

## 一种改进的完全搜索块匹配算法

朱长征, 沈振康

(国防科技大学 电子科学与工程学院 ATR 国家实验室, 湖南 长沙 410073)

**摘要:**完全搜索块匹配算法是图像序列稳定中常用的运动估计方法,在传统的完全搜索块匹配算法中,在搜索区域中图像序列的当前帧和参考帧对应的像素对对匹配结果的贡献是完全一样的,这样使得算法的性能容易受到待稳定的图像序列中各种噪声的影响。针对这个不足,提出了一种改进的完全搜索块匹配算法。在新的匹配准则中,搜索区域中图像序列的当前帧和参考帧对应的像素对对匹配结果是否有贡献取决于它们灰度值之差的绝对值与预先设定的门限值进行大小比较的结果,对应的灰度值之差的绝对值不超过该门限值的像素对对匹配结果有贡献,而且贡献大小受到与像素对位置相关的加权处理,否则该像素对对匹配结果无贡献。实验结果证明了该算法的优越性。

**关键词:**图像序列; 稳定; 完全搜索块匹配算法; 运动估计

**中图分类号:**TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2004)04-0388-04

## Improved full-search block-matching algorithm

ZHU Chang-zheng, SHEN Zhen-kang

(The National Laboratory of ATR, School of Electronic and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** The full-search block-matching (FSBM) algorithm is an ordinary motion estimation method in image sequence stability. In traditional FSBM algorithm, every pair of pixels corresponding to the current and reference frame makes equal contribution to the matching result. Therefore, the performance of the traditional FSBM algorithm will tend to be influenced by various noise in the being stabilized image sequence. Aiming at the shortcoming, an improved FSBM algorithm is proposed. In the new matching rule, every pair of pixels is classified as matching pixel pair (set value as 1) or mismatching pixel pair (set value as 0). A threshold is selected to perform the above classification. The mismatching pixel pairs make no contribution to the result. Now the matching pixel pairs make equal contribution to the matching result as before, then multiply each by a weight that has relation with the position of the matching pixel pair and sum them up. The experiments show that this new method is promising.

**Key words:** Image sequence; Stability; Full-search block-matching algorithm; Motion estimation

收稿日期:2003-09-18; 修订日期:2003-11-06

作者简介:朱长征(1977-)男,河南漯河人,博士生,主要研究方向为图像处理、计算机图形学、航天发射任务建模与仿真。

## 0 引言

块匹配算法是图像序列稳定中最常用的一种算法<sup>[1~8]</sup>,该算法不需要对图像序列进行任何预处理,只在原始图像数据上进行运算,因此保留了图像序列中每一帧图像的全部信息;另外,该算法原理简单,可以快速实现<sup>[7]</sup>,因此对块匹配算法的研究一直在进行。块匹配算法分为两类,一类是完全搜索块匹配(FSBM)算法<sup>[1,7]</sup>,一类是快速搜索块匹配算法<sup>[2]</sup>。完全搜索块匹配算法可以获得全局最优解,但是运算量大,而快速搜索块匹配算法可以提高匹配速度,但是可能陷入局部最优解。不管哪一类块匹配算法,在计算最优解的过程中图像序列的当前帧和参考帧对应的像素对对匹配结果的贡献是完全一样的。这使得算法的性能容易受到待稳定的图像序列中各种噪声的影响。针对这个不足,提出了一种改进的完全搜索块匹配算法。

假定研究的图像序列是灰度图像,而且图像序列中仅仅存在二维平移运动。

## 1 完全搜索块匹配算法

传统的完全搜索块匹配算法的基本思想是在当前帧中选取一个大小  $n \times n$  的子块(见图 1),在前一帧(也就是参考帧)的搜索区域(该搜索区域限定了两

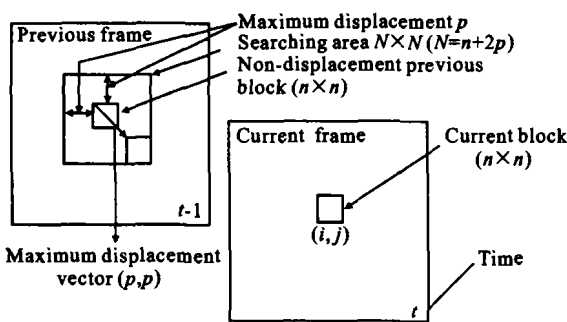


图 1 完全搜索块匹配算法

Fig. 1 Full-search block-matching algorithm

个方向的最大位移  $p$ ,因为在连续的图像序列中可以假定前后两帧之间的相对运动很小)内,利用某一匹配准则进行最佳匹配,从而获得全局最优的相对运动矢量。一般而言,当前帧中当前块的选取原则是尽量居中,因为一幅图像的“焦点”通常位于中心。搜索区域的选择也要使得当前帧  $n \times n$  子块位于其中心位

