

电影胶片中霉斑噪声的数字处理技术

蒋雯丽 郑世宝

(上海交通大学电子工程系图像通信与信息处理研究所, 上海 200240)

(上海交通大学上海市数字媒体处理与传输重点实验室, 上海 200240)

摘要 针对电影霉斑噪声的修复问题,建立了一种自适应平滑修复模型。该模型专门针对噪声特性设计了双向匹配度算法。该算法能不加任何逻辑判断,即可自适应地根据噪声的污染情况找到需要的运动矢量。该模型利用韦伯比设立的噪声检测模型,不仅具有较高的灵敏度和准确度,同时利用膨胀算法解决了噪声的边缘修复问题。针对真实视频序列进行的实验结果表明,去噪效果较好,可见该算法是有效性的。

关键词 霉斑噪声 自适应检测 韦伯比 三步搜索

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)10-1926-05

Digital Processing of the Blotch in Cinefilms

JIANG Wen-li, ZHENG Shi-bao

(Institute of Image Communication and Information Processing, Department of Electronic Engineering,

Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

(Shanghai Key Laboratory of Digital Media Processing and Transmissions, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

Abstract Self-adaptive Smooth Corrector model(SASC) is proposed for the restoration of the blotch. An algorithm, named bidirectional matching, is designed for motion estimation in the restoration specially. Without making judgment, this algorithm can detect the suitable motion direction on different situations of noise occupation. The Weber ratio is used to make the noise detector to be sensitive and accurate and the bulge algorithm is used to deal with the edge-problem of the noise. Experimental results using video sequence with real film have demonstrated the availability of the method.

Keywords blotch noise, self-adapting detect, Weber ratio, three step search

1 引言

电影是通过化学颗粒的分解而保存在电影胶片上的影像。但是由于感光颗粒的自身特征、电影播放机械原理等的种种原因,导致电影胶片上有很多不同类型的噪声。主要的噪声类型有闪烁噪声(flicker)、划痕噪声(scratch)、霉斑噪声(blotch)、颗粒噪声(grain noise)和白噪声等^[1]。在胶片电影的数字化中,需要将这些噪声用数字处理的方式加以消除,本文专门针对霉斑噪声的处理方式进行了研究。

霉斑噪声具有以下特征:(1)空间不连续性:霉

斑区域与周边像素有明显的边界;(2)大范围性:霉斑区域一般都成片出现,即噪声点的邻域中至少有一个噪声点;(3)时间不连续性:霉斑区域在相邻帧中找不到匹配点。以上特征中,时间不连续性是霉斑噪声最主要的特点^[2]。

现有的霉斑修复算法中大致可以分为以下两大类:

(1)没有明确的霉斑标定和修复的区分,这种方式一般都是先要计算像素点是霉斑的概率,然后再根据概率设计每个像素的修复值^[3,4]。但这种算法的计算量一般都比较,并且霉斑修复的处理方法一般不是很明晰;

收稿日期:2007-06-01; 改回日期:2007-07-05

第一作者简介:蒋雯丽(1982-),女,上海交通大学信号与信息工程专业硕士研究生,研究方向视频处理算法及芯片设计。E-mail:jiangwenli@sjtu.edu.cn

(2) 先对霉斑区域进行标定,再对标定区域进行修复^[1,5-7]。这种方式的计算量虽然相对较小,但现有的一些技术的判断方式都是从霉斑的时间不连续性着手,而对霉斑的其他特性则利用得不够充分。

2 自适应平滑修复模型框架

根据霉斑噪声特性,本文建立了一种自适应平滑修复模型(self-adaptive smooth corrector, SASC)。模型框架如图 1 所示,可以分为两大部分:霉斑的检测和霉斑的填补。其中霉斑检测用于霉斑噪声的检测和标定,而霉斑填补则用于计算修复像素值,并对标定的噪声点进行修复。

