

中图法分类号: TN919.81 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)05-0746-08

论文索引信息: 孔范增, 季仲梅, 崔维嘉, 王建辉. 基于先验约束的空时联合视频错误检测算法[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(5): 746-753

# 基于先验约束的空时联合视频错误检测算法

孔范增, 季仲梅, 崔维嘉, 王建辉

(信息工程大学信息工程学院, 郑州 450002)

**摘要:** 视频错误检测是视频错误隐藏的基础, 为此针对视频的典型应用场景对其展开研究, 对基于空域特征的错误检测算法进行了改进, 使其可自适应调节判决门限。在此基础上综合已有算法并引入视频时域相关性特征, 提出一种具有较强普适性的基于先验约束的空时联合视频错误检测算法。以 3G 视频通话业务为例进行仿真, 仿真结果表明, 该算法错误检测的定位精度较高, 为错误隐藏提供了可靠依据。

**关键词:** 错误检测; 语法特征检测; 空域特征检测; 时域相关性检测; 空时联合; 3G

## A jointed space-time video error detection algorithm based on the prior restriction

Kong Fanzeng, Ji Zhongmei, Cui Weijia, Wang Jianhui

(Institute of Information Engineering, Information Engineering University, Zhengzhou 450002 China)

**Abstract:** The video error detection is the basis of error concealment, which is studied in a typical application scene in this paper. At first, the error detection algorithm based on spatial feature is improved to adaptively adjust the decision threshold. Then, the feature of video temporal correlation is introduced, and a novel joint space-time video error detection algorithm based on prior restrictions with better applicability is proposed. Finally, the algorithm is simulated in 3G video communication environment, the results indicate that the proposed algorithm has a higher accuracy and provided a reliable basis for error concealment.

**Keywords:** error detection; syntactic detection; space-feature detection; time-correlation detection; joint space-time; 3G

## 0 引言

随着无线通信技术的发展, 采用无线信道传输实时视频业务成为可能。然而, 无线信道上的各种干扰和噪声会严重影响视频业务的接收质量, 为此, 针对不同速率视频业务的接收需求, 国内外众多研究机构都开展了错误检测和错误隐藏技术的研究, 本文的研究主要涉及错误检测技术的范畴。

目前, 视频错误检测算法主要有基于语法、基于

视频空域特征和基于数字水印 3 种。基于语法的检测算法是通过在解码端检查码流中的语法元素是否符合句法结构来判断是否发生错误, 其优点是易于实现, 应用范围广, 可成为其他检测算法的基础; 其缺点是由于“检测滞后效应”, 错误定位精度较低<sup>[1-12]</sup>。基于视频空间特征的检测算法是在解码端以视频信号的平滑特性为特征对图像块进行检测, 其优点是定位精度高; 其缺点是对被检块邻域内的空间平滑性及其他数据块的正确性要求较高<sup>[1-7]</sup>。基于数字水印的检测算法是在编码端对视频数据嵌

收稿日期: 2010-01-28; 修回日期: 2010-03-23

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2009AA011504)。

第一作者简介: 孔范增(1982—), 男, 助理工程师。解放军信息工程大学信息工程学院通信与信息工程专业博士研究生, 主要研究方向, 无线视频通话。E-mail: kfz821118@163.com。

入水印信息,使其与视频数据建立某种约束关系,在解码时,若这种关系被破坏,则说明视频数据发生错误,其优点是定位精度较高;其缺点是需要编码端的配合,增加了网络的负载<sup>[9-10]</sup>。综合分析上述 3 种方法,每种方法都有其各自的特点及特定的应用环境,而不具备普适性。本文主要讨论在无发送端配合的前提下,接收端独立进行的视频错误检测算法,并在基于视频空域特征错误检测算法的基础上,针对不同的被检块邻域平滑性存在差异的问题,对该算法进行了改进,并以 3G 视频通话业务为例,在已有算法的基础上引入视频的时域相关性,提出一种基于先验约束的空时联合视频错误检测算法,此算法具有较好的普适性。

## 1 视频通话相关知识简介

### 1.1 视频通话典型应用场景

典型应用场景的研究是进行视频错误检测研究的基础。以 3G 视频通话为例,其典型应用场景如图 1 中 A、B、C 所示。场景 A,采样镜头长时间保持相对稳定,背景变化相对缓慢,小部分图像存在明显变化,视频图像各帧之间的时间相关性较强。场景 B,采样镜头出现快速切换,图像变化剧烈,形成一个短暂的过度场景,视频图像各帧之间的时间相关性较弱。场景 C,采样镜头长时间保持相对稳定,背景变化相对缓慢,图像整体无明显变化,视频图像各帧之间的时间相关性较强。另外上述 3 个场景中均存在部分平坦区域,区域平滑性较好。本文将根据此典型应用场景及其特点,对视频的错误检测方法展开研究。

