

# 一种有效降低误差扩散的数据分割方法

杜建超, 肖 嵩, 吴成柯, 张建龙

(西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室, 陕西西安 710071)

**摘要:** 提出一种有效降低误差扩散的数据分割方法. 该方法改进了 H. 264 划分子流的做法, 采用当前编码宏块被错误解码时对下一编码帧产生的误差扩散程度来判别该宏块的优先级, 以此划分不同的传输子流. 在给定网络带宽和丢包率的情况下, 采用率失真优化的码率分配算法对不同传输子流分别施以不同的信道编码保护力度, 以保证在相同传输条件下, 优先级高的宏块被正确接收的概率最大化, 使重建视频流的质量达到最优. 该方法实现简单, 对宏块的分类更加合理, 有效降低了由于包丢失引起的误差扩散效应, 改善了重建视频的质量. 实验结果表明在相同的带宽和丢包率条件下, 本文方法比 H. 264 方法提高视频接收质量大约 0.3~0.6 dB.

**关键词:** 视频流传输; 数据分割; 视频容错; 误差扩散; 不等重错误保护

**中图分类号:** TN919.8      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2006) 10-1823-05

## A Data Partitioning Method for Reducing Error Propagation

DU Jian chao, XIAO Song, WU Cheng ke, ZHANG Jian long

(National ISN Key Laboratory, XiDian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

**Abstract:** In this paper, a novel data partitioning method is presented, aiming at reducing error propagation for video streaming. The proposed method modifies the approach defined in H. 264, differentiating the importance level of every encoded macroblock by using the degree of the error propagation caused by the loss of the macroblock and then forming separate sub bitstreams. Given the network bandwidth and packet loss rate, a bit rate allocation algorithm based on rate distortion optimization is presented to protect individual sub bitstreams at different levels, which enhances the possibility of correctly receiving the macroblocks of high level and improves the reconstructed quality of video streaming. The proposed method is easy to implement. Most important, the method effectively reduces the error propagation as packet loss happens. The simulations show that the proposed method gains 0.3~0.6 dB than H. 264 under the same channel conditions.

**Key words:** video streaming delivery; data partitioning; video error resilience; error propagation; UEP

### 1 引言

在无线网络中传输视频流面临许多问题. 网络拥塞和信道的突发错误常常使视频流数据包丢失或者出错, 引起接收质量下降. 针对数据业务设计的重传机制能保证数据被完全正确地收到, 但是这将导致延迟. 而视频流本身具有很强的实时性, 超出有效时间范围的数据包即使被正确接收到, 对接收方来说也是无用的, 因此这种机制不能用于视频流业务. 为了解决这一问题, 许多容错 (error resilience) 技术被提出: slice 分段编码、插入 Intra 宏块和 Intra slice<sup>[1]</sup>; 参考帧选择, 数据分割 (data partitioning)<sup>[2, 3]</sup>; 灵活的宏块排序 (flexible macroblock ordering), 冗余 slice 编码<sup>[3]</sup>; 可分级编码<sup>[4]</sup>和多描述编码<sup>[5]</sup>等. 容错技术使视频流在发生传输错误时, 接收端利用收到的部分数据尽可能恢复出较高的视频质量, 减小数据丢失带来的

影响.

容错技术之一的数据分割将编码后的码流按照一定关系组织成多个有重要性区别的子流, 而不像传统做法那样组织成一个流<sup>[3, 6, 7]</sup>, 如图 1 所示. 使用数据分割技术后, 重要的子流将用较强的 FEC (Forward Error Correction) 信道编码进行保护, 以使包含该子流的数据包的纠错能力增强, 数据被正确接收的概率增大, 与此同时, 降低不重要数据的保护力度以均衡信道带宽, 由此在总体上改善重建视频的质量.

