计算机研究与发展
Journal of Computer Research and Development
ISSN 1000-1239/CN 11-1777/TP
43(7):1267~1272,2006

时态函数依赖多值依赖混合集的成员籍问题研究

郝忠孝[1,2,3]　　李艳娟[1]

[1](哈尔滨理工大学计算机与控制学院　哈尔滨　150080)
[2](哈尔滨工业大学计算机科学与技术学院　哈尔滨　150001)
[3](齐齐哈尔大学信息科学与技术学院　齐齐哈尔　161006)
(ZXhao@0451.com)

Study on Membership Problem with Respect to Temporal Functional Dependencies and Temporal Multivalued Dependencies

Hao Zhongxiao[1,2,3] and Li Yanjuan[1]

[1](*College of Computer and Control, Harbin University of Science and Technology, Harbin* 150080)
[2](*College of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin* 150001)
[3](*College of Information Science and Technology, Qiqihar University, Qiqihar* 161006)

Abstract For temporal scheme with temporal functional dependencies and temporal multivalued dependencies constraints, the usages of multiple time granularities make it more difficult to solve the membership problem. However, the solution of the membership problem is essential to design an available algorithm of scheme decomposition. Thus, in this paper, strong close set of set of temporal types, finite closure of attribution sets, finite dependency base of attribution sets based on a certain temporal type, finite dependency base of attribution sets and special finite dependency base of attribution sets are introduced; the algorithm of finite closure, finite dependency base of attribution sets and special finite dependency base of attribution sets, and the membership problem is given; and the algorithm's termination and correction are proved.

Key words temporal database; finite closure; finite dependency base; special finite dependency base; membership

摘　要 对于TFD和TMVD混合集约束的时态模式来说,由于多时间粒度的使用使成员籍问题的解决变得更加复杂.由于成员籍问题的解决对设计有效的模式分解算法必不可少,由此定义了时态类型集的强封闭集、属性集的有限闭包、属性集在给定时态类型上的有限依赖基、属性集的有限依赖基及特殊有限依赖基等概念,给出了求属性集的有限闭包、有限依赖基和特殊有限依赖基、时态混合集成员籍问题的算法,并对算法的可终止性、正确性进行了证明,对时间复杂性进行了分析.

关键词 时态数据库;有限闭包;有限依赖基;特殊有限依赖基;成员籍

中图法分类号 TP311

1 引　　言

一个好的数据库逻辑设计目标是消除数据冗余以及插入、删除和更新异常.由于时间维的引入,时态数据库能够反映现实世界随时间变化的特征,但也给时态数据库的设计带来了非常大的困难.

近年来,对于时态数据库设计有了相当多的

收稿日期:2005-05-16;修回日期:2006-01-13
基金项目:黑龙江省自然科学基金项目(F00-06)

研究，Jensen[1~3]，Wijsen[4]及Wang[5]等人提出了各自的时态函数依赖(TFD)的概念，其中Wang等人[5]提出的时态函数依赖能够较好地反映客观世界，Wijsen[6]又将其扩展到复杂对象的依赖约束.

Wang等人[5]基于TFD系统地讨论了具有多时间粒度的时态数据库的逻辑设计问题. 文献[7,8]对时态函数依赖集的成员籍算法及具有全序时态类型集的时态函数依赖集进行了深入研究. 作者在另文中给出了TFD和TMVD混合集的有效并且完备的推理规则(TFD1～TFD4，TMVD1～TMVD5，TFD_TMVD1～TFD_TMVD2)及有效并且完备到继承性的有限推导规则：(FTFD1～FTFD3，FTMVD1～FTMVD4，FTMVD2′～FTMVD4′，FTMVD4″，FTMVD4‴ FTFD_TMVD1，FTFD_TMVD2，FTFD_TMVD2′).

本文讨论了时态类型的一些特性，定义了时态类型集的强封闭集、属性集的有限闭包、属性集在给定时态类型上的有限依赖基、属性集的有限依赖基及属性集的特殊有限依赖基等概念，给出了求属性集的有限闭包、有限依赖基和特殊有限依赖基、解决成员籍的算法，对算法的可终止性、正确性进行了证明，并对时间复杂度进行了分析.

2 基本概念

为了便于形式化地描述时态类型，设全体实数集代表时间，记$\mathbb{R}$为实数集，$2^{\mathbb{R}}$表示$\mathbb{R}$的幂集，即绝对时间集合. 时态类型、细于关系、集细于关系见文献[7].

定义1. 强细于关系. μ_1,μ_2是两个时态类型，若对每一个满足$\mu_1(i)\neq\varnothing$的正整数i，存在j满足$\mu_1(i)=\mu_2(j)$，则称μ_1强细于μ_2，记做$\mu_1\precsim\mu_2$.

