

# 多向变长区间的空域内插错误掩盖技术

张荣福<sup>1,2</sup>, 周源华<sup>1</sup>

(11 上海交通大学图像通信与信息处理研究所, 上海 200030; 21 上海理工大学光学与电子信息学院, 上海 200093)

摘要: 本文首先简要介绍几种空域错误掩盖技术, 然后提出了多向变长区间的空域内插错误掩盖技术. 该技术是基于错误块邻域的边界特性选择空域内插方向和参考区域, 使得掩盖的视频图像既保持了边界信息又减小无关区域的影响. 实验结果表明本文算法有效地提高了错误图像的掩盖效果.

关键词: 错误掩盖; 空域内插; 视频通信

中图分类号: TN91918 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112 (2004) 07-1202-03

## Multidirectional and Variable Interval Interpolation for Spatial Error Concealment

ZHANG Rongfu<sup>1,2</sup>, ZHOU Yuanhua<sup>1</sup>

(11 Institute of Image Communication and Information Processing, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

21 School of Optical and Electronic Information, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In this paper, we briefly introduce several methods for spatial error concealment, and then propose the algorithm of multidirectional and variable interval interpolation for spatial error concealment. The proposed method chooses both interpolation directions and reference area according to the edge feature of the neighboring blocks. The experimental results show that the quality of the image processed using the proposed error concealment method is significantly improved.

Key words: error concealment; spatial interpolate; video communication

### 1 引言

由于干扰、噪声和信道拥塞等原因导致信道不可避免会有误码或丢包等现象发生, 使接收端重建的视频图像质量大幅度下降. 为此人们已提出了多种处理方法<sup>[1-6]</sup>, 概括起来主要分为两类: 一类是采用前向纠错即在编码过程中加入纠错码, 使出现错误时能无损纠错, 但这类方法是以增加信道的负担作为代价的, 并且其纠错能力有限; 另一类是利用信号的时空冗余度和视觉特性对错误信号进行错误掩盖处理.

错误掩盖又包括时域、频域和空域等方法. 其中时域掩盖是基于视频信号的时间相关性, 以前一帧中相同位置块或通过估计运动矢量来找到合适块代替当前帧中的错误块, 这种方法只适合于运动不太复杂的视频信号. 但对于场景切换或背景暴露等情况, 往往很难从前一帧中找到合适的替代块. 为此就需要利用帧内信息对错误块进行掩盖处理, 频域错误掩盖是利用视频信号在频域能量比较集中, 以相邻块的 DCT 低频系数估算错误块的相应系数, 这种方法只适合周围块是帧内编码, 而且所得到的图像比较模糊. 和前两种方法相比, 空域掩盖既可以实现帧内掩盖, 又可以重建部分边界信息.

### 2 空域内插错误掩盖

空域内插错误掩盖是利用视频信号在空间上存在的相关

性, 用错误块同一帧内相邻的正确图像数据作空间内插来重构错误块图像, 达到掩盖错误的目的. Mi Ghanbari<sup>[2]</sup>等提出以错误块四角相邻的四个像素线性内插替代错误块. 该算法仅以四个像素为参考进行内插, 处理后的图像非常模糊. 双线性内插算法<sup>[3]</sup>是以距离错误块内像素最近的四个相邻点内插该像素的值, 这种算法对水平和垂直边界的图像得到的结果较好, 但无法恢复斜方向的边界信息.

