

基于区别缺损对象的视频序列修复方法

刘春英 房庆云 胡维华

(杭州电子科技大学计算机学院 杭州 310018)

摘要 提出了一种基于区别缺损对象的视频序列修复算法。针对第一种缺损采用基于整体变分的空间修复方法;针对第二种缺损采用基于纹理合成的时空修复方法。前者对修复划痕和小斑块时采用的邻域信息进行了重新定位;后者根据视频序列的时间相关性,将匹配块的搜索限定在前后帧中以待修复块中心点为中心的 21×21 的范围内。实验结果表明,该算法适用于旧的影视资料的修复,可提高修复的效果和效率。

关键词 视频修复,划痕,整体变分,邻域,纹理合成

中图分类号 TP391.41 文献标识码 A

Restoration Method for Video Sequences Based on Distinguishing Damaged Objects

LIU Chun-ying FANG Qing-yun HU Wei-hua

(Department of Computer, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract A restoration method for video sequences based on distinguishing damaged objects was proposed. The restoration of the first damage is based on total variation algorithm, while the second damage is based on texture synthesis from samples with spatial-temporal correlation. For the former, the eight neighborhoods of target point in scratches and small speckle are repositioned. For the later, the search of match blocks is limited in the 21×21 range with repairing block-centered in front and back frames. The experimental results show that the method can improve effectively efficiency and effectiveness for video sequences' restoration. It is applicable for roboticized restoration of old film material.

Keywords Video restoration, Scratch, Total variation, Neighborhood, Texture synthesis

1 引言

早期的影视资料是以电影胶片作为存储介质的。年代久远、保存条件不够理想、转印播放次数过多以及胶片上的化学物质本身随时间在空气中的退化反应等,都会造成影片的损伤,主要表现为褪色、片基变形、粘连、霉菌繁殖、感光层会脱落等。而再次利用这些影片同样存在着划伤、灰尘沾染、走片不稳、画面闪烁、划痕、脏点、颗粒增多、影像退化、色彩混叠等诸多危险,因此,旧影视资料的修复工作迫在眉睫^[1]。

目前,数字视频修复算法大都由图像修复算法演变而来。近年来,数字图像修复技术的发展主要集中在两个领域:基于非纹理结构的图像修复和基于纹理结构的图像修复。前者主要用于修复数字图像中小尺度的破损,多采用基于高阶偏微分方程模型的修补算法,其主要思想是利用待修复区域的边缘信息,确定扩散信息和扩散方向,从区域边界各向异性地向边界内扩散。Bertalmio 等人^[2]提出了一种基于高阶偏微分方程模型的修补算法,这类算法通称为基于 PDE 的图像修补算法。其中,Chen 和 Shen^[3]通过扩展基于整体变分模型的图像去噪方法,提出了基于整体变分模型的图像修补算法,该算法通过变分方法求解最小化能量方程,在有图像噪声的情况下,对非纹理图像修复效果较好,修复速度也比较快。后者

主要用于修复纹理图像中较大尺度的破损,这类方法通称为基于样本的纹理合成(texture synthesis from samples)^[4]修复算法。其一般以图像块为修复单位,通过在已知区域的块采样,按照一定的顺序(如待修复块的优先权)对未知区域进行块的填充,极大地提高了修复的质量,同时也保持了大的结构特征,不过与基于 PDE 的修复方法相比其修复速度比较慢。

通过对旧的影视资料破损特征进行分析发现,旧的影视资料中的破损大多为垂直划痕、水平划痕以及小的斑点,少数帧的图像中会出现大面积的损毁。前者大多时间延续性较强,而后者大多只出现在其中某一帧的图像中,几乎没有时间延续性。针对旧的影视资料中的这种缺损特征,及以上两种修复方法的特点,本文提出了一种基于区别两种缺损对象的视频序列修复算法:对前一种缺损使用 TV 修复模型对其进行修复,由于该修复对象时间延续性较强,在该帧图像前后邻近的几帧图像中几乎没有可以利用的图像信息,因此该算法只在空间内进行;对后一种缺损则采用基于纹理合成的图像修复算法进行修复,匹配块的搜索根据视频图像序列的时间连续性,在该帧图像的前一帧和后一帧图像内进行,且搜索限定在待修复块中心点的 21×21 的范围内。

