

基于用户感受质量的流媒体服务器 VCR 功能实现方法

许书彬 王子磊 奚宏生

(中国科学技术大学网络传播系统与控制联合实验室 网络传播系统与控制安徽省重点实验室, 合肥 230027)

摘要 视频点播中的 VCR 操作对网络带宽的高负载是实际 VOD 系统需要解决的一个关键问题。为此,基于帧率对用户感受质量影响的分析,提出了一种基于帧率与帧位置联合调整的 VCR 实现算法。该算法在提出的 VCR 操作模型中,对快进快退操作增加了带宽与时间约束条件,并在 MPEG 双向流的基础上,通过调整帧率与播放帧的位置来满足约束条件。实验结果表明,该算法能够在保持较好的用户感受质量下,有效降低了 VCR 操作对网络带宽的需求。与 MPEG 双向流算法相比,该算法需要的网络带宽为影片的平均码率的 90% 左右,且已成功应用于上海高性能宽带网络(863)IPTV 示范系统中。

关键词 视频点播 VCR 操作 用户感受质量 MPEG 双向流

中图法分类号: TN919. 8, TN948. 64 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)11-2276-08

Quality of Perception Based VCR-functionality Implementation on Video Streaming Server

XU Shu-bin, WANG Zi-lei, XI Hong-sheng

(Joint Laboratory of Network Communication System and Control, Anhui key Laboratory of Network
Communication System and Control, Hefei 230027)

Abstract Due to high bandwidth resource requirement, how to support the digital video cassette recorder (VCR) functionality is a key problem in practical video on demand (VOD) systems. Based on the investigation of the impact of the frame rate on quality of perception (QoP), an effective algorithm which selects frames by cooperatively adjusting the frame rate and position is proposed. The proposed algorithm presents a VCR operation model, and adds two constraints conditions to the fast forward and fast backward operations: bandwidth requirement and time limit. Based on MPEG dual-stream, the algorithm meets two constraint conditions by adjusting the frame rate and the frame's position which would be displayed. Simulation results show that the proposed algorithm can effectively reduce the network bandwidth requirement of the VCR operation, while keeping good QoP. The proposed algorithm outperforms the dual bit-stream algorithm, which only needs about 90 percent of the mean bit-rate bandwidth. The method was already successfully deployed in Shanghai national high-tech research and development plan (863) IPTV systems.

Keywords video on demand (VOD), video cassette recorder (VCR), quality of perception (QoP), MPEG dual bit-stream

基金项目:国家自然科学基金项目(60774038);国家高技术研究发展计划(863)基金项目(2006AA01Z114,2007AA01Z235)

收稿日期:2008-06-02;改回日期:2008-10-20

第一作者简介:许书彬(1981~),男。中国科学技术大学自动化系博士研究生。主要研究方向为流媒体码率控制及其在集群系统中的应用。E-mail:xushb@mail.ustc.edu.cn

1 引言

随着近几年计算机与宽带网络的发展,视频应用已经成为现代多媒体通信的主要组成部分,如交互电视、视频点播、视频会议等。得益于视频编码标准(MPEG-4, H. 264)、宽带接入网络、数字电视机顶盒等的发展,作为流媒体技术代表的视频点播业务迅速进入了家庭用户,但是其高带宽的要求^[1]却导致了其在实际应用中仍然是多媒体服务的主要瓶颈,研究者们针对这些问题展开了广泛的研究^[2]。

面向用户提供完整的 VCR (video cassette recorder) 操作等交互控制能力是新一代视频点播服务的发展趋势,它通常包括快进、快退、暂停、倒退、跳转等操作。在广泛应用的 MPEG 编码中,基于运动矢量估计与补偿,形成了 I-P-B 的编码帧结构,其中 I 帧采用可单独解码的帧内编码, P 帧采用矢量补偿与预测技术,解码时则依赖于前一 I 或 P 编码帧,而 B 帧则同时依赖于其前后两个 I 或 P 编码帧,从而形成了包含 I, P, B 帧的图像组 (group of picture, GOP)^[3]。在 VCR 操作中,为了解码某一个 P 帧或 B 帧,需要额外多传输 m 帧数据,如果要保持终端播放的帧率不变,则 VCR 操作就会极大地增加网络带宽的占用率及终端的解码复杂度^[4]。

为了降低 VCR 操作的带宽需求,不同的研究者提出了各自的解决方案^[4-7]。Chen 等人在客户端将接收到的非关键帧转换为关键帧,并存储于本地硬盘,以支持用户的 VCR 操作^[5],但其对客户端的高缓存要求,使其难以在实际中应用。Jae-Hong 等人基于图像组 (GOP) 间的帧选择方法,提出了一种动态传输规划算法^[6],但也只获得部分 VCR 功能。Huang 等人通过重组编码帧之间的依赖关系,降低了 VCR 操作时需要传输的冗余帧数目^[7],然而,由于其违反了 MPEG 标准的帧顺序,从而导致了编码效率与图像质量的降低。Lin 等人通过引入一条反向视频流,并根据最小解码距离代价准则,将 VCR 操作时解码帧需要传输的冗余帧的平均数目降到了 2.71^[8],但是其对网络带宽的占用率仍然较高(约为正常播放的平均码率的 3 倍),并增加了 RCBP (renegotiated constant bit rate service)^[9] 类带宽资源管理方法的复杂度,难于在峰值码率带宽管理分配方法中^[10] 应用。