置,目的是为了保证获得全局最优运动矢量。

传统的完全搜索块匹配算法有两种常用的匹配准则:最小均方误差(MMSD)匹配准则和最小绝对误差(MMAD)匹配准则。

### 1.1 最小均方误差匹配准则

设  $\{x_c(i, j)\}$  和  $\{x_p(i + \Delta i, j + \Delta j)\}$  分别表示当前帧中选取的大小  $n \times n$  子块的像素值和前一帧搜索区域中待匹配子块的像素值,其中  $1 \leq i, j \leq n, -p \leq \Delta i, \Delta j \leq p$ 。基于最小均方误差匹配准则的完全搜索块匹配算法就是要在搜索区域里寻找满足下式的  $(\Delta i, \Delta j)$ ,从而获得位移矢量  $V = (\Delta i, \Delta j)^T$ 。

$$S(\Delta i, \Delta j) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_c(i, j) - x_p(i + \Delta i, j + \Delta j))^2$$

$$U = \min_{(\Delta i, \Delta j)} \{S(\Delta i, \Delta j)\} \quad (1)$$

$$V = (\Delta i, \Delta j) |_U$$

其中  $-p \leq \Delta i, \Delta j \leq p$ (对应图 1 中的  $p$ )。

### 1.2 最小绝对误差匹配准则

各种假设同最小均方误差匹配准则。基于最小绝对误差匹配准则的完全搜索块匹配算法就是要在搜索区域里寻找满足下式的  $(\Delta i, \Delta j)$ ,从而获得位移矢量  $V = (\Delta i, \Delta j)^T$ 。

$$S(\Delta i, \Delta j) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |x_c(i, j) - x_p(i + \Delta i, j + \Delta j)|$$

$$U = \min_{(\Delta i, \Delta j)} \{S(\Delta i, \Delta j)\} \quad (2)$$

$$V = (\Delta i, \Delta j) |_U$$

其中  $-p \leq \Delta i, \Delta j \leq p$ (对应图 1 中的  $p$ )。

从公式(1)和(2)可以看出,对于完全搜索块匹配算法来说,搜索区域中图像序列的当前帧和参考帧对应的像素对对匹配结果的贡献是完全一样的,正是由于这一点,使得完全搜索块匹配算法的性能容易受到待稳定的图像序列中各种噪声的影响。因此,在前人研究的基础上提出了一种改进的完全搜索块匹配算法。

## 2 改进的完全搜索块匹配算法

改进的完全搜索块匹配算法继承了传统的完全搜索块匹配算法的基本思想,但是对匹配准则进行了改进。结合绝对误差的思想和图像序列中两帧相邻图像比较相似的事实,利用以下匹配准则<sup>[4]</sup>:

$$S(\Delta i, \Delta j) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n L(x_c(i, j), x_p(i + \Delta i, j + \Delta j))$$

$$L(x_c(i, j), x_p(i + \Delta i, j + \Delta j)) = \begin{cases} 1, & \text{当 } |x_c(i, j) - x_p(i + \Delta i, j + \Delta j)| \leq D \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

$$U = \max\{S(\Delta i, \Delta j)\}_{(\Delta i, \Delta j)} \quad (3)$$

$$V = (\Delta i, \Delta j) | U$$

其中  $-p \leq \Delta i, \Delta j \leq p$  (对应图 1 中的  $p$ )。

在以上的匹配准则中,首先计算待匹配的当前帧和参考帧对应像素块中对应的像素灰度值之差的绝对值,这个绝对值与预先确定的门限值  $D$  比较,如果不超过门限值  $D$  就认为该像素对对匹配结果有贡献,否则认为该像素对对匹配结果没有贡献。

