

文章编号 1004-924X(2007)03-0412-05

快速灰度投影算法及其在电子稳像中的应用

孙 辉

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要:通过分析电子稳像技术中灰度投影算法及其相关函数特点,提出了一种基于单峰特征的快速搜索算法,并同全局搜索算法进行了比较。在搜索区间 $[a, b]$ 内,计算并比较区间两个端点 a, b 的相关函数值,判断搜索方向,缩小搜索范围,确定一个新的搜索区间,新搜索区间的长度是原区间长度的一半。重复上述步骤,当区间长度缩短为1时,即可获取图像运动矢量,在此基础上通过运动补偿技术实现电子稳像。当搜索长度为 $2^n + 1$ 时,全局搜索算法运算量为 $2^n + 1$,该算法仅为 $n + 2$,运算量显著减少。该方法已应用于车载电子稳像器中,实验结果表明,该方法计算速度快、精度高,具有较好的稳像效果。

关键词:电子稳像;灰度投影算法;运动矢量;搜索区间

中图分类号:TP391;TP312 **文献标识码:**A

Fast gray projection algorithm and its application to electronic image stabilization

SUN Hui

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: By analysing the gray projection algorithm and correlation function curves for detecting motion vector in image sequence in electronic image stabilization technique, a fast searching algorithm on the basis of single peak characteristic is proposed, and compared with the full-search method which can cause time delay. By selecting two points, a and b within the search coverage $[a, b]$, calculating and comparing their correlation measure, also judging the search direction, a new search coverage is confirmed, which is one half of the old one in size of coverage. Repeating this steps, the motion vector of image sequence frames can be obtained quickly. Experimental results show that when the size of the original searching coverage is $2^n + 1$, its operation load is $n + 2$ instead of $2^n + 1$ of the full-search method, which reduces the computational load greatly. This method has been applied to ship-borne electronic image stabilizer and confirmed in high calculation speed and high accuracy on the test result.

Key words: electronic image stabilization; gray projection algorithm; motion vector; searching coverage

1 引 言

电子稳像技术(Electronic Image Stabilizing, EIS)是集电子学、计算机、图像识别等技术于一体的新一代序列图像稳定技术,具有稳定精度高、实时性强、价格低廉等优点,在军事、民用领域应用越来越广泛^[1-2]。

电子稳像的目的是解决序列图像帧间不稳定问题,通过检测图像帧间运动矢量,采取图像处理技术补偿图像,输出稳定的图像序列。在电子稳像技术中,运动检测是实现电子稳像的关键环节。自上世纪80年代以来,国内外的研究人员为了准确快捷地检测图像运动量,提出了多种行之有效的运动矢量检测算法^[3-4]。

灰度投影算法是一种统计意义上的特征匹配方法,该算法将二维图像灰度数据匹配简化成两个一维灰度特征匹配问题,可以准确获取图像运动矢量,并且通过改进和优化算法可以进一步提高检测精度和运算速度,实现亚像元运动量检测^[5]并提高搜索速度^[6]。

本文在灰度投影算法基础上,通过分析灰度投影数据相关函数分布特点,提出一种快速搜索算法,实验结果表明,该方法可以有效地减少计算量,提高计算速度。

2 灰度投影算法

2.1 灰度投影算法

灰度投影算法是将一幅 $M \times N$ 图像的二维灰度信息 $\{f(x, y)\}$ 映射成两个独立的一维投影序列。计算公式如下:

$$X_k(x) = \sum_{y=1}^n f_k(x, y) / n, \quad (1)$$

$$Y_k(y) = \sum_{x=1}^m f_k(x, y) / m, \quad (2)$$

$$x=1, 2, \dots, M; y=1, 2, \dots, N; k=1, 2, \dots$$

式中, $X_k(x)$ 、 $Y_k(y)$ 分别表示第 k 帧图像 $\{f_k(x, y)\}$ 第 x 列和第 y 行的灰度投影值, m 和 n 分别表示投影区间长度, m 和 n 满足条件:

$$0 \leq m \leq M, \quad 0 \leq n \leq N$$

2.2 运动量计算—相关运算

根据灰度投影数据计算运动量就是通过相关运算建立当前图像投影数据 $\{X_c(x)\}$ 、 $\{Y_c(y)\}$ 与参考图像投影数据 $\{X_r(x)\}$ 、 $\{Y_r(y)\}$ 的一一对应关系,在当前图像的投影数据中,找出与参考图像最逼近的投影数据。