针对 VCR 操作对网络带宽的高占用率问题,本

文基于双向视频流(简称双向流)的 VCR 方法,并结合在工程中的实践,提出了一种基于帧率与帧位置联合调节的改进算法,将用户的 VCR 操作对网络带宽的占用率降到了影片正常播放的平均码率的 90% 左右,并保持了较好的用户感受质量 (quality of perception, QoP)。

2 VCR 模型

在一个视频点播系统中,应该向用户提供 VCR 功能,以便于用户能够快速地浏览媒体内容的任意部分就显得至关重要。在 VCR 操作中,暂停、播放、跳转、倒播操作的实现方法已经得到了广泛研究,并获得了良好效果^[8],而快进、快退操作却由于其较高的资源占用率而对实现方法提出了挑战。由于本文是基于双向流的方法来研究 VCR 操作,而在双向流中,快进、快退操作是类似的^[11],因此本文以快进操作为例(快退类似)来分析 VCR 操作对用户以及系统资源的影响。

用户选择快进操作的目的是为了快速地浏览一段时间内的视频内容,直到其感兴趣的位置为止^[12]。假设 R 为影片帧率 (fps), 快进倍速为 k , 通常的快进操作的实现方法是每隔 k 帧向用户显示一幅图像,同时保持帧率不变,并应用各种算法来减少为了显示这些帧所带来的对网络带宽等资源的消耗。但是由于 MPEG 编码中,为了提高编码效率,通常 P 帧的数目远远大于 I 帧的数目,而为了解码 P 帧,则必须发送一个 I 帧与若干个 P 帧,因此在保持帧率不变的情况下,几乎不可能将进行快进操作的网络带宽资源需求降低到正常播放的水平上去^[13]。针对以上问题,本文首先给出了快进操作的精确定义,并提出了一种快进操作的问题模型。

快进操作:假设用户开始进行快进操作时,与起始帧对应的显示时间是 t_s , 结束快进操作时与结束帧对应的显示时间是 t_e , 快进倍速为 k , 则用户希望在 $(t_e - t_s)/k$ 时间内浏览完 $(t_e - t_s)$ 这一段时间的视频,并了解这一段时间的视频内容。

设 $F = \{F_1, F_2, F_3, \dots, F_M\}$ 为影片的帧序列, M 为总的帧数, N 为 GOP 的大小, $D = \{D_1, D_2, D_3, \dots, D_{d(k)}\}$ 为在快进倍速 k 下需要向用户显示的帧序列的帧号列表, 即第 D_i 帧 F_{D_i} 需要向用户显示。 $d(k)$ 为在快进倍速 k 下需要显示的总帧数, Δt_i 为第 D_i 帧 F_{D_i} 与第 D_{i-1} 帧 $F_{D_{i-1}}$ 之间的时间差。 $G = \{G_1,$

$G_2, G_3, \dots, G_{d(k)}\}$, 其中 G_i 表示为了显示第 D_i 帧 F_{D_i} , 服务器必须发送给解码器的数据总和。假设用户开始视频点播时, 服务器为其分配的信道最大带宽为 B , 则本文的目的就是设计视频序列 D 与 G , 使其满足下列约束条件:

$$\frac{G_i}{\Delta t_i} \leq B \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{d(k)} \Delta t_i = \frac{t_e - t_s}{k} \quad (2)$$

式(1)表示进行快进操作时, 发送数据必须满足的带宽约束条件, 式(2)表示向用户提供的快进操作所发送帧的持续时间之和应满足快进操作的定义, 以保证用户得到 k 倍速快进的感觉。

3 基于双向视频流的 VCR 实现方法

Lin 等人分析了在只存在单向视频流的情况下, 用户 VCR 操作需要网络带宽随着快进倍数变化呈近似线性增长^[8]。但支持倒退播放时, 对解码器能力、缓冲区等均要求较高。为了解决这一问题, Lin 等人引入了反向视频流(简称反向流)概念, 并通过正向视频流与反向视频流结合使用的方式来提供 VCR 功能。反向流是指编码器在对视频帧进行正向编码完成之后, 再按照反向的顺序进行编码, 形成另一个文件, 如果服务器上只有编码后的视频文件, 则可以采用先将其解码为 YUV 图像, 再进行反向编码来得到反向流。反向流的建立, 在一定程度上增加了服务器端对存储的要求, 但却带来了显著的带宽需求的降低。考虑现在存储价格的快速下降, 这一要求通常能够被多数运营商所接受。下面为了讨论方便, 仅考虑视频帧中只存在 I 帧和 P 帧的情况。

