

可变 GoP 的 MPEG 视频的滤取和传输

李国东, 杨海荣, 王东奎, 张德富

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室, 江苏南京 210093)

摘 要: 根据网络的带宽情况, 将 MPEG 视频的重要帧滤取出来并在网络上传输, 帧滤取算法考虑了同一条流中视频的 GoP 发生改变的情况. 为了进行视频传送的差错控制和恢复, 该方案使用了牛顿插值 Reed-Soloman 编码进行冗余编码保护, 能在网络带宽有限的情况下保证视频的传输质量. 还针对不同的网络传输率和包丢失率对方案进行了实验.

关键词: MPEG 视频; GoP; 牛顿插值编码; 网络传送; 包丢失

中图分类号: TN141 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 08-1110-03

Various GoP MPEG Video Filtering and Transmission

LI Guo-dong, YANG Hai-rong, WANG Dong-kui, ZHANG De-fu

(New Software State Key Lab. of Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China)

Abstract: According to the situation of the network bandwidth, we filter MPEG video data and select the essential frames to be transmitted over the network. A frame selection algorithm is proposed which takes into consideration of the case that video's GoP may change in a single stream. To implement error control and concealment for video communication, the Newton's interpolation method is used. Our scheme can guarantee the video's transmission quality under the condition of limited network bandwidth. We also test our scheme on networks with different transmission rate and packet loss rate.

Key words: MPEG video; GoP, Newton's interpolation coding; network transmission

1 引言

在 Internet 上传送 MPEG (Moving Picture Expert Group) 视频需要考虑网络带宽有限和传送过程中包丢失等问题, 带宽不足时只能选择传送视频数据, 而 MPEG 使用的帧间预测技术使得一旦 I- 帧或 P- 帧在传送中丢失, 依赖它们的许多帧将受影响, 即使很小的包丢失率也会严重影响视频的回放质量^[1]. 选择性地重要帧 (如 I- 帧) 进行冗余编码以进行差错恢复, 能有效地保证 MPEG 流的传输质量. 本文根据网络的带宽情况滤取出重要帧, 对它们进行牛顿插值 Reed-Soloman 编码^[2]后传送. 与 MPEG-4 使用的数据划分技术 (通过将宏块运动和纹理信息分开来拆分数据)^[3]不同, 我们的滤取算法以帧为单位进行选取, 并对 GoP (Group of Pictures) 固定和 GoP 变化的情况都进行了研究. 帧的滤取不需要在数据编码过程中进行, 适用于对已生成的视频流进行拆分的情况.

对多媒体传输进行错误预防和恢复的研究有很多^[3-6], 其中^[3]使用 MPEG-4 的数据划分技术拆分流后进行传输差错恢复; 文^[5]利用分层编码技术产生基层和增强层, 并对基层和增强层都使用了前向纠错编码; 文^[6]在 ATM 网络中对视频进行纠错编码. 但目前的研究都是在编码过程中拆分信息, 且没有针对 MPEG 视频帧类型的特点进行设计, 故此, 本文提出一个以帧为单位滤取数据和进行牛顿插值 Reed-Soloman 编码保护的方案.

man 编码保护的方案.

2 模型和定义

方案根据网络的带宽情况将 MPEG 视频的重要帧滤取出来并在网络上传送, 滤取比例定义为选取的帧数占总帧数的百分比. 设网络可用带宽为 B_v (单位为位/秒), MPEG 视频的数据率为 D_v (单位为位/秒), 对滤取出来的帧以帧为单位进行牛顿插值 Reed-Soloman (n, k) 编码^[2], 令滤取比例为 x , 则

$$\frac{n}{k} \cdot D_v \cdot x \leq B_v, \text{ 即 } x \leq \frac{k B_v}{n D_v}, \text{ 最大滤取比例为 } x_{\max} = \frac{x B_v}{n D_v}$$

若对剩下的帧以 Reed-Soloman (n', k') 编码后亦进行发送, 则, 此时

$$\left(\frac{n}{k} x + \frac{n'}{k'} (1-x) \right) D_v \leq B_v, \text{ 此时 } x_{\max} = \frac{k k' B_v - k n' D_v}{(n k' - n' k) D_v}$$