根据最小匹配准则,对投影数据在每一个可能的候选运动矢量上进行搜索匹配,计算当前图像相对参考图像的运动量。

本文采用最小均方误差(MSE)作为最小匹配准则,构造相关函数如下:

$$C(p) = \frac{1}{m} \sqrt{\sum_{j=1}^m [X_r(j) - X_c(j+p)]^2} \quad (3)$$

$$m - M \leq p \leq M - m,$$

$$C(q) = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n [Y_r(i) - Y_c(i+q)]^2} \quad (4)$$

$$n - N \leq q \leq N - n.$$

根据上述定义,运动矢量 $[dx, dy]^T$ 估计变成在 $m - M \leq p \leq M - m$ 和 $n - N \leq q \leq N - n$ 范围内,求 $C(p)$ 和 $C(q)$ 最小值问题。即

$$dx = \min_{m-M \leq p \leq M-m} C(p), \quad (5)$$

$$dy = \min_{n-N \leq q \leq N-n} C(q). \quad (6)$$

图1中,(a)、(c)、(e)分别表示参考图像及其行、列投影数据曲线,(b)、(d)、(f)分别表示当前图像及其行、列投影数据曲线,图2表示根据公式(2)计算得到的当前图像与参考图像的行、列相关函数 $C(p)$ 和 $C(q)$ 曲线。

寻找最佳匹配矢量需要对每一个矢量作一次相关运算,计算量较大,从图2可以看出,相关函数在实际运动量附近呈下降趋势,其它位置取值较大。如果采用一些快速搜索算法,就可以减少运算量,提高计算速度。



