

# 多媒体同步中 QoS 到 QoP 的模糊映射\*

孙文彦, 熊璋, 龚声蓉

(北京航空航天大学 计算机科学与工程系, 北京 100083)

E-mail: sun@601.buaa.edu.cn

http://601.buaa.edu.cn

**摘要:** 针对多媒体实时传输的质量要求, 提出了同步 QoS 映射器的思想, 即通过建立 QoS (quality of service) 到 QoP (quality of presentation) 的模糊映射, 从感知的角度为分布式多媒体提供同步质量的度量工具. 从分析 Ralf Steinmetz 博士的感知实验出发, 提出了构造同步 QoP 映射器的算法. 此算法以拟合感知困惑曲线为基础, 通过提取模糊隶属度函数来实现 QoS 到 QoP 的模糊映射. 在此基础上, 给出了将此模糊 QoP 映射器应用于实时媒体传输的同步时间模型的实例. 实例以模糊 QoP 映射器的模糊隶属度函数作为模糊控制机制的条件来控制同步语义的变迁, 以实现媒体同步质量的调整.

**关键词:** 分布式系统; 多媒体同步; 模糊映射; QoS (quality of service); QoP (quality of presentation)

**中图分类号:** TP311 **文献标识码:** A

多媒体是在不同应用环境中对文本、图像、声音和视频等各种媒体的集成. 在这些媒体中, 有些与时间密切相关, 在采样和回放时需要以时间为参照系进行有序的组织, 这称为时基媒体, 如动态的音频和视频. 另外的一些媒体如文本、静态图像(幻灯)对时间的要求则不是很严格, 称为非时基媒体. 组织时基的、非时基的多种媒体序列以达到某种表现效果的任务, 称为多媒体的同步.

当远程播放视/音频序列时, 用户需要的是连续的图像和声音, 声音与图像之间的一致, 即媒体内的同步和媒体间的同步. 设计人员要满足用户的需要, 最大限度地避免媒体播放中出现的脉冲干扰、抖动、首像的不匹配等异步现象. 这就需要在整个分布式多媒体系统范围内设置、预测和维护服务质量 (quality of service, 简称 QoS). 同时, 也需要根据实际的媒体质量要求与环境, 制定适当的媒体质量调整机制, 对表现质量 (quality of presentation, 简称 QoP) 进行设计与维护.

目前, 研究人员在 QoS 方面已做了大量的工作<sup>[1]</sup>. 在感知、用户需要的建模、资源管理、网络时序安排等方面都进行了相关的研究. QoS 的说明已从诸如“低”延迟、“高”吞吐量 and “高”可靠性这样一些说明发展为结构化的描述, QoS 结构已不再只限于诸如分布式系统平台、操作系统、传输子系统和网络层等独立结构层次的工作, 而是考虑了多媒体通信的整个端到端的支持的结构化描述. 如 Heidelberg QoS 模型, QoS-A, QoS broker, OSI 的 QoS 框架等<sup>[2]</sup>.

在感知研究领域, Ralf Steinmetz 博士进行了一系列的感知实验, 总结了多种媒体之间的可容忍时滞(偏移)区间, 并对唇同步和指针同步进行了实验分析<sup>[3]</sup>. Aptekar 等人描述了动态 QoS 中由帧率的改变而引起的感知影响, 以及在无影响音频质量的条件下, 用户对视频帧率下降的反应的实验测试<sup>[1]</sup>.

上述工作的不足之处是: 没有对 QoP 进行细致的量化, 而只提取了基本的感知可接受区间, 因而丢失了

\* 收稿日期: 1999-06-16; 修改日期: 1999-09-15

基金项目: 国家教育部跨世纪人才计划资助项目; 国防预研基金资助项目(4. 3. 1. 1); 航空基础科学基金资助项目(09F51057)

作者简介: 孙文彦(1973-), 女, 山西大同人, 硕士生, 主要研究领域为多媒体技术, 模式识别; 熊璋(1955-), 男, 湖北武汉人, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为多媒体技术, 信息系统; 龚声蓉(1966-), 男, 湖北天门人, 讲师, 主要研究领域为多媒体技术, 模式识别.

