

视频通信中基于不同频率成分的空域差错消隐方法

李永利 刘贵忠 侯兴松 吕奎

(西安交通大学电子与信息工程学院信息与通信工程系, 西安 710049)

摘要 在视频通信中,由于信道噪声的影响,致使视频图象中经常出现比特差错以及块和宏块差错,它们严重地影响着视频的质量,同时由于基于检错重发的机制不能很好地满足实时的要求,目前许多人提出了时域、空域、频域以及它们的联合差错消除方法。但这些方法比较复杂,为了利用简单可行的方法,在校正错误的同时,并能满足实时传输处理的要求,从而提出了一种基于不同频率成分的空域误码隐匿和恢复方法,该方法利用马尔科夫随机场描述了像素之间以及像素块之间的相关性,并以此来确定用以恢复误码区域的邻域及其误码块中边缘像素的邻域,再根据人眼视觉特点,对误码区域的高频与低频部分分别利用不同的策略来先预测,后恢复,并在均方差最小的原则下,通过线性拟合与插值,同时结合多向插值,以达到对误码区域的最佳恢复。实验结果表明,它具有健壮

的差错处理能力和良好的差错恢复性能。

关键词 马尔科夫随机场 差错隐匿 梯度算子 实时传输 多向插值

中图分类号: TN919.8 TN911.72 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2002)07-0723-06

A Spatial Error Concealment Method in Video Communication

LI Yong-li, LIU Gui-zhong, HOU Xing-song, LÜ Kui

(Department of Information & Communication, College of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

Abstract In video communication bit-errors, block-errors and macroblock-errors often happen owing to channel noises. They seriously affect video quality and QoS. At the same time retransmission can't match the needs of real-time transmission (RTP) when finding errors. Up to now many methods have been proposed for error concealment in spatial, temporal, frequent domain and their joint domain. They all try out to conceal the error with simple algorithm to meet the demand of RTP. In this paper we proposed an error concealment method using the frequent information of error blocks' neighborhood to decide how to conceal the error. It employs Markov random field to describe the relationships between pixels and between blocks. Based on the description we get the neighborhood of pixels and blocks by which to restore the error pixels and error blocks. According to the characters of human vision system different methods are used to restore different frequent parts. The high frequent parts, i. e. the edges of image are restored first, then the lower parts. In a least-square sense linear fitting and multi-directional extrapolation are used to obtain optimal concealment. The experiment results have proved its robust error processing ability and good error concealment performance.

Keywords Markov random field, Error concealment, Gradient operator, Real-time transmission, Multi-directional interpolation

0 引言

尽管数字传输技术的发展使得多媒体业务服务

成为现实,然而大量的数字数据传输要求又将数字压缩技术推向这一问题的前沿。随着多种压缩算法和国际组织的出现,当今不仅形成了以 MPEG1、MPEG2、H. 261、H. 263 等为代表的压缩标准,而且

这些压缩算法都得到了广泛的应用,这些压缩算法主要采用的是基于块的离散余弦变换法,首先将图象的空间冗余信息去除,然后再用变长码进行统计冗余的消除,最后通过有线或无线信道将其传输到客户端。

大家知道,任何信道都不可避免地存在着噪声干扰,如网络拥塞、丢包,以及噪声信道中的比特错误等,均使得传输信号质量降低,尤其对于低比特率的变长编码和带有运动补偿的预测编码方法,任何一种误码都会使它们失去同步,并造成后续解码错误和差错大范围传播,直至下一个同步码字或同步帧的出现为止。如图1所示,I帧为同步帧,每帧内都含有图象组(GOP)同步或图象切片(SLICE)同步^[1]。

