

文章编号:1002-0411(2004)03-0361-03

分布式多媒体通信中基于缓存数据量控制的 播放端同步控制系统稳定性分析

陈斌^{1,2}, 朱祥华¹

(1. 北京邮电大学继续教育学院, 北京 100876; 2. 珠海香港城市大学研发中心, 广东 珠海 519080)

摘要:本文尝试从控制论的角度来分析多媒体同步控制系统,以得出系统参数间的约束关系.文章应用Routh判据,对一种典型的基于缓存数据量控制的播放端同步控制系统^[1]进行了稳定性分析.通过对系统模型进行量化分析与计算,得出了系统稳定的充要条件,给出了系统参数——同步调整期 L 和平滑因子 α 之间的约束关系.

关键词:分布式多媒体; 播放端同步; 控制论; 稳定性

中图分类号:TP13

文献标识码:B

Stability Analysis of Distributed Multimedia Playout Synchronization Using Buffer Level Control

CHEN Bin^{1,2}, ZHU Xiang-hua¹

(1. Continuing Education School, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;

2. Zhuhai Applied R & D Centes of City University of Hong Kong, Zhuhai 519080, China)

Abstract: This paper analyzes the multimedia synchronization model from the viewpoint of cybernetics to get the relation of system parameters. The stability of a typical buffer-oriented playout synchronization system is analyzed based on Routh criterion. The sufficient and necessary conditions of stability are obtained. The restriction relationship between two important system parameters: synchronization adaption phase L and smoothing factor α is also given.

Keywords: distributed multimedia; playout synchronization; cybernetics; stability

1 简介 (Introduction)

多媒体数据所包含的各种媒体对象并不是相互独立的,媒体内和媒体间存在很强的同步约束关系.只有在同步关系正确时媒体才能正确播放.在分布式多媒体系统中,信源产生的多媒体数据需要经过一段距离的传输才能到达信宿.在传输过程中,由于受到某些因素的影响,多媒体数据的同步关系常常被破坏,从而导致多媒体数据不能正确播放.影响多媒体同步的因素主要包括延时抖动、时钟偏差、多信源时不同的采集起始时间或不同的延时时间、数据丢失、网络传输条件的变化等^[1].为了能在播放端正确播放媒体,人们通常在媒体播放前采用播放端同步控制系统来重建同步关系.

播放端同步控制系统通常包括接收端缓存器和

调度方案.接收到的媒体单元先暂存在接收端缓存器,播放端同步控制系统再按照调度方案进行处理.为实现同步所做的规划常称为调度,调度方案的目标就是尽可能地重建媒体同步关系.接收端缓存器的容量设计十分重要,大的容量能更好地消除延时抖动,但增大了播放延时,容量过小则不满足再同步控制的需要.缓存器的容量通常由端到端最大允许时延、平均延时抖动等多个因素来决定,有关缓存器的详细设计请参阅文[5,6].根据同步控制方法的不同,调度方案可分为基于时间的调度方案和基于缓存数据量控制的调度方案.基于时间的方法通常给每个媒体单元打上一个时间戳,并在接收端通过时间戳来进行再同步调整.基于时间的调度方案控制比较灵敏,反应时间短,但实现起来比较复杂.一些对时延要求严格的应用,如视频会议,通常采用此

种调度方案,文[7]、[8]中有一些典型应用.基于缓存数据量控制的方法是通过观察接收端缓存器中占用情况来进行同步调整.基于缓存数据量控制的调度方案简单易行,但会产生较长的时延.好在这段时

延在绝大多数多媒体应用的最大允许时延范围内,所以基于缓存数据量控制的调度方案应用最为广泛.文[3]、[9]中有一些典型应用.调度方案的具体分类请见图1.

