

一种基于运动估计的视频降噪算法

白瑞广, 金湘亮, 徐 杰

(湘潭大学材料与光电物理学院, 湖南 湘潭 411105)

摘要:为了有效地去除视频序列中的噪声,提高视频图像质量,提出了一种基于运动估计的视频降噪算法。该算法在由视频序列中的当前帧和前后多帧图像构建的图像层中,通过运动估计技术,沿着物体的运动轨迹进行时域帧间滤波。实验结果显示,本文提出的算法充分利用了视频序列的时域信息,可以有效去除视频序列中的噪声,同时可以很好地保持视频图像的细节。

关键词:视频序列;降噪;运动估计;时域滤波

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2014.04.020

Video noise reduction based on motion estimation

BAI Rui-guang, JIN Xiang-liang, XU-Jie

(Faculty of Materials, Optoelectronics and Physics, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

Abstract:For eliminating the noise of video sequence effectively, a video noise reduction algorithm based on motion-estimation is proposed. Time-domain filtering is performed along the object trajectory in the map layer which is composed of the current frame and the compensated reference frames of video sequence. The experiment results show that the proposed method can effectively suppress the noise in the video, and keep textures and details well by fully utilizing temporal correlations in video content.

Key words: video sequence; noise reduction; motion estimation; time-domain filter

1 引言

监控产品的智能化和高清化发展对视频图像的质量要求越来越高,而视频处理系统在视频采集、压缩、存储、传输等环节中都面临着噪声的干扰^[1]。噪声的存在不但降低了视频图像的视觉质量,而且增加了视频图像的信息熵,导致码流增大,不但增加存储空间和传输时间,还会对后续的目标识别、跟踪等智能化分析等操作造成困难。这就需要在保留视频信息的前提下对视频流去除噪声,提高信噪比,改善视觉效果。

目前视频图像的降噪方法大致可以分为变换域滤波,空域滤波和时域滤波^[2]。而在视频应用中,变换域滤波的计算量大,很难满足系统的实时

性需求^[3]。视频信号的空域相关性并不能完全区分视频信号和噪声信号,使得空域滤波在去噪的同时会无法避免地模糊视频图像的边缘和纹理。由于视频信号的连贯性,视频帧间的时域相关性远远大于空域相关性,因此,实际应用中,在去噪方法的选择上,时域滤波更具有优势^[4]。本文提出一种基于运动估计的视频降噪算法,克服了视频图像在时域上的非平稳特性,提高了视频图像的降噪效果。

基金项目:国家自然科学基金重点项目(No. 61233010);国家自然科学基金(No. 61274043)资助。

作者简介:白瑞广(1986-),男,硕士研究生,研究方向为数字图像处理 and 机器视觉。

收稿日期:2013-08-21; **修订日期:**2013-09-22

2 基于运动估计的视频降噪算法

视频信号的噪声主要是高斯噪声,和视频信号的帧间相关性不同,帧间同一位置的高斯噪声存在随机性,在时域上不具有相关性,而视频序列每一帧的图像内容在时域上沿着物体运动轨迹的方向是保持一致的,每帧之间不发生变化。采用对各帧信号求平均的方法可以有效的去除视频信号中的噪声,而简单的时域帧间平均滤波由于运动的存在导致匹配误差,出现噪声残留或鬼影^[5]。本文提出的基于运动估计的视频降噪算法通过运动估计,把当前帧分为一定数量互不重叠的块,在前后参考帧中按一定的匹配原则和搜索策略找到和当前块相似的参考块,即匹配块,这样在时域上获得物体的运动轨迹,沿着物体的运动轨迹过平均来降低噪声,在一定程度上改善了时域平均在运动帧上的无力,同时通过设定合理的计算边界,减少匹配失败或误差,防止出现“鬼影”现象。

2.1 算法步骤

首先,将当前帧划分为 16×16 像素大小的宏块,以此为基本处理单位。然后根据设定的阈值确定当前帧在前后帧间的搜索边界,利用运动估计技术在搜索范围内搜索匹配的参考宏块,即参考块,从而确定当前宏块的运动轨迹。最后,沿着物体的运动轨迹进行帧间滤波即可,算法流程如图 1 所示。

