第37卷 第14期 计 算 机 工 程 2011年7月
Vol.37 No.14 Computer Engineering July 2011

·开发研究与设计技术· 文章编号：1000—3428(2011)14—0277—03 文献标识码：A 中图分类号：TN919.81

基于联合估计的 Wyner-Ziv 系统边信息重建

卿粼波，沈卫红，何小海

（四川大学电子信息学院，成都 610064）

摘 要：在不显著增加解码复杂度的前提下，为提高 Wyner-Ziv 视频编码系统的边信息(SI)重建质量，提出一种基于 SI 信度的整像素/半像素联合估计算法。该算法引入一个 SI 质量判定因子判断边信息的重建质量，根据 SI 置信度是否超过设定的判别阈值进行整像素和半像素边信息重建方法的自适应切换。实验结果表明，在保持甚至超过传统亚像素边信息重建算法性能的基础上，该算法明显降低了系统解码复杂度。

关键词：Wyner-Ziv 视频编码；运动补偿内插；整像素；半像素；联合估计

Reconstruction of Side Information in Wyner-Ziv System Based on Joint Estimation

QING Lin-bo, SHEN Wei-hong, HE Xiao-hai

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

【**Abstract**】In order to improve the quality of Side Information(SI), without significantly increase the complexity at the same time, a new SI generation algorithm jointly using full-pixel and half-pixel Motion Compensation Interpolation(MCI) is proposed. A quality decision factor namely SI confidence is proposed to indicate the quality of SI. According to the SI confidence whether overtakes the threshold, the algorithm adaptively switches between full-pixel MCI and half-pixel MCI. Experimental results indicate that the proposed algorithm can significantly reduce the decode complexity without causing efficiency loses when compared with traditional SI reconstruction based on sub-pixel method.

【**Key words**】Wyner-Ziv video coding; Motion Compensated Interpolation(MCI); full-pixel; half-pixel; joint estimation

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.14.094

1 概述

近年来，在一些不断涌现的视频编码场合中，如无线低能耗监视系统、多媒体传感器网络、移动可视电话和多视角摄像矩阵，编码端往往是一些电池供电的低功耗、低计算能力的处理器，使得传统的视频编码系统由于较高的编码复杂度而受到极大的挑战。虽然研究者们提出了各种降低编码复杂度的算法[1-2]，但仍未能从根本上解决问题。基于 Slepain-Wolf[3]和 Wyner-Ziv[4]理论的编码框架——分布式视频编码(Distributed Video Coding, DVC)凭借其将视频编码复杂度从编码端搬移到解码端的能力，为上述场合提供了良好的解决方案。在各种 DVC 框架中，目前应用最广泛的是文献[5]所建立的 Wyner-Ziv 视频编码系统。在此基础上，学者们从各个角度(如虚拟信道[6]、边信息[7-11])出发，研究提高 Wyner-Ziv 系统压缩效率的方法。在诸多影响因素中，边信息估计的质量直接影响 Wyner-Ziv 系统的压缩效率。边信息的重建质量越好，需要申请的校验位越少，编码器压缩性能就越高。迄今为止，绝大多数边信息重建方案都是基于运动补偿内插(Motion Compensated Interpolation, MCI)[7-11]技术的，在此基础之上，学者们提出各种方案来提高边信息的重建质量。如文献[7]利用亮度和色度信号实现边信息质量的提升；文献[8]利用已解码的部分信息进一步修正边信息，文献[9]提出了在解码端同时利用时间和空间相关性重建边信息；文献[10]提出采用多种策略对边信息质量进行优化。为了研究从根本上提高边信息质量的方法，文献[11]基于最基本的 MCI 算法，证明了引入亚像素 MCI 可大幅提高边信息质量。然而,亚像素运动补偿精度的增加给本来计算量已经巨大的 DVC 解码器又增加了计算负担。