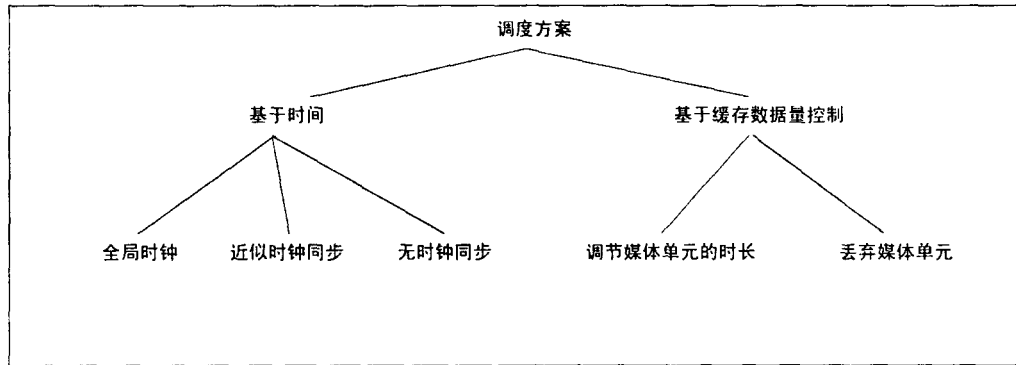


Fig. 1 General classification of scheduling scheme

到目前为止,人们在播放端同步控制系统的设计方面,提出了许多种同步控制系统模型^[6-9].人们在设计这些模型时,通常只从多媒体领域寻找性能指标和系统参数间的约束关系.由于多媒体领域内的同步性能指标不多,一些重要系统参数间的约束关系没法给出.所以通常做法是凭经验给出这些系统参数初值,再通过实验或仿真,不断进行优化,直到系统满足同步控制要求为止.这种做法虽然最后也能得到满意解,但主观随意性大,不能了解参数间的相互约束关系.因此,找出更多有用的性能指标以增加系统参数间的约束关系,将对系统的设计起到优化作用.

其实,如果我们从控制论的观点出发,就会发现大多数多媒体同步控制系统是典型的闭环控制系统.这样,我们就可以引入控制论的经典理论来分析多媒体同步控制系统.稳定性是控制系统的最基本指标之一,本文就通过对一种使用比较广泛的、由 Kurt Rothermel 和 Tobias Helbig 提出的基于缓存数据量控制的播放端同步控制系统模型^[3]进行稳定性分析,从而得出一些系统参数间的约束关系.

2 播放端同步控制系统模型 (The model of playout synchronization control system)

Kurt Rothermel 和 Tobias Helbig 在文[3]里提出了一种典型基于缓存数据量控制的播放端同步控制系统模型,图2是其系统框图.

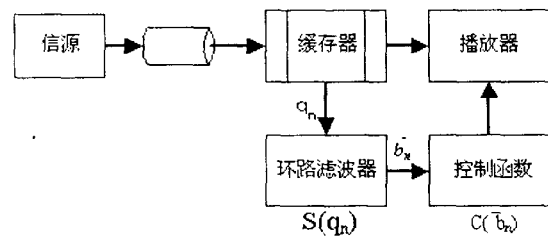


图2 系统模型框图

Fig. 2 System model

该系统在接收端形成一个控制环路.信源产生一个固定速率的媒体数据流,经传输线路传到信宿端的缓存器.系统定期检查缓存器的占用情况,如果缓存器占用量低于或高出正常区域,则通过调节播放速率,使之回到正常区域.为了便于发现缓存器的异常占用情况,Rothermel 和 Helbig^[3]引入了占用水印(occupancy watermark)概念.他们根据同步需求和允许时延在播放端缓存器中定义一段正常区域,这个区域的下限为下水印(lower water mark),上限为上水印(upper water mark).图3为该缓存器模型.

下面具体讨论如何实现同步动作.设 n 时刻的缓存数据量为 q_n ,通过环路滤波器 $S(q_n)$ 得到平滑后的缓存数据量 \bar{b}_n .环路滤波器通常采用以下的几何加权平滑函数^[3,9]:

$$\bar{b}_n = S(q_n) = a * \bar{b}_{n-1} + (1 - a)q_n \quad (1)$$

其中 $a \in [0, 1]$ 为平滑因子. 环路滤波器的作用是把由短期延时抖动而引起的缓存数据量的波动平滑掉, 这样只有由时钟漂移、网络传输条件改变等因素导致的长期缓存量变化才能触发控制函数的工作. 平滑因子 a 的取值十分重要, 其数值直接影响环路滤波器的灵敏度. 如果 a 过大, 同步的控制机制启动太慢, 可能导致缓存器变空或溢出; 如果 a 过小, 则会频繁启动同步机制.

