

文章编号:1001-5078(2007)01-0087-03

红外图像的模糊域同态增强

刘政清, 邹继伟, 张 骏, 杨 华

(解放军电子工程学院安徽省红外与低温等离子体重点实验室, 安徽 合肥 230037)

摘 要:结合模糊集理论在图像处理方面的优势,设计了一种红外图像模糊域同态增强方案。该方案首先将红外图像由空域平面转换成模糊域(特征)平面,然后再对其进行同态增强,最终经去模糊得到处理后的图像。实验结果表明,该方案取得了较好的处理效果,能够达到增强红外图像的目的。

关键词:红外图像;模糊域;同态滤波;图像增强

中图分类号:TN751 **文献标识码:**A

The Homomorphic Enhancement of Infrared Image in Fuzzy Field

LIU Zheng-qing, ZOU Ji-wei, ZHANG Jun, YANG Hua

(Key Lab of Infrared and Low Temperature Plasma of Anhui Province, Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China)

Abstract: Considering the dominance on image processing of fuzzy sets, a method to enhance infrared image by homomorphic filtering in fuzzy field is designed. The first step, the infrared image converted from spatial domain to fuzzy field, then it enhanced by homomorphic filtering, at last, the processed image is obtained. The experiment's results indicate that the method has good processing effects, and can achieve the enhancement purpose to the infrared image.

Key words: infrared image; fuzzy field; homomorphic filtering; image enhancement

1 引 言

红外图像呈现出分辨率低、对比度低、视觉效果模糊和信噪比低等缺陷。因此,改善红外图像质量,提高对比度,增强视觉效果以利于后续处理,便成为一个急需解决的问题。

红外图像增强便是上述红外图像质量改善中的一项重要内容。传统的增强方法可以分为两大类:频域法和空域法^[1]。但传统的增强方法,不论是空间域方法还是频域方法,都不能很好地解决全局、局部、噪声和计算量之间的矛盾^[2-3]。自从20世纪80年代初,由S. K. Pal等人提出了一种图像模糊域增强方法^[4]以来,经过几十年的发展,模糊集理论越来越被证明是一种行之有效的方法^[5]。传统的同态滤波增强方法是一种基于照射和反射

模型的频域对比度调节方法,在低照度的可见光图像增强处理中得到广泛应用,并取得了较好的效果。

本文针对低对比度红外图像与低照度可见光图像具有相似性这一特征,试图将同态系统引入到红外图像的处理中来,并结合模糊集图像处理的优点,将同态系统的频域处理扩展到模糊域。经过实验验证,这一尝试是可行的,取得了较好的处理效果。

2 模糊集理论在图像处理中的运用

2.1 图像的模糊域(模糊特征平面)

按照模糊子集的概念,一幅大小为 $M \times N$ 的红

作者简介:刘政清(1980-),男,硕士研究生,现就读于电子工程学院,主要从事红外图像处理算法的研究工作。E-mail: leoznk-ing888@sohu.com

收稿日期:2006-06-13

外灰度图像,可以用同样大小的模糊矩阵^[6]表示,如式(1):

$$X = \begin{bmatrix} p_{11}/x_{11} & p_{12}/x_{12} & \cdots & p_{1N}/x_{1N} \\ p_{21}/x_{21} & p_{22}/x_{22} & \cdots & p_{2N}/x_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{M1}/x_{M1} & p_{M2}/x_{M2} & \cdots & p_{MN}/x_{MN} \end{bmatrix} \quad (1)$$

或如式(2):

$$X = \bigcup_i \bigcup_j p_{ij}/x_{ij}, i=1,2,\dots,M \\ j=1,2,\dots,N \quad (2)$$

式中, X 即为图像的模糊域,也可叫做图像的模糊特征平面; p_{ij}/x_{ij} 表示阵中第 (i,j) 个像素点的隶属度函数为 p_{ij} ,它描述的是图像像素的灰度相对于某个标准灰度的某种亮度程度; x_{ij} 为图像第 i 行,第 j 列像素的灰度。 p_{ij} 的一般求解如式(3)所示:

$$p_{ij} = G(x_{ij}) = \left[1 + \frac{(x_{\max} - x_{ij})}{a} \right]^{-b} \quad (3)$$

$$i=1,2,\dots,M; j=1,2,\dots,N$$

式中, x_{\max} 为图像的最大灰度值,所以 p_{ij} 描述的就是图像像素灰度相对于最大灰度的相似程度。我们可以根据图像处理的实际需要选取适当的标准; a 和 b 为常数,分别称作倒数型和指数型模糊性因子,它们的取值可通过越点确定。

