

# 时态变量“Now”语义及相应时态关系运算\*

叶小平<sup>+</sup>, 汤庸

(中山大学 计算机科学系, 广东 广州 510275)

## Semantics on “Now” and Calculus on Temporal Relations

YE Xiao-Ping<sup>+</sup>, TANG Yong

(Department of Computer Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-20-84037975, Fax: +86-20-84112137, E-mail: mcsyxp@zsu.edu.cn, <http://www.cs.zsu.edu.cn/>

Received 2004-04-11; Accepted 2004-11-22

Ye XP, Tang Y, Semantics on “Now” and calculus on temporal relations. *Journal of Software*, 2005,16(5): 838–845. DOI: 10.1360/jos160838

**Abstract:** This paper discusses the semantics on temporal variable “Now”, that is, “Now” may express the meaning about “current”, “past” and “future” time in a valid time, and based upon this semantic analysis, the paper studies the corresponding issues for determining the temporal value of “Now” and gives a formal algebra system on the calculus of temporal relations.

**Key words:** semantics on temporal variable; determining in variable; calculus on temporal relations

**摘要:** 讨论了时态变量“Now”的基本语义,即 Now 不仅可以表示当前时间,还能表示过去时间和将来时间.在语义分析的基础上,讨论了带变量时态关系运算中需要解决的基本问题,即变量 Now 值的确定问题,研究了相应时态关系数据操作,建立了带变量时态关系代数系统.

**关键词:** 时态变量语义;时间变量值确定;带变量时态关系代数系统

中图法分类号: TP311 文献标识码: A

时态数据库研究起始于 20 世纪 70 年代,并于 80 年代~90 年代中后期的 20 余年间,在理论研究和应用开发方面都取得很大进展.时态数据库中有两个基本概念:有效时间和事务时间.有效时间是指数据对象在现实世界中发生并保持的时间,或者说该数据对象在现实世界中为真的那段时间.事务时间是指一个数据对象进入系统的时间,或者说是对数据进行插入、删除、修改等基本操作的时间.有效时间反映事物发生、发展的过程,有助于揭示事物变化的本质规律;事务时间反映系统中“元事件”的时态信息,有助于提高数据库系统的可靠性和使用效率<sup>[1-5]</sup>.有效时间和事务时间的概念会出现变量引入和使用的基本问题.以有效时间为例,具有有效时间的时态数据通常是在常规数据之后加上该数据成立的时间标签(timestamp),为了简单起见,不妨设时间标签为由两时刻  $a$  和  $b$  确定的时间期间 $[a, b]$ .如果需要记录某人,例如李云林自 2004 年 03 月 01 日起在大学担任教授这

\* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60373081 (国家自然科学基金); the Natural Science Foundation of Guangdong Province of China under Grant No.04105503 (广东省自然科学基金)

作者简介: 叶小平(1955 - ),男,陕西安康人,博士,副教授,主要研究领域为时态数据库,知识发现;汤庸(1964 - ),男,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为数据库,知识工程, CSCW.

一事实,当数据于 2004 年 03 月 10 日录入数据库,则有效时间标签就是“2004-03-01 2004-03-10”。假设系统计时粒度为“日”,此后只要没有被解聘,上述截止时间就需要按“天”更新。由此会出现: 在事理上与人们的常识相悖:因为在实际应用中不会每天都对人事管理表进行更新。在数据表述上出现混淆:因为从整个关系表来说,假设每日都更新,则难以分清哪一个元组具有连续增长的有效时间,哪一个元组的有效时间却是稳定的。在实践中不具有可行性:因为不要说每日更新,就是每周或每月更新,时间稍长,必然会造成任何计算机系统也无法承担的巨大数据量。

为了解决这些问题,人们发现,当有效时间没有明确截止点时,使用某种“变量”表示其终点较为方便。通常考虑问题都是“截至”到当前时间(current time),人们自然选择英语中的“Now”作为这样的变量,它的基本含义就是“at the current time”。在事务时间中也会出现类似情形,为了与有效时间变量区别,通常使用“uc(until change)”表示事务时间不确定终点。引入变量有助于对问题的整体表述与研究,但也会带来新问题,这主要是在具体数据操作(查询和更新)过程中,需要讨论变量语义以确定变量取值。按照事务时间本身的规定性,一般认为,变量“uc”语义单一,在应用中取当前时间值。有效时间变量“Now”相对复杂,在实际过程中除了可以取其自然意义以外,由于数据库本身运作机理方面的原因,还应表示“过去”与“将来”语义,由此产生了不少基本的研究课题<sup>[6-10]</sup>。