双向流的原理是: 将反向流中关键帧的位置处于正向流中 GOP 中间的某个位置, 以便在快进或快退操作中, 如果播放一个 P 帧, 并且反向流关键帧位于正向流 GOP 的中间位置, 则距离 P 帧最近的 I 帧与关键帧的最大距离是 $N/4$, 下面说明其工作原理。

如图 1 所示, 正向流具有相同的 GOP 结构, 且其 GOP 的大小为 N , $\vec{F} = \{\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_M\}$ 为对应的反向流序列, P_R 表示反向流中的关键帧在正向流中的位置, F_j 表示需要解码并显示的某一帧。由观

察可以得出, 解码显示帧 F_j 既可以通过在正向流中发送其前面的第 1 个 I 帧及其与帧 F_j 之间的若干个 P 帧(如图 2(a)所示), 亦可以通过在反向流中, 发送帧 F_j 后面的第 1 个 I 帧与帧 F_j 之间的若干个 P 帧(如图 2(b)所示)。

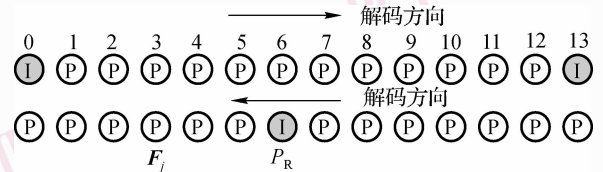


图 1 双向视频流原理图

Fig. 1 Principle of the dual bit-stream

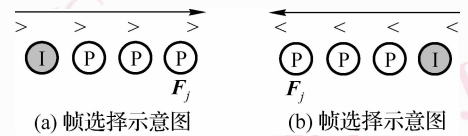


图 2 正向流反向流中帧的选择

图 2 中, “>”表示所选择的帧位于正向流中, “<”表示所选择的帧位于反向流中。帧的选择方案准则有以下两个: (1) 最小解码距离准则, 即选择距离解码显示帧 F_j 的帧数最少的 I 帧; (2) 最小码率代价准则, 即选择发送解码显示帧 F_j 需要的码率最低的方案。

Lin 等人在文献[8]中给出了在最小解码距离准则下的不同快进因子的带宽需求解析结果, 不失一般性, 假设 GOP 大小 N 是偶数, 并且 $L = \text{gcd}(k, N)$ (gcd 表示最大公约数), 则解码一帧平均需要的帧数如下^[8]:

$$\bar{N}_{\text{trans}} = 1 + \frac{2L}{N} \left(\sum_{i=0}^{\lfloor N/4L \rfloor} i \times L + \sum_{i=\lfloor N/4L \rfloor + 1}^{\lfloor N/2L \rfloor} \left(\frac{N}{2} - i \times L \right) \right) \quad (3)$$

假设 $N = 14$, $P_R = 7$, $k = 5$, 则从式(3)可以看出, 在快进快退操作中, 每解码显示一帧, 平均需要传输的冗余帧数仍然高达 2.71 帧, 从其实现方法可看出, 并无法保证满足式(1)的约束条件, 从后文的实验中也可以看出, 此时需要的网络带宽几乎是正常播放带宽的 3.5 倍左右, 仍然难以在实际的视频点播系统中应用。

4 基于用户感受质量的 VCR 功能实现方法

4.1 用户感受模型

Ghinea 与 Thomas 在分析了传统的 QoS 特点的基础上,提出了基于用户层的用户感受质量 (quality of perception, QoP) 的概念^[14], QoP 性能指标不仅包括用户对多媒体的满意度 (QoP_s), 并且涵盖了用户对多媒体数据的理解力及综合分析能力 (QoP_u)。Ghinea 等人研究了 QoP 与 QoS 之间的关系, 并指出, QoP 对传统多媒体系统的设计具有更多的直观指导意义。其还基于经验的方法设计了一组实验, 研究了帧率、色彩深度 (QoS 的重要参数) 与 QoP 的关系^[14]。

考虑帧率与 QoP 的关系, 文献[14]选择了一组具有不同职业的人群进行了实验, 每人观看 12 部影片, 每部影片长度从 31 ~ 45 s 不等, 看完影片之后, 通过每个人对根据每一部影片内容设计的 12 个问题的回答, 以考察用户对影片的理解力 QoP_u, 并根据对影片的满意程度给影片的打分 (1 ~ 6 分, 1 分最差, 6 分最满意), 以考察用户对影片的满意度 (QoP_s), QoS 参数主要用于考察帧率的变化, 分为 5fps, 15fps, 25fps 3 种, 并且用户不知晓所观看的影片的 QoS 参数, 实验结果可以参考文献[14]。

