

一种应用于光照变化场景的视频编码方法

元辉, 常义林, 卢朝阳, 李明

(西安电子科技大学综合业务网理论及关键技术国家重点实验室, 710071, 西安)

摘要: 为提高存在光照变化场景的视频的编码效率, 提出一种基于局部亮度补偿的视频编码方法. 该方法先计算当前块和匹配块的空间邻近 Γ 型区域的平均亮度差异, 然后用该亮度差异对匹配块进行亮度补偿, 进而提高预测精度, 最后计算差值信号并对差值信号进行编码. 此外, 为消除局部亮度变化对运动估计的影响, 采用纹理匹配准则进行运动估计, 提高运动估计所得的匹配块与当前块的纹理相似度. 与 H. 264 标准采用的加权预测方法相比, 该方法可以对图像中不同的区域采用不同的参数进行亮度补偿, 因此可以进一步提高编码效率. 实验结果表明, 在恢复视频质量相同的条件下, 该方法的编码比特率较 H. 264 标准采用的加权预测方法的编码比特率平均下降了 2.34%.

关键词: 局部亮度补偿; 加权预测; 纹理匹配; H. 264 标准

中图分类号: TN911.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2010)10-0062-05

A Novel Video Coding Method for Luminance Variation Scenes

YUAN Hui, CHANG Yilin, LU Zhaoyang, LI Ming

(State Key Laboratory of Integrated Service Networks, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: A local luminance compensation method is proposed to improve the coding efficiency of videos which contain scenes with luminance variation. The average luminance difference between the Γ shape neighboring area of the current block and that of the matching block is calculated. Then the difference is used to compensate the matching block so as to improve the prediction accuracy. Finally, residual signals are calculated and encoded. Moreover, the texture matching criterion is used to search the best matching block to eliminate the influence of local luminance variation on motion estimation. Compared with the weighted prediction utilized in H. 264 standard, the proposed method uses different parameters to compensate different areas, therefore the coding efficiency can be further improved. Experimental results and comparisons with the weighted prediction utilized in H. 264 standard show that the proposed method achieves 2.34% average bit rate saving under the condition of the same quality of reconstructed videos.

Keywords: local luminance compensation; weighted prediction; texture matching; H. 264 standard

网络视频的广泛应用使得网络中的数字视频业务呈现高速增长的趋势. 对普通用户而言, 其可用的网络容量将难以承载高质量的视频流. 为降低网络中的视频数据流量, 视频编码专家组(VCEG)与运

动图像专家组(MPEG)联合制定了目前最先进的视频编码标准 H. 264^[1]. 各种视频编码标准普遍采用宏块(MB)作为基本编码单元. 在 H. 264 中, MB 进一步被划分为 16×8 、 8×16 、 8×8 等子块. 在编码当

收稿日期: 2010-03-08. 作者简介: 元辉(1984—), 男, 博士生; 常义林(联系人), 男, 教授, 博士生导师. 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60772134, 60902052, 60902081); 高等学校学科创新引智计划资助项目(B08038); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(72105457).

前块时,以某种匹配准则在参考帧中寻找匹配块,计算当前块与匹配块的差值,并对差值编码.当参考帧与当前帧之间不存在明显的亮度变化时,该方法可以有效地消除帧间相关性.当参考帧与当前帧之间存在亮度变化时,H.264 采用加权预测^[1-2]进一步消除帧间相关性,但它仅考虑了相邻帧间的整体亮度变化.为提高存在局部亮度变化的视频的压缩效率,本文提出一种局部亮度补偿的帧间预测方法,用当前块的空间邻近 Γ 型区域以及匹配块的空间邻近 Γ 型区域的平均亮度差异,估计当前块与匹配块之间的平均亮度差异,进而对匹配块进行亮度补偿,提高预测精度.为消除局部亮度差异对运动估计的影响,采用纹理匹配准则寻找最优匹配块,提高匹配块与当前块之间的纹理相似度.

1 局部亮度补偿预测

1.1 H.264 标准采用的加权预测方法分析

H.264 标准采用的加权预测方法在运动补偿的过程中,利用乘性加权因子 a 和加性加权因子 b 对参考帧的像素进行亮度补偿

$$I(x, y, t) = aI(x + v_x, y + v_y, t - 1) + b \quad (1)$$

式中: $I(x, y, t)$ 为在时刻 t , (x, y) 位置处的像素亮度值; $I(x + v_x, y + v_y, t - 1)$ 为参考帧匹配块的像素亮度值; (v_x, v_y) 为运动矢量(MV).参数 a 与 b 可以通过线性回归计算得到.因此 H.264 标准采用的加权预测仅适用于图像整体亮度均匀变化的场景.

