基于约束半环的 CP-nets 占优查询算法

刘惊雷[1],华 臻[2],武栓虎[1]
(1.烟台大学计算机学院,山东烟台 264005;2.山东工商学院信电学院,山东烟台 264005)

摘 要: 用户的偏好在自动决策中起着重要的作用,作为一种表示多属性定性偏好断言的直观工具,CP-nets 被许多学者研究.其上的占优查询算法的高复杂度还是一个难题,本文研究如何降低其复杂度.引入了一种求解约束满足问题的通用框架——SCSP(基于约束半环的满足问题),并指出 CP-nets 中的条件偏好表本质上是一种动态约束.给出了将 CP-nets 中的条件偏好表转化为 SCSP 中的约束,在 SCSP 中进行解的优劣判断的算法,并指出该算法具有多项式时间复杂度特性,从而基于约束半环解决了无环 CP-nets 上的占优查询问题.

关键词: 占优查询;约束半环;约束满足问题;条件偏好表;动态约束;解的优劣

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 08-1932-05

Dominance Query Algorithm for CP-nets Based on C-Semiring

LIU Jing-lei[1], HUA Zhen[2], WU Shuan-hu[1]
(1. *School of Computer Science and Technology*, *Yantai University*, *Yantai*, *Shandong* 264005, *China*;
2. *School of Information and Electronic Engineering*, *Shandong Institute of Business and Techonlogy*, *Yantai*, *Shandong* 264005, *China*)

Abstract: Information about user preferences plays a key role in automated decision making. As a intuitive graphical tool for representing statements over multiple attribute qualitative decision, CP-nets has attracted many researchers to study it. Its higher complexity of dominance query algorithm is a difficult problem to solve. We study how to reduce dominance query complexity. A general-purpose framework for solving constraint satisfaction problem is introduced, namely, SCSP (c-Semiring Constraint Satisfaction Problem), and point out that conditional preference table of CP-nets just is a type of dynamic constraint. An algorithm transforming conditional preference table of CP-nets to constraint of SCSP is given, which can judge a solution is better or worse. Its polynomial time complexity property is given, so based on c-Semiring, dominance query for acyclic CP-nets is solved effectively.

Key words: dominance query; constrain semiring; constraint satisfaction problem; condition preference table; dynamic constraint; better or worse solution

1 引言

偏好决定着选择,如何将 Agent 的偏好表示出来,并能进行相应的推理是很重要的.目前对偏好的研究主要集中在偏好的表示和偏好的提取上.其中前者研究如何将 Agent 偏好用数学方式加以描述,并重点探讨这种描述方式的简洁性,易用性.Boutilie 对前人工作进行了总结,提出了一种表示偏好的数学模型——CP-nets[1].该文对 CP-nets 的语法、语义及应用进行了详细论述,并重点讨论几类特殊结构的 CP-nets 上的占优查询(Dominance Query)方法.在 CP-nets 基础上,还衍生了一些重要的描述偏好的模型,如 Brafman 提出了一种带有属性重要性的 TCP-net[2],该模型在条件偏好基础上,增加了反映属性重要性的元素,然而它的分析技术和 CP-nets 的一样.偏好的提取是以机器学习的方式来获取 Agent 的偏好.其中 Koriche 提出了利用等价查询和成员查询来获取 Agent 的条件偏好[3,4].

偏好的表示和提取中都牵涉到占优查询,然而文献[1]只给出了特殊结构的 CP-nets 上的占优查询算法,对于较一般结构上的算法则没有给出.本文研究无环 CP-nets 上的占优查询问题,其主要特色在于:(1)引入了一类通用的基于半环的约束满足问题求解框架 SCSP(c-Semiring Constraint Satisfaction Problem),指出 CP-nets 的条件偏好表可看作是一种动态约束,从而 CP-nets 上的占优查询可看作是动态约束条件下的配置间的优劣判断;(2)设计了一个占优查询算法,它可将无环 CP-nets 上的条件偏好表转化为 SCSP 上的约束,从而在多项式时间完成解的优劣判断,并给出占优查询.