在 H. 263+ 视频编码标准中, 数据分割将头信息、运动矢量和 DCT 系数分离开来, 形成三个单独的数据部分<sup>[8, 9]</sup>, 如图 2. 在 MPEG-4 标准中, 数据被分成两个部分: 一部分为形状和运动信息, 另一部分为纹理信息<sup>[10]</sup>. H. 264 编码标准中给出了一种新的数据分割方法, 将码流分为头信息、INTRA 宏块相关信息、INTER 宏块相关信息三个子流. 这些分割方法做法简

单,但灵活性差,不能适应图像内容和网络条件的变化.比如 H.264 分割方法中第二个子流的数据量常常为 0,而第三个子流的数据量几乎包含了所有宏块的纹理信息.本文提出一种新的数据分割方法,能有效降低出错信道中的误差扩散(error propagation)效应.本方法根据每一编码宏块对后一编码帧的影响程度来判别其重要性和保护级别,并施以不同的信道编码策略,使得对后续编码帧影响程度较高的宏块能得到更高的保护力度,从而降低丢包时重建图像产生的误差扩散效应.

## 2 H.264 数据分割算法

传统编码器将宏块头信息与宏块系数交织在一起形成单一码流,这样当其中某个信息位出现传输错误时,由于 VLC 编码,出错位后面的数据,包括运动矢量等重要信息,都变得不可用,这可能使视频质量严重下降.在 H.264 标准中,码流被组织成三个单独传输的部分.其中, A 类包含 slice 头信息、宏块类型、量化参数、运动矢量等信息; B 类包含所有以 Intra 模式编码宏块的 CBP (Coded Block Patter) 和 DCT 系数; C 类包含所有以 Inter 模式编码宏块的 CBP (Coded Block Patter) 和 DCT 系数.在这种组织方式下, A 类数据包含了正确解码图像所需的最重要信息;其次 B 类数据被认为重要性强于 C 类数据,因为其对图像质量的影响程度较高,而且可以用来恢复解码错误;而 C 类数据重要性最小,一些帧的 C 类数据即使不被正确收到,解码器也能重建出可以接受的图像质量.并且三类数据有这样的依赖关系: B 类和 C 类数据各自独立,但是它们的解码都必须依赖于 A 类数据.基于这样的分割方式,信道编码器就可以有选择地对不同类数据进行不等重错误保护(Unequal Error Protection),以便在信道条件不好时,首先确保那些重要的信息能被接收端正确收到.

H.264 的数据分割方法虽然较好地改善了丢包环境下的视频传输质量,但是其还有不足之处.例如: B 类和 C 类数据的分割过于僵化,编码器实际上不能控制这两类的数据量.通过对标准序列 Foreman (CIF 格式, 300 帧) 进行编码统计,我们发现以 Intra 模式编码的宏块数只占总量的 0.29%. 这就使得这两类数据的比例很不均衡: B 类包含的数据太少,对很多不含 Intra 宏块的帧而言 B 类数据量为 0,而 C 类数据包含的宏块数据过多,几乎为一帧图像全部宏块的信息.在信道条件较差的环境中,如果保护力度最弱的 C 类数据全部被丢弃,则依然会使一些帧的重建质量明显下降,有时甚至不可容忍.而实际上, C 类中包含的 Inter 宏块对重建图像质量的影响是各不相同的,不宜将它们等同视之.因此,我们提出一种改进的数据分割方法.该方法保留原有的 A 类和 B 类数据,但是将 C 类数据按照一定准则分为两部分,一部分划入 B 类,一部分保留在 C 类中.这种方法可以灵活地控制 B、C 两类数据量的比例,较好地改善重建视频质量.

## 3 降低误差扩散效应的数据分割

由于视频编码中使用了运动估计,所以当编码帧  $P_1$  的某个宏块出现传输错误没有正确解码时,后续编码帧 ( $P_2, P_3, \dots$ ) 中所有参考该宏块的区域都将受到影响,并在时间轴

逐步扩散和积累误差,加重视频质量下降的程度,这称为误差扩散效应.而且,每一宏块对后续编码帧造成的误差扩散程度是不一样的,比如一个宏块被下一编码帧多次参考,则它造成的误差扩散效应就要大一些,而若一个宏块根本就没有被下一编码帧参考,则它正确解码与否将只影响到本帧的重建结果,而不影响下一帧.基于此,本文提出一种降低误差扩散效应的编码策略,根据误差扩散的程度对每一宏块进行排序,并分别进行不同力度的信道编码,以便在包擦除(packet erasure)信道中传输视频流时改善重建视频质量.

### 3.1 宏块影响因子的评估

在视频编码中,宏块(macroblock)是编码的基本单元.在本文方法中,我们用影响因子来评估一个宏块对重建视频质量的影响.