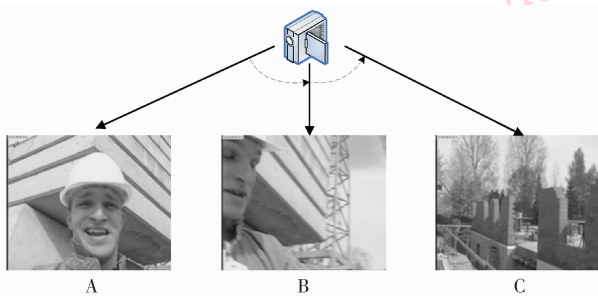


图 1 视频通话典型应用场景

Fig. 1 A typical application environment of video call

### 1.2 视频通话解码过程<sup>[13]</sup>

不同速率的视频业务对错误检测的要求也不尽相同,这主要取决于不同视频业务的解码过程及其

相关协议。以 3G 视频通话业务为例,其解码过程如图 2 所示,其采用 3GPP 制定的更适用于低比特率移动网环境的 3G-324M 协议组作为数据传输协议。在其解码过程中主要涉及 H. 245 控制协议、H. 223 多路复合协议及相关音视频协议。3G 视频通话所用的视频标准为 MPEG-4 和 H. 263。视频输出的每一帧图像都是由若干个 MUX-SDU 组成的。H. 223 协议中 MUX-SDU 的帧格式如图 3 所示,包括一个字节的序列号、若干字节的数据段及一个字节的循环校验数据段。对于视频数据,可以利用 MUX-SDU 中的序列号和循环校验数据段对其进行判断。在视频图像的解码过程中,若数据发生错误,则会导致解码器工作异常,直至停止工作。

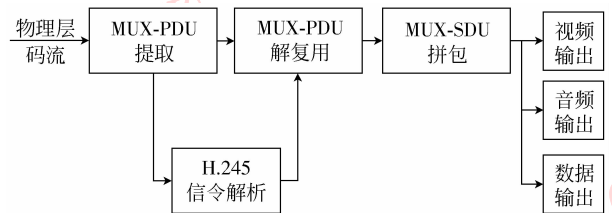


图 2 视频通话解码流程

Fig. 2 Decoding process of video call

序列号(1 个字节)
AL-PDU 数据段(1 个或多个字节)
循环校验数据段(1 个字节)

图 3 H. 223 的 MUX-SDU 格式

Fig. 3 Format of the H. 223 MUX-SDU

综上所述,3G 视频通话业务采用了 3G-324M 协议组,其解码过程主要分为数据流的解复用过程及视频数据的解码过程,故针对这一典型视频业务的错误检测应围绕上述两个过程展开。

## 2 基于先验约束的空时联合视频错误检测算法

如上所述,为提高视频图像重建质量,首先必须对错误图像进行错误检测和错误定位。为此本文针对不同的被检块邻域的平滑性存在差异的问题,对已有的基于视频空域特征的错误检测算法进行了改进。同时,在此基础上根据视频解码过程的特点,引入视频图像的时域相关性特征,给出了一种基于先验约束的空时联合视频错误检测算法。

### 2.1 基于空域特征的错误检测算法的改进

现有的基于空域特征的错误检测算法<sup>[2-5]</sup>通常

以初步检测出的待检区域作为先验信息及约束条件。这些算法均假设被检块邻域为平滑区域,根据被检块及其邻域的空域特征进行检测,但该假设没有考虑不同的被检块邻域的平滑性存在差异的问题,使判决门限无法根据这种差异自适应调整,从而影响检测结果。针对此问题本文对该算法进行了改进。该改进算法思想是仍假设被检块邻域为平滑区域,以被检块的特征值为检测对象,并根据邻域的平滑程度引入惩罚因子调整判决门限,再通过比较被检块的特征值与判决门限的关系,判断其是否发生错误。本文以宏块中的亮度块作为基本检测单位,以亮度块的平均内部像素差及与其邻域块平均边界像素差为特征值进行检测。该改进算法具体步骤如下。

1) 确定被检块的邻域,根据现有的视频标准,若被检块发生错误,则其右侧和下边的块通常也会发生错误,因此本文以图 4 作为被检块的邻域。其中块  $B_0 (M \times N)$  为被检块,假设除块  $B_0$  外其他块均为正确块。 $B_i$  表示第  $i$  块亮度值矩阵。

6	7	8
5	2	3
4	1	0

图 4 被检块的邻域

Fig. 4 Neighbor field of detected block

2) 计算块  $B_0$ 、 $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$  的平均内部像素差  $AID(B_i)$  及与其邻域内块平均边界像素差  $AIDB(B_i)$ , 计算公式如下

$$AID(B_i) = \frac{\sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=1}^{M-1} |I(x,y) - I(x-1,y)| + \sum_{y=1}^{N-1} \sum_{x=0}^{M-1} |I(x,y) - I(x,y-1)|}{N(M-1) + M(N-1)} \quad (1)$$

$$AIDB(B_i; B_j) = \frac{1}{L} \left[ \sum_{l=0}^{L-1} |p_l^{ij} - p_l^{ji}| \right] \quad (2)$$

$$AIDB(B_i) = \frac{AIDB(B_i; B_j) + AIDB(B_i; B_k)}{2} \quad (3)$$

式中,  $I(x,y)$  为块  $B_i$  内像素位置为  $(x,y)$  的亮度值;  $AIDB(B_i; B_j)$  为块  $B_i$  与块  $B_j$  的邻边亮度差均值,  $p_l^{ij}$  为块  $B_i$  内与块  $B_j$  的边界上第  $l$  个像素,  $p_l^{ji}$  为块  $B_j$  内与块  $B_i$  的边界上第  $l$  个像素, 如图 5 所示; 块  $B_j$  为块  $B_i$  左侧的块, 块  $B_k$  为块  $B_i$  上面的块, 如图 5 所示。