2 定性偏好的表示方法——CP-nets

2.1 CP-nets 及其语义

定义 1 (1)设 $V=\{X_1, X_2, \cdots, X_n\}$ 是决策属性

收稿日期:2010-06-18;修回日期:2010-11-28
基金项目:国家自然科学基金(No.61070118,No.60970105)

集,$Dom(X_i)$为 X_i 的定义域,则决策空间 $\Omega=\times_{i=1}^{n} Dom(X_i)$. $o\in\Omega$ 是决策空间的一个配置.若两个配置 o 和 $o'\in\Omega$ 仅有一个属性值不同,而其他属性值都相同,则称 o 和 o' 具有可交换关系(Swap Relation),记作 $o\mathrm{SR}o'$. $Para(X_i)$表示 X_i 的父亲.

(2) $CPT(X_i)$为 X_i 的条件偏好表(Condition Preference Table),表示在 $Para(X_i)$的不同取值下,Agent 对 $Dom(X_i)$集合的一个严格偏序关系.

(3)CP-nets 是一个有向图 $N=<V,CE>$,其中 CE 为有向边集,代表属性之间的依赖关系.每个顶点 X_i 都关联一个条件偏好表 $CPT(X_i)$.

(4)当 $N=<V,CE>$ 中不出现回路时,称 N 为无环 CP-nets,否则称有环 CP-nets.

例 1　我的晚餐[1]包含主菜(Main Course),汤(Soup)和酒水(Wine)三部分,分别用 M, S 和 W 来代表.对于 M 来说,我无条件偏好肉菜(用 M_{mc} 代表 Meat Course),而不是鱼菜(用 M_{fc} 代表 Fish Course).而喝什么样的汤则取决于主菜:当吃肉菜时,则喜欢喝鱼汤,当吃鱼菜时,则喜欢喝蔬菜汤;而喝什么样的酒则取决于汤:当喝鱼汤时,则喜欢喝白酒,当喝蔬菜汤时,则喜欢喝红酒.

该例子的 CP-net 图 $N=<V,CE>$ 如图 1 所示.其中 $V=\{M,S,W\}$, $Dom(M)=\{M_{mc},M_{fc}\}$, $Dom(S)=\{S_f,S_v\}$, $Dom(W)=\{W_w,W_r\}$; $CE=\{<M,S>,<S,W>\}$.各顶点的偏好表在图 1 中.

CP-nets 遵循 Ceteris Paribus(all else being equal)语义[1,2],即对于 $o\in\Omega$ 来说,主要关心除某个属性 X_i 的值不同,而其他属性值都相同的话,Agent 对 X_i 不同取值的一种偏好排序.

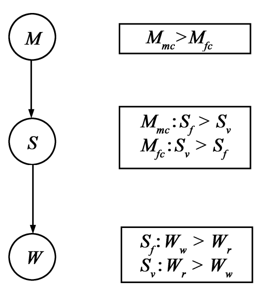


图1　“我的晚餐”的CP-nets

例 2　判断例 1 中晚餐配置 o_1=“$M_{fc}\wedge S_v\wedge W_w$”和 o_2=“$M_{fc}\wedge S_v\wedge W_r$”哪个更优.因为 o_1 与 o_2 仅在 W 取值不同,从 $CPT(W)$知,当 S 为 S_v, W_r 优于 W_w.用 Ceteris Paribus 语义可解释为:“当 M 与 W 值都为 M_{fc} 与 S_v 时,对 W_r 的偏好大于对 W_w 的偏好”.因此 o_2 优于 o_1,记作 $o_2>o_1$.

当 o_1 与 o_2 有多个属性值不同,则需进行一般情况下的占优查询.

2.2　CP-nets 上的占优查询

定义 2　设 $N=\langle V,CE\rangle$为 CP-nets,若存在配置 o_1, o_2, $\cdots$, o_m 满足 $o_i>o_{i+1}(1\leqslant i\leqslant m-1)$且 o_i SR o_{i+1},则称 o_1 占优 o_m,记作 $o_1>o_m$.判断 $o_1>o_m$ 是否成立的查询称作占优查询.

定理 1　设 $N=<V,CE>$是二值 CP-nets,对于一些特殊的 CP-nets 结构,其占优查询的时间复杂度[1]如表 1 所示.

