

多媒体节目时序描述的组合技术*

赵琛

(中国科学院 软件研究所 计算机科学开放研究实验室, 北京 100080)

E-mail: zc@ios.ac.cn

http://www.ios.ac.cn

摘要: 组合性是形式描述研究的基本问题, 便于大型程序的设计、分析、测试和复用。为了方便用户编制大型多媒体系统的时序描述, 组合模型是必须的。目前, 这样的模型有基于语言的、基于图形的、基于时间区间的和面向对象等等。但是, 这些模型描述层次过低, 很难支持两个多媒体节目之间的时序描述。通过引入单位流的概念和扩展两种时序关系, 研究一种多媒体节目时序描述的结构化技术, 使复杂的多媒体节目易于理解, 以方便用户运用组合方法把一些可以复用于不同多媒体节目的节目模块进行组合设计。

关键词: 时序关系; 时序描述; 组合; 多媒体节目

中图法分类号: TP391 文献标识码: A

形式化方法对于软件开发的意义随着近 10 年的发展而日趋明显, 但是在应用领域中引入形式化方法并不是一件容易的事。其中一个主要原因是缺乏合适的形式化模型来刻画该领域工程师所关心的设计和加工方面的问题^[1]。近年来, 随着国际互联网(internet)的飞速发展, 与过去以事件或状态为中心的软件系统相比, 出现了一类以数据为核心的软件系统, 在这类系统中, 数据之间的关系和数据格式(表示和存储)显得格外重要。如何利用现有的软件工程方法进行这类系统的设计是我们所关心的问题。近几年来, 我们一直致力于基于时序逻辑的软件工程系统——XYZ 系统^[2]在动画和多媒体领域的应用研究。在文献[3]中, 我们进行了时序描述求精、时序描述组合、媒体同步器自动构造和面向规范的测试方法这 4 个方面的研究。本文主要介绍时序描述组合技术。

形式化方法的一个重要意义就是它可以提高软件生产率。组合性是与此相关的基本问题, 它使大型系统的设计、分析和测试变得相对容易, 特别是它可以支持一定程度的复用, 包括可执行系统的复用和程序规范的复用。为了方便设计者, 在编制多媒体节目时, 组合模型是需要的。最近的研究提出了许多这样的模型, 包括基于语言的模型、基于图形的模型、基于时间区间的模型和面向对象的模型等等^[4~8]。文献[9]介绍了一种媒体同步器的自动构造技术, 在这种技术中, 时序关系是直接面向媒体流的, 而不是面向节目。本文研究一种节目之间时序关系的表示方法, 以适应大型多媒体节目的同步器的自动构造。

本文第 1 节首先回顾时序关系, 同时介绍单位流的概念和两个扩展的时序关系。第 2 节研究媒体对象时序描述的性质。第 3 节讨论媒体时序描述的组合技术。最后是与相关工作的一个简单比较和本文的总结。

* 收稿日期: 1999-07-16; 修改日期: 1999-12-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69603008); 国家“九五”重点科技攻关项目(98-780-01-07-01); 国家 863 高科技发展计划资助项目(863-306-ZTC2-04-01)

作者简介: 赵琛(1967-), 男, 云南普洱人, 博士, 副研究员, 主要研究领域为软件工程, 多媒体。

1 时序描述

不同媒体对象之间的时序关系根据 Allen^[10]的定义有 13 种,即 before, meet, overlap, during, start, finish 和 equal 及其逆关系 $\text{before}^{-1}, \text{meet}^{-1}, \text{overlap}^{-1}, \text{during}^{-1}, \text{start}^{-1}, \text{finish}^{-1}$ ($\text{equal}^{-1} = \text{equal}$). 逆关系是对称关系,我们一般用前 7 种. 对于 before, overlap, during 这 3 种时序关系,一般还需要给出一个绝对时间量 d 以进一步确定媒体间的同步关系. 时序关系的直观图示见文献 [10].