文献[6]讨论了引入时态变量“Now”的必要性和“Now”各种语义的实际背景;文献[7]指出关系数据库语言难以处理 Now 问题,提出了“Now 相关(now-relative)”和“Now 相关不确定(now-relative indeterminate)”两个概念,以此作为引入一个绑定(bind)算子的基础,从而使用传统数据库查询语言例如 SQL,或时态数据库语言例如 TSQL2 进行相应的时态数据操作。文献[8]针对“Now”的“the current time”语义,提出了带 Now 时态元组的一种表示方法,指出应用此方法能够充分开发现有基于点查询的语言的计算优势。文献[9]借鉴空间索引相关思想,建立“Now”基于“the current time”语义的时态索引技术,即 R-树,将“Now”语义具体推进到实际应用。本文更为深入地分析和探讨了时态变量“Now”的基本语义,建立了不同于上述文献的带变量“Now”时态关系基本算法,这些算法体现了变量的完整语义,便于在现有系统上开发实现,最后建立了带变量时态运算的形式代数系统。

本文第 1 节讨论变量“Now”语义。第 2 节讨论时态关系在某种意义下的“规范”问题。第 3 节讨论了带变量时态关系运算。第 4 节建立了带变量的时态关系代数系统。

## 1 “Now”语义分析

### 1.1 当前时间语义

从直观上看,数据时间标签终止点 Now 表明该数据所反映客观事实直到“当前”都是有效的,这是 Now 的基本含义。在表 1 中,“张枫”所在元组表示“张枫从 2004 年 03 月 01 日直到当前时间是电脑部经理”。

Table 1 Employee

表 1 雇员表

Name	Rank	Valid time	
		From	To
Zhang Feng	Mgr. of Computer	04-03-01	Now

### 1.2 过去时间语义

假设张枫在 2004 年 04 月 20 日离职。在实际应用中,数据录入和变更时间可以“滞后”于数据“事实上”成立和变更时间。若系统中数据的变更是在“事实”生效后第 3 日完成,即当张枫 2004 年 04 月 20 日离职后,数据库中相应数据在 2004 年 04 月 23 日发生改变。当需要在 2004 年 04 月 22 日查询截至当日(4 月 22 日)在职员工情况时,张枫元组中“Now”就不具有“current time”语义,它表示的是“过去”的时间——04 月 20 日。

### 1.3 将来时间语义

只要一个客观事实可以确定在“将来”时间发生或者成立,反映该事实的数据对象就可加上表示“将来”时间的标签。既然是时间标签,其中出现变量 Now 就很自然,此时 Now 可以被用来表示将来时间。

### 1.3.1 确定的将来时间

例如,一个病人应当使用某种药物  $M$ ,该药物  $M$  又必须连续使用 7 天,但在治疗过程中何时使用需要视病情而定,一般可以使用表 2 记录上述情况.

Table 2 Recording in using medicine

表 2 用药表

Name	Name of medicine	Valid time	
		From	To
Liu Hua	M	Now	Now+7

一旦对病人开始使用药物  $M$ ,有效时间中起始 Now 和终止 Now 同时就与用药的当前时刻绑定,得到确定的有效时间期间,而在未开始使用  $M$  之前,表中的 Now 表示将来时间.

### 1.3.2 不确定的将来时间

例如,另一个公司与张枫签署合同,张枫将于 2003 年 07 月 01 日起在公司工作,增添记录见表 3.

Table 3 Employee

表 3 雇员表

Name	Rank	Valid time	
		From	To
Zhang Feng	Mgr. in Computer	04-07-01	Now

元组时间期间起始点是将来时间 04-07-01.通常地,终止时间应当不小于起始时间,此时 Now 也是将来时间.如果需要在 05 月 30 日预统计当年 07 月 15 日员工情况,则元组中“Now”就作为将来时间的“当前值”理解,所“查询”时间 2004 年 07 月 15 日“落在”时间期间[04-07-01,Now]之内,可得所需查询结果.

## 2 时态关系模型

带变量时态关系涉及因素较多,情况比较复杂,需要讨论某种意义上“规范化”的时态关系.

### 2.1 主体(子)关系

关系运算要求模式具“1NF”,因此时态关系中同一主体(例如人事关系中“姓名”)就可能具有多个不同元组.时态运算本质上针对同一个主体,对于两个时态关系进行运算时,需要取定一个共同属性作为“主体”属性,将每个关系按照主体属性值相同与否分组,每一分组看做是一个子关系,称为时态关系的一个主体(子)关系,然后在具有相同主体属性值的主体关系组之间进行相应时态运算.

