

实时的微弱目标增强与分割技术

汤海婴 庄天戈

(上海交通大学生命技术学院生物医学工程系, 上海, 200030)

刘上乾 刘煜

(西安电子科技大学技术物理系, 西安 710071)

TN223

TN215

摘要 介绍了一种针对红外或可见光微弱目标图像的实时增强和分割快速算法, 算法基于迭代数字滤波器设计, 采用局部自适应增强方法, 可有效地将目标与背景分离开来, 对低信噪比图像也具有较好的适用性. 还基于迭代数字滤波器算法和多分辨率分析, 给出了一种目标分割快速算法. 这些算法可实时实现, 为目标分割实时处理系统的设计提供了解决方法. 用本文的方法对弱目标图像做了一系列仿真实验, 具有明显的效果.

关键词 实时目标增强与分割, 数字滤波器, 自适应增强, 多分辨率分析, 实时处理.

引言

本文中的弱目标图像指低光照图像和红外图像. 低光照图像的目标亮度较暗, 模糊不清; 红外图像中的目标在温度上较周围景物高, 因此在图像上存在目标的地方灰度较高. 由于弱目标图像在获取过程中受环境及拍摄条件的限制, 图像模糊, 灰度动态范围小, 给目标检测及跟踪带来了许多困难. 实际应用是要在背景中分离出目标, 提取目标的特征或对目标进行跟踪. 另外, 对不同条件及不同时刻得到的背景与目标, 检测与分割方法应具有良好的适用性. 传统的图像空间域算法缺乏自适应性, 算法的复杂度取决于算子模板的大小, 难以用硬件实时实现; 而灰度域算法易忽略图像的局部细节特征, 不适用于带噪声的图像. 很多分割算法从图像的特点、目标的几何特征等方面来探索目标的检测方法, 如相关匹配算法、模糊分割算法以及基于分形的算法等^[1,2]. 本文的方法不需要有关弱目标图像太多的先验知识或对图像特征的具体分析, 算法基于二维低通数字滤波器设计^[3], 结合相应的增强函数, 只需进行少量参数的调整, 便可实现图像的快速自适应目标增强. 另外, 我们还引入了基于本文低通滤波器设计的多分辨率分析, 能较好地分割出目标.

1 图像增强方法及二维数字滤波器设计

首先, 我们讨论一种较好的传统图像增强方法, Unsharp Masking 是大家熟悉的图像增强方法, 对于输入图像 $f_{i,j}$, 有

$$UM(f_{i,j}) = \bar{f}_{i,j} + k \cdot (f_{i,j} - \bar{f}_{i,j}) = k \cdot f_{i,j} + (1-k)\bar{f}_{i,j}$$

当 $k > 1$ 时, 图像的轮廓得以增强, 如果 k 随图像局部特性变化而变化, 则这种增强为局部自适应增强. \bar{f}_i 是经过邻域平滑得到的模糊图像^[3], 为了快速有效地得到平滑图像, 人们从信号处理的角度对图像滤波进行了分析^[4,5]和应用^[6]. 本文从低通滤波器的迭代算法^[9]入手, 实现实时的图像增强.

巴特沃斯滤波器的幅度响应在通带内具有最平特性, 其低通滤波器平方幅度函数为

$$|H_c^2(j\omega)| = 1/[1 + (j\omega/j\omega_c)^{2N}],$$

ω_c 为截止率, 对此低通滤波器采用以下一阶 Z 变换:

$$H(z) = T\omega_c/[1 - \exp(-\omega_c T)^{-1}z].$$

数字图像是二维数字信号, 巴特沃斯滤波器可设计为二维可分滤波器, 由于滤波器增益随截止频率的不同而不同, 为了保持图像幅值的稳定, 给出系数 $a(r)$ 以调节幅度:

$$H(z_i, z_j) = a^2(r)r^2/[1 - \exp(-r)z_i^{-1}][1 - \exp(-r)z_j^{-1}], \quad r = T\omega_c.$$

