

文章编号 1004-924X(2009)01-0202-05

基于电子稳像跟踪技术的运动滤波算法

王 斌, 赵跃进

(北京理工大学 信息科学技术学院 光电工程系, 北京 100081)

摘要: 为了在摄像机平台不稳的情况下获取稳定的图像序列, 实现基于电子稳像的目标跟踪, 对摄像机主动扫描运动与随机抖动分离方法进行了研究, 提出了用均值偏移和粒子滤波结合的运动滤波算法(MSPF)来实现运动分离。算法通过粒子滤波预测粒子, 然后利用单次均值偏移迭代移动粒子, 使粒子更接近于目标真实位置区域, 削弱了计算结果精度对粒子数的依赖。对于现实中的复杂背景, 利用 MSPF 算法分离摄像机的主动扫描运动和随机抖动, 采用运动补偿图像差分法检测出运动目标, 从而实现图像的稳定跟踪。实验结果表明, MSPF 算法使用 50% 的粒子就能起到传统粒子滤波算法同样的效果, 缩短了计算时间, 有利于实现实时稳像跟踪, 适用于车载、船载、机载等稳定跟踪系统中。

关键词: 电子稳像; 目标跟踪; 均值偏移和粒子滤波; 运动滤波

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

Motion filtering algorithm for tracking technology based on image stabilization

WANG Bin, ZHAO Yue-jin

(*Department of Optical Engineering, School of Information and Science Technology,
Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China*)

Abstract: In order to obtain steady image sequence from unsteady camera and to realize object tracking based on image stabilization, a separating method of active scanning movement from random jitter of camera are presented. Mean Shift with Particle Filter (MSPF) algorithm is proposed to realize motion separation. This algorithm uses particle filter to forecast particles, and then move them to be close to the real position of object through single mean shift iteration, which can undermine the dependence of the calculation accuracy on the number of particles. To a complex background in reality, the MSPF algorithm can be used to separate active scanning movement from random jitter of camera, and then image difference and motion compensation can be used to detect moving object to realize the stability of image tracking. Experimental results show that the MSPF algorithm with 50% particles can achieve the same effect with traditional particle filter, which means proposed algorithm can shortens process time and can realize real-time image stabilization for vehicle-borne, ship-borne, air-borne and other stable tracking systems.

Key words: image stabilization; object tracking; Mean Shift and Particle Filter(MSPF); motion filter

收稿日期: 2008-04-22; 修订日期: 2008-11-18.

基金项目: 国防科技预研基金资助项目

1 引 言

在目标跟踪的实际应用中,摄像系统经常被安装在车辆、舰船和飞机等载体上,摄像平台的不稳定会造成摄像机存在随机抖动,这种随机抖动使人的观察疲劳并影响跟踪精度,甚至使跟踪失效。为了克服摄像系统的这种缺点,需要对摄像系统进行稳像处理。电子稳像是新一代的稳像技术,它通过数字图像处理的方法获得稳定的图像输出^[1]。电子稳像技术与跟踪技术结合来实现车载、舰载、机载等目标跟踪^[2-4]即构成了基于电子稳像的目标跟踪系统。

在基于电子稳像的目标跟踪系统中,摄像机存在两种运动,一种是摄像机本身的运动,一种是摄像机存在的随机抖动。摄像机本身的运动通常为跟踪目标的转动,或是一些为了便于观察而加入的人为扫描运动。这种扫描运动是观察或者是目标跟踪的需要,因此必须保留。如何将主动扫描运动与随机抖动分离,消除随机抖动,保留需要的扫描运动也成为实现基于电子稳像的目标跟踪技术的一项任务^[5]。

从数字图像的角度较好地分离主动扫描运动和随机抖动,滤波是一种有效的方法。针对不同的系统和要求,可选用不同的滤波方法,包括低通滤波、概率预测滤波、卡尔曼预测滤波、拟合滤波、粒子滤波等。针对非线性非高斯噪声模型,粒子滤波是一种较好的滤波方法^[6-7]。它的基本思想是利用一组带有相关权值的随机样本,以及基于这些样本的估算来表示后验概率密度^[8]。粒子滤波选择的粒子数决定计算结果精度,多样的粒子选择使得算法计算量较大。均值偏移是一种非参数的、迭代的搜索密度模式的方法,它使每个待处理的样本点移动到概率密度函数的局部极大值处^[9]。国外有学者利用均值偏移和粒子滤波进行目标模板更新和手跟踪^[10-11]。