Wl Kwok<sup>[4]</sup>等人提出多向内插算法, 该算法参考相邻块的所有像素并引入方向模板对错误块内的边界方向和幅度进行估计, 然后利用邻域边界信息内插错误块内的像素. 与前两种方法相比, 多向内插所得图像的视觉效果明显得到提高. 但如果邻域中有部分区域与错误块无关, 那么该算法处理后的图像将可能出现明显的阴影或亮影. 如图 1(a)所示为局部 Lena 图像, 帽檐上的黑色矩形块 (大小为 16 @ 16 pixels) 代表错误块. 由于其右下方相邻块中与该错误块无关区域的影响, 导致多向内插

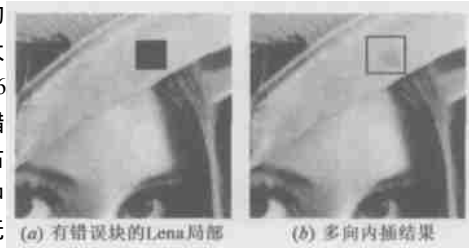


图 1 Lena 局部图像及多向内插结果图

图像中出现如图 1(b) 方框内所示的阴影. 针对这一问题, 本文提出了多向变长区间的空域内插算法. 实验结果表明该算法既可重建大量的边界信息又可减小或消除无关区域的影响, 从而有效地提高了重建图像的质量.

### 3 多向变长区间空域内插算法

该算法的基本思想是基于邻域边界特性选择内插方向和参考像素, 整个过程可细分为边界估计与分类、内插方向的选择、单向内插和多图混合.

#### 3.1 边界估计与分类

边界是指图像局部特性的不连续性, 即灰度、颜色或结构等的突变, 有方向和幅度两个特征. 边界检测方法很多<sup>[7]</sup>, 本文采用各向同性的 Sobel 梯度算子来检测与错误块相邻块内的边界, 像素  $(i, j)$  处边界的幅度和方向(与水平线的夹角)分别记为  $f(i, j)$  和  $H(i, j)$ . 如果经过像素  $(i, j)$ 、方向为  $H(i, j)$  的直线与错误块相交, 那么该边界很可能会延伸至错误块内, 因此称过该像素的边界为相关边界, 并按最接近的方向归为如图 2 所示的 8 类相关边界之一. 如果与错误块不相交, 则称过该点的边界为无关边界. 将相邻块内所有属于同类的相关边界幅度进行累加并将累加和作为该类边界的幅度<sup>[4]</sup>. 亦即, 若以  $f(H_m)$  表

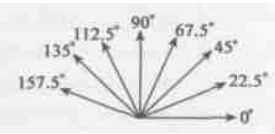


图 2 边界方向分类图

示  $m @ 22.5$  ( $m = 0, 1, \dots, 7$ ) 方向边界的幅度,  $S$  表示  $m @ 22.5$  类边界对应的像素所构成的像素集, 则:

$$f(H_m) = \sum_{(i,j) \in S} f(i,j) \quad (1)$$

#### 3.1.2 内插方向的选择

由于图像普遍满足边界连续性和局部平滑性两个约束条件, 所以沿边界方向进行内插即可重建该方向的边界. 由相关边界的定义和空域相关性, 可根据  $f(H_m)$  的大小来估计错误块内各个方向边界的强弱. 为提高恢复图像的质量, 需选择其中几个最强的边界进行方向内插. 最大的三类边界幅度分别以  $f_1, f_2$  和  $f_3$  表示, 内插方向选择如下( $k$  为阈值):

- (1) 如果  $f_2 \geq k \geq f_1$ , 则  $f_1$  所对应的方向为内插内插;
- (2) 如果  $f_3 \geq k \geq f_1 < f_2$ , 则  $f_1$  和  $f_2$  所对应的两个方向为内插方向;
- (3) 如果  $k > f_1 < f_3$ , 则  $f_1, f_2$  和  $f_3$  所对应的三个方向为内插方向.

#### 3.1.3 单向内插

以图 3 为例说明单向内插过程. 图中 EFGH 灰色块代表错误块, 区域 1、2 和 3 的灰度或颜色各不相同. 利用 3.1.1 和 3.1.2 节中的知识可得: (1) 错误块内的像素值只与区域 1 和 2 有关, 而与区域 3 (即 MNB) 内的像素无关. (2) MN 为无关边界而 QR 和 ST 是相关边界, (3) 内插应沿着 ST 和 QR 方向

