

多媒体系统, 多媒体同步

Petri 网

同步模型

63-66

# 多媒体同步的 Petri 网模型<sup>\*</sup>

Petri Net Models for Multimedia Synchronization

魏铁军 陈俊亮

TP391

(北京邮电大学程控交换技术与通信网国家重点实验室 北京 100088)

**摘要** In this paper, we briefly introduce various Petri net models of multimedia synchronization, including OCPN, XOCPN, DTPN. We propose a new multimedia synchronization model, called IMPSM. IMPSM is a synchronization presentation model based on Petri-Nets. It can be used to handle interactive presentation of multimedia objects, supports a wide range of temporal synchronization specification, including determinate and indeterminate temporal scenario.

**关键词** Synchronization model, Petri net, Multimedia presentation

## 1 引言

多媒体系统中通常包括各种媒体类型,例如,文本、语音、图象、音频和视频。保持和维护各种媒体对象的同步关系是多媒体技术的一个重要研究领域<sup>[1],[2]</sup>。所谓多媒体同步就是保持和维护各个媒体对象之间和各个媒体对象的内部存在的时态关系。多媒体同步可以从多媒体同步规范和多媒体同步控制两个层次来讨论。多媒体同步规范描述了媒体对象之间和各个媒体对象的内部存在的时态关系,确定了多媒体的时态说明,是多媒体系统的重要组成部分。多媒体同步规范通常包括:

- 媒体对象内的同步以及业务品质 QoS 描述。
- 媒体对象之间的同步以及业务品质 QoS 描

述。

多媒体同步控制机制就是开发各种同步控制策略以及同步控制协议,克服诸如网络延迟与抖动、进程调度等各种非确定因素带来的负面影响,实现多媒体同步规范描述的多媒体时态说明。

目前研究人员提出了许多多媒体同步规范模型以及多媒体同步控制模型。形式化的同步模型主要有 Petri 网模型、通信顺序进程 CSP 模型、扩展有限状态机 EFSM 模型、LOTOS、一阶逻辑、路径表达式等。其中 Petri 网模型由于具有特有的描述同步的能力,是一个形式化图形工具,又是一个数学工具;因而受到特别的关注,并且取得了许多研究进展。本文讨论了多媒体同步的各种 Petri 网模型。

从上表可以得出层次 BP 算法的以下结论:

- 1) 在算法的诱导阶段,可以通过控制权值可行域的分布来控制网络最终权值分布。
- 2) 利用算法可以达到配置网络权值的目的,有利于 BP 网络的硬件实现。
- 3) 网络的冗余度的增大有助于达到所要求的权值约束。
- 4) 若网络冗余度过小,即使采用层次 BP 算法也并非总能将所有网络权值调节至可行域,也就是

说,层次 BP 学习算法的使用前提是网络必须有一定的冗余度。

### 参考文献

- [1] 刘惟信,机械最优化设计,清华大学出版社,1994
- [2] 焦李成,神经网络系统理论,西安电子科技大学出版社,1991
- [3] 刘曙光,前馈神经网络中的反向传播算法及其改进:进展与展望,计算机科学,1996, No.1
- [4] 徐宜桂等, BP 网络的全局最优学习算法,计算机科学,1996, No.1

<sup>\*</sup> 国家教委博士点基金资助项目。魏铁军 博士研究生,主要研究领域为多媒体通信,宽带智能网。陈俊亮 中国科学院、中国工程院院士,博士生导师,主要研究领域为通信软件、智能网。

## 2 Petri 网介绍

Petri 网是描述系统行为的一种形式化工具,可以方便地描述各种顺序活动、并发活动和同步活动<sup>[3]</sup>。Petri 网是一个二部有向图,由位置、转移和有向弧组成。Petri 网可以形式化地定义为:

$$\begin{aligned} \text{PN} &= \{T, P, A\} \\ T &= \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\} \\ P &= \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_m\} \\ A &= \{T \times P\} \cup \{P \times T\} \rightarrow I, I = \{1, 2, 3, \dots\} \end{aligned}$$