任何时态类型集相对于强细于关系都存在一个最小下界，记做μ_{b}. 它的定义为，对每个i，$\mu_{\mathrm{b}}(i)=\varnothing$. 这里规定一个特殊的时态类型$\mu_{\mathrm{t}}=\mu_{\mathrm{Top}}$，使得任何时态类型都强细于$\mu_{\mathrm{t}}$，则任何时态类型集相对于强细于关系都存在一个最大上界μ_{t}. 由上述描述可知任一对时态类型(μ_1,μ_2)，相对于强细于关系存在最小上界和最大下界，分别记做$lubs(\mu_1,\mu_2)$和$glbs(\mu_1,\mu_2)$.

定义2. 集强细于关系. $\{\mu_1,\mu_2,\cdots,\mu_n\}$是一个时态类型集，$\nu$是一个时态类型. 如果对于每个满足$\nu(i)\neq\varnothing$的正整数$i$，存在$1\leqslant k\leqslant n$和某一个正整数$j$，使得$\nu(i)=\mu_k(j)$，则称$\nu$集强细于$\{\mu_1,\mu_2,\cdots,\mu_n\}$，记做$\nu\precsim_c\{\mu_1,\mu_2,\cdots,\mu_n\}$.

定义3. 混合集细于关系. $\{\{\mu_1,\cdots,\mu_n\},\{\nu_1,\cdots,\nu_m\}\}$是一个由两个时态类型集组成的集合，$\nu$是一个时态类型. 若对每个正整数$i$，存在$1\leqslant k\leqslant n$和$j$，使得$\nu(i)=\mu_k(j)$或存在$1\leqslant s\leqslant m$和$t$，使得$\nu(i)\subseteq\nu_s(t)$，则称$\nu$混合集细于$\{\{\mu_1,\cdots,\mu_n\},\{\nu_1,\cdots,\nu_m\}\}$，记做$\nu\preccurlyeq_{\mathrm{hc}}\{\{\mu_1,\cdots,\mu_n\},\{\nu_1,\cdots,\nu_m\}\}$.

定义4. 封闭时态类型集. 一个时态类型集T是封闭的，当且仅当对于任何时态类型$\mu,\nu\in T$，一定有$glb(\mu,\nu)\in T$.

定义5. 时态类型集的封闭集. 一个时态类型集T的一个封闭集T'定义为：T'是封闭的，并且$T\subseteq T'$.

定义6. 强封闭时态类型集. 一个时态类型集T是强封闭的，当且仅当对于任何时态类型$\mu,\nu\in T$，一定有$glb(\mu,\nu)\in T$，$glbs(\mu,\nu)\in T$.

定义7. 时态类型集的强封闭集. 一个时态类型集T的一个强封闭集T'定义为：T'是强封闭的，并且$T\subseteq T'$.

定理1. 一个时态类型集的封闭集也是它的强封闭集.

证明. 在时态数据库中，用时态类型表示时间粒度，并且具有一定现实意义. 基于时态类型的特性有：若两个时态类型μ,ν相对于强细于关系存在不等于空的最大下界$glbs(\mu,\nu)$，则这两个时态类型相对于细于关系也一定存在不等于空的最大下界$glb(\mu,\nu)$，且$glb(\mu,\nu)=glbs(\mu,\nu)$. 证毕.

文献[9]中给出了求时态类型集的封闭集的算法，根据定理1可知可以利用该算法求时态类型集的强封闭集.

对于任意时态依赖$d=X\delta_\mu Y$，其中δ是"$\rightarrow$"或"$\rightarrow\rightarrow$"，μ称做d的时态类型，记做$TT(d)$；X称做d的左部，记做$LH(d)$；Y称做d的右部，记做$RH(d)$；$NT(d)$是d对应的非时态版本，即若d是一个$TFD X\rightarrow_\mu Y$，则$NT(d)=X\rightarrow Y$；若d是一个$TMVD X\rightarrow\rightarrow_\mu Y$，则$NT(d)=X\rightarrow\rightarrow Y$. 设$D$是一个TFD和TMVD混合集，$D$的时态类型集$TTS(D)=\{TT(d)\mid d\in D\}$，$\pi_\phi(D)=\{NT(d)\mid d\in D\}$.

定义8. 有限闭包. TFD和TMVD混合集D的有限闭包，是由D应用有限规则推导出的所有TFD和TMVD的集合，记为$D_f^+=\{X\delta_\mu Y\mid D\vdash_f X\delta_\mu Y$，$\delta$是"$\rightarrow$"或"$\rightarrow\rightarrow$"$\}$.

定义9. 属性集的有限闭包. D是一个TFD和TMVD的混合集，对每个有限属性集X，X关于D

的有限闭包定义为 $X_f^+ = \{(B,\mu) \mid X \to_\mu B \in D_f^+$ 且不存在 $X \to_\nu B \in D_f^+$,使得 $\mu \prec \nu\}$.

定义 10. 特殊时态多值依赖. 若时态多值依赖 $X \to\to_\mu Y$ 对于每个细于 μ 的时态类型 ν 都有时态多值依赖 $X \to\to_\nu Y$ 成立,则称时态多值 $X \to\to_\mu Y$ 是特殊时态多值依赖,记做 $X \to^* \to_\mu Y$.