### 2.2 时间期间集合上的拟序

为了叙述简便和突出基本思想,假定时间标签满足: 每一时间标签都是时间期间 $[\alpha, \beta]$ ,其中 $\alpha \leq \beta$ , $\alpha, \beta$ 为取定时间粒度之后的两个时间点. 每一主体关系组中时间期间集合上按如下规定具有关系  $R: [\alpha_i, \beta_i]R[\alpha_j, \beta_j]$ ,当且仅当 $\beta_i \leq \beta_j$ . $R$  具自反性和传递性,即为拟序. 具有相同主体属性值的不同元组的具拟序时间期间“首尾相邻”,即若 $[\alpha_i, \beta_i]$ 和 $[\alpha_j, \beta_j]$ 依照拟序相邻,不妨设 $[\alpha_i, \beta_i]R[\alpha_j, \beta_j]$ ,则有 $\beta_i = \alpha_j$ .这样,具同一主体属性值的所有时间期间是“连续”的,其并集仍是一个“更大”的时间期间.

### 2.3 有序特征属性

对于主体时态关系来说,异于主体属性的其他属性的属性域上可能具有偏序.如果时态关系中一个异于主体属性的属性满足: 该属性域上存在偏序. 在每一个主体关系组中,该属性的取值作为时间期间的函数,按照其上的偏序相对于时间期间上的拟序是“单调”的,则称其为给定关系的有序特征属性.

### 2.4 时态关系模型

如果一个时态关系模式满足下述条件,则称其为一个时态关系模型: 按照取定的主体属性分成主体(子)关系的集合. 每个主体(子)关系中时间期间满足第 2.2 节中的条件. 该关系至少存在一个有序特征属性,取定其中之一按照其偏序将主体关系组中的元组进行了排序,例如增序排列.

### 3 带“Now”时态关系运算

以下讨论中假设运算中的时态关系均为时态关系模型,并且以加下标“ $t$ ”的运算符号表示带变量的相应时态运算,不加标记的运算符号表示通常的时态关系运算.

#### 3.1 插入操作——并运算

设有时态关系  $TR_1$  和  $TR_2$ ,其中共同有序特征属性为  $T$ .插入操作对应于集合的常规并运算,考察  $TR_1$  和  $TR_2$  中元组的并,不难得知, $TR_1$  和  $TR_2$  各自至多只能含有一个 Now.这里分两种情形讨论.

(1)  $TR_1$  和  $TR_2$  各有一个元组带有时态变量 Now,不妨设  $TR_1$  中为  $Y_1$ , $TR_2$  中为  $Y_2$ .

确定  $Y_1$  和  $Y_2$  中对应的有序特征属性值  $T_1$  和  $T_2$ ,由于  $T$  上有偏序关系,确定  $T_1$  和  $T_2$  的“大小”关系.不妨设  $T_1 \leq T_2$ ,此时, $T_2$  中时间变量保留( $T_2 \leq T_1$  时类似考虑).

找出  $TR_2$  中所有特征属性值在  $T_1$  之后的元组,设这些元组对应的时间期间分别为  $[\alpha_2, \beta_2]$ ,指标“ $i$ ”满足  $1 \leq i \leq i_0$ , $i_0$  是某个确定的自然数.

设  $Y_1$  时间标签为  $[\alpha_1, \text{Now}]$ .取  $\alpha_2$  为所有  $\alpha_{2i}$  ( $1 \leq i \leq i_0$ ) 当中大于等于  $\alpha_1$  的最小者:  $\alpha_2 = \min\{\alpha_{2i}\} (1 \leq i \leq i_0)$ .

将  $Y_1$  的时间标签改为  $[\alpha_1, \beta_1]$ ,其中  $\beta_1 = \alpha_2 - 1$  (单位:计时粒度),得到新元组  $Y_0$ ,则此时定义:  $TR_1 \cup_t TR_2 = (TR_1 \setminus \{Y_1\}) \cup TR_2 \cup \{Y_0\}$ ,并按有序特征属性值“大小”将其中元组排列.

(2)  $TR_1$  和  $TR_2$  只有一个元组带有时态变量 Now,不妨设  $TR_1$  中的  $Y_1$  带有,

- 如果  $TR_2$  存在元组  $Y_2$ ,其对应的  $T_2$  “大于”  $Y_1$  对应的  $T_1$ ,则按照“1”中  $\sim$  处理.

- 如果  $TR_2$  不存在任何元组,使得其对应的有序特征属性值不“大于”  $Y_1$  对应的有序特征属性值  $T_1$ ,则定义  $TR_1 \cup_t TR_2 = TR_1 \cup TR_2$ .

由上述算法可知,我们实际上是将运算对象中的一个“Now”绑定于“过去时间”,而将另一个(如果存在的话)“Now”设定为“当前时间”.

例 1:设有表 4 和表 5 所示的两个时态关系  $TR_1$  和  $TR_2$ .