设第  $n$  个编码帧为  $f_n$ ,  $M_{n,i}$  为该帧中的一个编码宏块,  $f'_n$  经过编码后的重建帧为  $f'_n$ ,  $M_{n,i}$  重建后为  $M'_{n,i}$ .  $f'_n$  重建质量的高低用 PSNR 来表示

$$\begin{cases} P_{\text{SNR}}(f_n, f'_n) = 10 \log_{10} \left( \frac{255 * 255}{M_{\text{SE}}(f_n, f'_n)} \right) \\ M_{\text{SE}}(f_n, f'_n) = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} \left[ \frac{1}{256} \sum_{x,y=0}^{15} |M_{n,i}(x,y) - M'_{n,i}(x,y)|^2 \right] \end{cases} \quad (1)$$

其中  $N_0$  为一帧图像中总的宏块数,  $x, y$  为像素的空间坐标.

当  $M_{n,i}$  没有正确解码时,解码端将会使用错误掩盖方法来估计  $M_{n,i}$ , 设估计的宏块为  $M''_{n,i}$ , 此时  $f_n$  重建后的图像为  $f''_n$ , 则 PSNR 为

$$\begin{cases} P_{\text{SNR}}(f_n, f''_n) = 10 \log_{10} \left( \frac{255 * 255}{M_{\text{SE}}(f_n, f''_n)} \right) \\ M_{\text{SE}}(f_n, f''_n) = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} \left[ \frac{1}{256} \sum_{x,y=0}^{15} |M_{n,i}(x,y) - M''_{n,i}(x,y)|^2 \right] \end{cases} \quad (2)$$

由此,可得宏块  $M_{n,i}$  错误解码时  $f_n$  重建图像的质量下降参数  $\varepsilon_i(f_n)$  为

$$\varepsilon_i(f_n) = P_{\text{SNR}}(f_n, f'_n) - P_{\text{SNR}}(f_n, f''_n) \quad (3)$$

同时,由于编码帧  $f_{n+1}$  (紧接  $f_n$  的下一个编码帧) 做运动估计时以  $f'_n$  为参考帧,而在解码端做运动补偿时以  $f''_n$  为参考帧,因此,这必然引起  $f_{n+1}$  的重建帧  $f'_{n+1}$  的质量下降,设此时的重建帧为  $f''_{n+1}$ , 由 PSNR 的计算可得质量下降参数  $\varepsilon_i(f_{n+1})$  为

$$\varepsilon_i(f_{n+1}) = P_{\text{SNR}}(f_{n+1}, f'_{n+1}) - P_{\text{SNR}}(f_{n+1}, f''_{n+1}) \quad (4)$$

同理,由于  $M_{n,i}$  的错误解码将会引起后续编码帧  $f_{n+2}, f_{n+3}, \dots$  的重建质量下降.若我们以  $f_n$  所在 GOP 内所有编码帧的质量下降总量作为宏块  $M_{n,i}$  的影响因子  $\omega_i$  的度量,则

$$\omega_i = \sum_{j=n}^{N_{\text{GOP}}} \varepsilon_i(f_j) \quad (5)$$

其中,  $N_{\text{GOP}}$  是 GOP 的大小.

实际上,若计算整个  $N_{\text{GOP}}$  的质量下降,则在编码  $f_n$  的时候要等待后面的帧,这将引起较大的延迟,增加编码端的缓存需求,因此,在实时应用中,可以采用简化的计算,仅统计  $f_n$  和  $f_{n+1}$  的质量下降.并且由式(1)(2)可以看出, PSNR 由 MSE

决定, 因此, 为了计算方便, 可以使用 MSE 来统计质量下降程度, 用  $\Psi$  表示. 设  $f_{n+1}$  在运动估计时, 所有参考区域包含  $M_{n,i}$  的宏块组成的集合为  $S = \{M_{n+1,k_1}, M_{n+1,k_2}, \dots, M_{n+1,k_m}\}$ , 则  $M_{n,i}$  没有正确解码时,  $f_n$  和  $f_{n+1}$  的两帧的质量下降程度为