为了描述更加灵活的时序关系,我们把上述 3 种时序关系 before, during 和 overlap 中的绝对时间 d 扩充为时间区间 D , 即 $\text{before}(s_1, s_2)^D, \text{overlap}(s_1, s_2)^D, \text{during}(s_1, s_2)^D$, 这里 D 是以下 4 种时间区间中的一种. $[t_1, t_2], (t_1, t_2], [t_1, t_2)$ 和 (t_1, t_2) . 它们分别表示 $t_1 \leq t \leq t_2, t_1 < t \leq t_2, t_1 \leq t < t_2, t_1 < t < t_2$. 这里, t_1 和 t_2 是两个时间点, $t_1 \leq t_2$.

多媒体节目的一个流常常被看做是一个长度为非零的时间区间. 我们将引进一种长度为零的特殊流——单位流. 单位流不在任何播放器上播放任何信息. 实际上,它仅表示一种同步控制点. 本文假定 u, u_1, u_2 等等都表示单位流.

时序关系主要用于描述两个媒体对象之间所表现的时间关系,我们将把两种时序关系 finish 和 start 加以扩充,使之可以描述单位流和一组媒体流之间所表现的时序关系. 在考虑扩充之前,我们先介绍两个逻辑算子:“ \wedge ”和“ \oplus ”. 它们分别表示逻辑“与”和“异或”. 直观上,“ \wedge ”表示需求的同时满足,“ \oplus ”表示需求的选择,特别地,这种选择是环境动态的选择,而不是静态的选择. 基于上述两个逻辑算子和时序关系 finish 和 start 的含义,我们可以形式地定义扩展的时序关系.

$$\begin{aligned} \text{finish}(u, (s_1, s_2, \dots, s_n)) &:= (\text{finish}(u, s_1) \wedge \text{before}(s_2, u) \wedge \dots \wedge \text{before}(s_n, u)) \oplus \\ &\quad (\text{finish}(u, s_2) \wedge \text{before}(s_1, u) \wedge \dots \wedge \text{before}(s_n, u)) \oplus \\ &\quad \dots \\ &\quad (\text{finish}(u, s_{n-1}) \wedge \text{before}(s_1, u) \wedge \dots \wedge \text{before}(s_n, u)) \oplus \\ &\quad (\text{finish}(u, s_n) \wedge \text{before}(s_1, u) \wedge \dots \wedge \text{before}(s_{n-1}, u)) \\ \text{start}(u, (s_1, s_2, \dots, s_n)) &:= (\text{start}(u, s_1) \wedge \text{before}(u, s_2) \wedge \dots \wedge \text{before}(u, s_n)) \oplus \\ &\quad (\text{start}(u, s_2) \wedge \text{before}(u, s_1) \wedge \dots \wedge \text{before}(u, s_n)) \oplus \\ &\quad \dots \\ &\quad (\text{start}(u, s_{n-1}) \wedge \text{before}(u, s_1) \wedge \dots \wedge \text{before}(u, s_n)) \oplus \\ &\quad (\text{start}(u, s_n) \wedge \text{before}(u, s_1) \wedge \dots \wedge \text{before}(u, s_{n-1})) \end{aligned}$$

显然, $\text{finish}(u, (s_1, s_2, \dots, s_n))$ 表示单位流 u 将要和 $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 中最后结束的流一起结束; $\text{start}(u, (s_1, s_2, \dots, s_n))$ 表示单位流 u 将要和 $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 中最先开始的流一起开始. 当 $n=1$ 时, $\text{finish}(u, (s_1, s_2, \dots, s_n))$ 即是 $\text{finish}(u, s_1)$; 而 $\text{start}(u, (s_1, s_2, \dots, s_n))$ 即是 $\text{start}(u, s_1)$.

在第 3 节中,我们将看到如何用单位流和扩展的时序关系研究时序描述的组合方法.

有了单位流和扩展的时序关系,一个多媒体节目的时序描述就可以表示成一个二元组 (S, TR) . 这里, S 是一个符号集合,表示包括单位流在内的媒体流; TR 是包括扩展时序关系在内的媒体流之间的时序关系的集合. 一个时序描述可能是不可满足的,因为它可能包含矛盾的时序关系. 有关时序描述的协调性的形式定义和检查一个时序描述是否协调的算法见文献 [3]. 本文假定用到的时序描述是协调的.

2 时序描述的性质研究

本节主要研究与组合研究相关的时序描述的几个性质.

