

文章编号:1001-9081(2006)08-1882-02

一种鲁棒性的基于运动估计的自适应时空域视频去噪算法

陈勇兵,郭晓云,沈未名

(武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉 430079)

(simon_st.john@163.com)

摘要:提出了一种鲁棒的基于运动估计的自适应时空域视频去噪算法。在运动估计前的自适应维纳滤波,提高了运动估计的准确性与匹配率;在运动估计后基于小块的再次判断以及 Duncan 滤波器的采用,提高了运动估计的鲁棒性。实验数据表明,此算法取得了很好的预期效果。

关键词:自适应时空滤波;视频去噪;Duncan 滤波;维纳滤波

中图分类号: TP391.41; TP37 **文献标识码:** A

Robust adaptive spatio-temporal video denoising algorithm based on motion estimation

CHEN Yong-bing, GUO Xiao-yun, SHEN Wei-ming

(State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,
Wuhan University, Wuhan Hubei 430079, China)

Abstract: A robust adaptive spatio-temporal video denoising algorithm based on motion estimation was presented. To adopt the adaptive Wiener filter before the motion estimation promoted the performance of the block matching. The extra judgment based on small block and the adoption of Duncan filter promoted the robustness of the motion estimation. Experimental results demonstrate the effectiveness of this algorithm.

Key words: adaptive spatio-temporal filter; video denoising; Duncan filter; Wiener filter

0 引言

视频序列去噪的方法有很多种,基本上可以按空间域、频域、小波域、时域和色彩域来进行划分。当然,这样的划分不是非常严格,这些域的概念以及所采用的去噪方法会发生一定程度上交叉或结合。

由于简单的空域滤波不考虑时域信息,而帧之间同一位置的噪声存在随机性,因此容易导致滤波后相邻帧之间明显的闪烁现象。简单的时域滤波会由于运动的存在导致匹配失败或误差,出现噪声残留或“鬼影”现象。相对于其他域的算法,时空域滤波的计算量略高于空域与时域滤波,其效果明显优于二者,因而可应用于高清晰度的实时视频去噪。

在时空域滤波算法中,常采用运动检测与运动估计^[1]。它们都能够将动态区域与静态区域加以区分,可以进一步针对不同区域采用不同的滤波方法处理,从而提高滤波效果。相比之下,运动估计比运动检测能够为滤波提供更多的参考数据,因此基于运动估计的滤波算法能够得到更好的滤波效果。本文针对高清晰度实时视频去噪需求,提出了一种鲁棒的基于运动估计的自适应时空域视频去噪算法。

1 视频去噪算法框架

采用运动估计算法进行时空滤波的难点在于如何处理块匹配与点匹配之间的不对等性,即如何处理噪声对运动匹配的干扰以及由运动匹配失误或不完全所导致的局部失真或阴影现象。对于前者而言,由于大量的噪声会影响运动匹配的准确性与匹配率,因此在运动匹配前须进行预处理,以减小噪

声对运动匹配的干扰。基于噪声大多分布在高频区域的假设,最常用的处理方案是低通滤波。对于后者而言,即使采用性能优良的预处理,运动匹配依然无法确保所有的块匹配可以确保点匹配,因而运动匹配后的点处理须对参与计算的数据进行筛选。模糊滤波、排序滤波、基于统计特性滤波和基于神经元滤波等,都具有数据筛选功能。

基于自适应图像增益,数字采集设备在高或低的亮度情况下都能够提供亮度适中的图像。当采集场景较暗时,图像增益会变大,使得图像被放大到适合人眼接受的程度。与此同时,噪声程度也会随着图像增益而变大。由于帧之间的噪声程度不一,因而要求运动估计前的预处理滤波器能够基于噪声估计自适应地调节滤波强度,以及运动估计后的点处理滤波器能够基于噪声估计自适应地调整筛选方式。

在基于噪声估计空域滤波中,维纳(Wiener)滤波与Duncan滤波都可以根据噪声估计调整滤波强度,且都能够根据图像内容自适应的调节滤波强度。两者相比,Duncan滤波具有更强大的数据筛选功能,能够根据噪声程度区分物体与背景区域,更好地保护图像细节,因而更适用于运动估计后的点处理;而维纳滤波的滤波强度随噪声程度的变化更敏感,因而能够适用于各种程度的噪声,此外其低通效果更明显,因此更适用于运动匹配前的预处理。

由于运动估计是基于块匹配的,因此块局部匹配失误的可能性依然存在。基于这种考虑,对于匹配后的大块进行再次细分,确定其局部匹配是否合格。在本文提出的算法中,采用 4×4 的小块判断,从而减小了匹配失误的可能性。