定义 11. 在给定时态类型上的有时态限依赖基. 设 D 是一个 TFD 和 TMVD 的混合集,R 是范属性集,X 是有限属性集,μ 是某时态类型,定义 $G = \{Y \mid$ 存在 $\mu_1, \mu \lesssim \mu_1$,使得 $D \vdash_f X \to\to_\mu Y$ 或存在 $\nu, \mu \preccurlyeq \nu$,使得 $D \vdash_f X \to^* \to_\nu Y\}$,$MB(G)$ 为 G 的最小基集,则 X 在时态类型 μ 上关于 D 的依赖基 $DEP_\mu(X) = \{(Y,\mu) \mid Y \in MB(G)\}$.

定义 12. 属性集的有限依赖基. 设 D 是一个 TFD 和 TMVD 的混合集,对每个有限属性集 X,X 关于 D 的有限依赖基 $DEP_{[X]} = \bigcup_{\mu \in T} DEP_\mu(X)$,其中 $T = \{\mu \mid D \vdash_f X \to\to_\mu Y\}$.

定义 13. 在给定时态类型上的特殊有限依赖基. 设 D 是一个 TFD 和 TMVD 的混合集,R 是范属性集,X 是有限属性集,μ 是某时态类型,定义 $G = \{Y \mid$ 存在 $\nu, \mu \preccurlyeq \nu$,使得 $D \vdash_f X \to^* \to_\nu Y\}$,$MB(G)$ 为 G 的最小基集,则 X 在时态类型 μ 上关于 D 的特殊有限依赖基 $DEPs_\mu(X) = \{(Y,\mu) \mid Y \in MB(G)\}$.

定义 14. 属性集的特殊有限依赖基. 设 D 是一个 TFD 和 TMVD 的混合集,对每个有限属性集 X,X 关于 D 的特殊有限依赖基 $DEPs_{[X]} = \bigcup_{\mu \in T} DEPs_\mu(X)$,其中 $T = \{\mu \mid D \vdash_f X \to\to_\mu Y\}$.

定义 15. $Set_{[\mu]}$, $TFD_{[\mu]}$, $TMVD_{[\mu]}$. 设 D 是一个 TFD 和 TMVD 的混合集,T 是 $TTS(D)$ 的一个强封闭集,μ 是 T 中的任意时态类型,$pre(\mu) = \{\nu \mid \mu \prec \nu, \nu \in T\}$,$pres(\mu) = \{\nu \mid \mu \lesssim \nu, \mu \neq \nu, \nu \in T\}$. 若不存在 $\nu \in T$ 使得 $\mu \prec \nu$,则 $TFD_{[\mu]} = \{X \to_\mu Y \mid X \to_\mu Y \in D\}$,$TMVD_{[\mu]} = \{X \to\to_\mu Y \mid X \to\to_\mu Y \in D\}$,$Set_{[\mu]} = TFD_{[\mu]} \cup TMVD_{[\mu]}$;否则 $Set_{[\mu]} = \{X \to_\mu Y \mid X \to_\mu Y \in D\} \cup \{X \to\to_\mu Y \mid X \to\to_\mu Y \in D\} \cup \{X \to_\nu Y \mid X \to_\nu Y \in TFD_{[\nu]}, \nu \in pre(\mu)\} \cup \{X \to\to_\nu Y \mid X \to\to_\nu Y \in TMVD_{[\nu]}, \nu \in pres(\mu)\}$,$TFD_{[\mu]} = \{X \to_\mu Y \mid \pi_\phi(Set_{[\mu]}) \models X \to Y\}$,$TMVD_{[\mu]} = \{X \to\to_\mu Y \mid \pi_\phi(Set_{[\mu]}) \models X \to\to Y\}$.

3 有限依赖基和特殊有限依赖基的基本定理、求解算法

引理 1. 设 D 是一个 TFD 和 TMVD 混合集,T 是 $TTS(D)$ 的一个强封闭集. 若 $D \vdash_f d$,则 $TT(d) \in T \cup \{\mu_{Top}\}$.

引理 2. 设 D 是一个 TFD 和 TMVD 混合集,若 $D \vdash_f d$,则 $\pi_\phi(Set_{[TT(d)]}) \models NT(d)$.(证明略).

引理 3. 若 $Set_{[\mu]}$ 中的每个 $TFD X \to_\nu Y$,满足存在 $\nu', \nu \preccurlyeq \nu'$,使得 $D \vdash_f X \to_{\nu'} Y$,每个 $TMVD X \to\to_\nu Y$,满足存在 $\nu', \nu \lesssim \nu'$,使得 $D \vdash_f X \to\to_{\nu'} Y$ 或存在 ν'',$\nu \preccurlyeq \nu''$,使得 $D \vdash_f X \to^* \to_{\nu''} Y$,则:若 $\pi_\phi(Set_{[\mu]}) \models X \delta Y$,如果 δ 是"$\to$",那么一定存在 $\nu, \mu \preccurlyeq \nu$,使得 $D \vdash_f X \to_\nu Y$;如果 δ 是"$\to\to$",那么一定存在 ν,$\mu \lesssim \nu$,使得 $D \vdash_f X \to\to_\nu Y$ 或存在 $\nu', \mu \preccurlyeq \nu'$,使得 $D \vdash_f X \to^* \to_{\nu'} Y$.(证明略).

