

基于自适应双向运动估计的帧速率上转换算法

李 莉^{1),2)} 侯正信¹⁾ 王成优¹⁾ 宋 锦¹⁾

¹⁾(天津大学电子信息工程学院,天津 300072) ²⁾(天津工程师范学院电子工程系,天津 300222)

摘 要 帧速率上转换主要应用于不同帧速率视频扫描格式之间的转换、低比特率视频通信等领域。提出了一种新的自适应帧速率上转换算法,将基于先验知识的自适应可变尺寸块与双向运动估计相结合,并采用改进的逐级矢量场平滑算法和自适应运动补偿插帧方法,解决了帧速率上转换中存在重叠、空洞等问题,减少了块效应,并保证了较高的运算速度。对标准测试序列的实验结果表明,本文算法较传统方法不仅降低了计算量,而且内插图像的主观和客观质量均有所提高。

关键词 帧速率上转换 自适应 双向运动估计 可变尺寸块

中图法分类号:TN941.1 TP391 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)10-2007-04

Algorithm for Frame Rate up Conversion Based on Adaptive Bilateral Motion Estimation

LI Li^{1),2)}, HOU Zheng-xin¹⁾, WANG Cheng-you¹⁾, SONG Jin¹⁾

¹⁾(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

²⁾(Department of Electronic Engineering, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222)

Abstract Frame rate up conversion is used in conversion between any two display formats, low bit rate video communication and many other fields. A novel adaptive frame rate up conversion algorithm is presented in this paper. The variable-size block motion compensation based on pre-knowledge is incorporated into bilateral motion estimation and the adapted multi-stage motion vector processing and adaptive motion compensated interpolation are adopted so as to resolve the problems of overlapping, hole and block artifacts as well as guarantee higher computation speed. Experimental results show that the proposed algorithm provides better image quality than conventional methods both objectively and subjectively, and the computation efficiency is also improved.

Keywords frame rate up conversion, adaptive, bilateral motion estimation, variable-size block

1 引言

帧速率上转换(FRUC)也称作帧频提升,主要用来实现不同帧速率视频扫描格式之间的转换。例如,将以 24fps 拍摄得到的电影胶片在 50fps 或 60fps 的高清晰度电视上播放。此外,FRUC 也用于低比特率视频编码的码率恢复、无线视频通信

中缺失帧的重构以及液晶显示中运动拖尾问题的解决。

帧速率上转换算法可以分为非运动补偿内插和运动补偿内插(MCI)两类。第 1 类如帧重复法和时域线性/非线性插帧法,不适合场景运动较大的序列,其中帧重复容易产生运动突变现象,而线性插帧则会使运动物体边缘模糊。第 2 类算法的质量主要取决于运动估计准确度。如将传统的基于块匹配算

基金项目:天津市自然科学基金项目(07JCYBJC13800);教育部博士点新教师基金项目(20070056104)

收稿日期:2008-06-08;改回日期:2008-07-24

第一作者简介:李 莉(1973 ~),女。教师。2001 年于天津大学获信号与信息处理专业工学硕士学位。现为天津大学电子信息工程学院博士研究生。主要研究方向包括数字图像处理与编码技术、数字视频处理与通信等。E-mail: lili7312@gmail.com

法(BMA)的运动估计算法直接用于FRUC^[1],内插帧的一个像素可能对应多个运动矢量,也可能没有运动矢量与之对应,分别产生重叠问题或者空洞问题;当一个块中包含多个不同运动对象时,对象边界与块边界不一致,相邻块可能会有差别很大的运动矢量,块效应也将影响内插帧的质量;而且传统的块运动估计只适合普通平移运动,不适合旋转、缩放、变形等复杂运动。

这里提出的算法属于第2类,其将基于先验知识的自适应可变尺寸块与双向运动估计相结合,并采用改进的逐级矢量场平滑和自适应插帧算法,解

决了重叠和空洞等问题,减少了块效应且保证了较高的运算速度。

2 本文算法

2.1 总体结构

本文算法总体结构框图如图1所示。3个已知帧 f_{n-3} , f_{n-1} , f_{n+1} 用来获得对可变尺寸块双向运动估计阈值的估计,双向运动估计分3种块尺寸逐级进行,每一级均有矢量校正处理,最后通过自适应运动补偿插帧获得内插帧 f_n 。