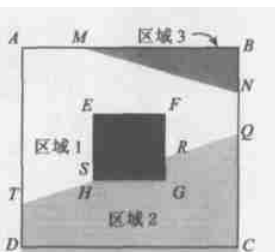


图 3 错误块及其邻域

进行. 为减小无关区域像素对处理后图像质量的影响, 在内插时需判断哪些像素与错误块内像素无关. 因此, 需要将相邻块分割为与错误块相关和无关区域两部分. 边界检测分割法<sup>[7]</sup>是诸多图像分割方法中一种, 该方法将边界幅度大于某一阈值  $T$  的像素看作是两个区域的分界线上的点, 并将这些分界点连接起来构成封闭的边界.

对错误块内的像素  $x_i$ , 首先过该像素沿内插方向扫描得到一个一维向量(如图 4), 然后以位于该扫描线上且属于相关区域的像素为参考内插该像素的值. 图中,  $x_{n0}$  和  $x_{n9}, x_{n3}$  和  $x_{n6}$  分别是扫描线与相邻块外、内边缘的交点;  $x_{n4}$  和  $x_{n5}$  是扫描线和错误块边缘的交点;  $x_{n1}$  和  $x_{n8}$  分别为待插像素两侧位于该扫描线上距离错误块最近的无关像素, 即过此两个点的边界为幅度大于  $T$  的无关边界;  $x_{n2}$  和  $x_{n7}$  分别是与  $x_{n1}$  和  $x_{n8}$  相邻的像素;  $x_k$  和  $x_j$  分别是左右两侧参考像素之一;  $d_l$  和  $d_r$  分别为待插像素与  $x_{n3}$  和  $x_{n6}$  的距离;  $d_{li}$  和  $d_{ri}$  是待插像素和参考像素之间的距离. 内插分两步进行:

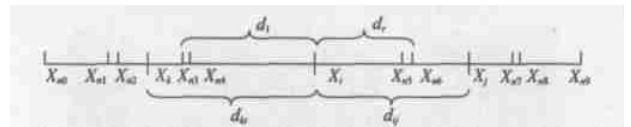


图 4 一维向量示意图

第一步: 分别计算位于该像素两侧参考像素的加权和, 并分别以  $a_1$  与  $a_2$  表示, 其中加权值与参考点和待插点距离的平方成反比.

$$a_1 = \frac{\sum_{k=n_3}^{n_1} (f(x_k) / d_{ki}^2)}{\sum_{k=n_2}^{n_1} (1 / d_{ki}^2)} \quad (2)$$

$$a_2 = \frac{\sum_{j=n_6}^{n_8} (f(x_j) / d_{ji}^2)}{\sum_{j=n_6}^{n_8} (1 / d_{ji}^2)} \quad (3)$$

第二步: 由  $a_1$  和  $a_2$  再按下式计算待插像素的值.

$$f(x_i) = \frac{a_1 @ d_r + a_2 @ d_l}{d_r + d_l} \quad (4)$$

#### 3.1.4 多图混合

多图混合是指将各单向内插得到的图像按某种规则合成一幅图像的过程. 本文采用文献<sup>[4]</sup>中的方法. 该方法统计各单向内插图灰度直方图并计算其均值  $E$  和均方差  $Q$ , 将灰度值在  $E \pm Q$  范围内的像素当作背景, 其余像素则作为覆盖在背景上的物体即前景. 前景又按相对于背景值的大小分为亮景和暗景. 然后分以下几种情况实现多图混合:

- (1) 前景优先, 即一幅图像的背景和另一幅图像的前景相遇时取前景;
- (2) 同为背景则取平均值;
- (3) 同为亮景则取其较大的值, 同为暗景则取较小的值;
- (4) 一个为亮景而另一个为暗景, 则取其平均.