本文针对亚像素运动补偿计算量大的问题，利用 DVC 系统边信息内插过程中边信息块前向与后向运动矢量对称的特性，提出了一种新的整像素和半像素联合内插重建算法。

2 Wyner-Ziv 系统中边信息的基本内插算法

本文以文献[11]的 Wyner-Ziv 视频系统框架为基础，研究在保持该系统性能的前提下降低解码复杂度的边信息重建算法。下面先简单介绍文献[11]的算法。

2.1 整像素估计算法

基本的内插算法模型如图 1 所示。

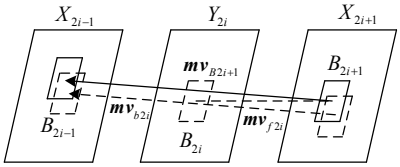


图 1 边信息运动补偿生成示意图

设 X_{2i-1}、X_{2i}、X_{2i+1} 分别为视频序列中的连续帧，X_{2i} 为当前需要解码的视频帧，X_{2i-1} 和 X_{2i+1} 为关键帧，B_{2i} 为边信息中一个 8×8 的块。首先以 X_{2i-1} 作为参考帧，对 X_{2i+1} 中与 B_{2i} 相

基金项目：欧盟 FP7-PEOPLE-IRSES-S2EuNeT 基金资助项目(247083)；四川大学青年科学基金资助项目“分布式视频编码核心理论与技术研究”(校青 2008005)

作者简介：卿粼波(1982－)，男，讲师、博士，主研方向：通信与信息系统；沈卫红，硕士研究生；何小海，教授、博士

收稿日期：2010-12-23 **E-mail：**qing_lb@scu.edu.cn

同坐标处的块 B_{2i+1} 进行运动估计，获取运动矢量 $\boldsymbol{mv}_{B2i+1}$，则 X_{2i} 对应边信息 Y_{2i} 的后向内插分量 $Y_{b2i}(\boldsymbol{q})$ 可通过双向运动补偿内插算法获取，即：

$$Y_{b2i}(\boldsymbol{q})=[X_{2i-1}(\boldsymbol{q}+\boldsymbol{mv}_{b2i})+X_{2i+1}(\boldsymbol{q}+\boldsymbol{mv}_{f2i})]/2 \tag{1}$$

其中，$\boldsymbol{q}=(x_0,y_0)$ 为边信息帧中像素的坐标向量；$\boldsymbol{mv}_{f2i}=-\boldsymbol{mv}_{b2i}=-\boldsymbol{mv}_{B2i+1}/2$。然后将 X_{2i+1} 作为参考帧，再执行上述步骤，获得边信息 Y_{2i} 的前向内插分量 $Y_{f2i}(\boldsymbol{q})$，则最终边信息为：

$$Y_{2i}(\boldsymbol{q})=[Y_{f2i}(\boldsymbol{q})+Y_{b2i}(\boldsymbol{q})]/2 \tag{2}$$

2.2 亚像素估计算法

传统的视频编码算法已经证明，物体运动时运动矢量不一定都是以整像素为单位的，所以，对块进行亚像素运动估计可以得到更准确的运动矢量。亚像素的边信息内插算法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，得到运动矢量，最后利用亚像素插值后的关键帧，采用运动补偿算法实现边信息生成。亚像素插值包括半像素插值和 1/4 像素插值，本文采用文献[11]的插值算法。考虑到复杂度问题，主要采用半像素内插而未采用 1/4 像素内插。

3 整像素和半像素联合估计算法

3.1 联合估计算法思想

根据文献[11]，亚像素插值精确度高可大幅提升边信息的质量，但其需要进行的搜索点数相对于整像素插值算法计算量大幅增加。为此，本文提出整像素和半像素联合进行边信息估计的算法。该算法通过边信息置信度来判断边信息内插质量的优劣。如果边信息质量已较好，则不再进行亚像素边信息内插重建；否则，进行局部的亚像素边信息内插重建。