其实验结果说明了帧率对 QoP 的 QoP_u 与 QoP_s 两个方面的影响。在 QoP_u 方面, 由实验结果可以看出, 帧率并没有对 QoP_u 有显著的影响, 甚至在某些类别的影片中, 帧率低的反而 QoP_u 更高。产生这一现象的原因是由于在视频播放的过程中, 较低的帧率意味着一帧向用户显示的时间的增长, 从而更有利于用户抓住图像中所包含的信息, 这一点在场景切换剧烈的情形下会更加突出^[14]。上述实验结果说明, 在网络带宽资源紧缺的情况下, 适当降低帧率并不会对用户的感受质量产生大的影响。基于以上

思想, 下一节将从用户的角度分析 VCR 操作, 提出在快进快退操作中, 基于帧率的调整算法可有效地节约网络带宽资源。

4.2 基于帧率和位置联合调整的 VCR 实现方法

在基于双向流的 VCR 操作的实现方法中, 在保持帧率 R 不变的前提下, 可通过反向流中的关键帧来减少 G_i , 以达到降低码率的目的, 从本文后面的实验结果中可以看到, 尽管单纯的双向流方法所需的网络带宽约为其平均码率的 3.5 倍, 但仍然导致用户带宽分配管理的困难。而在 Ghinea 等人的实验中, 在正常播放的情况下, 帧率的降低并没有使用户对影片的理解 (QoP_u) 产生显著的影响, 甚至在某种情况下, 帧率的降低反而带来了 QoP_u 的上升。考虑快进播放时用户的主观感受, 如果在向用户快进播放影片时的帧率太低, 将导致用户产生“卡”或者“停顿”的感觉而不利于用户感受。若帧率太高, 则对网络带宽的需求增加, 并会产生数据延迟或者丢失, 从而导致播放时出现马赛克或者抖动现象, 仍然不利于用户感受, 通过以上分析, 同时结合 Ghinea 等人的实验结果, 以及本文的大量影片的测试结果, 得出 8 ~ 15 fps 左右的帧率是一个合适的值, 这既满足了用户对 VCR 操作的感受, 并且降低了带宽。本文还提出了基于帧率和位置联合调整的 VCR 算法, 该算法的思想是利用用户感受质量模型中的结果, 根据影片的帧信息以及带宽约束条件, 通过给定的帧率范围来调整在 VCR 操作时的帧率及帧位置, 以满足带宽约束条件。

假设在快进操作中只要保持帧率 R_k 在一定的范围内 ($R_{min} \leq R_k \leq R_{max}$) 即可以满足用户对快进操作的要求。同时考虑到用户在进行快进操作时, 对切换的图像的不敏感性, 可以适当地将向用户显示的某一帧图像改为显示其附近某个范围内的图像, 而不引起用户的注意, 从而降低了其对网络带宽的需求。算法过程如图 3 所示:

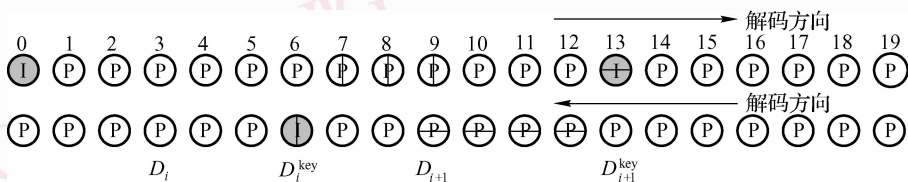


图 3 基于帧率和位置联合调整原理图

Fig. 3 Principles of the algorithm based on the cooperative adjustment of frame rate& position

假设 D_i 为当前显示的帧的帧号, D_{i+1} 为显示的下一帧的帧号, 则

$$D_{i+1} - D_i = \frac{kR}{R_k} \quad (R_{\min} \leq R_k \leq R_{\max}) \quad (4)$$

设 D_i^{key} 为在双向视频流中距离第 D_{i+1} 帧 $F_{D_{i+1}}$ 最近, 并且帧号小于 D_{i+1} 的一个关键帧的帧号, D_{i+1}^{key} 为距离第 D_{i+1} 帧 $F_{D_{i+1}}$ 最近, 且帧号大于帧号 D_{i+1} 的一个关键帧的帧号, 在如图 3 所示的情况时, D_i^{key} 在反向视频流中, D_{i+1}^{key} 在正向视频流中, 且 $D_i^{\text{key}} = 6$, $D_{i+1}^{\text{key}} = 13$ 。解码第 D_{i+1} 帧 $F_{D_{i+1}}$ 可以有两种数据发送方案(如图 3 所示): 图中 6 7 8 9 或者 13 12 11 10 9 (标记竖线的帧为从左侧解码第 D_{i+1} 帧 $F_{D_{i+1}}$ 时所选择的帧, 横线标出的帧表示从右侧解码第 D_{i+1} 帧 $F_{D_{i+1}}$ 时所选择的帧)。应用的最小码率准则为

$$G_{i+1} = \min \left\{ \overset{<}{F}_{D_i^{\text{key}}} + \sum_{i=D_i^{\text{key}+1}^{D_{i+1}}} F_i, \overset{<}{F}_{D_{i+1}^{\text{key}}} + \sum_{i=D_{i+1}^{\text{key}}-1}^{D_{i+1}} \overset{<}{F}_i \right\} \quad (5)$$