些可以利用的感知区间;没有能够很好地利用实验数据,建立 QoP 与 QoS 之间的关系,因而不能从感知的角度提供媒体质量的度量工具,使得分布式多媒体系统的媒体质量调整无据可依。

针对以上不足,从研究多媒体同步的角度出发,本文提出了 QoS 到 QoP 模糊映射的思想,并从实验分析的角度出发,提出了通过构造模糊隶属度函数来实现 QoS 到 QoP 的映射量化的方案,同时,本文还通过 QoP 模糊映射器在多媒体同步时间模型中的具体应用,说明模糊 QoP 映射器对于分布式多媒体实时传输的同步质量调整的重要意义。

## 1 同步 QoP 映射器的思想

### 1.1 从 QoS 到 QoP

QoP 为多媒体的表现质量,一般可用媒体表现的感知质量,即用户的满意程度(或困惑程度)来表示。在多媒体同步中表现为对于媒体同步质量的满意程度(或困惑程度)。QoP 与视频、音频质量和视频、音频同步质量有关,即与视频、音频设备及捕获、压缩、演播方式有关,媒体采样率、压缩比、演播设备的性能等直接影响媒体的质量,分布式环境中的网络延迟和终端缓冲设置直接影响媒体质量、媒体同步质量。QoP 也与用户有关,从事有关视频/音频工作的专业人员对于媒体表现中的异步现象比较敏感,对 QoP 的要求要比一般用户要高。

对于 QoS<sup>[1]</sup>从广义的角度进行分析,实际应用的实时性和可靠性都要求精确的 QoS 描述,从远端的服务器、网络到传输节点,无处不涉及到 QoS 的精确描述。在狭义的角度上可理解为用户主机与网络系统之间协商的一些服务参数,如传输层中连接建立延迟、吞吐量、传输延迟、优先级等。

从媒体对象本身而言,单媒体对象的 QoS 描述涉及到单媒体对象逻辑数据单元(logical data unit,简称 LDU)的质量,多个媒体对象的相关媒体对象间要考虑相关数据流中可接受的偏移。在实际的分布式环境中用于连续性和同步描述的 QoS 参数包括平均帧率及其偏差、帧丢失的总计和突发丢失、定时误差、失真率等。

比较 QoS 和 QoP 不难发现,虽然前者多涉及到网络环境的描述,后者是感知的概念,但是两者之间存在着某种必然的关联,即都与媒体质量及媒体同步质量密切相关。具体而言,在实际的分布式多媒体系统中, QoP 反映的是用户对于媒体质量、媒体同步质量的满意程度,而媒体质量、媒体同步质量往往是由 QoS 参数来描述的,如上所述的平均帧率及其偏差等。因此,媒体同步的 QoP 与 QoS 有必然的联系,一定的 QoS 描述对应于一定的 QoP(不考虑用户的差异)。如何建立这两者之间的联系,将感知域分析与网络环境描述相关联,就是本文提出构造同步 QoP 映射器,实现 QoS 到 QoP 的模糊映射的动机。

### 1.2 同步 QoP 映射器的构造原理

同步 QoP 映射器实际上是一种通过 QoS 到 QoP 的模糊映射,从感知的角度为分布式多媒体应用提供同步质量的度量工具。对于观众而言,音/视频同步的最重要、也是最明显的可感知指标是“唇”同步。由于人的感知是无法以一定的精确量化数值来代替的,因此需要引入模糊值,以模糊映射来实现。

本节从 Steinmetz 感知实验分析出发,阐述同步 QoP 映射器的构造原理。

Ralf Steinmetz 博士从 20 世纪 80 年代起就致力于多媒体的研究,有着多年的网络多媒体研究经验,与 Kalara Nahrstedt 合著的《Multimedia: Computing, Communication & Applications》于 1995 年由 Prentice Hall 出版,成为广泛采用的大学教材。Steinmetz 博士有关感知的实验结论已被分布式多媒体系统的研究设计人员广泛接受,并作为系统中媒体同步设计的基础。因此,我们也利用 Steinmetz 博士的感知实验作为我们的研究基础。



