第7卷 增刊　　软 件 学 报 JOURNAL OF SOFTWARE　　Vol. 7, Supplement

时态多媒体数据的生长过程及其处理算法*

唐常杰　杨文川　罗运江

(四川联合大学计算机系　成都　610064)

摘要　在处理历史性事件伴随的多媒体信息时，一大类带有时态语义的信息可归结为生长过程进行处理. 本文给出了生长过程的数学模型，讨论了生长过程的可加性、单调性和简单生长过程的稳定性. 介绍了在时态多媒体数据库管理系统原型 MHBase 中处理生长过程的放弃平凡算法和非平凡增量算法的实现技术.

关键词　时态数据库，多媒体，生长过程，放弃平凡算法，非平凡增量算法.

伴随事件的时态信息，包括有效时间和事务时间，是事件的本质属性，在一定程度上揭示了事物发展的规律. 传统数据库只能以普通字段表示用户定义时间，不能满足时态查询的需求，因而刺激了时态数据库的研究. 其典型的研究课题有时态数据模型、事务时间与有效时间的存储与管理、多种历法的共存与互换、变粒度时间轴的实现、减少时态数据的冗余等等. 文献[1～3]在这些方面作了探讨.

近年来，大容量光盘、高速 CPU 以及宽带网等硬件技术取得长足进步，图形、图象、语音、超文本等各种专用数据库的研究与开发日趋成熟，市场需求和技术服务使多媒体数据库成为新的技术热点.

时态多媒体数据库综合了上述 2 项技术，形成了新的方向. 文献[4,5]讨论了时态多媒体数据库的 DDL/DML 及其特殊的图象技术，本文将讨论生长现象及相关技术.

生长过程是指在一定时间区间内，形与数的单调增加或减少的过程. 如种子发芽、沉积岩的形成等等. 生长过程伴随了丰富的时态信息. 声、图、文等多媒体是描述生长现象的有力工具，因而生长过程的表现成为时态多媒体数据库的重要研究内容.

本文建立了生长过程的数学模型，提出了放弃平凡算法和非平凡增量算法，并讨论了生长过程的可加性和单调性以及与历史性事件相伴随的多媒体信息的处理方法.

1　预备概念

1.1　时间粒子、时间区间

---

* 本文研究得到国家自然科学基金的支持. 作者唐常杰，1946 年生，教授，主要研究领域为数据库，知识库. 杨文川，1970 年生，博士生，主要研究领域为数据库，电子出版技术. 罗运江，1964 年生，讲师，主要研究领域为信息管理系统，计算机网络.

本文通讯联系人：唐常杰，成都 610064，四川联合大学计算机系

本文 1995－05－29 收到修改稿

在时态系统中，系统所能分辨的最小时间片称为时间粒子(Chronon)，时间区间是时间粒子的有序集合，本文记为$\{t_1,t_2,\cdots,t_r\}$，简记为$[t_1,t_r]$，其中t_1和t_r分别是该集合中最小和最大元素.

1.2 多维时空世界

设$T=[t_1,t_m]$为时间区间，V_i是实数域的有限子集，且至少含2个元素，$1\leqslant i\leqslant n$，V为$V_1\times V_2\times\cdots\times V_n$的有限子集.$W=T\times V$称为$n+1$维有限时空世界，在本文中简称为时空世界.设时刻$t\in T$，且$n$维点$(P_1,P_2,\cdots,P_n)\in V$，称$(t,P_1,P_2,\cdots,P_n)\in V$为时空世界$W$中的一个位置(Position).设$R_j$是含至少2个元素的集合$(1\leqslant j\leqslant m)$，$R=R_1\times R_2\times\ldots\times R_m$称为多媒体值域.

1.3 多媒体时态函数

设T,V,W及R如1.2所述，从$n+1$维时空W到多媒体值域R的良好定义的全函数为n维空间V上的时态多媒体函数.对于W的子集W_1，映象集$F(W)$在W_1上的限制$F(W)|W_1$在本文中简记为$F(W_1)$.