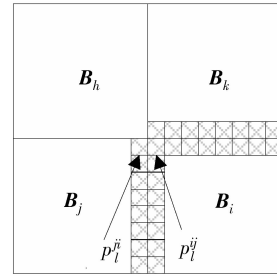


图 5 块边界像素

Fig. 5 Block edge pixels

3) 计算惩罚因子及判决门限并根据上一步所计算的特征值进行判决。之所以在判决门限的计算中引入惩罚因子, 是因为在邻域内的平滑程度直接影响该算法门限值的确定及判决结果。对于平滑性相对较差的邻域, 其判决门限也应相对较高。计算公式如下

$$\eta_1(B_i) = \frac{AID(B_h) + AID(B_j) + AID(B_k)}{3} \quad (4)$$

$$\eta_2(B_i) = \frac{AIDB(B_h) + AIDB(B_j) + AIDB(B_k)}{3} \quad (5)$$

$$\delta_1(B_i) = \left( \frac{1}{3} \left( (AID(B_h) - \eta_1(B_i))^2 + (AID(B_j) - \eta_1(B_i))^2 + (AID(B_k) - \eta_1(B_i))^2 \right) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$\delta_2(B_i) = \left( \frac{1}{3} \left( (AIDB(B_h) - \eta_2(B_i))^2 + (AIDB(B_j) - \eta_2(B_i))^2 + (AIDB(B_k) - \eta_2(B_i))^2 \right) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$\theta_1(B_i) = \begin{cases} \frac{\delta_1(B_i)}{\eta_1(B_i)} & \delta_1(B_i) < 2\eta_1(B_i) \\ 2 & \delta_1(B_i) \geq 2\eta_1(B_i) \end{cases} \quad (8)$$

$$\theta_2(B_i) = \begin{cases} \frac{\delta_2(B_i)}{\eta_2(B_i)} & \delta_2(B_i) < 2\eta_2(B_i) \\ 2 & \delta_2(B_i) \geq 2\eta_2(B_i) \end{cases} \quad (9)$$

$$Th_1 = \eta_1(1 + \theta_1) \quad (10)$$

$$Th_2 = \eta_2(1 + \theta_2) \quad (11)$$

式中, 块  $B_h$ 、 $B_j$ 、 $B_k$  分别为被检块  $B_i$  左上方、左侧及上方的邻域块,  $\eta_1(B_i)$  为被检块  $B_i$  的邻域块平均内部像素差的均值,  $\eta_2(B_i)$  为被检块  $B_i$  与其邻域块平均边界像素差的均值,  $\delta_1(B_i)$  为被检块  $B_i$  的邻域块

平均内部像素差的标准差,  $\delta_2(\mathbf{B}_i)$  为被检块  $\mathbf{B}_i$  与其邻域块平均边界像素差的标准差,  $\theta_1(\mathbf{B}_i)$  与  $\theta_2(\mathbf{B}_i)$  分别为  $Th_1$ 、 $Th_2$  的惩罚因子,  $Th_1$  与  $Th_2$  分别为  $AID(\mathbf{B}_i)$ 、 $AIDB(\mathbf{B}_i)$  的判决门限值。由于错误块是无规则的且存在很强的块效应, 因此其平均内部像素差  $AID(\mathbf{B}_i)$  及平均边界像素差  $AIDB(\mathbf{B}_i)$  都会很大。针对上一步中被检块的特征值使用以下公式做进一步的检测

$$AID(\mathbf{B}_i) < Th_1 \quad AIDB(\mathbf{B}_i) < Th_2 \quad (12)$$

检测规则为若被检块的特征值满足式(12), 则认为该块为正确块, 否则该块为错误块。

该算法的优点是易于实现, 但其以被检块邻域内的平滑性为前提条件, 对上述典型应用场景中较平滑区域的检测结果较准确。若被检块邻域内的平滑性较差或纹理较复杂, 则该算法的检测结果会受到很大影响。

## 2.2 基于先验约束的空时联合视频错误检测算法

该算法的核心思想是对视频数据的错误检测分为对码流的粗检测和对图像的细检测两个步骤。以3G视频通话为例, 先利用视频通话中MUX-SDU帧

结构的特点和基于语法特征的检测算法对视频码流进行检测, 确定检测区域, 减小检测范围, 此过程即为粗检测。再根据检测区域内各被检块的特征选择基于空域特征的或基于时域相关性的错误检测算法对其进行检测, 从而确定错误发生的准确位置, 此过程即为细检测。

