

文章编号:1001-9081(2007)09-2114-03

单通道双谱夜视系统中的图像修复及消噪技术

张 闯,柏连发,张 毅

(南京理工大学 电子工程与光电技术学院, 南京 210094)

(zhch_76@163.com)

摘 要:基于单通道双谱夜视系统中对图像修复的需要,提出了一种基于水平集的图像修复及消噪技术。在阐述单通道双谱夜视系统工作原理的基础上,结合系统的实时性要求及待修复微光条纹图像的特点,设计了处理速度高的水平集修复算法;考虑微光图像的噪声对修复结果的影响,在修复的同时加入了热传导滤波方法。实验结果表明,该算法能够对微光条纹图像进行实时且有效的修复。

关键词:微光条纹图像;图像修复;水平集;图像消噪;热传导方程

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Image inpainting and denoising technique in single-channel dual-spectrum night vision system

ZHANG Chuang, BAI Lian-fa, ZHANG Yi

(School of Electronic Engineering and Optoelectronic Technology,

Nanjing University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu 210094, China)

Abstract: Based on the image inpainting need of single-channel dual-spectrum night vision system, an image inpainting and denoising technique based on the levelset was proposed. The levelset inpainting algorithm with high speed was designed by simply illuminating the working theory of single-channel dual-spectrum night vision system, its real time need and characteristics of waiting inpainting low light level stripe images. Considering the effect of noise on inpainting results, the method of heat conduction filtering was added to inpainting process. Experiments and results analysis have shown that low light level stripe images can be inpainted and denoised effectively by using the image inpainting and denoising algorithm based on levelset real-time.

Key words: low light level stripe image; image inpainting; levelset; image denoising; heat conduction equation

为了提高景物的分辨率和目标的识别概率,目前夜视领域多采用不同波段成像系统的信息融合技术,例如微光与红外^[1]、多传感器融合^[2]等。在据此建立的双通道夜视系统中,就是将双通道的图像经过融合来提高分辨率和目标的识别概率的。但是双通道夜视系统由于两个通道成像机理不同,以及视差的存在,融合前的配准工作成为难题,影响了夜视系统的发展。采用单通道双谱微光夜视技术可以解决存在于双通道夜视系统中的配准难、实时性差及成本高的问题。本文在简要阐述单通道双谱微光夜视系统原理的基础上,着重分析了基于水平集的微光全波条纹图像及微光短波条纹图像的修复及消噪方法。

标的识别概率并避免双通道方法的配准难、实时性差及成本高的问题。

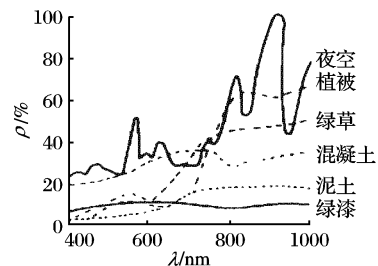


图1 夜天光分布及几种典型材料的光谱反射特性

1.2 分谱滤光膜

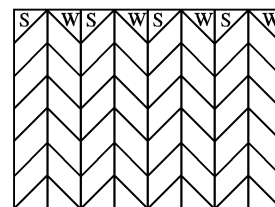


图2 分谱滤光膜

分析图1所示的光谱特性,进行光谱分割,可获得目标与背景的对比如增强效果。650 nm 之前的光谱信息可以准确

1 单通道双谱夜视系统

1.1 系统原理

单通道双谱微光夜视系统的设计核心思想就是通过分谱滤光膜将如图1所示的夜天自然辐射光谱进行分割,选择光谱分割点为650 nm,即将单通道微光所得到的图像分成具有不同光谱特性的微光全波条纹图像和微光短波条纹图像,对微光全波条纹图像和微光短波条纹图像进行补偿后,采用图像融合及彩色空间映射的方法得到彩色夜视图像,以提高目

收稿日期:2007-03-15;修回日期:2007-05-31。 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60572107)。

作者简介:张闯(1976-),女,河北唐山人,博士研究生,主要研究方向:图像与信息处理; 柏连发(1965-),男,山东临沂人,教授,博士,主要研究方向:光电探测与成像、光电信息(图像)处理; 张毅(1966-),男,江苏镇江人,高级工程师,博士,主要研究方向:工业控制、光电信息工程、显示工程。