定义 1. 一个多媒体系统的时序描述图 $G=(V, E_1, E_2)$ 由以下规则生成, 开始时 V, E_1 和 E_2 为空:

(1) 对每一个媒体对象 s_i 增加一个新节点 v_i 到 V , 即 $V=V \cup \{v_i\}$;

(2) 如果 s_i, s_j 有时序描述 $\text{cons}(s_i, s_j)$, 增加一条边 e_{ij} 到 E_1 , 即 $E_1=E_1 \cup \{e_{ij}\}$. cons 是上述 13 种时序关系中的一种;

(3) 对于扩展的时序关系 $\text{finish}(u_1, (s_1, s_2, \dots, s_n))$ 或 $\text{start}(u_1, (s_1, s_2, \dots, s_n))$, 增加边 $\{e_{1u_1}, e_{2u_1}, \dots, e_{nu_1}\}$ 到集合 E_2 , 即 $E_2=E_2 \cup \{e_{1u_1}, e_{2u_1}, \dots, e_{nu_1}\}$.

从上述时序描述图的定义可以看出, 它有两种不同的边, 因此, 我们需要给出时序图上路径的形式定义.

定义 2. $G=(V, E_1, E_2)$ 是一个时序描述图, 假定 $W=v_1e_{12}v_2 \dots v_{n-1}e_{(n-1)n}v_n$, 这里, $v_i V, i=1, 2, \dots, n. e_{ij} \in \{E_1 \cup E_2\}$. 如果对任意相邻的两条边 e_{ij} 和 $e_{i(j+1)}$, 条件 $(e_{ij} \in E_2 \wedge e_{i(j+1)} \in E_2)$ 不成立, 则称 W 是时序描述图 G 的一条路径.

定义 3. 如果一个时序描述图的任何两个节点之间都有一条路径, 则这个时序图所对应的时序描述是完全描述.

在多媒体系统时序描述中, 媒体对象对应于一个时间区间, 如果把整个播放过程看做是一个事件, 则它是延迟事件. 目前的并发系统描述方法一般都假定事件是瞬时效件(如 CSP(communicating sequential process)^[10], CCS(calculus of communicating system)^[11]. 用瞬时效件抽象实时系统的一个重要原因是它能够使系统的抽象描述脱离于具体的实现和运行环境. 在实际运行系统时, 事件的发生总是要占用时间的, 由于实现方法和运行环境不同, 事件发生所占用的时间也各不相同. 但是, 系统的抽象描述应该是脱离于具体实现和运行环境的, 因此, 我们在抽象描述时只能假定所有事件的发生是瞬时的. 然后, 我们又通过允许事件在一个区间内发生来弥补这种假定的限制. 这个问题的深入讨论可见其他有关实时系统的介绍.

Hoare 在 CSP^[10] 中提出了一种用瞬时效件表示延迟事件的方法, 具体作法是用两个瞬时效件表示一个延迟事件, 即一个瞬时效件表示延迟事件的开始, 另一个表示延迟事件的结束. 对于多媒体系统来说, 可以把一个媒体对象映射到表示它开始播放和结束播放的两个事件, 比如, 视频 s_1 可以用 s_{1-b} 和 s_{1-e} 来表示, s_{1-b} 表示开始, s_{1-e} 表示结束.

e_i, e_j 是两个事件, t_1, t_2 是两个时间点, $t_1 \leq t_2$, 我们有以下记法, 也可以看做是谓词定义.

$e_i[t_1, t_2]$: 事件 e_i 在时间区间 $[t_1, t_2]$ 中出现;

$[e_i, e_j][t_1, t_2]$: 如果从事件 e_i 出现的时刻开始记时, 事件 e_j 在时间区间 $[t_1, t_2]$ 中出现;

对其他形式的时间区间可以类似定义.

引理 1. e_i, e_j 和 e_k 是事件, t_1, t_2, t_3, t_4 是时间点, $t_1 \leq t_2, t_3 \leq t_4$. 如果 $[e_i, e_j][t_1, t_2], [e_j, e_k][t_3, t_4]$, 则 $[e_i, e_k][t_1+t_3, t_2+t_4]$.

证明显然, 略. 其他形式的区间有类似结论.