$$\begin{aligned} \Psi_i &= (MSE(f_n, f_n'') - MSE(f_n, f_n')) \\ &\quad + (MSE(f_{n+1}, f_{n+1}'') - MSE(f_{n+1}, f_{n+1}')) \\ &= \frac{1}{256} \sum_{x,y=0}^{15} (|M_{n,i}(x,y) - M_{n,i}'(x,y)| \\ &\quad - |M_{n,i}(x,y) - M_{n,i}''(x,y)|) \\ &\quad + \frac{1}{256} \sum_{k_i \in S} \sum_{x,y=0}^{15} (|M_{n+1,k_i}(x,y) - M_{n+1,k_i}''(x,y)| \\ &\quad - |M_{n+1,k_i}(x,y) - M_{n+1,k_i}'(x,y)|) \end{aligned} \quad (6)$$

由式(6)可以看出, 计算  $\Psi_i$  时, 不用计算整帧的 MSE, 而只需要计算  $f_n$  中的  $M_{n,i}$  以及  $f_{n+1}$  中受  $M_{n,i}$  影响的那些宏块 of MSE, 这大大降低了运算量. 因此, 在本文中,  $\Psi_i$  被用来替代  $\omega_i$  作为评估  $M_{n,i}$  影响因子的指标.

### 3.2 $\rho$ 曲线

基于宏块的影响因子, 编码器可以按照从大到小的顺序将编码帧的所有宏块排列起来, 设排列后的宏块序列为  $S = \{M_1, M_2, \dots, M_k, \dots, M_N\}$ . 根据本文进行数据分割的思想, Intra 宏块不参与 MSE 排序, 因此  $S$  中的元素由所有以 Inter 模式编码的宏块构成, 即  $S$  是经过排序后的 C 类数据.

设  $S_n$  表示  $S$  中的前  $n$  ( $0 \leq n \leq N$ ) 个元素,  $\Omega_n = \{A, B, S_n\}$  表示 H. 264 数据分割中的 A 类、B 类数据和  $S_n$  构成的集合, 则  $S_0 = \emptyset$ ,  $\Omega_0 = \{A, B\}$ ,  $\Omega_N = \{A, B, S\} = \{A, B, C\}$ . 对序列  $\Omega = \{\Omega_0, \Omega_1, \dots, \Omega_N\}$ , 可由编码系统求得  $f_n$  和  $f_{n+1}$  相应的重建帧序列  $\{f_{n,0}, f_{n,1}, \dots, f_{n,N}\}$  和  $\{f_{n+1,0}, f_{n+1,1}, \dots, f_{n+1,N}\}$ . 计算  $f_{n,k}$  和  $f_{n+1,k}$  ( $0 \leq k \leq N$ ) 的平均 PSNR, 可得该值与数据序列  $\Omega$  之间的函数关系  $\rho$

$$\rho = \overline{PSNR}(\Omega) \quad (7)$$

称该函数曲线为  $\rho$ - $\Omega$  曲线.

$\rho$ - $\Omega$  曲线是一条单增分段曲线, 分段点位于整数横坐标处.

$\rho$ - $\Omega$  曲线有两个作用:

(1) 表达了图像质量增减与正确接收到的宏块数量之间的关系模型;

(2) 使编码器容易找到满足要求的截取点.

由于每一宏块编码后产生一定量的比特流, 因此编码比特率  $R$  与宏块数量、图像质量与编码比特率之间的关系可以分别表示为

$$R = f_{\text{enc}}(\Omega) \quad (8)$$

$$\rho = \overline{PSNR}(R) \quad (9)$$

式(8)中  $f_{\text{enc}}$  表示编码器的参数配置, 因为编码产生的比特流与编码器设置相关.

这三种类型的曲线图, 帮助编码器从不同角度寻找满足需求的截取点. 基于式(7)~(9), 编码器可以通过截取点, 将  $S$  分为两部分,  $S_k$  和  $(S - S_k)$ , 然后将  $S_k$  并入 B 类数据,  $(S - S_k)$  作为 C 类数据, 并对其分别施以不同速率的信道编码.

### 3.3 截取点的选取

设 H. 264 的数据分割方法得到 A、B、C 三类数据的码率为  $b = \{b_A, b_B, b_C\}$ , 根据信道条件得到其信道编码速率分配方案为  $r = \{r_A, r_B, r_C\}$ , 则下式成立

$$B(r) = \frac{b_A}{r_A} + \frac{b_B}{r_B} + \frac{b_C}{r_C} \leq B_0 \quad (10)$$

其中,  $B_0$  为信道当前的带宽, 系统的输出码率  $B$  由信道编码速率分配方案  $r$  决定.