3.1.1 边信息质量的判定——边信息置信度

由运动补偿内插算法可知，边信息的内插是建立在运动场局部线性基础上的，对于每个分块，如果前向和后向运动补偿块的差别越小，说明当前块边信息的质量越高，运动估计越准确，与原始帧的差别越小，反之亦然。把前向和后向重建结果的平均绝对差(即将 $Y_{f2i}(\boldsymbol{q})$ 和 $Y_{b2i}(\boldsymbol{q})$ 的平均绝对差 Mad 定义为边信息置信度，以 S 表示，则第(u,v)块的边信息置信度为：

$$S_{u,v}=Mad_{u,v}(Y_{f2i}(q),Y_{b2i}(q)) \tag{3}$$

3.1.2 阈值的确定

在判断是否需要进行半像素重建时，需要一个与边信息置信度进行比较的阈值 T。T 的选择是本算法的一个关键，边信息质量超过 T 的概率越高，进一步进行亚像素估计的可能性越高，系统复杂度越高。为了保持整个系统复杂度的均衡，本文算法根据边信息的整体质量自适应地调整阈值。因此，T 是通过计算每一帧各个块边信息置信度的均值获得的，即：

$$T=\sum_{u=1}^{m}\sum_{v=1}^{n}S_{u,v}/(n\times m) \tag{4}$$

其中，m、n 分别为行和列方向的像素块数目。当前帧边信息平均质量越差，阈值就设定得越高，从而保持系统解码复杂度的均衡。

3.2 联合估计算法步骤

本文的联合估计算法步骤如下：

步骤 1~步骤 4 与整像素边信息内插过程的前 4 步相同，最终得到 $Y_{b2i}(\boldsymbol{q})$ 和 $Y_{f2i}(\boldsymbol{q})$。

步骤 5 完成一帧的整像素运动补偿后，对每一像素块的 $Y_{b2i}(\boldsymbol{q})$ 和 $Y_{f2i}(\boldsymbol{q})$ 进行块匹配，利用式(3)计算 $Mad_{u,v}$，得到边信息置信度 S。进而利用式(4)计算自适应阈值 T。对于每一块，当 $S<Mad_{u,v}$ 时，$Y_{2i}(\boldsymbol{q})=[Y_{f2i}(\boldsymbol{q})+Y_{b2i}(\boldsymbol{q})]/2$，算法结束；当 $S\geqslant Mad_{u,v}$ 时，认为该块整像素估计得到的运动矢量不准确，重新进行运动估计，转步骤 6。

步骤 6 对 X_{2i+1}、X_{2i-1} 进行半像素内插，得到 X'_{2i+1}、X'_{2i-1}，以 X'_{2i-1} 作为参考帧，对 X_{2i+1} 中需要进行半像素估计的像素块做运动估计，在整像素估计所得的 $\boldsymbol{mv}_{f2i+1}$ 的一个较小范围内((−4,4))进行半像素运动搜索，得到 $\boldsymbol{mv}'_{F2i+1}$。

步骤 7 通过运动矢量 $\boldsymbol{mv}'_{F2i+1}$ 得到 X_{2i} 中相同位置块的前向与后向运动矢量：

$$\boldsymbol{mv}'_{f2i}=-\boldsymbol{mv}'_{b2i}=\boldsymbol{mv}'_{f2i+1} \tag{5}$$

步骤 8 利用 X'_{2i+1} 和 X'_{2i-1} 对 X_{2i} 中需要进行半像素插值的块进行双向运动补偿内插，即：

$$Y'_{b2i}(\boldsymbol{q})=[X'_{2i-1}(\boldsymbol{q}+\boldsymbol{mv}'_{f2i})+X'_{2i+1}(\boldsymbol{q}+\boldsymbol{mv}'_{b2i})]/2 \tag{6}$$

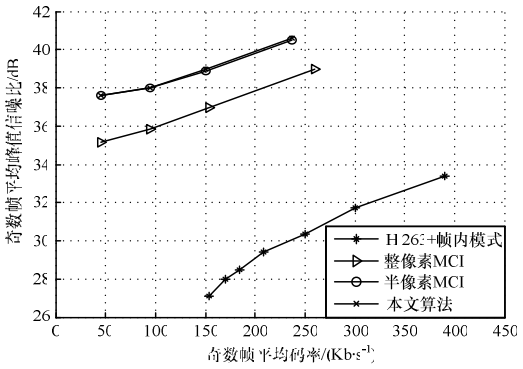
步骤 9 以 X'_{2i+1} 作为参考帧，重复步骤 6~步骤 8，得到 $Y'_{f2i}(\boldsymbol{q})$。

