

基于小波分解的电影胶片划痕损伤 数字修复技术研究

陈 钊 关景火 徐 进 余松煜

(上海交通大学图像通信与信息处理研究所, 上海 200240)

摘 要 电影胶片由于长期存放和多次播放,因此存在着灰尘、污垢、霉斑、图像抖动、划痕、闪烁、噪声、变色、模糊等问题,其中垂直划痕是比较常见的一种损伤。为了消除这种损伤,通过垂直划痕小波特性的分析,提出了一种垂直划痕检测和去除的算法。该算法基于二进离散小波变换,首先将图片分解成为概貌和细节分量;然后通过对水平和垂直细节分量的分析,结合形态学的处理手段得到划痕位置,并比较了在空间域和小波域重建划痕区域内丢失的信息的各种方法,最终选择在小波域进行划痕修复。结果显示,采用该新方法进行划痕的检测和去除,不仅简单而且有效。

关键词 胶片电影 划痕检测 划痕修复 小波变换

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2006)11-1695-05

Removal of Vertical Scratches in Old Movie Film by Using Wavelet Decomposition

CHEN Zhao, GUAN Jing-huo, XU Jin, YU Song-yu

(Institute of Image Communication and Information Processing, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240)

Abstract Movie films are often damaged by aging and multiple playing, which may cause some artifacts on the films, such as dust spots, dirt, blotches, film unsteadiness, line scratches, flicker, noises, color variations and blurs. Vertical scratch is one of the artifacts we can often see. To eliminate this artifact, we analyze the character of the line scratch and give a method for detection and removal of it. The proposed algorithm is based on the discrete binary wavelet decomposition. This transformation splits an image into approximation and detail coefficients. The locations of the scratches are gained through analyzing the horizontal and vertical components and using morphologic methods. We compare various algorithms that reconstruct the missing data in the region of the scratch, and choose to restore the scratch regions in the wavelet domain. The results show that the algorithm of scratch detection and removal in this paper is simple and effective.

Keywords Digital Film Restoration, scratch detection, scratch removal, wavelet transformation

1 引 言

电影胶片是开展高清晰度电视内容服务的重要节目来源之一。电影胶片由于长期存放和多次播放,存在着灰尘、污垢、霉斑、图像抖动、划伤、闪烁、噪声、变色、模糊等问题,因此,有必要采用相应的数

字技术对其进行修复和保存,以留住宝贵的财富。

本文主要针对老胶片中常见的垂直划痕,讨论了对其检测和修复的方法。垂直划痕是指电影胶片中呈线状分布的银粒剥落现象,其经常会覆盖不止一帧,通常是在镜头中,由坚硬的颗粒在平行于电影胶片的运动方向上刮擦所导致的。线性划痕通常是黑色或者白色的垂直线条。它所呈现的特征有:通常为

基金项目:上海市科委科研攻关项目(03DZ15022)

收稿日期:2006-07-05; **改回日期:**2006-08-15

第一作者简介:陈钊(1983~),女。2000年获上海交通大学电子工程系学士学位,现为上海交通大学图像通信与信息处理研究所硕士研究生。研究方向为数字图像处理。E-mail: yingangtiger@sjtu.edu.cn

3~10pixels 宽度,倾斜角度小于 5° (近似垂直),在相同位置持续若干帧,亮度呈衰减余弦函数分布。尽管划痕的宽度相比整个画面很小,但是由于观众的注意力会被画面强烈的不连续性和划痕固定的位置所吸引,因而对图像主观质量的影响非常明显。

划痕的检测和修复在很多文章中已有讨论,其检测在有显著垂直物体存在的情况下很容易误报,而观众是能够清晰地分出一个物体和一条划痕的。为了解决这个检测困难,一些文章^[1~4]中假定划痕位置或者假定图像中几乎没有垂直物体。标准的检测技术^[1,5,6]是基于不同的空时均值和中值滤波对感兴趣的区域进行处理。这些方法计算量不大,在静止图片上的效果不错,但是在序列图像上效果欠佳,容易引起模糊,而且由于垂直划痕的位置是固定的,致使这种模糊效应更加严重。Kokaram 提出了一个克服这个问题的方法^[2]。他引入了一个 2 维自回归模型 (autoregressive model),使得在划痕区域上内插的数据与周围像素一致,但是这种方法最大的不足就是对模型系数的计算量过大。其他的算法,如非线性算法^[3]、自适应多维估计 (adaptive multidimensional prediction)^[4]、最小最大函数 (min-max functions)^[7]、融合算法^[8]等,都没有完全让人满意的。