### 2.2.1 时域相关性在错误检测算法中的引入

在相对稳定的场景中(如图1中场景A、C), 相邻视频帧间的时域相关性很强, 视频帧间的变化很小, 存在大量时域冗余信息, 如图6所示。基于这些时域冗余信息可利用当前帧的前  $n$  帧实现对当前帧的预测, 同时在解码过程中也可利用这个预测值实现对当前帧的检测。引入视频的时域相关性进行错误检测的主要思想是, 以被检块的特征值为检测对象, 利用当前帧的前  $n$  帧中与被检块位置相同的块的特征值对当前帧中的被检块的特征值进行预测, 通过比较被检块的特征值与其预测值的关系, 判断其是否发生错误。本文以宏块中的亮度块作为基本检测单位, 以亮度块的平均内部像素值为特征值进行检测。

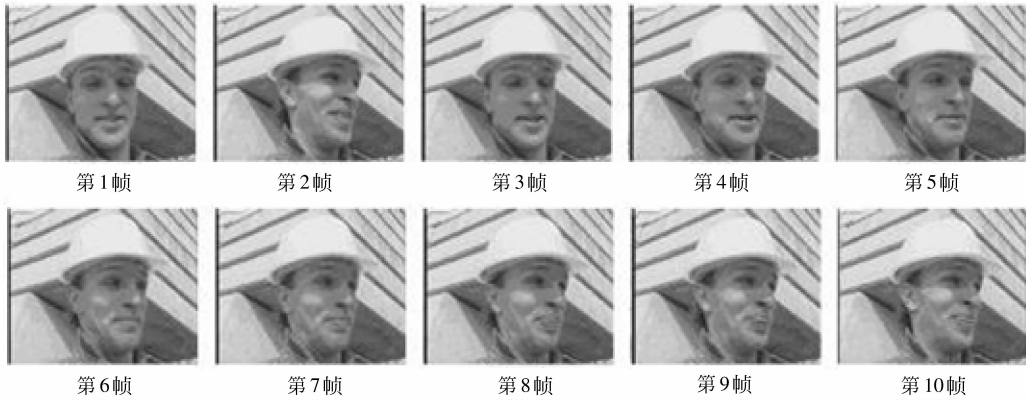


图6 Foreman测试视频第1—10帧

Fig.6 No.1—10 frame of foreman sequence

1) 从缓存中读取当前帧的前  $n$  帧中与被检测块位置相同的块特征值, 并利用 Kalman 滤波器<sup>[14]</sup> 根据已读取的块特征值对当前帧中的被检测块的特征值进行预测。

本文以被检测块的内部像素亮度均值作为其特征值, 计算如下式

$$MPD(\mathbf{B}_{i,j}^k) = \frac{1}{M \times N} \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{M-1} I(x,y) \quad (13)$$

式中,  $MPD(\mathbf{B}_{i,j}^k)$  为第  $k$  帧中位置为  $(i,j)$  的块的内

部像素亮度均值,  $\mathbf{B}_{i,j}^k$  为第  $k$  帧中位置为  $(i,j)$  块的亮度值矩阵,  $I(x,y)$  为块  $\mathbf{B}_{i,j}^k$  内像素位置为  $(x,y)$  的亮度值。用  $MPD(\mathbf{B}_{i,j}^{k-n}), \dots, MPD(\mathbf{B}_{i,j}^{k-1})$  的值预测  $MPD(\mathbf{B}_{i,j}^k)$  的值。

对于 Kalman 滤波器, 有过程方程

$$\mathbf{X}_{k+1} = \mathbf{F}\mathbf{X}_k + \mathbf{U}_k \quad (14)$$

式中,  $\mathbf{X}_k = [x_k]$  为系统在第  $k$  帧的状态向量,  $\mathbf{F} = [I]$  为状态转移矩阵,  $\mathbf{U}_k = [u_k]$  为过程噪声向量, 其协方差矩阵  $\mathbf{Q} = [\sigma_u^2 I]$ 。

观测方程表示如下

$$Y_k = CX_k + V_k \quad (15)$$

式中,  $Y_k$  为观测向量,  $C = [I]$  为观测矩阵,  $V_k$  为观测噪声向量, 其协方差矩阵为  $R = [\sigma_k^2 I]$ 。

标准的线性 Kalman 滤波递推过程为

$$X_{k,k-1} = FX_{k-1,k-1} \quad (16)$$

$$K_{k,k-1} = FK_{k-1,k-1}F^T + Q \quad (17)$$

$$G_k = FK_{k,k-1}C^T(CK_{k,k-1}C^T + R)^{-1} \quad (18)$$

$$\alpha_k = Y_k - CX_{k,k-1} \quad (19)$$

$$X_{k,k} = FX_{k,k-1} + G_k\alpha_k \quad (20)$$

$$K_{k,k} = K_{k,k-1} - F^{-1}G_kCK_{k,k-1} \quad (21)$$

式中,  $G_k$  代表 Kalman 增益,  $K_{k,k-1}$  表示预测状态误差的相关矩阵,  $\alpha_k$  为新息过程。

2) 计算用 Kalman 滤波器预测的平均误差值

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{x=1}^n |MPD(B_{i,j}^{k-x}) - \hat{Y}_{k-x}| \quad (22)$$

