言真值。它是基于乘积格蕴涵代数而构建的代数结构，能真实反映人们描述信息或知识的可比较性和不可比较性；同时，以十八元语言真值格蕴涵代数$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}$为真值域的格值命题逻辑系统$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$和格值一阶逻辑系统$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}F(X)$更是具有代表性和实用性的逻辑系统。因此，为了对建立基于语言真值格值逻辑系统的归结自动推理方法提供基础，本文将刻画格值命题逻辑系统$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$中广义文字的可归结性。

首先，我们给出格值命题逻辑系统$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$中1-IESF和2-IESF两种类型对应广义文字的结构。

下面将$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}$中的十八个元素记为$(a_i,T)$和$(a_i,F)$ $(i=1,2,\cdots,9)$，其中$a_1=Sl,a_2=So,a_3=Ra,a_4=Al,a_5=Ex,a_6=Qu,a_7=Ve,a_8=Hi,a_9=Ab$。设$M^*,N^*\subset L_{V(9\times 2)}$，且$M^*=\{(a_1,F),(a_9,F),(a_1,T),(a_9,T)\}$，$N^*=\{(a_1,F),(a_1,T),(a_9,T)\}$。

推论 1 在格值命题逻辑系统$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$中，对任意的格值逻辑公式$G$，下列结论成立：

(1) $(Sl,T)\to G=(Sl,T)'\vee G=(Sl,F)\vee G$;

(2) $(Sl,F)\to G=(Sl,F)'\vee G=(Sl,T)\vee G$;

(3) $G\to(Sl,T)=(Sl,T)\vee G'$;

(4) $G\to(Sl,F)=(Sl,F)\vee G'$。

定理 2 在格值命题逻辑系统$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$中，对任意的格值逻辑公式$G$，下列结论成立：

(1) $(Ex,T)\to((Ex,F)\to G)=(Ab,T)$;

(2) $(Ex,F)\to(G\to(Ex,T))=(Ab,T)$。

推论 2 在格值命题逻辑系统$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$中，$p,q,r$是$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$中的文字，$(a_i,b_j),(a_s,b_r)\in L_{V(9\times 2)}$，则下列结论成立：

(1) $p\to q,(p\to q)',(p\to q)\to p,(p\to q)\to q',(p\to q')\to q,p\to(p\to q),q\to(q\to p),(p\to q)\to r,(p\to q')\to r,r\to(p\to q),r\to(p\to q)'$是$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$中的广义文字。

(2) 当$(a_i,b_j)\notin L_{V(9\times 2)}\backslash N^*$时，$p\to(a_i,b_j),p'\to(a_i,b_j),(p\to(a_i,b_j))\to q,(p\to(a_i,b_j))\to q',(p'\to(a_i,b_j))\to q,(p\to q)\to(a_i,b_j),(p\to q)'\to(a_i,b_j),p\to(q\to(a_i,b_j)),p'\to(q\to(a_i,b_j)),p\to(q'\to(a_i,b_j)),p'\to(q'\to(a_i,b_j))$是$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$中的广义文字。

(3) 当$(a_i,b_j)\notin L_{V(9\times 2)}\backslash M^*$时，$(a_i,b_j)\to p,(a_i,b_j)\to p',(a_i,b_j)\to(p\to q),(a_i,b_j)\to(p'\to q),(a_i,b_j)\to(p\to q'),(a_i,b_j)\to(p\to q)',p\to((a_i,b_j)\to q)$是$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$中的广义文字。

(4) 当$(a_i,b_j),(a_s,b_r)\notin L_{V(9\times 2)}\backslash M^*,(a_i,b_j)\neq(a_s,b_r)$时，$(p\to(a_i,b_j))\to(a_s,b_r)$是$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$中的广义文字。

(5) 当$(a_i,b_j),(a_s,b_r)\notin L_{V(9\times 2)}\backslash M^*,(a_i,b_j)\to(a_s,b_r)'\notin L_{V(9\times 2)}\backslash M^*$时，$(a_i,b_j)\to((a_s,b_r)\to p)$是$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$中的广义文字。

在归结自动推理研究中，其广义文字的可归结性是实施归结的重要保证。本节在已有研究工作的基础之上，主要对格值命题逻辑系统$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$中一些具体形式的广义文字的可归结性进行研究，如：0-IESF、1-IESF、2-IESF型对应广义文字的可归结性。