视频接收质量的失真期望为

$$\begin{aligned} \bar{D}(r) &= p_0(r) \cdot D_0 + p_A(r) \cdot D_A + p_{A,B}(r) \cdot D_{A,B} + p_{A,C}(r) \cdot D_{A,C} \\ &\quad + p_{A,B,C}(r) \cdot D_{A,B,C} \end{aligned} \quad (11)$$

其中,  $p_0$  和  $D_0$  表示全部数据都丢失的概率和此时视频的失真;  $p_i$  和  $D_i$ ,  $i \in P\{S|S = \{A, B, C\}\}$ , 分别表示仅有  $i$  类数据正确收到的概率和其正确解码时视频的失真.

对(11)式有如下两点说明:

(1) 第  $i$  类数据丢失的概率与信道编码的速率分配方案有关, 因此计为  $p_i(r)$ . 根据信道编码理论, 速率越低, 丢失概率越小;

(2) 因为 B、C 类数据彼此独立, 且都依赖于 A 类数据的正确解码, 因此,  $\{B\}$ 、 $\{C\}$ 、 $\{B, C\}$  这三种接收情况都视为数据全部丢失, 用  $p_0$  和  $D_0$  表示.

设本文方法中待求的截取点为  $S_k$ , 则由  $S_k$  进行重新归并后三类数据为 A、B'、C', 其码率为  $b' = \{b_A, b_{B'}(S_k), b_{C'}(S_k)\}$ , 重新为其分配的信道编码速率为  $r' = \{r'_A, r'_{B'}, r'_{C'}\}$ . 类似于式(10)有

$$B'(r') = \frac{b_A}{r'_A} + \frac{b_{B'} b_{C'}}{r'_{B'} r'_{C'}} \leq B_0 \quad (12)$$

而此时而视频接收质量的失真期望为  $\bar{D}(r', S_k(A, B', C'))$ .

又因为 A、B'、C' 类数据的重要性依次降低, 因此信道编码速率分配方案  $r'$  可作如下约束

$$r'_A \leq r'_{B'} \leq r'_{C'} \quad (13)$$

因此, 我们归纳该问题为: 找到一个截取点  $S_k$  和新的信道编码速率分配方案  $r'$ , 使得

$$\begin{cases} \arg \min \{ \bar{D}(r', S_k) | \bar{D}(r', S_k) \leq \bar{D}(r) \} \\ \text{s.t. } B'(r') \leq B_0 \end{cases} \quad (14)$$

由于截取点  $S_k$  的可选集是一个有限集, 由 RS( $N, L$ ) 码原理可知码率分配方案也是有限集, 并且存在式(13)的约束. 数据丢失概率  $p_i$  可由信道统计信息求得, 对某类数据的失真  $D_i$  可由系统根据  $\rho$  曲线求得. 因此可以用穷举搜索法解式(14).

解的存在性: 当  $k=0$ , 即  $S_k = S_0 = \emptyset$  时, 必有  $B' = B$ ,  $C' = C$ ,  $r' = r$ , 以及  $\bar{D}(r', 0) = \bar{D}(r)$ , 因此可知式(14)必有解.

下面我们给出求解算法:

step1. 初始化. 设  $k_0 = 0$ ,  $S_k = S_{k_0}$ ,  $r_0 = r$ ,  $\min \bar{D} = \bar{D}(r_0)$ ,  $S_{k_0} = \bar{D}(r)$ ;

step2. 令  $k = 1, \dots, N$  (循环),  $\{r'_A, r'_{B'}, r'_{C'}\} = \frac{1}{N} \dots 1$ , 且满足式(13)和式(12)约束, 计算  $\bar{D}(r', S_k)$ . 若  $\bar{D}(r', S_k) \leq \min \bar{D}$ , 则令  $\min \bar{D} = \bar{D}(r', S_k)$ ,  $k_0 = k$ ,  $r_0 = r'$ .

step3.  $S_{k_0}, r_0$  就是求得的截取点和新的码率分配方案.