$T, P$  和  $A$  分别表示转移集合,位置集合和有向弧集合。

Petri 网是一个图形工具,可以直观地描述系统的行为。在 Petri 网中,用圆圈表示位置,竖棒表示转移,有向直线表示有向弧,黑点表示令牌。

原始的 Petri 网太简单,不能表示复杂的活动,经过进一步的扩充,产生了标记 Petri 网和计时 Petri 网<sup>[4]</sup>。标记 Petri 网给 Petri 网中的每个位置都分配了令牌,利用这些令牌可以控制 Petri 网转移的激发,使得 Petri 网在静态描述基础上,进一步增加了动态描述的能力。标记 Petri 网可以形式化地定义为:

$$\begin{aligned} \text{MPN} &= \{T, P, A, M\} \\ M: P \rightarrow I, I = \{0, 1, 2, 3, \dots\} \end{aligned}$$

$T, P, A$  的定义和 PN 的定义一致。

原始的 Petri 网和标记 Petri 网都没有引入时间的概念,为了描述时间驱动系统的行为,需要在 Petri 网中引入时间的概念。计时 Petri 网增加了时间的概念,使得 Petri 网中的每个位置具有明确的时间意义,同时又保留了每个转移瞬间激发的规则。在计时 Petri 网中,令牌可以驻留在位置上,而不能驻留在转移中。在执行计时 Petri 网时,可以非常清楚地表示系统的状态。计时 Petri 网可以形式化地定义为:

$$\begin{aligned} \text{TPN} &= \{T, P, A, D\} \\ D: P \rightarrow \text{real} \end{aligned}$$

$T, P, A$  的定义和 PN 的定义一致。

## 3 多媒体同步规范模型与多媒体通信同步模型

首先用于描述多媒体同步规范的模型是对象合成 Petri 网模型 OCPN<sup>[4]</sup>。OCPN 将 Petri 网中的每个位置都映射到资源类型,即每个位置都具有一定的媒体类型,同时又给每个位置分配了时间间隔和令牌数目,各个转移表示对象之间的同步点,因而可以有效地描述多媒体同步关系。对象合成 Petri 网模型 OCPN 可以形式化地定义为:

$$\text{OCPN} = \{T, P, A, D, R, M\}$$

$$R: P \rightarrow \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_k\}$$

$T, P, A, D, M$  的定义和 PN、MPN、TPN 的定义一致。

OCPN 还包括一个激发规则,描述了 OCPN 的动态语义。OCPN 激发规则定义为:

(1) 当一个转移  $t_i$  的每个输入位置包括一个没有锁定的令牌,转移  $t_i$  立即激发。

(2) 转移  $t_i$  激发时,转移  $t_i$  每个输入位置一个令牌被删除,转移  $t_i$  每个输出位置增加一个令牌。

(3) 一个位置  $P_i$  收到一个令牌后,在指定的间隔  $\tau_i$  内保持活跃,令牌被锁定。当位置  $P_i$  不活跃和超过了预定的间隔  $\tau_i$ ,令牌变为非锁定。

已经证明,OCPN 模型可以描述多媒体系统中媒体对象之间存在的各种同步关系。OCPN 模型是一个粗粒度同步模型,可以表示多媒体系统的同步规范和时态说明。但是,OCPN 没有提供描述对象内同步关系的能力。

与 OCPN 相对应,XOCPN 是一个细粒度的同步模型,可以用于分布式多媒体信息系统中同步关系描述以及同步传输控制<sup>[5]</sup>。XOCPN 考虑了连续媒体基于速率控制进行传输的要求,将连续媒体对象划分为一系列同步间隔单元 SIU,即细粒度单元。XOCPN 模型包括传输方模型和接收方模型,分别用于传输和接收多媒体信息。XOCPN 将 Petri 网中的位置划分成对象位置和控制位置。对象位置对应于传输和播放对象的动作。控制位置表示建立连接、释放连接以及 QoS 协商。扩展对象合成 Petri 网模型 XOCPN 可以形式化地定义为:

$$\text{XOCPN} = \{T, P, A, D, R, M, Y, Z\}$$

$$D: P \rightarrow \{d_1, d_2\}$$

$$R: P \rightarrow \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_k\}$$

$$Y: P \rightarrow \{\text{resource.setup, resource.release,}$$

$$\text{SIU.playout, SIU.transmit,}$$

$$\text{Interstream.sync.}\}$$

$$Z: P \rightarrow \{\text{QoS 参数地址, SIU 地址, 同步需求地址}\}$$

$T, P, A, M$  的定义和 PN、MPN、TPN 的定义一致。

$D$  中  $d_1$  和  $d_2$  分别表示一个动作之前延迟以及动作的执行时间, $R$  表示各个位置对应媒体类型。 $Y$  表示各个位置对应媒体单元在通信过程中所执行的动作。 $Z$  表示各个位置对应媒体单元相关参数地址。