令视频的 GoP 模式为 $I B \cdots B P_1 B \cdots B P_2 B \cdots \cdots P_n B \cdots B$, 帧的编号从 0 开始. 令 $\text{sum}(\text{GoP})$ 为一个 GoP 中帧的总数, $I(x), P_1(x), P_2(x), \cdots, P_n(x), B(x)$ 分别为 x 个帧中 $I-, P_1-, P_2-, \cdots, P_n-, B-$ 帧的数目. 令 T_p 为单位时间内播放的帧数 R 和一个 GoP 中帧数的最小公倍数, 即

$T_p = \text{LCM}(R, \text{sum}(\text{GoP}))$ 其中函数 $\text{LCM}(x, y)$ 返回 x, y 的最小公倍数.

则在 T_p 个帧中 I - , P_1 - , P_2 - $\cdots$, P_n - , B - 帧的数目分别为

$$I(T_p) = P_1(T_p) = \cdots = P_n(T_p) = \frac{T_p}{\text{sum}(\text{CoP})}$$

$$B(T_p) = T_p - (n+1) \times I(T_p)$$

若滤取比例为 x , 则应在 T_p 个帧中选取 $r' = x \times T_p$ 个帧进行冗余编码, 滤取算法根据滤取比例的不同区分三种情况进行讨论。

3 牛顿插值冗余编码

MPEG4 中提供了 RVLC 等错误预防和恢复机制^[3], RVLC 适用于随机字节错误的情况, 但对整个包丢失的情况不适用。本文采用 Reed-Solomon 编码 (RS 编码) 是最大距离独立编码, 特别适用于突发帧丢失的错误保护, 能够纠正任意 $(n-k)/2$ 个字节的错误或任意 $(n-k)$ 个已知位置的字节错误, 对于 n 个连续错误的情况也能够应付。一个 $RS(n, k)$ 编码可被定义为 Galois 域上的次数小于 k 的所有多项式 $C(x)$ 的集合。

一个帧被分成 k 个信息包, 构造好的 $n-k$ 个奇偶校验包附在信息包之后发送。编码和解码过程是从 k 个已知的样本中计算出 $n-k$ 个未知的样本, 实质上是插值问题: 根据已知的 k 个样本 $C_i = C(L_i)$, $0 \leq i \leq k-1$ 计算出位置为 L_i ($k \leq i \leq n-1$) 的样本值, 这里 L_i 是样本 i 的位置, 以包号标识。鉴于牛顿插值编码^[2]是一个快速灵活的算法, 能任意选取 n 值和 k 值, 本文采用牛顿插值 RS 编码, 基本原理是迭代产生各次多项式 C_0 , $C_0 + C_1(x - L_0)$, $C_0 + C_1(x - L_0) + C_2(x - L_0)(x - L_1)$, $\cdots$, $C_0 + \sum_{j=1}^{k-1} \prod_{i=0}^{j-1} (x - L_i)$, 其中 L_i 是样本的位置, 将 C_j ($0 \leq j \leq n-1$) 称为 $C(x)$ 的牛顿系数, 当 $j \geq k$ 时 $C_j = 0$ 。牛顿系数可由系数为 C_{ij} 的商矩阵计算而得

$$C_{ij} = \frac{C_{i-1,j-1} - C_{i-1,j-1}}{L_j - L_{j-1}}, \text{ 当 } i \geq k \text{ 时 } C_{i,j} = 0$$