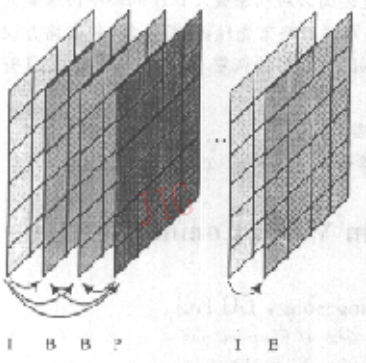


图1 帧间预测示意图

为了解决这一问题,在目前的几种压缩标准中均已提供了一些帧同步、图象组同步、图象切片同步等技术用来控制差错在帧内及帧间传播,另外,TCP/IP协议的检错重发机制虽也在一定的情况下缓解了这一问题,但是对于视频的实时传输来说,由于这种重发机制造成的延迟无法满足人们的主观视觉要求,所以基于UDP和ATM协议的传输倍受关注。

许多学者对于差错控制和处理做了大量的研究,根据错误出现的位置,差错控制可以划分为如下3类:①编码端的控制,如前向差错控制(FEC)^[2];②闭环式的编解码端共同控制,如检错重发,它主要用于实时性要求不高的场合;③解码端的控制,它不经过反馈信道与解码端协商,即可单独对差错进行处理,如时域、空域、频域以及三者联合预测补偿的差错控制方法^[3~6]。本文主要讨论了基于块的视频空域边缘重构差错隐匿技术,该方法是利用误码区域周围块中的边缘信息,在均方差最小的前提下,通过调整拟合与插值参数来检测和估计误码块中所存在的高频边缘和纹理,同时结合多向线性插值法

来对低频成分进行恢复,并最大可能地消除差错影响,以便重构原始图象,该方法不仅计算量较小、简单易行,并且具有很好的恢复效果。

1 图象的马尔科夫随机场描述

马尔科夫随机场是马尔科夫随机过程的二维扩展,众多研究^[7,8]表明,马尔科夫随机场是一种较为准确、合理的图象描述模型,在本文设计的算法中,边缘重建是将已知的3个连续边缘点的位置定义为当前未知像素的邻域,而将误码块(8×8)周围的正常像素块定义为误码块的邻域(如图2所示,其中正常块的个数为 n , $0 < n \leq 5$)。误码区域上的像素位置分布和像素值仅与邻域内的像素块中的像素有关,而其他块中的像素无关。



图2 误码块邻域

图2中,0为误码区域的第1个 8×8 的码块(Bolock),1、2、3、4、5为误码块周围正常区域中的5个 8×8 的码块。

2 差错控制处理流程

在有线或无线视频通信中,信道的噪声和干扰常常造成图象质量明显地恶化,为了避免帧间差错传播以及实现帧内差错消除,首先需将误码区域检测出来,以确定误码区域的位置,这种误码区域的检测主要是为了对码字的正确性、解码和运动估计后像素值的大小以及像素位置的合理性、语义表述的合理性和码流结构的正确性进行判断,这在许多文献中都有相关研究报道^[9]。本文对空域误码消隐方法的研究是在假设已经检测到误码区域正确位置的前提下而进行的,所以并不将误码检测作为重点研究的对象。

在以块为单位,基于DCT的视频压缩编码比特流中,常会出现以下错误:①比特错误,即出现单个异常的像素值;② 8×8 的块(Block)错误;③宏块(MacroBlock)错误,其中,单比特错误主要发生在无线传输中,它对视频整体质量影响较小,本文将不

对它进行处理;而在有线传输中更常见的是后两种错误,它们的误码区域较大,并且可以看作是以 8×8 的块为单位的集合.在差错处理过程中,本文将以 8×8 的像素块为单位逐一进行校正.