**Table 4** Temporal relation  $TR_1$

表 4 时态关系  $TR_1$

Name	Wage	Rank	Department	Valid time
Wang Wei	3 200	Associate professor	Dept. of Information	[1997,1998]
Wang Wei	3 800	Associate professor	Dept. of Information	[1999,2000]
Wang Wei	4 800	Professor	Dept. of Computer	[2001,Now]

**Table 5** Temporal relation  $TR_2$

表 5 时态关系  $TR_2$

Name	Wage	Rank	Department	Valid time
Wang Wei	3 800	Associate professor	Dept. of Information	[1999,2000]
Wang Wei	4 800	Associate professor	Dept. of Computer	[2001,2002]
Wang Wei	5 100	Professor	Dept. of Computer	[2003,Now]

这里,取  $TR_1$  和  $TR_2$  的主体属性为“姓名”,有序特征属性为“工资”,参照时间期间上拟序将各个元组按“工资”升序排列. $TR_1$  中,带 Now 的元组  $Y_1$ :“王伟 4800 教授 计算机系 [2001,Now]”.

在  $TR_2$  中,特征属性值(工资)排序在  $Y_1$  特征属性值  $T_1$  (工资 4800) 之后元组集合为单元素集合: {“王伟 5100 教授,计算机系 [2003,Now]”},此时大于  $\alpha_1$  = “2001” 的相应最小时间期间起点  $\alpha_{21}$  = “2003”,相对于  $Y_1$  的  $Y_0$  是:“王伟 4800 教授,计算机系 [2001,2002]”, $TR_1 \cup_t TR_2$  即为表 6 所示.

**Table 6** Temporal relation  $TR_1 \cup_t TR_2$

表 6 时态关系  $TR_1 \cup_t TR_2$

Name	Wage	Rank	Department	Valid time
Wang Wei	3200	Associate professor	Dept. of Information	[1997,1998]
Wang Wei	3800	Associate professor	Dept. of Information	[1999,2000]
Wang Wei	4800	Professor	Dept. of Computer	[2001,2002]
Wang Wei	5100	Professor	Dept. of Computer	[2003,Now]

### 3.2 删除操作——差运算

设元组  $Y_1$  属于时态关系  $TR_1$  而不属于  $TR_2$ ,  $Y_1$  时间标签为  $[\alpha_1, \text{Now}]$ ,  $TR_1$  中特征属性值为  $T_1$ .

如果在表  $TR_2$  中不存在元组  $Y_2$ , 使得  $Y_2$  中相应特征属性值  $T_2$  满足  $T_1 \leq T_2$ , 则差  $TR_1 - tTR_2 = TR_1 - TR_2$  中,  $Y_1$  的时间标签不变. 如果在  $TR_2$  中存在元组  $Y_{2i}$ , 使得  $Y_{2i}$  中相应特征属性值  $T_{2i}$  满足  $T_1 \leq T_{2i} (1 \leq i \leq i_0, i_0$  是某确定自然数), 则取  $\alpha_2$  为所有  $\alpha_{2i} (1 \leq i \leq i_0)$  当中大于  $\alpha_1$  的最小者:  $\alpha_2 = \min\{\alpha_{2i} | (1 \leq i \leq i_0)\}$ . 将  $Y_1$  时间标签改为  $[\alpha_1, \beta_1]$ , 其中  $\beta_1 = \alpha_2 - 1$  (单位: 计时粒度), 得到新元组  $Y_0$ , 定义:  $TR_1 - tTR_2 = ((TR_1 \setminus \{Y_1\}) - TR_2) \cup \{Y_0\}$ , 并按有序特征属性值“大小”将其中元组排列.

例 2: 表 4 中  $TR_1$  与表 5 中  $TR_2$  之差见表 7.

Table 7 Temporal relation  $TR_1 - tTR_2$

表 7 时态关系  $TR_1 - tTR_2$

Name	Wage	Rank	Department	Valid time
Wang Wei	3200	Associate professor	Dept. of Information	[1997, 1998]
Wang Wei	4800	Professor	Dept. of Computer	[2001, 2002]

这里,  $TR_1$  中带 Now 元组  $Y_1$  为: “王伟 4800 教授 计算机系 [2001, Now]”.  $TR_2$  中特征属性值排序在  $Y_1$  特征属性值之后的元组集合为: {“王伟 5100 教授, 计算机系 [2003, Now]”},  $\beta_0$  为“2003”,  $\beta_0 - 1 = 2002$ ,  $TR_{10} - tTR_{20}$  中相应于  $Y_1$  的元组是: “王伟 4800 教授, 计算机系 [2001, 2002]”.