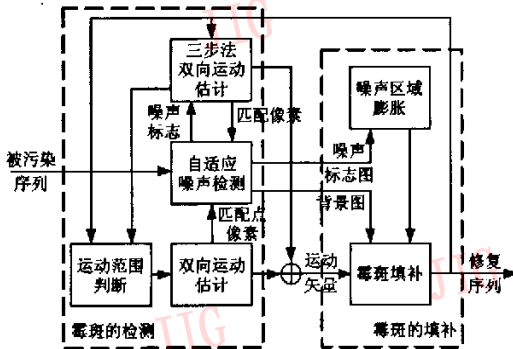


图 1 SASC 模型框架
Fig. 1 The structure of SASC model

3 霉斑的检测

视频序列被霉斑污染的过程可以表示为^[2]

$$g(x, y, n) = [1 - s(x, y, n)]f(x, y, n) + s(x, y, n)N(x, y, n) \quad (1)$$

其中, $g(x, y, n)$ 为被霉斑噪声污染后的视频序列中第 n 帧点 (x, y) 的像素值; $s(x, y, n)$ 为第 n 帧中点 (x, y) 的噪声标志, $s(x, y, n) = 0$ 表示点 (x, y) 没有被污染, $s(x, y, n) = 1$ 表示被污染了; $f(x, y, n)$ 为没有被噪声污染的原始像素值; $N(x, y, n)$ 为霉斑像素值, $N(x, y, n) \neq f(x, y, n)$ 。

由式(1)可以看出,视频序列中像素若被噪声污染,则像素点的噪声标志 $s = 1$,该点像素值 f 被噪声 N 代替。霉斑的检测就是检测出 $s = 1$ 的点。如图 1 所示,检测部分包括运动范围判断、双向运动估计、三步法双向运动估计和自适应噪声检测 4 个模块。

3.1 噪声下运动估计方式

相邻 3 帧中像素点的运动情况如图 2 所示。图 2(a)中,当前帧中的像素 $p = f(x, y, n)$ 在前一帧中的匹配点为 $p_1 = f(x - K_2, y - L_2, n - 1)$; 在后一帧中的匹配点为 $p_2 = f(x + K_1, y + L_1, n + 1)$ 。图 2(b)所示的为像素点 p, p_1, p_2 映射到同一坐标下的坐标, $(x, y), (x - K_2, y - L_2), (x + K_1, y + L_1)$ 。与前面介绍的前向($n \rightarrow n + 1$)运动估计、后向($n \rightarrow n - 1$)运动估计一样,称 (K_1, L_1) 为点 p 的前向运动矢量, (K_2, L_2) 为点 p 的后向运动矢量^[8]。

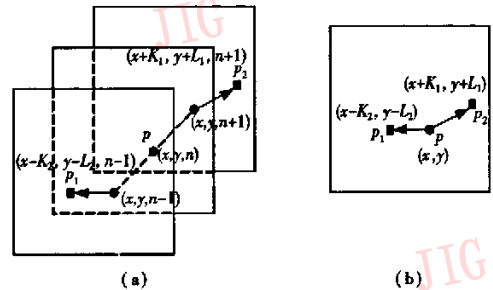


图 2 3 帧中的正确运动矢量
Fig. 2 The right move vector of the three frame

当图像序列受噪声污染时,一个正确、完整的运动估计算法需要对点 p, p_1, p_2 可能发生的 3 种情况做出如下处理:

- (1) p, p_1, p_2 都没有被污染:运动估计算法只需要能找到 (K_1, L_1) 或者 (K_2, L_2) ;
- (2) p_1, p_2 中的一个被污染,如 p_1 被污染,则运动估计需要找到与 p_2 对应的运动矢量 (K_1, L_1) ;
- (3) p 被污染,运动估计需要能得到通过点 p 的修复运动矢量。

当点 p 被污染时,则点 p 需要修复,但是 (K_1, L_1) 和 (K_2, L_2) 都无法确定。虽然可以通过更多帧的帧间信息来得到 (K_1, L_1) 或者 (K_2, L_2) ,但是这些方式需要的存储空间很大,且运算复杂度高,不利于高清数字电影(1920 × 1080)的硬件实现,所以本文通过如图 3 所示的方式,在前后帧找到一对匹配点,使其运动矢量通过点 p 。如果两匹配点的平均值近似等于点 p 的正确像素值,则用来对点 p 进行修复。本文称这种可以用于修复的运动矢量为通过点 p 的修复运动矢量。