2.2 模糊域图像增强的一般模型

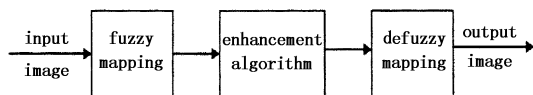


图1 模糊域图像增强一般模型

模糊域图像增强的一般模型如图1所示。

该模型的具体步骤^[4]为:首先,将空域中的原始图像数据按式(3)隶属度函数进行模糊化映射,使其成为特征平面中的模糊特征数据,然后,对特征图像信息进行模糊增强变换处理。一般的对比度增强算法如式(4)、式(5)所示:

$$X' = \text{INT}_r(X) \quad (4)$$

$$p'_{ij} = \begin{cases} 2(p_{ij})^2, 0 \leq p_{ij} \leq 0.5 \\ 1 - 2(1 - p_{ij})^2, 0.5 \leq p_{ij} \leq 1 \end{cases} \quad (5)$$

其中:

$$\text{INT}_r = \text{INT}_1(\text{INT}_{r-1}(X)), r=1,2,\dots \quad (6)$$

最后,利用式(3),将处理后的信息数据 p'_{ij} 进行逆映射到空间域中去,从而获得增强后的空域图像 x'_{ij} 。

3 红外图像的同态增强

3.1 基于同态系统的图像处理流程

同态^[7]系统是一种频域处理系统。若一幅图像可以用入射分量 $i(x,y)$ 和反射分量 $r(x,y)$ 来表征,如式(7):

$$f(x,y) = i(x,y)r(x,y) \quad (7)$$

其中, $0 < i(x,y) < 1, 0 < r(x,y) < 1$ 。

由于两个函数乘积的傅里叶变换是不可分的,不能用式(7)来直接对 $i(x,y)$ 和 $r(x,y)$ 的频率部分分别进行操作。因此可先对式(7)取对数,将乘积转化成和的形式再进行傅里叶变换。在频域中对图像进行处理,反傅里叶变换后再对图像进行指数变换即得到经同态处理后的图像。其处理流程如图2所示。

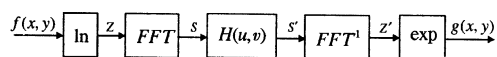


图2 同态系统图像处理流程图

其中:

$$Z = \ln(f(x,y)) = \ln(i(x,y)) + \ln(r(x,y)) \quad (8)$$

$$S = \mathfrak{F}(Z) = \mathfrak{F}\{\ln(i(x,y))\} + \mathfrak{F}\{\ln(r(x,y))\} \quad (9)$$

$$Z' = \mathfrak{F}^{-1}(S) = \mathfrak{F}^{-1}\{H(u,v)\ln(i(x,y))\} + \mathfrak{F}^{-1}\{H(u,v)\ln(r(x,y))\} \quad (10)$$

设

$$i'(x,y) = \mathfrak{F}^{-1}\{H(u,v)\ln(i(x,y))\},$$

$$r'(x,y) = \mathfrak{F}^{-1}\{H(u,v)\ln(r(x,y))\}$$

则式(10)可表示为 $Z' = i'(x,y) + r'(x,y)$ (11)

$$g(x,y) = \exp^{Z'} = e^{i'(x,y)} \cdot e^{r'(x,y)} \\ = i_0(x,y)r_0(x,y) \quad (12)$$

这里 $i_0(x,y)$ 和 $r_0(x,y)$ 分别是输出图像的入射分量和反射分量。

3.2 同态系统用于红外图像的增强

同态系统对可见光图像的增强处理已经比较成熟,考虑到红外图像具有分辨率低、对比度不高等特点,与低照度的可见光图像有很大相似之处。按理来说,同态系统也可以用于对低对比度红外图像的增强处理。

在分析可见光图像时^[1,7],图像的入射分量在空间域通常变化缓慢,相对应于图像傅里叶变换后的低频成分,图像的反射分量往往会有突变,特别是

物体的细节部分,相对应于高频成分。针对红外图像^[8]而言,图像的背景和目标的均匀部分可以被看成入射分量,傅里叶变换后对应的是低频成分,而物体的细节、边缘等则可以看成反射成分。为了提高红外图像的对比度,抑制背景,突出细节,我们可以适当选取图2中 $H(u,v)$ 滤波器来满足要求^[9]。

本文选取的 $H(u,v)$ 如(13)式所示:

$$H(u,v) = (\gamma_H - \gamma_L) [1 - e^{-D^2(u,v)/2D_0^2}] + \gamma_L \quad (13)$$