对于输入图像 $f(i, j)$, 通过上面的响应函数时, 其过程可分解为

$$F'(x_i, z_j) = W(z_i, z_j) \cdot a(r)r/[1 - \exp(-r)z_i^{-1}],$$

$$W(z_i, z_j) = a(r)r \cdot F(z_i, z_j)/[1 - \exp(-r)z_i^{-1}].$$

则在空间域表示为迭代关系式

$$f'(i, j) = a(r)r \cdot w(i, j) + \exp(-r)f'(i-1, j),$$

$$w(i, j) = a(r)r \cdot f(i, j) + \exp(-r)w(i, j-1).$$

其中, $f'(i, j)$ 为输出图像, 可以看出该算法不需要进行周围大量数据的重复运算, 快速实时. r 的大小取决于截止频率的选取, 通过实验确定 r 的范围在 0.1~1 之间.

基于上面推导的低通滤波器迭代算法, 在此提出一种图像增强算法模型, 定义低频动态范围的调整函数为 $E_1(x)$, 高频增益函数为 $E_2(x)$, 则增强函数为

$$\text{Enhance}(f_{i,j}) = M_f + E_1(f'_{i,j} - M_f) + E_2(f_{i,j} - f'_{i,j}).$$

这里 M_f 为一特定的值, 图像的动态范围以 M_f 为分界进行上下拉伸. 由于图像的增强是根据图像的局部起伏 $f'_{i,j}$ 而做的拉伸, 因此是自适应的. 选择合适的增强函数 $E_1(x)$ 和 $E_2(x)$ 可有效地在提高图像灰度动态范围的同时, 增强细节和对比度, 也可以抑制背景突出目标.

本文使用一种非线性增强函数 $E(x) = \alpha \cdot \arctg(\beta \cdot x)/\pi\beta$ (其中 β 为控制曲线曲率的参数, α 为控制细节增益的参数), 如图 1 所示.

我们发现, M_f 的取值对目标的增强和提取有着重要的作用. 通常, 我们将图像幅度对 M_f 做上下拉伸, M_f 可取图像的总体均值. 对于红外图像, 我们感兴趣的是其中的目标, 此时图像灰度等级少, 背景偏暗, 目标相对平均灰度要

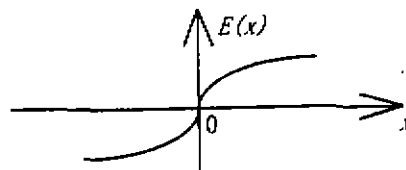


图 1 图像增强函数

Fig. 1 the curve of image enhancement function

高,若 M_f 取值不当,势必对背景和目标同时增强;无法有效地分割出目标.实际上,我们的目的是突出目标的形状和轮廓,同时将背景抑制.这时,只要将 M_f 值接近目标的灰度,当图像对于 M_f 进行上下拉伸时,使背景拉伸至动态范围之外从而被抑制掉,目标及其细节便清晰地呈现出来.

这里, M_f 是采用自适应跟踪方法、通过图像灰度级分布的直方图由总体均值开始逐步朝图像的最大灰度处搜索而确定,具体步骤如下:(1) 求图像的直方图分布 $H(i)$; (2) 由直方图求得总体均值 M , 取 $M = (\sum_{i=0}^{255} H(i) \times i) / \sum_{i=0}^{255} H(i)$; (3) M 为初始值,在 $M \sim 255$ 之间由直方图得到一个新的均值 $M = (\sum_{i=M}^{255} H(i) \times i) / \sum_{i=M}^{255} H(i)$; (4) 重复此过程 4~5 次,最终得到 M_f .

当目标被增强,背景得到抑制后,我们可以方便地检测和分割出目标,并对其进行识别与跟踪,处理结果如图 2.



