

基于开关 3-D 中值滤波的视频序列去噪算法

曹 荣, 倪 林

(中国科学技术大学电子工程与信息科学系, 合肥 230027)

摘 要: 为提高含噪视频序列的质量和效果, 提出一种基于开关噪声检测与三维中值滤波相结合的开关 3-D 中值滤波算法。该算法通过判断视频序列的每一个像素点, 对噪声点用 3-D 中值滤波处理, 再对其进行二次判断, 如果判为噪声点, 则采用变型 3-D 中值滤波处理, 直到去除所有噪声点为止。仿真实验表明, 该算法对“雪花”噪声有较好的滤波效果, 当处理加入 25% 的“雪花”噪声时, 3-D 开关中值滤波比三维中值滤波的信噪比平均提高了 10 dB 左右。

关键词: 视频序列; 3-D 中值滤波; “雪花”噪声

Noise Removed Algorithm for Video Sequences Based on Switching 3-D Median Filter

CAO Rong, NI Lin

(Department of Electronic Engineering and Information Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230027)

【Abstract】 To improve the quality and effect of video sequences with noise, this paper proposes a switching 3-D median filter algorithm combining noise detection and 3-D median filter. 3-D median filter is applied to noise points by judging each pixel in noisy video sequences. The noise points are judged for the second time applying distorted 3-D median filter until all the noise points are eliminated. The experimental results prove that the algorithm can achieve good filter effect on “snow flower” noise. When 25 percent “snow flower” noise is added, switching 3-D median filter algorithm performs 10 dB better than 3-D median filter on average.

【Key words】 video sequences; 3-D median filter; “snow flower” noise

1 概述

由于视频记录系统的不理想, 使得视频图像序列均会不同程度地被可见和不可见的噪声“污染”, 因此, 对视频图像序列进行去噪预处理显得非常重要。

视频图像序列的噪声滤波可分为空间(帧内)滤波和时-空(帧间)滤波^[1]。空间滤波器可独立地对每帧视频进行滤波, 如: 一种实时中值滤波的快速算法^[2], 快速可靠的空间导向结构去除视频序列噪声^[3]。时-空滤波器是“具有 2 个空间坐标和 1 个时间坐标”的三维滤波, 如: 三维中值滤波处理视频图像序列^[4], 基于时-空的导向结构去除视频噪声^[5]。时-空滤波器融合了空间坐标和时间坐标, 充分利用了视频序列的特点。以上这些算法对视频序列的去噪有一定作用, 但是对视频序列中常见的“雪花”噪声和划痕噪声, 去噪效果并不理想。

本文主要针对“雪花”噪声和划痕噪声进行去噪研究, 在三维中值滤波算法的基础上, 提出了一种基于开关 3-D 中值滤波的视频去噪算法, 见图 1。

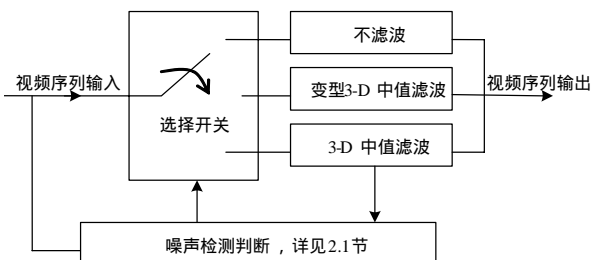


图 1 3-D 开关中值滤波算法

2 算法描述

通常, 噪声信号是相对独立和分布均匀的, 本文的带噪视频信号可以表示为 $I(x,y,t)$ 。

$$I(x,y,t) = S(x,y,t) + \eta(x,y,t) \quad (1)$$

其中, $S(x,y,t)$ 是原始视频信号; $\eta(x,y,t)$ 是在时刻 t 时的噪声信号; $I(x,y,t)$ 是加噪后的视频信号; x, y 是视频信号的空间位置; t 是时间序列。当 $\eta(x,y,t)$ 是“雪花”噪声和划痕噪声时 $\eta(x,y,t)$ 可以描述为