引理 4. 设 $X \delta_\nu Y$ 是 $Set_{[\mu]}$ 中的任意一个时态依赖. 若 δ 是"$\to$",则一定存在 $\nu', \nu \preccurlyeq \nu'$,使得 $D \vdash_f X \to_{\nu'} Y$;若 δ 是"$\to\to$",则一定存在 $\nu', \nu \lesssim \nu'$,使得 $D \vdash_f X \to\to_{\nu'} Y$ 或存在 ν'',$\nu \preccurlyeq \nu''$,使得 $D \vdash_f X \to^* \to_{\nu''} Y$.(证明略).

引理 5. 若 $(A,\mu) \in X_f^+$,则一定不存在 (A,ν),$\mu \prec \nu$,使得 $\pi_\phi(Set_{[\mu]}) \models X \to A$.

引理 6. 若存在 $\mu \in T$,使得 $\pi_\phi(Set_{[\mu]}) \models X \to A$,且不存在 $\nu \in T, \mu \prec \nu$,使得 $\pi_\phi(Set_{[\mu]}) \models X \to A$,则 $(A,\mu) \in X_f^+$.

算法 1. T-FMCLOSURE(求属性集的有限闭包、有限依赖基和特殊有限依赖基算法).

输入:属性集 X,泛属性 R,TFD 和 TMVD 的混合集 D 及 $TTS(D)$ 的一个强封闭集 T.

输出:X 关于 D 的有限闭包 $CLOS$,有限依赖基 DEP 和特殊有限依赖基 $DEPs$.

T-FMCLOSURE (X, D)
begin
(1) for 每个 $\mu \in T$ do
 $\{pre(\mu) = \{\nu \mid \mu \prec \nu, \nu \in T\}$;
 $pres(\mu) = \{\nu \mid \mu \lesssim \nu, \mu \neq \nu, \nu \in T\}$;
 $Count_{[\mu]} = |pre(\mu)|$;
 $TFD_{[\mu]} = \{X \to_\mu Y \mid X \to_\mu Y \in D\}$;
 $TMVD_{[\mu]} = \{X \to\to_\mu Y \mid X \to\to_\mu Y \in D\}\}$;
(2) $Count = |T|$;
 while $(Count > 0)$ do
 for 每个 $\mu \in T$ do
 if $Count_{[\mu]} = 0$ then
 $Set_{[\mu]} = TFD_{[\mu]} \cup TMVD_{[\mu]} \cup \{X \to_\nu \mid X \to_\nu Y \in TFD_{[\nu]}, \nu \in pre(\mu)\}$
 $\cup \{X \to\to_\nu Y X \to\to_\nu Y \in TMVD_{[\nu]}$,

$\nu \in pres(\mu)\}$;

$TFD_{[\mu]} = \{X \to_{\mu} Y \mid \pi_{\phi}(Set_{[\mu]}) \models X \to Y\}$;

$TMVD_{[\mu]} = \{X \to\to_{\mu} Y \mid \pi_{\phi}(Set_{[\mu]}) \models X \to\to Y\}$;

计算 X 关于 $\pi_{\phi}(Set_{[\mu]})$ 的属性闭包 X^{+},令 $X_{[\mu]} = \{(A,\mu) \mid A \in X^{+} - X\}$;

计算 X 关于 $\pi_{\phi}(Set_{[\mu]})$ 的依赖基 DEP',令 $X'_{[\mu]} = \{(Y,\mu) \mid Y \in DEP'\}$;

计算 X 关于 $\pi_{\phi}(TFD_{[\mu]})$ 的依赖基 DEP'',令 $X''_{[\mu]} = \{(Y,\mu) \mid Y \in DEP''\}$;

$Count = Count - 1$;

$T = T - \{\mu\}$;

for 每个 $\nu \in T$ do

if $\mu \in pre(\nu)$ then

$Count_{[\nu]} = Count_{[\nu]} - 1$ }

(3) $CLOS = \bigcup_{\mu \in T} X_{[\mu]}$;

删除 $CLOS$ 中所有这样的 (A,μ),存在 $\mu \prec \nu$,使得 $(A,\nu) \in CLOS$;

(4) $CLOS = CLOS \cup \{(A,\mu_{\mathrm{Top}}) \mid A \in X\}$;

(5) $DEP = \bigcup_{\mu \in T} X'_{[\mu]}$;$DEPs = \bigcup_{\mu \in T} X''_{[\mu]}$;

(6) $DEP = DEP \cup \{(A,\mu_{\mathrm{t}}) \mid A \in X\} \cup \{(R-X,\mu_{\mathrm{t}})\}$;

$DEPs = DEPs \cup \{(A,\mu_{\mathrm{t}}) \mid A \in X\} \cup \{(R-X,\mu_{\mathrm{t}})\}$;

(7) return($CLOS$, DEP, $DEPs$);

end.