图 2 用本文算法检测红外舰船目标图像

Fig. 2 The detected infrared targets using the presented algorithm

2 对带有噪声图像的目标增强

上面讨论了红外图像的增强情况,我们也处理了一组在低照度下拍摄的弱目标图像,这组图像的随机噪声方差 $\delta_n^2 = 30$, 信噪比 $S/N = 2$. 弱目标图像在摄取过程中引入大量的随机噪声,使得图像质量很差,对此已经有很多人研究了对噪声图像的线性与非线性滤波,如 Lee Filter^[7]、AMTM Filter^[10] 等保护边缘滤波器,但算法复杂,处理效果也不理想.在此可以使用上面提出的低通滤波器,将图像进行平滑(Smooth),再做增强.如果摄像时光照度很低,有必要采集图像序列进行累积平均以提高图像信噪比.对噪声图像进行平滑时,可适当调整低通滤波器的截止频率,使图像中的噪声在受到抑制的同时,不会平滑掉主要的细节信息.增强函数如下:

$$\text{Enhance}[f(i, j)] = M_f + E1[f'(i, j) - M_f] + E2\text{smooth}[f(i, j) - f'(i, j)].$$

算法用框图表示如图 3, 处理结果如图 4, 增强后测得图像信噪比 S/N 提高了近 20 倍.

3 红外目标多分辨率分析与检测

上面的图像滤波是基于某个特定的频率参数的,我们可以依据不同的情况设置和调整参数.这里,我们讨论一种用于红外目标分割的多分辨率分析方法.

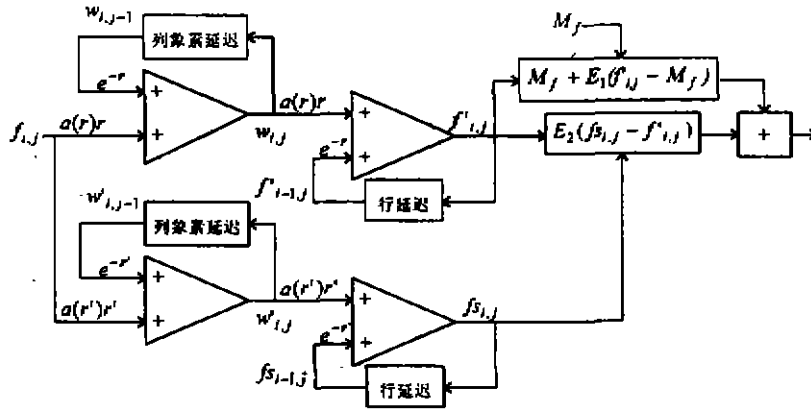


图3 带噪声图像目标增强实时实现框图

Fig. 3 Real-time noisy image enhancement realization



图4 弱目标图像增强

(a)原始图像 $S/N:2$, (b)直方图均衡, (c)本文增强, $E_1(x)$
用增强函数拉伸 $S/N:38$, (d) $E_2(x)$ 用均衡方法拉伸

Fig. 4 Faint object image enhancement

(a) original image $S/N:2$, (b) histogram equalization, (c) $E_1(x)$ using
our enhancement function $S/N:38$, (d) $E_2(x)$ using equalization

多分辨率分析适用于多种图像分割和边缘提取等^[10,11,13]. 多分辨率分析体现了对图像多个频段和多种尺度的分别描述^[10,12], 为图像分割的鲁棒性和抗噪性提供了较好的方法. Canny^[12]算子和 LOG 算子是一类定位精度好、易于实现的可变尺度算子, 用于图像分割与分析, 但是对于边缘复杂的图像, 仅对某种尺度下的处理并不能取得好的效果. 同样, 对于特定截止频率的滤波器, 滤波结果有时会混淆一些与目标频率相近的背景及噪声. 因此我们利用本文的滤波器设计, 提出一种多分辨率目标分割算法.

文献[10]中使用图像局部统计均方差来规定图像中每点边缘起伏的测试度, 测试度值越大, 该点越是起伏较大的边缘点. 将整幅图像测试度分布的统计直方图的峰值作为阈值 T , 大于 T 值的点认为是起伏变化度较大的边缘点. 局部均方差的计算是通过均值模板卷积与统计方差运算得到的. 多分辨率分析是通过在初步选出的边缘点中, 将均值卷积模板由大

到小(平滑由大到小,边缘由粗到精)依次在前次求得的边缘点中由阈值 T 分成一组新的边缘点和非边缘点,将各次得到的非边缘点和最终得到的边缘点共同显示出来,即为一组多分辨率表示的图像.结合这种思想,我们在此提出一种基于低通滤波器的目标分割方案.

