

DVC 中基于亚像素 MCI 的边信息重建

卿 繁 波, 何 小 海, 吕 瑞

(四川大学电子信息学院, 成都 610064)

摘 要: 为了提高边信息重建质量从而提升分布式视频编码的压缩性能, 在引入一种基于整像素运动补偿内插(MCI)的边信息重建算法的基础上, 提出基于 1/2 像素和基于 1/4 像素的亚像素 MCI 边信息重建算法。实验结果表明, 2 种算法能有效提高边信息质量, 在不改变编码复杂度的情况下, 明显提升视频编码系统的率失真性能。

关键词: 分布式视频编码; 边信息; 运动补偿内插; 亚像素

Side Information Reconstruction Based on Sub-pixel Motion Compensated Interpolation in Distributed Video Coding

QING Lin-bo, HE Xiao-hai, LV Rui

(College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610064)

【Abstract】 In order to enhance the coding performance of Distributed Video Coding(DVC) by improving the quality of side information reconstruction, this paper presents a side information reconstruction algorithm based on full-pixel Motion Compensated Interpolation(MCI). Two sub-pixel MIC algorithms based on 1/2-pixel and 1/4-pixel are proposed. Simulation results show that the two algorithms can improve the quality of the side information, and improves Rate Distortion(RD) performance of video coding system without increasing encoding complexity.

【Key words】 Distributed Video Coding(DVC); side information; Motion Compensated Interpolation(MCI); sub-pixel

1 概述

近年来出现了大量新兴的视频应用行业, 如多路无线视频监控、手持多媒体电话、无线视频传感器网络。在这类视频应用场合中, 编码设备往往是嵌入式计算设备, 计算能力较差, 且可靠性要求较高, 导致传统的具有高压缩比的视频编码标准(如 MPEG, H.26X 系列)由于巨大的编码器复杂度(往往是解码器端的 5 倍~10 倍)而无法应用到上述场合。如何在这些客观条件下提高视频图像的压缩效率是当前急需解决的问题。分布式视频编码(Distributed Video Coding, DVC)作为一种新的视频编码框架, 为低编码复杂度、高压缩效率要求的场合提供了很好的解决方案。DVC 技术主要基于文献[1-2]的理论, 其主要特点是在编码端进行帧内编码, 而在解码端对帧间冗余特性进行挖掘, 将传统视频编码技术中的编码复杂度从编码端转移到解码端, 而理论上完全可以达到与传统的帧间编码相似的压缩效率。然而直到近几年, 国际上才开始有学者、组织对 DVC 进行深入研究, 并提出各种分布式视频编码框架^[3-5], 国内目前也很少有针对分布式视频编码的研究^[6-7]。

文献[3]提出了一个像素域分布式视频编码系统框架。由于该系统主要基于 Wyner-Ziv 有损编码理论, 因此也称作 Wyner-Ziv 视频编码器。Wyner-Ziv 视频编码器的编码效率与边信息质量有很大关系, 边信息与原始 Wyner-Ziv 帧越相似, 需要编码端传输的校验位就越小, 系统的压缩效率也就越高^[3]。在 DVC 系统中, 边信息主要通过通过对相邻关键帧进行运动补偿内插(Motion Compensated Interpolation, MCI)得到。文献[3]使用了 2 种边信息生成方案: (1)通过直接利用两相邻关键帧进行平均得到边信息。(2)通过双向运动补偿内插得到

边信息。文献[8]利用类似于运动补偿内插的方法生成边信息。以上方式都是利用整像素运动预测生成边信息的, 所建立的运动场与原始运动场有一定误差, 因此, 生成的边信息质量有待提高。

针对边信息的运动补偿内插, 本文提出基于亚像素的运动补偿内插方法, 通过对原始帧进行亚像素插值, 再进行运动估计得到更精确的运动矢量, 然后进行亚像素双向补偿内插, 生成更精确的边信息, 进而提高分布式视频编码的压缩效率。对 2 个视频测试序列的测试表明, 所提出的边信息生成算法有效提高了编码效率。

2 像素域分布式视频编码器原理

本文研究的 DVC 系统以 Wyner-Ziv 编码系统为基础。但本系统主要以比特面作为编码单位, 系统结构如图 1 所示, 主要由编码器和解码器组成, 编码器和解码器之间为双向数据传输信道。在编码器端, 原始视频帧首先被分为关键帧 X_{2i+1} 和 Wyner-Ziv 帧 X_{2i} 。关键帧的编码由传统的标准帧内编码完成。对于 Wyner-Ziv 帧, 先对其中的每个像素进行均匀量化得到 q_{2i} , 然后通过位平面分解单元, 将量化符号 q_{2i} 分解成相应的位平面。每个位平面的数据分别进行 Turbo 编码。编码后的校验位数据保存在缓存中, 再根据解码器的需求, 部分传输到解码端。在解码器端, 首先利用解码后的关键帧 X_{2i-1}

