

中图法分类号: TN919.81 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)11-1583-06

检索信息: 何绍荣, 鲜乾坤, 邓云, 翁海敏. 基于 AVS-M 标准的自适应时-空域差错掩盖算法[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(11):1583-1588

基于 AVS-M 标准的自适应时-空域差错掩盖算法

何绍荣¹⁾, 鲜乾坤¹⁾, 邓云^{1),2)}, 翁海敏²⁾

¹⁾(四川理工学院计算机学院, 自贡 643000) ²⁾(西南交通大学信息科学与技术学院, 成都 610031)

摘要: 为了减少传输差错对视频解码质量造成的影响, 首先分析了多种典型的视频差错掩盖算法, 并在 AVS-M 平台进行测试。然后基于测试结果, 提出了一种适用于 AVS-M 的自适应时空域差错掩盖算法。该算法首先根据时域掩盖的边框匹配程度判断受损图像中是否出现了新物体, 然后自适应地选择空域或时域方式进行掩盖。实验结果表明, 相对于单独的空域/时域掩盖, 该算法进一步改善了受损图像的掩盖效果, 主观质量的提高尤其明显。

关键词: 视频通信; AVS-M; 差错掩盖; 两步多权值边框匹配

Adaptive spatial-temporal error concealment algorithm for AVS-M

HE Shaorong¹⁾, XIAN Qiankun¹⁾, DENG Yun^{1),2)}, WENG Haimin²⁾

¹⁾(School of Computer Science, Sichuan University of Science and Engineering, Zigong 643000)

²⁾(School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

Abstract: To reduce the influence on video decoding quality induced by transmission error, This paper analyzes several classical error concealment methods and evaluates them on AVS-M. Based on the test result, an adaptive spatial-temporal error concealment (ASTECC) algorithm is proposed. According to the boundary matching degree of switch between spatial/temporal concealment methods adaptively. Simulation results show that, compared with the original spatial and temporal method, the proposed algorithm achieves better performance, especially on the quality of reconstructed image.

Keywords: video communication; AVS-M; error concealment; TMBMA

0 引言

AVS 是中国自主研发的视频编码标准^[1], 在低于 H.264/AVC 的计算复杂度下, 可获得近似于 H.264/AVC 的压缩能力。然而, 由于大量使用了预测编码, 信道传输过程中的任何误码、丢包都会在解码端引起重建视频信号的失真, 并在时间和空间上扩散, 导致视频质量急剧下降。虽然可通过 IDR (instantaneous decoding refresh) 帧、Slice 编码以及多参数集等机制来提高其健壮性, 但仍需对出错后的图像进行差错掩盖以减轻错误对后续图像的影响。

首先分析了几种常用的时-空域差错掩盖算法的特点, 并在 AVS-M^[2] 平台上进行了测试; 然后在此基础上, 通过对 I 帧和 P 帧出错后的具体情况进行分析, 提出了一种自适应的时-空域差错掩盖算法, 以适应视频图像变化剧烈或场景切换时的特点。实验结果表明, 算法进一步改善了受损图像的掩盖效果, 主观质量的提高尤为明显。

1 空域差错掩盖算法

1.1 典型的空域掩盖算法

空域差错掩盖算法是利用图像在空域上的冗余

基金项目: 四川省教育厅青年基金项目(07ZB049); 四川省教育厅科研基金项目(09ZC114)。

收稿日期: 2009-03-24; 改回日期: 2009-09-11

第一作者简介: 何绍荣(1970—), 男, 讲师, 硕士研究生。主要研究方向为多媒体技术、计算机网络。E-mail: zghsr@126.com。

信息,以受损区域的相邻图像来恢复受损图像,通常适用于 I 帧或运动较剧烈的 P 帧。

双线性插值算法(BI)^[3]对受损区域中的所有像素,是利用水平和垂直方向上相邻的正确图像的边界像素,通过加权插值来得到恢复的像素,其权值与受损像素到正确图像边界的距离成反比。当受损图像较平滑时,BI 算法的掩盖效果较好;当受损区域纹理较复杂时,则容易产生块模糊,掩盖效果下降。但由于每个像素仅需一次插值操作即可恢复,因此 BI 算法具有极低的计算复杂度。