步骤 10 得到边信息 $Y_{2i}(\boldsymbol{q})$：

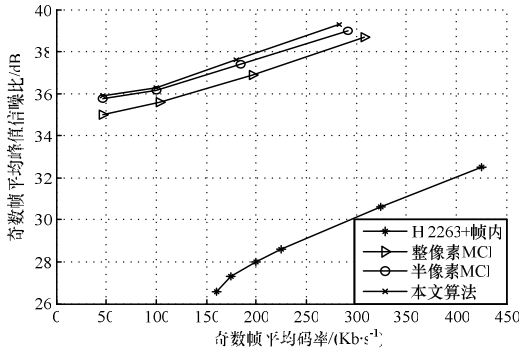
$$Y_{2i}(\boldsymbol{q})=[Y'_{f2i}(\boldsymbol{q})+Y'_{b2i}(\boldsymbol{q})]/2 \tag{7}$$

4 仿真结果与分析

为验证本文算法的有效性，分别对 QCIF 尺寸的 foreman 和 coastguard 序列的前 100 帧在 Wyner-Ziv 视频编码系统的仿真环境下进行编码测试。采用如下测试条件：(1)在 Turbo 码编码器中，2 个 RSC 码生成矩阵为：$[1\ (1+D+D^3+D^4)/(1+D^3+D^4)]$；(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(偶数帧)能在解码端无失真重建。分别采用整像素运动补偿内插、半像素运动补偿内插及整像素和半像素联合运动补偿内插算法生成边信息。为了更明确地显示算法性能，只计算 Wyner-Ziv 帧(奇数帧)的亮度信号的码率及峰值信噪比。结果如图 2 所示。



(a)foreman 序列



(b)coastguard 序列

图 2 RD 性能仿真结果

同时，为了比较 3 种算法的计算复杂度，统计了算法在边信息重建过程中需要的搜索点数，结果如表 1 所示。

表 1　3 种算法边信息生成的搜索点数对比(1 帧~100 帧)

序列	整像素 MCI	半像素 MCI	整像素+半像素 MCI
foreman	10 382 000	39 002 800	12 621 266
coastguard	10 382 000	39 002 800	12 195 182

由图 2 可知，基于本文算法的 Wyner-Ziv 系统其系统压缩效率与基于传统亚像素重建算法的系统相当。对于 forman 序列和 coastguard 序列，本文的整像素/半像素联合估计算法相对于整像素分别有 2.0 dB 和 0.9 dB 的提高，相对于半像素有 0.1 dB 和 0.2 dB 的提高。

由表 1 可知，传统的半像素 MCI 相对于整像素 MCI 提升了 RD 性能，但同时带来了计算复杂度的大幅度增加，半像素 MCI 所需的搜索点数大约为整像素 MCI 的 4 倍。而本文算法的计算复杂度相比整像素 MCI 仅增加了 20%，约为半像素 MCI 的 30%。

从编码效率的实验结果来看，本文算法的 RD 性能略高于半像素算法，其主要原因是，在进行运动搜索时 Wyner-Ziv 帧是未知的，只能利用时空相关性对运动矢量进行估计，这就可能存在对一小部分像素块进行整像素估计得到的运动矢量比进行半像素运动估计更准确的情况，而边信息置信度可以比较准确地区分出这部分整像素估计更准确的像素块，对这部分块不再进行半像素估计，这样既降低了算法复杂度，又提高了边信息重建质量。可以预见，对 1/4 像素进行联合估计也能得到类似的结果。

5　结束语

Wyner-Ziv 视频编码系统是基于 DVC 的一种全新的视频编码系统。它具有编码简单、解码复杂的特点，并且从理论上可以达到与传统视频编码技术相同的编码效率，因此，它在很多场合具有十分重要的作用。本文针对 Wyner-Ziv 视频编码技术的边信息生成算法，提出了一种新的整像素和半像素联合运动补偿内插算法，其利用边信息置信度和自适应阈值判断是否进行亚像素运动补偿插值。仿真结果表明，本文算法在复杂度和边信息质量方面都优于半像素生成算法，相对于整像素生成算法，复杂度略有增加，但边信息质量有较大的提高。

参考文献

[1] 何宜宝, 毕笃彦, 许悦雷. 基于时空相关性的自适应运动估计快速算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(13): 228-231.