通过比较发现,对匹配结果有贡献的像素对的作用仍然是完全一样的,因此提出以下改进方法:采用一个加权模板对待匹配的当前帧和参考帧对应的像素块中有贡献的像素对进行加权求和,采用的加权模板构造方法如图 2 所示。

1	1	1	1	1	1
1	2	2	2	2	1
1	2	3	3	2	1
1	2	3	3	2	1
1	2	2	2	2	1
1	1	1	1	1	1

1	1	1	1	1
1	2	2	2	1
1	2	3	2	1
1	2	2	2	1
1	1	1	1	1

(a)

(b)

图 2 根据当前块的几何属性选用的两种模板

Fig. 2 Two selected templates based on the geometry of the current block

如果当前帧中选取  $n \times n$  子块的列数和行数  $n$  同时为偶数,则选用如图 2(a) 所示的加权模板;如果当前帧中选取  $n \times n$  子块的列数和行数  $n$  同时为奇数,则选用如图 2(b) 所示的加权模板。

这样匹配准则公式(3)则要改为:

$$S(\Delta i, \Delta j) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k(i, j) \otimes L(x_c(i, j), x_p(i + \Delta i, j + \Delta j))$$

$$L(x_c(i, j), x_p(i + \Delta i, j + \Delta j)) = \begin{cases} \text{True}, & \text{当 } |x_c(i, j) - x_p(i + \Delta i, j + \Delta j)| \leq D \\ \text{False}, & \text{否则} \end{cases}$$

$$U = \max\{S(\Delta i, \Delta j)\}_{(\Delta i, \Delta j)} \quad (4)$$

$$V = (\Delta i, \Delta j) | U$$

式中  $-p \leq \Delta i, \Delta j \leq p$ ;  $k(i, j)$  表示加权模板中对应

的元素值;  $\otimes$  表示逻辑乘。如果后面的表达式为真,则返回前面的表达式的值;如果后面的表达式为假,则返回结果为 0。

### 3 仿真实验结果

这一部分将给出基于以上 4 种匹配准则,用完全搜索块匹配算法进行仿真实验的结果。仿真实验所用的图像序列取自图 3,采样方法是预先生成两个随机数列,分别表示相邻两幅图像水平相对位移和垂直相对位移,然后对图 3 进行大小为  $256 \times 256$  的采样,



图 3 产生图像序列的原图像

Fig. 3 The original image generating image sequence

此时,图像序列不存在任何噪声。参考帧中搜索区域的大小设定为  $35 \times 35$ ,当前帧中  $n \times n$  子块的大小取为  $15 \times 15$ ,相应的加权模板如图 2(b) 所示。在参考文献[4]中未曾提到门限  $D$  的选取方法,本文是通过多次试验来选取合适的  $D$  值,文中  $D=5$ 。

图 4 给出了用于仿真实验的图像序列中 2 帧图

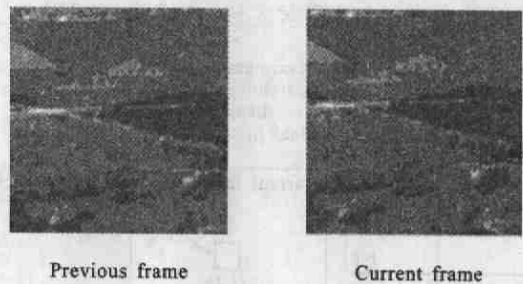


图 4 用于仿真实验的 2 帧图像

Fig. 4 Two frames images for simulation test

像。表 1 列出了没有噪声影响时的仿真实验结果(情况 1)和分别添加不同强度的高斯噪声后的仿真实验结果。其中情况 2 对应添加均值为 0,方差为 0.00015 的高斯噪声后的估计结果,情况 3 对应添加均值为 0,方差为 0.0002 的高斯噪声后的估计结果,情况 4 对应添加均值为 0,方差为 0.001 的高斯噪声后的估计结果;文中仅给出了对应表 1 中情况 4 的相关曲面,见图 5。

表1 初始估计结果和添加不同强度的高斯噪声后的仿真估计结果

Tab.1 Original estimation results and simulation estimation results added gaussian noise with different intensities