方向插值算法(DI)^[4]则考虑了图像在边界上的连续性,该算法首先对受损区域的相邻图像进行边缘检测,并根据得到的边缘信息预测出受损区域可能的边缘方向,再对受损的像素沿该边缘方向进行插值,以恢复受损的图像。由于 DI 算法保持了图像的边界信息,因而有效改善了 BI 算法的掩盖效果。然而,由于 DI 算法增加了一次边缘检测操作,因此计算复杂度也略有增加。

内容自适应的空域差错掩盖算法(CASEC)^[5]则进一步对图像的纹理信息进行分类,对具有不同纹理特征的受损宏块采用不同的掩盖方式。CASEC 算法先将受损宏块分为平滑块、边缘块和纹理块 3 类;然后对平滑块采用 BI 算法,对边缘块采用 DI 算法,对纹理块则利用图像中块的相似性,则使用 BNM(best neighborhood matching)算法进行掩盖。CASEC 算法进一步改善了空域掩盖的效果,同时,由于只进行了一次插值操作,因此保持了与 DI 算法相近的计算复杂度。

改进的内容自适应空域掩盖算法(RCA)^[6]进一步改进了 CASEC 算法,即首先采用了更精确的边缘检测方法来获得准确的图像边缘信息,再考虑到相邻宏块的不同状态(完好或丢失),将丢失宏块划分为平滑块和边缘块;然后对平滑块采用 BI 算法进行掩盖,对边缘块则采用多方向插值加权平均的方法进行掩盖。由于多方向插值需要对一个像素进行多次插值操作,致使 RCA 算法在改善掩盖效果的同时,也较大地增加了计算复杂度。

1.2 实验分析

为验证上述空域掩盖算法在 AVS-M 平台上的错误掩盖效果,本文在 AVS 测试模型 WM3.3.7 上分别采用 BI,DI,CASEC 以及 RCA 算法进行了实验,

并对 Carphone, Claire, Foreman, Mobile 和 Mthr_dotr 共 5 个序列进行了测试,每个序列编码 300 帧,仅使用 I 帧,量化参数固定为 28。实验共测试了 3%,5%,10% 和 20% 共 4 种丢包率,每种丢包率重复 30 次,计算其重建图像亮度的平均峰值信噪比(PSNR)值。表 1 给出了丢包率为 20% 时的实验结果。从表中可以看出,RCA 算法相对于其他算法能取得更好的掩盖效果,CASEC 算法次之。在计算复杂度上,CASEC 算法略低于 RCA 算法。因此,可根据实际应用需要使用 CASEC 算法或 RCA 算法作为 AVS-M 的空域掩盖方式。

表 1 4 种算法在 20% 丢包率下的性能比较

Tab.1 Performance comparison of four algorithms under the packet loss rate of 20 percent

序列	PSNR/dB				解码时间/s			
	BI	DI	CASEC	RCA	BI	DI	CASEC	RCA
Carphone	25.08	24.92	25.37	25.66	1.75	4.08	4.00	5.50
Clarie	27.78	29.59	29.98	29.70	1.59	3.69	3.85	4.47
Foreman	25.10	25.97	26.35	26.57	1.77	4.06	4.25	5.64
Mobile	21.13	20.32	21.11	21.71	3.16	4.59	4.69	8.20
Mthr_dotr	27.73	27.38	28.02	28.34	1.67	3.97	4.08	5.92
平均	25.36	25.64	26.17	26.4	1.99	4.08	4.17	5.95