定理 1. 一个完全协调的时序描述中任一媒体对象 s_i, s_{i-b}, s_{i-e} 分别表示 s_i 开始播放和结束播放的事件, 如果 $s_{i-b}[t_1, t_2]$ (或 $s_{i-e}[t_1, t_2]$, 其他形式的时间区间可类似考虑), 则所有其他媒体对象即对应的事件发生在一个确定的时间区间之内, 其中包括长度为零的区间, 即时间点.

证明: (1) 对于其他任何一个事件 e_{n-a} (或 e_{n-b}), 假定它所对应的媒体对象为 s_n , 因为约束是完全约束, 从 s_i 到 s_n 存在一条路径 l , 即 s_i, s_j, \dots, s_n ;

(2) 对媒体流 s_j 对应的事件, 我们有如下计算规则. 在以下的计算规则中, l_i 和 l_j 分别表示媒

体流 s_i 和 s_j 的长度, $D=[t_3, t_4]$, 其他形式的时间区间可类似考虑. s_{i_b} 和 s_{i_e} 表示 s_i 的开始和结束. s_{j_b} 和 s_{j_e} 表示 s_j 的开始和结束.

- ① before $(s_i, s_j)^D: s_{i_b}[t_1, t_2] \rightarrow s_{i_e}[t_1 + l_i, t_2 + l_i] \wedge s_{j_b}[t_1 + l_i + t_3, t_2 + l_i + t_4] \wedge s_{j_e}[t_1 + l_i + t_3 + l_j, t_2 + l_i + t_4 + l_j]$
- ② before $(s_j, s_i)^D: s_{i_b}[t_1, t_2] \rightarrow s_{i_e}[t_1 + l_i, t_2 + l_i] \wedge s_{j_b}[t_1 - l_j - t_4, t_2 - l_j - t_3] \wedge s_{j_e}[t_1 - t_4, t_2 - t_3]$
- ③ meets $(s_i, s_j): s_{i_b}[t_1, t_2] \rightarrow s_{i_e}[t_1 + l_i, t_2 + l_i] \wedge s_{j_b}[t_1 + l_i, t_2 + l_i] \wedge s_{j_e}[t_1 + l_i + l_j, t_2 + l_i + l_j]$
- ④ meets $(s_j, s_i): s_{i_b}[t_1, t_2] \rightarrow s_{i_e}[t_1 + l_i, t_2 + l_i] \wedge s_{j_b}[t_1 - l_j, t_2 - l_j] \wedge s_{j_e}[t_1, t_2]$
- ⑤ start $(s_i, s_j): s_{i_b}[t_1, t_2] \rightarrow s_{i_e}[t_1 + l_i, t_2 + l_i] \wedge s_{j_b}[t_1, t_2] \wedge s_{j_e}[t_1 + l_j, t_2 + l_j]$
- ⑥ start $(s_j, s_i): s_{i_b}[t_1, t_2] \rightarrow s_{i_e}[t_1 + l_i, t_2 + l_i] \wedge s_{j_b}[t_1, t_2] \wedge s_{j_e}[t_1 + l_j, t_2 + l_j]$
- ⑦ finishes $(s_i, s_j): s_{i_b}[t_1, t_2] \rightarrow s_{i_e}[t_1 + l_i, t_2 + l_i] \wedge s_{j_b}[t_1 - l_j + l_i, t_2 - l_j + l_i] \wedge s_{j_e}[t_1 + l_i, t_2 + l_i]$
- ⑧ finishes $(s_j, s_i): s_{i_b}[t_1, t_2] \rightarrow s_{i_e}[t_1 + l_i, t_2 + l_i] \wedge s_{j_b}[t_1 + l_i - l_j, t_2 + l_i - l_j] \wedge s_{j_e}[t_1 + l_i, t_2 + l_i]$
- ⑨ during $(s_i, s_j)^D: s_{i_b}[t_1, t_2] \rightarrow s_{i_e}[t_1 + l_i, t_2 + l_i] \wedge s_{j_b}[t_2 - t_3, t_1 - t_4] \wedge s_{j_e}[t_2 - t_3 - l_j, t_2 - t_4 + l_j]$
- ⑩ during $(s_j, s_i)^D: s_{i_b}[t_1, t_2] \rightarrow s_{i_e}[t_1 + l_i, t_2 + l_i] \wedge s_{j_b}[t_1 + t_3, t_2 + t_4] \wedge s_{j_e}[t_1 + t_3 - l_j, t_2 + t_4 + l_j]$
- ⑪ overlap $(s_j, s_i)^D: s_{i_b}[t_1, t_2] \rightarrow s_{i_e}[t_1 + l_i, t_2 + l_i] \wedge s_{j_b}[t_1 + t_3, t_2 + t_4] \wedge s_{j_e}[t_1 + t_3 + l_j, t_2 + t_4 + l_j]$
- ⑫ overlap $(s_j, s_i)^D: s_{i_b}[t_1, t_2] \rightarrow s_{i_e}[t_1 + l_i, t_2 + l_i] \wedge s_{j_b}[t_2 - t_3, t_1 - t_4] \wedge s_{j_e}[t_2 - t_3 + l_j, t_1 - t_4 + l_j]$
- ⑬ equals $(s_i, s_j): s_{i_b}[t_1, t_2] \rightarrow s_{i_e}[t_1 + l_i, t_2 + l_i] \wedge s_{j_b}[t_1, t_2] \wedge s_{j_e}[t_1 + l_i, t_2 + l_i]$
- ⑭ equals $(s_j, s_i): s_{i_b}[t_1, t_2] \rightarrow s_{i_e}[t_1 + l_i, t_2 + l_i] \wedge s_{j_b}[t_1 + l_i + t_3, t_2 + l_i + t_4] \wedge s_{j_e}[t_1 + l_i + t_3 + l_j, t_2 + l_i + t_4 + l_j]$