本文利用均值偏移和粒子滤波结合的方法(Mean Shift with Particle Filter, MSPF)对全局运动矢量进行平滑滤波,以达到分离运动的目的。滤波获得的抖动矢量即是所要求的稳像补偿矢量。在进行稳像运动补偿后,可对目标进行稳定的跟踪。算法通过粒子滤波预测粒子,然后利用均值偏移移动粒子到后验密度局部最大处,使粒

子更接近于目标真实位置区域,这样少量的粒子就能起到传统粒子滤波算法同样的效果,减少计算时间。利用均值偏移重复迭代,会将大多数粒子收敛到一个位置,丧失粒子多样性,因此,在MSPF算法中只用一次均值偏移迭代缓解这个问题,同时起到降低计算量的效果。

2 MSPF 运动滤波算法

为清楚地表述 MSPF 算法,本文以 Translation 模型为例展开分析。Translation 模型如下:

$$\begin{cases} x_{i+1} = x_i + dx \\ y_{i+1} = y_i + dy \end{cases}, \quad (1)$$

式中 (x_i, y_i) 为第 i 帧的一个像素点所在的位置坐标, (x_{i+1}, y_{i+1}) 是其对应的第 $i+1$ 帧的像素点所在的位置坐标,图像平移参数 dx, dy 分别为 x 方向和 y 方向的全局运动矢量。此处定义 x 为图像的纵向坐标, y 为图像的横向坐标。

(1)设 k 代表图像序列的帧数, $(\Delta dx_k, \Delta dy_k)$ 表示第 k 帧的全局运动矢量变化量,当 $k=0$ 时对系统进行初始化,共采样 N 个粒子,每个粒子初始化权重为 $1/N$,每个粒子都代表了一对 $(\Delta dx_0^i, \Delta dy_0^i)$ 值。粒子的选取按照随机的原则:

$$\begin{cases} \Delta dx_0^i = \Delta dx_0 + b\epsilon \\ \Delta dy_0^i = \Delta dy_0 + b\epsilon \end{cases}, \quad (2)$$

式中常数 $\epsilon \in [-1, 1]$, b 为单帧补偿范围。

(2)对第 k 帧,每一个粒子都有

$$\begin{cases} \Delta dx_k^i = \alpha \Delta dx_{k-1}^i + W_{k-1} \\ \Delta dy_k^i = \beta \Delta dy_{k-1}^i + W'_{k-1} \end{cases}, \quad (3)$$

也即是状态转移矩阵为

$$\Phi_{k,k-1}^i = \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \beta \end{bmatrix}, \quad (4)$$

式中 α 和 β 为常数。经过计算得到的 $(\Delta \tilde{dx}_k, \Delta \tilde{dy}_k)$ 作为观测量,对每一个粒子的相似度定义为:

$$S^i = \sqrt{(\Delta dx_k^i - \Delta \tilde{dx}_k)^2 + (\Delta dy_k^i - \Delta \tilde{dy}_k)^2}. \quad (5)$$

观测概率密度

$$P((\Delta \tilde{dx}_k, \Delta \tilde{dy}_k) | (\Delta dx_k^i, \Delta dy_k^i)) = e^{-\frac{1}{2\sigma^2} S^i}, \quad (6)$$

式中 σ 为常数。各粒子的权值更新为:

$$w_k^i = w_{k-1}^i P((\Delta \tilde{dx}_k, \Delta \tilde{dy}_k) | (\Delta dx_k^i, \Delta dy_k^i)). \quad (7)$$

(3)利用观测量 $(\Delta \tilde{dx}_k, \Delta \tilde{dy}_k)$ 和得到的权值

w_k^i 对每个粒子进行一次均值偏移计算,得均值偏移量 $(\Delta dx_k^i, \Delta dy_k^i)$ 为:

$$\begin{cases} \Delta dx_k^i = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta d\tilde{x}_k^i g\left(\left|\frac{\Delta d\tilde{x}_k - \Delta dx_k^i}{h}\right|^2\right) w_k^i}{\sum_{i=1}^N g\left(\left|\frac{\Delta d\tilde{x}_k - \Delta dx_k^i}{h}\right|^2\right) w_k^i} \\ \Delta dy_k^i = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta d\tilde{y}_k^i g\left(\left|\frac{\Delta d\tilde{y}_k - \Delta dy_k^i}{h}\right|^2\right) w_k^i}{\sum_{i=1}^N g\left(\left|\frac{\Delta d\tilde{y}_k - \Delta dy_k^i}{h}\right|^2\right) w_k^i} \end{cases}, \quad (8)$$

