

运动目标检测与识别方法研究^{*}

张 聪, 张天序

(华中科技大学 图像识别与人工智能研究所, 湖北 武汉 430074)

摘 要:为了解决低对比度红外序列图像中运动小目标的检测问题,提出了一种基于多级滤波的检测方法。首先,对具有一定空间分布范围($\leq 5 \times 5$)的小目标,可根据目标/噪声/背景的灰度分布模型具体分析其频谱特性范围。由 Fourier 变换定义可知,噪声能量主要集中在高频段,背景能量主要集中在低频段,而目标能量则主要分布在中频段,所以可以根据目标的大小,由门函数的 Fourier 变换估算出各种尺寸目标所处的频段,然后选择不同级数的滤波器将不同大小的候选目标从复杂背景中分离出来。经过多级滤波处理后,再对得到的包含候选目标的图像进行图像分割等适当的后续处理,就可以检测出真正的目标。

关键词:红外图像; 低对比度; 运动小目标检测; 多级滤波; 目标/背景/噪声频谱特性
中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2004)02-0164-05

Research on detection and recognition method of moving targets^{*}

ZHANG Cong, ZHANG Tian-xu

(Institute for Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to solve the problem of detecting moving small targets in low-contrast infrared image sequences, a new detection method based on multilevel filter is proposed. First of all, for small targets which had certain space distribution scope ($\leq 5 \times 5$), frequency characters of target, noise and background were analyzed in detail in terms of the gray distribution model of target, noise and background. Therefore, the conclusion was got. Background was relatively dominant in low frequency part, target was viewable in middle frequency part and noise was more obvious in high frequency part in the frequency domain in terms of Fourier transform. The frequency scope of various sizes of target could be estimated by the Fourier transform of GATE function. Then various sizes of candidate targets could be distinguished from complex background by different level filters. Real targets could be detected by properly processing these images which contain targets.

Key words: Infrared images; Low contrast; Moving small targets detection; Multilevel filter; Target, background and noise frequency character

收稿日期:2003-06-11; 修订日期:2003-08-30

基金项目:国家自然科学基金重点项目(60135020);中法先进研究计划项目(PRASI01-03)

作者简介:张聪(1978-),女,湖北武汉人,硕士,主要从事红外图像中运动小目标检测方面的研究。

0 引言

在低对比度的情况下,红外运动小目标极易被背景和噪声淹没,特别是当目标的尺寸比较小时($\leq 5 \times 5$),目标没有形状信息,很容易受到高频噪声点的干扰,给目标的检测造成很大的困难。一般用单帧图像难以实现对这类小目标的可靠检测,无法确定小目标的位置及轨迹等信息。所以对这类目标的检测,主要有两个指导思想:第一,对于单帧图像尽可能地抑制背景和噪声;第二,充分利用序列图像的帧间相关性和目标运动的连续性,进一步排除虚假目标,确定真实目标。国内外许多学者在这方面已经做了很多研究工作并取得了一定进展。我们在这方面进行了研究,提出了一种基于多级滤波的检测方法。该方法首先对单帧图像进行多级滤波处理,然后使用空间自适应门限法对滤波后的图像进行二值分割,获得候选目标点,最后根据序列图像的帧间相关性和目标的运动连续性实现运动小目标的检测。

1 检测算法

检测算法主要包括多级滤波、图像分割和相关性检测三个部分。

1.1 多级滤波^[1]

对于一幅红外图像来说,在不考虑目标、噪声和背景之间相对位置时,它们之间的灰度分布一般满足图 1 所示的关系。图中, G_n 、 G_t 、 G_b 分别表示噪声、目标和背景的灰度值; $2T_n$ 、 $2T_t$ 、 $2T_b$ 分别表示噪声、目标和背景的覆盖范围; C_n 、 C_t 、 C_b 分别表示噪声、目标和背景覆盖范围的中心位置。

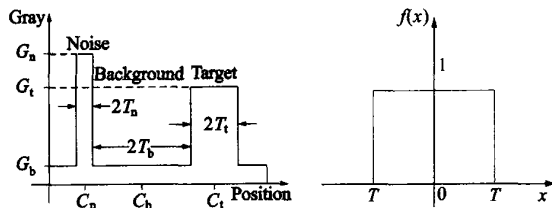


图 1 目标、噪声和背景的灰度分布模型
Fig. 1 Gray distribution model of target, noise and background