以下两条规则用于计算在扩展的时序关系 finish $(u, (s_1, s_2, \dots, s_n))$ 和 start $(u, (s_1, s_2, \dots, s_n))$ 中单位流的出现时间区间, 因为单位流是长度为零的流, 所以 u_b 和 u_e 的时间区间是一样的. 假定 $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 中所有媒体流的出现区间已经计算出来. 我们先定义两个函数, 假定 e 是一个事件, 且 $e[t_i, t_j]$, 则 lefttime $(e) = t_i$, righttime $(e) = t_j$.

- ⑮ finish $(u, (s_1, s_2, \dots, s_n)): s_{1_e}[t_{11}, t_{12}] \wedge s_{2_e}[t_{21}, t_{22}] \wedge \dots \wedge s_{n_e}[t_{n1}, t_{n2}] \rightarrow u_b_max\{t \mid t = \text{lefttime}(s_{i_e}), s_i \in \{s_1, s_2, \dots, s_n\}, \max\{t \mid t = \text{righttime}(s_{i_e}), s_i \in \{s_1, s_2, \dots, s_n\}\}\}$
- ⑯ start $(u, (s_1, s_2, \dots, s_n)): s_{1_b}[t_{11}, t_{12}] \wedge s_{2_b}[t_{21}, t_{22}] \wedge \dots \wedge s_{n_b}[t_{n1}, t_{n2}] \rightarrow u_b[\min\{t \mid t = \text{lefttime}(s_{i_b}), s_i \in \{s_1, s_2, \dots, s_n\}, \min\{t \mid t = \text{righttime}(s_{i_b}), s_i \in \{s_1, s_2, \dots, s_n\}\}\}]$

(4) 反复应用引理 1 和以上的计算规则, 可以得到事件 s_{n_b} 出现的时间区间. □

定义 4. 如果 M 是协调完全的时序描述 $M = \{S, TR\}$, M 上的两个函数 Head (M) 和 Tail (M) 可如下定义:

- $lmin = \min\{t \mid \text{lefttime}(s_{i_b}), s_i \in S\}$
- $Smin = \{s_i \mid \text{lefttime}(s_{i_b}) = lmin, s_i \in S\}$
- $rmin = \min\{t \mid \text{righttime}(s_{i_e}), s_i \in Smin\}$
- $\text{Head}(M) = \{s_i \mid \text{lefttime}(s_{i_b}) \leq rmin, s_i \in S\}$
- $rmax = \max\{t \mid \text{righttime}(s_{i_e}), s_i \in S\}$
- $Smax = \{s_i \mid \text{righttime}(s_{i_e}) = rmax, s_i \in S\}$

$$lmax = \max \{t \mid \text{lefttime}(s_i, t), s_i \in Smax\}$$

$$\text{Tail}(M) = \{s_i \mid \text{righttimes}(s_i, t) \geq lmax, s_i \in S\}$$

这两个函数在下面的组合研究中十分有用. 直观上, $\text{Head}(M)$ 包括那些可能是最先开始的媒体流, $\text{Tail}(M)$ 包括那些可能是最后结束的媒体流. 上述定义中的 \max 和 \min 是普通的求最大值和最小值的数学函数.

3 时序描述的组合技术

两个多媒体节目能否用一种特定的时序关系复合, 这对媒体节目的长度有一定的要求. 当考虑组合时我们假定这些要求已经满足. 同时假定这些时序描述都是完全的和协调的. 下面我们给出对应 7 种时序关系的时序组合规则, 详细的解释见文献[3].

(1) before 关系

$$M_1 = (S_1, TR_1), M_2 = (S_2, TR_2), S_1 \cap S_2 = \emptyset$$

$$M = \text{before}(M_1, M_2)^D$$

$$M = (S_1 \cup S_2 \cup \{u_1, u_2\}, TR_1 \cup TR_2 \cup TR)$$

这里, $TR_r = \{\text{finish}(u_1, (p_1, p_2, \dots, p_m)), \text{start}(u_2, (q_1, q_2, \dots, q_n)), \text{before}(u_1, u_2)^D\}$.

这里, $\{p_1, p_2, \dots, p_m\} = \text{Tail}(M_1), \{q_1, q_2, \dots, q_n\} = \text{Head}(M_2)$.

(2) meet 关系

$$M_1 = (S_1, TR_1), M_2 = (S_2, TR_2), S_1 \cap S_2 = \emptyset$$

$$M = \text{meet}(M_1, M_2)$$

$$M = (S_1 \cup S_2 \cup \{u_1, u_2\}, TR_1 \cup TR_2 \cup TR)$$

这里, $TR_r = \{\text{finish}(u_1, (p_1, p_2, \dots, p_m)), \text{start}(u_2, (q_1, q_2, \dots, q_n)), \text{meet}(u_1, u_2)\}$.

这里, $\{p_1, p_2, \dots, p_m\} = \text{Tail}(M_1), \{q_1, q_2, \dots, q_n\} = \text{Head}(M_2)$.

(3) finish 关系

$$M_1 = (S_1, TR_1), M_2 = (S_2, TR_2), S_1 \cap S_2 = \emptyset$$

$$M = \text{finish}(M_1, M_2)^D$$

$$M = (S_1 \cup S_2 \cup \{u_1, u_2\}, TR_1 \cup TR_2 \cup TR)$$

这里, $TR_r = \{\text{finish}(u_1, (p_1, p_2, \dots, p_m)), \text{finish}(u_2, (q_1, q_2, \dots, q_n)), \text{meet}(u_1, u_2)\}$.

这里, $\{p_1, p_2, \dots, p_m\} = \text{Tail}(M_1), \{q_1, q_2, \dots, q_n\} = \text{Head}(M_2)$.

(4) during 关系

$$M_1 = (S_1, TR_1), M_2 = (S_2, TR_2), S_1 \cap S_2 = \emptyset$$

$$M = \text{during}(M_1, M_2)^D$$

$$M = (S_1 \cup S_2 \cup \{u_1, u_2\}, TR_1 \cup TR_2 \cup TR)$$

这里, $TR_r = \{\text{start}(u_1, (p_1, p_2, \dots, p_m)), \text{start}(u_2, (q_1, q_2, \dots, q_n)), \text{before}(u_2, u_1)^D\}$.

这里, $\{p_1, p_2, \dots, p_m\} = \text{Tail}(M_1), \{q_1, q_2, \dots, q_n\} = \text{Head}(M_2)$.