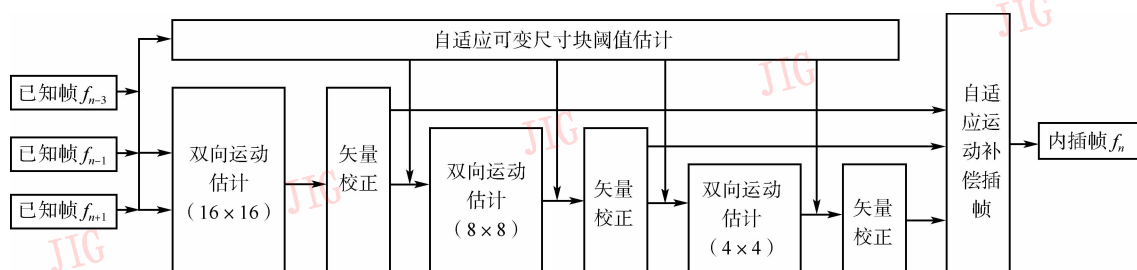


图1 本文算法总体结构框图

Fig. 1 Block diagram of the proposed algorithm

2.2 双向运动估计

FRUC内插帧的每一像素值通过其前后两帧的信息获得。如图2所示, f_{n-1} , f_n 和 f_{n+1} 分别表示前一帧、内插帧和后一帧,而 s 是一个表示像素位置的2维向量。

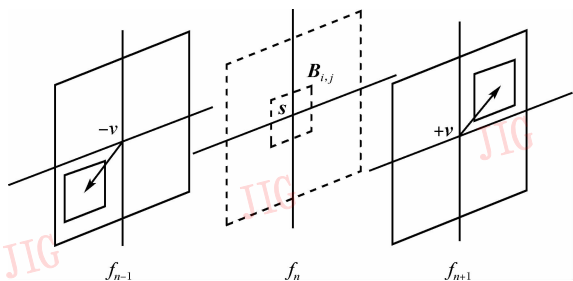


图2 帧速率上转换原理图

Fig. 2 Diagram of FRUC

Choi等人提出了专门用于FRUC的双向运动补偿内插(BMCI)^[2,3],其直接由前后两帧预测中间内插帧的运动矢量,成功地解决了FRUC中运动估计存在的重叠和空洞问题。

在双向运动估计中,对于内插帧的一个块,通过比较其前一帧中一定位移处的块与其后一帧相反位移处的块,找到使二者最相似的位移作为该块的运

动矢量。如图2所示,其中, $B_{i,j}$ 表示内插帧的一个块。可以假设其运动矢量在 $[-a, a]$ 内。对此范围内的每一个候选运动矢量 v ,计算该块在前帧中移动 $-v$ 后和在后帧移动 $+v$ 后对应块每个像素的双向绝对差和:

$$SBAD[B_{i,j}, v] = \sum_{s \in B_{i,j}} |f_{n-1}[s - v] - f_{n+1}[s + v]| \quad (1)$$

在 $[-a, a]$ 内搜索到双向绝对差和最小的 v 即为该块的运动矢量估计值。

2.3 自适应可变尺寸块双向运动估计

在BMA中,当一个块中包含多个不同运动对象时,对象边界与块边界不一致,无法得到正确的运动估计矢量。同时,运动估计块尺寸的选取也存在着矛盾,尺寸选取过大会导致块效应,而尺寸选取过小会造成视频画面的视觉抖动感。

同时可以注意到,虽然内插帧信息未知,无法合适地选取运动估计块的大小。但是,视频序列的连续帧间具有很大的相关性,当相关性足够高时,由帧 f_{n-3} 和帧 f_{n+1} 内插已知的中间帧 f_{n-1} 的方法应该与由帧 f_{n-1} 和帧 f_{n+1} 内插未知帧 f_n 的方法具有高度的相似性。

因此,本方案充分利用了已知帧的信息,设计了自适应可变尺寸块运动估计,如图 3 所示。三级自适应可变尺寸块运动估计具体步骤如下:

(1) 以 16×16 的运动估计块,对 f_{n-3} 和 f_{n+1} 进行双向运动估计,然后补偿内插,从而得到已知帧的估计 $\hat{f}_{n-1}$;

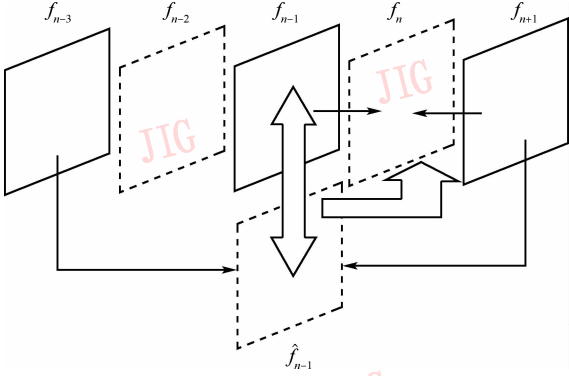


图 3 自适应可变尺寸块运动估计示意图

Fig. 3 Adaptive variable-size block motion estimation

(2) 对内插帧 $\hat{f}_{n-1}$ 和原始帧 f_{n-1} 以运动估计块为单位进行比较,对满足所需峰值信噪比的运动估计块做统计,并取 $SBAD$ 的最大值作为 f_n 的双向运动估计阈值 $SBAD16$,此值的 $1/4$ 为阈值 $SBAD8$,此值的 $1/16$ 为阈值 $SBAD4$;

(3) 运动估计时,对 $SBAD$ 大于 $SBAD16$ 的 16×16 运动估计块拆分为 8×8 的运动估计块进行运动估计,对 $SBAD$ 大于 $SBAD8$ 的 8×8 运动估计块拆分为 4×4 的运动估计块进行运动估计;

(4) 对 $SBAD$ 依然大于 $SBAD4$ 的 4×4 运动估计块,可以认为运动估计失败,取其左边、上边和右上 3 个运动估计块的运动矢量的中值,作为其运动矢量。

在进行双向搜索时采用了当前最先进的可预测运动矢量场自适应搜索技术(PMVFAST)^[4,5]。

2.4 逐级矢量校正

矢量校正的主要作用是消除块效应。本方案对传统的矢量中值滤波器进行了简化,设计了一种适合于可变尺寸块运动估计的逐级矢量场校正方法。针对本方案的可变尺寸块运动估计,将矢量校正安排在每一级运动估计之后,如图 1 所示,从而可避免运动估计误差积累,提高了重构视频质量。

传统矢量中值滤波是在滑动窗口中寻找一个距离其他像素矢量最近的矢量,并以此矢量替代原中

心矢量。如果有多个矢量都为最小值,则选择离滑动窗口中心最近的矢量。这里设计了简化的矢量中值滤波器,避免了复杂的运算,在不影响处理质量的前提下,节省了处理时间。具体步骤如下:

(1) 以当前运动估计块的大小为单位,矢量中值滤波的滑动窗口大小设计为 3×3 ;

(2) 分别对窗口内的九个运动估计矢量的水平分量和垂直分量从大到小进行排列,并按大小赋予权值: $\{4, 3, 2, 1, 0, 1, 2, 4, 3\}$;

(3) 将每一个运动估计矢量的水平分量权值和垂直分量权值相加,得到该运动估计矢量的权值,记录权值最小的运动矢量;

(4) 将记录的运动矢量和窗口中心的运动矢量相比较,如果有较大差别,可以认为窗口中心的运动矢量有误,则以记录的运动矢量更新窗口中心的运动矢量,已达到校正矢量场的目的。

2.5 自适应运动补偿插帧

对于本方案所应用的双向运动估计算法,在运动补偿插帧时,存在的问题是:由 f_{n-1} 帧运动补偿插帧得到的 $\hat{f}_n^1$ 帧和由 f_{n+1} 帧反向运动补偿插帧得到的 $\hat{f}_n^2$ 帧在运动估计比较准确的时候是基本相同的,但是当运动估计欠准确时,则得到的两个预测帧差别较大。针对这一矛盾,设计了简化的自适应运动补偿插值方案:

$$\hat{f}_n = \text{Med}[\hat{f}_n^1, \hat{f}_n^2, 0.5 \times (\hat{f}_n^1 + \hat{f}_n^2)] \quad (2)$$

