

自适应直方图均衡化改进的全变分图像修复^①

任 慧, 李新华, 朱逸婷

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 合肥 230039)

摘 要: 为了解决全变分(TV)模型修复窄带图像缺陷时产生的视觉不连通的问题, 改善图像修复的效果. 采用可以强化细节的自适应直方图均衡化(CLAHE)操作来扩大图像的动态范围; 在全变分变换后对图像不连通区域做形态学运算来平滑并消除图像中的孤立点. 文章给出了算法原理和实现步骤, 实验结果表明修复之后的图像峰值信噪比提高, 视觉连通效果较好.

关键词: 全变分(TV)模型; 强化细节; 自适应直方图均衡化; 形态学; 图像修复

Self-adapting Method for Image Restoration Based on CLAHE and Total Variation

REN Hui, LI Xin-Hua, ZHU Yi-Ting

(College of Electrical and Information Engineering, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: In order to solve the visual discontinuous phenomenon that produced by TV method, improve the effect of image restoration, adopts a histogram equalization (CLAHE) operation which can strengthen the details and expand dynamic range of the image. After the TV transformation, uses a morphology operation to smooth and eliminate isolated points of the image. This paper presents the algorithm principle and implementation steps, the experimental results show that, after repair, the whole image has a better visual repairing effect and a high PSNR.

Key words: total variation(TV) model; strengthen the details; CLAHE; morphological; image defect restoration

图像修复是图像处理领域重要的一支, 根据图像的已有信息还原出损失的信息对于现实生活有着重要的意义. 根据图像受损区域的大小不同, 图像修复的问题可以分成两类, 第一类是基于样本纹理生成大图像区域的纹理合成问题, 而另外一种就是修复图片中较小的划痕和孔洞问题. 其中纹理合成方法在目标物的移除方面有着较为广泛的应用, 如基于样本的区域填充和目标物移除的图像修复方法^[1]. 电影与视频序列中的轴线的去除^[2-5]则属于图像中划痕的修复问题. 图像修复有很多的方法^[6-10]可以实现. 各种修复的方法在修复特定的图像的时候都能取得较为明显的修复结果, 但每种方法都存在着各自的缺陷, 而本文介绍的就是一种根据全变分法的缺点而改进的一种新方法.

为了解决全变分法修复窄带图像时会产生视觉不连通问题, 同时为了提高图像的峰值信噪比(PSNR),

本文将强化细节的直方图均衡化(CLAHE)与全变分模型及形态学滤波结合起来, 提出一种图像修复的新方法. 实验结果表明, 本文提出的算法能够很好的抑制图像噪声, 改善图像的修复效果.

1 全变分(TV)模型

全变分修复图像的方法是一种基于偏微分方程的图像修复方法, 其修复过程是一个沿着图像轮廓和边缘朝着受损区域内部扩散的过程. 修复的方向为图像的梯度方向.

如图 1^[3]所示为图像受损区域及其邻域的示意图, 其中 D 为图像中待修复区域, E 为待修复区域周围完好的相邻区域, $D \cup E$ 为整幅图像区域.

根据文献[3], 全变分(TV)模型的数学表达式如下:

$$\min J_{\lambda}(I) = \int_{E \cup D} |\nabla I| dx dy + \frac{\lambda}{2} \int_E |I - I_0|^2 dx dy \quad (1)$$

① 基金项目:安徽省教育厅基金(KJ2007B069);安徽大学“211 工程”学术创新团队基金(KJTD007A)

收稿时间:2012-11-13;收到修改稿时间:2012-12-21

公式(1)中, I 为原始图像, I_0 为破损图像, λ 为拉格朗日乘子, \min 表示求最小值运算. 公式(1)分为两个部分, 第一部分的作用是平滑修复的区域, 而第二项的作用这是为了保持图像修复的结果与原图像的一致性.