$$M_{ijn} = \{ \eta(x,y,t) | (x,y,t) \in \Phi_{ijn}^1, \Phi_{ijn}^2 \}$$

$$\Phi_{ijn}^1 = \left\{ (x,y,t) \left| \begin{array}{cc} i - \frac{W-1}{2} & x \quad i + \frac{W-1}{2} \\ j - \frac{W-1}{2} & y \quad j + \frac{W-1}{2} \end{array} \right. \right\}$$

$$\Phi_{ijn}^2 = \left\{ (x,y,t) \left| \begin{array}{cc} i - \frac{X-1}{2} & x \quad i + \frac{X-1}{2} \\ j - \frac{Y-1}{2} & y \quad j + \frac{Y-1}{2} \end{array} \right. \right\} \quad (2)$$

其中, M_{ijn} 为具体噪声的描述; Φ_{ijn}^1 为“雪花”噪声的范围; Φ_{ijn}^2 为划痕噪声的范围。

三维中值滤波对单个像素点的噪声有很好的去除作用, 当噪声点由单个像素点变为由几个或几十个像素点组成的“雪花”噪声时, 三维中值滤波已不能达到好的处理效果,

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60672055)

作者简介: 曹 荣(1976-), 男, 硕士研究生, 主研方向: 视觉信息前期处理; 倪 林, 副教授

收稿日期: 2007-05-22 **E-mail:** caorong@mail.ustc.edu.cn

主要的原因是没有很好地利用视频序列前后帧的信息。本文提出了视频序列的开关噪声检测和噪声像素的 2 次判断和处理,提出了 6 种变型 3-D 中值滤波的模型,充分利用了视频帧间信息的相关性,取得了令人满意的滤波效果。

2.1 噪声检测器

通过判断当前像素点值和参考值的差值来标记信号点和噪声点,具体算法如下:

(1)阈值的确定。选取一个长度为 N 的一维数据块,对 N 个数排序,取最大的数据为 X_{\max} ,最小的数据为 X_{\min} ,阈值 T 的取值如下:

$$T = \begin{cases} T_{\max} = X_{\max} - t \\ T_{\min} = X_{\min} + t \end{cases} \quad (3)$$

阈值 T 的确定,关系到确定噪声的准确度以及去噪的效果。阈值 T 选取得好,则标记图像噪声点就准确,误判率低,去噪效果就好,否则相反。 t 值的选取根据噪声的大小来确定。

(2)判断噪声点和信号点。取当前像素点 x_{ijn} ,通过比较当前像素点 x_{ijn} 和 T_{\max} , T_{\min} , 判断 x_i 是信号点还是噪声点,判别标准如下:

$$\alpha = \begin{cases} 1 & T_{\min} < x_{ijn} < T_{\max} \\ 0 & (T_{\min} < x_{ijn}) \text{ or } (x_{ijn} < T_{\max}) \end{cases} \quad (4)$$

如果 $\alpha=1$,表示 x_{ijn} 是一个信号点;否则, x_{ijn} 是一个噪声点。

2.2 噪声去除器

对噪声点进行 3-D 中值滤波器和二次判断,算法如下:

(1)噪声滤波。参照图 2 模型的 3-D 中值滤波器,对噪声点进行处理。

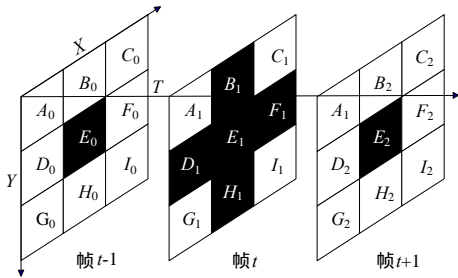


图 2 3-D 中值滤波模型(3×3×3 立方体, 3 个连续帧)