到稿日期:2011-09-05 返修日期:2011-12-23 本文受国家自然科学基金(61004117),浙江省自然科学基金(Y109718)资助。

刘春英(1975—),男,博士,副教授,主要研究方向为图形图像处理,E-mail:lcy@hdu.edu.cn;房庆云(1987—),女,硕士生,主要研究方向为数字图像处理;胡维华(1949—),男,博士,教授,主要研究方向为网络协议、图像处理、虚拟现实。

2 视频序列中划痕和斑块的修复方法

2.1 整体变分模型的图像修复原理

基于TV模型的图像修补算法,是由Chan等人^[3]根据Rudin等人^[5]提出的图像去噪模型^[6]推广来的。其主要是通过建立图像模型,根据整体变分原理,将图像建立的模型转化为约束最优化问题,再利用Lagrange乘子法进行求解,简要介绍如下:

记 Ω 为整个图像区域, D 表示信息丢失的待修补区域,则 $\Omega \setminus D$ 表示图像中未丢失信息的区域,如图1所示。

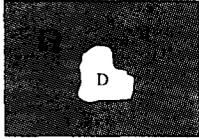


图1 图像修补示意图

在图像修复中,噪声污染的图像 u^0 大多满足加性关系 $u^0(x) = u(x) + n(x)$,其中 $n(x)$ 为均值为0、方差为 δ^2 的高斯白噪声。通过正规化方法处理得:

$$\min \left\{ \frac{1}{2} \|u - u^0\|^2 + \frac{\lambda}{2} R(u) \right\} \quad (1)$$

用 $TV = \int_{\Omega} |\nabla u| dx dy$ (整体变分)代替 $R(u)$ 得到新的能量函数如下:

$$g[u] = \left\{ \frac{1}{2} \|u - u^0\|^2 + \frac{\lambda}{2} \int_{\Omega} |\nabla u| dx dy \right\} \quad (2)$$

式中, ∇u 为梯度, λ 为拉格朗日乘子。

同时有约束条件:

$$\frac{1}{2} \|u - u^0\|^2 = \delta^2 \quad (3)$$

所以应用整体变分法对图像修复的过程实际上是在约束条件(3)的限制下,最小化图像能量函数(2)的过程。

本文中只考虑对破损部分的修复没有加入高斯噪声的干扰,则最小化式(2) $g[u]$ 即求得 $\frac{\lambda}{2} \int_{\Omega} |\nabla u| dx dy$ 的最小值。

如果 $\frac{\lambda}{2} \int_{\Omega} |\nabla u| dx dy$ 在 $u = u(x, y)$ 时取极值,则 $u = u(x, y)$ 在 Ω 域内满足欧拉公式,可以得到基于整体变分法的图像修复公式:

$$\operatorname{div} \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) = 0 \quad (4)$$

2.2 整体变分算法的实现^[7]

根据图像修复的整体变分模型式(4),本文采用半点格式法求解梯度,如图2所示,其考虑了待修复像素点八邻域的信息,使得修复效果更好。

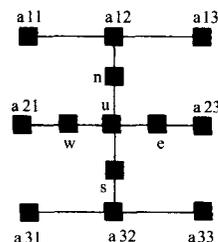


图2 半点格式法求梯度

如图2所示, n, w, s, e 分别表示点 $a_{12}, a_{21}, a_{32}, a_{23}$ 到点 u

的中点,其梯度值分别为:

$$\begin{aligned} |\nabla u_n| &= \frac{1}{h} \sqrt{(a_{12} - u)^2 + ((a_{11} - a_{13})/2)^2} \\ |\nabla u_e| &= \frac{1}{h} \sqrt{(a_{23} - u)^2 + ((a_{13} - a_{33})/2)^2} \\ |\nabla u_w| &= \frac{1}{h} \sqrt{(a_{21} - u)^2 + ((a_{31} - a_{11})/2)^2} \\ |\nabla u_s| &= \frac{1}{h} \sqrt{(a_{32} - u)^2 + ((a_{33} - a_{31})/2)^2} \end{aligned} \quad (5)$$