综上所述,本文提出了基于自适应时空滤波的视频去噪

收稿日期:2006-02-16;修订日期:2006-04-13

作者简介:陈勇兵(1974-),男,湖北荆门人,硕士研究生,主要研究方向:数字视频处理;郭晓云(1976-),男,湖北孝感人,博士研究生,主要研究方向:视频编码与视频通信;沈未名(1966-),男,湖北武汉人,教授,博士生导师,主要研究方向:多媒体通信、视频压缩、软件工程。

算法,其框图如图 1 所示。该算法在运动估计前预先对原始图像进行自适应的维纳滤波,从而避免了噪声对运动匹配的干扰。在运动估计之后,进行基于小块的再次判断与自适应 Duncan 滤波的点处理,提高了运动估计的鲁棒性。

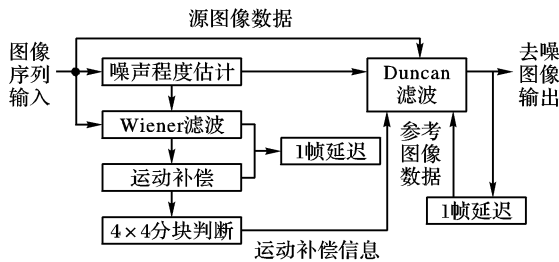


图 1 基于自适应时空域视频滤波的视频去噪算法结构

2 维纳滤波在本文算法中的应用

维纳滤波算法是利用平稳随机过程的相关特性和频谱特性对混有噪声的信号进行滤波的一种方法。维纳滤波建立在一些假设上,如图像是基于平稳随机过程的模型。而这些假设往往与人眼视觉系统的特性以及实际图像的特性不符合,因此维纳滤波不能作为高性能滤波器中的点处理滤波器。而它的自适应性以及低通特性适用于运动估计前的预处理,因此本文选择维纳滤波器作为预处理器。

在此, $x(n1, n2)$ 表示源图像数据, $y(n1, n2)$ 表示观测值, δ_ω 表示噪声 ω 的方差, δ_x 表示源信号 x 的方差, μ_x 表示源数据在邻近区域内的均值, μ_y 表示观测值在邻近区域内的均值, 维纳滤波的二维表达式如下:

$$\hat{x}(n1, n2) = \frac{\delta_x^2}{\delta_x^2 + \delta_\omega^2} [y(n1, n2) - \mu_y] + \mu_x$$

由于在视频处理中, μ_x 与 δ_x 不可知, 因此对上述表达式进行改进。此时, 假定噪声为均值为 0 的加性随机噪声, 因此 $\mu_x = \mu_y$; δ_x 不可知, 因此由 δ_y^2 作为 $\delta_x^2 + \delta_\omega^2$ 的估值。

维纳滤波的二维表达式改写如下:

$$\hat{x}(n1, n2) = \frac{\delta_x^2}{\delta_y^2} [y(n1, n2) - \mu_y] + \mu_y$$

由 $\delta_x^2 > 0$ 可知:

$$\delta_x^2 = \begin{cases} \delta_y^2 - \delta_\omega^2 & \text{if } \delta_y^2 > \delta_\omega^2 \\ 0 & \text{if } \delta_y^2 \leq \delta_\omega^2 \end{cases}$$

由以上表达式可以得出, 滤波器的噪声平滑能力与 δ_x^2 和 δ_y^2 的比值有直接关系。这个比值间接地反映着输入信号功率谱中每个点的噪声功率与信号功率的对比关系, 在噪声能量较小而信号能量大时, 接近最大值 1; 而在噪声能量大而信号能量小时, 该比值为最小值 0。因此, 该滤波器对噪声的处理具有自适应能力。

3 Duncan 滤波在本文算法中的应用

在本文算法中, 采用滤波性能优良的 Duncan 滤波器^[3]作为点处理滤波器。Duncan 滤波是基于当前窗口的原始图像数据以及前一帧滤波后的参考窗口的数据, 根据特定的窗口掩码来选择其中的有效数据, 然后按照某种权值分配进行加权平均, 从而得到滤波后的结果。

窗口掩码的设定基于两点: 1) 窗口内可能会有少数点超出了合理的范围; 2) 窗口内可能有些点与当前待处理点不处于同一物体。因此, 通过窗口掩码选择合理的数据参与运算是十分必要的。

本文算法针对零均值加性高斯白噪声(AWGN):

$$G(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

根据其统计分布特性, 以下规则是有效的:

- 1) 68% 的采样点处于 $[\mu - \sigma, \mu + \sigma]$ 范围内;
- 2) 95% 的采样点处于 $[\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma]$ 范围内;
- 3) 99.7% 的采样点处于 $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$ 范围内。