另外,大多数老电影胶片中都有相当多的噪声,这样标准的修复划痕的内插技术都会由于噪声的存在而效果不佳。虽然使用前相邻帧来克服这个问题是可取的,但是由于这需要运动、缩放估计,会使得计算量增加。因此,现有大多数的算法都是基于单帧的。本文提出了基于小波分析的垂直划痕检测修复方法,小波变换在边缘检测中不仅有良好的定位精度和抗噪声能力,并能够通过一系列滤波器的组合实现。而且在此方法中,一部分修复过程也能通过使用标准内插方法^[9]完成。最终,对处理后的小波系数进行反变换即可产生一个修复的图像,其既保留了典型的噪声特征,还能够避免模糊效应。实验结果显示,在小波域中统一进行划痕的检测和修复的效果良好,且方法简单可行。

2 Mallat 小波变换

本文所采用的小波变换是由 Mallat 提出的一组基于快速离散分解算法的小波变换方法^[10],它是基于二进小波变换,该小波变换在多尺度边缘分析中,

采用了不抽样的一分为三(低频分量、高频水平分量、高频垂直分量)的小波分解方式,而在采样方面,使用的则是过采样小波扩展,即在小波系数分解中,没有任何降采样,且每一个小波子带系数的个数与输入图像的小波系数个数相同,这就使得小波变换系数具有位置不变性。相对于其他抽样小波变换,这种过采样小波尤其适合在图像处理技术中使用,并且在图像边缘(包括本文针对的图像划痕)处理的应用上具有良好的效果。

本文采用的小波分解框图见图 1,该图显示了 Mallat 小波的两层分解结构。分解时,在 j 层上,并不把信号降采样,在原有的滤波器的两个系数之间插入 $2^{j-1}-1$ 个 0,以保持得到的每个分量系数的数据量和原有数据量相同。 W_2^h 和 W_2^v 分别是 j 层上,水平方向和垂直方向上的小波系数集, S_2 是低频分量集。图 1 中,每个滤波器模块中第 1 个滤波器用于行滤波,第 2 个滤波器用于列滤波。 D 是 Dirac 滤波器, H, G, K, L 是有限冲击响应 (finite impulse response, FIR) 滤波器, H^* 是 H 的共轭滤波器^[10]。

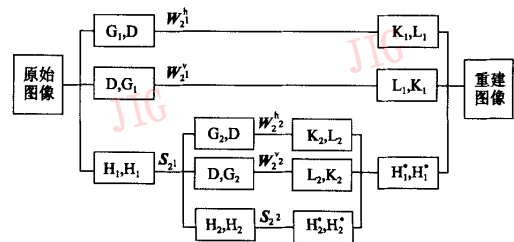


图 1 小波的分解与合成框图

Fig. 1 Schematic of decomposition and synthesis process

3 划痕检测修复算法及实现

3.1 划痕的检测

划痕检测时,首先从一段视频序列中截取一帧存在划痕的图像,然后选取部分存在划痕效果的区域,大小为 256×256 (如图 2(a) 所示)。检测算法如下:

(1) 对图像进行 2 维小波分解,分解后的小波系数在划痕位置存在着以下特性:水平方向的小波系数集 W_h 比较大,而垂直小波系数集 W_v 则比较小。根据实验统计数据,可认为所有的划痕位置的点都满足 $W_h/W_v > 800$ 这一条件。设定一个新的变

量 W , 将满足上述条件的点进行标记, 即可得到所有可能的划痕位置的点的图像 (如图 2(b) 所示)。

(2) 利用数学形态学将非划痕位置的点去除, 即首先, 对这些点在垂直方向上进行膨胀运算, 这样就将垂直划痕位置的一个个断点都连接起来 (如图 2(c) 所示); 接着在垂直方向上进行开运算, 此时可将比较短的孤立线段去除, 以得到较长划痕的位置 (如图 2(d) 所示)。

由于划痕有时候不能保证完全垂直, 一条划痕往往会轻微的向左偏或向右偏, 而变成 2、3 条相邻的线段。若进行水平及垂直方向上的形态学膨胀运算, 即可将相邻的线段连成一体 (如图 2(e) 所示)。