(5) overlap 关系

$$M_1 = (S_1, TR_1), M_2 = (S_2, TR_2), S_1 \cap S_2 = \emptyset$$

$$M = \text{overlap}(M_1, M_2)^D$$

$$M = (S_1 \cup S_2 \cup \{u_1, u_2\}, TR_1 \cup TR_2 \cup TR)$$

这里, $TR_r = \{\text{start}(u_1, (p_1, p_2, \dots, p_m)), \text{start}(u_2, (q_1, q_2, \dots, q_n)), \text{before}(u_1, u_2)^D\}$.

这里, $\{p_1, p_2, \dots, p_m\} = \text{Tail}(M_1), \{q_1, q_2, \dots, q_n\} = \text{Head}(M_2)$.

(6) start 关系

$$M_1 = (S_1, TR_1), M_2 = (S_2, TR_2), S_1 \cap S_2 = \emptyset$$

$$M = \text{start}(M_1, M_2)$$

$$M = (S_1 \cup S_2 \cup \{u_1, u_2\}, TR_1 \cup TR_2 \cup TR)$$

这里, $TR = \{\text{start}(u_1, (p_1, p_2, \dots, p_m)), \text{start}(u_2, (q_1, q_2, \dots, q_n)), \text{meet}(u_1, u_2)\}$.

这里, $\{p_1, p_2, \dots, p_m\} = \text{Tail}(M_1)$, $\{q_1, q_2, \dots, q_n\} = \text{Head}(M_2)$.

(7) equal 关系

$$M_1 = (S_1, TR_1), M_2 = (S_2, TR_2), S_1 \cap S_2 = \emptyset$$

$$M = \text{equal}(M_1, M_2)$$

$$M = (S_1 \cup S_2 \cup \{u_1, u_2, u_3, u_4\}, TR_1 \cup TR_2 \cup TR)$$

这里, $TR = \{\text{start}(u_1, (p_1, p_2, \dots, p_m)), \text{start}(u_2, (q_1, q_2, \dots, q_n)), \text{finish}(u_3, (r_1, r_2, \dots, r_m)), \text{finish}(u_4, (s_1, s_2, \dots, s_n)), \text{meet}(u_1, u_2), \text{meet}(u_3, u_4)\}$.

这里, $\{p_1, p_2, \dots, p_m\} = \text{Head}(M_1)$, $\{q_1, q_2, \dots, q_n\} = \text{Head}(M_2)$, $\{r_1, r_2, \dots, r_m\} = \text{Tail}(M_1)$, $\{s_1, s_2, \dots, s_n\} = \text{Tail}(M_2)$.

定理 2. 时序描述组合规则保持了媒体时序描述的组性。

证明时可以分别对以上 7 个规则加以考虑。首先说明上述规则都保持了时序描述的完全性和协调性, 然后根据定理 1 可证。

4 相关工作比较、总结

在基于事件的形式模型中, 组合的对象主要是进程, 而且这些进程之间会相互作用, 这是组合性问题研究困难的主要原因之一。在这方面最重要的代表性研究是进程代数 CSP^[11]和 CCS^[12]。L. F. Pires^[13]建立了一种基于行为的适合分布式系统设计的模型, 讨论了行为的组方法。行为用因果关系定义。组合行为之间的入口和出口在静态描述时确定。Allen^[10]的区间代数(interval algebra)是基于数据的形式模型, 已经解决了数据时序描述的组合问题, 因为组性是代数系统的基本性质。但是, 这种表示方法不能适应媒体同步器的自动构造技术。

文献[14]中介绍的 SMIL(synchronized multimedia integration language)是与 HTML(hyper text markup language)类似的超文本描述语言, 与 HTML 相比, 它引入了实时和同步机制, $\langle \text{seq} \rangle$ 表示顺序关系, $\langle \text{par} \rangle$ 表示并行关系。通过这两个关系的相互嵌套实现节目的组合。因为它仅表示了两种时序关系, 比较容易实现, 但表达的能力不够强。

本文研究的多媒体时序组合描述了一种表示方法以适应同步器的自动构造技术。组合对象之间没有相互作用, 仅涉及相互之间的时序关系。比较困难的问题是, 组合对象之间的连接点需要动态确定, 为此我们引入了单位流的概念, 并扩充了两种有用的时序关系。本文的主要工作有以下几点: (1) 对几种时序关系, 把绝对时间量扩充到时间区间, 可以支持更灵活的时序关系描述; (2) 引入了单位流概念, 形式化地定义了扩充的两种时序关系; (3) 给出了媒体时序描述及其完全性的形式定义; (4) 给出了一套对应于 7 种时序关系的时序组合规则。

