

分布式多媒体系统 DMS 同步问题分析与探讨

张正兰¹, 索丽生², 王志坚¹, 张 明³

(1. 河海大学计算机及信息工程学院, 江苏 南京 210098 2. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098;
3. 南京师范大学数学与计算机科学学院, 江苏 南京 210097)

摘要:就分布式多媒体系统 DMS 中同步问题进行了分析与探讨, 首先论述了形式化规范语言 LOTOS 的约定与基本概念, 然后对其进行了基于时间的扩充, 引入时间操作算子, 确定了相应的语法定义和语义规则. 通过基于时间扩充的 LOTOS, 对分布式环境下的多媒体同步问题进行分析, 给出了一种复杂的多媒体严格同步系统和具体的算法描述.

关键词:分布式多媒体系统; LOTOS; 同步; 模型

中图分类号: TP37 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-198X(2001)02-0061-05

分布式多媒体系统 DMS 比一般的分布式系统功能更强, 其主要的区别在于 3 个重要特征 (a) 连续交互性. 即前者需要一种持续的媒体流的交互机制, 后者的通信仅支持单一 RPC 方式 (b) 提供优质的服务机制. 在分布多媒体环境下, 必须满足各种媒体信息表现的严格同步要求, 在传输多媒体对象流的过程中, 一定要保持相关媒体的同步, 提供端到端通信涉及到的延迟、抖动等方面问题的服务, 故需对分布式多媒体系统提供优质的服务机制 (c) 实时同步性. 在分布式多媒体系统中, 一方面要求媒体内同步, 即保持从获取媒体对象到展现媒体对象都严格限制延迟和抖动范围, 另一方面要求媒体间同步, 即几种媒体流要依据其相互时序关系, 保持并行展现. 如声音信息与视频信息就得保持同步, 否则让人难以忍受. 因此, 实时同步是多媒体系统中的关键问题.

对于一般的多媒体同步问题的研究, 已经有不少专家和学者做了一定的工作, 取得了初步成果. 主要有 Allen 定义的时间模型^[1], 按 before, start, equal, during, meet, finish 等十几种基本的时态关系, 给出不同的多媒体同步模型, 但 Allen 定义的时间关系存在不足; 由 Peter King^[2]引入的时序瞬间逻辑 ITL (interval temporal logic) 描述多媒体文档中的同步问题, 弥补了 Allen 的时间关系不确定性. Wahl 和 Rothermel^[3]提出了相反的观点, 用近几年来 30 种多媒体同步的时序关系, 给出了大量的非精确时间关系描述, 只对基本的同步关系进行了定义. 然而, 这些模型对于解决分布式环境下的多媒体同步问题却显得不足, 它们仅能描述各种媒体之间的合成同步. 因此, Hutchinson 和 Blair^[4]给出了实时环境下多媒体的同步约束关系, 对分布环境下的多媒体同步问题进行描述.

本文首先给出了形式化规范语言 LOTOS 的基本概念与约定, 对它进行改进和扩充, 引入离散时间域和时间操作算子, 然后确定其相应的语法定义和形式语义, 通过对分布式环境下的多媒体同步问题的仔细分析, 采用扩充的 LOTOS, 给出一种特殊的多媒体同步系统以及具体的算法描述.

1 形式化规范语言 LOTOS 的基本概念与约定

LOTOS 是基于进程代数模型的一种抽象的形式化方法, 具有精确的语法定义和形式语义, 可通过在外部环境交互操作的时序关系来定义, 便于用来设计分布式交互系统. LOTOS 把系统视为若干相互通信的进程组成. 进程可以执行其内部的操作, 也可通过门径与外部进程交互操作. 而门径是进程的同步通信点, 门径上的行为由门径名、操作和传送的数据组成.