$$m_{ijn} = \text{med} \{E_0, B_1, D_1, E_1, F_1, H_1, E_2\} \quad (5)$$

其中, m_{ijn} 是去噪的结果信号; i, j 是视频信号的空间位置; n 是时间序列。

(2)二次判断 m_{ijn} 的属性并进行第 2 次滤波。根据式(4)判断 m_{ijn} 是否为信号点,如果不是信号点,则继续对当前的像素点进行处理。参照图 3 模型,对当前像素点进行处理,当它们的计算复杂度相同时,优先考虑时间正方向模型(3-Da),其次为 X 轴正方向模型(3-Db)和 Y 轴正方向模型(3-Dc),再次为 X 轴负方向模型(3-De)和 Y 轴负方向模型(3-Df),最后考虑为时间负方向模型(3-Dd)。

$$\begin{aligned} m_{ijn}^{3-Da} &= \text{med} \{B_0, D_0, E_0, F_0, H_0, E_1, E_2\} \\ m_{ijn}^{3-Db} &= \text{med} \{D_0, A_1, D_1, G_1, E_1, F_1, D_2\} \\ m_{ijn}^{3-Dc} &= \text{med} \{B_0, A_1, B_1, C_1, E_1, H_1, B_2\} \\ m_{ijn}^{3-Dd} &= \text{med} \{E_0, E_1, B_2, D_2, E_2, F_2, H_2\} \\ m_{ijn}^{3-De} &= \text{med} \{F_0, C_1, D_1, E_1, F_1, I_1, F_2\} \\ m_{ijn}^{3-Df} &= \text{med} \{H_0, B_1, E_1, G_1, H_1, I_1, H_2\} \end{aligned} \quad (6)$$

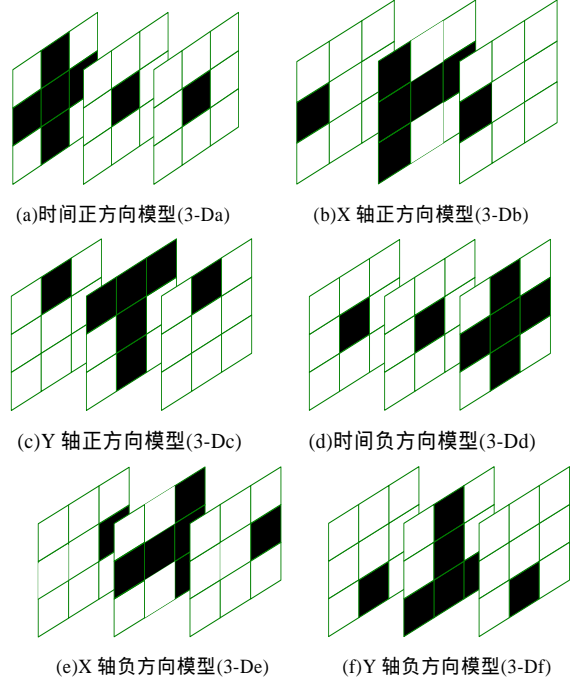


图 3 6 种 3-D 中值滤波变型模型(3×3×3 立方体, 3 个连续帧)

3 实验结果及分析

3.1 实验结果

实验视频序列采用的是 Walter Cronkite 序列(256×256×16, 8 位灰阶)和 Chemical Plant 序列(256×256×32, 8 位灰阶)。算法仿真实验中,对视频序列加入一定量的“雪花”噪声和划痕噪声,“雪花”噪声就是对不同的视频序列中随机加入一些大于或等于 5 个像素点的椒盐噪声圆点;划痕噪声就是对不同的视频序列中随机加入一些宽度大于或等于 2 个像素点的带状椒盐噪声。本次实验中,加入“雪花”噪声的密度为 25%,三维中值滤波的滤波窗口为 5×5,开关 3-D 中值滤波选取 3×3,去噪效果见图 4、图 5。通过图 4 和图 5 可以看出,本文的算法在去噪效果中,明显优于三维中值滤波,这里有 2 方面的原因:(1)本文采用了 2 次判断,只对噪声点进行处理,减小了视频序列中引入的附加干扰。(2)本文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。对 Walter Cronkite 序列各帧的视频去噪 PSNR 值,本文的去噪效果明显好于三维中值滤波算法,见图 5。