式中, h 为相邻两节点的间距,本文中取 $h=1$ 。

若记 $v = (v^1, v^2) = \frac{\nabla u}{|\nabla u|}$,其中 v^1, v^2 表示待修复点横向和纵向的分量,那么对式(4)进行离散化后有:

$$\nabla \cdot v = \frac{\partial v^1}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} \approx \frac{v_n^1 - v_w^1}{h} + \frac{v_s^2 - v_e^2}{h} \quad (6)$$

式中, n, s, w, e 分别表示待修复区域上、下、左、右4个方向,上式中的 $v_n^1, v_s^2, v_w^1, v_e^2$ 分别表示为:

$$\begin{aligned} v_n^1 &= \frac{1}{|\nabla u_n|} \left[\frac{\partial u}{\partial x} \right]_n = \frac{1}{|\nabla u_n|} \frac{a_{22}^{i-1} - a_{12}^{i-1}}{h} \\ v_s^2 &= \frac{1}{|\nabla u_s|} \left[\frac{\partial u}{\partial x} \right]_s = \frac{1}{|\nabla u_s|} \frac{a_{32}^{i-1} - a_{22}^{i-1}}{h} \\ v_w^1 &= \frac{1}{|\nabla u_w|} \left[\frac{\partial u}{\partial x} \right]_w = \frac{1}{|\nabla u_w|} \frac{a_{22}^{i-1} - a_{21}^{i-1}}{h} \\ v_e^2 &= \frac{1}{|\nabla u_e|} \left[\frac{\partial u}{\partial x} \right]_e = \frac{1}{|\nabla u_e|} \frac{a_{22}^{i-1} - a_{23}^{i-1}}{h} \end{aligned} \quad (7)$$

式中, i 表示迭代的次数。

将式(6)、式(7)及 $h=1$ 代入到式(4)中,则得到最后的结果:

$$u^{(i)} = \frac{\frac{1}{|\nabla u_n|} a_{12}^{(i-1)} + \frac{1}{|\nabla u_s|} a_{32}^{(i-1)} + \frac{1}{|\nabla u_w|} a_{23}^{(i-1)} + \frac{1}{|\nabla u_e|} a_{21}^{(i-1)}}{\frac{1}{|\nabla u_n|} + \frac{1}{|\nabla u_s|} + \frac{1}{|\nabla u_w|} + \frac{1}{|\nabla u_e|}} \quad (8)$$

2.3 改进的整体变分修复模型

本文主要将整体变分的图像修复模型用于旧的影视资料中垂直划痕、水平划痕和小的斑块的修复。针对旧的影视资料中这种类型的破损,本文的改进主要在以下两个方面。

2.3.1 待修复点周围八邻域像素点的选择

本文中以垂直划痕和小斑块为例来选择待修复点的八邻域。水平划痕则与垂直划痕中待修复点八邻域像素点的选择方法相似,只是方向不同。

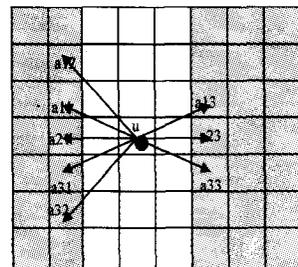


图3 垂直划痕中待修复点八邻域的选择

对于垂直划痕中的待修复点,根据垂直划痕的受损特征,其 n 和 s 两个方向的点的信息通常也是受损的。待修复点的八邻域信息点中 a_{11}, a_{21} 和 a_{31} 的选取分别沿水平方向向左延伸至未破损区域; a_{13}, a_{23} 和 a_{33} 的选取分别沿水平方向向右延伸至未破损区域,对于 a_{12} 和 a_{32} 的选取,若待修复点处在破损区域偏左或中间处,则水平向左延伸至未破损区域各向上向