[2] 罗义平, 舒振宇, 刘海华, 等. 改进的自适应十字模型搜索运动估计算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(9): 233-235.

[3] Slepian S, Wolf J K. Noiseless Coding of Correlated Information Sources[J]. IEEE Trans. on Information Theory, 1973, 19(4): 471-480.

[4] Wyner A, Ziv J. The Rate-distortion Function for Source Coding with Side Information at the Decoder[J]. IEEE Trans. on Information Theory, 1976, 22(1): 1-10.

[5] Aaron A, Zhang Rui, Girod B. Wyner-Ziv Coding of Motion Video[C]//Proc. of Conference on Signals, Systems and Computer. Pacific Grove, USA: [s. n.], 2002: 3-5.

[6] 卿粼波, 何小海, 张志亮. 分布式视频编码中虚拟信道模型的动态估计[J]. 光学精密工程, 2009, 17(4): 924-929.

[7] Adikari A B B, Fernando W A C, Arachchi H K, et al. Sequential Motion Estimation Using Luminance and Chrominance Information for Distributed Video Coding of Wyner-Ziv Frames[J]. IEEE Electronic Letters, 2006, 42(7): 398-399.

[8] Badem M B, Mrak M, Fernando W A C. Side Information Refinement Using Motion Estimation in DC Domain for Transform-based Distributed Video Coding[J]. IEEE Electronics Letters, 2008, 44(16): 965-966.

[9] Ko B, Shim H J, Jeon B. Wyner-Ziv Coding with Spatio-temporal Refinement Based on Successive Turbo Decoding[C]//Proc. of IEEE International Conference on Multimedia and Expo. [S. l.]: IEEE Press, 2008: 785-788.

[10] 卿粼波, 何小海, 吕　瑞. 分布式视频编码中边信息的多策略优化[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2008, 40(1): 138-143.

[11] 卿粼波, 何小海, 吕　瑞. DVC 中基于亚像素 MCI 的边信息重建[J]. 计算机工程, 2010, 36(3): 224-226.

编辑　张　帆

(上接第 276 页)

5　结束语

本文研究了基于 WIFI 的公交车载无线数据传输调度问题，提出一种新调度策略。该策略对所有高优先级内容优先进行传输，建立并求解多个车辆的传输模型，形成车辆传输序列。与现有的 FCFS 策略相比，在节省能耗和缩短高优先级内容传输时间方面，本文提出的调度策略具有较好的性能。但是本文并未考虑多节点情况下节点对车辆的接纳控制、节点带宽负载均衡及节点的动态调配等问题，下一步将对这些问题进行研究，进一步提高场站的服务器带宽利用率。

参考文献

[1] Ning Ke, Kaeli D. Power Aware External Bus Arbitration for System-on-a-Chip Embedded Systems[C]//Proc. of HiPEAC'07. Ghent, Belgium: [s. n.], 2007.

[2] Goel A, Henzinger M R, Plotkin S, et al. Scheduling Data Transfers in a Network and the Set Scheduling Problem[J]. Journal of Algorithms, 2003, 48(2): 314-332.

[3] Agnetis A, Pacciarelli D, Pacifici A. Multi-Agent Single Machine Scheduling[J]. Annals of Operations Research, 2007, 150: 3-15.

[4] 黎　明, 龙佳丽, 盛伟翔. 遗传算法群体规模的研究[J]. 计算机工程, 2009, 35(1): 162-164.

[5] Hou E S H., Ansari N. Genetic Algorithm for Multiprocessor Scheduling[J]. IEEE Trans. on Parellel and Distributed Systems, 1994, 15(2): 113-120.

编辑　顾姣健