误码处理流程见图 3,它是利用误码区域周围邻域内的正常码块的纹理和边缘信息来进行的(如图 2 所示).误码处理时,首先检测周围码块中是否存在边缘,即是否存在梯度大于某一门限的连续像素点的集合,如果连续像素点的个数小于 3 时,则认为此像素集合不是边缘;反之,认为是边缘,并将边缘值赋为 255;在检测是否存在边缘通过误码区域时,可通过判断如图 4 所示的误码区域周围一个像素宽范围内的 19 个像素中,是否存在边缘点,当检测到周围几个图象块中存在通过误码块的边缘时,则将周围块边缘点的位置坐标 (i, j) ,根据均方误差最小的原则进行线性拟合,得 $j = ai + b$, a, b 为拟合系数.本文是采用 8×8 的块为单位来进行误码校正的,它相对于整幅图象来说是一个很小的块,并且未知边缘的位置及其像素值,但由于该边缘只与其邻域内像素的位置有关,而与其他像素无关,所以 3 点像素的线性拟合基本上能较好地恢复误码中的边缘,然后利用拟合后的结果进行插值,即可得到误码块中的高频边缘位置 (i', j') ,并利用已知前 3 点像素值的均值作为其像素值.当周围码块中没有检测到有穿越误码块的边缘时,就采用多向线性插值的方法来对误码块中的区域进行恢复.详细实现技术将在后续部分分别介绍.

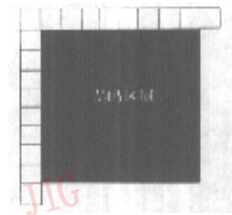


图 4 边缘判断区域示意图

3 边缘检测及边缘重构

大家知道,边缘信息很大程度上影响着视频的主观视觉质量,这是由于人眼对不同频率信息的敏感性不同而造成的.无论是用统计的方法或是用基于草图的方法,要恢复视频图象高频细节成分,但边缘检测是不可缺少的前提.边缘检测方法有多种,可以根据具体要求进行选择和改进,如梯度算子、拉普拉斯算子或形态学腐蚀和膨胀的方法等都可用于边缘检测.根据视频传输实时处理的要求,本文采用一阶梯度算子来进行边缘检测.由于它具有良好的检测性能和简单的运算要求,在本文实验中取得了很好的实验效果.

在差错处理前,先利用式(1)和式(2)计算出误码块周围正常块的每一像素灰度为 $x_{i,j}$ 的梯度幅度 G 以及梯度方向角 θ ,再以某一梯度门限决定边缘的取舍.

$$G = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \quad (1)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{g_y}{g_x}\right) \quad (2)$$

其中,

$$g_x = x_{i+1,j-1} + 2x_{i+1,j} + x_{i+1,j+1} - x_{i-1,j-1} - 2x_{i-1,j} - x_{i-1,j+1} \quad (3)$$

$$g_y = x_{i-1,j-1} + 2x_{i,j-1} + x_{i+1,j-1} - x_{i-1,j+1} - 2x_{i,j+1} - x_{i+1,j+1} \quad (4)$$

式(3)和式(4)的运算操作等同于利用 Sobel 算子^[10]的两个模板 S_x 和 S_y 进行处理.图 5 是对含有两个 8×8 的误码块的周围像素的处理结果,误码率(BER)为 3.125%.

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, S_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

然后,利用得到的周围边缘信息来判断是否存在穿越误码块的边缘,如果存在,则通过拟合与插值

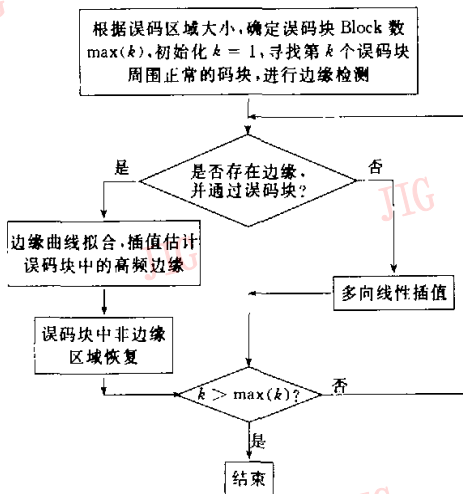
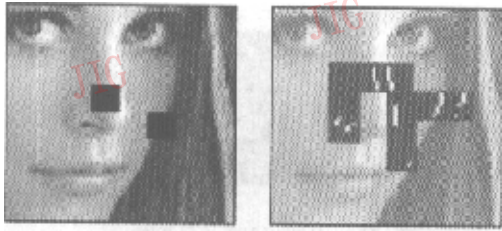