下偏移的一个像素点;若待修复点处在破损区域偏右处,则水平向右延伸至未破损区域各向上向下偏移的一个像素点。如图3所示,图中灰色表示未破损区域,白色表示破损区域。

对于小斑块的修复,其八邻域像素点的选择则通过对待修复点向垂直、水平和45度、135度4个方向进行直线延伸,延伸直线与待修复区域边缘所交的像素点定为待修复点的八个邻域像素,如图4所示。

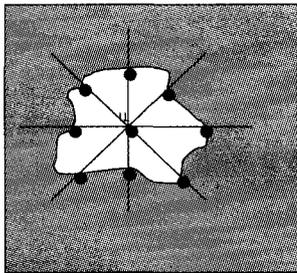


图4 小斑块中待修复点八邻域的选择

2.3.2 相关度系数

本文定义了相关度系数 r 这个概念,来表示目标点 u 与它的上、下、左、右4个修复参考点之间的关联程度。若某一方向上的 r 值大,表示目标点与这一方向上的修复参考点相关度大,反之表示相关度小。那么在修复计算过程中以 r 为权值, r 值大就会放大这一方向上的参考点的影响, r 小就会削弱这个方向参考点的影响。现以目标点 u 与上界点的相关度 r_1 为例, r_1 可以定义为:

$$r_1 = \frac{1}{k_1} \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4}} \quad (9)$$

式中,参数 k_1, k_2, k_3, k_4 分别为目标点 u 距上、下、左、右4个方向参考点的距离(在本文中距离取目标点与参考点间的相隔像素数)。同理可得目标点 u 其他3个参考点的相关度 r_2, r_3, r_4 。

将上述相关度系数带入到式(8)中即得到改进后的整体变分修复算法的计算公式:

$$u^{(t)} = \frac{\frac{r_1}{|\nabla u_n|} a_{12}^{(t-1)} + \frac{r_2}{|\nabla u_s|} a_{22}^{(t-1)} + \frac{r_3}{|\nabla u_w|} a_{23}^{(t-1)} + \frac{r_4}{|\nabla u_e|} a_{21}^{(t-1)}}{\frac{r_1}{|\nabla u_n|} + \frac{r_2}{|\nabla u_s|} + \frac{r_3}{|\nabla u_w|} + \frac{r_4}{|\nabla u_e|}} \quad (10)$$

2.4 基于纹理合成的视频修复原理

基于纹理合成的图像修复技术是图像修复技术中另外一个研究热点,近年来得到了很大的发展,其修复技术也日渐成熟,常用来修复图像中的大块缺损。基于纹理合成的图像修复方法在处理时进行全图搜索以寻找最匹配的块,不但可以填充任意大小的丢失块,还可以修复破损部分的细节,因此信息利用更为充分,从而可以处理较大区域的修复。首先在图像丢失块的边界上任选一像素点,并以该点为中心,设定一定大小的模板,比如 $3 \times 3, 9 \times 9$ 等;然后在整个已知区域内按照某种准则,寻找一个与该模板最为匹配的块;最后用最匹配块填充模板即可。最早,Criminisi等提出一种基于块的图像修补算法,其实质是直接采用纹理合成的方法来去除照片中的大物体,并得到了很好的效果。这种纹理合成主要由优先权计算、搜索最佳匹配块和复制3步组成:(1)计算优先权旨

在决定填充的次序,以此保证在纹理填充之前图像的线结构先被传播,这样就可以保证目标边界连通。(2)搜索是根据纹理的相似性在未破损区域找到最为匹配的块。(3)复制是将所选择的块复制到目标区域内的适当位置。(4)更新破损区域边界及边界上各点的优先权,并重复步骤(1)-(3)。