### 3.3 连接操作

时态关系表  $TR_1$  中的元组  $Y_1$  和时态关系  $TR_2$  中的元组  $Y_2$  称为是可时态连接的, 若满足:  $Y_1$  和  $Y_2$  除去有效时间标签之后, 作为常规关系元组可连接.  $Y_1$  和  $Y_2$  两元组的有效时间期间有交叠 (overlap). 由于需要通过比较确定变量 Now 的值,  $TR_1$  和  $TR_2$  需要至少有一个共同有序特征属性.

设  $Y_1$  和  $Y_2$  可时态连接, 其时间期间分别为  $[\alpha_1, \beta_1]$  和  $[\alpha_2, \beta_2]$ . 若  $TR_2$  中不存在元组  $Y_{2i}$ , 使  $Y_{2i}$  相应有序特征属性值  $T_{2i}$  满足  $T_1 \leq T_{2i}$ , 此时, 若  $\beta_1 = \text{Now}$ :  $[\alpha_1, \beta_1] = [\alpha_1, \text{Now}]$ , 即在  $TR_1$  中“最大”, 当  $\alpha_1 \leq \alpha_2$ , 连接后时间期间为  $[\alpha_1, \text{Now}]$ ,  $\alpha_2 < \alpha_1$  时, 连接后为  $[\alpha_2, \text{Now}]$ . 在  $TR_2$  中存在元组  $Y_{2i}$ , 使得  $Y_{2i}$  相应的  $T_{2i}$  满足  $T_1 \leq T_{2i}$ . 取  $\alpha_{20}$  为所有如此  $\alpha_{2i} (1 \leq i \leq i_0)$  中最小者:  $\alpha_{20} = \min\{\alpha_{2i} | (1 \leq i \leq i_0)\}$ , 连接后元组时间标签, 当  $\alpha_1 \leq \alpha_2$  时, 为  $[\alpha_1, \beta_0]$ , 当  $\alpha_2 < \alpha_1$  时, 为  $[\alpha_2, \beta_0]$ , 其中  $\beta_0 = \alpha_0 - 1$ .

例 3: 设有如下表 8 和表 9 所示的两个时态关系  $TR_1$  和  $TR_2$ .

Table 8 Temporal relation  $TR_1$

表 8 时态关系  $TR_1$

Name	Wage	Duty	Teacher	Valid time
Wang Wei	3 800	Vice director	Tchr. of master	[1998, 2000]
Wang Wei	4 800	Director	Tchr. of doctor	[2001, Now]

Table 9 Temporal relation  $TR_2$

表 9 时态关系  $TR_2$

Name	Wage	Rank	Department	Valid time
Wang Wei	4 800	Associate professor	Dept. of Computer	[2001, 2002]
Wang Wei	5 100	Professor	Dept. of Computer	[2003, Now]

$TR_1$  与  $TR_2$  连接运算的结果见表 10.

Table 10 Join between temporal relation  $TR_1$  and  $TR_2$

表 10 时态关系  $TR_1$  与  $TR_2$  的连接

Name	Wage	Rank	Duty	Teacher	Department	Valid time
Wang Wei	4 800	Associate professor	Director	Tchr. of doctor	Dept. of computer	[2001, 2002]
Wang Wei	5 100	Professor	Director	Tchr. of doctor	Dept. of computer	[2003, Now]

### 3.4 投影操作

在投影运算中, 数据的非时态部分按常规处理, 而时态标签部分常常需要进行归并处理, 此时如果有 Now 出现, 则将 Now 作为所涉及数据的时间终点, 进行常规的时间归并即可.

例 4: 设有时态关系  $TR$  见表 11.

Table 11 Temporal relation *TR*表 11 时态关系 *TR*

Name	Rank	Duty	Department	Valid time
Zhang Hua	Associate professor	Vice director	Dept. of computer	[2000-2001]
Zhang Hua	Professor	Director	Dept. of computer	[2001-2002]
Zhang Hua	Professor	Vice dean	School of information	[2002-2003]
Zhang Hua	Professor	Dean	School of information	[2003-Now]

将其投影在“姓名”、“职称”和“部门”上,其中有效时间需进行归并,投影后时态关系见表 12.

Table 12 Project of temporal relation *TR*表 12 时态关系 *TR* 的投影

Name	Rank	Department	Valid time
Wang Wei	Associate professor	Dept. of computer	[2000-2001]
Wang Wei	Professor	Dept. of computer	[2001-2002]
Wang Wei	Professor	School of information	[2002- Now]

### 3.5 选择操作

在选择条件中,如果有时间元素的谓词,则需确定该时间元素位于的时间期间.按照前述 Now 语义的考虑,需要引入时间错位值概念以“确定”Now 值. 数据对象录入数据库的时间与其反映的客观事实实际成立时间之差称为该数据对象的错位时间值.根据错位时间值的符号“大于 0”或“小于 0”可以确定相应的录入是“滞后”还是“超前”.一般对于给定系统,所有数据对象的错位时间值应当是确定的、一致的,称其为给定系统的错位时间值. 一个数据对象的增量时间值或者为数值 0 或者为系统的错位时间值.