由于场景中不同区域的亮度变化不相同,导致视频图像中不同区域的亮度变化也不相同.采用固定的参数 a, b 不能充分反映场景中的复杂亮度变化,例如图 1 中白色框选区域内像素值平均亮度差为 11,其线性拟合参数为 $a = 0.36, b = 70.56$,而图 2 中白色框选区域的像素值的平均亮度差为 43,其线性拟合参数为 $a = -0.09, b = 121.29$.

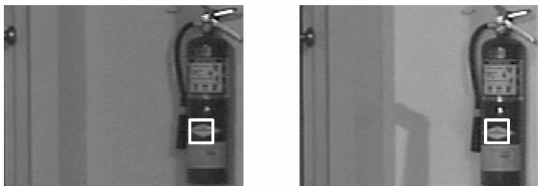


图 1 消防栓中的白色框选区域

1.2 局部亮度补偿

尽管对每个块分别采用线性回归可以估计出其



图 2 宇航员胸前的白色框选区域

参数 a, b ,但复杂度也相应地增加.由于相比整个图像的尺寸,块的尺寸非常小,因此可以认为块内部所有像素的亮度随时间的变化趋势与变化幅度都是相似的,即认为当前块与其匹配块的所有像素之间都存在共同的亮度差异,记为 D_B .进而可将参数 a 设置为 1,仅计算参数 b 即可对当前块进行亮度补偿. D_B 的计算公式为

$$D_B = \frac{1}{M} \left[\sum_{i=0}^M B_{\text{curr}}(i) - \sum_{i=0}^M B_{\text{ref}}(i) \right] \quad (2)$$

式中: M 为当前块与匹配块中的像素数量; $B_{\text{curr}}(i)$ 、 $B_{\text{ref}}(i)$ 为当前块与匹配块中第 i 像素的亮度值.为避免 D_B 带来的比特开销,用当前块的 Γ 型区域与匹配块的 Γ 型区域之间的平均亮度差异作为 D_B 的估计值,如图 3 所示.

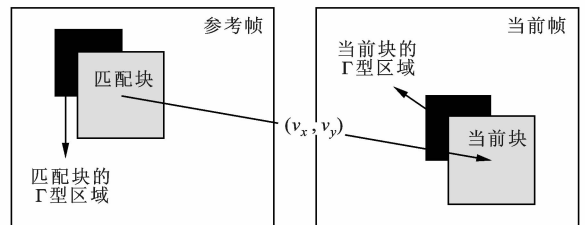


图 3 当前块、匹配块及其空间邻近 Γ 型区域

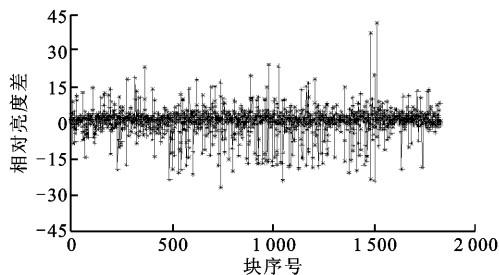
将图 3 中当前块与其匹配块的 Γ 型区域记为 T_{curr} 、 T_{ref} . T_{curr} 与 T_{ref} 的平均亮度差异 D_Γ 的计算公式为

$$D_\Gamma = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=0}^N B_{\text{curr}}(i) - \sum_{i=0}^N B_{\text{ref}}(i) \right] \quad (3)$$

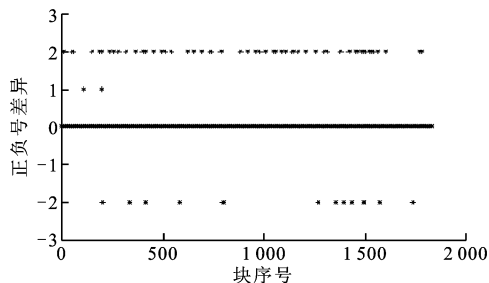
式中: $T_{\text{curr}}(i)$ 、 $T_{\text{ref}}(i)$ 为当前块与匹配块的空间邻近 Γ 型区域中第 i 像素的亮度值; N 为 Γ 型区域中的像素数量.