定理 3 设$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$是格值命题逻辑系统，$p,q$是$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$中的文字，$\alpha=(a_5,T)$，则下列结论成立：

(1) $p\wedge p'\leqslant\alpha$;

(2) $p\wedge(p\to(a_2,T))\leqslant\alpha$;

(3) $p\wedge((a_2,F)\to p')\leqslant\alpha$;

(4) $p\wedge(q\to p)'\leqslant\alpha$。

证明：我们仅证明(2)，对于其它的情况可以类似证明。

设对任意的赋值v，有$v(p)=(a_i,b_j)$，则

$$
\begin{aligned}
&v(p\wedge(p\to(a_2,T)))\\
&=\begin{cases}(a_i,b_j)\wedge((a_i,T)\to(a_2,T)), & b_j=T\\ (a_i,b_j)\wedge((a_i,F)\to(a_2,T)), & b_j=F\end{cases}\\
&=\begin{cases}(a_i,T)\wedge(a_{(11-i)\wedge 9},T), & b_j=T\\ (a_i,F)\wedge(a_{(i+1)\wedge 9},T), & b_j=F\end{cases}\\
&=\begin{cases}(a_{i\wedge(11-i)},T), & b_j=T\\ (a_{i\vee(10-(i+1)\wedge 9)},F), & b_j=F\end{cases}
\end{aligned}
$$

对于$(a_{i\wedge(11-i)},T)$，如果$i=1,2,\cdots,9$，则

$$(a_{i\wedge(11-i)},T)\leqslant(a_5,T)=\alpha$$

同时，对于$(a_{i\vee(10-(i+1)\wedge 9)},F)$，如果$i=1,2,\cdots,9$，则

$$(a_{i\vee(10-(i+1)\wedge 9)},F)\leqslant(a_5,T)=\alpha$$

因此，$p\wedge(p\to(a_2,T))\leqslant\alpha$。

定理 4 设$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$是格值命题逻辑系统，$p$是$\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$中的文字，$\alpha=(a_5,T)$，则广义文字$(a_6,T)\to p$分别与下列广义文字形成$\alpha$-归结文字：

$((a_5,T)\to p)\to(a_2,T)$，$((a_4,T)\to p)\to(a_3,T)$，

$((a_3,T)\to p)\to(a_4,T)$，$((a_4,T)\to p)\to(a_4,T)$，

$((a_5,T)\to p)\to(a_3,T)$，$((a_6,T)\to p)\to(a_2,T)$。

证明：我们仅证明广义文字

$(a_6,T)\to p$ 与 $((a_5,T)\to p)\to(a_2,T)$

是 α-归结文字，其它情况类似可以得到。

设对任意的赋值 v，有 $v(p)=(a_i,b_j)$，则

$$v((a_6,T)\to p)=\begin{cases}(a_6,T)\to(a_i,T), & b_j=T\\ (a_6,T)\to(a_i,F), & b_j=F\end{cases}$$

$$=\begin{cases}(a_{(3+i)\wedge 9},T), & b_j=T\\ (a_{(i-3)\vee 1},F), & b_j=F\end{cases}$$

$$v(((a_5,T)\to p)\to(a_2,T))$$

$$=\begin{cases}((a_5,T)\to(a_i,T))\to(a_2,T), & b_j=T\\ ((a_5,T)\to(a_i,F))\to(a_2,T), & b_j=F\end{cases}$$

$$=\begin{cases}(a_{(4+i)\wedge 9},T)\to(a_2,T), & b_j=T\\ (a_{(i-4)\vee 1},F)\to(a_2,T), & b_j=F\end{cases}$$

$$=\begin{cases}(a_{(11-(4+i)\wedge 9)\wedge 9},T), & b_j=T\\ (a_{(1+(i-4)\vee 1)\wedge 9},T), & b_j=F\end{cases}$$

所以，

$$v(((a_6,T)\to p)\wedge(((a_5,T)\to p)\to(a_2,T)))$$

$$=\begin{cases}(a_{(3+i)\wedge(11-(4+i)\wedge 9)\wedge 9},T), & b_j=T\\ (a_{(i-3)\vee 1\vee(10-(1+(i-4)\vee 1)\wedge 9)},F), & b_j=F\end{cases}$$

对 $i=1,2,\cdots,9$，得到 $(a_{(3+i)\wedge(11-(4+i)\wedge 9)\wedge 9},T)\leqslant(a_5,T)$ 和 $(a_{(i-3)\vee 1\vee(10-(1+(i-4)\vee 1)\wedge 9)},F)\leqslant(a_5,T)$。