## 4 动态时间 Petri 网模型 DTPN

OCPN 是一个多媒体同步规范模型,可以描述媒体对象的各种同步关系,但是没有提供与用户交互控制的动态描述能力。在表现多媒体文件时,用户可能修改多媒体文件的表现次序,例如使用倒进、跳

跃、暂停等交互控制动作。B. Prabhakaran 和 S. V. Raghavan 研究了交互控制下表现多媒体文件的需求,提出了一个动态时间 Petri 网模型 DTPN,可以支持典型的用户交互控制动作<sup>[9]</sup>。

DTPN 是一个扩展的 OCPN 模型,可以处理表现多媒体文件时用户的输入动作。为了处理用户交互控制动作,DTPN 引入了中断概念,以便终止 Petri 网的正常执行过程,处理用户的动作。另外,在 Petri 网的每个位置还引入了剩余时间间隔,说明终止 Petri 网正常执行时的精确时间。DTPN 可以形式化地定义为:

$$\begin{aligned} &DTPN = \{T, P, A, D, R, M, C, E\} \\ &T, P, A, D, R, M \text{ 的定义和 PN, MPN, TPN 的定义一致。} \\ &C \subseteq \{P \times T\}; A \cap C = 0 \\ &E, P \rightarrow R \end{aligned}$$

C 是  $\{P \times T\}$  的子集,是出口弧 (escape arcs) 的集合,并且集合 A 和集合 C 不相交。

E 表示位置对应剩余时间间隔, D 表示“正常”播放的时间间隔。最初, D 和 E 具有相同的值。在 DTPN 的图形表示中,有向弧利用箭头表示,出口弧利用点表示。

DTPN 激发规则定义为:

(1) 当一个转移  $t_i$  的每个输入位置包括一个没有锁定的令牌时,转移  $t_i$  立即激发。

(2) 转移  $t_i$  激发时,转移  $t_i$  每个输入位置一个令牌被删除,转移  $t_i$  每个输出位置增加一个令牌。

(3) 一个位置  $P_i$  收到一个令牌后,在指定的间隔  $\tau_i$  内保持活跃,令牌被锁定。当位置  $P_i$  不活跃和超过了预定的间隔  $\tau_i$ ,令牌变为非锁定。

(4) 对于具有出口弧的转移  $t_i$ ,如果  $t_i$  的其它正常输入位置是活跃状态,包含一个锁定令牌,并且至少其中一个出口包含令牌,可以抢先执行转移  $t_i$ 。转移  $t_i$  执行完成后,转移  $t_i$  每个输入位置一个令牌被删除,转移  $t_i$  每个输出位置增加一个令牌。

(5) 一个活跃位置被抢先执行后,要修改该位置的剩余时间间隔,修改的方式和产生中断的类型有关。中断的类型包括以下四种:

① 推迟执行类型。根据已经执行的时间,修改被抢先执行的活跃位置的剩余时间间隔。

② 终止执行类型。剩余时间间隔变成 0。

③ 临时修改执行时间类型。根据用户的动作类型,临时设定被抢先执行的活跃位置剩余时间间隔为一个新值。

④ 永久修改执行时间类型。根据用户的动作类型,设定该位置的时间间隔为一个新值。当该位置活跃时,设定该位置的时间间隔和剩余时间间隔为一

个新值。

## 5 交互式多媒体表现同步模型 IMPSM

在动态时间 Petri 网 (DTPN) 中,作者假定对一个媒体流施加的动作会对所有的并行媒体流产生相同的影响,是一种确定性时态说明的规范方法。IMPSM 模型扩展了 DTPN 模型,即支持受用户交互影响的多媒体同步关系描述 (动态规范),也支持不受用户交互影响的多媒体同步关系描述 (静态规范)。利用 IMPSM 模型,用户可以对个别媒体对象进行控制,从而使得多媒体文件中每个媒体对象既可以按标准的时间表现,也可以具有可变的表现时间。用户的交互控制动作产生的影响还可以传播到其它媒体对象,从而影响其它媒体对象的表现过程。为此,在 IMPSM 模型中包含一种制约机制,在用户交互控制下,始终保持同步关系的全局一致性。IMPSM 根据用户的交互控制需求,以及各个同步点的同步关系,使用不同的布尔条件表达式表示 Petri 网的转移条件,利用激发规则和回溯规则,可以灵活地满足用户交互控制需求。

