

# 基于 SAD 矢量合成的 1/4 像素 精度运动估计快速算法

蒋建国 章玲 齐美彬

(合肥工业大学计算机与信息学院,合肥 230009)

**摘要** H.264 作为新一代的视频标准,对基于块匹配法的运动估计做了新的改进。运动估计是视频编码过程中极其重要的一个环节,它的算法效率对整个编码效率有很大的影响。针对 H.264 标准中提出的 1/4 像素精度的运动估计,对其基本算法以及几种快速算法进行分析比较,并在此基础上提出了一种快速的矢量合成算法。实验结果证明,这种算法在提高搜索速度的同时,也保证了图像质量。

**关键词** 运动估计 1/4 像素精度 绝对误差和(SAD) H.264 快速算法

**中图分类号**: TN919.81 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2005)12-1591-05

## A Fast Algorithm of 1/4-pel Accuracy Motion Estimation Based on SAD Composite Vector

JIANG Jian-guo, ZHANG Ling, QI Mei-bin

(School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

**Abstract** As a new video coding standard, H.264 has an enhanced motion estimation method based on block matching that each partition in an inter-coded macroblock is predicted from an area of the same size in a reference picture, the offset between the two areas (the motion vector) has 1/4-pel resolution (for the luma component). Sub-pixel motion compensation can provide significantly better compression performance than integer-pixel compensation, at the expense of increased complexity. Quarter-pixel accuracy outperforms half-pixel accuracy. Motion estimation, whose efficiency has great effect to the whole coding efficiency, is an important part during the video coding process. In this paper, we compare the basic algorithm and some fast algorithms of 1/4-pel accuracy motion estimation, then put forward a fast algorithm which use composite vector. Experiments show that this algorithm is effective.

**Keywords** motion estimation, 1/4-pel, SAD, H.264, fast algorithm

### 1 引言

H.264/AVC 是目前算法复杂度最高、性能最好的基于混合编码框架的视频编码技术,它采用了多种在以前视频编码标准中不曾出现过的新技术。其中可变尺寸块、多参考帧和 1/4 像素精度是 H.264 运动补偿技术的 3 个新特征<sup>[1]</sup>。分数像素运动补偿

要求以原参考图像插值后的图像作为新的参考图像,然后进行运动补偿预测,从而运动矢量的精度达到分数像素精度。运动矢量位移的精度越高,帧间剩余误差越小,传输码率越低,压缩比越高。运动补偿精度增加一倍,可以得到 0.5bit/sample 的编码增益,但是实际越过 1/8 像素后,继续通过提高精度来改善运动补偿的性能的意义就不大了<sup>[2]</sup>。目前的标准中, H.263 的运动补偿精度达到 1/2 像素,

基金项目:合肥市科技局重点科研项目(413376)

收稿日期:2004-09-27;改回日期:2005-04-11

第一作者简介:蒋建国(1955~),男,教授,博士生导师。1989年在合肥工业大学获信号、电路与系统专业硕士学位。现主要研究领域为数字图像分析与处理、DSP 技术应用、智能信息处理。曾获国家科技进步三等奖一项,省部级科技进步一、二、三等奖 5 项。E-mail: jgjiang@hfut.edu.cn

H. 264 在指定过程中虽然曾经企图采用 1/8 像素精度的运动补偿,但最终亮度信号还是定为 1/4 像素。

通常具有 1/4 像素精度的运动估计可以通过基本算法<sup>[3]</sup>, SAD(绝对误差和)值相关性估计的算法<sup>[4]</sup>,或 SAD 二次曲线分布的近似估计算法<sup>[5]</sup>等实现。

运动估计的精度提高,运算量也相应增大,基本算法的搜索过程可以分为 3 个步骤:(1)在搜索区进行整像素运动估计,求出整像素最佳匹配点,对当前的重建参考帧进行内插,以建立用于 1/2 精度运动估计的参考帧;(2)对整像素最优匹配点周围 8 个 1/2 像素点计算 SAD,并与整像素最优 SAD 值比较,其中, SAD 最小的一个点即为 1/2 像素精度最优匹配点,然后对当前重建的半像素精度的参考帧进行内插,建立具有 1/4 像素精度的参考帧;(3)对 1/2 像素最优匹配点周围 8 个 1/4 像素点计算 SAD 并与上一步中得到的 1/2 像素最优 SAD 值进行比较,取其中 SAD 值最小的即为 1/4 像素最优匹配点<sup>[3]</sup>(图 1)。