Fig. 1 Three views (head, shoulder, body)

图 1 3 幅场景图(头部,肩以上,整个身体)

在 Ralf Steinmetz 博士的实验中<sup>[3]</sup>,Steinmetz 选择 TV 新环境中的一个演说者的 3 种不同的整个场景:头部(head)、肩以上(shoulder)和整个身体(body)(如图 1 所示),对唇同步进行了 3 组不同视频音频信号的实验。自然,前两个场景对同步的要求比后者要高。每个实验大约持续 45 分钟,实验人为 107 个。实验以 40ms 为间隔,引入一定的偏差,咨询实验人的对于异步现象的印象。实验结果以实验人对异步偏差的困惑程度(百分比)来表示,分为 acceptable(可接受的),indifferent(不关心的),annoying(困惑的)3 种。实验结果是:偏移[-80,80]之内可接受,[-160,160]之外不可接受。

以 Shoulder 实验的结果为例,如图 2 所示。

Steinmetz 通过[-320,320]之内-320~320 这 17 个偏差点的感知困惑值的分析,得出了[-80,80]内可接受,[-160,160]外则不可接受这一实验结论。其实验结论可用简单的函数来描述。

$$g(x) = \begin{cases} 1, & -80 \leq x \leq 80 \\ 0, & x \leq -160 \text{ 或 } x \geq 160 \end{cases}$$

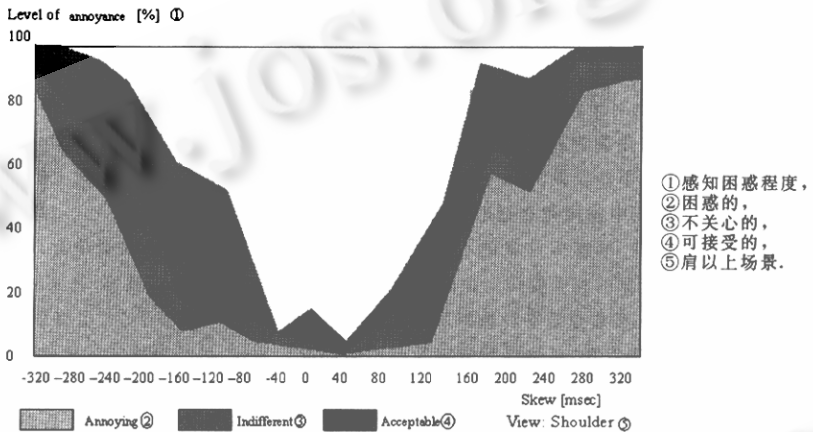


Fig. 2 Level of annoyance at shoulder view  
图 2 Shoulder 实验的感知困惑图

假设区间[-120,-80]与[80,120]其感知困惑程度在模糊值 0.5 上下,那么此部分的偏差在一定的感知程度上是可以接受的。从图 2 中所示的 shoulder 实验可见,这一部分区间的感知困惑值小于 0.5,而 Steinmetz 丢弃了此区间,因而丢失了大量的信息。

在此实验的基础上作进一步的分析。我们认为,可以从实验数据中提取同步的感知困惑程度曲线,并以此为基础构造模糊隶属度函数,实现一定的 QoS(这里为偏差)对应的 QoP(这里为感知困惑程度)的映射。

因此,在已有研究与实验的基础上,我们的研究可以集中在提取感知曲线上,并以此设计同步偏移的模糊隶属度函数,实现 QoS 到 QoP 的模糊映射。

## 2 QoS 到 QoP 的模糊映射算法

根据第 1.2 节的实验分析,我们认为,可以用曲线拟合的方法来拟合感知困惑曲线,若方法选用的适当,拟合的感知平滑曲线能够在一定程度上反映一定区间内感知的实际情况;由于感知曲线已是模糊化的表示,可以作为构造 QoS 到 QoP 模糊映射的模糊隶属度函数的基础;模糊隶属度函数正是反映模糊映射的基本内容。基于这种思想,我们设计了同步 QoP 模糊映射算法。此算法分为以下几步:实验数据的选择;感知曲线的提取;模糊隶属度函数的生成。