2 时域差错掩盖算法

2.1 典型的时域掩盖算法

时域差错掩盖算法先利用视频在时域上的冗余性来恢复丢失的运动矢量,再通过运动补偿来恢复受损图像。时域掩盖在一定程度上克服了空域掩盖中图像相关性差的缺点,且具有较强的纹理细节恢复能力,对运动缓慢或纹理复杂的区域,其掩盖效果通常优于空域掩盖。由于运动矢量的准确度直接影响了恢复图像的准确度,因此时域掩盖的关键在于找到最合适的运动矢量。

作为最简单的时域掩盖算法,TR(temporal replacement)算法直接使用前一帧相同位置的图像作为丢失宏块的恢复图像。此算法的计算复杂度极低,其对运动缓慢的序列能取得较好的掩盖效果,但对运动较剧烈的序列,则容易产生明显的块移动效应,掩盖效果下降。

边界匹配算法(SMA)^[7]利用了图像在边界上的平滑性,将从几个候选运动向量中选出使得运动补偿区域的内边界像素与受损区域的外边界像素的匹配误差最小的运动矢量作为恢复的运动矢量。因其实现简单,且在大部分情况下掩盖效果较好,SMA 算法被 H. 264/AVC 标准测试模型 JM 所采纳。然而,对处于物体边界上的像素,由于丢失像素与相邻像素的差异较大,SMA 算法也容易产生错误的匹配结果,从而导致掩盖效果下降。同时,与 TR 算法相比,由于 SMA 算法需要对多个运动矢量进行匹配,因此计算复杂度有所增加。

边框匹配算法(BMA)^[8]与 SMA 算法类似,可以从多个候选运动矢量中选择最优的运动矢量进行恢复。不同之处在于,BMA 算法利用了相邻块之间的运动一致性,以运动补偿区域的外边框像素与丢失区域的外边框像素的匹配误差来衡量恢复运动向量的准确度。与 SMA 算法相比,BMA 算法在一定程度上克服了物体边界不连续的情况,具有更好的掩盖效果,同时保持了与 SMA 算法相同的计算复杂度。

考虑到不同区域(正确重建区域,受损并掩盖后的区域及未掩盖区域)的图像在匹配过程中可供参考的准确度不同,两步多权值边框匹配算法(TMBMA)^[9]对 BMA 算法中的匹配过程进行了改进。TMBMA 算法首先对受损区域进行预掩盖,以便初步改善受损图像的质量;然后在预掩盖的基础上,使用边框匹配准则选出丢失宏块的最佳恢复运动向量。在边框匹配中,通过对用作匹配的不同区域图像赋予不同的权值来提高匹配的可靠度。TMBMA 算法较大程度地提高了掩盖效果,同时,因为 TMBMA 算法增加了预掩盖环节,计算复杂度也有所增加。

2.2 实验分析

实验在 WM3. 3. 7 上实现了 TR 算法、SMA 算法、BMA 算法以及 TMBMA 算法,并对 Foreman, Carphone, Suzie, Clarie 和 Mobile 共 5 个序列进行了测试。每个序列编码 100 帧,除第一帧为 I 帧外,其余都为 P 帧。表 2 给出了丢包率为 10% 时的实验结果。从表 2 可以看出,TMBMA 算法以计算复杂度略为增加为代价,有效改善了 SMA 算法和 BMA 算法的掩盖效果,在各种情况下始终能获得较好的掩盖效果。此外,与空域掩盖方式相比,时域掩盖方式具有更低的计算复杂度。

表 2 4 种算法在 10% 丢包率下的性能比较

Tab.2 Performance comparison of four algorithms under the packet loss rate of 10 percent

序列	PSNR 值/dB				解码时间/s			
	TR	SMA	BMA	TMBMA	TR	SMA	BMA	TMBMA
Foreman	20.51	22.78	23.47	25.27	1.110	1.249	1.171	1.283
Carphone	26.66	27.08	27.64	28.52	1.000	1.155	1.063	1.156
Suzie	26.07	27.88	27.78	28.78	1.049	1.187	1.045	1.217
Clarie	32.69	32.22	34.32	34.43	0.718	0.688	0.687	0.719
Mobile	19.97	20.27	22.50	28.28	1.341	1.373	1.375	1.437
平均	25.18	26.05	27.14	29.06	0.964	1.040	0.984	1.069