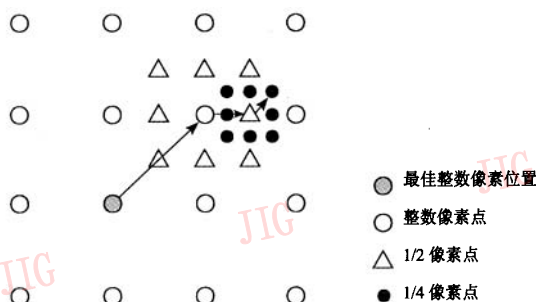


图 1 基本算法

Fig. 1 Basic algorithm

为了降低视频编码器的运算负荷,考虑对其基本算法进行优化。优化的主要途径是用对分数像素 SAD 值的估计来代替 SAD 值的直接计算,从而减少计算量。

对于 SAD 值的估计,一种方法是根据线性内插像素之间的相关性,通过对标准序列进行统计,得到所有内插的分数像素 SAD 值与周围整像素已知 SAD 值之间的关系,来估算出所有分数像素点的 SAD 值<sup>[4]</sup>(以下简称快速 SAD 法)。另一种方法是近似认为两坐标轴上的 SAD 值按照二次曲线分布,利用曲线分布情况来估计 SAD 值。以  $x$  正半轴为例,已知整像素点  $(0, 0)$ ,  $(1, 0)$  的 SAD 并计算出 1/2 像素点  $(1/2, 0)$  的 SAD 值,3 点确定 SAD 分布曲线,估计此二次曲线的最小点位置,将最接近此最小

点的分数像素判为最优点。分别求得两坐标轴上最优点后,进行矢量合成得到 2 维的最优匹配点位置<sup>[5]</sup>。本文将快速 SAD 估值与矢量合成相结合提出了一种快速算法。

## 2 基于快速 SAD 矢量合成的 1/4 像素精度运动估计的快速算法

对于匹配块中每一个内插的像素点,都可以采用最相近邻整像素点进行内插,各亚像素的像素值是通过整像素像素值的线性计算得到。实际应用中,1/2 像素值由周边 6 个像素亮度值按  $(1, 5, 20, 20, -5, 1)$  加权中值滤波得到。然后用线性插值获得 1/4 像素样本。对于 4:1:1 的视频格式,亮度信号的 1/4 像素精度对应于色度部分 1/8 像素的运动矢量,对色度信号 1/8 像素的内插运算可用 8 抽头滤波器实现<sup>[6]</sup>。考虑简单情况,这里采用双线性内插。

整像素点与内插亚像素点之间存在相关性,因此可以通过整像素的 SAD 值来估算内插亚像素点的 SAD 值。对标准视频序列 foreman、akiyo、mother\_daughter 等进行统计,可以得到内插像素的 SAD 与周围整像素点已知的 SAD 值有如下关系(参见图 2):

$$\text{SAD}(a) = 0.970 \times \left( \frac{3}{4} \text{SAD}(G) + \frac{1}{4} \text{SAD}(H) \right) \quad (1)$$

$$\text{SAD}(e) = 0.945 \times \left( \frac{10}{16} \text{SAD}(G) + \frac{3}{16} \text{SAD}(H) + \frac{3}{16} \text{SAD}(M) \right) \quad (2)$$

其余点的 SAD 估算公式见参考文献[4]。

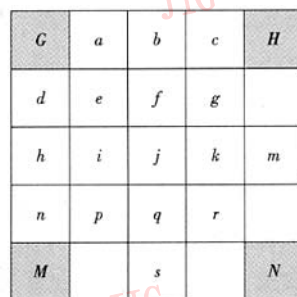


图 2 线性内插

Fig. 2 Linear interpolation

对于 2 维搜索来说,因为亚像素的最佳匹配点位于半像素精度最佳匹配点附近很小的区域内,近似地假设 2 维的匹配误差在该半像素点附近为  $x, y$  方向是可分离的,这样 2 维的匹配算法可分解为两

个 1 维的匹配算法<sup>[5]</sup>。先分别在  $x$  和  $y$  方向分别做 1 维的最佳匹配点计算,得到运动矢量在  $x$  方向的分量和  $y$  方向的分量,最后对两个分量进行合成得到最佳运动矢量。

具体算法步骤如下:

(1) 搜索整像素最优匹配点(可以通过菱形算法等)。

(2) 对当前重建的参考帧,进行二次内插建立 1/4 像素精度的参考帧。

(3) 利用文献[4]中的估算公式通过整像素的 SAD 值估算出  $x$  方向和  $y$  方向上 12 个点的 SAD 值。

(4) 如图 3 所示,取出  $x$  方向 7 点中 SAD 值最小的点及  $y$  方向 7 点中 SAD 值最小的点进行矢量合成,得到 1/4 像素精度的最优匹配点。