式中 $g(x) = -k'(x)$, 称核 K 是核 G 的影子核。为简单起见,采用 Epanechnikov 核函数^[12],则上式变为:

$$\Delta dx_k^i = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta dx_k^i w_k^i}{\sum_{i=1}^N w_k^i}, \quad \Delta dy_k^i = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta dy_k^i w_k^i}{\sum_{i=1}^N w_k^i}. \quad (9)$$

(4)用 $(\Delta dx_k^i, \Delta dy_k^i)$ 替换 $(\Delta dx_k^i, \Delta dy_k^i)$ 代入式(5),计算出新权重 \hat{w}_k^i 。

(5)令有效粒子数

$$N_{\text{eff}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \hat{w}_k^2}, \quad (10)$$

如果有效粒子数小于一定比例,则进行重采样。

(6)输出修正的状态估计值

$$\begin{cases} \Delta d\hat{x}_k = \sum_{i=1}^N \hat{w}_k^i \Delta dx_k^i \\ \Delta d\hat{y}_k = \sum_{i=1}^N \hat{w}_k^i \Delta dy_k^i \end{cases}. \quad (11)$$

将式中输出的状态估计值视为所要求的 Δdx 和 Δdy ,则在滤波完成之后,将 Δdx 临帧相加即可得到需要的运动补偿矢量 dx ,将 Δdy 临帧相加可得 dy 。

由以上算法流程分析可知,式(4)中的参数 α 和 β 影响着运动滤波的平滑性, W 为均值为零的白噪声。在运动滤波中取 $\alpha = \beta = 1$,就能较好地滤去随机抖动,而保留主动扫描运动。

3 实验结果及分析

在实际的路面上,车载摄像机做出主动扫描运动,但此时摄像机本身并不稳定,造成图像位置不断跳动,引起整个图像序列的抖动,在这种情况下,要保留摄像机的主动扫描运动,就要对抖动运动做滤波处理。采用 MSPF 算法,对 $(\Delta dx_k,$

$\Delta dy_k)$ 进行滤波,实验中采集的原始图像序列如图 1 所示,图像分辨率为 $320 \text{ pixel} \times 240 \text{ pixel}$ 。

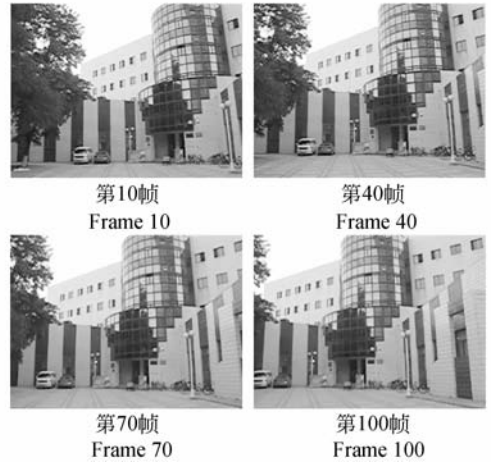
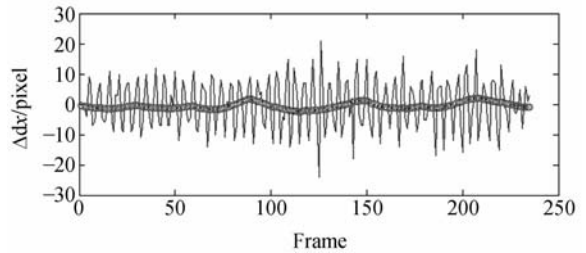


图 1 原始图像序列

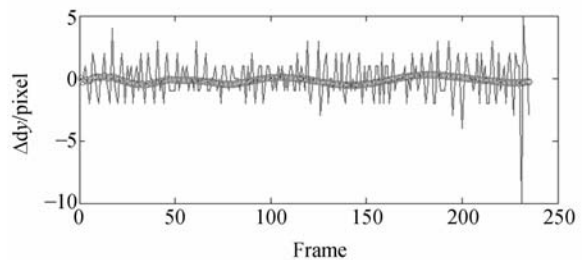
Fig. 1 Original image sequence

实验采用 AMD2800 PC 机和 Matlab 编程分别对 Δdx 和 Δdy 进行均值偏移粒子滤波,算法中采用一次均值偏移迭代,粒子数取 500,粒子传播半径为 6 pixels,状态转移系数 $\alpha = \beta = 1$,滤波的结果如图 2 所示:



(a) Δdx 分布曲线滤波结果

(a) Filtering result of Δdx distribution curve



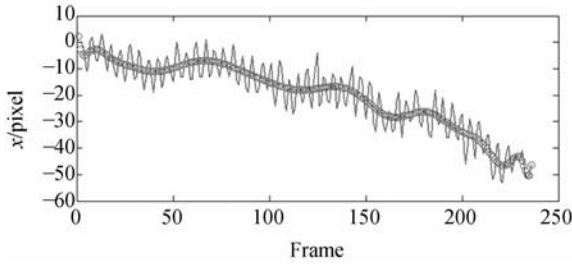
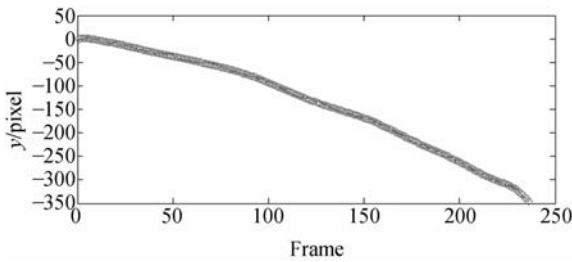
(b) Δdy 分布曲线滤波结果

(b) Filtering result of Δdy distribution curve

图 2 $(\Delta dx_k, \Delta dy_k)$ 的分布曲线滤波结果

Fig. 2 Filtering results of $(\Delta dx_k, \Delta dy_k)$ distribution curves

在滤波完成之后,将 Δdx 临帧相加即可得到需要的运动补偿矢量 dx ,将 Δdy 临帧相加可得 dy ,再将 dx 和 dy 分别累加,并令第一帧图像 dx 和 dy 位置为 0,观察滤波后图像位置的曲线图,并与滤波前的位置曲线对比,如图 3 所示,其中 y 方向位置由于变化较小,几乎与滤波前曲线重合。

(a) 滤波后 x 方向位置分布(a) Position distribution of x direction after filtering(b) 滤波后 y 方向位置分布(b) Position distribution of y direction after filtering图 3 滤波后 x 和 y 方向位置分布Fig. 3 Position distributions of x and y directions after filtering

由上图可见,经过滤波,成功地将主动扫描运动和随机抖动分离,并将随机抖动矢量有效地滤除,保留主动扫描运动,经处理后的图像序列如图 4 所示。表 1 中列出了不同的粒子数情况下粒子滤波与 MSPF 算法运算时间的对比,滤波的效果通过计算 Δdx 和 Δdy 的方差和(见式 12)来表示:

$$s = \frac{1}{N} \left(\sqrt{\sum_{i=1}^N (\Delta dx)^2} + \sqrt{\sum_{i=1}^N (\Delta dy)^2} \right), \quad (12)$$

其中 s 为方差和, N 为总帧数。

通过表 1 的数据可以看出 MSPF 算法使用少量的粒子就能起到传统粒子滤波算法同样的效果,缩短了计算时间,有利于实现实时的运动分离。

表 1 粒子滤波与 MSPF 算法的比较

Tab. 1 Comparison of particle filter and MSPF

粒子数	200	500	1 000
粒子滤波效果 (Δdx 和 Δdy 的方差和)	0.233 6	0.139 5	0.102 1
粒子滤波时间/s	0.12	0.23	0.41
MSPF 效果 (Δdx 和 Δdy 的方差和)	0.144 2	0.109 3	0.100 1
MSPF 时间/s	0.15	0.27	0.53

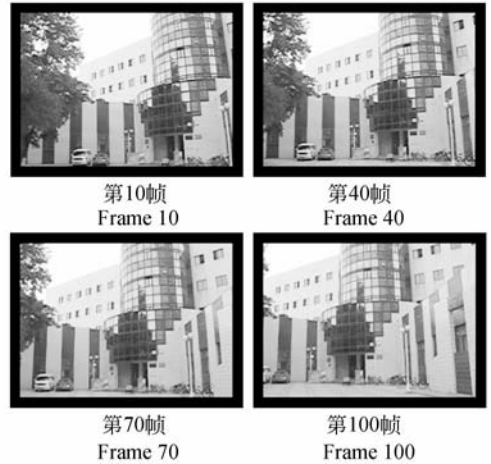


图 4 MSPF 运动滤波的结果

Fig. 4 Results of MSPF motion filtering

将运动滤波后的图像序列按位置分布的对应曲线进行运动补偿,即可得到结果图像序列,如图 4 所示。从实验可以得知,MSPF 滤波对动态背景稳像有着良好的效果,可以有效地解决摄像机的主动扫描运动和随机抖动的分离问题,为下一步的跟踪提供了有利条件,实现动态背景下运动目标的稳定跟踪。