设输入图像 $f_{i,j}$, $g_{i,j}$ 为边缘标记图, $h_{i,j}$ 为不同分辨率图,低通滤波器截止频率参数为 r ,将图像起伏的测试度定义为

$$T_{i,j} = \text{Lowpass}_r[|f_{i,j} - \text{Lowpass}_r(f_{i,j})|].$$

$T_{i,j}$ 的直方图分布为 $H(n)$,若 $H(T) = \text{Max}[H(n)] (n=1 \dots \text{Max}(T_{i,j}))$,则 T 为分割阈值.具体实现流程如图 5,处理结果如图 6.这里我们选择了由 r_1 到 $r_1 + 2\Delta r$ 三次可变截止频率边缘测试度计算,得到不同尺度的图像表达.

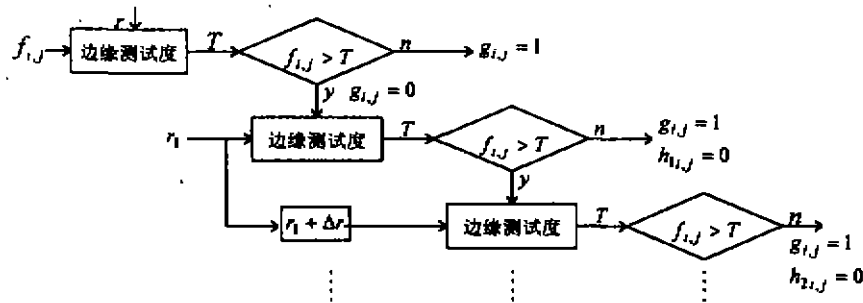


图 5 图像多分辨率分析实现框图

Fig. 5 Flowchart of multiresolution image representation realization

由处理结果可以看出,对于红外图像,目标与背景(如海杂波)是可以在多分辨率分解过程中逐渐区分开来的.在初始边缘点选取时,取较大的截止频率,以获取准确和适量的边缘参考点,实验中 $r=0.9$,以下的运算依次取 $r_1=0.5$, $r_2=0.6$, $r_3=0.7$.要注意的是,海天交界线有时和目标处在同一频率范围,难于将二者分开,可以借助图像中对应于这些分割点的灰度值的分布情况来区分.由描述图像起伏的边缘测试度函数表明,原始图像对于其低频成分的绝对差须通过低通滤波,以平滑掉绝对差中由随机噪声、周期杂波及细微起伏而引入的非主要边缘,使处理结果干净清晰,并且保留我们需要的信息.

4 结论

本文提出的弱目标增强和分割算法快速实时,不需要消耗大量的图像内存空间,与传统方法相比,具有好的视觉效果,并能很好地检测出需要的目标.本文所探讨的基于低通滤波器的图像多分辨率分析也能较好地应用于红外目标的分割与检测.算法可对单帧图像全视场处理,适用性强,支持串行流水线工作方式,可以用多 CPU 共同工作.算法现已付诸基于双 TMS 320 C50 高速信号处理实时硬件的实现.