	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4
True displacement vector	(-2, -3)			
Estimation result by (1)	(-2, -3)	(-2, -2)	(-2, -4)	(-2, 7)
Estimation result by (2)	(-2, -3)	(-2, -2)	(-2, -4)	(-2, 6)
Estimation result by (3)	(-2, -3)	(-2, -4)	(-2, -3)	(-1, 1)
Estimation result by (4)	(-2, -3)	(-2, -3)	(-2, -3)	(-2, -4)

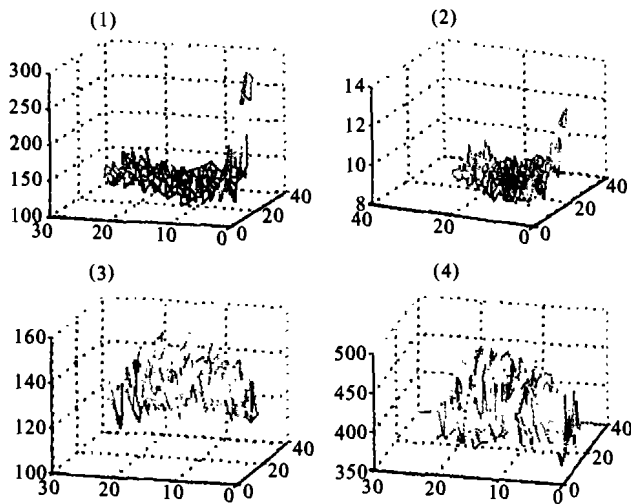


图5 对应表1中情况4的相关曲面

Fig.5 The correlation surfaces corresponding to condition 4 in Tab.1

#### 4 仿真实验结果分析和结论

表1中的情况1说明在没噪声干扰时4种算法都能估计出真实值;从情况2可以看出,在其他3种算法都不能估计出真实值时,新提出的第4种算法可以估计出真实值;从情况3可以看出,在第1种和第2种算法不能估计出真实值时,第3种和新提出的算法可以估计出真实值;从情况4可以看出,4种算法都存在误差时,新提出的算法的估计结果最接近真实值。因此可以得出结论:(1)新提出的算法比其他3种算法有更强的抗噪性能。由于篇幅原因,不能列出各种情况下的相关曲面,但是依然可以得出结论:(2)新提出算法的相关曲面比第3种算法的相关曲面的峰值突出,易于判读。

#### 5 结束语

文中提出了一种改进的完全搜索块匹配算法,初步仿真试验结果示出该算法具有良好的性能。但是还存在不足:(1)该算法所需的运算时间不是最短的;从表达式来看,第4种算法的运算量明显多于第3种算法,但是由于新的匹配准则采用的只有逻辑运算和加减运算,这两种运算在计算机中实现要比乘除运算快得多,因而第4种算法运算时间反而比第3种少,但是比第2种多。(2)该算法和第3种算法都涉及到门限值 $D$ 的选择问题,如何选择一个合适的 $D$ 值和为什么如此选择是待研究的问题;(3)该算法需要构造一个加权模板,如何构造一个恰当的加权模板和为什么如此构造加权模板也是一个待研究的问题。

#### 参考文献:

- [1] Seferidis V, Ghanbari M. General approach to block-matching motion estimation[J]. *Optical Engineering*, 1993, 32(7): 1464-1474.
- [2] Liu B, Zaccarin A. New fast algorithms for the estimation of block motion vectors[J]. *IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology*, 1993, 3(2): 148-157.
- [3] Lu J, Liou M. A simple and efficient search algorithm for block-matching motion estimation[J]. *IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology*, 1997, 7(2): 429-433.
- [4] Gharvi H, Mills M. Block-matching motion estimation algorithms-new results[J]. *IEEE Trans on Circuits and Systems*, 1990, 37(5): 649-651.
- [5] Shi Y Q, Xia X. A thresholding multiresolution block matching algorithm[J]. *IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology*, 1997, 7(2): 437-440.
- [6] Ko S J, Lee S H, Lee K H. Digital image stabilizing algorithms based on bit-plane matching[J]. *IEEE Trans on Consumer Electronics*, 1998, 44(3): 617-622.
- [7] Vos L D, Stegheer M. Parameterizable VLSI architectures for the full-search block-matching algorithm[J]. *IEEE Trans on Circuits and Systems*, 1989, 36(10): 1309-1316.
- [8] He Z H, Liou M L. A high performance fast search algorithm for block matching motion estimation[J]. *IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology*, 1997, 7(5): 826-828.