基于以上描述的特性, Duncan 滤波通过以下方式选择数据: $CurrPix$, 表示当前待处理的像素点。选择数据在以 $(CurrPix, CurrPix + \sigma, CurrPix - \sigma)$ 三个值为中心, 以 S 为宽度的三个区域内进行, 如图 2 所示。宽度 S 与 σ 成正比, σ 越大, S 越大。 S 的取值以获取最多的合理存在的像素点为原则。由高斯分布特性可知, 即使当前待处理的像素点是噪声点, 依然可以保证选取的大多数点处于高斯分布中心附近。此外, 即使当前待处理点处于某个边界, 或者运动匹配出现了一定的失误, Duncan 滤波器仍然可以合理地选择出与当前待处理点相关的所有点。

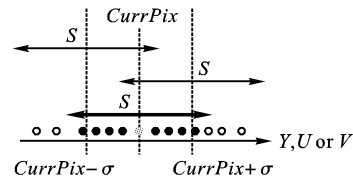


图 2 Duncan 滤波准则

权值的分配在 Duncan 滤波中也起到了关键的作用。参考帧内数据的权值 α 须根据运动匹配后的最小 SAD 大小进行调整。如果其 SAD 大于预定的阈值, 则减小参考帧内数据的权值或将其置为 0。权值 α 不仅依赖于 SAD 的大小, 还依赖于像素点所处的范围。最终滤波结果为:

$$FVal = \frac{\sum_i \alpha_i X_i}{\sum_i \alpha_i}$$

这里 X_i 表示经过窗口掩码选择后保留的像素点; α_i 表示与 X_i 相对应的权值。

4 噪声程度估计方案

噪声程度估计是自适应滤波的一个重要环节。维纳滤波与 Duncan 滤波都是通过对噪声程度 σ 预先估计从而实现自适应地控制滤波强度。噪声程度 σ 估计得过高或过低, 都会导致滤波后图像质量的严重下降。噪声程度估计可以基于当前帧的信息或由上一帧编码后产生的信息估计得到。两者相比之下, 基于当前帧的信息的噪声程度估计更具有可靠性。在文献[2]中提到一种基于平坦区域的噪声程度估计方法, 其前提是寻找到平坦区域。平坦区域的寻找由基于某种精确程度的噪声估计上的纹理等级分析器来完成, 或者建立在递归性寻找区域最小均方差的基础上。但两者均无法保证其时刻的准确性。

本文算法中采用的是基于“暗线”区域的噪声程度估计^[4]。“暗线”区域与图像区域同处于采集区域, 如图 3 所示。与图像区域相比, “暗线”区域具有相同的曝光时间和曝光增益, 但是由于被遮掩, 其所接收的光线亮度非常低且非常均匀。因此“暗线”区域具有与图像区域相同的噪声干扰特性。根据平坦的“暗线”区域, 噪声程度的估计可以由以下表达式得到:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{(x,y) \in R} (f(x,y) - average)^2}$$

(下转第 1887 页)

了。 $ST_{\text{下}}$ 在 10%、20% 时,性能都还比较好,达到 30% 时,性能有比较明显的下降,所以 $ST_{\text{下}}$ 小于 20% 比较合适。

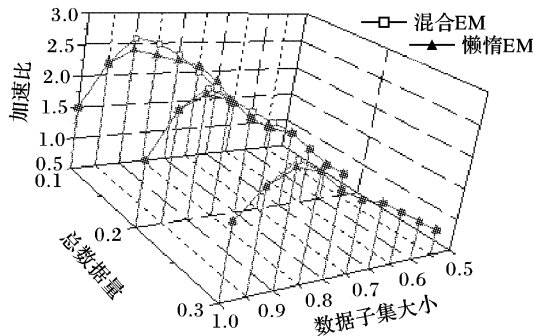


图 4 不同重要阈值对混合 EM 算法和懒惰算法的影响

5 结语

从试验结果可以看出,本文提出的混合 EM 算法能很好地适应大数据集的情况,相对于标准 EM 算法而言,混合 EM 算法的额外开销包括完整 E 步中对重要数据集的选择,以及在懒惰 E 步中需要对不同数据子集存储各自的 Q_i 值,所以在数据集较小的情况下,混合 EM 算法的性能优势并不明显,甚至在参数设置不合理的时候,性能还不如标准 EM 算法,所以在应用该算法的时候,要注意参数的合理选择。在混合 EM 算法的懒惰 E 步中如果并行执行其中的增量 EM 操作,会使

算法的性能得到进一步的改善。

参考文献:

- [1] DEMPSTER AP, LAIRD NM, RUBIN DB. Maximum - likelihood From Incomplete Data Via the EM Algorithm[J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1977, 39(1): 1 - 38.
- [2] THIESSON B, MEEK C, HECKERMAN D. Accelerating EM for Large Databases[J]. Machine Learning, 2001, 45(3): 279 - 299.
- [3] VERBEEK JJ, VLASSIS N, NUNNINK RJ. A Variational EM Algorithm for Large-Scale Mixture Modeling[J]. Neural Computation, 2003, 15(2): 469 - 485.
- [4] KANUNGO T, MOUNT DM, NETANYAHU N, et al. A Efficient K-means Clustering Algorithm: Analysis and Implementation [J]. IEEE Transactions PAMI, 2002, 24: 881 - 891.
- [5] ANDREW W, MOORE. Very Fast EM - based Mixture Model Clustering Using Multi - resolution Kd-trees[A]. Advances in Neural Information Processing Systems[C]. San Francisco, Morgan Kaufman, 1999. 543 - 549.
- [6] NEAL R, HINTON G. A View of the EM Algorithm that Justifies Incremental, Sparse and Other Variants[A]. Learning in Graphical Models[C]. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1999. 355 - 368.
- [7] LARRANAGA P, POZA M, YURRAMENDI Y, et al. Structure Learning of Bayesian Networks by Genetic Algorithms: A Performance Analysis of Control Parameters[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(9): 912 - 926.

(上接第 1883 页)

这里, N 表示在区间 R 内采集到的点的个数, $average$ 表示此区间的平均值。

由于噪声的强度可能会随着光线的变化产生突变,从而导致 σ 的突变,进一步使得画面质量由于滤波强度的突变而出现抖动。为了避免这一现象的发生,最终采用的噪声程度估计值 σ 是当前噪声估计所得的 σ 与前一次噪声估计所得的 σ 的平均值,从而保证了画面质量变化的平滑性。

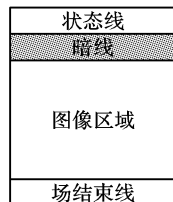


图 3 暗线用于随机噪声估计

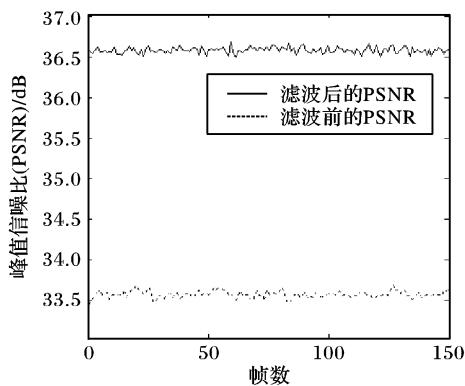


图 4 滤波前后峰值信噪比 PSNR 的对比

5 实验结果与分析

本文提出的算法能够基于摄像头的额外数据(“暗线”)得到本帧图像准确的噪声程度估计值,从而自适应地调整滤波强度。本文所采用的原始图像为 YUV420 标准测试序列“paris”,算法中考虑的是类似于均值为 0 的高斯加性白噪声

的随机噪声,噪声的均方差 σ 表示图像被污染的程度。对 150 帧图像序列附加较严重的高斯噪声干扰,依照本文提出的算法进行去噪。峰值信噪比 PSNR 是评价图像序列去噪的重要尺度之一,图 4 显示了去噪图像序列与被噪声污染图像序列的亮度 Y 分量的 PSNR 对比。结果显示,去噪后图像序列的 PSNR 提高约 3dB。

6 结语

本文提出的鲁棒的基于运动估计的自适应时空域视频去噪算法,是一种自适应性能优良、主观客观效果显著的视频去噪算法。基于当前帧的附加图像“暗线”信息计算所得的均方差,确保了自适应算法的准确性;作为预处理的自适应维纳滤波,保证了运动估计的正确匹配;运动估计为去噪提供了更多的图像信息;基于数据筛选,自适应 Duncan 避免了由运动匹配中可能存在的失误所导致的重影效果或局部失真,并使得滤波后图像细节得以保留。实验结果表明,本文提出的算法能够提供高质量画质。

参考文献:

- [1] KOKARAM AC. Motion Picture Restoration [M]. Springer Verlag, 1998.
- [2] OLSEM SI. Noise Variance Estimation in Images[A]. Proceedings of the Scandinavian Conference on Image Analysis[C]. Tromsø, Norway 1993.
- [3] BORNEO AM, SALINARI L, SIRTORI D. An Innovative Adaptive Noise Reduction Filter for Moving Picture Based on Modified Duncan Range Test[J]. ST Journal of System Research, 2001, 1(6).
- [4] BOSCO A, FINDLATER K. A Noise Reduction Filter for Full-Frame Data Imaging Devices[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2003, 49(3).