式中,  $\hat{Y}_{k-x}$  为  $MPD(B_{i,j}^{k-x})$  的 Kalman 滤波器的预测值。

3) 根据前两步的计算结果, 对被检块做进一步检测。若  $MPD(B_{i,j}^k)$  满足下式, 则认为该被检测块是正确的, 否则为错误的。

$$\hat{Y}_k - \bar{d} < MPD(B_{i,j}^k) < \hat{Y}_k + \bar{d} \quad (23)$$

上述检测方法主要是以视频图像各帧间的时域相关性为依据进行检测。因此, 其对于图像帧间时间相关性较强的视频的错误检测正确率较高, 但对图像变化十分剧烈的视频, 其错误检测正确率较低。因此, 有必要根据被检块的不同情况, 选择合适的错误检测算法对其进行检测。

## 2.2.2 联合算法设计

根据该联合算法的思想, 其主要步骤分为对码流的粗检测和对图像的细检测两步, 其中对于码流的粗检测要根据具体视频业务传输码流的不同灵活设计, 本文仅以 3G 视频通话业务为例, 具体设计如下。

### 第 1 步对码流的粗检测

在视频通话的解码过程中, 若干个 MUX-SDU 拼在一起才能还原一帧视频图像。每个 MUX-SDU 中都包含一个字节的序列号及一个字节的循环校验数据段(见图 3), 利用这两个信息可以对视频数据进行初步检测。检测准则如下:

1) 若当前 MUX-SDU 的序列号与前一个 MUX-SDU 的序列号不连续, 则表明有数据丢失, 并确定丢失数据所处的位置。

2) 若当前 MUX-SDU 的循环校验数据段不能通过校验, 则表明当前的 MUX-SDU 存在误码。

根据以上准则, 可以对视频码流进行初步校验, 确定发生错误的 MUX-SDU, 进而以一帧图像中发生错误的 MUX-SDU 中负载的起始位置为检测区域的起始位置。上述部分应视具体视频业务传输码流的不同进行修改。

在完成一帧视频图像的拼帧后, 终端会根据 3G 视频通话所使用的视频标准选择相应的解码器对其进行解码(本文以 MPEG-4 为例)。在解码器对视频码流进行解析时, 若出现以下情况, 则解码器停止工作。

1) 无效码值, 如无效的宏块地址增量、无效的宏块类型、无效的编码块模式、无效的起始码、无效的 DC 直流系数等;

2) 无效 VLC 值, MVD(运动矢量残差)等;

3) 在一个视频包中包头确定的宏块数与解出的宏块数不一致;

4) 量化信息越界;

5) DCT 系数越界;

6) DCT 系数个数超出 64;

7) 在 I-VOP 内宏块地址增量不等于 1。

若在解码过程中遇到以上情况使解码器停止工作, 则认为解码器停止工作的码流位置是检测区域的终点, 且从该位置至视频码流的下一个同步点内的视频数据均被腐蚀。该算法即为上文中所说基于语法特征的错误检测算法<sup>[1-12]</sup>。该算法易于实现, 但由于“检测滞后效应”<sup>[9]</sup>, 其正确定位率低, 仅在 0.05 ~ 0.15。“检测滞后效应”就是解码器无法在误码发生时立刻发现错误宏块, 而是“滞后”几个宏块因语法错误才检测出来。因此, 有必要在该算法的基础上结合其他算法进一步确定误码实际发生的位置。

通过上述视频码流的检测过程, 可以确定错误发生的大致位置及下一步细检测的检测区域, 即完成粗检测过程。

### 第 2 步对图像的细检测

在检测区域内从起点开始逐块进行检测。每个被检测块根据其时间相关性强弱选择基于空域特征的或基于时域相关性的错误检测算法对其进行细检测。若检测区域内的块全部检测完毕或连续检测出  $m$  个错误块, 则该联合错误检测算法结束, 以检测出

的第一个错误块为当前视频帧中错误发生的起始位置。

如何确定被检测块的时间相关性是细检测过程的关键问题。因为 QCIF 格式的 foreman 测试序列(取样格式为 4:2:0)具有视频业务的典型应用场景,所以以该测试序列为例。令

$$d_{MPD(\mathbf{B}_{i,j}^k)} = MPD(\mathbf{B}_{i,j}^k) - MPD(\mathbf{B}_{i,j}^{k-1}) \quad (24)$$

$$\bar{d}_{MPD(\mathbf{B}_{i,j}^k)}^n = \frac{1}{n} \sum_{N=1}^n |d_{MPD(\mathbf{B}_{i,j}^{k-N})}| \quad (25)$$

$$\bar{d}_{frame}^k = \frac{1}{176 \times 144} \sum_{i=0}^{143} \sum_{j=0}^{175} |f^k(i,j) - f^{k-1}(i,j)| \quad (26)$$

式中,  $f^k(i,j)$  为第  $k$  帧视频中位置为  $(i,j)$  的像素点的亮度值,  $d_{MPD(\mathbf{B}_{i,j}^k)}$  为第  $k$  帧中位置为  $(i,j)$  的块特征值与第  $k-1$  帧相同位置块特征值的差值,