LOTOS 的基本语法:

$$A ::= \text{stop} \mid \text{gd}^* \mid A \mid i \mid A \mid [bc] \rightarrow A \mid A' \mid A \mid [G] \mid A \mid X(q^*)$$

其中 stop ——不可做任何活动事件,死锁进程. $\text{gd}^* \mid A$ —— g 是进程 A 的门径名, d^* 是数据属性, gd^* 可表示为 a , a 是外部交互事件, $\cdot$ 为行动前缀符号,即表示进程 A 通过 g 门径与外界交互. $i \mid A$ —— A 是进程的行为表达式, i 是 A 的内部交互事件, $[bc] \rightarrow A$ ——当 bc 布尔条件表达式为真时,启动 A 进程,否则为 stop 进程. $A \mid [G] \mid A$ —— $[]$ 是并行合作操作,通过 G 门径集,两个进程并行地做同步通信,特别,若不通过 G 门径集,则为独立并行操作,相当于 $A \mid [] \mid A$,即选择操作. $X(q^*)$ ——调用其他进程 $X(q^*)$, q^* 是参数表达式.

LOTOS 采用基于抽象数据类型 ACT-ONE 对数据结构和数值表达式进行描述,ACT-ONE 对数据的操作规定是: $g!q \mid A$ ——进程 A 通过 g 门径发送表达式 q 的值; $g?(x:T) \mid A$ ——进程 A 通过 g 门径接受值,并给 T 类型的变量 x 赋值.

2 对 LOTOS 基于时间扩充

分布式多媒体系统的核心是交互性,强调的是它与外界环境的协调同步,同步性是分布式多媒体系统的关键.我们知道传统的 LOTOS 缺乏支持实时规范的特征,只有对 LOTOS 进行改进,才能有效地对分布式多媒体系统进行形式化的分析,但如果对 LOTOS 仅仅引入定量的时间概念,那么还不能精确地描述和分析实时的多媒体系统.对于 LOTOS 基于时间的改进和扩充,必须对事件发生的优先级别予以定义.Bolognesi 和 Brinksma^[5]通过定义交互事件的紧急程度表示实时系统,Reed 则确定内部事件的优先级别来进行扩充.本文通过引入时间算子,确定与外界环境交互事件的产生条件,以达到 LOTOS 具有支持实时系统特征的目的.

2.1 引入离散时间域及时间算子

对基于时间的 LOTOS 进行扩充时首先要考虑其支持的时间域问题.如果是紧凑时间域,则支持事件活动的精确时间描述,如果是离散时间域,则支持事件发生的时间测量度相对精确.在分布式多媒体系统中,对同步问题主要考虑媒体流之间的相对实时同步,时间的相对精确性足以适应多媒体同步及服务质量的的要求,故对 LOTOS 的扩展采用离散时间域(不过在硬实时系统中,一定得考虑紧凑时间域).离散时间域 B 定义有如下性质 (a) $\forall t \in B; t \neq \infty \Rightarrow t < \infty$ (b) $\forall t \in B; t \neq 0 \Rightarrow t > 0$ (c) $\forall t \in B; t + 0 = t, t + \infty = \infty$ (d) $\forall t, t^* \in B; t^* < t \Leftrightarrow \exists \Delta t > 0$ 且 $t^* + \Delta t = t$ (e) $\forall t, t^* \in B (t > 0) \wedge (t^* \neq \infty) \Rightarrow t^* + t > t^*$ (f) $\forall t_1, t_2 \in B$ 且 $t_1 \leq t_2$, 则集合 $\{t \mid t_1 \leq t \leq t_2\}$ 记时间区间 $[t_1, t_2]$ 为 $C12$ (g) $\forall t_2, t_4 \in B [t_1, t_4]; t_1 \leq t_2 \leq t_3 \leq t_4, \exists t^*, t^* \in B$ 且 $t_2 \leq t^* \leq t_3$, 则 $t^* \in [t_1, t_4]$.

下面引入延时算子 T 和测量算子 M 两个时间算子,前者可依据时间单元的定义启动进程和持起进程;后者能使进程在满足一定的时间区间的条件下启动进程.

对时间操作算子进行形式化定义如下:

定义 1: $\mathcal{T}(m)$ 为延时算子, $\mathcal{T}(m)A$ 指当 m 个时间单元被挂起后启动 A 进程.