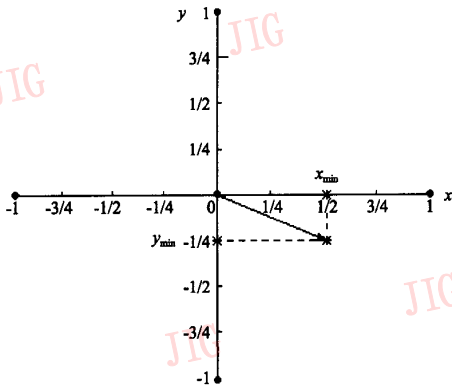


图 3 运动矢量合成

Fig. 3 Motion vector composing

此算法中,利用快速 SAD 公式估算出 1 维的分数像素最优点进行矢量合成,称此算法为快速合成法。

但是,由于进行估计和合成两次近似,在搜索速度大幅提高的同时,算法精度会有所下降,使图像质

量有所下降。作为进一步的改进,在精度和速度兼顾的情况下,考虑将上述方法中的第 3 步调整为 (3) 分别计算出  $x, y$  方向 1/2 像素点处的 SAD 值,利用下式

$$\text{SAD}\left(\frac{1}{4}, 0\right) = \frac{3}{8}\text{SAD}(0, 0) + \frac{3}{4}\text{SAD}\left(\frac{1}{2}, 0\right) - \frac{1}{8}\text{SAD}(1, 0) \quad (3)$$

$$\text{SAD}\left(\frac{3}{4}, 0\right) = \frac{3}{8}\text{SAD}(1, 0) + \frac{3}{4}\text{SAD}\left(\frac{1}{2}, 0\right) - \frac{1}{8}\text{SAD}(0, 0) \quad (4)$$

估算得到坐标轴上其余 1/4 像素点处的 SAD 值。

这样,搜索过程需要进行 4 次 SAD 运算,8 次估算,这与基本算法的 16 次 SAD 运算相比,在很大程度上节约了运算时间,同时保证了图像的质量,称此算法为矢量合成法。

### 3 实验仿真

对以上所提到的几种算法进行实验比较,PSNR 值比较结果如图 4 所示,平均 PSNR 比较结果如表 1 所示,采用的测试视频图像序列为 Carphone、news、mother\_daughter 等,格式为 QCIF (176 × 144),测试长度为 30f。

表 1 平均 PSNR 比较

Tab. 1 Compare of the average PSNR value

单位: dB

标准序列	基本算法	快速 SAD 法	矢量合成法
news	34.375 7	34.195 9	34.308 6
carphone	31.404 7	30.782 6	30.990 3
mother-Daughter	41.482 4	41.377 9	41.405 2

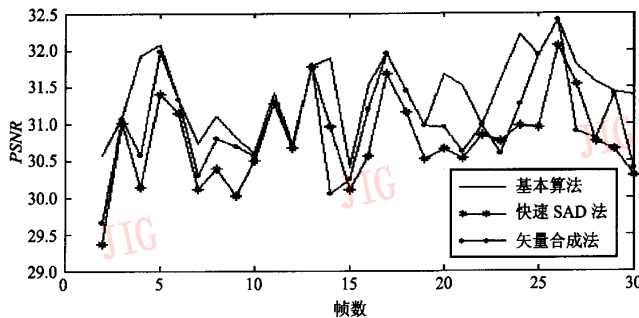


图 4 3 种搜索算法 PSNR 值比较 (Carphone)

Fig. 4 Compare of the three methods by PSNR value (Carphone)

本实验中,在整像素搜索的基础上,分别对基本算法、文献[5]中的快速 SAD 法,以及两种改进算法进行模拟,图 4 为对它们重建图像的峰值信噪比进行的比较,发现快速 SAD 方法与快速合成法得到的曲线一致,但是后者只需对最优整像素周围 12 个点进行估计,这比原来的运算量小很多,如表 2 所示。从图 4 可以看出,由矢量合成法计算得到的重建图像的质量略低于基本算法的重建图像,但高于快速 SAD 法。以标准序列 news 为例(图 5),在搜索过程中,图像序列第 6 帧发生搜索错误(见图中圈出部分),此时,仍然是基本算法与原始图像最相近,矢量合成法次之,快速 SAD 算法偏离的最多。