根据图 2(e) 可知, 由于真正划痕区域的面积会比其他非划痕位置区域的面积大, 因此根据实验统计数据, 通过设定局部区域面积阈值, 即可得到真正存在划痕位置的区域 (如图 2(f) 所示)。

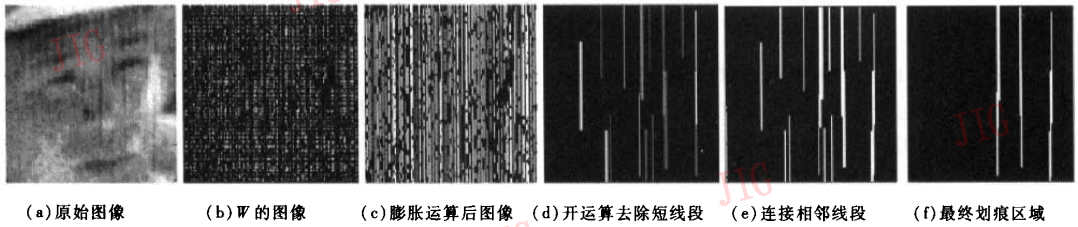


图 2 划痕的检测过程

Fig. 2 Detection of scratches

3.2 划痕的修复

通过以上的划痕检测算法就可准确地找到划痕位置, 下一步就需要对划痕位置的信息进行恢复。在此阶段, 本文还尝试分别在空间域和小波域采用各种不同的内插方法进行图像的修复, 以比较各种方法的优劣。

实现思路如下:

(1) 对划痕区域进行边缘检测, 首先得到划痕左右端的坐标, 以及相应位置的小波系数。

(2) 取出相应位置的水平方向的小波系数 W_x 或者空间域的图像值, 并对其做内插修复。在此, 本文采用了线性插值 (linear)、分段 3 次 Hermite 插值 (pchip)、3 次样条数据插值 (spline)、多项式拟合 (polynomial)、2 维 3 次样条数据插值 (2D spline) 等方法进行内插。

(3) 对于在小波域中处理的数据, 通过将小波系数进行逆小波变换, 即可得到划痕修复后的图像帧。

3.3 实验结果

本文采用了线性插值 (linear)、分段 3 次 Hermite 插值 (pchip)、3 次样条数据插值 (spline)、多项式拟合 (polynomial)、2 维 3 次样条数据插值 (2D spline) 等方法分别在空间域和小波域对划痕进行了修复, 并以峰值信噪比 (peak signal noise ratio, PSNR) 值和主观质量评价作为标准来衡量修复的效

果, 主观质量分为优、良好、可以、差、很差 5 个级别。表 1 和表 2 分别统计了以上几种方法在空间域和小波域进行修复后得到的峰值信噪比 (PSNR) 值和主观质量。图 3 显示了部分方法的修复结果的比较。

表 1 空间域中各种划痕修复方法的比较

Tab. 1 Comparison of different algorithms of scratch removal in spatial domain

评价	空间域内插值方法				
	linear	pchip	spline	polynomial	2D spline
PSNR (dB)	37.020	37.023	36.770	35.560	36.021
主观质量评价	可以	良好	可以	良好	优

表 2 小波域中各种划痕修复方法的比较

Tab. 2 Comparison of different algorithms of scratch removal in wavelet domain

评价	小波域内插值方法				
	linear	pchip	spline	polynomial	2D spline
PSNR (dB)	43.121	41.820	41.410	41.301	47.273
主观质量评价	良好	良好	良好	良好	差

由表 1, 表 2 可以看出, 与在空间域中修复相比, 在小波域中的修复能够获得更大的峰值信噪比值; 从主观上看, 用空间域方法进行修复容易出现边界模糊效应, 而经过在小波域中的修复, 则仅在局部图像上仍能看出轻微的划痕痕迹。