例1.1：令$m=3$，$R_1=\{Red,Blue,Green\}$，其中Red，$Blue$和$Green$分别表示一个像素中红色、蓝色和绿色成分的强度(实数值).$R_2=\{K|O\leqslant K\leqslant 255\}$为$Ascii$字符集，$R_3=\{262\times 2^{k/12}|k=0,1,\cdots,12\}$；$R_3$表示音乐中$C$调中音开始的13个半音音阶.则$R=R_1\times R_2\times R_3$构成一个图、文、声3媒体值域，设$V=\{A,B,C\}$是含3个点的一维空间，时间区间为$T$，$W=T\times V$，对每一$t\in T$，定义$W$到$Dom$的映射$F$如下：

$$F(t,A)=(Red\times e^{-t},262\times 2^{t/12},\text{'A'})$$
$$F(t,B)=(Blue\times e^{-t},262\times 2^{t/12},\text{'B'})$$
$$F(t,C)=(Green\times e^{-t},262\times 2^{t/12},\text{'C'})$$

显然，F反映了3个点的颜色随时间变化渐淡、音调渐升的规律.其中既有图、文、声，又有时态信息.

在此例中，对于W的子集$W_1=\{A\}$和$W_2=\{B\}$，易见对于映射象集合，有$F(W_1\cup W_2)=F(W_1)\cup F(W_2)$，这就引入了下面的可加性概念.

1.4 可加性

设T,V,W,R如1.2所述.F是从W到R的多媒体时态函数.任取W的子集W_1和W_2，如果$F(W_1\cup W_2)=F(W_1)\cup F(W_2)$，则称$F$是对于时空$W$可加的时态信息函数，简称可加函数.

常见的图象信息、与邻域无关的声音信息是可加的，或可近似地处理为可加的.在后面，我们将介绍利用时态多媒体信息的可加性来压缩信息、节约存储空间和处理时间.

2 生长过程的数学模型

一定的事物在一定的时间空间范围内一般是相对稳定的，只在局部区域内发生单调变化，如晶体生长、沉积岩的形成等.形式化地描述如下：

定义 2.1. 设时间区间T，有限空间V，时空世界W和多媒体域R如1.2所述，$t\in T$.记R中零向量为$\theta=(0,0,\cdots,0)$，F是从W到R的可加的时态信息函数，用$\Pi_i(F)$表示函数值

的第 i 个分量，称为 F 在媒体 R_i 上的投影.

(1)对任意 2 个时刻 $t_1,t_2\in T$，及任一点 $(P_1,P_2,\cdots,P_n)\in V$，$1\leqslant i\leqslant m$，如果 $t_1<t_2$ 蕴含了下列关于 2 个多媒体值域分量(实数值)的不等式：$\Pi_i(F(t_1,P_1,P_2,...,P_n))\leqslant\Pi_i(F(t_2,P_1,P_2,...,P_n))$，则称 F 是时空世界 W 上的生长函数. 如果 $t_1<t_2$ 蕴含了 $\Pi_i(F(t_1,P_1,P_2,...,P_n)=\Pi_i(F(t_2,P_1,P_2,...,P_n))$，$i=1,2,...,m$，则称 F 是简单生长函数.

(2)F 在 t 时刻的真值集定义为

$$TrueSet(t,F)=\{(P_1,P_2,\cdots,P_n)\in V\mid F(t,P_1,P_2,\cdots,P_n)\neq\theta\}.$$

直观地，简单生长刻画了无衰亡现象.(例如，在晶体表面某处长成的分子集团，不衰老，也不死亡). 真值集 $TrueSet(t,F)$ 是在 t 时刻函数 F 取非平凡值的那些点的集合，如把零向量理解成为多媒体值域中的背景状态(例如无色或空白象素)，则生长函数的真值集描述了一幅随时间而单调长大的有色点集合，即一幅生长的图象. 通过补函数的方法，单调减少的现象也可处理为生长现象，例如金属的锈蚀可以处理为蚀区的生长. 现实世界存在一类事物，在一段时间，一个局部单调增长；在另一段时间，另一局部单调减少，采用分割时空论域的方法，可将这类现象归结为生长现象. 形式化地描述如下：

定义 2.2. 设 T,V,W,R,F 如定义 2.1 所述，如果存在一个对有限时空世界 W 的有限分割，使 $W=W_1\cup W_2\cup\cdots\cup W_K$，且对 $0\leqslant i\leqslant k$，在每个 W_i 上，F 为简单生长函数，则称 F 是 W 上的分块生长函数.