$\bar{d}_{MPD(\mathbf{B}_{i,j}^k)}^n$  为第  $k-n$  至  $k-1$  帧中位置为  $(i,j)$  的块特征值绝对值的均值,  $\bar{d}_{frame}^k$  为第  $k$  帧与第  $k-1$  帧中各点亮度值绝对差的均值。  $d_{MPD(\mathbf{B}_{i,j}^k)}$ 、 $\bar{d}_{MPD(\mathbf{B}_{i,j}^k)}^n$  可以反映出第  $k$  帧中位置为  $(i,j)$  的块内部像素亮度均值变化大小,变化越大,表明该块和当前帧的前  $n$  帧中与该块位置相同的块的时间相关性越弱。  $\bar{d}_{frame}^k$  越大,表明这两帧之间的时间相关性越弱。之所以要根据检测区域内各被检块的时域相关性而不是根据其所在帧的整体时域相关性选择合适的细检测算法,是因为如图 7 所示一帧中某一被检块的时域相关性与其他被检块并不完全一致,与其所在帧的整体时域相关性也不完全一致。因此,本文以  $\bar{d}_{MPD(\mathbf{B}_{i,j}^k)}$  作为确定被检块时域相关性强弱的参考量,若该参考量小于某一门限,则该被检块时域相关性较强。

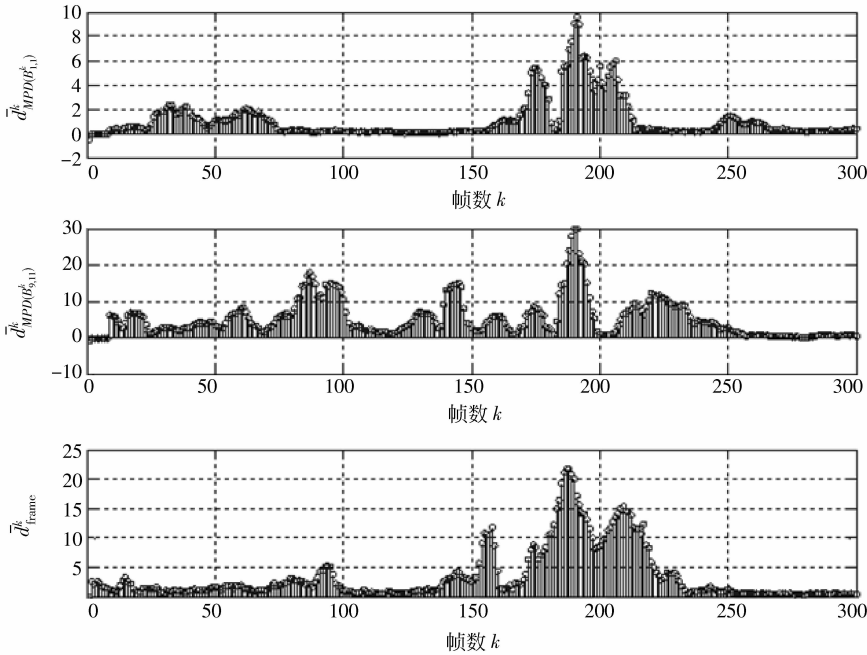


图 7 时间相关性对比图

Fig. 7 Time-correlation comparison

综上所述,该联合算法流程如下:

1) 从数据流中提取 MUX-SDU,完成视频帧的拼帧,并对 MUX-SDU 进行校验,判断是否丢帧或数据发生错误。若数据发生错误,再记录发生错误的 MUX-SDU 的位置,并确定检测区域的起始位置。

2) 对完整的一帧视频进行解码,若因语法错误使解码器停止工作,则确定检测区域的终止位置。

3) 根据 1)、2),若视频数据发生错误,则指针指向检测区域的起始位置,开始对其中的块进行检

测,否则结束该检测算法。

4) 若当前被检块的  $\bar{d}_{MPD(\mathbf{B}_{i,j}^k)}^n > Th_c$ ,则当前被检块选择基于空域特征的错误检测算法对其检测,否则选择基于时域特征的错误检测算法对其检测,并记录检测结果。

5) 若检测区域的块全部检测完毕或连续检测出  $m$  个错误块,则终止该检测算法,并将  $m$  个错误块中的第一个块作为错误发生的起始位置,否则指针指向检测区域内下一个被检块,重复 4)。

该算法根据视频解码器的特点对检测区域采用由前至后的检测顺序,保证了被检块邻域内的其他是正确的,同时该算法可根据被检块的特征选择更为合适的细检测算法,从而提高了检测算法的可靠性。另外,该算法以连续检测出  $m$  个错误块为终止条件,避免因一个被检块的误检而造成检测算法的提前终止,而无法确定错误发生的准确位置。

本节对已有的基于空域特征的检测算法进行了改进,使其可根据被检块邻域的平滑性自适应的调节判决门限提高判决的可靠性。另外,在已有算法的基础之上引入视频的时域相关性特征提出了一种基于先验约束的空时联合视频错误检测算法。该算法在确定视频错误发生的区域后,可对该区域内的