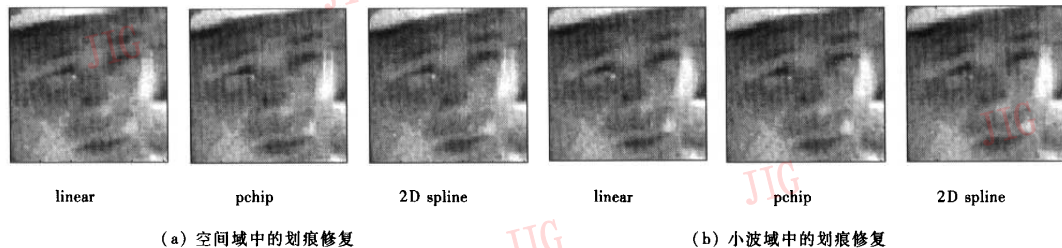


图 3 空间域和小波域中划痕修复结果的比较
 Fig. 3 Comparison of the results of scratch removal in spatial and wavelet domain

根据文献[11],划痕消除步骤应该使原有划痕的消除,同时也应该避免因过度平滑而引入新的误差。在实际应用中,为了满足上述条件,本文采用对小波系数进行线性插值的方法。这种方法不仅可以将划痕区域的小波系数与划痕周围区域的小波系数平滑连接,同时不引入新的极值,因此不会产生新的误差。相对于计算复杂耗时的高次多

项式插值,此算法计算量小,而空间域的线性插值法虽然计算更加简单,但是会产生过度平滑效应。在对小波系数进行线性插值中,可根据划痕的宽度特性,仅对前两层小波系数进行平滑,这样既消除了局部划痕效应,又保证了大范围内的小波系数不会被过度平滑。图 4 显示了使用该算法进行划痕修复的结果。



图 4 划痕的修复过程
 Fig. 4 Removal of scratches

4 结 论

本文讨论了在小波域内,对老电影胶片中的垂直划痕进行检测和去除的方法。本文提出的算法是基于二进离散小波变换,该变换先将图片分解成概貌和水平、垂直细节分量,然后通过水平系数与垂直系数的比值找出可能的划痕位置,再通过数学形态学的方法得到确切的划痕位置。在检测到划痕位置的情况下,本文又比较了在空间域和小波域采用不同算法对划痕进行修复的效果,并通过相应位置的小波水平系数的线性插值重建了在划痕区域内丢失的信息,最终通过合成小波系数来产生一幅修复的图像。结果显示,将划痕的检测和去除结合到小波域中不仅能够对划痕进行成功修复的同时,不影响图像的其余部分,并且算法简单有效,易于

实现。

参考文献 (References)

- 1 Abreu E, Mitra S K. A simple algorithm for restoration of images corrupted by streaks [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Circuits and Systems [C], Atlanta, GA, USA, 1996, 2: 730 ~ 733.
- 2 Kokaram A. Removal of line artefacts for digital dissemination of archived film and video [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems [C], Florence, Italy, 1999, 2: 245 ~ 249.
- 3 Kim N D, Udpa S. Nonlinear operators for edge detection and line scratch removal [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics [C], San Diego, CA, USA, 1998, 5: 4401 ~ 4404.
- 4 Maindl M, Šimberová S. A scratch removal method [J]. Kybernetika, 1998, 34(4): 423 ~ 428.
- 5 Venetianer P L, Werblin F, Roska T, et al. Analogic CNN algorithm

- for some image compression and restoration tasks [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems, 1995, 42(5): 278 ~ 284.
- 6 Kao O, Engehausen J. Scratch removal in digitised film sequences [A]. In: Proceedings of the International Conference on Imaging Science, Systems, and Technology [C], Las Vegas, NV, USA, 2000, 1: 171 ~ 179.
- 7 Armstrong S, Kokaram A, Rayner P. Non-linear interpolation of missing data using minmax functions [A]. In: IEEE International Conference on Nonlinear Signal and Image Processing [C], Mackinac Island, USA, 1997.
- 8 Laccetti G, Maddalena L, Petrosino A. P-LSR: A parallel algorithm for line scratch restoration [A]. In: Proceedings of the Seventh International Workshop on Computer Architecture for Machine Perception [C], Palermo, Italy, 2005.
- 9 Pratt W K. Digital image processing 2nd Edition [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc. , 1991.
- 10 Mallat S, Zhong S. Characterization of signals from multiscale edges [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(7): 710 ~ 732.
- 11 Bruni V, Vitulano D, Kokaram A. Fast removal of line scratches in old movies [A]. In: Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition [C], Cambridge, UK, 2004, 4: 827 ~ 830.