所以,从总体上看,纹理合成技术主要涉及合成采样、特征匹配和约束合成等3方面的问题。

基于纹理合成的影视资料的修复模型的具体实现细节:

(1)优先权的计算。这里优先权的计算要考虑两个因素:该目标模板中含有多少已知信息,以及包含有多少结构信息。尽量使具有较多已知信息和较多结构信息的区域的优先权最大。这里记以 p 为中心的目标纹理块为 ϕ_p , p 处在破损区域边界上,用 $C(p)$ 表示目标区域 ϕ_p 中包含的已知信息量, $D(p)$ 表示结构信息量。大多数基于纹理合成的图像修复算法中优先权定义为 $P(p) = C(p)D(p)$ 。文献[8]分析发现,随着填充的进行,置信度值迅速下降到零,使优先权的计算不可靠,导致错误的填充次序,进而影响修补效果。本文中优先权 $P(p)$ 定义为这两项的加权和^[9]:

$$P(p) = C(p) + \alpha D(p) \quad (11)$$

式中, α 的最优选择值为3,这样 $D(p)$ 在决定优先权上占有更为重要的地位,称 $C(p)$ 为置信度项, $D(p)$ 为数据项,它们分别定义为:

$$\begin{cases} C(p) = \frac{\sum_{q \in \phi_p \cap D} C(q)}{|\phi_p|} \\ D(p) = \frac{|\nabla I_p^\perp \cdot n_p|}{\beta} \end{cases} \quad (12)$$

式中, $|\phi_p|$ 为模板 ϕ_p 的面积,即像素点的个数; $C(q)$ 为像素点 q 的置信度,初始化如下:

$$C(q) = \begin{cases} 0, & q \in D \\ 1, & a \in \Omega \setminus D \end{cases} \quad (13)$$

式中, β 为归一化因子(如对常用的灰度图像, $\beta = 255$), n_p 为填充边缘上 p 点的法向量, ∇I_p^\perp 代表 p 点梯度方向的垂直方向。 ∇I_p^\perp 的计算公式为:

$$\nabla I_p^\perp = \frac{(-I_y, I_x)}{\sqrt{I_x^2 + I_y^2}} \quad (14)$$

式中, I_x 和 I_y 分别代表像素点 p 在 x 和 y 方向上的偏微分。通过反复试验,本文中模块大小取 9×9 像素点。

(2)最佳匹配块的搜索。本文根据数字图像的局部性原理,以及影视资料中大的缺损的空间性(一般只存在于帧图像中),将搜索范围限定在以待修复点 p 为中心的 11×11 的范围内,且在破损图像后一帧中搜索最佳匹配块。若后一帧图像中同一位置像素点也是破损的,再到前一帧中搜索。

3 实验结果及评价

本文采用 Matlab 7.1 进行编程,所有试验均在 Intel(R) P(R) 1.80GHz CPU, 1.99 GB 内存的机器上完成(见图5-图9)。



图5 从电影《鸡毛信》中截取的3帧视频

综合以上 4 个实验可以看出,我们提出的改进算法在保证 I/O 带宽和延迟响应的基础上很大程度上减少了缓存有效置换次数,提高了缓存效率。

结束语 本文分析了 Xen4. 1 中两个调度算法的优点及不足,分析了 3 种运行任务的特点及要求。针对有 I/O 任务和多计算密集型任务的场景提出了基于 Credit 算法的优化措施:频繁调度发现 I/O 任务并优先执行已消耗时间最少的 I/O 任务,记录缓存关联计算密集型任务,保持运行时缓存的一致性。最后将改进方法应用于 Xen4. 1 中,通过实验证明本方法在保证 I/O 响应和带宽性能的基础上有效提高了缓存性能。