定理 2. 对于给定属性集 X,TFD 和 TMVD 混合集 D,算法 1 正确求得 X 关于 D 的有限闭包 $CLOS$、有限依赖基 DEP 和特殊有限依赖基 $DEPs$. 其时间复杂度为 $O\left(kp + \sum_{i=1}^{T}(2^{n}p_{i}n^{3} + 2^{n}n^{4}) + k^{2}(n-h)^{2}\right)$,其中 n 是范属性个数,p 是 D 中的时态依赖的个数,k 是 T 中时态类型的个数,h 是 X 中的属性个数,p_i 是算法第(2)步对 T 中的第 i 个时态类型(不妨设为 μ)求 $Set_{[\mu]}$ 时,$Set_{[\mu]}$ 中的时态依赖的个数.

证明. 算法仅涉及到有限的 for 循环,显然算法是可终止的.

正确性:

(1) 首先证明对于任意 $(A,\mu) \in X_{f}^{+}$,当且仅当 $(A,\mu) \in CLOS$.

充分性. 对于每个 $(A,\mu) \in CLOS$. 若 $A \in X$,算法只有在第(4)步将 (A,μ_{Top}) 加到 $CLOS$ 中,于是 $\mu = \mu_{\mathrm{Top}}$,显然 $(A,\mu_{\mathrm{Top}}) \in X_{f}^{+}$. 若 $A \notin X$,根据算法第(2)步,必然存在 $(A,\mu) \in X_{[\mu]}$ $(\mu \in T)$,且不存在 $\nu \in T$, $\mu \prec \nu$,使得 $(A,\nu) \in X_{[\nu]}$;即 $\pi_{\phi}(Set_{[\mu]}) \models X \to A$,且不存在 $\nu \in T$, $\mu \prec \nu$,使得 $\pi_{\phi}(Set_{[\nu]}) \models X \to A$. 根据定理 6, $(A,\mu) \in X_{f}^{+}$.

必要性. 对每个 $(A,\mu) \in X_{f}^{+}$,即 $D \vdash_{f} X \to_{\mu} A$,由引理 2 一定存在 $\mu \in T$,使得 $\pi_{\phi}(Set_{[\mu]}) \models X \to A$,则 $(A,\mu) \in X_{[\mu]}$. 根据引理 5 得:不存在 $\nu \in T$, $\mu \prec \nu$,使得 $\pi_{\phi}(Set_{[\nu]}) \models X \to A$,即 $(A,\nu) \in X_{[\nu]}$. 因此在算法第(3)步中将 (A,μ) 加入到 $CLOS$ 中后,并没有把 (A,μ) 从 $CLOS$ 中删除,即 $(A,\mu) \in CLOS$.

(2) 其次证明对于任意 $(Y,\mu) \in DEP_{[X]}$,当且仅当 $(Y,\mu) \in DEP$.

充分性. 对于每个 $(Y,\mu) \in DEP$. 若 $\mu = \mu_{\mathrm{t}}$,算法只在第(5)步将 (A,μ_{t}) $(A \in X)$ 和 $(R-X,\mu_{\mathrm{t}})$ 加入到 DEP 中,于是 $Y \in \{(A,\mu_{\mathrm{t}}) \mid A \in X\} \cup \{(R-X,\mu_{\mathrm{t}})\}$,显然 $(Y,\mu) \in DEP_{[X]}$;若 $\mu \neq \mu_{\mathrm{t}}$, $\mu \in T$,则根据 $DEP_{\mu}(X)$ 的定义及引理 4,3,得 $(Y,\mu) \in DEP_{\mu}(X)$. 再由定义 12,得 $(Y,\mu) \in DEP_{[X]}$.

必要性. 对于每个 $(Y,\mu) \in DEP_{[X]}$,根据定义 12 有 $D \vdash_{f} X \to\to_{\mu} Y$ 或存在 ν, $\mu \preccurlyeq \nu$,使得 $D \vdash_{f} X \to^{*}\to_{\nu} Y$. 对于 $D \vdash_{f} X \to\to_{\mu} Y$,根据引理 2 可知一定存在 $\mu \in T$,使得 $\pi_{\phi}(Set_{[\mu]}) \models X \to\to Y$,则 $(Y,\mu) \in X'_{[\mu]}$,根据 DEP 的求法有 $(Y,\mu) \in DEP$;对于 $D \vdash_{f} X \to^{*}\to_{\nu} Y$,则 $\pi_{\phi}(TFD_{[\nu]}) \models X \to^{*}\to Y$. 由 $\mu \preccurlyeq \nu$ 得 $\pi_{\phi}(Set_{[\mu]}) \models X \to\to Y$,则一定有 $(Y,\mu) \in X'_{[\mu]}$,根据 DEP 的求法有 $(Y,\mu) \in DEP$.

(3) 最后证明对于任意 $(Y,\mu) \in DEPs_{[X]}$,当且仅当 $(Y,\mu) \in DEPs$.