定义 1 IMPSM 可以形式化地定义为:

$$\begin{aligned} &IMPSM = \{T, P, A, D, R, M, E, C, V, B\} \\ &T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\} \\ &P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_m\} \\ &A = \{T \times P\} \cup \{P \times T\} \rightarrow I, I = \{1, 2, 3, \dots\} \\ &D: P \rightarrow \text{real}, \text{real 为实数} \\ &R: P \rightarrow \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_k\} \\ &M: P \rightarrow I, I = \{0, 1, 2, \dots\} \\ &C \subseteq \{P \times T\}; A \cap C = 0 \\ &E: P \rightarrow \text{real}, \text{real 为实数} \\ &V: OA \rightarrow \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}, \text{其中} \\ &\quad OA = \{a_i = (p, t) \in \{P \times T\} \text{ 并且 } a_i \in C\} \\ &\quad x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \in \{0, 1\} \\ &B: T \rightarrow e \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_k\} \end{aligned}$$

在 IMPSM 中, T 表示转移的集合, P 表示位置的集合, A 表示有向弧的集合, D 表示位置  $p_i$  对应媒体对象表现时间间隔, R 表示位置  $p_i$  对应媒体类型, M 表示位置  $p_i$  的令牌数目, C 是  $\{P \times T\}$  的子集,是出口弧的集合,并且集合 A 和集合 C 不相交。E 表示位置  $p_i$  对应媒体对象剩余的时间间隔, D 表示无用户交互作用条件下,位置  $p_i$  “正常”表现时间间隔,而 E 表示在表现过程中,位置  $p_i$  对应媒体对象剩余的、尚为表现的时间间隔,最初, E 与 D 相等。V 表示各个位置  $p_i$  对应的输出弧,即各个转移  $t_i$  输入弧的标志符,  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$  的初值为 0。B 表示转移  $t_i$  对应的布尔条件表达式,  $e \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_k\}$  是由  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$  组成的布尔条件表达式,表示转移  $t_i$  的条件, k 转移  $t_i$  输入弧的数目。最初,  $e \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_k\} = 0$ 。

定义 2 IMPSM 的激发规则定义如下:

(1) 一个转移  $t_i$  立即激发, 当  $t_i$  的每个输入位置都包含一个可激发状态令牌。

(2) 转移  $t_i$  激发后,  $t_i$  每个输入位置中的令牌被删掉,  $t_i$  的每个输出位置增加一个令牌。

(3) 若一个位置  $p_i$  收到一个令牌后,  $p_i$  保持活跃状态, 令牌被锁定, 直到剩余时间间隔  $(E) \leq 0$ , 令牌变为可激发状态,  $p_i$  输出弧相应布尔变量  $x_i \leftarrow 1$ 。

(4) 如果一个转移  $t_i$  的布尔条件表达式为真, 但某些输入位置不包含令牌或包含锁定状态的令牌, 则执行后向搜索过程。

**定义3** 后向搜索规则定义如下:

(1) 后向搜索过程开始于布尔条件表达式为真的转移  $t_i$  中不包含令牌的输入位置和包含锁定令牌的输入位置。

(2) 在后向搜索过程中, 对于遇到的每一个位置  $p_i$ , 首先修改  $p_i$  的剩余时间间隔  $(E)$  为 0。如果  $p_i$  不包含令牌, 继续后向搜索过程。如果  $p_i$  还包含令牌, 将令牌变成可激发状态, 并且停止该分支的后向搜索过程。

(3) 反复执行规则(1)和规则(2), 直到转移  $t_i$  之前的所有分支的后向搜索过程停止, 后向搜索过程全部结束。转移  $t_i$  完成后向搜索后, 由于  $t_i$  之前的所有令牌均为可激发状态, 所有位置的剩余时间间隔  $(E) \leq 0$ , 根据激发规则,  $t_i$  之前的所有令牌立刻到达  $t_i$  的输入位置,  $t_i$  立即被激发。