参考文献

[1] Vaquero L M, Rodero-Merino L, Morán D. Locking the sky:a survey on IaaS cloud security[J]. Computing, 2011, 91 (1):93-118
 [2] Hypervisor[EB/OL]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Hypervisor>
 [3] Ongaro D, Cox A L, Rixner S. Scheduling I/O in virtual machine

monitors[C]//VEE. 2008:1-10
 [4] Kazempour V, Kamali A, Fedorova A. AASH: an asymmetry-aware scheduler for hypervisors[C]//VEE. 2010:85-96
 [5] Cherkasova L, Gupta D, Vahdat A. Comparison of the three CPU schedulers in Xen[J]. SIGMETRICS Performance Evaluation Review, 2007, 35(2):42-51
 [6] Dunlap G W. Scheduler development update[C]//Xen Summit. Asia, 2009
 [7] Xen[EB/OL]. <http://xen.org>
 [8] Barham P, Dragovic B, Fraser K, et al. Xen and the art of virtualization[C]//SOSP. 2003:164-177
 [9] linux2. 6. 39 ChangeLog[EB/OL]. <http://www.kernel.org/pub/linux/kernel/v2.6/ChangeLog-2.6.39.3>
 [10] 石磊, 邹德清, 金海. Xen 虚拟化技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2009
 [11] CreditScheduler[EB/OL]. <http://wiki.xensource.com/xenwiki/CreditScheduler?highlight=%28credit%29>
 [12] Credit2_Scheduler[EB/OL]. http://wiki.xensource.com/xenwiki/Credit2_Scheduler_Development
 [13] Netper[EB/OL]. <http://www.netperf.org/netperf/>

(上接第 269 页)

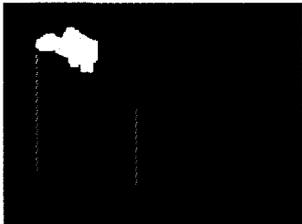


图 6 破损区域的模板(基于区分两种破损对象)



图 7 用整体变分算法修复(用时 0.891s)



图 8 用基于纹理合成的算法修



图 9 本文方法修复效果(用时 35.051s)

结束语 基于对旧的影视资料破损特征的深入分析,本文提出了一种基于区别两种缺损对象的视频序列修复算法:对划痕及小斑块的缺损使用 TV 修复模型进行修复,由于该修复对象时间延续性较强,在该帧图像前后邻近的几帧图像中几乎没有可以利用的图像信息,因此该算法只在空间内进行;对大的斑块的缺损则采用基于纹理合成的图像修复算法进行修复,匹配块的搜索根据视频图像序列的时间连续性在该帧图像的前一帧和后一帧图像内进行,且搜索限定在待修复块中心点的 21×21 的范围内。以上实验结果表明,这种修

复算法大大提高了修复的速度及效果。目前,现有的数字视频修复算法仍无法很好地解决视频修复问题,在破损检测、稳定技术、亮度调整等方面仍需很大的创新与改进。

参考文献

[1] 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, 2006
 [2] Bertalmio M, Sapiro G, Caselles V, et al. Image inpainting[C]//Proceedings of ACM SIGGRAPH. New York: ACM Press, 2000:417-424
 [3] Chan T F, Shen J H. Mathematical models for local non-texture inpainting[J]. SIAM Journal on Applied Mathematics, 2001, 62 (3):1019-1043
 [4] Criminisi A, Perez P, Toyama K. Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting[J]. IEEE Transactions on image processing, 2004, 13(9):1200-1212
 [5] Rudin L, Osher S. Nonlinear total variation based noise removal algorithms[J]. Physics D, 1992:259-268
 [6] 吴玉莲, 冯象初. 基于非局部 TV 正则化的波原子去噪算法[J]. 计算机科学, 2011, 38(6):286-287
 [7] 周密. 基于整体变分法的数字图像修复技术研究[D]. 西安: 西北大学, 2008
 [8] Cheng W H, Hsieh C W, Lin S K, et al. Robust algorithm for exemplar-based image inpainting[C]//The International Conference on Computer Graphics, Imaging and Vision, 2005:64-69
 [9] 吴亚东, 张红英, 吴斌. 数字图像修复技术[M]. 北京: 科学出版社, 2010:78-104