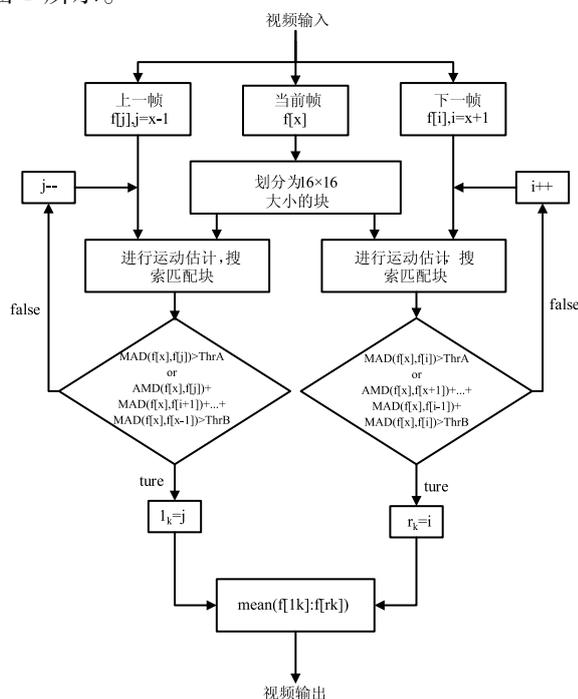


图 1 算法流程图

2.2 运动估计

视频编码中,常采用运动估计技术来确定物体的运动轨迹,因此,本文采用基于块匹配的运动估计来获取运动轨迹^[6]。块匹配法假设图像由运动的块组成,在每一个块内,各像素的运动可以用同一个运动矢量来表示。匹配准则,搜索策略,宏块大小划分,搜索范围和搜索精度是影响运动估计结果的主要因素。考虑到硬件实现的计算复杂度和算法的实用性,本文的匹配准则使用 MAD 匹配准则,搜索策略使用三步法。在当前帧中选择以 (i, j) 为中心,大小为 16×16 的宏块,在搜索范围内的前后帧中搜索对应此宏块 MAD 值最小的最佳匹配块,当前宏块和参考宏块便构成了当前宏块在时域上的运动轨迹^[7]。MAD 定义如公式 (1) 所示:

$$MAD = \frac{1}{16 \times 16} \sum_{i=0}^{15} \sum_{j=0}^{15} |c_{ij} - p_{ij}| \quad (1)$$

式中, c_{ij} 代表当前块内的像素灰度值; p_{ij} 代表参考块内的像素灰度值。

2.3 搜索边界

本文提出的算法通过设定当前帧内宏块的匹配准则阈值,扩大了前后帧的搜索范围,合理地增加参与帧间滤波的帧数,进一步提升去噪效果。

考虑到视频序列在时域上的连续性,首先,当前帧内的当前块在前一帧内搜索参考块,如果二者的 MAD 值未超过设定的阈值,则继续向前一帧内搜索参考块,如果 MAD 值超过阈值 A,或者,当前块和所有参考块的 MAD 值之和超过阈值 B,则停止搜索,此帧作为帧间平均滤波的前向边界。同理,帧间平均滤波的后向边界也如此确定。这样,阈值 A 反映的是输入噪声的突变,而阈值 B 反映的是输入噪声的连续变化,两个阈值的设定保证了帧间滤波边界的可靠性。通过大量的实验测试,阈值 A 和 B 分别设定为 $5 \cdot \sigma$ 和 $10 \cdot \sigma$ 时,去噪的效果达到最优, σ 为高斯噪声的标准差。

2.4 帧间滤波

视频信号和其噪声模型描述为:

$$g(k) = f(k) + n(k) \quad (2)$$

其中, $g(k)$ 为噪声污染后的视频序列; $f(k)$ 为未受噪声干扰的视频序列; $n(k)$ 为均值为 0、方差为 σ^2 的加性高斯白噪声。帧间滤波后的视频序列 $g'(k)$ 则可表示为:

$$\begin{aligned}
 g'(k) &= \frac{g(l_k) + \dots + g(k) + \dots + g(r_k)}{r_k - l_k + 1} \\
 &= \frac{(f(l_k) + n(l_k)) + \dots + (f(k) + n(k)) + \dots + (f(r_k) + n(r_k))}{r_k - l_k + 1} \\
 &= \frac{(f(l_k) + \dots + f(k) + \dots + f(r_k)) + (n(l_k) + \dots + n(k) + \dots + n(r_k))}{r_k - l_k + 1} \\
 &= f(k) + \frac{[n(l_k) + \dots + n(k) + \dots + n(r_k)]}{r_k - l_k + 1} \tag{3}
 \end{aligned}$$

3 实验结果分析

为证明算法的有效性,仿真实验基于 2.93 GHz Intel Core2 Duo CPU,1.96 GB 内存,Window XP SP3 操作系统的 PC 机,通过 Matlab 2013b 对 CIF 格式的标准测试序列进行实验对比。限于客观条件,文中只能给出视频中某一帧的效果图。文献[8]提到的 IFSM 算法利用小波变换对视频进行降噪处理,去噪效果比较好,但是计算太复杂。时域降噪算法中,文献[9]中提到的 ATF 算法利用了视频信号的时域信息,能较好保留图像细节,但它的时间轴滤波器结构较为简单,滤波时只在当前帧的前一帧和后一帧内搜索参考块,本文在此基础上对时间轴滤波器进行了改进。图(1)为对 salesman 标准测试序列第 32 帧添加标准差 $\sigma = 15$ 的高斯白噪声的实验结果图。实际上,在播放连续的视频序列时,本文算法的视觉效果会更加的突出,不存在拖影、闪烁等现象。