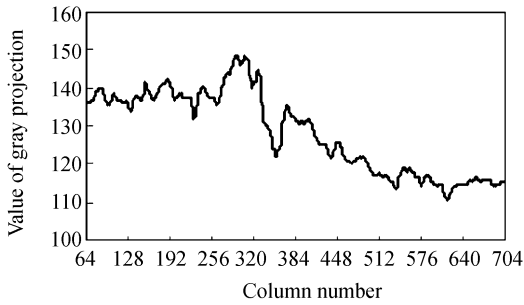
(a) 参考帧图像

(a) Reference frame of image



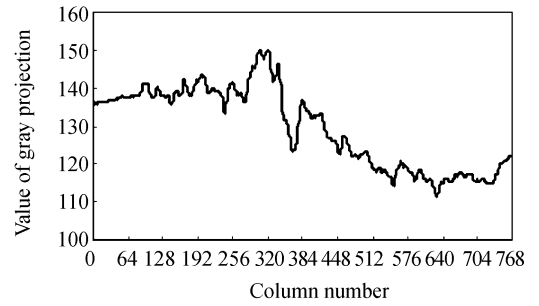
(b) 当前帧图像

(b) Current frame of image



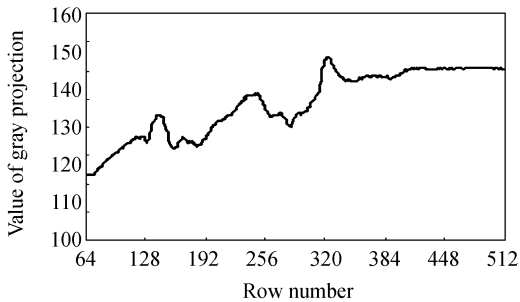
(c) 参考帧图像列方向投影数据曲线

(c) Projection curve of column for reference frame of image



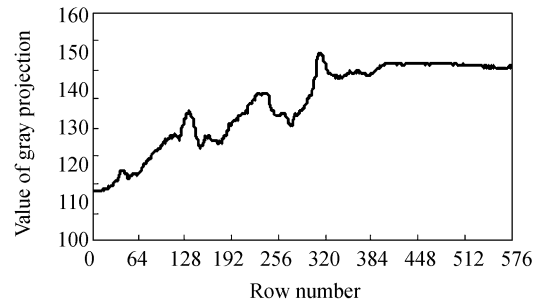
(d) 当前帧图像列方向投影数据曲线

(d) Projection curve of column for current frame of image



(e) 参考帧图像行方向投影数据曲线

(e) Projection curve of row for reference frame of image

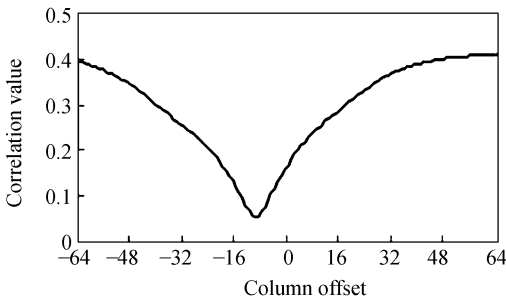


(f) 当前帧图像行方向投影数据曲线

(f) Projection curve of row for current frame of image

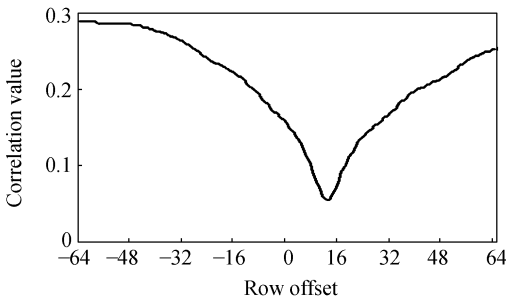
图 1 连续两帧图像及其投影数据曲线

Fig. 1 Two continuous frames of image and their projection curves



(a) 当前帧与参考帧的列相关曲线

(a) Correlation curve of column for two frames of image



(b) 当前帧与参考帧的行相关曲线

(b) Correlation curve of row for two frames of image

图2 连续两帧图像的行、列投影数据相关曲线

Fig. 2 Correlation curves for two frames of image

3 快速搜索算法

通过分析相关曲线分布特性,发现其具有明显的单峰特性:在搜索区间内,相关函数值单调下降,到目标值达到谷底时最小,然后随着搜索数据增加,相关函数值单调递增。

下面以列方向投影为例,介绍一种快速搜索算法。

设全局搜索范围 $[m-M, M-m]$,目标值即水平运动量 dx ,算法描述如下:

(1) 初始化搜索区间 $[m-M, M-m]$,分别计算两个端点的相关函数值:

记 $a = m - M, b = M - m$,计算 $C_a = C(a)$ 和 $C_b = C(b)$;

(2) 计算搜索区间长度,确定是否搜索完毕:如果 $a = b$,转(5);

(3) 计算搜索区间 $[a, b]$ 中心点 c ,计算该点的相关函数值:

$c = (a + b) / 2$,计算 $C_c = C(c)$;

(4) 比较 C_a 和 C_b ,判断下一步搜索方向,确定新的搜索区间:

如果 $C(a) < C(b)$,则目标值 $dx \in [a, c]$,令 $b = c, C_b = C_c$,转到(2);

否则目标值 $dx \in [c, b]$,令 $a = c, C_a = C_c$,转到(2);

(5) 保存运动量,搜索结束并返回:

目标值 $dx = a$;

上述搜索算法中,第(4)步是确定下一步搜索方向的重要环节,也是决定快速搜索算法成败的关键一步。事实上,如果当前搜索区间 $[a, b]$ 两个端点的相关函数值 $C(a)$ 和 $C(b)$ 满足 $C(a) < C(b)$ 关系,则目标值必定在区间 $[a, c]$ 内,否则如果目标值在区间 $[c, b]$ 内,即 $c < dx < b$,则根据单调递增特性,必有 $C(c) < C(dx) < C(b)$,与 $C(dx)$ 是最小值矛盾。

4 实验结果

本文算法通过 Microsoft Visual C++ 6.0 编程实现。为检测该算法的性能,选取了某型号船载电视摄像记录系统采集的图像序列,如图1所示。每个图像序列1000帧,图像分辨率 $768 \times 576 \times 8\text{bit}$ 。选择搜索窗口尺寸 640×448 ,在图像行与列方向搜索区间均为 $[-64, 64]$ 。

在测试过程中,根据算法描述,在行、列方向进行了搜索跟踪记录,结果参见表1和表2。首先初始化 $a = -64, b = 64$,计算 $[a, b]$ 中点 $c = 0$,

表1 行搜索过程

Tab. 1 Steps of searching in row

step	No.	q	$C(q)$	size
1	0	-64	0.290 0	
2	128	64	0.251 8	128
3	64	0	0.154 9	64
4	96	32	0.170 1	32
5	80	16	0.080 5	16
6	72	8	0.091 8	8
7	76	12	0.055 1	4
8	78	14	0.061 1	2
9	77	13	0.055 4	1