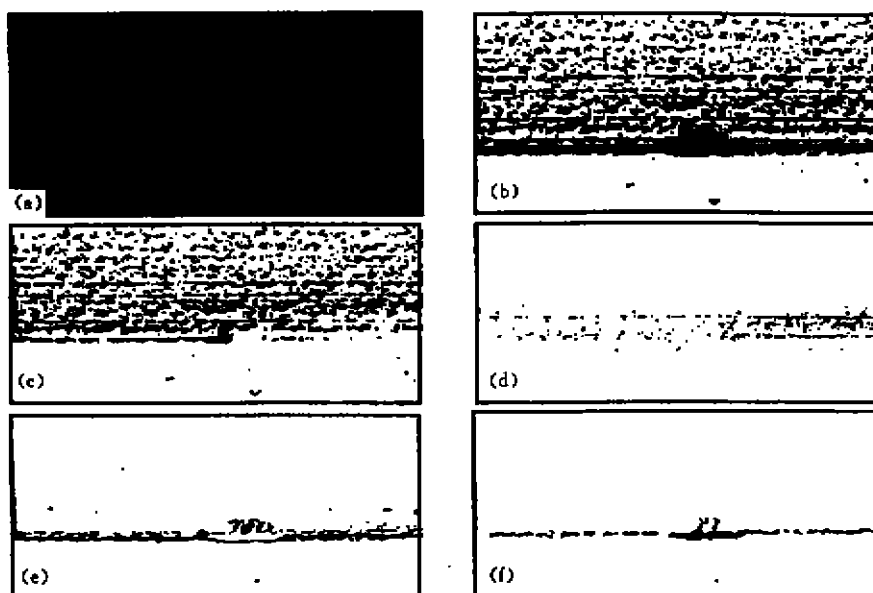


图6 图像多分辨率分析及图例
Fig. 6 Multiresolution image analysis and processed images

REFERENCES

- 1 裴继红, 谢维信, 刘上乾, 等. 红外与毫米波学报 (BEI J H, XIE J X, LIU S Q, et al. *J. Infrared and Millimeter Waves*), 1995, 14(2): 93~100
- 2 赵亦工, 朱红, 向健勇. 红外与毫米波学报 (ZHAO Y G, ZHU H, XIANG J Y. *J. Infrared and Millimeter Waves*), 1995, 14(5): 336~340
- 3 Wallic R. *An Approach to Space Varinat Restoration and enhancement of images*. In Proc. Smp. on Current Math Problems, 1976
- 4 Maria Gamal A, Fahmy M M. *IEEE Trans on ASSP*, 1974, 22(1): 15~21
- 5 Jermigan M E, Belshaw R J, Mclean G F. *Nonliner Lateral Inhibition and Image Processing*. in: *Sensory Neural Networks*, Boca Raton, FL., CRC Press, 1991
- 6 P M. R C, *IEEE Trans on PAMI-3*, No. 6, 1981
- 7 Lee J S. *IEEE Trans on PAMI*, 1980, 12(2): 165~169
- 8 丁润涛. 电子学报 (DING R T. *Acta Electronica Sinica*), 17(5): 40~45
- 9 汤海纛, 庄天戈. 上海交通大学学报 (TANG H Y, ZHUANG T G. *Journal of Shanghai Jiao Tong Univ.*), 1996, 30(Supplement): 60~64
- 10 Park D j, Nam D M, Park Hong Rae. *Pattern Recognition*, 1995, 28(2): 211~229
- 11 Ranganath Surendera, *IEEE Trans. on PAMI*, 1991, 13(5): 426~439
- 12 Canny John, *IEEE Trans on PAMI*, 1986, 8(6): 679~697
- 13 Gauch J M. *Multiresolution Image Shape Description*. Nwe York: Springer-Verlag Inc, Prn and bound by Braun-Brumfield, Ann Arbor, MI, 1992

REAL-TIME FAINT OBJECT ENHANCEMENT AND SEGMENTATION TECHNIQUE

TANG Hai-Ying ZHUANG Tian-Ge

(Department of Biomedical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

LIU Shang-Qian LIU Yu

(Department of Technical Physics, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract - A real-time faint object enhancement and segmentation algorithm was proposed. The algorithm, based on fast recursive digital filter design and using adaptive enhancement method, can effectively separate the targets from the background, and can also be used in low S/N images. This paper also presented a fast segmentation algorithm of infrared object based on the recursive digital filter and multiresolution analysis. The method is a practical technique, with which real-time systems can be designed. It also provides a way for object detection. Some images were processed and good performances were got.

Key words real-time object enhancement and detection, digital filters, adaptive image enhancement, multiresolution analysis, real-time processing