当帧号 D_i^{key} 在正向视频流中, D_{i+1}^{key} 在反向流中时, 类似地可以得到

$$G_{i+1} = \min \left\{ \sum_{i=D_i^{\text{key}}}^{D_{i+1}} F_i, \sum_{i=D_{i+1}^{\text{key}}}^{\overset{<}{D}_{i+1}} \overset{<}{F}_i \right\} \quad (6)$$

则第 D_{i+1} 帧 $F_{D_{i+1}}$ 距离上一帧的时间为

$$\Delta t_{i+1} = \frac{D_{i+1} - D_i}{R \cdot k} = \frac{1}{R_k} \quad (7)$$

其需要的带宽为

$$B_{i+1} = \frac{G_{i+1}}{\Delta t_{i+1}} \quad (8)$$

下面针对带宽 B_{i+1} 与向此用户分配的带宽 B 的关系, 分别进行以下讨论:

(1) $B_{i+1} \leq B$

若此时向用户显示第 D_{i+1} 帧 $F_{D_{i+1}}$ 需要的网络带宽低于向此用户分配的网络带宽, 则此帧数据可以直接向用户发送, 无需调整。

(2) $B_{i+1} > B$

由于此时向用户显示第 D_{i+1} 帧 $F_{D_{i+1}}$ 需要的网络带宽高于向此用户分配的网络带宽, 因此当前帧无法通过当前网络进行发送, 应调整第 D_{i+1} 帧 $F_{D_{i+1}}$ 的位置, 以满足带宽的约束条件。调整方法有后向

调整与前向调整两种。后向调整是指将第 D_{i+1} 帧 $F_{D_{i+1}}$ 的位置向后移若干帧, 即

$\tilde{D}_{i+1} = D_{i+1} + \delta_{i+1}$, 其中 $\delta_{i+1} = 1, 2, 3, \dots, D_{i+1}^{\text{key}} - D_{i+1}$

由图 3 及式(5)或式(6)可以得出 G_{i+1} 减小, 由式(7)可得出 Δt_{i+1} 增大, 因此后向调整时, $\tilde{B}_{i+1} < B_{i+1}$, 且 δ_{i+1} 越大, \tilde{B}_{i+1} 越小。

前向调整是指将第 D_{i+1} 帧 $F_{D_{i+1}}$ 的位置向前移若干帧, 即

$$\tilde{D}_{i+1} = D_{i+1} - \delta_{i+1}$$

其中 $\delta_{i+1} = 1, 2, 3, \dots, D_{i+1}^{\text{key}} - D_{i+1}$

由图 3 及式(5)或式(6)可以得出 G_{i+1} 减小, 由式(7)可得出 Δt_{i+1} 减小, 此时 $\tilde{B}_{i+1} = \frac{\tilde{G}_{i+1}}{\Delta \tilde{t}_{i+1}}$, \tilde{B}_{i+1} 与 B_{i+1} 的关系依赖于实际数据, 不失一般性, 考虑帧号 D_{i+1}^{key} 在反向视频流中, 帧号 D_{i+1}^{key} 在正向流时:

$$\tilde{B}_{i+1} - B_i = \frac{\delta_{i+1} (\overset{<}{F}_{D_i^{\text{key}}} + \sum_{i=D_i^{\text{key}+1}^{\tilde{D}_{i+1}}} F_i) - r (\tilde{D}_{i+1} - D_i)}{\Delta t_{i+1} \Delta \tilde{t}_{i+1}} \quad (9)$$

其中, $r = \sum_{j=\tilde{D}_{i+1}}^{D_{i+1}} F_j$, 则当 $r > \frac{\delta_{i+1} (\overset{<}{F}_{D_i^{\text{key}}} + \sum_{i=D_{i+1}^{\text{key}+1}^{\tilde{D}_{i+1}}} F_i)}{\tilde{D}_{i+1} - D_i}$

时, $\tilde{B}_{i+1} < B_{i+1}$, 否则 $\tilde{B}_{i+1} \geq B_{i+1}$ 。

综上所述, 在进行帧率及帧位置联合调整时, 搜索方法首先采用后向调整方法, 如果后向搜索无法搜索得到合适的帧, 再采用前向搜索来检查是否存在合适的帧。如果以上两种方法均无法找到合适的帧, 则设定 \tilde{D}_{i+1} 为距离其最近的关键帧的序号。此时

$$\tilde{B}_{i+1} = \min \left\{ \frac{\overset{<}{F}_{D_i^{\text{key}}} \cdot R \cdot k}{D_i^{\text{key}} - D_i}, \frac{F_{D_{i+1}^{\text{key}}} \cdot R \cdot k}{D_{i+1}^{\text{key}} - D_i} \right\}$$