### 2.1 实验数据的选择

基于 Steinmetz 的实验结论,对可接受域进行分析,选择[-160,160]内的 9 个点作为实验的基本数据,对[-160,160]之外的情况不加处理。每个点对应于两个感知困惑值,得到一组实验数据。

2.2 感知曲线的提取

采用二次函数拟合的方法来拟合感知“困惑”曲线. 这是根据曲线的形状来选择的.

$$f(x) = a + bx + cx^2, \quad 0 \leq f(x) \leq 1,$$

$X$  为偏差(以 ms 为单位),  $f(x)$  表示偏差  $x$  对应的困惑程度(以模糊值表示). 对每幅图像分别得到两条平滑曲线(模糊最大和模糊最小).

原曲线与拟合曲线的比较如图 3 所示, 图中的折线为从 Steinmetz 实验中得到的原曲线, 平滑曲线为拟合曲线. 3 组拟合曲线如图 4 所示, 从 3 组曲线中提取的参数见表 1.

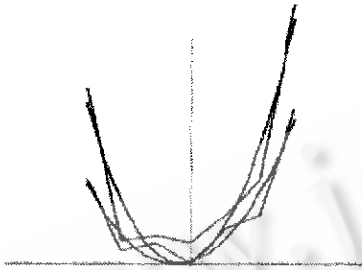


Fig. 3 Approximating curves comparison of head view  
图 3 Head 的拟合比较图



Fig. 4 Three groups of approximating curves  
图 4 3 组拟合曲线

Table 1 Three groups of approximating curves parameters  
表 1 3 组拟合曲线参数

$f_{max}/f_{min}$	$a$	$b$	$c$
Head <sup>①</sup>	0.011 309 5/0.008 333 3	0.001 250 0/0.000 937 5	0.000 049 2/0.000 027 1
Shoulder <sup>②</sup>	0.052 380 9/0.044 047 6	0.000 122 7/-1.999 821 4	0.000 031 1/0.000 006 5
Body <sup>③</sup>	0.177 976 1/0.025 595 2	0.000 133 9/ 1.999 466 6	0.000 009 8/0.000 007 4

①头部, ②肩以上, ③整个身体.

2.3 模糊隶属度函数的生成

第 2.2 节中提取的 3 组曲线分别代表 3 种场景, 三者对同步质量的要求不同, Head 的同步要求最高, Shoulder 次之. 需要采取适当的方法从三者中选择出模糊隶属度函数.

这里, 我们设计了 3 种方案.

方案 1. 3 组曲线的加权和:

$$f_{result}(t) = w_1 f_{17}(t) + w_2 f_{18}(t) + w_3 f_{19}(t).$$

方案 2. 取 3 组曲线的并:

$$f_{min}(t) = \min(f_{17min}(t), f_{18min}(t), f_{19min}(t)), \quad f_{max}(t) = \max(f_{17max}(t), f_{18max}(t), f_{19max}(t)).$$

方案 3. 取 3 组曲线的交:

$$f_{min}(t) = \max(f_{17min}(t), f_{18min}(t), f_{19min}(t)), \quad f_{max}(t) = \min(f_{17max}(t), f_{18max}(t), f_{19max}(t)).$$

至此, 我们得到了 3 种不同的方案. 其中, 方案 1 需根据具体实验设置相关的权重系数, 方案 2 适合于同步质量要求较高的应用, 方案 3 适合同步质量要求相对较低的应用.

3 同步 QoP 映射器在实时媒体同步中的应用

3.1 同步时间模型 TSPN

常用的媒体同步的时间模型是 Petri 网、扩展对象合成 Petri 网(object composite petri net, 简称 OCPN)以及时间流 Petri 网(time stream petri net, 简称 TSPN)<sup>[4]</sup>.