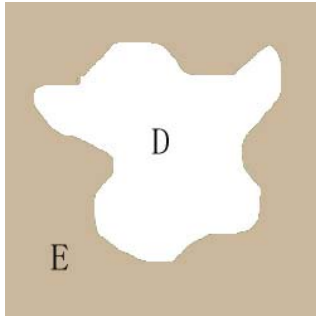


图 1 图像受损区域及其邻域

2 本文算法描述

2.1 强化细节的直方图均衡化

为了扩大图像的动态范围, 该文首先对受损图像做直方图均衡化操作. 针对普通的直方图均衡化操作虽然可以扩大图像的动态范围, 却会使图像损失部分细节的问题, 本文采用一种既可以强化图像的细节又可以扩大图像的动态范围的直方图均衡化操作来处理受损图像.

强化细节的直方图均衡化操作的实现步骤可以简单的分为三步: 一, 保存图像的所有细节. 二, 对图像进行直方图均衡化. 三, 将图像细节加在处理过后的图像上. 根据文献[11], 其原理可以用以下公式来说明:

$$x'_{i,j} = \begin{cases} H(x_{i,j}) + k(x_{i,j} - m_{i,j}) & 0 \leq x_{i,j} \leq 255 \\ H(x_{i,j}) & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

在公式(2)中, $x_{i,j}$ 为原始图像的灰度值, $x'_{i,j}$ 为处理后的图像灰度值. $m_{i,j}$ 为以点 $x_{i,j}$ 为中心的图像的邻域内所有像素点的灰度均值. $H(x_{i,j})$ 表示对点 $x_{i,j}$ 进行直方图均衡化操作, 而 $k(x_{i,j} - m_{i,j})$ 则用于增强所选图像的局部对比度即强化图像的细节, 其控制的有效区间在 $[0 \sim 255]$ 之间.

在公式(2)中, 为自适应参量, 通过自适应改变的取值, 可以在增强图像细节同时抑制掉图像中的背景噪声. 为了实现这个目的, 将参量的表达式定义为:

$$k = k' \left[\left(\frac{\sigma_{i,j}^2}{\sigma_n^2} \right) - 1 \right] \quad (3)$$

在公式(3)中, $\sigma_{i,j}^2$ 为一个选定的大小为 $n \times n$ 方形窗 W 内的灰度方差, σ_n^2 为整幅图像的噪声方差, k' 是根据所选取的图像的实际噪声状况决定的比例系数, 其数值不宜过小也不宜过大.

由于图像邻域方差 $\sigma_{i,j}^2$ 总是大于或等于整幅图像的噪声方差, 所以 $\left(\frac{\sigma_{i,j}^2}{\sigma_n^2} \right)$ 的值大于等于 1. 当 $\sigma_{i,j}^2 = \sigma_n^2$ 时, 也就是在选定的操作窗内无图像细节存在时, (3)式的结果为零, 由(2)式可知, 图像邻域内的中心象素点上只会进行直方图增强操作. 而当 $\sigma_{i,j}^2 > \sigma_n^2$ 时, 即方形窗领域内有图像细节存在时, 令 k' 值变大, 图像细节被增强, 由此可见公式(3)可以满足既增强图像细节又抑制图像中的噪声的目的.

将公式(3)带入公式(1), 强化细节的自适应直方图均衡化的数学表达式可以表示成如下形式:

$$x'_{i,j} = \begin{cases} H(x_{i,j}) + k' \left[\left(\frac{\sigma_{i,j}^2}{\sigma_n^2} \right) - 1 \right] (x_{i,j} - m_{i,j}) & 0 \leq x'_{i,j} \leq 255 \\ H(x_{i,j}) & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

2.2 全变分(TV)变换

根据变分原理, 求解式(1)可等价于求其解对应的 Euler-Lagrange 方程, 即求解方程

$$-div \left(\frac{\nabla I}{|\nabla I|} \right) + \lambda_E (I - I_0) = 0 \quad (5)$$

在公式(5)中, $\lambda_E = \begin{cases} \lambda, (x, y \in E) \\ 0, (x, y \in D) \end{cases}$, $div \left(\frac{\nabla I}{|\nabla I|} \right)$ 为扩散项, $\frac{1}{|\nabla I|}$ 为扩散系数, 其大小只依赖于各点的梯度值. 在当前点与邻点的梯度较小时, 扩散系数会较大, 当前点与邻近点会产生平滑效果; 在当前点与邻近点的梯度较大时, 扩散系数会较小, 图像中的点会基本保持当前点的数值.