在选择操作中,数据对象中 Now 的确定值按下述公式计算:

$$\text{Now} = \text{当前时间值} - \text{增量时间值}.$$

插入、删除运算作为二元运算,其中一个时态关系的 Now 可参照另一时态关系相应特征属性的偏序来确定,不需要补加其他与查询语义本身无关的信息,在实际应用中可赋予系统一种机制,使得相应时态运算自动完成.选择运算是对于单个关系而言的一元运算,在 Now 问题的处理上没有语义相关的比较对象.一般而言,此时 Now 的确定需要给出查询对象时间标签中是否存在非零错位时间增量.对于选择操作中的时间查询要求,可以分为两种情形: 当错位时间值大于 0,而查询时间的终止时刻小于或者等于“当前时间-错位时间值”时,取时间增量值为 0,即 Now 确定为当前时间. 当查询时间终止时刻位于“当前时间-错位时间”与“当前时间”之间时,则需要事先知道其他信息以确定数据对象的增量时间值是取零值还是错位时间值.

例 5:在表 1 中,设张枫作为电脑部门经理已于 2004 年 04 月 20 日离职,数据录入与数据生效的错位时间值(实为滞后值)为 4(天),当前时间值为 2004 年 04 月 22 日,“当前时间-错位时间值”=2004 年 04 月 18 日. 如需查询公司所有部门经理截至 2004 年 04 月 15 日的数据,由于查询时间 04 月 15 日小于当前时间与错位时间之差 04 月 18 日,故此时的时间增量值取为 0,可以将 Now 确定为 04 月 21 日,从而选择出包括张枫在内的数据. 如果需要查询的时间为 2004 年 04 月 19 日,查询时间 04 月 19 日在“当前时间-错位时间值”04 月 18 日和当前时间值 04 月 22 日之间,则无论是取查询的时间增量值为系统错位时间和为 0,由此确定 Now,都得到与事实相符的结果. 如果需要查询的时间截至 2004 年 04 月 21 日,查询时间 04 月 21 日还在“当前时间-错位时间值”04 月 19 日和当前时间值 04 月 22 日之间,若取查询的时间增量值为 0,则得到与事实相反的结果;若取错位时间值,按当前时间与错位时间之差 04 月 19 日确定 Now,则得到正确结果. 上述情形说明,此时应当具有某些查询语义以外的信息,以确定每一个数据对象的时间增量值.

## 4 时态关系代数

在时态关系模型中,取定一个有序特征属性,就在元组集合上得到一个由其“诱导”的偏序关系,因而能够用一个有序特征属性值来代表其所在的元组.这样,为了简化问题讨论,可以将一个规范时态关系 *TR* 看做是一个仅由主体属性 *PTR*、有序特征属性 *A* 和时间属性 *U* 构成的三元组(*PTR, A, U*).

#### 4.1 时态关系的时态映射

设  $A$  是给定的有序特征属性, 值域为  $\text{dom}(A)$ . 对于时态关系  $TR$  中每一主体关系  $PRT$ , 我们总是假定其所有时间期间并集  $U$  是一个连续的时间期间, 即:  $U = u_1 + u_2 + \dots + u_m$ , 而  $u_i$  右端点和  $u_{i+1}$  左端点“相邻接”.

将  $TR$  的每一个主体关系  $PRT$  看做是一个序对集合:  $\{\langle a_1, u_1 \rangle, \langle a_2, u_2 \rangle, \dots, \langle a_m, u_m \rangle\}$ , 其中  $a_i \in \text{dom}(A)$ ,  $u_i$  是  $U$  中的组成时间期间 ( $1 \leq i \leq m$ ), 并且将其记为  $\Gamma(PTR) = \langle a_1, u_1 \rangle \langle a_2, u_2 \rangle \dots \langle a_m, u_m \rangle$ . 这样, 每一个主体关系都与一个上述的“ $\Gamma$ ”对应, 而  $I$  是主体时态关系  $PTR$  上一个映射, 它将  $PTR$  中每一个时态元组  $t_i$  对应一个序对  $\langle a_i, u_i \rangle$ , 我们称  $I$  为主体时态组上的时态映射. 可以看出, 这种时态映射是一一对应的. 每一个时态关系都对应一个时态映射集合, 从而时态关系运算就可以转换为相应时态映射的讨论. 为叙述方便, 以下假设所讨论的时态关系只有一个主体关系, 一个时态关系就是一个时态映射, 即  $TR = PTR$ . 我们依照第 3 节中相应算法讨论时态关系的形式代数系统.