图2 salesman 序列第 32 帧

本文采用峰值信噪比 (PSNR) 作为算法效果的客观评价,如公式(4)所示:

$$\begin{aligned}
 \text{PSNR} &= 10 \times \\
 &\lg \frac{f_{\max}^2}{\frac{1}{k \times m \times n} \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (f_1(i,j,k) - f_2(i,j,k))^2} \tag{4}
 \end{aligned}$$

其中, f_{\max} 为视频信号的峰值;通常取 $f_{\max} = 255$, $f_1(i,j,k)$ 为原视频序列; $f_2(i,j,k)$ 为处理后视频序列; k 为视频序列帧数; $m \times n$ 为视频图像的大小。表 1 给出了算法对不同测试序列去噪后的平均 PSNR 值。由于本文算法多次利用了视频前后序列的相关信息,采用了优化的处理模型,去噪效果明显好于参考算法。

表 1 测试序列去噪后的平均 PSNR

视频序列	σ	PSNR			
		噪声帧	IFSM	ATF	本文算法
Salesman	10	28.16	34.22	33.80	35.46
	15	24.72	31.85	31.73	33.87
	20	22.32	30.22	30.28	32.15
Suise	10	28.15	36.52	37.25	37.52
	15	24.62	34.41	36.14	36.48
	20	22.29	32.86	35.14	35.39
Tennis	10	28.22	32.41	31.82	32.59
	15	24.72	30.10	29.87	30.55
	20	22.25	28.56	28.65	28.78

4 结论

本文介绍了一种基于运动估计的视频降噪算法,充分利用视频序列在时域上的相关性,通过运动估计技术搜索当前帧的宏块在合理范围内的前后帧中的参考块,沿着物体运动的轨迹完成帧间滤波,通过设定合理的计算边界,在减少运算量的同时避免了匹配失败造成的鬼影现象。实验结果表明,本文的算法有效地去除了视频序列中的高斯噪声并明显提升主观效果。

参考文献:

[1] LI Hongsong. Digital video processing[M]. Beijing: Beijing University Of Posts And Telecommunications Press, 2006. (in Chinese)
黎洪松. 数字视频处理[M]. 北京:北京邮电大学出版社

- 社,2006.
- [2] J C Brailean, R P Kleihorst, S Efstratiadis, et al. Noise reduction filters for dynamic image sequences: a review[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1995, 83(9): 1272 – 1292.
- [3] JI Hu, LIU Qinlei, ZHENG Yonghang. De-noising of infrared images based on stationary wavelet transform and bayes estimation[J]. *Laser & Infrared*, 2009, 39(6): 677 – 680. (in Chinese)
季虎, 刘钦磊, 郑永煌. 基于离散平稳小波变换和 Bayes 估计的红外图像去噪方法[J]. *激光与红外*, 2009, 39(6): 677 – 680.
- [4] YANG Huixian, WANG Xusi, XIE Penghe, et al. Infrared image denoising based on improved threshold and inter-scale correlations of wavelet transform[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2011, 37(10): 1167 – 1174. (in Chinese)
杨恢先, 王绪四, 谢鹏鹤, 等. 改进阈值与尺度间相关的小波红外图像去噪[J]. *自动化学报*, 2011, 37(10): 1167 – 1174.
- [5] LI Zheng, LIU Wenjiang, RONG Mengtian, et al. Implementation and evaluation of BM3D video denoising algorithms[J]. *Information Technology*, 2012, (4): 30 – 32. (in Chinese)
李政, 刘文江, 戎蒙恬, 等. BM3D 视频去噪算法实现与评估[J]. *信息技术*, 2012, (4): 30 – 32.
- [6] J M Boyce. Noise reduction of image sequences using adaptive motion compensated frame averaging[C]. *Proc. IEEE Int. Conf. Signal Process*, 1992, 3: 461 – 464.
- [7] DUBOIS, E Sabri. Noise reduction in image sequences using motion-compensated temporal filtering [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1984, 32: 826 – 831.
- [8] S M Rahman, M O Ahmad, M N Swamy. Video denoising based on inter-frame statistical modeling of wavelet coefficients[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Tech*, 2007, 17: 187 – 198.
- [9] LI Yan, QIAO Yanfeng, GAO Fengduan, et, al. Adaptive temporal filter based on motion compensation for video noise reduction[J]. *Chinese Journal Of Electron Devices*, 2007, 30(5): 1666 – 1669. (in Chinese)
李岩, 乔彦峰, 高丰端, 等. 一种基于运动补偿的时域自适应视频降噪算法[J]. *电子器件*, 2007, 30(5): 1666 – 1669.