2.3 形态学运算

由于全变分模型在修复图像的时候会产生视觉上的不连通问题, 为了获得更好的视觉效果, 我们用形态学运算来解决这个问题.

数学上的形态学运算^[12]可以分为膨胀和腐蚀两部分, 它们都是用一个结构元素所构成的集合来控制的操作, 其中膨胀操作是一个加长变粗的操作, 而腐蚀则刚好相反, 是一个收缩细化操作. 形态学的开运算不仅可以删除不包含结构元素的区域, 还可以平滑对

象轮廓, 消除对象中细小的毛刺和孤立点, 所以对视觉不连通的图像进行形态学开运算能够很好的改善图像的视觉效果.

由于形态学的腐蚀和膨胀操作在平滑图像的同时也不可避免的消除了图像中的小部分, 因此不可避免的会造成图像的峰值信噪比降低. 为了更好的保持图像的峰值信噪比, 在实验中, 我们采取了通过读取不连续点的坐标确定各个不连通的局部区域的位置, 并在局部区域开运算的方法来改善实验效果. 实验结果表明, 自适应区域形态学运算可以既保持图像的信噪比又能改善图像的连通效果.

2.4 算法步骤

步骤 1: 读入受损图像, 根据图像的灰度值信息确定图像的掩模信息并绘制掩模图.

步骤 2: 确定自适应均衡化操作所需要的方形窗 W 的大小(本文选择的窗体大小为 (5×5))和比例系数 k' 的值.

步骤 3: 计算窗内的噪声方差 $\sigma_{i,j}^2$ 以及整幅图像的噪声方差 σ_n^2 并计算两个方差的比值, 带入公式(3)中求取自适应选取 k 的值, 强化并保存图像中的细节.

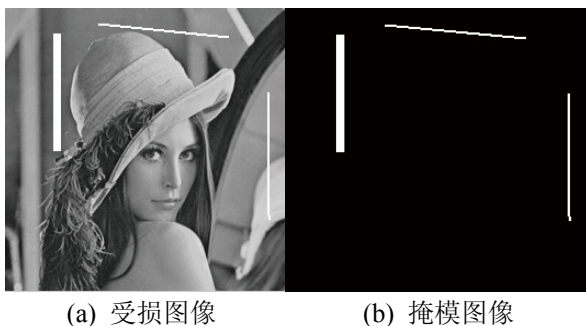
步骤 4: 对图像进行直方图均衡化运算后加上步骤 3 所保存的图像细节, 即计算出公式(4)所表示的 $x'_{i,j}$.

步骤 5: 根据步骤 1 提取的受损图像的掩模信息, 确定图像的受损区域, 并记录受损区域边界点的坐标. 根据变分原理, 将图像按照公式(5)做变换, 然后做迭代运算.

步骤 6: 根据步骤 5 的实验结果记录不连通区域的点的坐标, 确定不连通的局部区域, 并在不连通区域内做形态学开运算消除图像中的孤立点.

3 实验结果及分析

实验将该文提出的算法与全变分法进行了比较, 文中给出了两组实验图片, 如图 4, 图 5 所示.



(c) TV 法修复结果 (d) 该文算法修复结果
图 4 实验一



(a) 受损图像 (b) 掩模图像



(c) TV 法修复结果 (d) 该文算法修复结果
图 5 实验二

从图 4(c)和图 5(c)中我们可以看到, 用 TV 法修复图像, 当受损区域的宽度超过一定的限度时, 会产生视觉不连通的现象, 而本文算法则可以取得更好的实验效果. 为了更好的比较两种算法, 本文给出了两种算法修复的图像的峰值信噪比, 如表 1 所示.