4 结 论

本文针对低通滤波精度低,卡尔曼滤波仅适用于线性高斯分布情况的缺陷,采用均值偏移和粒子滤波结合的方法对数字图像进行处理,实现主动扫描运动和随机抖动的分离,得到随机抖动矢量,对图像序列进行稳像运动补偿,有利于稳定跟踪的实现。结合算法解决了粒子数过多引起计算量大的问题,在保证效果的情况下减少了计算时间。在采用 $320 \text{ pixel} \times 240 \text{ pixel}$ 分辨率的图像时,结合算法使用 500 个粒子能够达到传统粒

子滤波算法 1 000 个粒子的滤波效果,并将滤波时间从 0.41 s 缩减至 0.27 s。实验结果表明, MSPF 滤波算法有效地解决了运动分离问题。在

采用 DSP 实现算法时可以实现实时地稳像跟踪,在车载、舰载、机载等稳像跟踪系统方面有很好的实用价值。

参考文献:

- [1] 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)
- [2] 罗诗途, 王艳玲, 张玘, 等. 车载图像跟踪系统中电子稳像算法的研究 [J]. 光学精密工程, 2005, 13(1): 95-103.
LUO S H T, WANG Y L, ZHANG Q, *et al.*. Electronic image stabilization algorithm for image tracking system on vehicle [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(1): 95-103. (in Chinese)
- [3] 赵红颖, 晏磊, 熊经武. 舰船图像序列电子稳定算法的研究 [J]. 光学精密工程, 2003, 11(6): 602-606.
ZHAO H Y, YAN L, XIONG J W. Image composition based on EIS model [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2003, 11(6): 602-606. (in Chinese)
- [4] 钟平, 于前洋, 金光, 等. 机载摄像设备图像稳定方法探讨 [J]. 光电工程, 2002, 29(增): 73-76.
ZHONG P, YU Q Y, JIN G, *et al.*. Study on image stabilizing methods for airborne image pickup equipment [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2002, 29(Supp.): 73-76. (in Chinese)
- [5] WANG J, JIA Y D. Image stabilization for object tracking [J]. *SPIE*, 2002, 4875: 875-880.
- [6] 孟勃, 朱明. 粒子滤波算法在非线性目标跟踪系统中的应用 [J]. 光学精密工程, 2007, 15(9): 1421-1426.
MENG B, ZHU M. Nonlinear object tracking using particle filter [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(9): 1421-1426. (in Chinese)
- [7] 赵鹏, 沈庭芝, 单宝堂. 一种基于粒子滤波的无人机电视导引系统目标跟踪算法 [J]. 光学精密工程, 2008, 16(1): 134-140.
ZHAO P, SHEN T Z, SHAN B T. An object tracking algorithm for TV guiding system of UAV based on particle filter [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(1): 134-140. (in Chinese)
- [8] CHENG C, ANSARI R. Kernel particle filter for visual tracking [J]. *IEEE Transactions on Signal Processing Letters*, 2005, 12(3): 242-245.
- [9] COMANICIU D, MEER P. Mean shift: a robust approach toward feature space analysis [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(5): 603-619.
- [10] SHAN C F, WEI Y C, TAN T N, *et al.*. Real time hand tracking by combining particle filtering and mean shift [C]. *Proceedings of the 6th International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 2004: 669-674.
- [11] ZHANG B, TIAN W F, JIN ZH H. Joint tracking algorithm using particle filter and mean shift with target model updating [J]. *Chinese Optics Letters*, 2006, 4(10): 569-572.
- [12] COMANICIU D, RAMESH V, MEER P. Kernel-based object tracking [J]. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, 25(5): 564-577.

作者简介:



王 斌(1982—),男,河南西平人,博士研究生,主要从事基于电子稳像的数字图像跟踪算法的研究。E-mail: wangbin@bit.edu.cn.



赵跃进(1958—),男,河北涉县人,博士,教授,博士生导师,主要从事电子稳像、数字图像跟踪、光学设计与测量、精密仪器设计、THz 成像等方面的研究。E-mail: yjzhao@bit.edu.cn.