的提供混凝土建筑物的位置,将其与泥土、草木、植被等区别开来;650 nm 之后的光谱信息可以从灰度上进一步区分植被、绿草、混凝土、泥土和绿漆。但是微光的光强比较弱,要制作完全满足这种条件的滤光片,会造成很大的光损失,再者这种滤光片很难制作。因此,在不影响双谱融合对比度增强效果的前提下,采用图 2 所示的滤光膜。其中全波段(W)直接透过整个光电阴极 S25 的光谱响应范围;短波段(S)透过仅包括 400 ~ 650 nm 的短波信息。

2 基于水平集的微光条纹图像修复

2.1 微光条纹图像

经过如图 2 所示的分谱滤光膜,并且经过拆分后得到的理想微光条纹图像如图 3、4 所示,图 3 中的条纹宽度为 5 个像素,图 4 中的条纹宽度为 10 个像素。

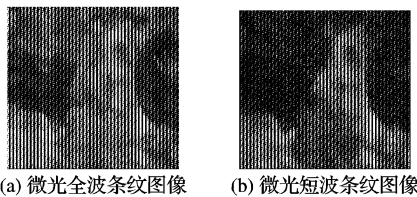


图 3 条纹宽度为 5 个像素的微光条纹图像

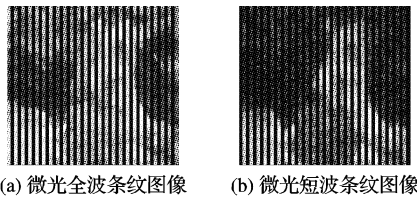


图 4 条纹宽度为 10 个像素的微光条纹图像

2.2 基于水平集的修复算法

图像修复就是将数字图像中损坏的部分用一定的方式修补起来,使之成为一幅完整的图像。图像修复在图像处理、图形分析、电影工业、图像传输中有着广泛的应用,例如在数字图像、照片和老电影中的划痕去除,图像中的文字擦除,遮挡去除,图像中特定目标的消除以及图像中炫目部分的去除。图像修复的方法主要有贝叶斯方法^[3]、模板匹配方法^[4]、偏微分方法^[5,6],以及基于水平线的方法等。考虑单通道双谱夜视系统的实时性问题,基于偏微分方程和扩散的方法,速度太慢;基于水平线修复方法能够快速实现,所以本文采用基于水平线的修复方法^[7]。

记 $u(x)$ 为图像的灰度函数,则图像的水平线定义为水平集 $X_\lambda u = \{x, u(x) \geq \lambda\}$ 的边界。基于 Euler 弹性的图像水平线模型为:

$$E_l(u) = \int |\nabla u| \left\{ \alpha + \beta \left[\text{div} \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) \right]^2 \right\} dx$$

对条纹区域由两边向中间,一列一列地进行插值,以达到把水平线逐步地光滑延伸进去的目的。对修复区域内一点 i ,根据 i 的位置定义 $U(i)$ 为一个包括 i 点的邻域, i 点在邻域中的位置及邻域的大小由 i 在修复区域内的位置来决定。

基本算法描述为:

计算 $U(i)$ 内每一个已知像素点的水平线方向;

计算 $U(i)$ 这些已知像素点的水平线方向的中值,并把这个方向当作 i 的水平线方向;

沿这个方向在 $U(i)$ 内查找已知的像素点,计算这几个像素的灰度平均值,作为对 U_i 的灰度估计值。

2.3 修复实验

根据上述水平集修补方法对掩膜微光全波图像和掩膜微光短波图像进行了修复,掩膜图像及修复结果如图 5、6 所示,图 5 为掩膜宽度为 5 个像素时的修复结果,图 6 为掩膜宽度为 10 个像素时的修复结果。从修复结果不难看出,由于微光图像的严重噪声,使得修复结果不够理想,能够明显的看出修复过的痕迹。