表 1 两种算法的实验结果对比

实验图片	PSNR	
	TV 法	本文算法
Lena	11.4480	12.6270
Boat	11.9287	13.2457
Babara	12.3075	13.3675
Cameraman	10.1105	11.4507

4 结束语

该文提出了一种将强化细节的直方图均衡化与全

变分模型及形态学运算相结合的图像缺陷修复方法. 实验结果表明, 该文算法可以有效的抑制噪声提高图像的峰值信噪比, 并且能够取得更好的视觉连通效果. 需要说明的是, 该文算法适用于窄带划痕及孔洞缺陷修复, 当图像缺陷面积较大时, 图像修复效果较差, 峰值信噪比降低.

参考文献

- 1 Criminisi A, Perez P, Toyama K. Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(9):1200-1212.
- 2 Theis O, Kohler R. Automatic film restoration: metadata driven detection and removal of scratch and dirt. 14th ITG Conference on Image Processing, 2011:1-4.
- 3 Liu CY, Fang QY, Hu WH. Improved removal method of scratches in video sequences. International Conference on Multimedia Technology(ICMT), 2011: 3555-3558.
- 4 Chishima K, Arakawa K. A method of scratch removal from old movie film using variant window by hough transform. 9th International Symposium on Communications and Information Technology, 2009: 1559-1563.
- 5 Zhang HY, Wu YD. An efficient scratches detection and inpainting algorithm for old film restoration. International Conference on Information Technology and Computer Science, 2009: 5-78.
- 6 Michallovich OV. An iterative shrinkage approach to total-variation image restoration. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(5): 1281-1299.
- 7 Bresson X, Chan TF, Vese LA. Nonlocal Mumford-Shah regularizers for color image restoration. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(6): 1583-1598.
- 8 Vijaykumar VR. Decision based adaptive median filter to remove blotches, scratches, streaks, stripes and impulse noise in images. 17th IEEE International Conference on Image Processing, 2010: 117-120.
- 9 Farid MS, Khan H, Mahood A. Image inpainting based on pyramids. 2010 IEEE 10th International Conference on Signal Processing (ICSP), 2010:711-715.
- 10 Farid MS, Khan H. Image inpainting using dynamic weighted kernels. 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology, 2010: 252-255.
- 11 宋刚,刘瑶华.一种能强化细节的直方图均衡法.山东工业大学学报(自然科学版),1999, 29(1):81-93.
- 12 Rafael CG, Richard EW, Steven LE. 数字图像处理.第2版.北京.电子工业出版社,2005.

(上接第 59 页)

图像提取算法的纰漏, 在实时图像和 SD 卡回放存储图像的综合分析下, 详细的判别出图像提取算法在赛道各个位置的具体响应, 避免了以偏概全的算法设计.

6 结束语

本文研究了以 TFT 的彩屏液晶作为显示器件的手持智能车调试平台的总体方案. 在确定总体方案的同时, 给出了实现此总体方案的具体方法. 通过两块单片机的相互配合, 解决了主控芯片和调试所用芯片矛盾的问题, 体现了在较低成本系统中 TFT 的应用. 以彩屏模块的扩展开发的调试彩屏电路板, 为摄像头智能车快速调试的实现提供了平台. 此外, 彩屏设计只

需调试时应用, 正式比赛时可拆卸, 不需要改变主机体系结构和系统设计, 更不会增加车体负担. 该系统体积小, 便于携带, 操作简单, 具有很高的应用价值和广阔的发展空间.

参考文献

- 1 王建,张晓炜,杨锦,等.基于 SD 卡的智能车调试系统设计.工业控制计算,2010,23(8):48-49.
- 2 李钢,王飞.STM32 直接驱动 RGB 接口的 TFT 数字彩屏设计.技术纵横,2010,8:28-30.
- 3 卓晴,黄开胜,邵贝贝,等.学做智能车.北京:北京航空航天大学出版社,2007.