3 自适应的时-空域差错掩盖算法

从上述分析可以看出,由于空域掩盖时,利用的是空间冗余,因此当受损图像中包含较大空间冗余时,掩盖效果较好;由于时域掩盖时,利用的是时域冗余,因此当受损图像与前一帧图像具有较大时域相关度时,掩盖效果较好。为获得更好的掩盖效果,解码器需要自适应地在空域和时域两种掩盖方式进行切换。

3.1 算法实现过程

由于 I 帧编码时利用的是视频图像的空间冗余,而 P 帧利用的是视频图像的时间冗余,因此,解码器在进行掩盖时,通常是简单地根据受损图像的帧类型来选择不同的掩盖方式。如果受损图像是 I 帧,则采用空域掩盖;否则,采用时域掩盖。此方式的优点在于简单有效,适用于大多数情况。然而,当视频序列变化较剧烈,尤其是发生场景切换时,由于场景切换前后的图像之间相关性较低,此时使用时域掩盖的效果会明显下降;同样,如果序列变化较缓慢,前后图像的时域相关性较强,而编码器则基于某种原因对受损图像使用了帧内编码,此时使用空域掩盖的效果也将明显下降。从以上分析可以看出,是否使用时域掩盖的判断标准,更加取决于受损图像与前一帧图像的时域相关程度,而不是简单的受损图像的编码方式。

结合上文对多种时-空域差错掩盖算法在 AVS-M 平台上的实验分析,本文提出了一种自适应的时-空域差错掩盖算法(ASTEC)。本文算法对丢失的宏块首先进行时域掩盖,并通过掩盖得到的边框匹

配误差来判断当前帧与前一帧的时域相关度;然后自适应地选择 RCA 算法或改进的 TMBMA 算法进行掩盖。算法具体步骤如下:

1) 如果出错的是第 1 个 I 帧,则直接使用 RCA 算法进行空域掩盖;

2) 对后续的出错帧,先使用 TMBMA 算法进行时域掩盖,并记录其最小边框匹配误差 E_{\min}^{BM} ,然后在 TMBMA 算法的候选运动向量的选择上,如果受损图像为 I 帧,则丢失宏块周围没有用的运动向量,因此可选取前一个 P 帧中相同位置宏块中的 4 个 8×8 块的运动向量、相邻 8 个 8×8 块的运动向量(如图 1 所示)以及零运动向量作为丢失宏块的候选运动向量;

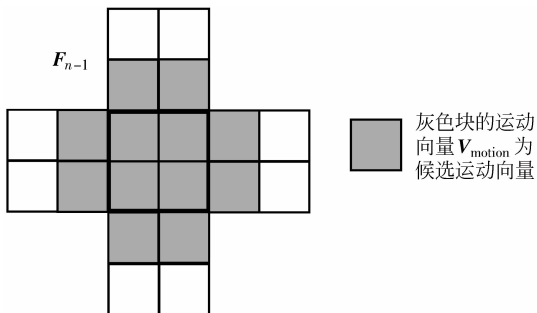


图 1 候选运动向量选择

Fig. 1 The choice of candidate motion vector

3) 如果 E_{\min}^{BM} 大于阈值 T_{MB} ,则认为当前帧与前一帧相关性过小(受损图像中出现了新物体或发生了场景切换),此时对丢失宏块使用 RCA 算法进行空域掩盖,否则执行步骤 4;

4) 以与最小边框匹配误差 E_{\min}^{BM} 对应的运动向量以及相邻的 4 个运动向量(如图 2 所示)作为候选运动向量,通过多权值边框匹配选出具有最小匹配误差的运动向量作为恢复的运动向量,并进行最后的掩盖。