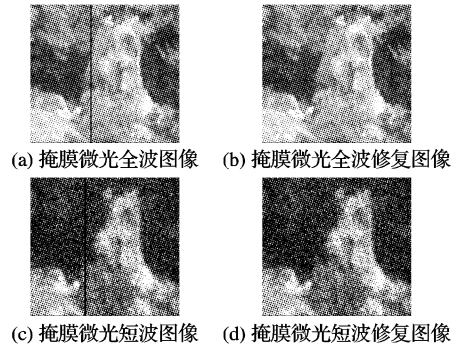


图 5 掩膜宽度为 5 个像素时的修复结果

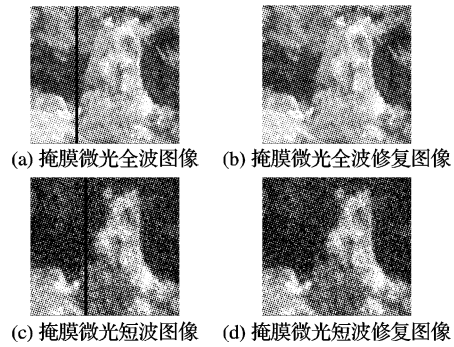


图 6 掩膜宽度为 10 个像素时的修复结果

3 微光条纹图像的修复及消噪方法

3.1 热传导消噪

微光图像的噪声特点为细小、微弱的颗粒性亮点闪烁,针对这种噪声特点,可以选择热传导方程滤波法^[8]。

假设一个物理量是空间位置 (x, y, z) 和时间 t 的函数,表示为 $u = u(t, x, y, z)$,在物体内部不提供热源的条件下,物理量各个时刻的温度可以表示为:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

其中 $\alpha > 0$,此式被称为热传导方程,有时也被称为扩散方程。

令 $g(x)$ 是一个正的,有紧支集的三次连续可微的实函数,即 $g(x) \in C_0^3(R^N)$,同时还满足以下几个正规化条件:

- 1) $\int_{R^N} g(x) dx = 1$;
- 2) 对于任何的 $i, j = 1, \dots, N$ 有:

$$\int_{R^N} x_i g(x) dx = 0 = \int_{R^N} x_i x_j g(x) dx$$

$$\int_{R^N} x_i^2 g(x) dx = \int_{R^N} x_j^2 g(x) dx = 2$$

则对于 $\forall t > 0$ 和任意实数列 h 以及整数 n ,当 $t = nh^2$ 且 $n \rightarrow \infty$ 时,有 $(g_h(x))^{n*} \rightarrow \frac{1}{(4\pi t)^{\frac{N}{2}}} e^{-\frac{|x|^2}{4t}}$ 。

这个收敛性在 $L^2(R^N)$ 空间逐点适用。其中 $(g)^{n*} = g \cdot g \cdots g$,表示 g 的 n 次卷积。

所以对于每个原始有界图像 $u_0(x)$,定义 $L_h u_0 = g_h \cdot u_0$,

可进一步得到 $(L_n)^N u_0 \rightarrow T_t u_0$, 这里, $(T_t u_0)(x) = u(t, x)$, $u(t, x)$ 是一个热传导方程初值问题的解:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \Delta u \\ u(0, x) = u_0(x) \end{cases}$$

由上述讨论可知,如果把需要去噪的图像 u_0 看作是热传导方程在零时刻的初始条件,那么对于任何一个 t ,解 $u(t, x)$ 都是某一个线性滤波图像序列的极限,例如这个序列可以取为:

$$\{M_n^n u_0\}$$

其中: $h_n = \sqrt{\frac{t}{n}}$. 称这个滤波器为热传导方程滤波器。

求 t 时刻解的离散算法为:

将 $\frac{\partial u}{\partial t} = \Delta u$ 的左边转化为差分的形式, $\frac{u_t - u_0}{t} = \Delta u_0$, 则

$u_t = u_0 + t\Delta u_0$, 针对每个像素 (i, j) 计算:

$$(u_t)_{i,j} = (u_0)_{i,j} + t(\Delta u_0)_{i,j}$$

其中:

$$(\Delta u_0)_{i,j} = (u_{xx})_{i,j} + (u_{yy})_{i,j} = ((u_x)_x)_{i,j} + ((u_y)_y)_{i,j}$$

3.2 修复及消噪算法

由于在修复和消噪的计算中都涉及到像素的处理,所以在消噪的同时进行修复可以减少重复计算提高算法的速度,以达到算法实时实现的目的。

首先读入微光条纹图像,判断读入图像中的像素是否属于待修补区域,如果属于待修补区域,则根据修补方法的需要确定参与修补的已知像素的位置,并判断这些已知像素是否已经经过滤波计算,如果没有经过滤波计算,则对这些已知像素进行滤波计算,并保存滤波结果;如果读入的像素不属于待修补区域,则直接对该像素进行滤波计算,并保存滤波结果;最后根据水平集修补算法,对待修补区域利用已经滤波过的像素值进行修补,最后输出修补后的图像。

