

基于众值理论的微光图像帧积分算法

陈 立^{1,2}, 李 野¹, 秦旭磊¹, 田景全¹

(1. 长春理工大学理学院, 吉林长春 130022; 2. 长春大学计算机科学技术学院, 吉林长春 130022)

摘 要: 帧积分算法是图像增强技术中常用的一种方法, 它在处理微光图像时有一定的局限性. 本文对此做了进一步的实验与讨论, 提出了一种改进的算法——众值帧积分. 众值帧积分是对邻帧内对应像素点的灰度值作数学统计, 并取出现几率最大的像素灰度值作为滤波结果, 因此处理过的图像更接近真实. 实验结果表明, 众值帧积分能有效地抑制微光图像中的亮点噪声和暗点噪声, 对图像边缘的保护特性比帧积分好, 具有重要实用价值.

关键词: 噪声; 帧积分; 众值帧积分; 微光图像; 峰值信噪比

中图分类号: TL82 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 10-2217-04

A Multi-Frame Integration Technique Based on Mode Theory for Low Light Level Image

CHEN Li^{1,2}, LI Ye¹, QIN Xu-lei¹, TIAN Jing-quan¹

(1. Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China;

2. Changchun University, Changchun, Jilin 130022, China)

Abstract: Multi-frame integration is commonly used in image enhancement technology as a method, which has some limitations when dealing with low light level image. Further discusses and experiments are done, and an approach based on the mode theory is carried out. It is called mode multi-frame integration. Mode multi-frame integration is making the grey scale value statistics of all the pixels inside the neighborhood frames and taking the grey scale mode as the filtering result, so the processed image is closer to the truth. The experimental results show that it can suppress the light and the dark noises of low light level image effectively, and as for the protection of the image edge, the property of it is better than that of multi-frame integration. It has important practical value.

Key words: noises; multi-frame integration; mode multi-frame integration; low light level image; peak signal-to-noise ratio

1 引言

在成像过程中, 诸如目标光照条件差、光辐射低和成像系统通光孔径不足等原因会造成目标图像照度过低, 对于这类目标的成像通常称为微光成像. 与正常照明条件下的成像相比, 微光图像的特点表现为低信噪比、低空间分辨率、低对比度和图像的视觉效果模糊. 为提高探测器的探测灵敏度, 获得较好的微光图像质量, 提高人眼在微光亮度条件下的观察能力, 目前应用的微光成像技术主要有: 像增强器、背照明 CCD (BCCD)、带像增强器的 CCD (ICCD) 和电子轰击 CCD (EBCCD) 等, 并已在天文、军事、公安和生物等领域得到了广泛的应用^[1]. 尽管上述微光成像技术极大的扩展了图像的探测灵敏度, 但就其图像的质量, 特别是微光成像系统工作在可探测照度的最低极限时仍具有低对比度、低信噪比和低空间分辨率的特点. 此外, 由于微光成像系统的高

成本问题, 通常采用的普通 CCD 相机工作在微光照条件时获得的大量微光图像都无法辨识. 因此, 如何提高微光图像的分辨率与质量、提高目标的探测与识别率是一个亟待解决的重要问题. 近年来, 随着图像处理技术与方法的不断发展, 采用其对微光图像进行处理以改善质量已成为图像处理领域的研究热点. 由于微光图像的最大特点是低信噪比和低对比度, 所以大多数处理方法都集中在图像的滤波和去噪研究上. 目前提出和采用的方法主要有帧积分法、直方图均衡法和小波变换滤波法等方法^[2-5]. 这些方法虽然在一定程度上能有效地改善微光图像的信噪比和视觉效果, 但对于图像的低信噪比、噪声的随机性和多样性, 都难以取得令人满意的效果. 本文在对众值理论和帧积分处理方法进行深入研究的基础上, 提出一种基于众值理论的微光图像帧积分算法——众值帧积分. 对微光图像进行增强与复原, 来提高微光图像的信噪比和分辨率, 获得了好的图像质量.