在计算压缩比时将用到下面的定理.

定理 2.1. 设 T,V,W,R 如定义 2.1 所述. F 是从 W 到 R 的生长函数，$t_1,t_2\in T$，如果 $t_1<t_2$，则有 $TrueSet(t_1,F)\subseteq TrueSet(t_2,F)$.

证明：对 $TrueSet(t_1,F)$ 中任取一点 $(P_1,P_2,\cdots,P_n)$，用简单生长函数的定义即得.

定理 2.2(稳定性). 设 T,V,W 如定理 2.1 所述. F 是从 W 到 R 的简单生长函数，且 $t_1<t_2$，则

$$F(t_2,TrueSet(t_1,F))=F(t_1,TrueSet(t_1,F)).$$

证明：由定理 2.1，$Truset(t_1,F)\subseteq TrueSet(t_2,F)$，再用生长函数的定义和性质即得. 稳定性定理反映了如下的直观事实. 在无衰亡的生长现象中，在某时刻长成的单元及其属性，在以后的任何时刻看上去是一样的.

3 生长过程中时态信息的无损压缩

工作量与信息量是有联系而又相区别的概念. 前者表示处理信息所需的资源的度量，本模型中采用 C 语言的 *SizeOf* 函数值来度量；信息量是被描述对象的不确定性(或不均匀性)的量度，用熵理论刻画.[7]本节将探讨在不损失信息的前提下，压缩时态多媒体信息量的方法.

设时间区间 $T=[t_1,t_r]$、有限空间 V、时空世界 W、多媒体值域 R 及可加生长函数 F 如 1.1 和定义 2.1 所述. 设 σ 是系统给定的基本时间粒子(Chronon)，且 $(T_r-T_1)/\sigma=r-1$. 则有 $t_i=t_1+(i-1)$，$0<i\leqslant r$.

3.1 传统方法的工作量

传统方法中，对 $0<i\leqslant r$，对每个时刻 t_i 处理一帧多媒体信息(例如电影技术采用的方

法)，记 t_i 时刻的工作量为 $S_i = SizeOf(F(t_i, V))$，由于 F 是时空世界上的良好定义的全函数，由定义域及值域组成的元组在各个时刻的处理量一致，因此 $S_1 = S_2 = \ldots = S_r$，总工作量为 $\sum_1^r S_i = rS_r$.

3.2 二值媒体上的放弃平凡法

当只有一个二值媒体(例如处理黑白图象)时采用放弃平凡算法，可节约一半以上的工作量.

定义 3.1. 设时空世界 W 如定义 1.3 所述，媒体值域 R 为二元值域$\{0,1\}$. 定义多媒体函数 F 的补函数 F' 如下：对每一 $w \in W$，规定 $F'(w) = 1 - F(w)$.

下面 2 条事实是显然的：(1)函数 F 和补函数 F' 具有相同的信息量；(2)在时刻 t，由于真值集只放弃了平凡值，所以全像集 $F(t,V)$ 和它在真值集上的限制 $F(t, TrueSet(F))$ 携带的信息量相同. 同样的结论也适合其补函数 F'.

为了叙述方便，对于有限 n 维空间 V，引入记号 $Card(V)$ 表示其基数. 在二值媒体上放弃平凡(Ignore_Trivial)算法如下：

算法 3.1. 放弃平凡算法

输入：$T, V, W = T \times V$，二值媒体 $R = \{0,1\}$ 及分块生长函数 F，如定义 2.2 所述.

输出：对 F 的时态信息的处理.