被检块自适应的选择合适细检测算法进行检测,从而提高检测的可靠性。

### 3 性能仿真及分析

本文以 foreman 测试序列为数据源,用 MPEG-4 编码器对其进行编码,随机抽取一帧以  $5 \times 10^{-4}$  的误码率对其进行加扰,采用 3 G 视频通话业务所用的传输协议对其进行传输,在接收端对接收到的码流分别利用 1) 基于语法特征及视频空域特征的检测算法; 2) 基于语法特征及视频时域相关性的检测算法; 3) 基于先验约束的空时联合检测算法对相同的码流进行检测。图 8 为第 20 帧及第 184 帧的仿真结果。

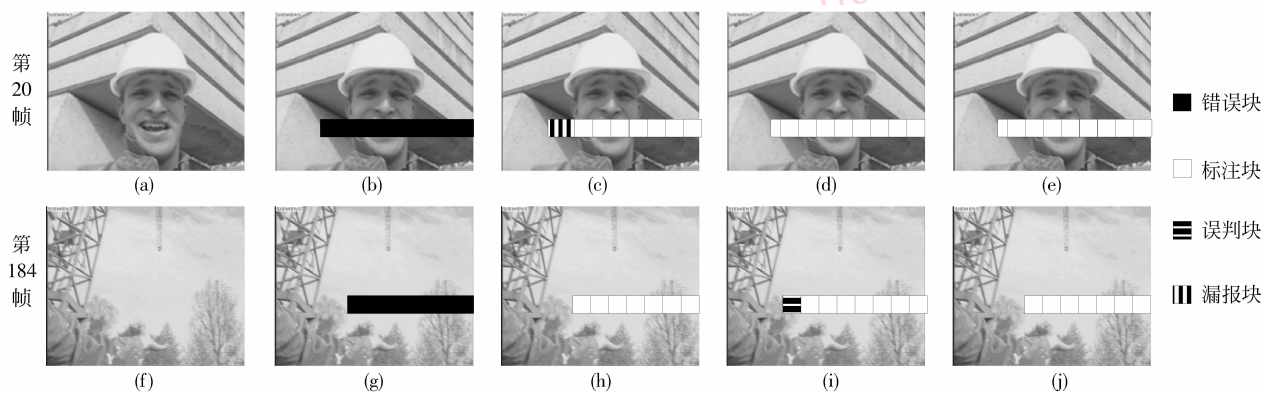


图 8 图像错误检测结果

Fig. 8 Result of video error detection

图 8 中,(a)(f)为正确图像,(b)(g)为错误图像,(c)(h)为算法 1) 的检测结果,(d)(i)为算法 2) 的检测结果,(e)(j)为算法 3) 的检测结果。第 20 帧处于相对稳定的场景中,第 184 帧处于过度场景中。针对第 20 帧的检测中,算法 2)、算法 3) 的检测精度优于算法 1),算法 1) 的检测结果存在误判块,主要是由于第 20 帧是一个相对稳定的场景,与其之前帧存在较强的时域相关性,该帧大部分区域适合用时域相关性进行检测,所以算法 2)、算法 3) 的检测精度较高,而发生错误的区域在正确的图像中存在较多边界且不平滑,不适合用空域特征进行检测,所以造成算法 1) 产生部分误判。针对第 184 帧的检测中,算法 1)、算法 3) 的检测精度优于算法 2),算法 2) 的检测结果存在误判块,主要是由于该帧发生错误的区域较平滑,适合用空域特征进行检测,所以算法 1)、算法 3) 的检测精度较高,而该帧处于过度场景中帧间的时间相关性较弱,不适合用时域相关

性进行检测,所以造成算法 2) 产生部分误判。

为进一步验证联合检测算法的性能,本文对不同错误检测算法的误判块数进行了统计和分析,仿真结果如图 9 所示(统计次数设置:10 000 次/算法)。

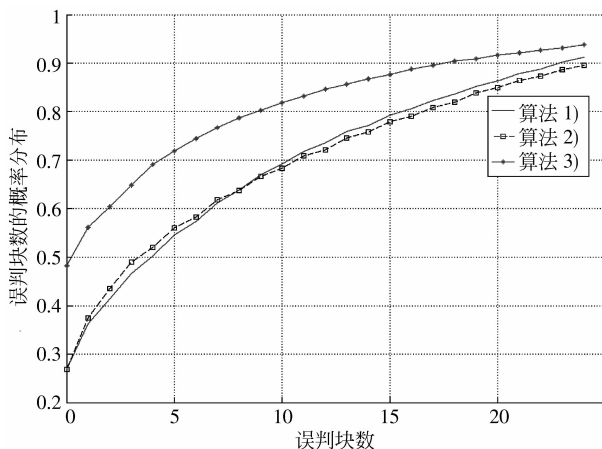


图 9 算法性能对比图

Fig. 9 Performance of algorithm comparison

图9表明,算法3)的性能明显优于算法1)、算法2),算法1)、算法2)的性能相近。主要是因为算法3)通过粗检测减小了检测区域,在此基础上对检测区域中的每一块选择合适的细检测算法,并且以连续检测出 $m$ 个错误块为算法的终止条件,从而提高错误检测的定位精度。算法1)、算法2)的检测区域比算法3)大,且针对每个待检块都使用同一种算法进行检测,因此其错误检测的定位精度较低。