根据 $DEP_{[X]}$ 与 $DEPs_{[X]}$ 的区别,显然正确.

时间复杂度:算法第(1)步的时间复杂度为 $O(k^{2}+kp)$;算法第(2)步中求 X 关于 $\pi_{\phi}(Set_{[\mu]})$ 的属性闭包的时间复杂度为 $O(p_{i}n^{3})$,依赖基为 $O(n^{4})$,则求 $TFD_{[\mu]}$ 和 $TMVD_{[\mu]}$ 的时间复杂度分别为 $O(2^{n}p_{i}n^{3})$ 和 $O(2^{n}n^{4})$,故时间复杂度为 $O\left(\sum_{i=1}^{T}(2^{n}p_{i}n^{3} + 2^{n}n^{4})\right)$;算法第(3)步中 $CLOS$ 中的元素至多为 $k(n-h)$ 个,故算法的时间复杂度为 $O(k^{2}(n-h)^{2})$;算法第(4)(5)(6)步的时间复杂度分别为 $O(h)$, $O(k)$, $O(h+1)$. 故算法总的时间

复杂度为

$O(k^2+kp)+O(\sum_{i=1}^{T}(2^n p_i n^3+2^n n^4))+O(k^2(n-h)^2)+O(h)+O(k)+O(h+1)$,为 $O(kp+\sum_{i=1}^{T}(2^n p_i n^3+2^n n^4)+k^2(n-h)^2)$. 证毕.

4 成员籍问题

引理7. D 是一个TFD和TMVD混合集,对每个有限属性集 X,$D\models X\rightarrow_{\mu}B$,当且仅当存在 $\{(B,\mu_1),\cdots,(B,\mu_m)\}\subseteq X_f^+$,使得 $\mu\leqslant_c\{\mu_1,\mu_2,\cdots,\mu_m\}$.(证明略).

引理8. D 是一个TFD和TMVD混合集,对每个有限属性 X,$D\models X\rightarrow\rightarrow_{\mu}Y$,当且仅当存在 $\{(Y_{11},\mu_1),(Y_{12},\mu_1),\cdots,(Y_{1n_1},\mu_1);(Y_{21},\mu_2),(Y_{22},\mu_2),\cdots,(Y_{2n_2},\mu_2);\cdots;(Y_{m_1},\mu_m),(Y_{m_2},\mu_m),\cdots,(Y_{mn_m},\mu_m)\}\subseteq DEP_{[X]}$ 和 $\{(Y'_{11},\nu_1),(Y'_{12},\nu_1),\cdots,(Y'_{1t_1},\nu_1);(Y'_{21},\nu_2),(Y'_{22},\nu_2),\cdots,(Y'_{2t_2},\nu_2);\cdots;(Y'_{S1},\nu_S),(Y'_{S2},\nu_S),\cdots,(Y'_{2t_S},\nu_S)\}\subseteq DEPs_{[X]}$,使得 $Y_{i1}\cup Y_{i2}\cup\cdots\cup Y_{in_i}=Y(i=1,2,\cdots,m)$,$Y'_{i1}\cup Y'_{i2}\cup\cdots\cup Y'_{it_i}=Y(i=1,2,\cdots,S)$,$\mu\leqslant_{hc}\{\{\mu_1,\mu_2,\cdots,\mu_m\},\{\nu_1,\nu_2,\cdots,\nu_S\}\}$.

证明. 充分性. 若 $\{(Y_{11},\mu_1),(Y_{12},\mu_1),\cdots,(Y_{1n_1},\mu_1);(Y_{21},\mu_2),(Y_{22},\mu_2),\cdots,(Y_{2n_2},\mu_2);\cdots;(Y_{m1},\mu_m),(Y_{m2},\mu_m),\cdots,(Y_{mn_m},\mu_m)\}\subseteq DEP_{[X]}$,则根据定义12和时态类型的性质有:①存在 μ'_i,$\mu_i\leqslant\mu'_i$,$D\vdash_f X\rightarrow\rightarrow_{\mu'_i}Y_{ij}$ 或②存在 μ''_i,$\mu_i\leqslant\mu''_i$,使得 $D\vdash_f X\rightarrow^*\rightarrow_{\mu''_i}Y_{ij}(i=1,2,\cdots,m;j=1,2,\cdots,n_i)$,对于上述两种情况都有:$D\models X\rightarrow\rightarrow_{\mu_i}Y_{ij}$. 又由于 $Y_{i1}\cup Y_{i2}\cup\cdots\cup Y_{in_i}=Y$,根据TMVD的合并规则得 $D\models X\rightarrow\rightarrow_{\mu_i}Y(i=1,2,\cdots,m)$;若 $\{(Y'_{11},\nu_1),(Y'_{12},\nu_1),\cdots,(Y'_{1t_1},\nu_1);(Y'_{21},\nu_2),(Y'_{22},\nu_2),\cdots,(Y'_{2t_2},\nu_2);\cdots;(Y'_{S1},\nu_S),(Y'_{S2},\nu_S),\cdots,(Y'_{2t_S},\nu_S)\}\subseteq DEPs_{[X]}$,再根据定义14有:存在 ν'_i,$\nu_i\leqslant\nu'_i$,使得 $D\vdash_f X\rightarrow^*\rightarrow_{\nu'_i}Y'_{ij}(i=1,2,\cdots,S;j=1,2,\cdots,t_i)$,则 $D\models X\rightarrow^*\rightarrow_{\nu_i}Y_{ij}$. 又由于 $Y'_{i1}\cup Y'_{i2}\cup\cdots\cup Y'_{it_i}=Y$,根据TMVD的合并规则得 $D\models X\rightarrow^*\rightarrow_{\nu_i}Y(i=1,2,\cdots,S)$;再根据 $\mu\leqslant_{hc}\{\{\mu_1,\mu_2,\cdots,\mu_m\},\{\nu_1,\nu_2,\cdots,\nu_S\}\}$ 和混合继承规则得 $D\models X\rightarrow\rightarrow_{\mu}Y$.