#### 4.2 时态映射算子

设时态关系  $TR_1$  和  $TR_2$  确定的时态映射分别为  $\Gamma_1 = \langle a_1, u_1 \rangle \langle a_2, u_2 \rangle \dots \langle a_m, u_m \rangle$  和  $\Gamma_2 = \langle b_1, v_1 \rangle \langle b_2, v_2 \rangle \dots \langle b_n, v_n \rangle$ , 其中  $u_i = [\alpha_i, \beta_i]$  ( $1 \leq i \leq m$ );  $v_j = [\gamma_j, \delta_j]$  ( $1 \leq j \leq n$ ).

(1) 特征属性比较算子由两个同型时态关系笛卡尔乘积到元组集合的特征属性比较算子  $I$  定义为  $I(\Gamma_1, \Gamma_2) = \langle c, w \rangle$ , 其中  $c = \min\{a_m, b_n\}$ , “min”按特征属性值域集合上的“偏序”取值.  $w$  为  $c$  对应的时间期间, 即  $w = [\varepsilon, \zeta]$ , 而  $\zeta$  可以为变量 Now. 显然,  $\langle c, w \rangle$  是  $\Gamma_1$  中元组或者是  $\Gamma_2$  中元组.

(2) 时态值确定算子. 定义元组  $\langle c, w \rangle$  的时间值确定算子  $\Omega$  为  $\Omega(\langle c, w \rangle) = \langle c, w_0 \rangle$ . 这里,  $\langle c, w \rangle$  为时态关系元组.  $w_0$  的取值分为两种情形: 当  $\zeta$  为确定时刻,  $w_0 = w$ . 当  $\zeta$  为时间变量 Now,  $w_0 = [\varepsilon, \zeta_0]$ , 其中, 如果时态关系  $(\Gamma_1 \cup \Gamma_2) - \{I(\Gamma_1, \Gamma_2)\}$  所有时间期间的左端点都小于  $\varepsilon$ , 则  $\zeta_0 = \text{Now}$ ; 否则,  $\zeta_0 = \min\{\mu\} - 1$ , 而  $\{\mu\}$  为时态关系  $(\Gamma_1 \cup \Gamma_2) - \{I(\Gamma_1, \Gamma_2)\}$  中时间期间内大于  $\varepsilon$  的左端点  $\mu$  之集.

(3) 错位时间确定算子. 设  $Y = \langle a, w \rangle$ ,  $w = [\varepsilon, \text{Now}]$ , 则  $Y$  在错位时间确定算子  $\omega$  之下的像定义为  $\omega(Y) = \langle a, w_0 \rangle$ , 其中  $w_0 = [\varepsilon, \zeta_0]$ , 而  $\zeta_0 = \text{当前时间} - \text{时间增量} \Delta$ . 为了叙述简便, 我们以记号  $\omega(I)$  表示  $I$  中至多将其中带有变量的元组  $Y = \langle a, w \rangle$  映射为  $\omega(Y) = \langle a, w_0 \rangle$  外, 其余不变的时态关系.

#### 4.3 二元时态关系运算

(1) 时态关系的并运算. 同型时态映射  $\Gamma_1$  和  $\Gamma_2$  的并映射  $\Gamma_1 \cup \Gamma_2$  定义为  $\Gamma_1 \cup \Gamma_2 = ((\Gamma_1 \cup \Gamma_2) - \{I(\Gamma_1, \Gamma_2)\}) \cup \{\Omega I(\Gamma_1, \Gamma_2)\}$ .

(2) 时态关系的差运算. 同型时态映射  $\Gamma_1$  和  $\Gamma_2$  并映射  $\Gamma_1 - \cup \Gamma_2$  定义为: 当  $I(\Gamma_1, \Gamma_2) \in \Gamma_2$  时,  $\Gamma_1 - \cup \Gamma_2 = \Gamma_1 - \Gamma_2$ . 当  $I(\Gamma_1, \Gamma_2) \in \Gamma_1$  时,  $\Gamma_1 - \cup \Gamma_2 = ((\Gamma_1 - \{I(\Gamma_1 - \Gamma_2), \Gamma_2\}) - \Gamma_2) \cup \{\Omega I(\Gamma_1 - \Gamma_2, \Gamma_2)\}$ .