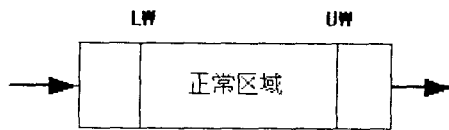


图3 接收端缓存器模型

Fig. 3 Watermark buffer model

控制函数决定是否启动再同步机制. 它将 \bar{b}_n 与预先设定的占用水印相比较, 如果 $\bar{b}_n > UW$ 或 $\bar{b}_n < LW$, 则分别表示缓存器有溢出或变空的危险, 必须启动再同步机制. 这时信宿按下式调整自己的播放速率:

$$R_0 = R(1 + R_c) \quad (2)$$

$$R_c = \frac{\bar{b}_n - [LW + (UW - LW)/2]}{L} \quad (3)$$

其中 R 为正常播放速率, L 为同步的调整期. 在调整期 L 结束时, 控制函数检查 \bar{b}_n 是否回到正常水平, 如果是, 则将 R_0 恢复到 R ; 如果 \bar{b}_n 仍在正常区域之外, 再进行一个再同步调整期.

3 系统稳定性分析 (Stability analysis)

当系统进入再同步调整期时, 形成了一个典型的完整闭环控制系统. 此时控制函数为 1, 分析时可略去. 根据上述的系统模型, 可得出下式:

$$R' = R_{in} + \frac{q_n - q_{n-1}}{\tau} \quad (4)$$

R_{in} 为 n 时刻缓存器输入速率, τ 为单位采样时间.

把式(1)代入式(4), 可得出:

$$q_n = \frac{\bar{b}_n - a \times \bar{b}_{n-1}}{1 - a} \quad (5)$$

将式(2)、(3)和(5)代入式(4), 得出下式:

$$\left(\frac{R}{L} - M\right) \times \bar{b}_n + (1 + a) \times M \times \bar{b}_{n-1} - a \times M \times \bar{b}_{n-2} = R_{in} - c \quad (6)$$

其中, $M = \frac{1}{(1-a) \times \tau}$, $c = R - \frac{R}{L} \times [LW + \frac{UW - LW}{2}]$.

式(6)是一个二阶差分方程, 利用 Z 变换, 可得出其特征方程:

$$D(z) = \left(\frac{R}{L} - M\right) \times z^2 + (1 + a) \times M \times z - a \times M = 0 \quad (7)$$

为应用劳斯判据, 引入 W 变换. 令 $z = \frac{w+1}{w-1}$,

式(7)变为:

$$\frac{R}{L} \times w^2 + 2 \times \left(\frac{R}{L} - M + a \times M\right) \times w + \frac{R}{L} - 2 \times M - 2 \times a \times M = 0 \quad (8)$$

建立劳斯表得:

$$\begin{array}{r} w^2 \quad \frac{R}{L} \quad \frac{R}{L} - 2 \times M - 2 \times a \times M \quad 0 \\ w \quad 2 \times \left(\frac{R}{L} - M + a \times M\right) \quad 0 \\ w^0 \quad \frac{R}{L} - 2 \times M - 2 \times a \times M \end{array}$$

根据劳斯稳定判据^[2], 该系统稳定的充分必要条件是:

$$\frac{R}{L} > 0 \quad 2 \times \left(\frac{R}{L} - M + a \times M\right) > 0$$

$$\frac{R}{L} - 2 \times M - 2 \times a \times M > 0$$

将 $M = \frac{1}{(1-a) \times \tau}$ 代入上式, 可得:

$$\frac{R}{L} > 0 \quad \frac{R}{L} > \frac{1}{\tau} \quad \frac{R}{L} > \frac{2 + 2 \times a}{1 - a} \times \frac{1}{\tau}$$

由于 $a \geq 0$, 所以系统稳定的充要条件是:

$$\frac{R}{L} > \frac{2 + 2 \times a}{1 - a} \times \frac{1}{\tau} \quad (9)$$

对于一个实际的多媒体通信系统, 正常播放速率 R 和单位采样时间 τ 通常是已给定的, 而参数 L 和 a 则通常由设计者凭经验独立给出, 未考虑其之间的相关性. 由式(9)可知, 只有当 L 和 a 的取值满足一定的约束条件时, 该系统才是一个稳定系统. 因此, 式(9)可作为系统设计时的一个参考条件.

4 结束语 (Conclusion)

稳定性是控制系统的一项最基本指标. 本文尝试将现代控制理论引入到多媒体通信领域, 对多媒体通信系统

(下转第 368 页)