本文首先详细的介绍了众值理论和帧积分处理方法,继而提供了众值帧积分算法的实验结果,最后给出了本文算法的结论和指出了未来的改进方向.

2 原理

2.1 众值理论

众值滤波是完全不同于图像平滑的滤波处理,是一种统计滤波处理.这种处理的思想是对滤波窗口内的所有像素点灰度值作数学统计,并以出现几率最大的像素灰度值来代替中心像素点的灰度值^[6].若以 $\text{Mode}(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 来表示 n 个数 (n 为奇数) $X_1, X_2, \dots, X_n$ 的出现最频值(即众值),则有 $\text{Mode}(3, 6, 0, 5, 3, 8, 1) = 3$.

2.1.1 理论表述

设一个窗口的大小为 n ,则作用于序列 $\{X_i, i \in D\}$ 的一维众值滤波器可定义为:

$$Y_i = \text{Mode } X_i \triangleq \text{Mode}(X_{i-j}, \dots, X_i, \dots, X_{i+j}) \quad (1)$$

其中 n 为奇数, $j = (n-1)/2$, $i \in D$, D 表示所有自然数的集合.

一幅模拟图像经过采样和量化后,变成了数字图像,它可以用一个矩阵进行描述.实际上,对一幅数字图像的处理就是对一个矩阵进行处理.因此,数字图像是用一个矩阵 $\{X_{ij}\}$ 上的点的集合来表示的,其中 (i, j) 是集合 D^2 中的一个点,或者是 D^2 子集中的一个点.一个具有滤波窗口 A (窗口内像素个数为奇数),作用于图像 $\{X_{ij}, (i, j) \in D^2\}$ 的二维众值滤波器可定义为:

$$Y_{ij} = \text{Mode } X_{ij} \triangleq \text{Mode}[X_{i+r, j+s}; (r, s) \in A], (i, j \in D^2) \quad (2)$$

使用众值滤波方法对图像信号进行处理的过程为:(1)根据具体情况,确定一个一定大小和形状的窗口;(2)将此窗口移遍图像上的所有像素点,且用窗口内各像素点灰度原始值的众值代替中心像素点的灰度值.

2.1.2 实验研究

本文编制了多种窗口大小 ($3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7, 9 \times 9$) 和形状(方形、十字形、菱形、圆环形、井字形)不同的众值滤波程序,对不同照度条件下的微光图像进行处理,考察其抑制图像噪声的效果.当微光照度较高时,微光图像随机颗粒闪烁噪声不是很强,众值能充分反映图像的真实信号,此时滤波效果明显.若微光照度进一步降低,随机颗粒闪烁噪声加强,处理效果逐渐变差.严重时图像信号完全被噪声淹没,此时众值已不能代表图像信号.另外,目标景物不同,相应采用的滤波程序的窗口形状也应不同.对于含有缓变噪声或大块状物体较多的图像,采用方形和圆环形为宜.而含有细节或

尖顶角状物体较多的图像,采用十字形和井字形为宜.对于窗口的尺寸,当滤波窗口尺寸越小,噪声平滑效果越差;而窗口过大,滤波时间太长且使得处理后的图像模糊程度加重.因此,应根据使用的具体需要,在滤波窗口尺寸大小与程序执行的时间以及图像的细节与清晰度等方面进行折衷.

实验表明,当窗口内像素点的灰度值在高、低两端分布较多时,众值滤波处理能克服其他滤波器的不足,更接近实际情况.对于图像中的陡峭边缘有保护作用,并且能有效地抑制图像的尖噪声.

2.2 帧积分原理

图像的帧积分处理,也就是图像的多帧积累增加.它是通过增加积分时间的办法,来提高图像的信噪比的.在图像处理算法中,多帧累加就是将不同时刻两幅图像或多帧图像中对应像素点的灰度值相加,然后求取它们的时间均值图像作为处理结果.