步骤：对每一个 i，$(1 \leqslant i \leqslant r)$，如果 $Card(TrueSet(t_i, F)) < Card(V)/2$，则处理 $F(t_i, TrueSet(t_i, F))$；否则处理 $F'(t_i, TrueSet(t_i, F'))$.

工作量分析：当 $Card(TrueSet(t_i, F)) \leqslant Card(V)/2$ 时，对 F 放弃平凡信息的处理，工作量不超过 $Card(V)/2$；否则，由互补性，必有 $Card(TrueSet(t_i, F')) < Card(V)/2$，此时对 F' 放弃平凡信息的处理，工作量仍然不超过 $Card(V)/2$.

放弃平凡法的主要思想在于用系统默认值取代平凡信息，因而并不损失信息. 由于媒体值域为二值，利用补函数，总可使非平凡的部分不超过全部的一半. 从而使得在不损失信息的前提下，节约一半以上的资源.

3.3 非平凡增量法

传统方法中存在着 2 类存储资源的浪费，即(1)平凡信息所占存储量；(2)冗余的非平凡信息. 针对这 2 点提出了非平凡增量法，主要思想是：

(1)保存考查开始时刻 t_1 的状态作为生长的起点；

(2)对 $t_i \in T$，$(0 < i < r)$，处理 F 从 t_i 到 t_{i+1} 的非平凡信息的增量部分.

设 T, V, W, R 及简单生长函数如 1.3 所述，对于 $0 < i < r+1$，令 $V_i = TrueSet(t_i, F)$，由定理 2.1 知 $V_i \subseteq V_{i+1}$，因此可令 $\Delta V_i = V_{i+1} - V_i$，$(0 < i < r)$.

算法 3.2. (非平凡增量处理算法)

(1)处理 $F(t_1, V_1)$ 作为生长基础；

(2)对 $0 < i < r$，处理非平凡增量 $F(t_i, \Delta V_i)$.

当媒体值域为二元集时，用上述算法处理种子发芽过程的图象，则序列 $V_1, V_2, \cdots, V_r$ 构成种子发芽的动画. 每一个 $F(t_i, V_i)$ 可理解为一"帧"多媒体信息.

非平凡增量算法的总工作量为：

$$Total=SizeOf(F(t_1,V_1))+\sum_{1}^{r-1}SizeOf(F(t_i,\Delta V_i)) \qquad (1)$$

其中 $F(t_i,\Delta V_i)$

$=F(t_i,V_{i+1}-V_i)$ （由 ΔV_i 定义）

$=F(t_i,V_{i+1})-F(t_i,V_i)$ （由可加性）

$=F(t_{i+1},V_{i+1})-F(t_i,V_i)$ （由 $t_{i+1}>t_i$ 及稳定性定理 2.2）

所以 $$SizeOf(F(t_i,\Delta V_i))=SizeOf(F(t_{i+1},V_{i+1}))-SizoOf(F(t_i,V_i)) \qquad (2)$$

把(2)式代入(1)式，得到： $Total=SizeOf(F(t_r,V_r)=S_r$.

与 3.1 结果对比，可见工作量仅为传统算法的 $1/r$，r 是区间 T 中时间粒子的个数.

4 生长现象多媒体时态信息处理的实现

MHBase 是国家自然科学基金项目的子课题，它是一个时态多媒体数据库管理系统原型，其设计思想、图象技术请见文献[4～6]. 本节重点介绍 MHBase 中用 OOP 方法实现生长现象的数据结构(对象类、方法等)和用广播消息协调多个块并发生长的非平凡增量算法.

例 4.1：图 1 中是一个简化的种子发芽的动画. A,B,C 分别表示在 t_A,t_B,t_C 时刻发芽情况的瞬态.