必要性. 若 $D\models X\rightarrow\rightarrow_{\mu}Y$,则由 D 的有限推理规则完备到继承性可得:存在集合 $\{X\rightarrow\rightarrow_{\mu_1}Y,\cdots,X\rightarrow\rightarrow_{\mu_m}Y\}\subseteq D_f^+$ 和存在集合 $\{X\rightarrow^*\rightarrow_{\nu_1}Y,\cdots,X\rightarrow^*\rightarrow_{\nu_S}Y\}\}\subseteq D_f^+$,使得 $\mu\leqslant_{hc}\{\{\mu_1,\mu_2,\cdots,\mu_m\},\{\nu_1,\nu_2,\cdots,\nu_S\}\}$.根据 $\{X\rightarrow\rightarrow_{\mu_1}Y,\cdots,X\rightarrow\rightarrow_{\mu_m}Y\}\subseteq D_f^+$ 得:对每个 μ_i 有 $D\vdash_f X\rightarrow\rightarrow_{\mu_i}Y$,则根据时态类型的性质和集合的基集的定义得:一定存在 $\{(Y_{i1},\mu_i),(Y_{i2},\mu_i),\cdots,(Y_{in_i},\mu_i)\subseteq DEP_{\mu_i}(X)$,使得 $Y_{i1}\cup Y_{i2}\cup\cdots\cup Y_{in_i}=Y(i=1,2,\cdots,m)$. 又由于 $\mu_i\in T$,所以 $\bigcup_{i=1}^{m}\{(Y_{i1},\mu_i),\cdots,(Y_{in_i},\mu_i)\}\subseteq DEP_{[X]}$.根据 $\{X\rightarrow^*\rightarrow_{\nu_1}Y,\cdots,X\rightarrow^*\rightarrow_{\nu_S}Y\}\}\subseteq D_f^+$ 得:对每个 ν_i 有 $D\vdash_f X\rightarrow^*\rightarrow_{\nu_i}Y$,则根据时态类型的性质和集合的基集的定义得:一定存在 $\{(Y'_{i1},\nu_i),(Y'_{i2},\nu_i),\cdots,(Y'_{it_i},\nu_i)\subseteq DEPs_{\nu_i}(X)$,使得 $Y'_{i1}\cup Y'_{i2}\cup\cdots\cup Y'_{it_i}=Y(i=1,2,\cdots,S)$. 又由于 $\nu_i\in T$,所以 $\bigcup_{i=1}^{S}\{(Y'_{i1},\nu_i),\cdots,(Y'_{in_i},\nu_i)\}\subseteq DEPs_{[X]}$. 证毕.

算法2. Membership(混合依赖集成员籍问题算法).

输入:时态依赖 d,泛属性 R,TFD和TMVD的混合集 D 及 $TTS(D)$ 的一个强封闭集 T.

输出:d 是否被 D 所逻辑蕴涵.

Membership (d,D)

begin

(1) 求 $LH(d)$ 的有限闭包 $CLOS$ 和有限依赖基 DEP;

(2) if d 是 TFD then

{$flag$ = true;

for 每个 $A\in RH(d)$ do

if 不存在 $\{(A,\mu_1),\cdots,(A,\mu_m)\}\subseteq CLOS$,使得 $TT(d)\leqslant_c\{\mu_1,\mu_2,\cdots,\mu_m\}$

then

{$flag$ = false;

Break;}

return($flag$)}

(3) if d 是 TMVD then

if 存在 $\{(Y_{11},\mu_1),(Y_{12},\mu_1),\cdots,(Y_{1n_1},\mu_1);\cdots;(Y_{m_1},\mu_m),(Y_{m_2},\mu_m),\cdots,(Y_{mn_m},\mu_m)\}\subseteq DEP_{[X]}$ 和 $\{(Y'_{11},\nu_1),(Y'_{12},\nu_1),\cdots,(Y'_{1t_1},\nu_1);\cdots;(Y'_{S1},\nu_S),(Y'_{S2},\nu_S),\cdots,(Y'_{2t_S},\nu_S)\}\subseteq DEPs_{[X]}$,使得 $Y_{i1}\cup Y_{i2}\cup\cdots\cup Y_{in_i}=RH(d)(i=1,2,\cdots,m)$,$Y'_{i1}\cup Y'_{i2}\cup\cdots\cup Y'_{it_i}=RH(d)(i=1,2,\cdots,S)$,$\mu\leqslant_{hc}\{\{\mu_1,\mu_2,\cdots,\mu_m\},\{\nu_1,\nu_2,\cdots,\nu_S\}\}$

then return(true);

else return(false);

end.