其中, γ_H 代表高频增益; γ_L 代表低频增益; $D(u,v) = [(u - u_0)^2 + (v - v_0)^2]^{1/2}$ 表示频率 (u,v) 到滤波器中心 (u_0, v_0) 的距离; D_0 为 $(u_0, v_0) = (0, 0)$ 时 $D(u,v)$ 的值,表示截止频率。

其横截面如图3所示。

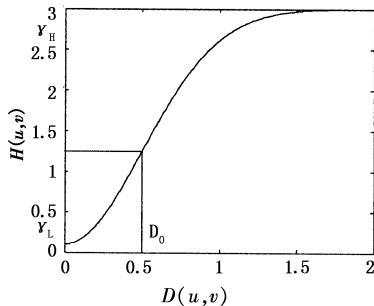


图3 $D(u,v)$ 的截面图

当取 $\gamma_L < 1, \gamma_H > 1$ 时,就可以减少红外图像的低频成分和增强高频成分,使得动态范围压缩和对比度增强。

4 基于模糊域的红外图像同态增强

4.1 方案设计

为了验证本文方法,我们设计了低对比度红外图像模糊域同态增强流程,如图4所示。

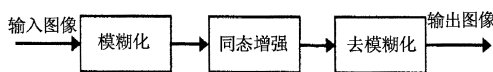


图4 红外图像模糊域同态增强流程图

图4中红外图像的模糊化采用第2节中介绍的方法,用隶属度函数处理原图像的模糊域特征。隶属度函数具有多样表达方式。鉴于隶属度函数的形式对图像处理效果的影响并不大^[10],但在处理速度方面,线性的要优于非线性的分布。故我们采用如式(14)的隶属度函数。

$$p_{ij} = G(x_{i,j}) = \frac{(x_{ij} - x_{\min})}{x_{\max}} \quad (14)$$

$$i = 1, 2, \dots, M; \quad j = 1, 2, \dots, N$$

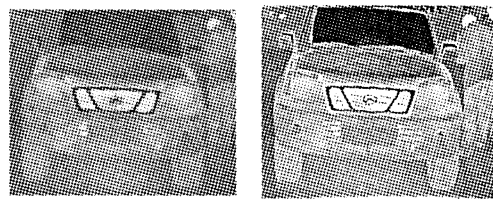
其中, x_{\min} 和 x_{\max} 分别为图像像素值的最小值与最大值。

图4中同态增强采用第3节中介绍的方法,利用式(13)对处于模糊域的红外图像进行处理。

利用式(14)的逆变换,即可求得去模糊化后的处理图像。

4.2 实验验证及结论分析

我们用以上处理方案对某型红外热像仪获得的红外图像进行了实验验证,结果如图5所示,其中图(I)是原图,图(II)是处理后的图像。参数选取: $\gamma_H = 2.5, \gamma_L = 0.1, D_0 = 0.5$ 。



(I)处理前的图像 (II)处理后的图像

图5 红外图像模糊域同态增强效果对比图

从图像处理结果来看,被处理的红外图像对比度有了很大提高,细节得到了充分保持,有利于后续的诸如视觉判读、特征提取、识别和跟踪等高层次处理,达到了比较满意效果。

参考文献:

- [1] K R. Castleman. 数字图像处理[M]. 朱志刚,等译. 北京:电子工业出版社,2002.
- [2] T L Ji, M K Sundareshan, H Roehrig. Adaptive image contrast enhancement based on human visual Properties [J]. IEEE Trans. Medical Imaging, 1994, 13(4): 573 - 586.
- [3] R H Sherrir, G A Johnson. Regionally adaptive histogram equalization of the chest [J]. IEEE Trans. Med. Imag., 1987, 6: 1 - 7.
- [4] S K Pal, R A King. Image Enhancement Using Fuzzy Sets [J]. Electron. Lett., 1980, 16(9): 376 - 378.
- [5] 徐立中. 数字图像的智能信息处理[M]. 北京:国防工业出版社,2001.
- [6] 郭桂蓉,庄钊文. 信息处理中的模糊技术[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1996.
- [7] Rafael C Gonzalez, Richard E Woods. 数字图像处理[M]. 第二版,北京:电子工业出版社,2003.
- [8] 郑刚,贾振红. 同态技术在红外图像处理中的应用[J]. 光子学报,2005,34(9): 1401 - 1403.
- [9] 王猛,白洪亮. 同态滤波器在水下图像对比度增强中的应用[J]. 应用科技,2003,30(7): 15 - 17.
- [10] 刘靖,何志彪,易新建. 基于模糊逻辑的红外图像增强算法的研究[J]. 红外技术,2003,25(23): 13 - 14.