## 4 结 论

分析目前已有的视频错误检测算法的特点及其适用环境,并针对基于空域特征的错误检测算法进行了改进。在此基础上为进一步提高视频错误检测的定位精度,综合利用文中所介绍的各种算法并引入视频的时域相关性特征,提出一种基于先验约束的空时联合视频错误检测算法。该联合算法可根据视频的不同应用场景为检测区域内的被检块自适应的选择检测算法,具有一定的普适性,且提高了错误检测的定位精度。为验证该算法的性能,以3G视频通话业务为例进行仿真,仿真结果表明,该算法错误检测的定位精度较基于语法特征及视频空域特征的检测算法有明显提高。但该算法对被检块检测算法的选择准则不够完善,对于时域相关性较强且邻域内空域平滑性较好或者这两方面性质均较差的被检块的算法选择不够明确,以此为该算法的主要改进方向。

## 参考文献 (References)

[1] Yang Wenyong, Huang Chao, Li Jintao, et al. Detection and concealment of video errors for AVS decoder[J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 11(13):2106-2111. [杨文勇, 黄晔, 李锦涛, 等. AVS 视频解码的错误检测与掩盖方法[J]. 中国图象图形学报, 2008, 11(13):2106-2111.]

[2] Khan E, Lehmann S, Gunji H, et al. Iterative error detection and correction of H. 263 coded video for wireless networks[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 12(14):1294-1307.

[3] Ding Xuewen. Studying of Error Concealment Techniques for MPEG-4 Digital Video [D]. Tianjin: Tianjin University, 2005. [丁学文. MPEG-4 数字视频错误隐藏技术的研究[D]. 天津:天津大学学位论文, 2005.]

[4] Cao Jihua. Error-detection technique of MPEG-2 texture images [J]. Journal of Tianjin University of Technology and Education, 2006, 9(16):5-8. [曹继华. MPEG-2 纹理图像的错误检测技术[J]. 天津师范学院学报, 2006, 9(16):5-8.]

[5] Hao Luguo, Wang Zhaohua, Su Hansong. Analyzing and detecting of MPEG-2 image errors [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2003, (2):7-12. [郝禄国, 王兆华, 苏寒松. MPEG-2 视频图像错误分析与检测方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2003, (2):7-12.]

[6] Zheng Lili, Li Qingbao, Zeng Guangyu. Technique research on error detection and localization based on MPEG-4 [J]. Computer Engineering and Design, 2005, 9(26):2371-2374. [郑丽丽, 李清宝, 曾光裕. MPEG-4 错误检测和定位技术研究[J]. 计算机工程与设计, 2005, 9(26):2371-2374.]

[7] Cao Jihua, Li Fengting, Wang Zhaohua. Error detection and concealment technique of DC for MPEG-2 video bitstream [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2003, 3(17):1-6. [曹继华, 李凤亭, 王兆华. MPEG-2 视频码流中直流系数的错误检测和隐藏技术[J]. 电子测量与仪器学报, 2003, 3(17):1-6.]

[8] Wang Y, Zhu Q F. Error control and conceal for video communication; a review [J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(5):974-997.

[9] Liu Zhiqiang. An error detection method for H. 264 video transmission [J]. Journal of Guilin University of Electronic Technology, 2006, 12(26):442-446. [刘志强. 一种基于 H. 264 视频传输的错误检测方法[J]. 桂林电子科技大学学报, 2006, 12(26):442-446.]

[10] Li Wenlong. The Research of Error Detection and Rate Control in Video Communication [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2007. [李文隆. 视频通信中错误检测和码率控制算法的研究[D]. 成都:成都理工大学, 2007.]

[11] Gao Shaoshuai, Tu Guofang. H. 263 video decode based error check and concealment [J]. Journal of China Institute of Communications, 2001, 12(22):82-87. [高绍帅, 涂国防. 基于 H. 263 视频解码的错误检测和掩盖[J]. 通信学报, 2001, 12(22):82-87.]

[12] Gao Peng, Chen Yongen. Research on error correct and adaptive error concealment algorithm for MPEG-2 in video communication [J]. Computer Science, 2006, (33):84-86. [高鹏, 陈咏恩. 视频通信中 MPEG-2 码流的纠错与自适应错误隐藏算法的研究[J]. 计算机科学, 2006(33):84-86.]

[13] Gao Chengwei. Mobile Multimedia: Standard, Theory and Applications [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006: 227-258. [高成伟. 移动多媒体技术——标准、理论与实践[M]. 北京:清华大学出版社, 2006:227-258.]

[14] Zhang Xianda. Modern Signal Processing [M]. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2002:177-188. [张贤达. 现代信号处理[M]. 2版, 北京:清华大学出版社, 2002:177-188.]