基金项目: 教育部科学技术研究基金资助重点项目“视频超分辨率重建关键技术研究”(107094)

作者简介: 卿繁波(1982—), 男, 讲师、博士, 主研方向: 图像处理, 视频编码, 模式识别; 何小海, 教授、博士; 吕瑞, 博士

收稿日期: 2009-06-30 **E-mail:** qing_lb@scu.edu.cn

和 X_{2i+1} 进行运动补偿内插, 得到原始 Wyner-Ziv 帧的边信息帧 Y_{2i} , 经过位平面分解后, 作为 Turbo 码的系统位, 与收到的部分校验位一起输入 Turbo 解码器进行解码。如果成功解码, 则解码后的各个位平面进行重组, 经过重建的模块最终得到解码后的 Wyner-Ziv 帧; 否则, 通过反馈信道申请更多的校验位, 重新解码。分布式视频编码相对于传统视频编码标准的一大特点是可以通过优化解码端边信息的生成算法来提升编码效率, 完全不用更改编码端。本文提出一种新的亚像素运动补偿内插算法以大幅提高边信息帧的重建质量, 从而提高 Wyner-Ziv 编码器的压缩性能。

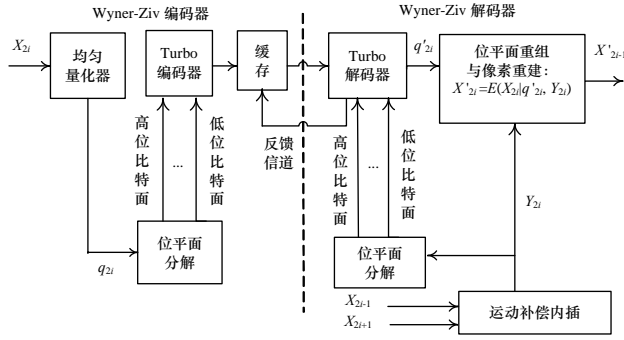


图1 分布式视频编码器结构

3 边信息的整像素运动补偿内插

在分布式视频编码器中, 最简单的边信息生成方法是忽略视频的运动, 直接利用两关键帧 X_{2i-1} 和 X_{2i+1} 进行平均得到:

$$Y_{2i} = (X_{2i-1} + X_{2i+1})/2 \quad (1)$$

这种方式由于没有考虑视频帧的运动特性, 因此重建的边信息质量, 特别是在对运动量比较大的视频帧进行解码时, 非常差, 从而大大影响了编码效率。而充分利用视频帧的运动特性, 能够进一步提高边信息的质量, 从而提高 DVC 的编码效率。

与传统视频编码标准不同, DVC 中解码端没有原始视频帧 X_{2i} , 因此, 无法得到其准确的运动矢量。本文算法考虑到视频运动场的时域局部连续性, 假设 X_{2i} 中的每个块相对于 X_{2i-1} 的运动矢量 $mv_{b_{2i}}$ 和相对于 X_{2i+1} 的运动矢量 $mv_{f_{2i}}$ 是对称的, 即 $mv_{f_{2i}} = -mv_{b_{2i}}$, 如图 2 所示。

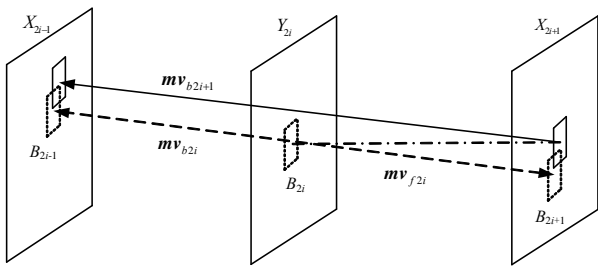


图2 双向运动补偿内插

基于整像素的运动补偿内插算法步骤如下:

(1) 以 X_{2i-1} 作为参考帧, 对 X_{2i+1} 的 8×8 宏块进行运动估计, 得到后向运动矢量 $mv_{b_{2i+1}}$ 。

(2) 考虑运动矢量的空域连续性, 则边信息帧 Y_{2i} 中宏块 B_{2i} 的前向运动矢量和后向运动矢量可以由关键帧 X_{2i+1} 中相同位置宏块 B_{2i+1} 的后向运动矢量得到

$$mv_{f_{2i}} = -mv_{b_{2i}} = -mv_{b_{2i+1}}/2 \quad (2)$$

(3) 利用 X_{2i-1} 和 X_{2i+1} 对 X_{2i} 中的宏块进行双向运动补偿内

插得到内插帧, 即

$$Y_{b_{2i}}(\mathbf{q}) = [X_{2i-1}(\mathbf{q} + m\mathbf{v}_{b_{2i}}) + X_{2i+1}(\mathbf{q} + m\mathbf{v}_{f_{2i}})]/2 \quad (3)$$