表 1　二值 CP-nets 的占优查询复杂度

CP-nets graph	Complexity	Remark
Tree	$O(n^2)$	Lower bound
Polytree	$O(2^{2k}n^{2k+3})$	k-maximal indegree
单连通 DAG	NP-complete	Reduction from 3SAT
无环	?	NP or Harder?

可见对于无环 CP-nets 来说,其复杂度还未知.即使是其特殊的一类——单连通 CP-nets,其复杂度也是 NP 完全的.

3　基于约束半环的解的优劣判断

约束半环(c-Semiring)[5,6]是一类重要的代数结构,Bistarelli[5]提出了基于半环的约束满足问题求解的通用框架——SCSP(c-Semiring Constraint Satisfaction Problem),并将其应用在输入数据不完备,即带有缺失数据的偏好处理[6].本文利用 SCSP 求 CP-nets 上的占优查询.

3.1　一种代数结构——约束半环

CSP(Constraint Satisfaction Problem,约束满足问题)是人工智能研究领域的一个重要分支,如计算机视觉、调度中的资源分配[5]、空间数据检索[7]等都可用 CSP 来建模.

基于约束半环的满足问题是在古典 CSP 基础上扩充如下两点:

(1)允许虚弱(No Crisp)的断言[5],即可以部分满足或者说出现了满足的程度;

(2)增加了通用的对这些虚弱断言进行的两种操作.这两点恰恰构成一个抽象代数——约束半环,利用约束半环可把所有 CSP 统一到通用框架下进行求解.

定义 3　$S=\langle A,+,\times,0,1\rangle$是包含两个二元运算 $+$ 和 $\times$ 的代数结构,其中

(1) A 是运算的载体, $0,1\in A$ 是特异元[8];

(2) $+$ 是“加运算”,其满足封闭,交换和结合性[8],0 是 $+$ 运算的单位元.

(3) $\times$ 是“乘运算”,其满足封闭和结合,1 是 $\times$ 运算的单位元.

(4) $\times$ 对 $+$ 满足分配律.

(5) $+$ 运算满足等幂律, $\times$ 运算满足交换性,1 是 $+$ 运算的零元.

满足(1)~(4)的 S 称作半环(Semiring),满足(1)~(5)的 S 称作约束半环(c-Semiring)[5,6].可见 c-Semiring 是在 Semiring 基础上加了条件(5)的限制.

定义 4　$S=\langle A,+,\times,0,1\rangle$是一个约束半环, $a,b\in A$,且 $a\neq b$,若 $a+b=a$,则称 $a>b$(a 比 b 优).

约束半环所诱导的序的作用在于对 A 中的元素进行排序.

3.2 基于约束半环的满足问题

为了理解 SCSP,先引入约束系统,约束和约束满足问题等概念.

定义 5 (1) $CS=\langle S,V,D\rangle$ 是一个约束系统,其中 S 是定义 2 所示的 c-Semiring,V 是决策变量集,D 是 V 的定义域,即 $D=\times_{X_i\in V}Dom(X_i)$.

(2)给定 $CS=\langle S,V,D\rangle$,CS 上的一个约束 $c=\langle Con_c,Def_c\rangle$ 是一个有序对,其中 $Con_c\subseteq V$ 称作约束的类型(Type of Constraint),Def_c 是约束 c 的值,即 Def_c: $D^{|Conc|}\to A$. Def_c 代表约束在 Con_c 上产生的约束大小或约束强弱,它将约束类型 Con_c 的一个值映射为半环数据域 A 中的一个值.

(3)给定 $CS=\langle S,V,D\rangle$,则基于约束半环的满足问题 $\mathrm{SCSP}=\langle C,Con\rangle$,其中 C 是所有形如 $\langle Con_c,Def_c\rangle$ 的约束集,$Con=\bigcup_{c\in C}Con_c\subseteq V$.