图 3 误码恢复处理流程



(a) 带有误码块的图象 (SNR=20.84dB) (b) 误码块周围区域边缘检测后的图象

图5 边缘处理

的方法来恢复损失掉的边界. 具体过程如下:

```

while(有边缘存在)
    N=边缘数;
    for n=1 to N
        while(插值得点不超出被恢复块的范围)
            在均方误差最小的条件下拟合已知点所组成的曲线,
            得  $j=ai+b$ ;
            外插得到一个未知像素的坐标  $(i',j')$ ;
             $x_{i',j'}$  = 曲线上前3点的均值;
        endwhile
    endfor
endwhile

```

在边缘拟合的过程中, 每一点的位置都是通过已知点拟合后而插值得到的, 由于处于边缘上的像素值基本不变或变化较为缓慢, 所以可以用每前3点的均值作为其像素值.

除高频边缘外, 其他部分像素值的恢复是利用误码块的外围上方第1行(8pixels)和左侧第1列(8pixels)的像素进行的, 并利用与非边缘部分相邻的这些像素的均值来作为此部分像素的值. 同时对处于边缘两侧的这些像素分别求均值, 再根据已知边缘梯度的均值和方向来决定两侧误码块中像素的补偿值. 如果沿梯度方向一侧相邻像素的均值大于边缘像素值, 则此侧相邻像素均值加上梯度即为其恢复值; 反之, 则减去梯度值作为其恢复值, 而另一侧的像素均值不作变化, 直接作为本侧像素的恢复值.

4 多向线性插值

以上是针对存在边缘的误码块恢复方法. 而对于比较均匀的误码区域, 如果采用上述方法将无法得到比较满意的结果. 为此, 可利用多向线性插值的方法对均匀的误码区域进行恢复.

基于多向线性插值的错误码块处理方法, 对于

一未知像素, 是以多个方向数据的线性插值加权并作为它的估计值(如图6所示).

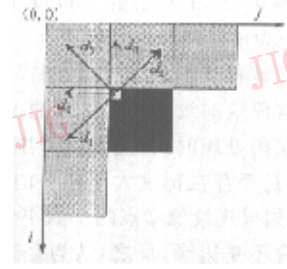


图6 多向线性拟合

(d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 代表5个不同的拟合方向)

由于本文所推荐方法的前提是已经确认此误码块及其周围的相邻码块是变化平缓的, 所以在多向插值时, 可以认为各个方向的权重是相同的.

$$\begin{cases} x_{i,j} = \sum_{k=1}^5 w_k l_k \\ \sum w_k = 1 \quad 0 \leq w_k \leq 1 \end{cases} \quad (6)$$

其中, w_k 是第 k 个方向的权重系数, l_k 为第 k 个方向的像素估计值, 每个方向的估计值是由此方向上靠近错误像素的3个像素的均值确定.

5 实验结果和分析

为了验证本文方法的有效性, 利用一幅 Lena 图象进行了处理实验. 由于处理是在帧内进行的, 不涉及帧间的预测和补偿, 所以任何单幅图象都可作为处理的对象. 处理是在梯度门限为10的条件下, 对存在两个 8×8 的误码块的周围正常区域进行的边缘检测, 检测结果如图5所示, 由该图可见, 其中每一个码块中都存在一个边缘; 而通过多决策的方法得到其估计后的边缘如图7(b)所示, 由图7(b)可见, 它们较为准确地反映了实际的轮廓边缘. 通过对剩余部分的像素进行恢复, 得到恢复后的整幅图象如图7(c)所示, 信噪比达到35.69dB, 其与图5(a)中的没有差错校正的图象相比, 提高了14.85dB. 同时发现, 尽管得到了可靠的边缘信息, 并且信噪比也有明显的提高, 但图象中鼻子部分的恢复结果不是很好. 当调整梯度门限为20时, 由检测的结果可见, 鼻子处已不存在边缘. 当采用多向插值来对这一误码块进行处理, 其得到的处理结果如图7(d)所示. 可见, 在适当的梯度门限下, 两种方法结合使用可取