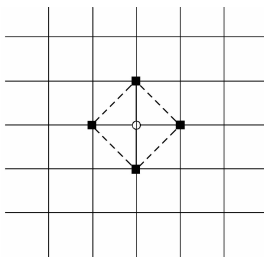


图 2 小钻石搜索模板

Fig. 2 Diamond template of search

3.2 计算复杂度分析

自适应掩盖算法在实现上总会先对受损图像进行 TMBMA 算法掩盖,并在 TMBMA 算法掩盖后判断是否需要进行 RCA 算法空域掩盖或进一步的运动向量搜索。因此,与 TMBMA 算法相比,自适应掩盖算法在不进行 RCA 算法掩盖时,由于需要多判断 4 个运动向量,因而计算复杂度略有增加;然而,在选择进行 RCA 算法掩盖时,由于 RCA 算法较大的计算复杂度,致使复杂度增加较大。

与 RCA 算法相比,由于 TMBMA 算法掩盖的计算复杂度远低于 RCA 算法的计算复杂度,因此,在不进行 RCA 算法掩盖时,自适应算法的计算复杂度远低于 RCA 算法;在进行 RCA 算法掩盖时,由于多进行了一次 TMBMA 算法掩盖,致使计算复杂度略有增加。总的看来,由于进行 RCA 算法掩盖的机会远小于不进行 RCA 算法掩盖的机会,因此自适应掩盖算法相对 RCA 算法具有更低的计算复杂度。

从前面的实验数据来看,TMBMA 算法掩盖一帧的平均时间为 1.069 s,RCA 算法掩盖一帧的平均时间为 5.95 s。本文算法在不进行 RCA 算法掩盖,仅多检查 4 个运动向量的情况下,所需时间将略大于 1.069 s;在进行 RCA 算法掩盖时,所需时间接近于 $1.069 + 5.95 = 7.019$ s。因此,本文算法的计算复杂度也在一定程度上受序列内容的影响。序列越静止,时域掩盖效果越好,进行 RCA 算法掩盖的几率越小,计算复杂度越低;序列运动程度越大,进行 RCA 掩盖的几率越大,计算复杂度越高。

4 实验结果

为验证算法的有效性,在 WM3. 3. 7 平台上实现了提出的自适应掩盖算法,并与 RCA 算法和 TMBMA 算法进行比较。实验测试了 Carphone, Clarie, Foreman, Suzie 和 Container 共 5 个序列,每个序列编码 100 帧,每隔 5 帧插入一个 I 帧,量化参数固定为 28。实验同样测试了 3%,5%,10%和 20%共 4 种丢包率,每种丢包率重复 30 次,计算其重建图像亮度的平均 PSNR 值。

表 3 为不同算法的实验结果,其中,R&T 指对 I 帧进行掩盖图像空域掩盖,对 P 帧使用时域掩盖的方式。从表中可以看出,在丢包率为 5%~20%时,本文算法掩盖图像的 PSNR 值相对 R&T 方法提高了 0.8~1.6 dB。仅在丢包率为 3%时,PSNR 值才

表 3 算法的掩盖效果比较

Tab.3 The comparison of concealment effects of algorithms

序列	丢包率下的 PSNR/dB							
	3%		5%		10%		20%	
	R&T 方法	本文 算法	R&T 方法	本文 算法	R&T 方法	本文 算法	R&T 方法	本文 算法
Carphone	38.61	38.51	35.81	36.26	34.07	34.34	31.55	32.79
Clarie	41.84	41.77	38.67	40.03	37.59	39.58	35.95	38.6
Foreman	37.18	37.10	34.33	35.12	33.28	33.93	31.34	32.22
Suzie	38.68	38.57	36.07	35.89	35.28	35.61	33.39	34.07
Container	38.33	38.2	35.43	36.98	34.62	36.99	32.99	35.79
平均	38.93	38.83	36.06	36.86	34.97	36.09	33.04	34.69