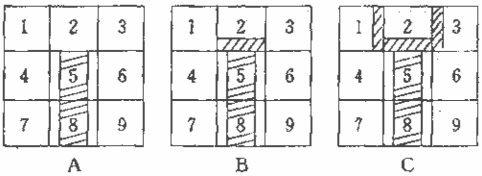

图1

MHBase 将图象分划成 9 个区域，t_A 至 t_B 阶段，只有第 2 块发生了变化、只需把其它块的有效时间区间的 Valid_End 从 t_A 延长到 t_B，而仅仅在第 2 块中填充颜色；从 t_B 至 t_C 阶段，只第 1、第 3 块发生变化、需要作处理；而其它块中只需把 Valid_End 从 t_B 延至 t_C 即可. 从 t_A 至 t_c 共处理了 9+1+2=12 块，节约了 15/27 的工作量. 对于非简单的生长现象，如果要反映每块长成后，由幼年到成熟的变化，MHBase 在每块内分配指针 NextVersion，产生该块下一版本，用指针链表现块的历史.

MHBase 假定被处理的时态多媒体信息是由定义 2.2 描述简单生长函数.

定理 4.1. 设 T,V,W,R,F 如定义 2.2 所述，则可用有限个相等的多维正方体覆盖被处理时空世界 W，使在每个多维正方体上，多媒体时态信息函数符合可加性和单调性.

证明：由分块生长函数定义，W 可分解为有限个子集 $W_1,W_2,\cdots,W_k$，使在每个 W_i 上函数 F 符合单调性及可加性，在每个 W_i 中嵌入一个内切的多维正方体 B_i，根据选择公理，可从 $B_1,B_2,\cdots B_k$ 中选出最小者，不妨设是 B_1，以它作为基准单位重新划分并覆盖 W. 对于跨在 W 边界上的块 B_i 及 $P\in B_i$，扩展 F 的定义如下：如果点 P 在 W 之中，$F(P)$保持不变；如 P 在 W 之外，补充定义 $F(P)=0$(常量). 由 B_1 的极小性知扩展后的 F 符合单调性和可加性. □

定理 4.1 保证了在实现时，分块后各个块的数据形式一致，结构一致，因此可以用对象数组来实现块，使程序得到简化.

5 小 结

关于历史性事件伴随的时态信息有重要的应用价值，针对其中富有特色的生长现象，本

文建立了数学模型,利用生长现象的可加性和分块单调性,对信息压缩比作了定量描述,在原型中实现了二值媒体的放弃平凡算法和非增量算法,为时态数据库的多媒体化提供了有意义的理论依据.

参考文献

1 Snodgrass R S. Research concerning time in databases. Project Summaries, ACM SIGMOD Record, December 1986,**15**(**4**).

2 Snodgrass R. Temporal databases. Lecture Notes in Computer Science. Springer Verlag, September 1992,**639**:22～64.

3 唐常杰,吴子华,张天庆等.时态数据库的变粒度时间轴.第12届全国数据库会议论文集,ISBN－7－5069－1042－/127,1994.419～423.

4 杨文川,唐常杰等.一个时态多媒体数据库的原型设计.第11届全国数据库学术会议论文集,ISBN 7－5612－2/TP.66,1993.404～409.

5 唐常杰,杨文川.时态多媒体数据库原型MHBase的设计与实现.计算机应用,1994,**14**(**5**):4～6.

6 唐常杰,相利民,熊明.数据库管理系统设计与实现.北京:电子工业出版社,1993.

7 Tang Changjie, Zhang Yili. The unioque decomposition theorem of the semigroup of infix queries. Science Bulitin, May 1988,**33**(**10**):795～801.

THE GROWTH PROCEDURE AND THEIR ALGORITHMS IN TEMPORAL MULTIMEDIA DATABASES

Tang Changjie　Yang Wenchuan　Luo Yunjiang

(*Department of Computer Science　Sichuan Union University　Chengdu*　610064)

Abstract　In the context of processing the multimedia information accompanying with the historical events, a lot of events can be viewed as growth procedure. This paper gives a mathematical model for the growth phenomena, and discusses its additive property, monotonicity and stability. It also introduces the ignore_trivial algorithms and non－trivial increment algorithms in MHBase——the prototype of multimedia database system.

Key words　Temporal database, multimedia, growth procedure, ignore trivial algorithm, non trivial increment algorithm.