由此可以看出,在霉斑修复中,若直接运用普通的运动估计方式,则需要 3 步搜索,这不仅计算量大,并且需要复杂的逻辑判断。为了解决这个问题,

本文设计了专门运用于霉斑检测的“双向匹配度算法”。这种算法只需一步运动检测,且不加任何逻辑判断就能自适应地根据噪声污染情况得到合适的运动矢量。

3.2 双向匹配度算法

定义在 (k, l) 方向的双向匹配度为

$$\begin{aligned} MAD_1(k, l) &= \frac{1}{9} \sum_{x', y' = \pm 1, 0} |g(x + \hat{x}, y + \hat{y}, n) - g(x + k + \hat{x}, y + l + \hat{y}, n + 1)| \\ MAD_2(k, l) &= \frac{1}{9} \sum_{x', y' = \pm 1, 0} |g(x + \hat{x}, y + \hat{y}, n) - g(x - k + \hat{x}, y - l + \hat{y}, n - 1)| \\ MAD_3(k, l) &= \frac{1}{9} \frac{\sum_{x', y' = \pm 1, 0} |g(x - k + \hat{x}, y - l + \hat{y}, n - 1) - g(x + k + \hat{x}, y + l + \hat{y}, n + 1)|}{2} \end{aligned} \quad (4)$$

算法的目标为在搜索范围内,使 $\Omega(k, l)$ 最小。令 $\Omega(k, l)$ 最小的 (k, l) 即为最佳运动矢量 (K, L) 。该算法可以在不需要做任何逻辑判断的情况下,对噪声污染的 3 种情况,自适应地寻找需要的运动矢量。

3.3 算法分析

块匹配函数 $\xi(x)$ 及敏感点 h 的关系曲线如图 3 所示。

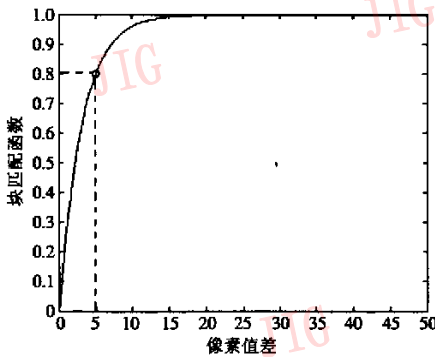


图 3 块匹配函数及敏感点

Fig. 3 The match function of block and its sensitive point

由图 3 可以看出, $0 \sim 5$ 之间的自变量改变,会引起块匹配函数值很大程度的改变,而自变量值大于 5 时,则自变量改变很大,而函数值却变化不大。本文称这种对 0 附近的自变量变化敏感,对大值的变化迟钝的特性为块匹配函数的小值敏感特性。

对照前面的 3 种噪声污染情况,以下分析双向匹配度算法中目标函数 $\Omega(k, l)$ 的工作方式:

(1) 3 帧中的匹配像素都为正常像素。 $\xi[MAD_1(k, l)]$ 在前向运动矢量方向附近产生接近 0 的最小值, $\xi[MAD_2(k, l)]$ 在后向运动矢量方向附

$$\Omega(k, l) = \xi[MAD_1(k, l)] + \xi[MAD_2(k, l)] + \xi[1.3 \times MAD_3(k, l)] \quad (2)$$

其中, $\xi(x)$ 为块匹配度函数

$$\xi(x) = [1 - \exp(-x/3.11)] \quad (3)$$

$MAD_1(k, l), MAD_2(k, l), MAD_3(k, l)$ 为平均绝对差 (mean absolute difference, MAD)

近产生接近 0 的最小值;在其他方向上集中在 $1 \sim 0.8$ 的狭小范围内; $\xi[1.3 \times MAD_3(k, l)]$ 由于 $MAD_3(k, l)$ 在带人 $\xi(\cdot)$ 时乘以 1.3 的系数,这就降低了 $\xi(\cdot)$ 对 $MAD_3(k, l)$ 变化的敏感度,所以当 $MAD_1(k, l), MAD_2(k, l)$ 正常时, $\xi[1.3 \times MAD_3(k, l)]$ 对 $\Omega(k, l)$ 造成的影响可以忽略。由此可见, $\Omega(k, l)$ 将在前向、后向运动矢量方向附近产生极小值,由双向运动估计得到的运动矢量将是这两个方向中的一个。