致谢 特别感谢唐稚松院士多年来的指导和支持。同时还要感谢 K. C. Tai 教授与作者讨论 CSPE(constraints on succeeding and preceding events)约束的组合方法, 并介绍了 L. F. Pires 博士的工作。最后感谢 L. F. Pires 博士把他的博士论文寄给作者。

References:

- [1] Vissers, C. A., van Sinderen, M., Luis Ferreira Pires. What makes industries believe in formal methods. In: Danchine, A., Leduc, G., Wolper, P., eds. Protocol Specification, Testing and Verification, XIII (C-16). North-Holland/Elsevier Science Publishers B. V., 1993. 3~26.
- [2] Tang, Zhi-song. Temporal Logic Programming and Software Engineering. Vol. 1, Beijing: Science Press, 2000 (in Chinese).
- [3] Zhao, Chen. Studies on application of XYZ system in multimedia field [Ph. D. Thesis]. Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, 1999 (in Chinese).
- [4] Little, T. D. C., Ghaloui, A. Interval-Based conceptual models for time-dependent multimedia data. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 1993,5(4):551~563.
- [5] Masunaga, Y. Design issues of OMEGA: an object-oriented multimedia database management system. Journal of Information Processing, 1991,14(1):50~74.
- [6] Steinmetz, R. Synchronization properties in multimedia systems. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 1990,8(3):401~412.
- [7] Deng, Y., Chang, S.-K. A framework for the modeling and prototyping of distributed information systems. International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, 1991,1(3):203~226.
- [8] Mitsutoshi, Iino, Young Francis, D., Arif, Ghaloui. An object-oriented model for spatio-temporal synchronization of multimedia information. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 1994,512(4):110~119.
- [9] Kshirasagar, Naik. Specification and synthesis of a multimedia synchronizer. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 1994,12(5):544~549.
- [10] Allen, F. Maintaining knowledge about temporal intervals. Communications of the ACM, 1986,26(11):832~843.
- [11] Hoare, C. A. R. Communicating Sequential Process. Prentice-Hall, Inc., 1985.
- [12] Milner, R. Communication and Concurrency. Prentice-Hall, Inc., 1989.
- [13] Pires, L. F. Architectural notes: a framework for distributed system development [Ph. D. Thesis]. the Netherlands: Centre for Telematics Information Technology, 1994.
- [14] The World Wide Web Consortium; <http://www.w3.org>.

附中文参考文献:

- [2] 唐稚松. 时序逻辑程序设计与软件工程(上册). 北京: 科学出版社, 2000.
- [3] 赵琛. XYZ 系统在多媒体领域的应用研究[博士学位论文]. 北京: 中国科学院软件研究所, 1999.

Temporal Specification Composition Techniques for Multimedia Program Design*

ZHAO Chen

(Laboratory of Computer Science, Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

E-mail: zc@ios.ac.cn

<http://www.ios.ac.cn>

Abstract: Composition is essential in the research of formal specifications. It facilitates the design, synthesis, testing and reuse of large programs. In order to facilitate users to specify the temporal specification at the time of authoring a multimedia program, a composition model is needed. Recently various such models have been proposed in literature, which include language-based model, graphical model, time-interval based model, object-oriented model, etc. However, most of these models are lowly abstract and it is difficult to support the composition of two multimedia programs. In this paper, by introducing a new concept unit stream and extending two temporal relations, the structuring technique is studied in order to allow complex multimedia programs to be structured, making them understandable for designers, and to allow multimedia programs to be authored in terms of composition of general purpose multimedia programs that can be re-used in authoring various different multimedia programs.

Key words: temporal relation; temporal specification; composition; multimedia program

* Received July 16, 1999; accepted December 3, 1999

Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No. 69603008; the Key Sci-Tech Project of the National 'Ninth Five-Year-Plan' of China under Grant No. 98-780-01-07-01; the National High Technology Development Program of China under Grant No. 863-306-ZT02-04-01