本算法有一定的计算复杂度. 设期望失真的计算(11)式为基本运算单元, 根据求解过程可知, 本方法的运算复杂度为  $O(N_0 * N \log N \log \log N)$ , 其中  $N_0$  是当前编码帧的宏块数,  $N$  是  $RS(N, l)$  码的码长.

## 4 实验结果

为了验证本文所提方法的有效性, 我们进行了仿真实验. 视频编码器采用修改的 H. 264 JM 97, 图像序列采用 Foreman (300 帧) 和 Mother (200 帧), 两个序列均为 CIF (352 × 288) 格式, 编码帧率设为 30fps, 编码模式为 IPPP...P. Foreman 序列和 Mother 序列的主要区别在于: Foreman 序列有较大的平移运动, 且背景较复杂, 而 Mother 序列仅有较小的头部运动, 背景较为平滑. 信道采用两状态马尔可夫模型, 即简化的 GE 模型, 信道编码采用  $RS(N, l)$  码, 其中  $N$  取 255,  $l$  可变. 由于我们使用包擦除 (packet erasure) 信道模型, 因此凡是信道译码器不能将错误比特完全纠正的数据包都将被丢弃. 再加上链路故障和拥塞产生的丢包, 这三方面的原因共同造成了数据包的丢失.

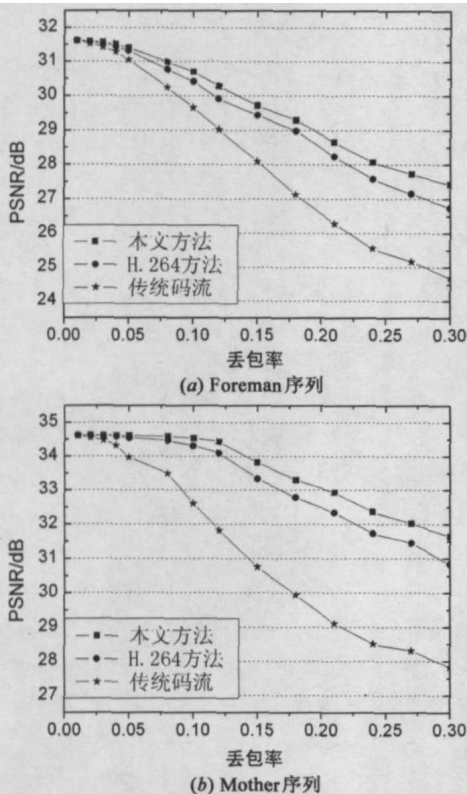


图1 本文方法与其它方法 PSNR 性能比较图

图1给出了不进行数据分割的传统方法、H. 264 中的数据分割方法与本文所提方法的性能比较结果, 其中 1 (a) 为 Foreman 序列的 PSNR 结果图, 1 (b) 为 Mother 序列的 PSNR 结果图. 实验条件为: 最大带宽为 384Kbps, 丢包率从 0.01 逐渐增加到 0.30, 平均突发长度为 3.75. 对于传输错误的数, 若 A 类数据可用, 则利用运动矢量执行运动补偿; 若 A 类数据不可用, 则用前一帧相同位置宏块进行错误掩盖. 对每一个丢包

率值, 统计整个序列在此环境下获得的平均 PSNR. 由图中可以看出, 对于两个序列, 传统方法在丢包环境下的性能表现最差, 其图像质量随着网络丢包率的增加迅速下降, 在  $PLR > 10\%$  时, PSNR 值比本文方法和 H. 264 方法低超过 1dB. 而本文方法与 H. 264 方法相比, 在网络状况较好时 ( $PLR < 5\%$ ), 性能相当; 随着网络丢包率的增加, H. 264 方法的表现不及本文方法, 其获得的平均 PSNR 值较本文方法低大约 0.3~0.6dB. 本文提出的方法获得较好的图像质量.

图2给出了各种方法重建 Foreman 序列第 99 帧的效果图. 图 2 (a) 为无错情况下的重建图; 2 (b) 为传统码流结构下, 第 6 至第 9 个 slice 丢失时的重建图像; 2 (c) 为以 H. 264 数据分割码流结构下, C 类数据丢失时的重建图像; 2 (d) 为以本文所提数据分割码流结构下, C 类数据丢失时的重建图像. 由图可以看出, 传统码流结构下, 由于运动矢量信息丢失, 解码器掩盖的数据明显有“移位现象”, 而 H. 264 数据分割方法解决了这一问题, 但是帧间编码的宏块信息丢失过多, 使得图像质量还是下降了许多, 在复杂区域和目标边缘表现不好. 本文方法恢复的图像获得更好的质量, 这是部分影响较大的宏块信息被正确解码的结果.