定理3. 对于给定时态依赖 d,TFD和TMVD混合集 D,算法2正确解决了 d 是否被 D 所逻辑蕴涵问题. 其时间复杂性同算法1的时间复杂性.

证明. 算法仅涉及到有限的for循环,显然算法是可终止的;至于正确性,根据引理7,8,显然算法是正确的;算法的时间复杂性主要是花费到求属性集的有限闭包、有限依赖基和特殊有限依赖基上,因而算法的时间复杂性同算法1的时间复杂性.

5 结束语

对于具有时态函数依赖和时态多值依赖约束的时态数据库规范化理论来说,判定一个时态函数依赖或时态多值依赖是否被时态函数依赖和时态多值依赖的混合集所逻辑蕴涵(即成员籍问题)是非常重要的,这有助于设计有效的模式分解算法. 为此,本文定义了时态类型集的强封闭集、属性集的有限闭包、在给定时态类型上的有限依赖基、属性集的有限依赖基及特殊有限依赖基等概念,给出了求属性集的有限闭包、有限依赖基和特殊有限依赖基、解决时态混合集成员籍问题的算法,对算法的可终止性、正确性进行了证明,对时间复杂度进行了分析.

参 考 文 献

1 C. S. Jensen, J. Clifford. A Glossary of temporal database concepts [J]. ACM SIGMOD Record, 1994, 23(1): 52~64

2 C. S. Jensen, R. T. Snodgrass, M. D. Soo. Extending existing dependency theory to temporal databases [J]. IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering, 1996, 8(4): 563~582

3 C. S. Jensen, R. T. Snodgrass. Semantics of time-varing information [J]. Information System, 1996, 21(4): 311~352

4 J. Wijsen. Design of temporal relational databases based dynamic and temporal functional dependencies [C]. In: Proc. Int'l Workshop on Recent Advances in Temporal Databases. New York, NY: Springer-Verlag, 1995. 61~76

5 X. S. Wang, C. Bettini, S. Jajodia. Logical design for temporal databases with multiple granularities [J]. ACM Trans. Database System, 1997, 22(2): 115~170

6 J. Wijsen. Temporal FDs on complex objects [J]. ACM Trans. Database System, 1999, 24(1): 127~176

7 Yao Chunlong, Hao Zhongxiao. A membership algorithm for set of temporal functional dependencies with multiple time granularities [J]. Journal of Computer Research and Development, 2002, 39(3): 342~347 (in Chinese)
(姚春龙, 郝忠孝. 一个具有多时间粒度时态函数依赖集的成员籍算法[J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(3): 342~347)

8 Yao Chunlong, Hao Zhongxiao. Study on set of temporal functional dependencies with totally ordered set of temporal types [J]. Journal of Software, 2003, 14(2): 247~252 (in Chinese)
(姚春龙, 郝忠孝. 具有全序时态类型集时态函数依赖集的研究[J]. 软件学报, 2003, 14(2): 247~252)

9 Liu Weiyi. The Model of Data [M]. Beijing: Science Press, 2001 (in Chinese)
(刘惟一. 数据模型[M]. 北京: 科学出版社, 2001)

Hao Zhongxiao, born in 1940. Received his bachelor degree in the Department of Mathematics from Heilongjiang University in 1964. Now he is professor and Ph. D. supervisor in the Department of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology and Harbin University of Science and Technology, He has published more than 159 papers and 7 books on computer database, and has received 7 awards for his research. His research interests include relational database, null database, acyclic database, active database and temporal database.

郝忠孝,1940年生,教授,博士生导师,主要研究方向为数据库系统与理论.

Li Yanjuan, born in 1979. Received her bachelor degree in computer and application of the Harbin Teachers' University, and her master degree in computer application of the Harbin University of Science and Technology. Her main research interests include relational database.

李艳娟,1979年生,硕士研究生,主要研究方向为时态数据库系统与理论.

Research Background

Membership problem has special status in temporal database. It is the basis of an available algorithm of scheme decomposion. Therefore, this paper introduces the concepts of finite closure of attribution sets, finite dependency base of attribution sets and special finite dependency base of attribution sets, and persents an algorithm of membership problem under temporal functional dependency and temporal multivalued dependency circumstances. This paper also investigates relative theory and gives the proof for all algorithms' termination and correction. It is supported by the Provincial Natural Science Foundation(F00-06).