4 实验与结果分析

4.1 实验结果



(a) 微光全波原图 (b) 5个像素修复结果 (c) 10个像素修复结果
图7 微光全波条纹图像的修复结果



(a) 微光短波原图 (b) 5个像素修复结果 (c) 10个像素修复结果
图8 微光短波条纹图像的修复结果

图7、8所示为利用文中所述方法对微光全波条纹图像及微光短波条纹图像进行消噪修复的结果,条纹的宽度分别为5个像素和10个像素,图中的微光全波原图是在不加滤光膜时采集的图像,微光短波原图是全部加上S条纹滤光膜时采

集的图像。通过对图7、8的观察可知,修复后的图像基本保存了原图的信息,并且将微光图像的噪声进行了有效的消除。

4.2 结果分析

图7、8中的修复结果与原图的比较及逼近程度列于表1。其中信息熵值的大小表征图像所包含的平均信息熵的多少;交叉熵用来度量两幅图像间的差异,交叉熵越小,就表示图像间的差异越小;互信息表示两幅图像之间的模糊度,越大表示两幅图像的模糊度越小,即两幅图像越接近;均方根误差表示图像的逼近程度,图像的均方根误差越小表明结果图像越逼近标准参考图像;峰值信噪比是峰值均方误差的等效表示形式,峰值信噪比越高表示图像质量越高。

表1 修复结果质量评价

像质评价标准	微光全波原图	全波修补结果		微光短波原图	短波修补结果	
		5个像素	10个像素		5个像素	10个像素
信息熵	5.4365	5.3701	5.3601	5.4044	5.3446	5.3364
交叉熵		0.0448	0.0507		0.16085	0.16234
平均互信息		10.186	8.803		93.147	88.91
均方根误差		0.1506	0.1624		0.2645	0.2738
峰值信噪比		47.938	46.428		42.101	41.406

观察图7、8,以及表1可知,修复后的图像保存了原图中的大部分信息,并且5个像素宽度的修复结果优于10个像素宽度的修复结果,更加逼近于原图。

实验在PC机上利用软件运行,PC机的配置为主频2.4GHz,内存256MB,修补一幅458×493的图像,耗时约为5s。当用TMS320DM642芯片进行实时处理实验时,数据不会堆积,满足系统的实时性要求。

5 结语

基于水平集的图像修复及热传导滤波方法,在单通道双谱夜视系统的图像修复及消噪中,以处理的实时性为目的,进行了算法设计及实验研究,实验结果表明,该算法能够在图像修复的同时进行图像的消噪,并且具有良好的实时性。

参考文献:

- [1] JOHNSON C B, SINHA D, LAPLANTE P A. Low-light-level and real-time imaging systems, components, and applications [A]. Proceedings of SPIE. [S. l.]: SPIE-International Society for Optical Engine, 2002.
- [2] FAY D A, IVEY R T, BOMBERGER N, et al. Multisensor & spectral image fusion & mining: from neural systems to applications [C]// Proceedings of the 32nd Applied Imagery Pattern Recognition Workshop. [S. l.]: IEEE Press, 2003.
- [3] SHEN J. Geometric inpainting and applications [C]// Proceedings of SPIE. [S. l.]: Not Avail, 2002, 4792: 102 - 113.
- [4] BERTALMIO M, SAPIRO L V G, OSHER S. Simultaneous structure and texture image inpainting [J]. IEEE transactions on image processing, 2003, 12(8): 882 - 889.
- [5] 许威威, 潘志庚, 张明敏. 一种基于整体变分的图像修补算法 [J]. 中国图象图形学报, 2002, 7A(4): 351 - 355.
- [6] 周廷方, 汤锋, 王进, 等. 基于径向基函数的图像修复技术 [J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(10): 1190 - 1197.
- [7] 顾建平, 韩华, 彭思龙. 基于水平线插值的图像修复算法 [J]. 计算机工程, 2006, 32(9): 7 - 10.
- [8] 张亶, 陈刚. 基于偏微分方程的图像处理 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.