定义 2: $\mathcal{M}(t)$ 为测量算子, $\mathcal{M}(t \mid \text{cond.})A$ 指当 t 满足时间区间条件 $[\text{cond.}]$ 时启动 A 进程.

2.2 改进后的 LOTOS 语法定义和语义规则

对 LOTOS 加以扩充后, LOTOS 的语法变成

$$A ::= \text{stop} \mid \text{gd}^* \mid A \mid i \mid A \mid [bc] \rightarrow A \mid A' \mid A \mid [G] \mid A \mid X(q^*) \mid \mathcal{T}(m)A \mid \mathcal{M}(t \mid \text{cond.})A$$

操作语义中的符号定义约定:令 $U = \{i\} \cup G \cup E$, U 为 LOTOS 中的事件集, i 为内部交互事件, G 为门径名集, E 为外部活动事件的名称标记集, $a \in E, g \in G, A, A'$ 以及 R, R' 为扩充后的 LOTOS 的进程行为表达式.操作语义规则:

$$\rightarrow i \mid A \xrightarrow{i} A;$$

$$\rightarrow i \mid A \xrightarrow{a} A;$$

选择操作:

$$A \xrightarrow{u} A' \longrightarrow A' \mid R \xrightarrow{u} A';$$

$$R \xrightarrow{u} R' \longrightarrow A' \mid R \xrightarrow{u} R';$$

并行操作:

$$A \xrightarrow{u} A', u \notin G \rightarrow A \mid [G] \mid R \xrightarrow{u} A' \mid [G] \mid R';$$

$$\begin{aligned} &A \xrightarrow{a} A', R \xrightarrow{a} R', a \in G \rightarrow A \mid [G] \mid R \xrightarrow{a} A' \mid [G] \mid R'; \\ &A' \xrightarrow{a} A, R' \xrightarrow{a} R, a \in G \rightarrow A' \mid [G] \mid R' \xrightarrow{a} A \mid [G] \mid R; \\ &R \xrightarrow{u} R', u \notin G \rightarrow A \mid [G] \mid R \xrightarrow{u} A \mid [G] \mid R'; \end{aligned}$$

条件操作：

$$\begin{aligned} &([bc] \rightarrow A) \xrightarrow{u} A', bc \Rightarrow \text{True} \rightarrow A \xrightarrow{u} A'; \\ &([bc] \rightarrow A) \xrightarrow{u} A', bc \Rightarrow \text{False} \rightarrow \text{Stop}; \end{aligned}$$

延时算子：

$$\begin{aligned} &A \xrightarrow{u} A' \rightarrow \pi(0)A \xrightarrow{u} A'; \\ &A \xrightarrow{u} \pi(t)A' \rightarrow \pi(\Delta t)A \xrightarrow{u} \pi(t + \Delta t)A'; \\ &M(t) \chi_{\text{Cond}} A \xrightarrow{u} A', t \in \text{Cond} \rightarrow A \xrightarrow{u} A'; \end{aligned}$$

测量算子：

$$M(t) \chi_{\text{Cond}} A \xrightarrow{u} A', t \notin \text{Cond} \rightarrow \text{Stop}.$$

3 DMS 同步问题分析与实例

对分布式环境下的多媒体同步问题的分析,不仅要考虑多媒体网络的延迟和抖动等不确定因素的影响,还要考虑满足媒体内的同步和服务质量以及保证媒体间的同步和服务质量. OCPN 模型是一个粗精度同步模型,可以表示多媒体系统的同步规范和时态说明,但是它没有提供描述对象内部同步关系的能力,也没有提供与用户交互控制的动态描述能力. XOCPN 模型是细精度的同步模型,它给出了在一定条件下的 Qos 服务质量协商机制,考虑了分布式环境下的传输控制,但它也不能描述同步的动态交互特征.此外,用 *ITL* 描述多媒体同步问题可给出媒体间的严格的时序关系,但对分布式环境下的不确定性的交互控制能力较差.一种理想的同步模型,应该符合多媒体实际制作和播放的要求,避免逻辑上不同的同步关系,以适应用户的操作需要.经过以上分析,引入基于时间扩充的 LOTOS 的形式化方法对此加以研究,从而描述一类基本的多媒体同步问题以及复杂的严格同步问题.