图 4a 统计了 Crew 序列第 3 帧中 D_Γ 与 D_B 之间的差值的分布,图 4b 统计了 D_B 与 D_Γ 的正负号差异.当 D_B 与 D_Γ 的正负号相同(0 值的正负号可以为正也可以为负)时,其正负号差异可能为 0、1 或 -1,否则为 2 或 -2.图 4b 中 D_B 与 D_Γ 的正负号不同的块的数量占有所有块的比例为 5.8%. D_B 与 D_Γ 的正负号不相同主要是因为 Γ 型区域与其对应的

块之间的光照条件、物体反射特性不同,导致当前块与匹配块的亮度变化趋势与其对应的 Γ 型区域的亮度变化趋势相反. 若此时采用 D_F 对当前块进行亮度补偿,反而会增加冗余信息,降低编码效率. 由此,需要判断 D_F 与 D_B 的正负号是否一致,即判断当前块与匹配块的亮度变化趋势与其对应的 Γ 型区域的亮度变化趋势是否一致.



(a) 亮度差值分布图



(b) 正负号差异分布图

图4 当前块、匹配块及其 Γ 型区域的亮度特征统计分布

1.3 D_F 与 D_B 的一致性判断

H. 264 标准采用率失真判断准则^[3]为每个块选择其最优的编码模式. 这里同样也可以采用率失真准则判断是否需要采用 D_F 为当前块进行亮度补偿,如下式所示

$$J(D_F) = D(D_F) + \lambda R(D_F) \quad (4)$$

式中: $J(D_F)$ 为采用 D_F 对当前块进行亮度补偿编码的率失真代价; $D(D_F)$ 、 $R(D_F)$ 分别为采用 D_F 对当前块进行亮度补偿编码后的失真与编码比特数; λ 为拉格朗日参数^[4].

尽管采用率失真准则可以准确地判断出当前块是否可以采用 D_F 进行亮度补偿,但需要为每个块发送标记信息,进而增加编码比特数,降低编码效率. 此外,采用率失真判断需要重复编码,也会引入很高的复杂度.

由于场景中某些块与其邻近的 Γ 型区域之间的光照条件、物体反射特性不同,使得这些区域内的

光线不符合各向同性,进而导致 Γ 型区域与当前块的亮度变化趋势不同,因此为了避免额外的比特开销,并降低复杂度,可以通过判断当前块与其 Γ 型区域所组成的整体区域内光线是否满足各向同性来判断当前块与其 Γ 型区域的亮度变化趋势是否一致,从而确定是否可以采用 D_F 对当前块进行亮度补偿. 本文采用当前块的 Γ 型区域中的上相邻水平区域与左相邻垂直区域的像素的平均亮度变化特征确定当前块与其 Γ 型区域的平均亮度变化趋势是否一致,如图5所示.

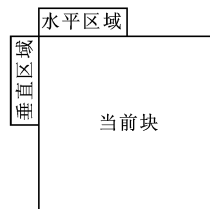


图5 Γ 型区域中的上相邻水平区域与左相邻垂直区域

令 H 表示图5中水平区域的像素的亮度值, V 表示垂直区域的像素的亮度值. 采用各向同性判断准则(IDM)判断是否对当前块进行亮度补偿,计算公式如下

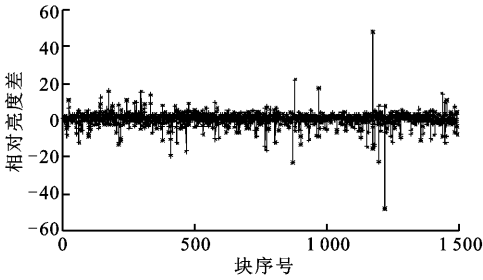
$$\text{sgn}\left(\frac{\partial H}{\partial t}\right) = \text{sgn}\left(\frac{\partial V}{\partial t}\right) \quad (5)$$

式中: $\text{sgn}(\cdot)$ 表示取符号操作. 若式(5)成立,则说明当前块与其 Γ 型区域所组成的整体区域的光线具备各向同性,进而可以采用 D_F 对当前块进行亮度补偿,否则不能采用 D_F 对当前块进行亮度补偿.

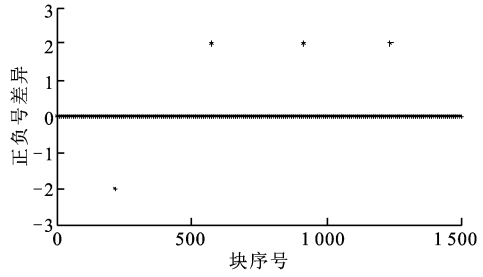
为验证 IDM 的有效性,图6a给出了对 Crew 序列第3帧采用 IDM 判断后的当前块的 D_F 与 D_B 之间的关系. 图6b为 D_F 与 D_B 的正负号差异,若正负号相同则差异为0、1或-1,若不同,则差异为2或者-2. 图6b中 D_B 与 D_F 的正负号不同的块的数量占有所有块的比例仅为0.3%. 对比图4与图6可以看出,采用 IDM 判断之后, D_F 与 D_B 基本不存在正负号差异,即采用 D_F 对当前块进行亮度补偿可以降低差值信号的强度,提高编码效率.