因此，$((a_6,T)\to p)\wedge(((a_5,T)\to p)\to(a_2,T))\leqslant\alpha$。

定理 5 设 $\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$ 是格值命题逻辑系统，p 是 $\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$ 中的文字，$\alpha=(a_5,T)$，则广义文字 $p\to(a_2,T)$，$p\to(a_3,T)$ 分别与下列广义文字形成 α-归结文字：

$((a_5,T)\to p')\to(a_2,T)$，$((a_4,T)\to p')\to(a_3,T)$，

$((a_3,T)\to p')\to(a_4,T)$，$((a_4,T)\to p')\to(a_4,T)$，

$((a_5,T)\to p')\to(a_3,T)$，$((a_6,T)\to p')\to(a_2,T)$，

$((a_7,T)\to p')\to(a_2,T)$，$((a_6,T)\to p')\to(a_3,T)$，

$((a_5,T)\to p')\to(a_4,T)$。

定理 6 设 $\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$ 是格值命题逻辑系统，p 是 $\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$ 中的文字，$\alpha=(a_5,T)$，则广义文字 $p\to(a_4,T)$ 与下列广义文字形成 α-归结文字：

$((a_5,T)\to p')\to(a_2,T)$，$((a_4,T)\to p')\to(a_3,T)$，

$((a_3,T)\to p')\to(a_4,T)$，$((a_6,T)\to p')\to(a_2,T)$，

$((a_5,T)\to p')\to(a_3,T)$，$((a_4,T)\to p')\to(a_4,T)$。

定理 7 设 $\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$ 是格值命题逻辑系统，p 是 $\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$ 中的文字，$\alpha=(a_5,T)$，则广义文字 $(a_7,T)\to p$ 和 $(a_8,T)\to p$ 分别与下列广义文字形成 α-归结文字：

$((a_7,T)\to p')\to(a_2,T)$，$((a_6,T)\to p')\to(a_3,T)$，

$((a_5,T)\to p')\to(a_4,T)$。

利用类似定理 4 的证明，可以证明定理 5—定理 7。

对于比较复杂的广义文字，如果能得到对任意的赋值使得这些广义文字小于或者等于较简单形式的广义文字，那么将简化判断广义文字是否可归结的过程。因此，给出下面广义文字的可归结性。

推论 3 设 $\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$ 是格值命题逻辑系统，p,q 是 $\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$ 中的文字，g 是 $\mathscr{L}_{V(9\times 2)}P(X)$ 中的广义文字，$\alpha=(a_5,T)$，则下列结论成立：

(1)如果广义文字 $g\leqslant p'$，则 $g\wedge p\leqslant\alpha$。

(2)如果广义文字 $g\leqslant p$，则 $g\wedge(p\to(a_2,T))\leqslant\alpha$。

(3)如果广义文字 $g\leqslant p\to(a_2,T)$，则 $g\wedge p\leqslant\alpha$。

(4)如果广义文字 $g\leqslant(a_2,F)\to p'$，则 $g\wedge p\leqslant\alpha$。

(5)如果广义文字 $g\leqslant(q\to p)'$，则 $g\wedge p\leqslant\alpha$。

(6)如果广义文字 $g\leqslant(a_6,T)\to p$，则 g 与下列广义文字是 α-归结文字：

$((a_5,T)\to p)\to(a_2,T)$，$((a_4,T)\to p)\to(a_3,T)$，

$((a_3,T)\to p)\to(a_4,T)$，$((a_4,T)\to p)\to(a_4,T)$，

$((a_5,T)\to p)\to(a_3,T)$，$((a_6,T)\to p)\to(a_2,T)$。

(7)如果广义文字 $g\leqslant p\to(a_2,T)$ 或 $g\leqslant p\to(a_3,T)$，则 g 与下列广义文字是 α-归结文字：