(4)给定 $\mathrm{SCSP}=<C,Con>$,$t=\langle t_1,t_2,\cdots t_n\rangle\in D$,$W=\langle w_1,w_2,\cdots w_k\rangle$,$W'=\langle w_1,w_2,\cdots w_m\rangle$,且满足 $W'\subseteq W\subseteq V$,则 t 从 W 到 W' 上的投影定义为:$t(\downarrow^{W}_{W'})=t'=<t_1',t_2',\cdots,t_m'>$,其中当 $w_i'=w_j$ 时有 $t_i'=t_j$.

SCSP 的解是在约束的组合操作 $\otimes$ 和投影操作 $\Downarrow$ 基础上而来的.

定义 6[5] 给定 $CS=\langle S,V,D\rangle$,$S=\langle A,+,\times,0,1\rangle$ 是一个约束半环.

(1)若 $c_1=\langle Con_1,Def_1\rangle$ 和 $c_2=\langle Con_2,Def_2\rangle$ 是 CS 上两个约束,则 $c_1\otimes c_2=\langle Con,Def\rangle$,其中 $Con=Con_1\cup Con_2$,$Def(t)=Def_1(t\downarrow^{con}_{con1})\times Def2(t\downarrow^{con}_{con2})$,$t=\langle t_1,t_2,\cdots t_k\rangle\in D$,$k=|Con|$.

(2)若 $c=\langle Con,Def\rangle$ 是 CS 上的一个约束,$W\subseteq Con\subseteq V$,则 $c\Downarrow W=\langle Con',Def'\rangle$,其中 $Con'=W$,$Def(t')=\sum_{\{t|t\downarrow^{Con}_{W}=t'\}}Def(t)$.

(3)给定 CS 上的 $\mathrm{SCSP}=\langle C,Con\rangle$,若 $C=\{c_1,c_2,\cdots,c_n\}$,则该问题的解是一个约束,即 $Sol(SCSP)=(c_1\otimes c_2\otimes\cdots\otimes c_n)\Downarrow Con$. 它表示 C 中所有约束进行组合操作 $\otimes$ 后再在定义域 Con 上进行投影操作 $\Downarrow$.

Bistarelli[5] 给出了表2所示的SCSP实例,从中可知每个实例都和半环有关.

表 2 SCSP 的一些实例

Framework	A	$+$	$\times$	0	1
Classical CSP	{false, true}	$\wedge$	$\vee$	false	true
Negative Weighted CSP	$Z^+\cup\{+\infty\}$	min	$+$	$+\infty$	0
Positive Weighted CSP	$Z^+\cup\{+\infty\}$	max	$+$	0	$+\infty$
Probabilistic CSP	$<0,1>$	max	$\times$	0	1
Fuzzy CSP	$<0,1>$	max	min	0	1
Lexicographic CSP	$Z^{(0,1)}\cup\{T\}$	$\max_{Lex}$	$\cup$	T	$\varnothing$

定理 2 在基于约束半环的满足问题中,解的优劣判断为多项式时间复杂度[5].

3.3 从约束观点看条件偏好表

任何约束满足问题中的"约束"都可抽象为"受到某种条件的限制".例如图 1 中 $CPT(M)$ 的一个条目为"$M_{mc}>M_{fc}$",这可理解为当其他属性值一样,而仅出现 M 属性时,其所受的限制条件为"肉菜比鱼菜强".$CPT(S)$ 的第 2 行为"$M_{fc}:S_v>S_f$",它与约束的联系为"当菜选择了鱼菜时,则蔬菜汤比鱼汤强".当条件偏好表只有 1 行时,可视为一个静态约束或绝对约束;当条件偏好表有多行,可视为一个动态约束或相对约束,即在不同条件下,其所受的限制条件不一样.由于条件偏好表可看成一种约束,这为利用 SCSP 求占优查询提供了可能.

4 将 CP-nets 的偏好转换为约束满足问题

从定理 1 知,对于无环结构的 CP-nets,其占优查询的复杂度未知.而根据定理 2 得知,SCSP 可在多项式时间完成解的优劣判断.由于条件偏好表就是约束,因此可将无环 CP-nets 的占优查询转化为 SCSP 中解的优劣判断问题.

4.1 SCSP 中解的优劣判断

定义 7 $\mathrm{SCSP}=\langle C,Con\rangle$ 是约束系统 $CS=\langle S,V,D\rangle$ 的一个满足问题.