当运动向量比较精确时, $\hat{f}_n^1$ 帧和 $\hat{f}_n^2$ 帧中对应的两个像素具有相近的像素值。因此,中值滤波器可选其中任一个像素值作为输出;当运动矢量不再可靠时,中值滤波器输出 $\hat{f}_n^1$ 帧和 $\hat{f}_n^2$ 帧中对应两个像素的均值作为一种性能上的妥协。

3 实验

实验中对原始视频序列下采样,使帧速率降为原来的一半,然后再利用 FRUC 算法将帧速率还原。选用 4 个 QCIF 标准测试序列: news、foreman、tennis 和 garden 进行测试。其中,news 摄像机静止,背景有小部分运动;foreman 背景具有微小晃动,前景运动比较复杂;tennis 摄像机具有缩放运动,同时前景为局部剧烈运动;garden 摄像机全局运动。

为验证本文算法的有效性,分别与 WAMCI^[6]、OBMC^[7]及 BMCI^[2]进行了比较。将这 4 种算法应用于以上 4 个标准测试序列,前 50 帧的平均峰值信噪比如表 1 所示。可以看出,对各种测试序列,采用本文算法内插帧的平均 PSNR 均为最高。

用本文算法和文献[2]中 BMCI 算法内插 forman 序列中一帧图像的主观效果比较如图 4 所示。可以看出,本文算法能够有效地减少块效应。

表 1 前 50 内插帧平均 PSNR 比较

Tab.1 Average PSNR of the beginning 50 interpolated frames (dB)

视频序列	BMCI	OBMC	WAMCI	单位:dB
				本文算法
news	35.71	35.41	36.50	37.02
foreman	31.05	30.49	31.29	34.29
tennis	26.22	25.73	26.55	29.09
garden	22.68	22.38	22.93	27.30



图 4 内插帧主观效果比较

Fig.4 Subjective comparison of interpolated frames

4 结 论

从以上实验可以看出,采用本文算法的内插帧主观和客观质量均优于其他典型方法,且考虑到 FRUC 算法的大部分处理时间都用于运动估计,而

本文所使用的 PMVFSAT 运动估计法相对于其他快速算法具有时间上的明显优势,因此可认为:在处理时间上,本文算法也不逊于其他算法。

当然,本文算法还存在一些不足,比如,双向运动估计实际将运动估计的精度降低为双像素,在下一步的工作中可考虑将视频压缩编码中的分数像素运动估计与双向运动估计相结合,进一步提高双向运动估计的准确性。

参考文献 (References)

1 Hilman K, Park H-W, Kim Y-M. Using motion-compensated frame-rate conversion for the correction of 3: 2 pulldown artifacts in video sequences [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2000, 10(6): 869~877.

2 Choi B-T, Lee S-H, Ko S-J. New frame rate up-conversion using bi-directional motion estimation [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2000, 46(3): 603~609.

3 Choi B-D, Han J-W, Kim C-S, et al. Motion-compensated frame interpolation using bilateral motion estimation and adaptive overlapped block motion compensation [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2007, 17(4): 407~416.

4 Tourapis A M, Au O C, Liou M L. Predictive motion vector field adaptive search technique (PMVFAST) - enhancing block-based motion estimation [A]. In: Proceedings of SPIE Conference on Visual Communications and Image Processing [C], San Jose, CA, USA, 2001, 4310:883~892.

5 Li Tie-jun, Shen Cheng-dong, LI Si-kun. A VLSI architecture for PMVFAST block-based motion estimation algorithm [J]. Journal of Computer Research and Development, 2005, 42(4): 537~543. [黎铁军,沈承东,李思昆.一种支持 PMVFAST 运动估计算法的 VLSI 体系结构[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(4): 537~543.]

6 Lee S-H, Kwon O, Park R-H. Weighted-adaptive motion-compensated frame rate up-conversion [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2003, 49(3): 485~492.

7 Orchard M T, Sullivan G J. Overlapped block motion compensation: an estimation-theoretic approach [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1994, 3(5): 693~699.