(2) 当前像素正常,前后帧匹配像素中有一个被噪声污染。设 p_1 被污染,同理 $\Omega(k, l)$ 将在前向运动矢量方向附近产生最小值,此时由双向运动估计得到的运动矢量将是前向运动矢量方向。

(3) 当前像素被污染,而前后帧匹配像素正常。此时 $\xi[MAD_1(k, l)], \xi[MAD_2(k, l)]$ 失去运动估计能力。 $\xi[1.3 \times MAD_3(k, l)]$ 的作用得到体现,它可使得 $\Omega(k, l)$ 在令 MAD_3 最小的方向处得到最小值,该方向即为修复运动矢量方向。

通过以上分析可以知道,双向匹配度算法可以满足霉斑修复的要求,并且可以发现算法中只有一个目标函数,没有任何条件判断。一次运动估计运算就可以得到所需要的 3 种情况的运动矢量,这就大大地减少了运动估计的计算量,适合成为实时处理视频序列的硬件实现算法。

3.4 模块功能实现

双向运动估计:模型中的小范围运动估计模块,它是双向匹配度算法结合全面搜索方式进行小范围运动估计;三步法双向运动估计:模型中的大范围运动估计模块,它是使用三步搜索结合双向匹配度算法搜索高速运动矢量。

对于大部分像素的运动矢量较小的情况,先对

其进行小范围运动估计,再对没有找到匹配点的像素进行大范围的运动估计;而对于大部分像素的运动矢量都较大的情况,可直接让它进入大范围运动估计。运动范围判断模块就是用来完成这个判断控制的。该模块根据前面几帧的处理情况,判断本帧是否需要小范围的运动估计。

自适应噪声检测算法如下:

(1) 由运动估计首先得到被污染序列中的像素 $g(x, y, n)$ 的运动矢量 (K, L) 、匹配点 $g(x - K, y - L, n - 1)$ 和 $g(x + K, y + L, n + 1)$ 。设定像素的空间亮度梯度为

$$\begin{aligned} d_1 &= |g(x, y, n) - g(x + K, y + L, n + 1)| \\ d_2 &= |g(x, y, n) - g(x - K, y - L, n - 1)| \\ d_3 &= |[g(x + K, y + L, n + 1) - g(x - K, y - L, n - 1)]/2| \end{aligned} \quad (5)$$

(2) 以 3 个像素值中空间梯度值最小的两像素的亮度平均值作为背景色 $C_{\text{back}}(x, y, n)$ 。以 $\bar{d} = \min[d_1, d_2, d_3]$ 为例,则背景颜色 $C_{\text{back}}(x, y, n)$ 为 $C_{\text{back}}(x, y, n) = [g(x - K, y - L, n - 1) + g(x, y, n)]/2$ (6)

根据韦伯比设定:匹配门限 $T(x, y, n) = 0.05 \times C_{\text{back}}(x, y, n)$ 。

(3) 令

$$\begin{aligned} \Delta g_1 &= |g(x - K, y - L, n - 1) - C_{\text{back}}(x, y, n)| \\ \Delta g_2 &= |g(x, y, n) - C_{\text{back}}(x, y, n)| \\ \Delta g_3 &= |g(x + K, y + L, n + 1) - C_{\text{back}}(x, y, n)| \end{aligned} \quad (7)$$

Δg_2 表示当前像素与背景色的差值。如果 $\Delta g_2 < T(x, y, n)$, 则认为像素 $g(x, y, n)$ 为正常像素,令 $d(x, y, n) = 0$;

如果 $\Delta g_2 > T$, 且 $\Delta g_1 < T, \Delta g_3 < T$, 则认为 $g(x, y, n)$ 为差值噪声像素;如果两个条件都不满足的点,则认为是可疑像素。

(4) 对于差值噪声像素点 $g(x, y, n)$, 判断其 8 邻域中是否还有差值噪声像素,如果有,则确定其为噪声像素,反之,则认为不是。

从前面的分析可以看出,本文算法设计遵循的思想是:用较低的门限来提高算法的灵敏度,再通过追加辅助判定准则来降低误判率。这种方式充分利用了霉斑噪声的特点,并且使得整个霉斑判定模块中的各算法得以完善。但是由于判定准则没有考虑更多的帧间信息,并且相对简单,所以还是存在一些噪声点误判的情况。不过从图 4(b) 给出的噪声标定结果可以看出,噪声的标定还是相当准确的。