### 4 实验与结果

本文以 512 @ 512 Lena 图像为例进行模拟实验. 实验中 T



图5 原始图像、错误图像和几种方法重建后的图像

$m=100, k=017$ 。为比较处理效果,同时也用其他几种方法对同一幅图像进行模拟。其中图 5(a)为原始图像,图 5(b)为出现 5%错误块但未作处理的图像,图 5(c)~图 5(f)分别为四角像素内插、双线性内插、多向内插和本文提出的多向变长区间内插算法重建的图像。由图可看出四角像素内插有明显的方块效应而且丢失所有的边界信息,双线性内插则产生大量与周围块很不和谐的条纹,多向内插基本保留了边界但却产生了阴影或亮影,而利用本文所提方法处理的结果既继承了多向内插的优点又大幅度减少或消除了阴影或亮影,比较图 5(e)和图 5(f)下颚的右下角错误块的重建结果可明显看出。评价视频图像处理结果的优劣主要是视觉效果,通过对比可以看出本文所提方法掩盖的视频图像质量明显优于其他几种。另一种常用的评价方法是峰值信噪比(PSNR),即:

$$PSNR = 10 \lg \frac{255^2}{\frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (f_c(i,j) - f(i,j))^2} \quad (5)$$

表1 Lena 图像错误掩盖峰值信噪比(单位: dB)

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
四角像素	291.29	281.58	281.60	271.65	291.39	291.91	281.47	291.92	261.40	261.42	281.46
双线性	301.06	321.58	321.23	291.26	311.47	3161.9	321.90	321.37	291.76	301.00	311.18
多向	331.02	351.92	331.08	311.71	331.15	321.78	351.84	331.55	301.55	291.45	321.90
本文方法	331.94	361.81	341.66	321.25	331.43	321.87	361.40	331.61	311.71	301.74	331.64

式中,  $m$  和  $n$  分别为图像的高和宽;  $f_c(i, j)$  和  $f(i, j)$  分别为处理后的图像和原始图像  $(i, j)$  位置像素值。表 1 列出连续 10 次实验的结果, 本文方法掩盖的图像的峰值信噪比平均值较四角像素内插、双线性内插和多向内插分别提高 51.18、21.46 和 01.74 dB。

## 5 结论

基于错误块边界的特性选择空域内插方向和有效参考区域, 使得掩盖的视频图像既保持了边界信息又减小了无关区域的影响。实验结果表明本文提出的多向变长区间的空域内插错误掩盖算法对图像错误块有较好的掩盖效果。由于本文算法在内插时只参考了部分邻域像素, 因此计算量和原方法相比有所下降。

## 参考文献:

- [1] Susanna Kaiser, Khaled Fazel. Comparison of error concealment techniques for an MPEG2 video decoder in terrestrial TV broadcasting[J]. Signal Processing: Image Communication, 1999, 14: 655- 676
- [2] M Ghanbari, V Seferidis. Cell loss concealment techniques for all digital high definition television system[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1993, 3(3)
- [3] S Aign, K Fazel. Temporal and Spatial Error Concealment Techniques for Hierarchical MPEG2 Video Codec[A]. In Proceedings of IEEE International Conference on Communication, ICC 95[C]. Seattle, 1995, 3: 1778- 1783.
- [4] Wilson Kwok, Huifang Sun. Multidirectional interpolation for spatial error concealment[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1993, 39(3): 455- 460.
- [5] JaeWon Suh, YoSung Ho. Error concealment based on directional interpolation[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1997, 43(3): 295- 302.
- [6] Luigi Atzori, Francesco G.B. De Natale, Cristina Perra. A spatiotemporal concealment technique using boundary matching algorithm and mesh based warping (BMA2MBW)[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2001, 3(3): 326- 338.
- [7] 余松煜, 周源华, 吴时光. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 1989. 155- 161.

## 作者简介:



张荣福 男, 1971 年 10 月生于安徽庐江, 1998 年获上海理工大学光电学院硕士学位, 现为上海交通大学图像通信与信息处理方向博士研究生, 主要研究方向为图像处理、多媒体与视频处理。

周源华 男, 1940 年生于江苏建湖, 上海交通大学图像通信与信息处理研究所教授, 博士生导师, 主要研究方向为数字电视, 多媒体与视频处理。