2.2.1 理论表述

设有 M 个电压样值 $v_i (1 \leq i \leq M)$,按功率关系相加,则一般表达式为:

$$P = \left[\sum_{i=1}^M v_i \right]^2 = \sum_{i=1}^M v_i^2 + 2 \sum_{1 \leq i < j \leq M} c_{ij} v_i v_j \quad (3)$$

式中, C_{ij} 为各电压之间的相关系数,取值范围为 $0 \leq C_{ij} \leq 1$.

对于微光成像系统,其输出信号中的噪声,不论是信号源产生的还是系统内部产生的,一般都可以看作是各态遍历的平稳随机过程,噪声之间的相关性为零(即 $C_{ij} = 0$).因此,对任意 M 帧微光电视图像,在同一像素空间位置上信号噪声电压 $v_{ni} (1 \leq ni \leq M)$ 的积累结果,由上式可得:

$$N = \left[\sum_{i=1}^M v_{ni} \right]^2 = \sum_{i=1}^M v_{ni}^2 \quad (4)$$

式中, N 为噪声功率.

由概率论及噪声性质可知:

$$\sum_{i=1}^M v_{ni}^2 = M v_n^2 \quad (5)$$

所以噪声功率可表示为:

$$N = \left[\sum_{i=1}^M v_{ni} \right]^2 = M v_n^2 \quad (6)$$

对于图像视频信号,假设电视扫描系统在空间扫描位置上的重复误差足够小,那么当目标静止时,各帧图像在同一空间上所给出的信号是相同的,景物信号电压幅值相等,各帧信号之间的相关系数 $C_{ij} = 1$.当积累 M 帧后,视频信号的功率谱可表示为:

$$S = \left[\sum_{i=1}^M v_{ni} \right]^2 = [M \cdot v_s]^2 = M^2 v_s^2 \quad (7)$$

式中, S 为信号功率; v_s 为景物信号电压幅值.

则功率信噪比在积累 M 帧后为:

$$SNR = \frac{S}{N} = \frac{M^2 v_s^2}{M v_n^2} = M \cdot SNR_0 \quad (8)$$

其中, $SNR_0 = \frac{v_s^2}{v_n^2}$ 为没有积累时任一帧图像的功率信噪比。

由式(8)可知,对静止图像积累 M 帧后,图像的功率信噪比可以提高 M 倍.由电压幅值与功率之间的关系可知,积累 M 帧后图像的电噪声将比原有信号提高了 $\sqrt{M}$ 倍。

当目标运动时,此时 C_{ij} 在 $0 \sim 1$ 范围内取值,积累后信号功率将小于目标静止时的积累值,甚至 $C_{ij} = 0$,则积累后的信噪比不能得到提高。

从以上分析可以得出结论,积累增强获得最佳效果的条件是:目标景物与摄像系统是相对静止的,且噪声具有随机特征.而且还应注意到,对图像的积累增加是以帧时间周期为单位的,因而噪声自身的随机起伏相对帧时间来说应该足够快.对于那些起伏时间很慢的,且存在时间较长的噪声,使用积累方法很难获得较高的信噪比,因为变化很慢的噪声具有一定的帧间相关性。

2.2.2 实验研究

采用帧积分法处理微光图像能够克服随机噪声,达到提高信噪比的目的.利用帧积分法对抑制微光摄像系统的时间域随机颗粒噪声是非常有效的.当微光电视系统的性能受到目标与背景辐射的量子起伏所引起的光子噪声以及系统内部信息载流子产生与复合所引起的散粒噪声的限制时,采用图像积累增强方法是克服随机噪声,提高系统性能的最直接、最简单和最有效的方法。

但由于信噪比增量的分贝值与积累帧数之间不是线性关系,如图1所示,当积累帧数过高时所获得的信噪比增量与积累16帧左右的效果相比并不是十分显著.因此在实时处理的要求下,不应追求过高的积累帧数。