(3) 时态关系的连接运算. 设  $Y_1$  是  $\Gamma_1$  中“最大”元组, 则  $\{Y_1\} \triangleright \triangleleft \Gamma_2$  定义为: 当  $I(\{Y_1\}, \Gamma_2) \in \Gamma_2$  时,  $\{Y_1\} \triangleright \triangleleft \Gamma_2 = \{Y_1\} \triangleright \triangleleft \Gamma_2$ . 当  $I(\{Y_1\}, \Gamma_2) \in \Gamma_1$  时,  $\{Y_1\} \triangleright \triangleleft \Gamma_2 = \Omega I(\{Y_1\}, \Gamma_2) \triangleright \triangleleft \Gamma_2$ .

#### 4.4 一元时态关系运算

(1) 投影运算. 投影运算不涉及到变量值的确定, 投影运算与通常相同, 即  $\Pi_i(TR) = I_i(TR)$ .

(2) 选择运算. 在条件  $F$  之下对于  $I$  的时态选择运算  $\Sigma_F(I)$  定义为  $\sigma_F(\omega(I))$ , 即  $\Sigma_F(I) = \sigma_F(\omega(I))$ .

在上述各公式中,  $\cup, -, \triangleright \triangleleft, I$  和  $\sigma_F$  为通常运算符. 由第 3 节讨论可知, 时态关系关于二元时态运算  $\cup, -, \triangleright \triangleleft$  和一元时态运算  $\Pi_i, \Sigma_F$  之下是封闭的, 即有下述定理:

**定理 1.** 带变量 Now 时态关系关于基本时态关系运算  $\cup, -, \triangleright \triangleleft, \Pi_i$  和  $\Sigma_F$  构成一个形式代数系统.

### 5 结 语

本文以时间变量 Now 的语义讨论为基础, 分析带变量时态关系运算中的关键问题: 变量 Now 时间取值的确定, 研究了具“连续”时间期间的时态关系相应的基本数据操作即插入、删除、连接、投影和选择的基本算法, 同时建立了时态关系的形式运算系统. 至于间断时间期间带变量情形以及各种基本情形下带变量时态数据查询和更新的实现具体算法(例如基于 SQL3 和 TB2), 由于问题的基本性和重要性, 同时限于篇幅, 我们将另文

讨论.

#### References:

- [1] Tang Y, Tang N, Ye XP, Feng ZS, Xiao W. A unified model of temporal knowledge and temporal data. *Journal of Software*, 2003,14:74-78 (in Chinese with English abstract).
- [2] Tang Y, Tang N, Ye XP. Temporal information processing research survey. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2003,4:4-8 (in Chinese with English abstract).
- [3] Tang CJ. The background, characteristics and representative researchers of temporal database. *Computer Science*, 1999,26(2): 27-29 (in Chinese with English abstract).
- [4] Tang CJ. The achievement, deficiency and future work in temporal database. *Computer Science*, 1999,26(3):63-65 (in Chinese with English abstract).
- [5] Liu YS. *Advanced Database Technology*. Beijing: National Defense Industry Press, 2001. 64-99 (in Chinese).
- [6] Clifford J, Dyreson CE, Snodgrass RT, Isakowitz T, Jensen CS. Now, temporal database management. 2000. <http://www.cs.auc.dk/~csj/Thesis/>
- [7] Clifford J, Dyreson CE, Isakowitz T, Jensen CS, Snodgrass RT. On the semantics of “Now” in databases, temporal database management. 2000. <http://www.cs.auc.dk/~csj/Thesis/>
- [8] Stantic B, Thornton J, Sattar A. A novel approach to model NOW in temporal databases, temporal representation and reasoning. In: *Proc. of the 2004 and 4th Int'l Conf. on Temporal Logic*. 2003. 174-180.
- [9] Bliujute R, Jensen CS, Saltenis S, Slivinskis G. R-tree based indexing of Now-relative bitemporal data. Technical Report, tr-25, 1998. <http://www.cs.auc.dk/general/DBS/tdb/TimeCenter/>
- [10] Bettini C, Wang XS, Jajodia S. Temporal semantic assumptions and their use in databases. *IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering*, 1998,10(2):277-296.

#### 附中文参考文献:

- [1] 汤庸,汤娜,叶小平,冯智圣,肖炜.时态知识和时态数据的统一模型研究.软件学报,2003,14:74-78.
- [2] 汤庸,汤娜,叶小平.时态信息处理技术研究综述.中山大学学报(自然科学版),2003,4:4-8.
- [3] 唐常杰.时态数据库的沿革、特色与代表人物.计算机学报,1999,26(2):27-29.
- [4] 唐常杰.时态数据库的成果、缺陷与未来.计算机学报,1999,26(3):63-65.
- [5] 刘云生.现代数据库技术.北京:国防工业出版社,2001.64-99.