样本 C_x 只影响 $i \geq x$ 的 C_{ij} , 当样本 C_x 到达接收端时, 就可以进行计算 $0 \leq j \leq x-1$ 的系数 $C_{x,j}$, 而无需知道 $i \geq x+1$ 的样本 C_i 的值。对于计算的时间复杂度方面, 用 m 表示已被计算出来的未知样本数, 则需被计算系数 $C_{i,j}$ 的数目为

$$\frac{k(k-1)}{2} + m(k-1) = (k-1)\left(\frac{k}{2} + m\right)$$

对于发送端 $m = n - k$, 对于接收端则 m 等于数据丢失的包的个数。

4 滤取算法

MPEG 视频帧有三种类型: I - 帧只是帧内编码, 是最基本和最重要的帧, 压缩率最低; P - 帧利用以前的 I - 帧或 P 帧作参考和预测帧, 去除时间冗余度; B - 帧在时间上利用前后双向的 I - 帧和/或 P - 帧的信息以编码和解码, 压缩率最高。根据 MPEG 视频帧的特点, 滤取算法先选择 I - 帧, 然后第一个 P - 帧, 第二个 P - 帧 $\cdots$ 直至最后的 P - 帧, 最后选择 B - 帧; 帧的选择在不违背依赖关系的情况下应尽量分布平均^[4]。

4.1 不变 CoP

视频的 CoP 模式为 $IB \cdots BP_1B \cdots BP_2B \cdots \cdots P_nB \cdots B$, 根据

滤取比例的不同, 滤取算法区分三种情况:

情况 1: 此时 $r' \leq I(T_p)$, T_p 个帧中有 $I(T_p)$ 个 I - 帧, 其位置值为 $0, \text{sum}(\text{CoP}), 2 \times \text{sum}(\text{CoP}), \cdots, (I(T_p) - 1) \times \text{sum}(\text{CoP})$, 应在这些 I - 帧中均匀地选取 r' 个帧, 其位置值为

$$j = \lfloor k \times I(T_p) / r' \rfloor \times \text{sum}(\text{CoP}), k = 0, 1, 2, \cdots, r' - 1 \quad (1)$$

情况 2: 此时 $I(T_p) < r' \leq (n+1) \times I(T_p)$, 若 $(a+1) \times I(T_p) < r' \leq (a+2) \times I(T_p)$, 这里 $a = 0, 1, \cdots, n-1$, 则所有的 I - 帧和 T_p 之内的 P_1 - , P_2 - , $\cdots$, P_a - 帧被选取, 其中 I - 帧的位置值为

$$j = k \times \text{sum}(\text{CoP}), k = 0, 1, \cdots, I(T_p) - 1 \quad (2)$$

对于 P - 帧, 令 $\text{pos}(k)$ 为 T_p 中第一个 P_k 出现的位置, 符合要求的 P_1 到 P_a 的 P - 帧的位置是

$$j = \lfloor k \times \frac{P_{x+1}(T_p)}{r' - (x+1) \times P_{x+1}(T_p)} \rfloor \times \text{sum}(\text{CoP}) + \text{pos}(x+1) \quad (3)$$

$$x = 0, 1, 2, \cdots, a-1$$

$$k = 0, 1, 2, \cdots, P_x(T_p) - 1$$

若 I - , P - 帧间和 P - 帧相互间的间隔相同, 设 m 为间隔间 B - 帧的数目, 则 $\text{pos}(k) = (m+1) \times k$, $\text{pos}(x+1) = (x+2) \times k$, $I(T_p)$ 个 P_{a+1} - 帧中前 $r' - (a+1) \times I(T_p)$ 个帧也被滤取出来, 它们的位置值参考公式 (3)。

情况 3: 此时 $r' > (n+1) \times I(T_p)$, 所有 I - 和 P - 帧被选出, 其中 I - 帧的位置值见公式 (2); P_k - 帧的位置值为 $k \times \text{sum}(\text{CoP}) + \text{pos}(k) = k \times \text{sum}(\text{CoP}) + (m+1)k$, $k = 0, 1, \cdots, P_1(T_p) - 1$, 其中 m 为 P 帧间 B 帧的数目; B - 帧中有 $r' - (n+1) \times I(T_p)$ 个帧被选取。因为所有 B - 帧的重要性是相同的, 应平均选取 B - 帧。使用一个辅助数组 BARRAY, 长度为 $B(T_p)$, 将 B - 帧的位置值依次存入数组 BARRAY 中, 计算 BARRAY 的符合以下条件的 j 值

$$j' = \lfloor k \times B(T_p) / r' \rfloor, k = 0, 1, \cdots, r' - (n+1) \times I(T_p) - 1 \quad (4)$$