$((a_5,T)\to p')\to(a_2,T)$，$((a_4,T)\to p')\to(a_3,T)$，

$((a_3,T)\to p')\to(a_4,T)$，$((a_4,T)\to p')\to(a_4,T)$，

$((a_5,T)\to p')\to(a_3,T)$，$((a_6,T)\to p')\to(a_2,T)$，

$((a_7,T)\to p')\to(a_2,T)$，$((a_6,T)\to p')\to(a_3,T)$，

$((a_5,T)\to p')\to(a_4,T)$。

(8)如果广义文字 $g\leqslant p\to(a_4,T)$，则 g 与下列广义文字是 α-归结文字：

$((a_5,T)\to p')\to(a_2,T)$，$((a_4,T)\to p')\to(a_3,T)$，

$((a_3,T)\to p')\to(a_4,T)$，$((a_6,T)\to p')\to(a_2,T)$，

$((a_5,T)\to p')\to(a_3,T)$，$((a_4,T)\to p')\to(a_4,T)$。

(9)如果广义文字 $g\leqslant(a_7,T)\to p$ 或 $g\leqslant(a_8,T)\to p$，则 g 与下列广义文字是 α-归结文字：

$((a_7,T)\to p')\to(a_2,T)$，$((a_6,T)\to p')\to(a_3,T)$，

$((a_5,T)\to p')\to(a_4,T)$。

结束语 本文以十八元语言真值格蕴涵代数为真值域，在语言真值格值命题逻辑系统的框架下，给出了 1-IESF 和 2-IESF 型对应广义文字的结构，得到了这些广义文字的可归结性，为基于格值一阶逻辑系统中广义文字的归结判定和建立基于语言真值格值命题逻辑系统和语言真值格值一阶逻辑系统的归结自动推理方法提供了一定的研究基础。

参 考 文 献

[1] Robinson J A. A machine-oriented logic based on the resolution principle[J]. Journal of the Association for Computing Machinery, 1965, 12(1): 23-41

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

[3] 刘叙华. 基于归结方法的自动推理[M]. 北京: 科学出版社, 1994

[4] Xu Yang, Qin Ke-yun. Lattice-Valued Propositional Logic (I) [J]. J. Southwest Jiaotong University, 1993, 1(2): 123-128

[5] Xu Y, Ruan D, Kerre E E, et al. α-resolution principle based on lattice-valued propositional logic LP(X)[J]. Information Scien-ce, 2000, 130(1-4): 195-223

[6] Xu Yang, Ruan Da, Qin Ke-yun, et al. Lattice-valued logic: An alternative approach to treat fuzziness and incomparability[M]. Berlin: Springer-Verlag: 2003

[7] Xu Yang, Chen Shu-wei, Ma Jun. Linguistic truth-valued lattice implication algebra and its properties[C]// Proc. IMACS Multi Conference on Computational Engineering in Systems Applications (CESA2006). Beijing, China, 2006: 1413-1418

[8] Xu Y, Chen S W, Liu J, et al. Weak Completeness of Resolution in a Linguistic Truth-Valued Propositional Logic[C]// Proc. IFSA2007: Theoretical Advances and Applications of Fuzzy Logic and Soft Computing. Cancun, Mexico, June 2007: 358-366

(下转第 273 页)

(c)中新增节点的度取随机值，设置 $m_i\in(0,5]$，不同时间步长 N 对模型中节点度分布的影响。

由图可见：

(1)演化网络模型节点度分布服从幂律分布，具有“无尺度”的特征。

(2)BA 模型得出的幂律分布的指数范围不太符合实际情况，而实验中拟合 $p(k)\sim k^{-\gamma}$，获得 $\gamma\in[2.5,3)$，本模型得出的幂律指数在(2,3)范围内变动，能够很好地模拟供应链网络的实际情况。

(3)在上述 3 种情况下获得的度分布情况比较类似，可以得出结论，当 N 值固定时，m_i 值对度分布影响比较小；当 N 不固定时，m_i 设置为固定值还是随机值对度分布影响也比较小。

m_i 取固定值 5，当网络规模 $N\in[1000,5000]$时，网络集聚系数统计结果以及平均路径长度 L 的关系曲线分别如图 4、图 5 所示。

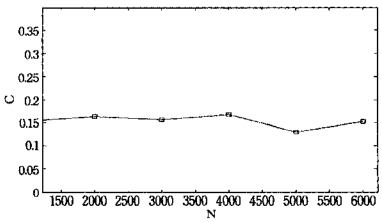

图 4　网络模型的集聚系数统计结果

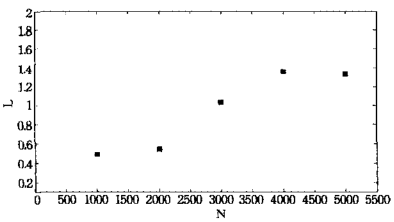

图 5　网络规模 N 与平均路径长度 L

图中显示了不同 N 值的情况下，演化得到的网络模型集聚系数的统计结果，其显示了不同网络规模的集聚系数变化比较小，可见网络规模对集聚系数没有影响，但整体集聚系数的值都不是很大。而随着网络规模的增长，网络的平均路径长度有一定的增长，但其值变化同样不大。网络模型的这种特性及较大的集聚系数表明了模型具有小世界特性。