图 4 Walter Cronkite 视频序列

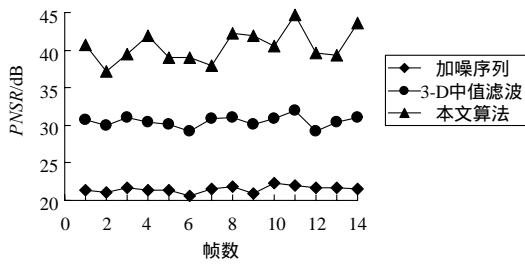


图5 Walter Cronkite 视频序列去噪后各帧 PSNR 变化曲线

当然，计算复杂度要弱于三维中值滤波，见表1。其中，本文算法的复杂度11.7为信号点、噪声点、2次噪声点复杂度之和。

表1 2种滤波算法计算复杂度比较(N=3, p=0.3)

滤波算法	比较和交换	复杂度
三维中值滤波	$3 \times 2(2 \times 3 - 1) \lg(2 \times 3 - 1)^{0.5} = 30 \lg 5^{0.5}$	10.5
本 文 算 法	$4 \times (1 - 0.3) = 2.8$	11.7
(1)信号点	$(4 + 2(2 \times 3 + 1) \lg(2 \times 3 + 1)^{0.5}) \times 0.3 = 1.2 + 4.2 \lg 7^{0.5}$	
(2)噪声点	$0.5 \times 4 \times (4 + 2(2 \times 3 + 1) \lg(2 \times 3 + 1)^{0.5}) \times 0.3 = 2.4 + 8.4 \lg 7^{0.5}$	

3.2 计算复杂度分析

对算法计算复杂度作一个定量的分析，比较几种当前算法的计算复杂度。假定是对视频序列的同一帧图像，加入的噪声密度为 p 。

三维中值滤波的滤波窗口选取 $N \times N(N-3)$ ，处理一个像素点需要对3组 $2N-1$ 个数据进行排序，则处理每一个像素点至少需要 $3 \times 2(2N-1) \lg(2N-1)^{0.5}$ 次比较和交换，在最坏的情况下，需要 $3 \times (2N-1)^2$ 次比较和交换，算法计算复杂度与加入的噪声密度无关。

本文算法的滤波窗口选取 $N \times N(N-3)$ ，处理一个像素点所需时间分3部分讨论：(1)像素点为信号点时，只有1次判断的计算复杂度，需要4次比较和交换，即 $4 \times (1-p)$ ；(2)像素点为噪声点时，需要在 $4 \times p$ 次比较的基础上，增加1次3-D中值滤波的计算，处理一个像素点需要对 $2N+1$ 个数据进行排序，至少需要 $2(2N+1) \lg(2N+1)^{0.5}$ 次比较和交换，即 $(4+2(2N+1) \lg(2N+1)^{0.5}) \times p$ ；(3)处理后的像素点还是噪声的概率为0.5时，需要增加1~6次变型3-D中值滤波的计算，处理这个像素点至少需要 $0.5 \times 1 \times (4+2(2N+1) \lg(2N+1)^{0.5}) \times p \sim 0.5 \times 6 \times (4+2(2N+1) \lg(2N+1)^{0.5}) \times p$ 次比较和交换。总的计算复杂度与加入的噪声密度相关，噪声密度越大，需要的计算复

(上接第204页)

可见，基于颜色块的半径直方图和角度直方图的检索返回了在图像颜色空间分布上更为相似的图像，明显提高了检索精度。这是因为 SQH 和 TCH 均忽略了颜色块的像素数目的空间分布信息，比如对用于以蓝色为主颜色的样例，检索出的图像大部分为蓝色背景的风景或建筑图像，如图6(a)、图6(b)所示；而 RAHCB 不仅考虑了全局颜色直方图信息，还综合了图像的主颜色块(汽车)的形状分布特征信息，因此，对这些颜色不一样但形状相似的图像也能得到有效的检索，见图6(c)。