有 0.1 dB 的下降。表 4 为不同算法计算复杂度的比较。从表中可以看出,本文算法运算所需时间略低于 R&T 方法。原因在于时域掩盖的计算复杂度远低于空域掩盖,本文算法通过自适应地对 I 帧中

的某些区域使用时域掩盖,从而略为降低了计算复杂度。图 3 和图 4 分别为不同算法对 I 帧和 P 帧掩盖后图像的主观质量对比。从图中可以看出,本文算法明显改善了掩盖后图像的主观质量,并减小了空域掩盖的模糊现象以及时域掩盖的拖尾现象。

表 4 算法的计算复杂度比较

Tab.4 The comparison of complexity of algorithms

序列	时间/s		两种算法运算时间 增减比率/%
	R&T 方法	本文算法	
Carphone	1.296	1.264	-2.47
Clarie	0.845	0.734	-13.14
Foreman	1.484	1.405	-5.32
Suzie	1.281	1.249	-2.50
Container	0.806	0.787	-2.36
平均	1.14	1.09	-4.39



(a) RCA 算法



(b) 本文算法

图 3 Garden 序列在 I 帧出错后的掩盖效果比较

Fig.3 The comparison of concealment effects of frame-out error of Garden serial at I frame



(a) TMBMA 算法



(b) 本文算法

图 4 Tennis 序列在 P 帧出错后的掩盖效果比较

Fig.4 The comparison of concealment effects of frame-out error of Tennis serial at P frame

5 结 论

首先对多种典型的时-空域差错掩盖算法进行了分析,并在 AVS-M 平台上进行了实际测试,实验结果表明,RCA 算法与 TMBMA 算法分别具有较好的空域-时域掩盖效果。本文提出了一种自适应的时-空域差错掩盖算法,该算法根据时域掩盖的边框匹配程度判断受损图像中是否出现了新的物体或发生了场景切换,以便自适应地选择 RCA 算法或改进的 TMBMA 算法进行掩盖。实验结果表明,与时-空域直接组合的差错掩盖方式(R&T)相比,本文算法由于充分利用了时域和空域上的相关性,因而具有更好的掩盖效果,主观质量的提高尤为明显。

参考文献 (References)

- [1] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of Standardization Administration of the People's Republic of China, GB/T 20090.2-2006. Information Technology—Advanced Coding of Audio and Video—Part 2: Video [S]. Beijing: Standards Press of China, 2006. [中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 20090.2-2006. 信息技术——先进音/视频编码(第2部分): 视频[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.]
- [2] Final Draft of Information Technology—Advanced Coding of Audio and Video—Part 7: Mobile Video [S]. AVS Working Group Doc. AVS-N1208, Shanghai, China, Sept 2005.
- [3] Salama P, Shroff N B, Delp E J. Error concealment in encoded video streams [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(6): 1129-1144.
- [4] Xu Yanling, Zhou Yuanhua. H.264 video communication based refined error concealment schemes [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2004, 50(4): 1135-1141.
- [5] Zhang Rongfa, Zhou Yuanhua, Huang X D. Content-adaptive spatial error concealment for video communication [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2004, 50(1): 335-341.
- [6] Xu Jinliang. Study on Video Error Concealment Technology Based on H.264. Master Degree Thesis [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2007. [徐锦亮. 基于 H.264 的视频差错掩盖技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.]
- [7] Lam W M, Reibman A R, Liu B. Recovery of lost or erroneously received motion vectors [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'93). Minneapolis, MN, USA: IEEE Press, 1993: 417-420.
- [8] Valente T S, Dufour C, Groliere F, et al. An efficient error concealment implementation for MPEG4 video streams [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2001, 47(3): 568-578.
- [9] Yang Tianwu, Peng Qiang, Zhu Changqian. A two-step multi-weighted boundary-matching algorithm for video error concealment [J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(5): 636-640. [杨天武, 彭强, 诸昌铃. 视频差错掩盖的两步多权值边框匹配算法[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(5): 636-640.]