其中, $\mathbf{q} = (x_0, y_0)$ 为边信息帧中像素的坐标。

(4) 考虑实际运动场并非绝对时域、空域均匀的, 为了减小运动场不均匀性导致的边信息质量下降, 继续以 X_{2i+1} 作为参考帧重复步骤(1)~步骤(3), 进而内插得到 $Y_{f_{2i}}(\mathbf{q})$ 。

(5) 利用 2 次内插结果得到边信息 $Y_{2i}(\mathbf{q})$:

$$Y_{2i}(\mathbf{q}) = [Y_{f_{2i}}(\mathbf{q}) + Y_{b_{2i}}(\mathbf{q})]/2 \quad (4)$$

4 亚像素运动补偿内插

由于整像素运动补偿内插是以参考帧中整像素为搜索步长的, 而实际视频中运动对象的运动轨迹是连续的, 并不都是以整像素对齐的, 因此本文提出基于亚像素运动补偿内插的边信息生成算法通过得到与实际运动场更相近的前向与后向运动矢量, 实现边信息的精确内插重建。

基于亚像素的边信息内插算法首先对参考帧进行亚像素插值, 然后以相应的亚像素步长进行运动搜索, 得到相应精度的运动矢量, 最后利用亚像素插值后的关键帧, 采用第 3 节算法实现边信息内插重建。本文主要研究 1/2 像素和 1/4 像素运动补偿内插算法。

4.1 1/2 像素内插

1/2 像素内插即半像素内插技术, 如图 3 所示, 灰色框表示原始视频中的像素。

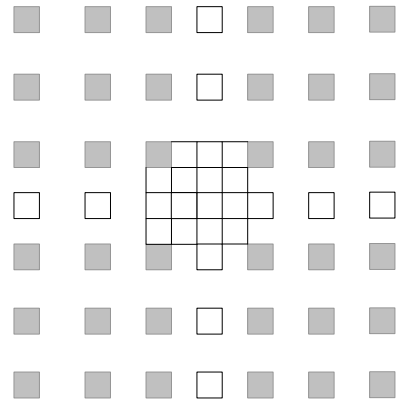


图3 图像帧的亚像素插值

1/2 像素内插算法主要完成图中 a, b, e, d, c 及相关位置像素的内插。为了充分考虑视频图像的局部特性、减少噪声干扰, 采用六抽头滤波器, 利用水平或垂直方向相邻的 6 个整数位置的像素进行滤波处理, 实现 1/2 像素内插。设滤波系数为 $\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$, 以图 3 中的 b, c 为例, 1/2 像素位置内插值为

$$b = a_1 \times A + a_2 \times B + a_3 \times C + a_4 \times D + a_5 \times E + a_6 \times F \quad (5)$$

$$c = a_1 \times k + a_2 \times f + a_3 \times b + a_4 \times d + a_5 \times h + a_6 \times g \quad (6)$$

4.2 1/4 像素内插

1/4 像素内插主要在 1/2 像素内插的基础上进一步内插得到 1/4 像素, 如图 3 中 r, p, q 及相关位置像素的内插值。

1/4 像素内插主要采用双线性内插方法实现, 以图 3 中 p, q 为例, 则

$$q = (b+D)/2 \quad (7)$$

$$p = (b+c+D+e)/4 \quad (8)$$

5 实验结果与分析

为了验证本文算法的有效性, 分别对 QCIF(176×144)尺

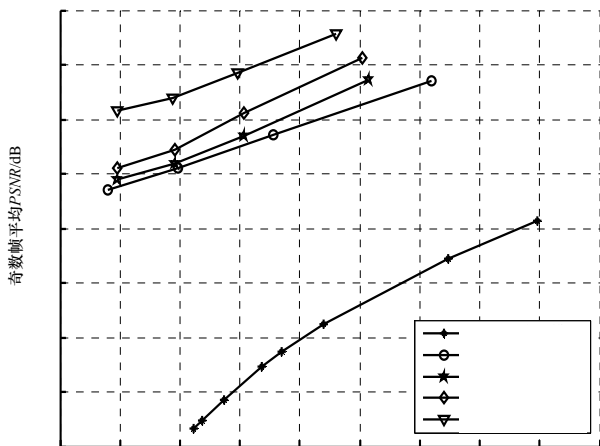
寸的运动量较小的 Foreman 序列和场景伸缩变化较大的 Table 序列的前 100 帧进行编码测试。采用如下测试条件:

(1) Turbo 码成员 RSC 码生成矩阵为

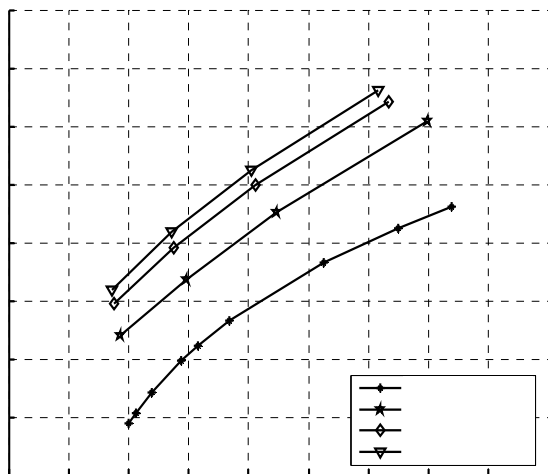
$$[1 \quad (1+D+D^3+D^4)/(1+D^3+D^4)]$$

(2) 采用 4 个量化步长 {2, 4, 8, 16} 产生 4 个不同的率失真 (Rate Distortion, RD) 点。

(3) 假设关键帧能在解码端无失真重建。分别采用整像素运动补偿内插、1/2 像素运动补偿内插及 1/4 像素运动补偿内插生成边信息, 其中, 1/2 像素内插滤波系数为 {1, -5, 20, 20, -5, 1}。为了更明确地显示算法有效性, 只计算 Wyner-Ziv 帧的亮度信号的码率及 PSNR。测试结果与 H.263+帧内模式及文献[3]中 Foreman 序列进行对比, 如图 4 所示。



(a)Foreman 序列



(b)Table 序列

图 4 RD 性能曲线比较

从图 4 可以看出, 随着运动补偿内插搜索精度和补偿精度的提高, DVC 编码的 RD 性能得到了明显提高。对于 Foreman 序列而言, 采用 1/2 像素精度边信息内插算法相比

整像素边信息内插算法, DVC 编码器编码性能提高了 0.4 dB~0.8 dB, 采用 1/4 像素精度边信息内插算法相比整像素边信息内插算法提高了 1.8 dB~2.1 dB。对于 Table 序列而言, 采用 1/2 像素精度边信息内插算法相比整像素边信息内插算法, DVC 编码器编码性能提高了 1.3 dB~1.7 dB, 采用 1/4 像素精度边信息内插算法相比整像素边信息内插算法提高了约 2 dB。从图 4(a)也可知, 本文提出的算法高于文献[8]的算法约 0.5 dB, 说明了本算法的有效性。同时 2 个序列的 RD 性能远高于 H.263+帧内模式编码, 而由于本算法只需要对原始 Wyner-Ziv 帧进行帧内编码, 因此复杂度与 H.263+帧内模式编码相当。

6 结束语

分布式视频编码是近年来国际上新兴的一种视频编码框架, 具有与帧内视频编码相近的编码复杂度和远高于帧内编码的压缩性能。其关键问题是如何在保持低编码复杂度的情况下, 尽量使编码性能接近帧间视频编码模式。本文提出了基于亚像素运动补偿内插算法的边信息生成算法, 实验证明其大大提高了边信息重建质量, 从而显著提高了分布式视频编码系统的 RD 性能。另一方面, 随着精度的提高, 亚像素运动补偿内插算法的复杂度也不断提高, 如何寻找快速搜索算法是下一步的主要工作。

参考文献

- [1] Slepian S, Wolf J K. Noiseless Coding of Correlated Information Sources[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1973, 19(4): 471-480.
- [2] Wyner A, Ziv J. The Rate-distortion Function for Source Coding with Side Information at the Decoder[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1976, 22(1): 1-10.
- [3] Aaron A, Zhang Rui, Girod B. Wyner-Ziv Coding of Motion Video[C]//Proc. of Asilomar Conference on Signals, Systems and Computer. Pacific Grove, USA: [s. n.], 2002.
- [4] Puri R, Ramchandran K. PRISM: A New Robust Video Coding Architecture Based on Distributed Compression Principles[C]//Proc. of the 40th Allerton Conference on Communication, Control and Computing. Virginia, USA: [s. n.], 2002.
- [5] Kaneko H. Low Encoding Complexity Video Compression Based on Low-density Parity Check Codes[J]. IEICE Transactions on Fundamentals, 2006, 89(1): 340-347.
- [6] 李深远, 房胜, 王琼. 基于像素域的 Wyner-Ziv 编码技术分析[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(增刊): 442-444.
- [7] 千宗良, 朱秀昌. 分布式视频编码技术的研究现状及其展望[J]. 信号处理, 2007, 23(1): 73-78.
- [8] Qing Linbo, He Xiaohai, Lv Rui. Application of Punctured Turbo Codes in Distributed Video Coding[C]//Proceedings of the 4th International Conference on Image and Graphics. Chengdu, China: [s. n.], 2007: 241-245.

H.263+帧内模式
文献[8]算法
整像素MCI
1/2像素MCI
1/4像素MCI