且 $\tilde{B}_{i+1} > B_{i+1}$, 由于发送此关键帧超过了向用户分配的带宽, 因此将会引起图像质量的下降, 为了更好地说明算法的实现过程, 将算法步骤总结如下:

- (1) 假设快进操作的起始位置为一个关键帧;
- (2) 选取下一个需要显示的帧, 此帧与当前帧的距离是 $(k \cdot R) / R_k$;
- (3) 为了显示此帧, 需要额外发送 m 帧数据, 在正向视频流和反向视频流中, 应用最小码率代价准

则来选择发送方案,假设此时需要发送的数据量是 g ;

(4) 如果 $g \cdot R_k \leq B$, 则回到步骤(2)继续计算下一帧; 否则进入步骤(5)调整帧的位置;

(5) 假设当前帧为 $F_i, \delta_i = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$, 调整后改为发送其解码距离最近的第 $i + \delta_i$ 帧 $F_{i+\delta_i}$, 此帧与前一帧的间隔时间为 $\Delta t_i = \frac{1}{R_k} + \frac{\delta_i}{R \cdot k}$, 设在正向与反向流中应用最小码率准则后所发送的数据量是 \tilde{g} , 如果 $\tilde{g} / \Delta t_i \leq B$, 则选择当前帧代替帧 F_i , 返回步骤(2)继续计算下一帧;

(6) 如果 δ_i 一直调整到与当前帧 F_i 前后的距离最近的关键帧仍然无法满足约束条件(式(1)), 则选择距离当前帧 F_i 解码距离最近的关键帧来代替当前帧 F_i , 回到步骤(2)继续计算下一帧;

(7) 直到用户停止快进操作或者到达影片结尾。

5 实验分析

为验证本文算法的效果,对基于双向流的 VCR 实现算法与本文改进算法进行了实验比较。并对改进算法应用于实际的视频点播系统的显示效果,从技术与用户感受两方面进行了评价。

5.1 正反向视频流序列的生成

在现代的视频点播系统中,由于 MPEG-4 编码标准具有高效的编码效率与清晰的画质,因而应用得越来越多,本文实验中,选取影片“Mobile and Calendar”的 YUV 序列,并使用 XVID 对其进行编码,首先得到正向视频流,然后将序列反转后再进行编码即得到反向视频流。在编码过程中,设定 GOP 大小 $N = 14$, 并且在反向视频流中设定 $P_R = 7$, 则得到的正反向流序列如图 4 所示。

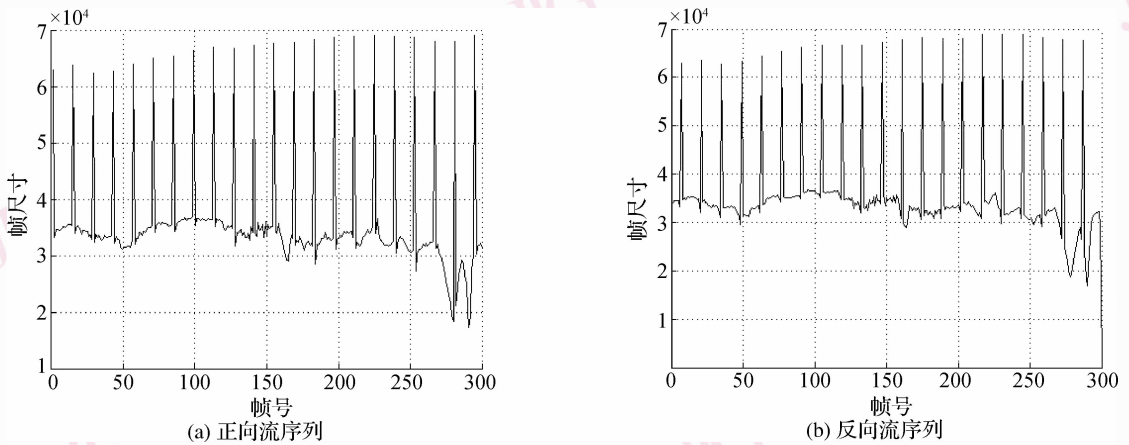


图 4 正向流和反向流序列

Fig. 4 The frame size of the forward and reverse bit-stream

5.2 算法性能比较

针对 5.1 节中描述的视频序列,在进行快进操作时,考察基于双向流的 VCR 算法与本文的改进算法对网络带宽的占用率情况,假设用户开始进行视频点播时,为其分配的信道带宽为正向流的平均码率,并且 $8 \leq R_k \leq 15$ 。随着快进倍速变化,快进操作需要的带宽与平均码率比值的变化趋势如图 5 所示。

从图 5 可以看出,改进后的快进算法的带宽始终低于信道带宽,而基于双向流的算法的带宽使用率为信道带宽的 3.5 倍左右,这是由于基于双向流的算法,在快进时解码一帧平均需要额外发送 2.71 帧,而本文算法通过降低帧率和调整帧位置,使其所需带宽