TSPN 的定义为一个八元组<sup>[4]</sup>:

$$C_{TSPN} = (P, T, B, F, M_0, IM, SYM, MA).$$

其中  $P$  是位置集,  $T$  是变迁集,  $B$  和  $F$  分别定义位置到变迁、变迁到位置之间的后向、前向的相关函数,  $M_0$  是 Petri 网的初始标记.  $(P, T, B, F, M_0)$  是 Petri 网的定义.

$IM$  为位置持续时间映射. 假设定义  $A = \{a = (p, t) \in P \times T \setminus B(p, t) \neq 0\}$ ,

$IM: A \rightarrow (Q^+ \cup \infty) \times (Q^+ \cup \infty) \times (Q^+ \cup \infty)$  且  $IM(a_i) = (x_i, n_i, y_i), 0 \leq x_i \leq n_i \leq y_i$ ,

这里,  $x$  代表最短持续时间,  $n$  代表正常持续时间,  $y$  代表最长持续时间.

$SYN$  为变迁的同步语义, TSPN 中定义了 9 种同步语义, 用于区分不同的变迁触发规则.

$T \rightarrow \{or, strong-or, and, weak-and, master, or-master, and-master, weak-master, strong-master\}$

$MA$  定义主类型 (master) 变迁与其相关的弧线的映射.

$MA: T \rightarrow A$

$\forall t_i \in T / SYN(t_i) \in \{master, and-master, or-master, weak-master, strong-master\}$ ,

$\exists a \in A, \dagger MA(t_i) = a$ , 这里  $A_i = \{(p_k, t_k) \in A\}$ .

TSPN 中 9 种同步语义的变迁规则如下:

if  $(SYN(t_n) = and)$

then  $[MIN_n, MAX_n] = [\max_i(x_i), \max(\min_i(y_i), \max(x_i))] ]$

if  $((SYN(t_n) = master) \wedge (MA(t_n) = a_m))$

then  $[MIN_n, MAX_n] = [x_m, y_m]$

if  $(SYN(t_n) = weak-and)$

then  $[MIN_n, MAX_n] = [\max_i(x_i), \max(y_i)]$

if  $((SYN(t_n) = or-master) \wedge (MA(t_n) = a_m))$

then  $[MIN_n, MAX_n] = [\min_i(x_i), y_m]$

if  $(SYN(t_n) = strong-or)$

then  $[MIN_n, MAX_n] = [\min_i(x_i), \min_i(y_i)]$

if  $(SYN(t_n) = or)$

then  $[MIN_n, MAX_n] = [\min_i(x_i), \max(y_i)]$

if  $(SYN(t_n) = and-master) \wedge (MA(t_n) = a_m)$

then  $[MIN_n, MAX_n] = [\max(x_i), \max(y_m, \max(x_i))] ]$

if  $(SYN(t_n) = weak-master) \wedge (MA(t_n) = a_m)$

then  $[MIN_n, MAX_n] = [x_m, \max(y_i)]$

if  $(SYN(t_n) = strong-master) \wedge (MA(t_n) = a_m)$

then  $[MIN_n, MAX_n] = [x_m, \max(\min(y_i), x_m)]$

### 3.2 同步语义的转移及模糊控制规则

在这 9 种同步语义中, 我们根据同步关系由强至弱的变化、变迁持续时间间隔的变化, 构造了一个状态转移图. 图 5 中的实线段代表同步语义变化中改变的是最大时限  $y$ , 虚线段代表改变的是最小时限  $x$ .

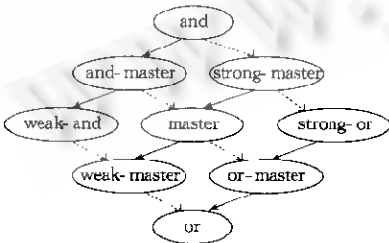


Fig. 5 State transition of synchronization semantics  
图 5 同步语义状态转移图

利用同步语义的状态转移图, 我们可以在同步发生异常情况时采用适当降级的方式, 在一定程度上避免由于单纯的丢帧处理而造成的异步, 本质上是一个同步质量调整的过程.