3.1 基本的多媒体同步问题

根据分布式环境下媒体流传输的物理特性,可以用信息数据源、传输媒体、信息转发 3 大对象来描述多媒体同步问题,如图 1 所示.应用基于时间扩展后的 LOTOS 的形式化方法对基本同步问题的形式化进行描述.在分布式环境下,依据同步条件可将其分解为三个进程描述:信息源进程 *Source*、传输媒体进程 *Medium*、信息展现进程 *Sink*.其同步算法比较简单,此处从略.图 1 中使用 *SourceOut* 和 *SinkIn* 两个同步门径协同工作,各种媒体流传输的进程可描述为: $\text{Source} \mid [\text{SourceOut}] \mid \text{Medium} \mid [\text{SinkIn}] \mid \text{Sink}$.

3.2 一种特殊的多媒体同步问题

音频与视频之间的同步问题在可视电话会议系统中是一种特殊的多媒体同步问题,它属于分布式环境下的一种复杂的严格同步问题,其最基本的要求是既要保证各单媒体流的自身同步,又要满足多媒体流之间的同步.对于一般的同步系统的设计只需将音频信息与视频信息在数据源端进行同步编码,将两类媒体流合成为复合单媒体流^[6],通过传输媒体在数据展现端做同步解码,从而达到媒体同步的目的.但其同步的代价要求快速、准确的硬件或软件编码/解码,事实上达到这一点较困难.这使得编码/解码的效率直接影响到同步的效果.

为了有效地解决上述问题,我们基于扩展后的 LOTOS,通过对分布式系统中同步问题的分析,给出了一个特殊的同步系统结构(图 2).与文献[6]中图相比,图 2 简化了对同步的硬件要求,能避免以往帧与帧之间复杂的同步限定.

3.2.1 系统同步条件

系统同步条件包括视频信息流、音频信息流和同步点条件.

视频信息流:设视频数据源平均传输率为 R_v ms,发送一个数据包,视频媒体信息的播放为 1 帧/40 ms,对视频媒体信息允许有约定范围内的抖动,设抖动率为 ± 4 ms,帧与帧之间延时范

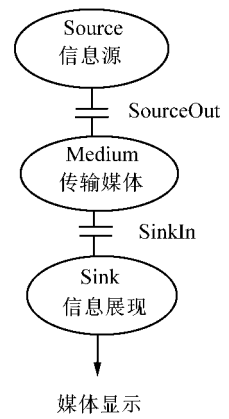


图 1 媒体流传输示意图

Fig.1 Multimedia flow delivery

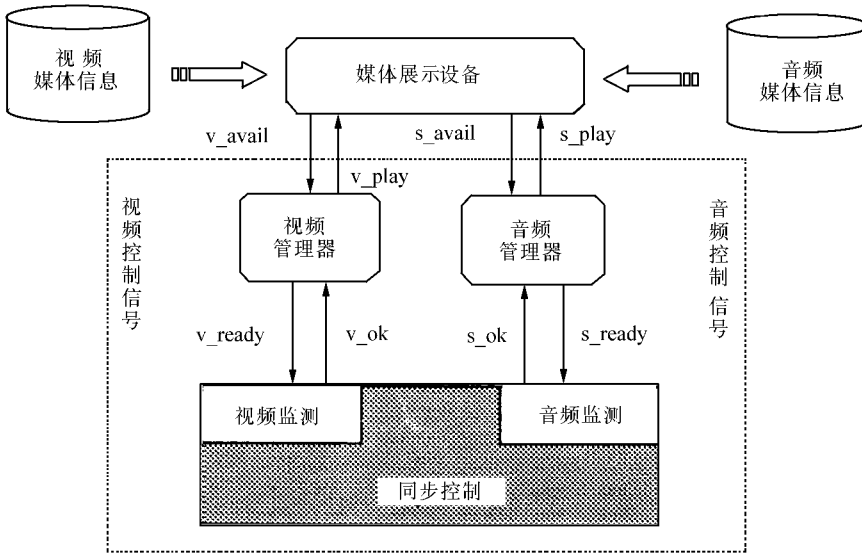


图2 一种特殊的同步系统结构

Fig.2 A special synchronous system framework

围约为 36 ~ 44 ms.