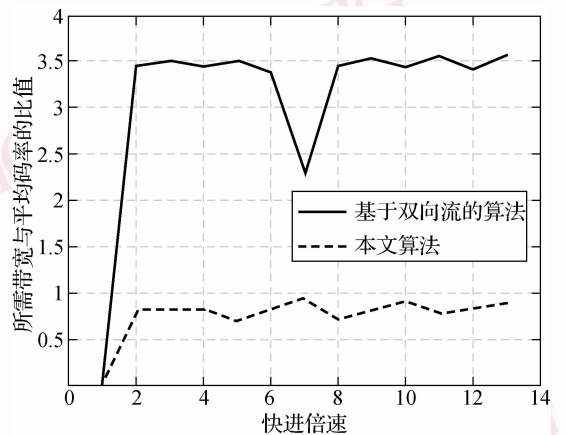
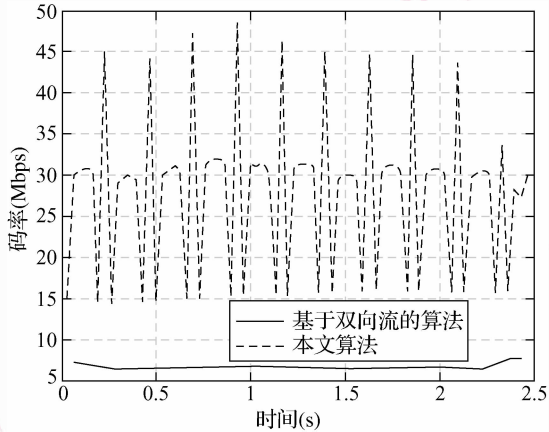


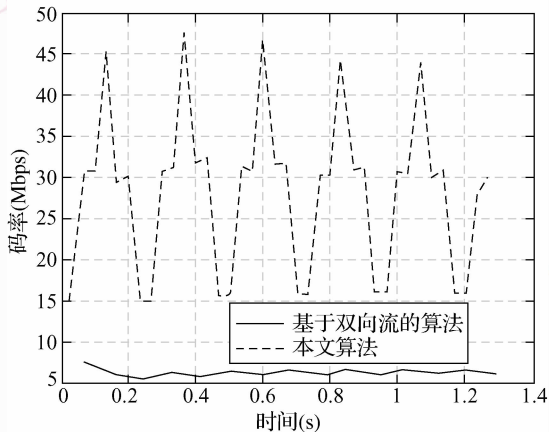
图 5 两种算法在不同快进倍速下所需平均带宽比较

Fig. 5 Average bandwidth comparison of the two algorithms with different speed-up factors

始终低于信道带宽。图 5 中的双向流算法在 7 倍速时,带宽需求最低,约为信道带宽的 2.3 倍,这是因为 7 倍速时,只需要发送关键帧,而关键帧又通常大于 P 帧的缘故。图 6 给出了几个典型的快进倍速下,两种算法对带宽资源的需求随时间变化的曲线。



(a) 4倍速下码率随时间变化的曲线



(b) 8倍速下码率随时间变化的曲线

图 6 两种算法在 4 倍速与 8 倍速下所需带宽随时间变化的结果

Fig. 6 Bandwidth comparison of two algorithms with speed-up factors 4 and 8

由图 6 可以看出,在 4 倍速与 8 倍速的情况下,改进后的算法无论在对网络带宽的需求以及码率的平稳性上均优于原来的算法,这是由于本文算法在每一个时刻能保证解码一帧所需的带宽均低于信道带宽,所以获得了较好的传输结果。

5.3 实际视频点播系统效果

为了验证本文提出的算法在实际视频应用系统中的应用效果,将其应用于上海 863IPTV 示范系统——长宁区的视频点播实际系统中,以检验其应用效果。快进快退的显示效果应结合技术方面与用

户感受两个方面来进行评价。技术方面应检查向用户播放的帧率是否合适;用户感受方面应通过观看播放效果,即从画面的切换速度、有无“卡”或者“停顿”现象,以及有无马赛克现象等几个方面进行评价。下面从以下几个方面分别进行说明:

首先考察帧率的变化,帧率变化评价是采用随机抽取的方法抽取其中的 50 部影片,通过统计平均帧率来衡量,表 1 列出了在不同快进倍速下的平均帧率的变化情况。

表 1 快进倍速对帧率的影响

Tab. 1 The effect of speed-up factor on frame rate

快进倍速	平均帧率 (fps)	平均帧间隔 (s)
2	8.6	0.12
4	8.8	0.11
8	12.0	0.08

从表 1 可以看出,随着快进倍速的不同,虽然帧率也在不断地变化,但是始终在设定的范围内,并且与传统的快进实现方式相比,该算法向用户显示帧的持续显示时间增长(传统的持续显示时间为 0.04 s 或者 0.033 s),这是由于本文算法降低了帧率的结果,而将帧的显示时间适当增长,以便给用户更多的时间理解画面内的内容,则有利于其对情节的把握。