(1)当 $S=\langle Z^+,\mathrm{Max},+,0,+\infty\rangle$ 是一个正带权约束半环,若 $\mathrm{Max}(sol_1,sol_2)=sol_1$,称解 sol_1 优于 sol_2.

(2)对于 CP-nets 中的两个不同配置 o_1 和 o_2,若 $\mathrm{Max}(Def(o_1),Def(o_2))=Def(o_1)$,则 $o_1>o_2$. 其中 $Def(o)=Def(o\downarrow^{V}_{Con_{X_1}})+Def(o\downarrow^{V}_{Con_{X_2}})+\cdots+Def(o\downarrow^{V}_{Con_{X_n}})$. 当 $Con_{X_i}\subseteq V$ 时,$Def(o\downarrow^{V}_{Con_{X_i}})$ 可简写为 $Def(o_{\downarrow ConX_i})$.

定理 3 对于 CP-nets 中的配置 o 来说,$Def(o)=Def(o\downarrow^{V}_{Con_{X_1}})+Def(o\downarrow^{V}_{Con_{X_2}})+\cdots+Def(o\downarrow^{V}_{Con_{X_n}})$,则 $\langle V,Def(o)\rangle$ 是 SCSP 的一个解.

证明:因为约束系统 CS 上约束集 $C=\langle C,Con\rangle$,其中 $C=\{Con_{X_1},Con_{X_2},\cdots,Con_{X_n}\}$ 为各顶点对应的约束集,$Con=Con_{X_1}\cup Con_{CX_2}\cup\cdots\cup Con_{X_n}=V$,根据定义 6 的(3)知解的形式为一个约束,即 $\langle V,Def(o)\rangle\in Sol(\mathrm{SCSP})=(c_1\otimes c_2\otimes\cdots\otimes c_n)\Downarrow V$,所以 $\langle V,Def(o)\rangle$ 是 SCSP 的一个解.

该定理表明 $\langle V,Def(o)\rangle$ 是 SCSP 的一个解,因此通过 o_1 和 o_2 的 Def 值可判断 o_1 和 o_2 的占优关系.

4.2 占优查询算法及性质

算法 1 为基于半环的占优查询算法 DQBYSCSP.

算法 1　DQBYSCSP 算法

Input:CP-nets 图 $N=\langle V, CE\rangle$,两个配置 o_1 与 o_2

Output:配置 o_1 与 o_2 的占优关系

Step1　//构造条件偏好表对应的约束

While $(X\in V)$

$Con_X = Para(X)\cup\{X\}$

EndWhile

Step2 //求约束 c_X 的类型值 $Type(c_X)$

Single_Link L;//定义单链表 L

L = Topological_Sort(V)

//对顶点集 V 进行拓扑排序,其结果放在单链表 L

$Vertex\ *P = L\rightarrow head$ //P 指针指向 L 的头结点

While $(P != \text{NULL})$

{

$X = P\rightarrow Value$//P 的 Value 域存储 CP-nets 的顶点

$Type(c_X) = m^{Index(L,X)}$

//$Index(L,X)$返回 X 在链表 L 中的位置,$m=|Dom(X)|$.

For (*Each Item In CPT(X)*)

{//求出偏好表中每行约束不同取值 c_i 的位置 $Posi(c_i)$

//$c_i\in Item=\{\{v_1,v_2,\cdots,v_k,x_{i1}\},\{v_1,v_2,\cdots,v_k,x_{i2}\},\cdots,\{v_1,v_2,\cdots,v_k,x_{im}\}\}$

$Posi(c_1)=Posi(\{v_1,v_2,\cdots,v_k,x_{i1}\})=m-1,\cdots$

$Posi(c_m)=Posi(\{v_1,v_2,\cdots,v_k,x_{im}\})=0$

}**End For**

$Def(c_X)=\{Type(c_X)*Posi(c_i)\mid i=1,2,\cdots m$

}**EndWhile**

Step3　//基于配置 o_1 与 o_2 的 Def 值进行占优查询

$Def(o_1)=Def(o_1\downarrow^{V}_{Con_{X_1}})+Def(o_1\downarrow^{V}_{Con_{X_2}})+\cdots+Def(o_1\downarrow^{V}_{Con_{X_n}})$;