音频信息流: 设音频数据源平均传输率为 R_s (ms) 发送一个数据包, 音频媒体信息的播放为 1 帧/30 ms, 不允许延迟与抖动.

同步点条件: 播放音频媒体信息与视频媒体信息时要完全协同一致, 需要严格保证两者的同步点条件. 设视频媒体信息的展现时间点必须在 $t_p - \Delta_{pre}, t_p + \Delta_{post}$ 时间区间内, 其中 t_p 为音频媒体信息展现的时间点, Δ_{pre} 为视频媒体展现的超前量, Δ_{post} 为视频媒体展现的滞后量. 这里的视频媒体信息与视听媒体信息的同步要求为: 超前量 $\Delta_{pre} < 14$ ms; 滞后量 $\Delta_{post} > 145$ ms.

3.2.2 系统同步控制机制

系统同步控制机制由总体同步、视频管理器、音频管理器、信息量构成. 该机制协调控制有效地保证了多媒体信息在分布环境下的严格同步.

3.2.3 系统同步问题的形式化描述

此类同步问题一般可以分解成 4 个对象和 5 个进程. 4 个对象为媒体数据源、媒体传输、数据转发和同步控制; 5 个进程为 SoundS 声音发送进程、VideoS 视频发送进程、Medium 媒体进程、Sink 展现进程和 Sync 同步进程. 于是一种特殊的多媒体同步问题可表示成

VideoS, SoundS [S-S, V-S] Medium [S-SinkIn, V-SinkIn] Sink [S-g, V-g, Sy-g] Sync

下面我们给出关于 LOTOS 的 5 个进程的形式化定义:

VideoS 进程: $\text{VideoS}(f_r, N) ::= \mathbb{T}(P_v \mathbb{X} \mathbb{M}(P_v) P_v - \Delta, P_v + \Delta \mathbb{V}\text{-S} ! f_r, \text{VideoS}(f_r + 1))$

SoundS 进程: $\text{SoundS}(f_r, N) ::= \mathbb{T}(P_s) \text{S-S} ! f_r, \text{SoundS}(f_r + 1)$

Medium 进程: $\text{Medium} ::= (S\text{-S} ? f_r, N;$

$((\mathbb{M}(t) \mathbb{I} \text{Ccond.})$

$(\mathbb{T}(t) \mathbb{X} \text{SinkIn} ! F_r, \text{stop}[\] \mathbb{I} \text{stop})))$

$[\] \mathbb{I} \text{Medium}))$

$[\]$

$(V\text{-S} ? f_r, N;$

$((\mathbb{M}(t) \mathbb{I} \text{Ccond.})$

$(\mathbb{T}(t) \mathbb{X} \text{SinkIn} ! f_r, \text{stop}[\] \mathbb{I} \text{stop})))$

$[\] \mathbb{I} \text{Medium}))$

Sync 进程:

$\text{Sync} ::= S\text{-g} ! s\text{-avail}, s\text{-avail-time}, V\text{-g} ! v\text{-avail}, v\text{-avail-time};$

$$\mathbb{M}(v\text{-avail-time} \mid s\text{-avail-time} - \Delta_{\text{pre}}, s\text{-avail-time} + \Delta_{\text{post}}) \mathbb{S}y\text{-}g? \text{True};$$