则被选取出来的 B - 帧的位置值 j 满足 $j = \text{BARRAY}[j']$ 。

4.2 变化 CoP

同一视频流中 CoP 发生变化, 此时若重新计算各公式则效率较低。针对可变 CoP 的情况, 设置三个数组 IARRAY, PARRAY, BARRAY, 大小分别为 $I(T_p)$, $P(T_p)$, $B(T_p)$, 将 T_p 个帧中的 I - , P - , B - 帧分别按顺序存入相应的数组中。选取算法同样地区分三种情况:

情况 1: 此时 $r' \leq I(T_p)$, 应在 $I(T_p)$ 个 I - 帧中均匀地选取 r' 个, 其在 IARRAY 中的位置值为 $j' = \lfloor k \times I(T_p) / r' \rfloor$, $k = 0, 1, \cdots, r' - 1$, 在 T_p 个帧中相应的位置值为 $j = \text{IARRAY}[j']$;

情况 2: 此时 $I(T_p) < r' \leq (n+1) \times I(T_p)$, 若 $(a+1) \times I(T_p) < r' \leq (a+2) \times I(T_p)$, 则所有的 I - 帧和 T_p 之内的 P_1 - , P_2 - , $\cdots$, P_a - 帧被选取, 全部 I - 帧的位置值存在 IARRAY 中; P_i - 在 PARRAY 中的位置值为 $kn + i - 1$, $k = 0, 1, \cdots, n-1$; 前 $r' - (a+1) \times I(T_p)$ 个 P_{a+1} - 帧也被选取, 它们在 PARRAY 中的位置值为 $kn + a$, $k = 0, 1, \cdots, r' - (a+1) \times I(T_p) - 1$ 。根据这些位置从 IARRAY 和 PARRAY 中取出符合要求 I - 帧和 P - 帧在 T_p 个帧中的位置值。

情况 3: 此时 $r' > (n+1) \times I(T_p)$, 与不变 CoP 的第 3 种情况一样, 利用数组 BARRAY 来进行处理。

若一条视频流中包含多种 GbP, 则为每一种 GbP 设置三个数组: IARRAY, PARRAY, BARRAY. 处理属于某一 GbP 的帧时, 选择相应的三个数组; 当 GbP 发生变化时, 则切换到与新 GbP 相应的三个数组. 这样全部数组的长度不用重新计算, 对位置的计算也不用改变, 这特别适合于 GbP 周期性地变化的情况. 若 GbP 的变化情况无法预测, 则只设一组 IARRAY, PARRAY, BARRAY, 当视频流从 GbP₁ 变到 GbP₂ 时, 只需一次性计算 GbP₂ 的 T_p , $\text{sum}(\text{GbP})$, $I(T_p)$, $P(T_p)$ 和 $B(T_p)$, 并调整数组的大小, 而对数组的计算 (如位置值的计算) 不用改变, 因而效率得到了提高.

5 实验结果

实验中使用的 MPEG 视频流为一包含两种 GbP 的 MTV, GbP₁ 为 IBBPBBPBBPBB, GbP₂ 为 IBBBPPBBPBBB, 两种 GbP 周期性地变换, 标准播放速率 $R = 30$ 帧/秒, 则 $\text{sum}(\text{GbP}_1) = \text{sum}(\text{GbP}_2) = 12$, $T_{p1} = T_{p2} = \text{LCM}(12, 30) = 60$, 视频流的数据率为 1 M 字节/秒.

表 1 给出了三种不同带宽 (以位/秒为单位) 的网络中传送 MTV 的情况. 针对可变 GbP 的情况设立了两组 (IARRAY, PARRAY, BARRAY) 数组, 对滤取出来的帧进行牛顿插值 RS (100, 91) 编码, 冗余率为 10%. 根据网络带宽和视频数据率计算出滤取比例, 再结合 GbP 模式决定滤取后的各类型帧的情况. 表 1 显示了滤取算法的有效性.