其次,由于目前业内还没有针对影片的快进快退时,用户的感受质量的衡量指标,所以本文采取了以下比较简单的评价方式:考虑用户快进时对影片情节的把握以及画面质量。通过从视频点播系统中随机抽取影片,实验其在不同倍速下的画面质量,在观看过程中发现,帧之间的间隔时间维持在表 1 所列的数值之间,且画面之间的切换速度适中,没有出现明显的“卡”或者“停顿”的感觉,并且也没有出现“马赛克”现象,因此可以认为,快进与快退操作的效果良好。目前已经成功地将应用了此算法的视频点播系统部署在上海 863IPTV 示范系统中,服务了大概 2 万人的用户群,并采用收集用户反馈的方式来确定用户对快进与快退操作的感受质量,到目前为止,用户反映快进快退操作观看效果较好。

6 结论

本文针对 VCR 操作对网络带宽的占用率过高的问题,在分析了基于双向视频流的 VCR 实现方法存在不足的情况下,提出了一种改进的算法,该算法

通过对 Ghinea 等人关于 QOP 与帧率关系的实验进行分析,说明在 VCR 操作中保持帧率不变是不必要的,在此基础上,利用人眼对于视频图像微小改动的不敏感性,提出了对帧率与位置进行联合调整的方法。实验结果表明,该算法能够使 VCR 操作的网络带宽占用率降低到信道带宽以下,从而为商用视频点播系统支持 VCR 操作提供了一种方法。

而参考影片正常播放时用户感受质量的指标、设计针对快进或者快退的用户感受质量评价试验、分析 VCR 算法对服务器性能的影响,以及在降低帧率的基础上,设计一种基于视频内容场景分析的 VCR 实现方法,以使帧的选择更合理,则是本工作下一步的研究内容。

参考文献 (References)

- 1 Li Victor O K, Liao Wan-jiun, Qiu Xiao-xin, *et al.* Performance model of interactive video-on-demand systems[J]. *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, 1996, **14**(6): 1099-1109.
- 2 Wu Da-peng, Hou Yi-wei Thomas, Zhang Ya-qin. Transporting real-time video over the internet: Challenges and approaches [J]. *Proceedings of the IEEE*, 2000, **88**(12):1855-1877.
- 3 Mitchell Joan L, Pennebaker William B, Fogg Chad E, *et al.* The MPEG Video Compression Standard[M]. London, UK:Chapman & Hall, Ltd,1996.
- 4 Machanick Philip. Design of a scalable video on demand architecture [A]. In: *Proceedings of South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists [C]*, Gordon's Bay, South Africa, 1998: 211-217.
- 5 Chen Ming-Syan, Kandlur Dilip D. Downloading and stream conversion: Supporting interactive playout of videos in a client station [A]. In: *Proceedings of IEEE Multimedia Computing and Systems [C]*, Washington, DC, USA, 1995: 73-80.
- 6 Lee Jae-hong, Lee Sun-sook. A GoP-skipping-based dynamic transmission scheme for supporting fast scan functions of a stored video[A]. In: *Proceedings of the IEEE Region 10 Conference on Multimedia Technology for Asia-Pacific Information [C]*, Cheju Island, Korea, 1999, **2**:919-922.
- 7 Huang Chun-ming, Yang Kai-chao, Wang Jia-shung. A low cost unrestricted fast playback scheme for video streaming[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 2005, **52**(7):384-388.
- 8 Lin Chia-wen, Zhou Jian, Jeongnam Youn, *et al.* MPEG video streaming with VCR-functionality[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2001, **11**(3):415-425.
- 9 Matthias Grossglauser, Srinivasan Keshav, David Tse. RCBR: A simple and efficient service for multiple time-scale traffic[J]. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1997, **5**(6):741-755.
- 10 Enrique Hernández, Joan Vila. A new approach to optimize bandwidth reservation for real-time video transmission with deterministic guarantees[J]. *Real-time Imaging*, Elsevier, 2003, **9**(1):11-26.
- 11 Andersen David B. A proposed method for creating VCR functions using MPEG streams [A]. In: *Proceedings of the Twelfth International Conference on Data Engineering [C]*, New Orleans, LA, USA 1996:380-382.
- 12 Chen H J, Krishnamurthy A, Little T D C, *et al.* A scalable video-on-demand service for the provision of VCR-like functions[A]. In: *Proceedings of the International Conference on Multimedia Computing and Systems [C]*, Washington DC, USA, 1995:65-72.
- 13 Yang Kai-chao, Huang Chun-ming, Wang Jia-shung. Design of frame dependency for VCR streaming videos[J]. *Signal Processing: Image Communication*, 2007, **22**(5):505-514.
- 14 Ghinea Gheorghita, Thomas Johnson P. Quality of perception: User quality of service in multimedia presentations[J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2005, **7**(4):786-789.