图2 重建效果比较图:(a) 正确解码图像;(b) 传统码流结构;(c) H.264数据分割;(d) 本文方法

## 5 结束语

本文提出了一种基于降低误差扩散的数据分割方法, 增强了视频流的抗丢包性能, 适合于包丢失网络上的传输视频流. 这种方法更符合图像内容和当前网络条件的变化, 能自适应地调整各个子流的大小和保护力度, 重点保护部分数据, 以降低误差扩散效应和改善视频流的传输质量. 与 H. 264 标准中提出的数据分割方法相比, 本文方法的创新之处在于:

- (1) 将宏块按照其对图像质量的影响程度进行分类, 而不是等视之, 这样能更加有效地保护重要数据;
- (2) 将宏块按照其对误差扩散的影响程度进行排列, 并构造了  $\rho$  曲线, 这有利于系统进行截取点的选取;
- (3) 提出了截取点选取的理论模型, 并给出了解法.

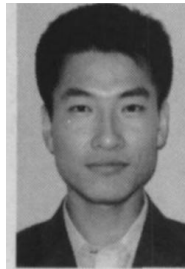
实验结果表明, 本文提出的方法增强了视频流的容错性能, 改善了丢包网络中的视频流传输性能, 优于 H. 264 中提出的数据分割方法.

#### 参考文献:

- [1] ITU-T, Video Coding for Low Bit Rate Communication [S]. ITU-T Recommendation H. 263 Version 3, Nov. 2000.
- [2] ISO/IEC 14496 2: Information technology Coding of audio visual objects Part2: Visual [S]. 1999.
- [3] ITU-T Rec. H. 264/ISO/IEC 11496 10, Advanced Video Coding [S]. Final Committee Draft, Document JVTF E022, Sept. 2002.
- [4] WeiPing li. Overview of fine granularity scalability in MPEG-4 video standard [J]. IEEE CSVT, 2001, 11(3): 301-317.
- [5] Yao Wang, Shunan Lin. Error resilient video coding using multiple description motion compensation [J]. IEEE CSVT, 2002, 12(6): 438-452.
- [6] Stephan Wenger. H. 264/AVC Over IP [J]. IEEE CSVT, July 2003, 13(7): 645-656.
- [7] Thomas Stockhammer, Maja Bystrom. H. 264/AVC data partition for mobile video communication [A]. IEEE International Conference on Image Processing [C]. Singapore: IEEE, 2004. 545-548.
- [8] Li A H, Kittitornkun S, Yir Hen Hu, Dong Seek Park, Villasenor J. Data partitioning and reversible variable length codes

- for robust video communications [A]. Proceedings of Data Compression Conference [C]. DCC2000, 2000, 460-469.
- [9] Li A H, Wen J, Villasenor J, Park JH. Model Implementation of Error Resilience Mode in H. 263 + codec [S]. ITU-T Doc. Q15-E-19, Whistler, Canada, 1998.
- [10] Abdul H Sadka. Compressed Video Communications [M]. 科学出版社, 2004.

#### 作者简介:



杜建超 男, 1977 年 8 月出生于陕西汉中, 博士, 现任教于西安电子科技大学通信工程学院, 研究方向为视频编码, 无线网络视频传输。  
E-mail: jedu@xidian.edu.cn

肖 嵩 女, 1977 年 1 月出生于陕西西安, 博士, 副教授, 现任教于西安电子科技大学通信工程学院, 研究方向为视频编码、无线网络视频传输、联合信源信道编码。

吴成柯 男, 1938 年出生于安徽, 教授, 博士生导师, 现任教于西安电子科技大学通信工程学院, 研究方向为视频编码与传输、卫星图像压缩与传输、视觉几何与三维重建。

张建龙 男, 1976 年出生于陕西, 西安电子科技大学博士生研究生, 研究方向为视频编码与传输, 网络传输协议。