搜索结果:运动量 $dy = 12$

及计算 a, b, c 各点相关函数 $C(a), C(b), C(c)$ 等过程, 每进行一次相关运算, 搜索区间长度减半。当搜索到第 9 步时, 搜索区间长度 1, 此时比较 a, b, c 各点相关函数 $C(a), C(b), C(c)$ 选取其中最小者, 即可确定运动量。

表 2 列搜索过程

Tab. 2 Steps of searching in column

step	No.	p	$C(p)$	size
1	0	-64	0.395 3	
2	128	64	0.407 6	128
3	64	0	0.169 1	64
4	32	-32	0.253 3	32
5	48	-16	0.122 1	16
6	56	-8	0.064 5	8
7	52	-12	0.070 1	4
8	54	-10	0.055 3	2
9	55	-9	0.056 2	1

搜索结果: 运动量 $d_y = -10$

对比实验结果可以看出, 本文提出的快速搜索与全局搜索方法在运动矢量检测精度方面完全

一致。在处理时间和计算量方面, 与全局搜索方法和文献[6]提出的三点局域自适应搜索算法(3PS)相比, 当搜索区间长度为 $2^n + 1$ 时, 全局搜索算法运算量为 $2^n + 1$, 3PS 搜索算法运算量约为 $3n$, 而本文搜索算法仅为 $n + 2$, 具有明显优势。

5 结 论

本文提出的快速灰度投影算法通过减少相关运算及匹配次数来提高算法的计算速度。在相关运算过程中, 通过分析灰度投影数据相关函数特点, 基于相关函数的单峰特征, 通过逐渐缩小搜索区间方法就可以减少运算量, 进而提高计算速度。通过确定新的搜索区间, 其长度比原来减少了一半。与全局搜索算法相比, 本文算法无需对全部偏移进行相关运算, 在搜索空间长度为 $2^n + 1$ 时, 所需计算量仅为 $n + 2$, 而非全局搜索算法的 $2^n + 1$, 是文献[6]提出的 3PS 搜索算法运算量 $3n$ 的 $1/3$, 在运动矢量检测精度上与全局搜索算法一致, 而计算量明显减少。

参考文献:

- [1] 沈宏海, 刘晶红, 贾平, 等. 摄像稳定技术[J]. 光学 精密工程, 2001, 9(2): 115-120.
SHEN H H, LIU J H, JIA P. *et al.*. Overview of imaging stabilization[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2001, 9(2): 115-120. (in Chinese)
- [2] 赵红颖, 金宏, 熊经武. 电子稳像技术概述[J]. 光学 精密工程, 2001, 9(4): 353-359.
ZHAO H Y, JIN H, XIONG J W. Overview of the electronic image stabilization technology [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2001, 9(4): 353-359. (in Chinese)
- [3] FILIPPO V L, ALFIO C R, MASSIMO M C, *et al.*. Digital image stabilization by adaptive block motion vectors filtering[J]. *IEEE Trans. Consum. Electron.*, 2002, 48(3): 796-801.
- [4] SUNG J K, SUNG H L, SEUNG W J, *et al.*. Fast digital image stabilizer based on gray-codes bit-plane matching [J]. *IEEE Trans. Consum. Electron.*, 1999, 45(3): 598-603.
- [5] 孙辉, 张永祥, 熊经武, 等. 高分辨率灰度投影算法及其在电子稳像中的应用[J]. 光学技术, 2006, 32(3): 378-380.
SUN H, ZH Y X, XIONG J W, *et al.*. The application of high resolution gray projection algorithm in electronic image stabilization technology[J]. *Opt. Tech.*, 2006, 32(3): 378-380. (in Chinese)
- [6] 李博, 王效通, 杨常青, 等. 电子稳像的灰度投影三点局域自适应搜索算法[J]. 光电工程, 2004, 31(9): 69-72.
LI B, WANG X T, YANG CH Q, *et al.*. Three-point locally adaptive searching in gray scale projection algorithm for electronic image stabilization[J]. *Opto-Electron. Eng.*, 2004, 31(9): 69-72. (in Chinese)

作者简介: 孙 辉(1963—), 男, 吉林柳河人, 主要研究领域为数字图像处理与分析、计算机仿真技术。E-mail: sunh@ciomp.ac.cn