结束语　本文以 BA 模型为基础，提出了考虑边权重的分层供应链网络演化模型，以权重值作为演化模型中优先连接的依据之一，并给出了此模型的节点度分布以及集聚系数和平均路径长度等情况。该模型有效地模拟了供应链网络中企业进入、退出等演化情况，刻画了供应链网络的形成和演化机理。同时得到的供应链网络演化模型具有现实大多数网络所具有的拓扑特性：小的平均路径长度、较大的集聚系数和无尺度的度分布。

参考文献

[1] Venkatasubramanian V, Katare S, Patkar P, et al. Spontaneous emergence of complex optimal networks through evolutionary adaptation[J]. Computers and Chemical Engineering, 2004, 128(9): 1789-1798

[2] Pathak S D, Dilts D M, Biswas G. On the Evolutionary Dynamics of Supply Network Topologies[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2007, 54(4): 662-672

[3] Langdon C S, Sikora R T. Conceptualizing co-ordination and competition in supply chain as complex adaptive system[J]. Information systems and E-business management, 2006, 4(1): 71-81

[4] Pathak S D. An investigative framework for studying the growth and evolution of complex supply network[D]. Nashville, Tennessee: Vanderbilt University, 2005

[5] 郭进利. 供应链型网络中双幂律分布模型[J]. 物理学报, 2006, 55(8): 3916-3921

[6] 郭进利. 老节点间有相互连接的供应链有向网络[J]. 系统管理学报, 2007, 16(3): 337-344

[7] 于海生, 赵林度, 来向红. 基于交易量的供应链网络演化模型演技[J]. 管理学报, 2009, 6(2): 187-191

[8] 朱冰心, 胡一竑. 基于复杂网络理论的供应链应急管理研究[J]. 供应链管理, 2007, 26(11): 147-150

[9] 张纪会, 徐军芹. 适应性供应链的复杂网络模型研究[J]. 中国管理科学, 2009, 17(2): 76-79

[10] 陈晓, 张纪会. 复杂供需网络的局域演化生长模型[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2008, 5(1): 54-60

[11] Barabási A L, Albert R. Emergence of scaling in random networks[J]. Science, 1999, 286: 509-512

[12] Barabási A L, Albert R, Jeong H. Mean-field theory for scale-free random networks[J]. Physica A, 1999, 272: 173-187

[13] Medina A, Matta I, Byers J. On the origin of power laws in internet topologies[J]. ACM Computer Communication Review, 2000, 31(2): 18-34

[14] Fu R L, Michael J S. Reengineering the Order Fulfillment Process in Supply Chain Networks[J]. The International Journal of Flexible Manufacturing Systems, 1998, 10(3): 197-229

[15] Watts D J, Strogatz S H. Collective dynamics of ‘small-world’ networks[J]. Nature, 1998, 393: 440-442

(上接第 240 页)

[9] Xu Wei-tao, Xu Yang, Li Tian-rui. The Structure of Generalized Literals in Linguistic Truth-Valued Propositional Logic Systems [C]//2009 International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering. Hasselt, Belgium, Nov. 2009: 631-636

[10] Xu Y, Liu J, Ruan D, et al. Determination of α-resolution in lattice-valued first-order logic LF(X)[J]. Information Science, 2011, 181(10): 1836-1862

[11] Xu Y, Liu J. Theories and Approaches to Treat Incomparability [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2011, 7027: 16-17

[12] Zhong X M, Liu J, Chen S W, et al. α-Quasi-Lock Semantic Resolution Method for Linguistic Truth-Valued Lattice-Valued Propositional Logic $L_{V(n\times 2)}P(x)$[C]//Proceedings of the Sixth International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering. Shanghai, China, 2012, 122: 159-169

[13] Lu Zhi-rui, Augusto J, Liu Jun, et al. A Linguistic Truth-Value Temporal Reasoning (LTR) System and Its Application to The Design of an Intelligent Environment[J]. International Journal of Computational Intelligence Systems, 2012, 5(1): 173-196