根据以上的激发规则和后向搜索规则, 满足下列两个条件之一时, 可以实现转移的激发。

(1) 转移  $t_i$  的每个输入位置全部完成了正常的表现, 即  $t_i$  每个输入位置的令牌均为可激发状态。

(2) 转移  $t_i$  的布尔条件表达式为真, 即满足同步条件。

**定义4** IMPSM 的回溯规则定义如下:

(1) IMPSM 的回溯开始于某个活跃的、并且包含锁定令牌的位置  $p_i$ ,  $p_i$  的令牌状态变成回溯状态, 剩余时间间隔  $E$  恢复初值  $D$ 。

(2) 当转移  $t_i$  的每个输出位置包含一个回溯状态令牌,  $t_i$  被立即回溯,  $t_i$  每个输入弧布尔变量恢复初值 0。

(3) 否则, 若转移  $t_i$  的某个输出位置  $p_i$  包含锁定令牌,  $p_i$  的令牌状态变成回溯状态, 剩余时间间隔  $E$  恢复初值  $D$ ; 若转移  $t_i$  的某个输出位置  $p_k$  不包含令牌, 从  $p_k$  开始前向搜索, 直到到达  $p_k$  之前所有包含锁定令牌的位置, 删除这些令牌, 结束该分支的前向搜索,  $p_k$  增加一个回溯状态令牌。在前向搜索时, 对于遇到的每一个转移  $t_i$ , 都恢复每个输入弧布尔变量的初值 0, 对于遇到的每一个位置  $p_i$ , 剩余时间

隔  $E$  恢复初值  $D$ 。

(4) 转移  $t_i$  被回溯后,  $t_i$  每个输出位置中的令牌被删掉,  $t_i$  的每个输入位置增加一个令牌, 该位置保持活跃状态, 令牌被锁定。

(5) 反复执行规则(1)至(4), 直到到达指定的回溯位置或到达开始位置。

**定义5** IMPSM 开始执行当且仅当 IMPSM 的开始位置注入了一个令牌。

在多媒体表现过程中, 如果没有用户的交互控制动作, 各个媒体对象按照标准时间间隔表现, 只需要执行激发规则, 不需要执行回溯规则, 以及前向搜索过程和后向搜索过程。如果加入了用户的交互控制, 仅执行激发规则是不够的。例如执行前向跳跃动作, 某个媒体对象可能先于其它媒体对象到达同步点, 在满足转移条件的情况下, 利用后向搜索过程, 强制执行转移。如果执行后向跳跃动作, 需要利用回溯规则和前向搜索过程, 维护媒体对象之间同步关系的一致性。

**结束语** 本文介绍了多媒体同步的各种 Petri 网模型, 包括多媒体同步规范模型 OCPN、多媒体通信中同步模型 XOCPN 和动态时间 Petri 网模型 DTPN, 最后重点讨论了交互式多媒体表现同步模型 IMPSM。IMPSM 模型扩展了 DTPN 模型, 既支持受用户交互影响的多媒体同步关系描述, 也支持不受用户交互影响的多媒体同步关系描述。利用 IMPSM 模型, 用户可以灵活地对个别媒体对象进行控制。我们下一步的工作是基于 IMPSM 模型, 开发多媒体文件的创作工具。

#### 参考文献

- [1] 魏铁军、陈俊亮, 分布式多媒体会议系统群同步技术, 通信学报, 近期将发表
- [2] 魏铁军、陈俊亮, Synchronization Support for Distributed Multimedia Communication, 1996 Intl. Symposium On New Transmission & Switching Technologies, Kunming
- [3] Peterson James L., Petri net theory and the modeling of system, Prentice-Hall Inc, 1981
- [4] Little T., Ghafoor A., Synchronization and storage models for multimedia objects, IEEE Journal On SAC, 8(3) 1990
- [5] Woo M. et al., A synchronization framework for communication of pre-orchestrated multimedia information, IEEE NETWORK, 8(1) 1994
- [6] Prabhakaran B., Raghavan S. V., Synchronization model for multimedia with user participation, ACM Multimedia 93 157-166