同步语义的调整需采用一定的模糊控制机制, QcP 模糊映射器的模糊隶属度函数反映的是同步质量的可容忍程度, 在此可用作同步语义调整的模糊控制条件.

同步语义下调的控制规则如下:

```

if  $([MIN_n, MAX_n] = \Phi)$  /* 表示不满足此同步语义的条件 */
{
  if  $f_{max}(skew) < \sigma_1$ 
  {

```

```

    if  $f_{min}(skew) < \sigma_2$ 
        同步语义调整 1;      /* 较大的同步语义调整 */
    else
        同步语义调整 2;      /* 较小的同步语义调整 */
    }
else
    进行异步处理;
}

```

同步语义的调整依据同步状态转移图,两个阈值  $\sigma_1, \sigma_2$  需通过实验来确定。

利用模糊 QoP 映射器生成模糊控制规则来控制同步语义的状态转移,为媒体同步质量的调整提供了感知量化的工具,使得实时多媒体传输的同步质量可在感知可容忍的范围内分层进行调整。

## 4 结 论

当远程播放视/音频序列时,要提供给用户同步的媒体信号,需要在整个分布式多媒体系统中设置、预测和维护 QoS,同时也需要根据媒体质量的要求与环境,制定适当的媒体质量调整机制,对 QoP 进行设计与维护,本文提出的同步 QoP 映射器基于感知实验的分析,在 QoS 与 QoP 之间建立了反映同步质量满意程度(困惑程度)的模糊映射,为实时媒体传输提供了同步质量评估的工具,并且是构造同步质量调整的控制规则的基础。因此,模糊 QoP 映射器的实现对于分布式多媒体系统的媒体质量控制具有重要的意义。

## References:

- [1] Wijesekera, D., Srivastava, J. Quality of service (QoS) metrics for continuous media. *Multimedia Tools and Applications*, 1996, 3(2):127~166.
- [2] Aurrecochea, C., Campell, A. T., Hauw, L. A survey of QoS architectures. *Multimedia Systems*, 1998, 6(6):138~151.
- [3] Steinmetz, R. Human perception of jitter and media synchronization. *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, 1996, 14(1):61~72.
- [4] Senac, P., Leger, A., de Saqui-Sannes, P. Modeling logical and temporal synchronization in hypermedia systems. *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, 1996, 14(1):84~103.

## Fuzzy Mapping of QoS to QoP in Multimedia Synchronization

SUN Wen-yan, XIONG Zhang, GONG Sheng-rong

(Department of Computer Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100084, China)

E-mail: sun@601.buaa.edu.cn

http://www.601.buaa.edu.cn

Received June 16, 1999; accepted September 15, 1999

**Abstract:** In this paper, a synchronization QoP (quality of presentation) mapping concept is proposed for meeting the quality requirement of multimedia real-time transmission. The essence of this idea is to create a tool to measure the synchronization quality for distributed multimedia systems from the viewpoint of perceptive field through building the fuzzy mapping from QoS (quality of service) to QoP. Based on Dr. Ralf Steinmetz's perception experiment, the algorithm to construct the synchronization QoP mapping is proposed. This algorithm is based on approximating perceptual annoying curves. By extracting the fuzzy membership functions, it implements the fuzzy mapping from QoS to QoP. With this algorithm, the paradigm which applies the fuzzy QoP mapping to time model of multimedia synchronization in real-time multimedia communication is also presented. Using the fuzzy membership function of fuzzy QoP mapping as conditions of fuzzy control mechanism, the transition of synchronization semantics can be controlled to adjust the quality of media synchronization.

**Key words:** distributed system; multimedia synchronization; fuzzy mapping; QoS (quality of service); QoP (quality of presentation)