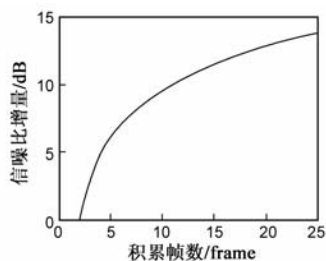


图1 积累帧数与信噪比增量关系图

2.3 众值帧积分算法

众值滤波技术的主导思想是用数学统计上出现几率最大的灰度值作为处理结果,因此最能反映实际情况.但目前众值滤波器都是对一幅图像采用不同的窗口尺寸进行噪声处理,若将此理论思想应用于图像的多帧处理上,更有其严格的数学意义.本文对众值理论

和帧积分处理进行深入研究的基础上,提出了一种基于众值理论的微光图像帧积分算法,取名为众值帧积分.公式定义如下:

$$G(x, y, t) = \text{Mode}[F(x, y, t - \Delta t), F(x, y, t)] \quad (9)$$

其中 $F(x, y, t)$ 与 $G(x, y, t)$ 分别为 t 时刻的原始图像与处理图像, Δt 为帧周期.当众值帧积分处理多幅图像的对应像素点时,众值出现次数的多少是机会不等的.如果众值非常突出,即最频数较大,则众值能充分代表图像信号值,滤波效果明显.反之,用不是非常突出的众值代替信号值,在一定程度上将失去滤波效果的真实性。

基于以上考虑,以非常突出的众值代替图像信号值.如果最频数较小,则用多帧累加的均值来代替图像信号值.对于多帧图像中,设众值出现的次数为最频数,用符号 F_n 、表示(最频数即多帧图像内众值的个数).图像帧数为 Num ,称 F_n/Num 为最频数百分比.这种处理同时发挥了众值滤波与帧积分处理的优越性,在很好地抑制噪声的同时,对于图像的边缘具有很好的保护特性.该处理方法可分为两步:

(1)预先指定一个阈值门限 $T(0 < T < 1)$,计算出最频数 F_n 与最频数百分比 F_n/Num ;

(2)根据最频数百分比 F_n/Num 与阈值门限 T 的不同比较结果,选择不同的处理方法.写成统一表达式为:

$$Y = \begin{cases} \text{众值帧积分, 如果 } F_n/Num \geq T \\ \text{帧积分, 如果 } F_n/Num < T \end{cases} \quad (10)$$

需要说明的是,众值帧积分处理的一个关键点是阈值 T 的选取,当 T 取值过小时处理效果不够理想, T 取值过大则退化为帧积分方法。

3 实验结果

本文用C++语言编制了帧积分及众值帧积分的处理方法,对微光图像进行了噪声抑制处理.其中,众值帧积分处理中的阈值 T 做到软件可调.图2为一组微光图像及其处理结果,图2(a)为原始微光图像,采用帧积分的处理结果示于图2(b),采用众值帧积分($T = 0.2$)的处理结果示于图2(c).显见,在对随机闪烁噪声抑制方面,图2(c)比图2(b)效果好.滤波性能可用图像峰值信噪比($PSNR$)表示,峰值信噪比计算公式为^[7]:

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{HW} \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W [F(x, y) - G(x, y)]^2} \quad (11)$$

式中 $F(x, y)$ 表示原输入图像, $G(x, y)$ 表示处理后的图像, H 、 W 分别为图像的长和宽.经计算,进行众值帧积分处理的 $PSNR$ 为 35.57,而帧积分处理的 $PSNR$ 为 29.32。

4 结论

任何一种图像处理方法都不是万能的. 实验结果表明, 众值帧积分的处理结果明显优于帧积分的处理结果. 由于帧积分技术在对多帧图像信号累加的同时, 随机噪声信号也得到了累加, 只不过图像信号随累加帧数按线性关系增加, 而噪声信号按平方根关系增加. 换句话说, 通过求取多幅序列图像的均值图像, 噪声得到了平滑但不是被彻底消除. 众值帧积分通过多帧图像取众值, 彻底的消除了亮点闪烁噪声和暗点噪声, 在消除随机噪声效果方面, 众值帧积分比帧积分方法更坚决、彻底. 虽然其运行速度比帧积分要慢, 例如对一幅具有 512×512 个像素的图像来说, 处理时间要比帧积分长近一倍, 但是, 要提高其处理速度, 可采用计算机并行图像处理技术来解决. 因此, 众值帧积分方法具有重要实用价值.