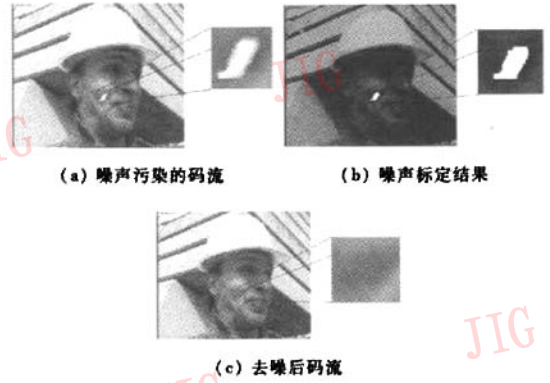


图 4 噪声检查和填补结果

Fig. 4 The noise detected result and padded result

4 霉斑的填补

图 1 所示的霉斑填补部分包括噪声区域膨胀和霉斑填补两个模块。

噪声区域膨胀模块:由于霉斑噪声区域存在 2~4 pixels 宽度的模糊边界,且边界上点的噪声像素与真实像素比较接近,因此可将这些边缘点纳入标定区域,最直接的想法就是提高噪声判断准则的灵敏度,使其能侦察到细小的亮度变化。但事实证明这种方式大大增大了标定的误判率。因此本文采用图像处理中的形态学膨胀算法^[9],通过将噪声区域直接扩大的方式来解决噪声边缘问题。

霉斑填补模块,即用霉斑检测时使用的背景色 $C_{\text{back}}(x, y, n)$ 直接对标定点进行填补。填补的结果如图 4(c) 所示。

5 试验结果及模型评估

根据前文描述的算法,本文使用 C 语言对测试码流进行了验证,试验结果如图 4 所示。从填补得到的修复图像(图 4(c)),可以看出,几乎所有的可视霉斑噪声都很好的克服,同时几乎没有对正常像素造成影响。

参考文献 (References)

- 1 Roosmalen V, Bruce P M. Restoration of archived film and video [D]. Holland Delft University of Technology, 1999.
- 2 Kalra S, Krishnan D, Chong M N. A MRF model based scheme for accurate detection and adaptive interpolation of missing data in nightly

- corrupted image sequences [A]. In: Proceedings of International Conference on Image Processing (ICIP) [C], Kobe, Japan, 1999: 890 ~ 893.
- 3 Kokaram A C. On missing data treatment for degraded video and film archives; a survey and a new Bayesian approach [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(3): 397 ~ 415.
- 4 Chong Man-nang, Krishnan D. An edge-preserving MRF model for the detection of missing data in image sequences [J]. IEEE Signal Processing Letters, 1998, 5(4): 81 ~ 83.
- 5 Saito T, Komatsu T, Hoshi T, et al. A practical filtering method for film blotch removal based on local robust analysis of spatiotemporal brightness continuity [A]. In: Proceedings of International Conference on Image Processing and Its Applications [C], Manchester, UK, 1999, 1: 211 ~ 215.
- 6 Ceccarelli M, Petrosino A. Blotch removal in degraded digital video using independent component analysis [A]. In: Proceedings of IEEE International Joint Conference on Neural Networks [C/OL], <http://ieeexplore.ieee.org>, 2004, 272 ~ 275.
- 7 Tenze L, Ramponi G, Carrato S. Blotches correction and contrast enhancement for old film pictures [A]. In: Proceedings of International Conference on Image Processing [C], Vancouver, BC, Canada, 2000: 660 ~ 663.
- 8 Tekalp A Murat, Cui Zhi-gu, Jiang Chun, Chen Li-xin Translate. Digital Video Process [M]. Beijing: Electronic Publication, 1998: 68 ~ 104. [Tekalp A Murat 著. 崔之估, 江春, 陈丽鑫译. 数字视频处理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1998: 68 ~ 104.]
- 9 Gonzalez Rafael C, Woods Richard E. Ruan Qiu-qi, Ruan Yu-zhi Translate. Digital Image Process (Second Edition) [M]. Beijing: Electronic Publication, 2003: 27 ~ 613. [Gonzalez Rafael C, Woods Richard E 著. 阮秋琪, 阮宇智等译. 数字图像处理 (第二版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 27 ~ 613.]