表 1 在三种不同带宽的网络中传送 MTV

带宽 (bps)	滤取比例	GbP ₁		GbP ₂	
		滤取算法所属	$I:P:B(T_p)$ 个帧内	滤取算法所属	$I:P:B(T_p)$ 个帧内
6.16 M	70 %	情况 3	5:15:22	情况 3	5:10:27
2.64 M	30 %	情况 2	5:13:0	情况 3	5:10:3
0.44 M	5 %	情况 1	3:0:0	情况 1	3:0:0

实验中对 MTV 用 10 % 的冗余率编码后在三种带宽中传输, 当带宽为 6.2 M 时, 大部分信息被冗余编码, 传输最可靠; 当带宽为 0.44 M 时, 只有部分 I- 帧被冗余编码, 包丢失时大部分信息无法恢复, 传输最不可靠. 另外, 图 1 显示了在带宽为 6.2 M 时对 MTV 分别用四种不同冗余率进行 RS 编码后传送的视频质量情况. 这里用通用的 PSNR (顶峰信噪比) 值来衡量视频质量. 当网络包丢失率较低时, 视频质量都较高, 冗余率高的子流由于冗余信息占用更多的带宽而 PSNR 值相对较低; 随着网络包丢失率的增加, 冗余率低的子流视频质量迅速下降, 而冗余率高的子流能保持较好的视频质量.

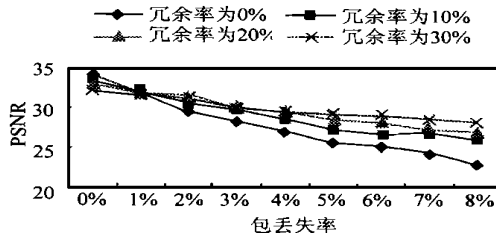


图 1 MTV 采用不同冗余率时的 PSNR 值

6 结论

本文根据网络的带宽情况将 MPEG 视频的重要帧滤取出来并在网络上传送, 算法以帧为单位进行滤取, 并考虑了同一条流中视频的 GbP 发生改变的情况, 与其他的滤取和传输方案相区别, 特别适合在 VoD 系统中使用. 针对 MPEG 使用帧间预测技术的特点, 滤取算法优先选择重要的 I-、P- 帧, 然后进行牛顿插值 RS 冗余编码, 有效减少了因重要帧丢失而引起的错误扩散现象.

参考文献:

- [1] Y Wang, Q F Zhu. Error control and concealment for video communication: a review [J]. Proc. IEEE 86 (5) (May 1998): 974 - 997.
- [2] U K Sorger. A new Reed-Solomon decoding algorithm based on Newton's interpolation [J]. IEEE Trans. Inform. Theory 39 (March 1993): 358 - 365.
- [3] R Talluri. Error-resilient video coding in the ISO MPEG-4 standard [J]. IEEE Comm. Mag. 36 (6) (June 1998): 112 - 119.
- [4] Joseph Kee-Yin Ng, Shuhua Xiong, Hong Shen. A multi-server video-on-demand system with arbitrary-rate playback support [J]. The Journal of Systems and Software 51 (2000): 217 - 227.
- [5] Uwe Horn, K Stuhlmüller, M Link, B Girod. Robust Internet video transmission based on scalable coding and unequal error protection [J]. Image Communication 15 (1999): 77 - 94.
- [6] Alheraish, D G Smith. Cell rate moderation of VBR video under an FEC environment in ATM networks [J]. Computer Networks 34 (2000): 23 - 35.

作者简介:



李国东 男, 1975 年 11 月生于广东省江门市, 硕士生, 主要研究领域为并行/分布处理, 网络通信.



杨海荣 男, 1976 年生, 硕士生, 主要研究领域为并行/分布处理, 网络计算.

王东奎 1975 年生, 硕士生, 主要研究领域为并行/分布处理, 网络平台.

张德富 1937 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为并行处理技术和分布式系统.