参考文献

- [1] 陈闽, 杨胜杰. 电子倍增 CCD 微光传感器性能及其应用分析[J]. 光电与控制, 2009, 16(1): 47 - 50.
CHEN Min, YANG Sheng-jie. Performance analysis and application of electron-multiplied-CCD [J]. Electronics Optics & Control, 2009, 16(1): 47 - 50. (in Chinese)
- [2] 张伟, 汪岳峰, 董伟. 利用帧积分法去除微光图像噪声研究[J]. 光电子技术, 2002, 22(2): 90 - 92.
ZHANG Wei, WANG Yue-feng, DONG Wei. Low-light-level image processing with the method of frame integral[J]. Optoelectronic Technology, 2002, 22(2): 90 - 92. (in Chinese)
- [3] 郭巍, 张平, 陈曦, 朱良. 基于双密度双树复数小波变换的合成孔径雷达图像降噪研究[J]. 电子学报, 2009, 37(12): 2747 - 2752.
GUO Wei, ZHANG Ping, CHEN Xi, ZHU Liang. Research on synthetic aperture radar image denoising with double density dual-tree complex wavelet transform[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(12): 2747 - 2752. (in Chinese)
- [4] ZHANG Chao-liang, JIANG Han-hong, JIANG Chun-liang, HU Chan, YANG Wu, HOU Chong-yuan. Low light level image de-noising algorism based on wavelet transform and morphology computer network and multimedia technology [A]. International Symposium on Computer Network and Multimedia Technology (CNMT2009) [C]. Wuhan, China, 2009. 1 - 4.



图2 原始图像与各种处理结果对比图

- [5] 但唐仁, 田景全, 端木庆铎, 李野, 高延军. 一种基于小波相位信息的低强 X 射线影像系统的图像去噪方法[J]. 电子学报, 2004, 32(6): 977 - 979.
DAN Tang-ren, TAN Jin-quan, DUANMU Qin-duo, LI Ye, GAO Yan-jun. A way of the imaging filter with wavelet phase based on low intense X-ray image system[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(6): 977 - 979. (in Chinese)
- [6] 柏连发, 张保民. 微光图像中值滤波与众值滤波理论与实验研究[J]. 南京理工大学学报, 1995, 19(2): 117 - 1200.
BAI Lian fa, ZHANG Bao min. Theory and experiment study on low light level image by median filter and mode filter[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 1995, 19(2): 117 - 1200. (in Chinese)
- [7] Rafael C Gonzalez, Richard E Woods. Digital Image Processing, 2nd ed[M]. Beijing: Publishing House of electronics Industry, 2002.

作者简介



陈立 男, 1973 年生于吉林省舒兰市, 1997 年毕业于长春理工大学(原长春光学精密机械学院)计算机应用专业; 2002 年获长春理工大学微电子学与固体电子学专业硕士学位, 正攻读该校物理电子学博士学位; 现为长春大学计算机学院教师, 副教授, 主要致力于光电成像技术和图像处理研究, 已发表论文 10 余篇.
E-mail: chenli9229@sina.com



田景全 男, 1938 年生于吉林省双辽县, 1963 年毕业于南开大学物理系, 现为长春理工大学理学院教授/博士生导师, 多年来一直从事光电子成像技术和微电子学与固体电子学等领域的教学和研究工作, 现将光电子和微电子有机交融, 从事相应前沿课题的研究.
E-mail: tjq2202@163.com