

基于时空域特征的垂直划痕检测与修复

曾庆跃, 丁友东

(上海大学计算机工程与科学学院, 上海 200072)

摘要: 为检测与修复旧电影中常见的垂直划痕, 分析垂直划痕在单帧和相邻帧图像的时域和空域特性。在分析垂直划痕形成原因、特征和微分运算基本原理的基础上, 提出一种基于时空域特征的垂直划痕检测与修复算法。实验结果表明, 该算法能有效地检测旧电影中的垂直划痕, 并能够准确地修复垂直划痕处丢失的图像信息, 经该算法修复后的旧电影具有较好的视觉效果。

关键词: 垂直划痕; 旧电影修复; 微分运算; 垂直划痕检测; 视觉效果

Scratch Line Detection and Restoration Based on Spatial-temporal Features

ZENG Qing-yue, DING You-dong

(School of Computer Engineering and Science, Shanghai University, Shanghai 200072)

【Abstract】 To detect and remove the scratch line which is common on old movies, spatial-temporal property in the same frame and adjacent frame is analyzed. After analyzing causes of emergence and characteristics of scratch line and basic principles of differential operation, a scratch line detection and restoration algorithm based on spatial-temporal features is proposed. Experimental results show that the algorithm can effectively detect the scratch line on old movies, and be able to accurately fix the missing data where scratch line original exists. Old movies have a better visual effect after restoration.

【Key words】 scratch line; old movie restoration; differential operation; scratch line detection; visual effect

1 概述

旧电影的修复与保护是近年来图像处理研究领域中的一个新的研究方向。所谓的旧电影的修复与保护是用数字图像处理技术来解决旧电影中出现的影像质量问题。通过数字图像修复技术解决旧影片中出现的诸如斑点、垂直或水平划痕、闪烁等问题。

经修复后的旧电影可以使得旧电影的播放效果达到电影在初次播放时的视觉效果。垂直划痕是指旧电影在播放的过程中出现的垂直条纹状干扰信息, 当旧电影在播放的过程中出现垂直划痕后, 会使得电影画面质量下降。当电影中的画面具有多条垂直划痕时就无法辨清电影原来的画面。因此, 为了保证旧电影的观看效果有必要对旧电影中出现的垂直划痕进行检测与修复。在垂直直线划痕检测方面已有相关的算法, 文献[1]提出了直线划痕失真模型, 但是其表达式只适合表述穿过整幅图像的垂直划痕(从图像顶部延伸到底部), 没有划痕起始位置与长度信息, 不适合表述有限长的垂直划痕。文献[2-3]提出了一种旧电影中基于时域修复的方法, 但该方法没有很好地利用单帧的图像信息, 它的依据是直线划痕在时域上图像的连续性。

该算法通过计算相邻帧的时域信息, 利用时域信息在相邻帧的连续性获得垂直划痕出现的位置。文献[4]提出了一种基于局部灰度投影和动态观察窗口定位垂直划痕的算法, 该算法首先将每一帧划分成一系列水平子带, 每一个水平子带进一步划分成动态位置的观察窗口, 局部灰度投影的最大值或最小值就是划痕出现的临近位置。与此同时, 旧电影斑点

和灰尘的检测方面也有相关的研究^[5-6]。文献[7]提出了一种基于小波分解的电影胶片划痕损伤数字修复算法。该算法基于二进制离散小波变换, 将图片分解成概貌和水平、垂直细节分量, 通过水平系数与垂直系数的比值找出可能的划痕位置, 使用数学形态学的方法得到确切的划痕位置, 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。本算法是在前人研究的基础上, 利用划痕在时空域的特征来确定垂直划痕的位置以便修复垂直划痕处丢失的图像信息。