2 纹理匹配准则

以往的运动估计一般采用绝对差和(SAD)准则. 当相邻帧之间不存在亮度差异时,依据 SAD 准则搜索得到的匹配块与当前块之间的亮度特性、纹理特性等都比较相似. 当参考帧、当前帧之间存在明显亮度变化时, SAD 准则搜索所得的匹配块与当前块之间的亮度差异会比较小,但是纹理特征会有较



(a)亮度差值分布图



(b)正负号差异分布图

图 6 IDM 判断后当前块、匹配块及其 Γ 型区域的亮度特征统计分布

大差异. 由于局部亮度补偿预测可以估计出当前块与匹配块之间的平均亮度差异, 并进行补偿, 因此在运动估计过程中, 仅需要使其纹理特性相似即可. 为消除亮度变化对运动估计的影响, 采用式(6)~式(9)所示的纹理匹配准则进行运动估计, 使得当前块与匹配块之间的纹理特征尽可能相似

$$D_{\text{curr}} = \frac{1}{PQ} \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q I(i, j, t) \tag{6}$$

$$D_{\text{ref}} = \frac{1}{PQ} \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q I(i + v_x, j + v_y, t - 1) \tag{7}$$

$$D_{\text{diff}}(i, j) = I(i, j, t) - I(i + v_x, j + v_y, t - 1) \tag{8}$$

$$S = \sum_{i=1}^P \left| \sum_{j=1}^Q D_{\text{diff}} - (D_{\text{ref}} - D_{\text{ref}}) \right| \tag{9}$$

式中: D_{curr} 为当前块的平均亮度; D_{ref} 为匹配块的平均亮度; $D_{\text{diff}}(i, j)$ 为当前块中坐标 (i, j) 处的像素与匹配块中同位置像素的亮度差异; S 为纹理匹配误差 (SATME); P 与 Q 分别为当前块的高与宽. 由于在 H. 264 帧间预测编码过程中, 8×4 、 4×8 、 4×4 块的数量比较少, 因此本文仅对 16×16 、 8×16 、 16×8 、 8×8 块进行局部亮度补偿, 即 P 与 Q 可以取为 16、8.

图 7 比较了采用纹理匹配准则与 SAD 匹配准则时寻找的匹配块. 由图 7 可以看出, 采用纹理匹配

准则所得的匹配块的纹理特征与当前块的纹理特征更加接近.

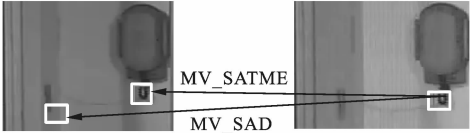


图 7 采用 SAD 准则与纹理匹配准则得到的匹配块

3 执行步骤

3.1 编码端执行步骤

- (1)采用纹理匹配准则进行运动估计.
- (2)确定当前块、匹配块以及其 Γ 型区域.
- (3)计算 D_{Γ} .
- (4)判断当前块、匹配块及其邻近的 Γ 型区域是否满足 IDM 准则.
- (5)若满足 IDM 准则, 则采用 D_{Γ} 对匹配块进行亮度补偿, 否则不进行亮度补偿.
- (6)计算差值信号, 编码.

3.2 解码端执行步骤

- (1)解码当前块的运动矢量.
- (2)依据当前块的运动矢量在参考帧中寻找匹配块.
- (3)计算 D_{Γ} .
- (4)判断当前块与匹配块及其 Γ 型区域是否满足 IDM 准则.
- (5)若满足 IDM 准则, 则采用 D_{Γ} 对匹配块进行亮度补偿, 否则不进行亮度补偿.
- (6)解码差值信号并重建当前块.

4 实验结果

为验证算法的有效性, 采用 H. 264 关键技术领域参考软件 KTA2. 6r1^[5] 作为测试平台. 选择了 5 个具有不同内容和分辨率, 并存在亮度变化的序列进行编码. 采用 IPPP 编码结构, 将运动搜索范围设置为 32×32 , 采用 8×8 变换, 熵编码模式选择为内容自适应二进制算术编码 (CABAC)^[6]. 对每个序列分别在量化参数 Q_p 为 22、27、32、37 的条件下编码. 为了便于说明, 将局部亮度补偿简写为 LLC, 将 H. 264 标准采用的加权预测简写为 WP.