$Def(o_2)=Def(o_2\downarrow^{V}_{Con_{X_1}})+Def(o_2\downarrow^{V}_{Con_{X_2}})+\cdots+Def(o_2\downarrow^{V}_{Con_{X_n}})$;

If　$\text{Max}(Def(o_1),Def(o_2))=Def(o_1)$,$o_1>o_2$

Else　$o_2>o_1$

End If

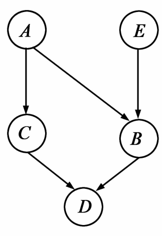
Return;

性质 1　算法 DQBYSCSP 是多项式时间复杂度.

性质 2　若 o_1 占优 o_2,则算法 DQBYSCSP 所得到的解的 $Def(o_1)$值优于 $Def(o_2)$.

4.3　一个实例

例 3　求图 2 CP-nets 中各个变量所对应的约束,并对配置 o_1=“$a_0c_0e_1b_0d_0$”和 o_2=“$a_0c_1e_0b_0d_0$”进行占优查询.



$CPT(A)$	$a_1>a_0$
$CPT(B)$	$(a_0\wedge e_0)\vee(a_1\wedge e_1):b_o>b_1$ $(a_0\wedge e_1)\vee(a_1\wedge e_0):b_1>b_0$
$CPT(C)$	$a_1:c_1>c_0$ $a_0:c_0>c_1$
$CPT(D)$	$(b_0\wedge c_0)\vee(b_1\wedge c_1):d_1>d_0$ $(b_0\wedge c_1)\vee(b_1\wedge c_0):d_o>d_1$
$CPT(E)$	$e_0>e_1$

图2　一个无环CP-nets

解:图 2 中 CP-nets 的一个拓扑排序是“A,C,E,B,D”,因此 $Type(Con_A)=2^4$,$Type(Con_C)=2^3$,$Type(Con_E)=2^2$,$Type(Con_B)=2^1$,$Type(Con_D)=2^0$,$Posi(Con_A)=\{<a_1,1>,<a_0,0>\}$,$Posi(Con_C)=\{<a_1c_1,1>,<a_1c_0,0>,<a_0c_0,1>,<a_0c_1,0>\}$,$Posi(Con_E)=\{<e_0,1>,<e_1,0>\}$,$Posi(Con_B)=\{<a_0e_0b_0,1>,<a_0e_0b_1,0>,<a_1e_1b_0,1>,<a_1e_1b_1,0>,<a_0e_1b_1,1>,<a_0e_1b_0,0>,<a_1e_0\ b_1,1>,<a_1e_0b_0,0>\}$,$Posi(Con_D)=\{<b_0c_0d_1,1>,<b_0c_0d_0,0>,<b_1c_1d_1,1>,<b_1c_1d_0,0>,<b_0c_1d_0,1>,<b_0c_1d_1,0>,<b_1c_0d_0,1>,<b_1c_0\ d_1,0>\}$.

因此 $Def(Con_A)=Type(Con_A)*Posi(Con_A)=\{<a_1,16>,<a_0,0>\}$,$Def(Con_C)=2^3*Posi(Con_C)=\{<a_1c_1,8>,<a_1c_0,0>,<a_0c_0,8>,<a_0c_1,0>\}$,$Def(Con_E)=\{<e_0,4>,<e_1,0>\}$,$Def(Con_B)=\{<a_0e_0b_0,2>,<a_0e_0b_1,0>,<a_1e_1b_0,2>,<a_1e_1b_1,0>,<a_0e_1b_1,2>,<a_0e_1b_0,0>,<a_1e_0b_1,2>,<a_1e_0b_0,0>\}$,$Def(Con_D)=\{<b_0c_0d_1,1>,<b_0c_0d_0,0>,<b_1c_1d_1,1>,<b_1c_1d_0,0>,<b_0c_1d_0,1>,<b_0c_1d_1,0>,<b_1c_0d_0,1>,<b_1c_0d_1,0>\}$.