矢量合成法对整像素周围 4 个  $1/2$  像素进行

表 2 在搜索到整像素最优点基础上进行一次  $4 \times 4$  块搜索的运算量比较

Tab. 2 Compare of the compute cost of a  $4 \times 4$  block search based on the optimal integer unit

算法	加法	乘法
基本算法	1364	0
快速 SAD 法	84	132
快速合成法	12	36
矢量合成法	140	24

SAD 计算然后再进行 8 次估计,运算量虽比快速合成法大一些,但是得到了更为精确的搜索使重建图像的质量进一步提高。



(a) 原始图像



(b) 基本算法



(c) 快速 SAD 法



(d) 矢量合成法

图 5 标准序列 news 第 6 帧

Fig. 5 The 6th frame of the standard sequence

## 4 结 论

$1/4$  像素精度的运动估计作为 H. 264 标准中的

一项新技术,它的算法效率对整个编码效率有很大的影响,同时,相对于 H. 263 中  $1/2$  像素精度的运动估计,它又带来了更高的图像质量。在速度和精度折中考虑的情况下,提出了矢量合成的方法。从

实验仿真结果来看,快速合成法比基本算法有更高的效率,而矢量合成法又较之有更高的精度。进一步地研究是在此基础上对 H. 264 标准运动补偿技术的深入研究。

### 参考文献 (References)

- 1 Iain E G Richardson. Overview of H. 264, H. 264/Mpeg-4 Part10 White Paper. [EB/OL]. <http://www.vcodex.com>, 2002-10-07.
- 2 Bernd Girod. Motion Compensation Prediction with Fractional-Pel Accuracy[J]. IEEE Transactions on Communication, 1993, 41(4): 604 ~ 612.
- 3 Li C L. The Study and Algorithm Optimization of Distortion Constrained Video Coding Technology [D]. Xi'an: Xidian University, 2004. [李春林. 限失真视频编码技术的研究和优化 [D]. 西安:西安电子科技大学, 2004.]
- 4 Wang Y J, Liu Z W, Wu Z J. Optimize of 1/4 pel accurate motion search in H. 26L[J]. Information and Electronic Engineering, 2003, 1(3): 43 ~ 46. [王煜坚, 刘中伟, 吴镇扬. H. 26L 中四分之一像素精度运动估计的优化 [J]. 信息与电子工程, 2003, 1(3): 43 ~ 46.]
- 5 Wang W D, Yao Q D, Liu P. Fast algorithm of fractional pixel accuracy motion estimation [J]. Journal of China Institute of Communications, 2003, 24(4): 128 ~ 132. [王维东, 姚庆栋, 刘鹏. 小数像素运动估计快速算法 [J]. 通信学报, 2003, 24(4): 128 ~ 132.]
- 6 ISO/IEC 14496-10:2003. Proposed Draft Errata List with Revision-Marked Corrections for H. 264/AVC[S].
- 7 Luo L J, Zhou C R, He Z Y. A new motion estimation scheme for video coding [J]. Journal of China Institute of Communications, 2000, 21(2): 56 ~ 59. [骆立俊, 邹采荣, 何振亚. 一种新的视频编码的块运动估计算法 [J]. 通信学报, 2000, 21(2): 56 ~ 59.]
- 8 Xiang Y J, Guo B L. Fast block matching algorithms for motion estimation [J]. Computer Engineering, 2003, 29(13): 62 ~ 64. [向友君, 郭宝龙. 运动估计快速块匹配法 [J]. 计算机工程, 2003, 29(13): 62 ~ 64.]
- 9 Lin T, Chen X, Hu B. Improve of half pel accurate motion estimation based on MSE and its DSP apply [J]. Journal of Circuits and Systems, 2000, 5(2): 95 ~ 98. [林涛, 陈鑫, 胡波. 基于均方误差准则的半像素精度运动估计方法的改进及其 DSP 实现 [J]. 电路与系统学报, 2000, 5(2): 95 ~ 98.]
- 10 Iain E G Richardson. Prediction of Inter Macroblocks in P-slices, H. 264/Mpeg-4 Part10 White Paper [EB/OL]. <http://www.vcodex.com>, 2003-04-30.

## 作者声明

2005 年第 10 卷第 11 期由王玲、余慧敏撰写的“OFDM 系统中线性插值信道估计器的性能研究”一文的第 3 节公式推导源自参考文献“Kim Jihyung, Park Jeongho. Performance analysis of channal etimation in OFDM system[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2005, 12(1): 60 ~ 62.”, 由于本文疏忽, 未将该文列为参考文献, 现特补充说明。

作者: 王玲 余慧敏  
2005 年 11 月 2 日