表 1 统计了各个序列的编码增益. 表 1 中 ΔB 表示在测试的 Q_p 范围内, LLC 相对 WP 的编码比特率下降的比例, ΔP_{SNR} 表示在测试的 Q_p 范围内, 采用 LLC 编码后重建视频峰值信噪比 (PSNR) 的

增加值, B_D 表示在所有测试的 Q_p 范围内, 在重建视频 PSNR 相同的条件下, 平均码率增加的百分比^[7]. B_D 可以准确地、定量地反映 2 种算法的码率-失真曲线的差异, 现已被 VCEG、MPEG 相关研究人员广泛采用. 由表 1 可知, LLC 的编码性能优于 WP 的编码性能. 与 WP 相比, 在重建视频的 PSNR 相同的条件下, LLC 的编码比特率平均下降 2.34%.

表1 编码增益统计

序列名称	分辨率/像素	$\Delta B/\%$	$\Delta P_{SNR}/dB$	$B_D/\%$
Crew	1280×720	-5.44	-0.035	-4.13
Mobisode1	416×240	-1.42	-0.03	-0.71
Mobisode2	416×240	-2.12	-0.055	-1.03
Mobisode1	832×480	-3.30	-0.042	-2.35
Mobisode2	832×480	-4.37	-0.083	-3.48
平均值		3.33	-0.049	-2.34

此外, 图 8 比较了采用 LLC 与 WP 编码后每帧的比特数, 可以看出在发生亮度变化的帧之间, LLC 的编码比特数明显低于 WP 的编码比特数.

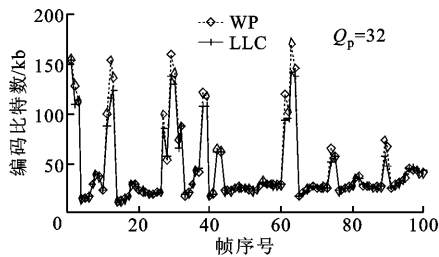


图8 对 Crew 序列编码后的每帧编码比特数比较

5 结 论

本文在光照变化场景中, 针对图像内不同区域的亮度变化不相同的特点, 提出了局部亮度补偿预测方法. 该方法先计算当前块、匹配块的邻近的 Γ 型区域之间的平均亮度差异, 再用该差异对匹配块进行亮度补偿. 并采用纹理匹配准则进行运动估计, 提高当前块与匹配块的纹理相似度. 实验结果表明, 与 H. 264 标准采用的加权预测方法相比, 本文提出的方法可以有效地提高编码效率.

参考文献:

[1] Telecommunication Standardization Sector. ITU-T recommendation H. 264 advanced video coding for gener-

ic audiovisual services [S]. Geneva, Switzerland: Telecommunication Standardization Sector, 2009.

[2] KAMIKURA K, WATANABLE H, JOZAWA H, et al. Global brightness-variation compensation for video coding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1998, 8(8):988-1000.

[3] WIEGAND T, SCHWARZ H, JOCH A, et al. Rate-constrained coder control and comparison of video coding standards [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(7):688-703.

[4] LI Xiang, OERTEL N, HUTTER A, et al. Laplace distribution based Lagrangian rate distortion optimization for hybrid video coding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2009, 19(2):93-205.

[5] Heinrich Hertz Institute. VCEG reference software version JM11.0KTA2.6r1 [CP/OL]. (2009-10-29) [2010-04-15]. <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/KTA/jm11.0kta1.9r1.zip>.

[6] MARPE D, SCHWARZ H, WIEGAND T. Context-based adaptive binary arithmetic coding in the H. 264/AVC video compression standard [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(7):620-636.

[7] BJONTEGAARD G. Improvements of the BD-PSNR model [DB/OL]. (2008-07-25) [2010-03-26]. http://wftp3.itu.int/av-arch/video-site/0807_Ber/VCEG-A111.zip.

[本刊相关文献链接]

多扫描双向参考的快速帧内预测算法. 西安交通大学学报, 2010, 44(4):98-102.

一种方向提升小波变换和网格编码量化的图像编码算法. 西安交通大学学报, 2010, 44(2):67-71.

任意视点电视系统中深度数据的自适应非均匀量化方法. 西安交通大学学报, 2010, 44(2):82-87.

视频通信中的选择性重传技术. 西安交通大学学报, 2009, 43(6):82-87.

适合于小波视频编码的尺寸自适应图像组结构. 西安交通大学学报, 2009, 43(4):52-55.

采用帧延迟的实时编码协作方案. 西安交通大学学报, 2009, 43(2):63-66.

可分级视频编码覆盖网非一致性随机成员构建算法. 西安交通大学学报, 2009, 43(6):1-4.

(编辑 刘杨)