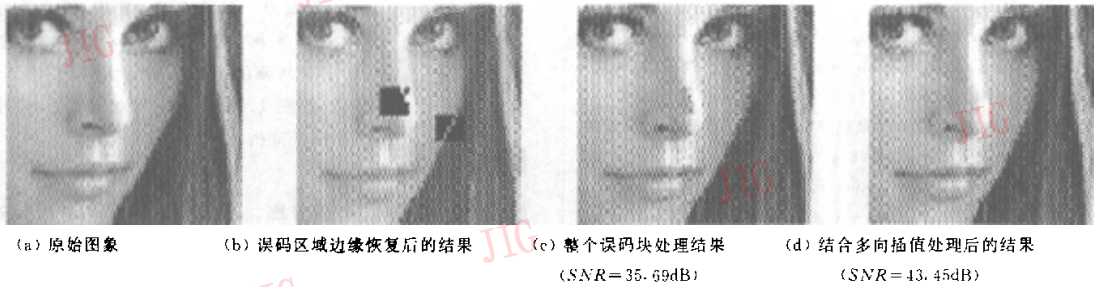


图 7 多决策方法处理结果

得非常好的恢复效果(信噪比提高 22.61dB)。据研究,梯度门限的选择在于人眼对灰度梯度变化的敏感性,一般的观察者可以观测到 10~20 级亮度的变化^[16]。在实验中,若将梯度门限取为 20 时,并在两种处理方法之间做出合理的折衷,则图象可以得到很好的主观视觉恢复质量。图 8 是在梯度门限为 20 的情况下,结合多向线性插值得到的实际 Foreman 序列第 26 帧的误码校正结果。



图 8 Foreman 第 26 帧校正前后的对比

与文献[3]相比,本文的方法不需求解 Gibbs 分布的拆分函数以及像素的分布概率,从而避免了很大的计算量;而与文献[4]相比,它又不必精确确定高频边缘的形状,虽然在有些情况下,引入了一定的误差,但是这些误差只限于 8×8 的码块中,而且计算量也得到了降低。尽管与简单地用相邻码块替换的方法比,本文方法所需的计算量有所增加,但是它明显地改善图象的视觉效果。随着计算机的 CPU 和专用处理芯片处理速度的提高,它足以满足这一处理的实时性要求。

6 结 论

本文所提出的基于不同频率成分的错误消除方法,利用 MRF 有效地反映了图象像素以及像素块间的相关性,并合理地选择了与误码区域及待估计

像素相关的邻域作为误码校正和高频边缘重建的依据。同时,根据人眼视觉对不同频率成分的敏感性不同,对图象中的高、低频成分给予了分别处理,另外,还在均方误差最小的原则下,通过准确地估计高频边缘像素的位置,并结合多向线性插值,对视频传输中误码区域的像素进行了有效的纠正和处理,明显地提高了视频质量。虽然与简单的像素平均替换方法相比,计算量较大,但是它能提供健壮的差错校正能力和很好的差错校正效果。另外,此方法对具有较明显的规则性边缘恢复效果好,而对于较小的细节性边缘恢复效果欠佳。对此,可以通过进一步发掘图象马尔科夫随机场中邻域结构的相关性来提高其恢复能力,这将在今后的工作中完成。

参 考 文 献

- 1 Video coding for low bit rate communication [S]. ITU-T Recommendation H.263, 1998.
- 2 Bystrom M, Parthasarathy V, Modestino J M. Hybrid error concealment schemes for broadcast video transmission over ATM networks [J]. IEEE Trans on Circuit and System for Video Technology, 1999, 9(6):868~881.
- 3 Shirai S, Kossentini F, Ward R. An adaptive Markov random field based error concealment method for video communication in an error prone environment [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing[C], 1999, 6:3117~3120.
- 4 Atzori L, Natale F G B De. Error concealment in video transmission over packet networks by a sketch-based approach [J]. Signal Processing: Image Communication, 1999, 15(1):57~76.
- 5 Genam S, Geman D. Stochastic relaxation, Gibbs distribution, and the bayesian restoration of images [J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984, 6(6):721~741.
- 6 Kwok W, Sun H. Multi-directional interpolation for spatial error concealment [J]. IEEE Trans. on Consumer Electronics, 1993.