SyncSink 进程:

$$\begin{aligned} \text{Sink} ::= & ((S\text{-SinkIn} ? f_r : N \text{ } S\text{-}g! s\text{-avail } s\text{-avail-time Sink}) [\quad] | \\ & (V\text{-SinkIn} ? f_r : N \text{ } V\text{-}g! v\text{-avail } v\text{-avail-time Sink})) \\ & [\quad] : \text{BOOL} [\text{flag} = \text{True}] \rightarrow \mathbb{M}(t) \mid \text{Mcond.} [\text{play} ! f_r \text{ Sink}). \end{aligned}$$

算法中的[Ccond.]是媒体传输网络延迟的时间区间 [Mcond.]为数据转发传输每一个数据包所需的时间区间.经过引入扩展的 LOTOS 和引入时间区间,可提供精确的时间定义,保证各媒体的严格同步,从而使得多媒体信息在分布环境下同步,使得支持特定的服务质量成为可能.

4 结 束 语

媒体对象之间的同步与时序关系的描述是非常重要的问题,其核心是既要保持媒体流内部的同步关系,又要满足不同媒体流之间的同步要求.本文通过对形式化规范语言 LOTOS 的改进与扩充,引入了离散时间域和时间算子,使其能提供精确的时间定义,支持实时规范的特征.通过对分布式多媒体系统中的同步问题的分析,给出了一种特殊的多媒体同步系统和具体的算法描述.应用 LOTOS 的形式化方法,可准确地刻画多媒体数据流在分布式环境下的传输及同步过程,并能提供精确的时间点要求.对媒体传输时的延迟、抖动等参数提供一定的服务质量保证机制.随着计算机、通信、图像处理等技术的发展,尤其网络技术的进一步发展和 Internet 的广泛使用,分布式多媒体应用越来越广泛,然而,分布式多媒体系统涉及到多门学科、多个领域和多种技术,其应用依然依赖许多关键技术的进一步研究.

参考文献:

[1] Allen J F. Maintaining knowledge about temporal interval[J]. Communications of the ACM ,1983 26(11) 832 ~ 840.

[2] King P R. A logic based formalism for temporal constraints in multimedia Doument[A]. In :PODP 96[C]. 1996. 190 ~ 196.

[3] Wahl T ,Rothermel. Representing time in multimedia systems[A]. In :Proc IEEE Int 'l Conference on Multimedia Computing and Systems [C]. Boston ,MA ,1994. 538 ~ 542.

[4] Blair G S. A programming model and system infrastructure for real-time synchronization in distributed Multimedia System[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications ,1996 ,14(1) 249 ~ 260.

[5] Bolognesi T ,Brinksma E. Introduction to ISO specification language LOTOS[J]. Computer Networks and ISDN Systems ,1988 ,14(1) 25 ~ 55.

[6] 金涛. 分布式多媒体系统中的同步问题研究[J]. 计算机研究与发展 ,1999 ,36(12) :1510 ~ 1515.

[7] 张正兰,张明. 多媒体计算机系统的关键性技术——音频视频信息获取器[J]. 小型微型计算机系统 ,1994 (2) 24 ~ 29.

Analysis and Research on Synchronization Problem in Distributed Mutimedia System DMS

ZHANG Zheng-Lan¹ ,SUO Li-sheng² ,WANG Zhi-jian¹ ,ZHANG Ming³

(1. College of Computer and Information Engineering ,Hohai Univ. , Nanjing 210098 ,China ;
2. College of Water Conservancy and Hydropwer Engineering ,Hohai Univ. , Nanjing 210098 ,China ;
3. College of Mathematics and Computer Science ,Nanjing Normal Univ. ,Nanjing 210097 ,China)

Abstract :The synchronization problem in the distributed multimedia system is studied in this paper. The basic concept and convention about formalized stand language LOTOS are introduced ,and the language is improved and extended by adding discrete time domain and time operator for establishment of its syntactic and semantic rules. Then , a special multimedia synchronous system and implementation algorithm are proposed by anatomizing multimedia synchronization problems in the distributed environment.

Key words :distributed multimedia system ; LOTOS ;synchronization ;model