4 结束语

针对传统颜色直方图丢失颜色空间分布信息和结构量化直方图存在的缺点，本文提出了一种新的基于颜色块的半径直方图和角度直方图的图像检索方法。这种新的特征提取方法能有效地捕捉颜色块的径向和环向信息，从而更为准确地

复杂度越多。 $p=0$ 时，处理一个像素点仅仅只需要4次比较和交换； $p=1$ 时，处理一个像素点需要 $7 \times (4+2(2N+1) \lg(2N+1)^{0.5})$ 次比较和交换，即 $28+98 \lg 7^{0.5}(N=3)$ 。

文献[3-5]的算法需要更多的计算复杂度，这里不再进行分析。

本次实验的平台为：Intel CPU Pentium4 2.4 GHz，内存512 MB，操作系统 WindowsXP2，软件 VC++6.0，对 Walter Cronkite 序列和 Chemical Plant 序列去噪中，三维中值滤波的处理时间是15.8 ms，本文算法的平均时间是17.2 ms，达到了每秒处理50帧，有一定的实时处理能力。

4 结束语

本文主要是针对视频序列中的“雪花”噪声和划痕噪声进行一定的研究，取得了一些成果。实际上，视频序列去噪有很多地方值得去研究，例如：(1)处理不同的噪声源，如电子噪声、光子噪声、量化噪声、椒盐噪声等；(2)视频序列的实时性处理，尽量降低算法的计算复杂度，提高实时处理的能力；(3)视频序列各帧的信息挖掘和融合，尽量多地挖掘出各帧的共同或不同信息，充分地利用现有的信息，提高去噪的效果和缩短处理时间，尽可能地视频序列的后续处理做好充分的准备。这些问题的解决，将会对视频序列去噪技术的发展有非常重要的意义。

参考文献

- [1] Tekalp A M. 数字视频处理[M]. 崔之祜, 江春, 陈丽鑫, 译. 北京: 电子工业出版社, 1998.
- [2] Ataman E, Aatre V, Wong K. A Fast Method for Real-time Median Filtering[J]. IEEE Trans. on Speech and Signal Processing, 1980, 28(4): 415-421.
- [3] Amer A, Dubois E. Fast and Reliable Structure-oriented Video Noise Estimation[J]. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 2005, 15(1): 113-118.
- [4] Arce G R. Multistage Order Statistic Filters for Image Sequence Processing[J]. IEEE Trans. on Signal Processing, 1991, 39(5): 1146-1163.
- [5] Ghazal M, Amer A, Ghayeb A. Structure Oriented Spatio-temporal Video Noise Estimation[C]//Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Toulouse, France: [s. n.], 2006: 845-848.

保留颜色的空间分布信息，明显提高了检索的精度。RAHCB 提取的特征描述子具有尺度不变性和旋转不变性，符合人眼观察图像的特性。

参考文献

- [1] Swain M J, Ballard D H. Color Indexing[J]. Int'l. J. on Computer Vision, 1991, 7(1): 11-32.
- [2] Messer K, Kittler J. A Region Based Image Database System Using Color and Texture[J]. Pattern Recognition Letters, 1999, 20(11-13): 1323-1330.
- [3] 王涛, 胡事明, 孙家广. 基于颜色-空间特征的图像检索[J]. 软件学报, 2002, 13(10): 2031-2036.
- [4] Zhang Lei, Lin Fuzong, Zhang Bo. A CBIR Method Based on Color-spatial Feature[C]//Proceeding of the IEEE Region 10 Conference. [S. l.]: IEEE Press, 1999: 166-169.
- [5] 金莲芳, 覃团发, 王海霞, 等. 基于结构量化直方图的图像检索方法[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(2): 180-185.