- 39(3):453~460.
- 7 Sun H, Kwok W. Concealing of damaged block transform coded images using projection onto convex set[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 1995,4(4):470~477.
- 8 Tekalp A M 著; 数字视频处理[M]. 崔之祐, 江春, 陈丽鑫译. 北京: 电子工业出版社, 1998:447~451.
- 9 Shyu H C, Leou J J. Detection and concealment of transmission errors in MPEG2 images—A genetic algorithm approach[J]. IEEE Trans. on Circuit and System for Video Technology, 1999,6(6):937~948.
- 10 章毓晋编著. 图象处理和分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000:14~16.



李永利 1975年生,现于西安交通大学电信学院通信与信息系统专业攻读博士学位.主要研究兴趣包括图象处理、视频压缩与传输.



刘贵忠 1962年生,教授,博士生导师,1989年获荷兰Eindhoven大学博士学位.主要从事的研究工作为通信、多媒体、探测、测控及预测中的信号与信息处理,非平稳信号分析与自适应信号处理.



侯兴松 1972年生,2000年获西安交通大学通信与信息专业硕士学位,现在西安交通大学电信学院通信与信息系统专业攻读博士学位.主要研究兴趣为小波、图象处理、视频编码和传输.



吕 杳 1978年生,2000年获西安交通大学学士学位,现在西安交通大学电信学院通信与信息系统专业攻读硕士学位.主要研究方向是图象处理.

新一代嵌入式地理信息系统 eSuperMap 问世

由北京超图地理信息技术有限公司自主研制完成的,可广泛应用于通讯、交通、军事、消防、医疗等领域的新一代嵌入式地理信息开发平台 eSuperMap 日前进行了新闻发布,从该产品的介绍来看,该产品结构清晰、功能强大、二次开发灵活.该产品除具有地图放大、缩小、漫游等常规的 GIS 功能外,还具有地图旋转(还可设定图上文字是否跟着旋转)、路径分析(可以制定自己的路径寻优规则与模型)和自动导航(与 GPS 结合)等一些特色功能.特别是二次开发功能,二次开发商或最终用户可以用其构建具有自己特色的 GIS 应用系统,如 PDA 电子地图、车载 GPS 导航产品、机顶盒电子地图等.

该产品是目前市场上第一款真正意义的嵌入 GIS 开发平台,因为以前的产品主要是嵌入式应用,用户不能进行自己的扩充和定制,而 eSuperMap 则不仅具有强大的 GIS 功能,而且还给用户提供了开发自己专用嵌入式 GIS 的方便.目前已有许多公司在其基础上开发了自己的应用系统,如日本超图公司开发了广岛旅游观光自导游系统,日本三菱公司、日本 PasoMap 公司开发出了出租汽车监控导航系统,北京超图公司开发出了嵌入式测绘系统 eSmSuperMap 等等.如今国外嵌入式 GIS 结合 GPS 的汽车自导航产品已形成了一个巨大的市场,日本 2000 年汽车导航产品已达 180 万台.由于 eSuperMap 具有占用资源少、运行速度快、适应硬件范围广等众多技术优点,国内已有多家汽车生产销售商、PDA 生产商、GPS 设备生产商与北京超图地理信息技术有限公司合作,开发各种实用型 GIS.

该产品并已打入日本市场,可以预见,eSuperMap 必将成为一个有广阔应用前景的产品.