$Def(o_1)=Def(o_{1\downarrow ConA})+Def(o_{1\downarrow ConC})+Def(o_{1\downarrow ConE})+Def(o_{1\downarrow ConB})+Def(o_{1\downarrow ConD})=0+8+4+0+1=13$,同理 $Def(o_2)=0+0+4+2+1=7$,由于 $\text{Max}(Def(o_1),Def(o_2))=Def(o_1)$,故 $o_1>o_2$.

4.4　相关工作的对比

为了理解本文特色,表 3 为相关工作的对比.

表 3　CP-nets 的相关工作对比

相关论文	主要工作	占优查询方法	方法通用性	CP-nets 的结构	算法复杂度
Boutilier's works[1]	CP-nets 的语法、语义和应用	剪枝,字符串匹配	不强	有限几种	大部分指数级
Gelain's works[6]	SCSP 在缺失偏好下的处理	无	没有论述	没有论述	没有论述
Bistarelli's works[5]	基于半环的满足问题求解	无	没有论述	没有论述	没有论述
本文工作	基于约束半环求解占优查询	基于约束半环	较强	DAG 结构的都可求	多项式复杂度

从表 3 可看出,本文特色在于提出 CP-nets 的条件偏好表本质上反映的是一类约束,它可以利用通用的代数求解框架——SCSP 中解的优劣判断方法来对 CP-nets 进行占优查询.

5　结论和未来工作

本文引入了一种通用的求解约束满足问题的框架——SCSP,指出 CP-nets 中的条件偏好表本质上就是一种动态约束.偏好和约束之间的内在联系,为利用 SCSP 中解的优劣判断来求 CP-nets 中占优查询奠定了基础.

进一步研究有两个思路:(1)研究带环 CP-nets 图的特性;(2)研究 CP-nets 和对策论(Game Theory)的联系,利用对策论的方法求解 CP-nets 中的占优查询.

参考文献

[1] Boutilier C, Brafman R, et al. CP-nets: A tool for representing and reasoning with conditional ceteris paribus statements[J]. Journal of Artificial Intelligence Research, 2004, 21: 135 – 191.

[2] Brafman R, Domshlak C, et al. On graphical modeling of preference and importance [J]. Journal of Artificial Intelligence Research, 2006, 25: 389 – 424.

[3] Koriche F, Zanuttini B. Learning conditional preference networks with queries[A]. Proc 21st International Joint Conference on Artificial Intelligence[C]. Pasadena: Morgan Kaufman Publishers, 2009. 1930 – 1935.

[4] Koriche F, Zanuttini Bruno. Learning conditional preference networks[J]. Artificial Intelligence, 2010, 174(11): 685 – 703.

[5] Bistarelli S, Montanari U, et al. Semiring-based constraint solving and optimization[J]. Journal of the ACM, 1997, 44(2): 201 – 236.

[6] Gelain M, Pini M S, et al. Elicitation strategies for soft constraint problems with missing preferences: properties, algorithms and experimental studies[J]. Artificial Intelligence, 2010, 174 (5-6): 270 – 294.

[7] 申世群,刘大有,等.基于草图的空间数据检索研究[J].电子学报,2010,38(8):1819 – 1824.
Shen Shiqun, Liu Dayou, et al. Research on spatial data retrieval based on sketch[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38 (8): 1819 – 1824. (in Chinese)

[8] 屈婉玲.离散数学[M].北京:高等教育出版社,2008.6.266 – 269.
Qu Wanling. Discrete Mathematics [M]. Beijing: Higher Education Press, 2008.6.266 – 269. (in Chinese)

作者简介

刘惊雷 男,1970 年生于山西临猗,副教授,CCF 会员.研究方向为程序理论,计算方法.
E-mail: jinglei_liu@sina.com

华 臻 女,1966 年生于内蒙古包头市,博士,教授,硕士生导师,IEEE 会员.研究方向为智能视觉与可视化技术.
E-mail: huazhen66@msn.com

武栓虎 男,1965 年生于河南灵宝市,博士,教授.研究方向为信息与信号处理,数字图像处理.
E-mail: wushuanhu@126.com