2 旧电影修复与保护

2.1 相关问题

由于早期电影的保存条件和存储介质的限制, 旧电影在经过多次播放后一般会出现垂直或水平划痕、画面模糊不清、抖动、斑点、闪烁等现象。旧电影修复与保护是中国电影资料馆 90 年代初提出的, 该项工作的提出主要是为了保护国家重要文化遗产和重要影像档案。利用数字图像处理和修复技术, 可以对旧电影中出现了视频损伤的帧进行检测, 例如可以对出现了垂直划痕的帧采用相应的检测算法检测出划痕出现的具体位置, 并根据划痕出现的位置, 采用修复算法对已损坏的帧进行修复。当把旧电影中每一帧的缺陷都检测出来并修复后, 修复后的旧电影播放的视觉效果就如同电影初次

作者简介: 曾庆跃(1982—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 计算机图像处理; 丁友东, 教授、博士、博士生导师

收稿日期: 2009-12-20 **E-mail:** zengqingyue@163.com

播放时的视觉效果。中国电影业有着跨越百年的文化积累,年产故事片上百部,至今仅在中国电影资料馆就保存了近3万部影片资料^[8],其中有部分电影已经不能正常观看,因此,旧电影修复对于保护旧电影资料和国家重要电影文献资料也有重要意义。

2.2 直线划痕处理流程

旧电影直线划痕处理流程如图1所示,首先获取具有垂直划痕的视频源,然后将待修复的旧电影转换成特定图片格式的帧序列,再对转换后的帧序列通过划痕算法检测划痕具体位置信息,并通过相应的修复算法^[9-10](如线性插值法、最佳匹配像素块法)对带有垂直划痕的帧进行修复。最后将修复好的帧序列合成视频文件。

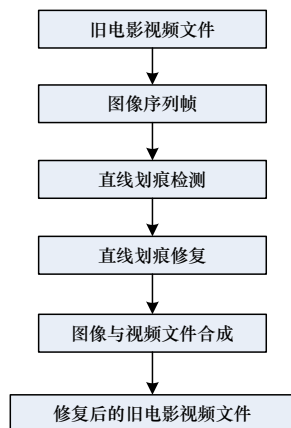


图1 旧电影直线划痕处理流程

3 旧电影中垂直划痕形成的原因和特征

垂直划痕形成的原因有如下3种:

(1)目前国家的档案影片主要是以胶片形式存储的,胶片在恒温恒湿等特定条件下其影片可以完好保存百年以上^[8]。但影像资料馆实际的保存环境经常变化且所要求的温度和湿度也较难控制,因此,加剧了胶片的老化。

(2)受胶片电影播放次数及转印的影响,每一部胶片电影都有额定的播放次数和转印次数,当超过了这个额定的次数再进行播放和转印就可能破坏胶片本身的物理属性,并可能会出现因播放器械带来的划痕,如胶片上粘连的颗粒状污点会对胶片产生划伤的破坏作用。

(3)胶片本身物理性质发生了变化,胶片本身的褪色使得胶片的色彩不均匀,导致影片在播放过程中出现垂直划痕的现象,除此之外,胶片感光层的脱落也会造成划痕的现象。

垂直划痕的特征如下:

(1)垂直划痕通常具有3个~10个像素宽,倾斜角度小于5度,在前后帧相同的位置持续若干帧^[8]。图2、图3是老影片《地雷战》截取的连续帧。图2是不带垂直划痕的帧,图3是图2的后一帧带有垂直划痕,可见左侧的垂直划痕。



图2 不带垂直划痕的帧



图3 带垂直划痕的帧

(2)垂直划痕的长度是不确定的,有的划痕很短,但也有划痕可以长至图像的高度。

(3)相邻帧的图像在垂直划痕位置处图像灰度值变化较大,在划痕处的灰度值与相邻列的灰度值在划痕处的差值的绝对值在5~30之间,划痕处的灰度值在垂直方向上变化较小,而且在相邻帧中出现划痕位置处的灰度值与前帧或后帧的相邻列灰度值变化也比较大。

(4)垂直划痕经常出现在亮或暗灰度值处,划痕出现的位置在时域上表现出在连续帧上的相同的位置。

4 基于时空域特征的垂直划痕检测与修复

4.1 垂直划痕检测的基本原理

垂直划痕检测是利用垂直划痕在时域上划痕出现的位置相近的特性和在空间域上灰度值的不连续性确定划痕的中心位置。通过计算相邻帧的纵向微分差和单帧纵向微分差确定垂直划痕出现的中心位置。

4.2 偏微分方法的基本原理

偏微分方法的基本原理如下:

(1)单帧垂直划痕中心位置的确定

在检测划痕时,可以将划痕作为图像的边缘信息。边缘是由相邻灰度级不同的像素点构成的,这类类似于划痕在单帧上灰度级的不连续性,若想增强边缘信息就应该突出相邻点间灰度级的变化,灰度矩阵为

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 255 & 255 & 255 & 255 \\ 1 & 1 & 1 & 254 & 253 & 254 & 254 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 255 & 253 & 253 \\ 1 & 1 & 0 & 254 & 254 & 254 & 254 \end{pmatrix}$$

不难发现原图中左边暗,右边亮,中间存在着一明显的边界。垂直划痕的检测是通过增强划痕中心点处的灰度级来实现的。对图像 $f(i,j)$,其中, i 代表行; j 代表列;图像大小为 $m \times n$, $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$ 。如果用右列减去左列,即每一个像素的值为

$$G(i,j) = f(i,j) - f(i,j-1) \quad (1)$$

其中, $1 \leq i \leq m, 2 \leq j \leq n$ 。

第1列保持不变,则有灰度差矩阵为

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 254 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 253 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 255 & 0 & -2 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 254 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

第4列比其他列的灰度值高很多,在边界附近,灰度值有明显的跳变。当人眼观察时,就能发现一条很明显的亮边;在灰度相近的区域内,这么做的结果使得该点的灰度值近于0,区域都很暗。通过式(1)起到了垂直边缘检测的作用。

(2)相邻帧垂直划痕中心位置的确定

如式(2)和式(3)所示,设式(2)和式(3)是前后相邻图像的灰度矩阵,设矩阵大小为 $m \times n$,且假设式(2)是没有垂直划痕

图像的灰度矩阵,式(3)是有垂直划痕图像的灰度矩阵,式(4)是式(3)减去式(2)的结果,即相邻帧的纵向微分差。统计 d 矩阵中的每一列大于给定阈值的个数,从而确定该列是不是划痕位置出现的可能列位置。结合单帧检测到的列位置和相邻帧检测到的列位置,最终确定划痕出现的位置。

$$f = \begin{pmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \cdots & f(1,n) \\ f(2,1) & f(2,2) & \cdots & f(2,n) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ f(m,1) & f(m,2) & \cdots & f(m,n) \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$g = \begin{pmatrix} g(1,1) & g(1,2) & \cdots & g(1,n) \\ g(2,1) & g(2,2) & \cdots & g(2,n) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ g(m,1) & g(m,2) & \cdots & g(m,n) \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$d = f - g = \begin{pmatrix} d(1,1) & d(1,2) & \cdots & d(1,n) \\ d(2,1) & d(2,2) & \cdots & d(2,n) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ d(m,1) & d(m,2) & \cdots & d(m,n) \end{pmatrix} \quad (4)$$

4.3 基于时空域特征检测与修复垂直划痕的算法

算法流程如下:

(1)读入原图像 fa , fb (相邻帧图像,其中,图像 fa 没有垂直划痕; fb 带有垂直划痕; fa 和 fb 均为大小 $m \times n$ 的图像)。

(2)求 fb 图像纵向微分差矩阵,记为矩阵 Mb (用后列减前列), Mb 大小为 $m \times n$ 。

(3)以列为序逐渐找出 Mb 矩阵中差值较大的列(给定一个阈值 Ta),求出每列中大于 Ta 的个数总和,记为 $S1$ 。如果 $S1$ 大于给定阈值 Tb ,则该列的所有元素记为 1;如果 $S1$ 小于或等于给定阈值 Tb ,则该列的所有元素记为 0,并记该矩阵为 Mc ,大小为 $m \times n$ 。

(4)求出相邻帧图像的像素差矩阵,令 $Md = fa - fb$,以列为单位对 Md 的每一列统计大于指定阈值 Tc 的个数总和,记为 $S2$ 。如果 $S2$ 大于给定阈值 Tb ,则该列的所有元素记为 1;如果 $S2$ 小于或等于给定阈值 Tb ,则该列的所有元素记为 0,并记该矩阵为 Me , Me 大小为 $m \times n$ 。

(5)计算 Mc & Me , 令 $Mf = Mc \& Me$, Mf 大小为 $m \times n$ 。

(6)找出 Mf 中非零列,记录非零列索引下标 j , j 就是垂直划痕中心所在的列位置。

(7)修复划痕所在列的像素值。

(8)显示修复垂直划痕后的图像。

5 实验结果与分析

通过实验证明该算法可以有效地检测旧电影中垂直划痕。图 4 是对图 3 用本算法检测与修复垂直划痕后的结果。在实验中发现不同阈值 Ta , Tb , Tc 选取对实验结果有一定的影响。一般来说,如果 Ta , Tc 的阈值能更加接近图像的灰度变化阈值,则 Tb 的值比较接近垂直划痕的长度,能更加准确地检测出划痕中心的位置。

与 Kokaram 提出的算法相比,该检测与修复算法具有运算量小和正确检测率高的优点,在整个运行过程中对单帧图像和相邻帧图像进行 2 次检测运算,即以列为单位逐列检测每列可能出现的划痕位置,而且通过结合时空域的特征来检

测图像中的垂直划痕可以降低错误检测率。



图 4 修复后的结果

6 结束语

本文通过对旧电影垂直划痕形成原因和特征的分析,结合垂直划痕相邻帧图像和单帧图像的时域和空域的特性,提出了一种垂直划痕检测算法。在介绍纵向微分运算基本原理的基础上提出了一种时空域相结合的垂直划痕检测与修复方法,实验结果表明,该算法能有效检测与修复旧电影中相邻帧出现的垂直划痕。

参考文献

- [1] Kokaram A C. Motion Picture Restoration: Digital Algorithms for Artefact Suppression in Degraded Motion Picture Film and Video[M]. Berlin, Germany: Springer, 1998.
- [2] Bruni V, Vitulano D. A Generalized Model for Scratch Detection[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(1): 44-50.
- [3] Joyeux L, Buisson O, Besserer B. Detection and Removal of Line Scratches in Motion Picture Films[C]//Proc. of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. [S. l.]: IEEE Press, 1999: 548-553.
- [4] Shih T K, Lin L H. Detection and Removal of Long Scratch Lines in Aged Films[C]//Proc. of IEEE International Conference on Multimedia & Expo. Toronto, Ontario, Canada: IEEE Press, 2006: 477-480.
- [5] Kao Yangta, Shih T K, Zhong Hsing-Ying, et al. Scratch Line Removal on Aged Films[C]//Proc. of the 9th IEEE International Symposium on Multimedia. [S. l.]: IEEE Press, 2007: 147-151.
- [6] Shih T K, Chang Rong-Chi, Chen Yuping. Motion Picture Inpainting on Aged Films[C]//Proc. of the ACM Multimedia Conference. [S. l.]: ACM Press, 2007: 319-322.
- [7] 陈 钊, 关景火, 徐 进, 等. 基于小波分解的电影胶片划痕损伤数字修复技术研究[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(11): 1695-1699.
- [8] 周 磊. 电影胶片修复及噪声处理关键技术的研究[D]. 上海: 上海交通大学图像通信与信息处理研究所, 2008.
- [9] 张红英, 彭启琮. 数字图像修复技术综述[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(1): 1-10.
- [10] 段汉根, 汪继文. 基于微分近似的图像修复[J]. 信息技术, 2007, (5): 25-27.

编辑 顾逸斐