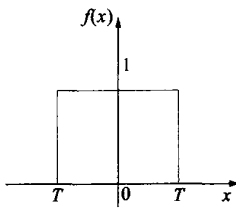


图 2 门函数
Fig. 2 Gate function

随着灰度值、覆盖范围和覆盖范围中心位置的变化,噪声、目标和背景都可以简单抽象为图 2 所示的门函数。根据 Fourier 变换的定义,门函数 $f(x) = 1$ ($-T \leq x \leq T$) 的频谱函数为:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{j\omega x} dx = \int_{-T}^T e^{j\omega x} dx = \frac{2\sin \omega T}{\omega} \quad (1)$$

这是一个 sin 函数,取其模量为:

$$F(\omega) = \left| \frac{2\sin \omega T}{\omega} \right| \quad (2)$$

则 $F(\omega)$ 满足图 3 所示振幅谱图分布。

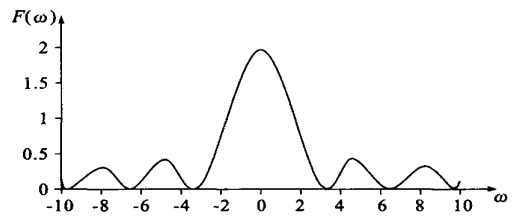


图 3 门函数的振幅谱图

Fig. 3 Amplitude spectrum of gate function

由图 3 可看出, $F(\omega)$ 在 ω 为 0 时取最大值。当 $\omega = \frac{k\pi}{T}$, $k = \pm 1, \pm 2 \dots$ 时, $F(\omega) = 0$; 当 $\omega = \frac{k\pi + \pi/2}{T}$, $k = \pm 1, \pm 2 \dots$ 时, $F(\omega)$ 取局部最大值 $F\left(\frac{k\pi + \pi/2}{T}\right) = \frac{4T}{(2k+1)\pi}$ 。假定用 $F^2(\omega)$ 代表信号的能量,当 T 增大时, $F(\omega)$ 沿着 x 轴压缩,频宽减小,能量集中在低频部分;反之,当 T 减小时, $F(\omega)$ 沿着 x 轴扩张,频宽增大,那么能量不再集中在低频部分,而是分布在很大的频段范围内。由图 1 可以看出,背景区域的 T 值很大,能量主要集中在低频段;目标区域的 T 值较小,能量主要分布在中频段,而噪声区域的 T 值非常小,能量主要集中在高频段。

可以设计这样的级联滤波器:首先使用一个低通滤波器(LPF₁)使得背景增强,目标和噪声被抑制,然后用原始图像减去这个滤波后的图像,就得到包含目标和噪声的图像;接着再使用另一个低通滤波器(LPF₂)来增强目标,抑制噪声。将这个处理过程联合起来就相当于使用了一个带通滤波器(即 $(1 - L_1) L_2$)。如果滤波器选择得好,就可以很好地将中频的目标从图像中分离出来。

一般来说并不知道小目标的实际尺寸,特别是在有多个目标存在的情况下,目标的大小是不固定的。不同大小的目标在频域中属于不同的频段,而对于一种固定的带通滤波器,其增强的频段也是固定的,所以对原始图像进行一次滤波,难以将所有目标与背景分开,因此可以考虑使用多级滤波的方法,即多个滤波器级联的方法,将不同大小的目标从原始图像中分离出来。假设某个低通滤波器(LPF)的传递函数为 L_p ,如果该LPF后面连接了另一个传递函数为 L_p 的LPF,那么就相当于使用了一个传递函数为 $L_p \times L_p$ 的LPF,改变了原来LPF的频谱。如果改变滤波器的连接级数,就相当于选用了覆盖不同频段的带通滤波器,其增强的频段也不会相同,就可以实现分离不同大小目标的目的。多级滤波器的基本原理如图4所示。图中, F 表示原始图像; F_{out} 表示多级滤波后的结果图像; $L_{p_1}, L_{p_2}, \dots, L_{p_n}, L_{q_1}, L_{q_2}, \dots, L_{q_m}$ 代表一般的低通滤波器,其中 n 和 m 都是可变的整数。从图4可以看出,这种多级滤波器的结构非常对称,

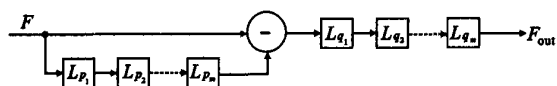


图4 多级滤波器原理图

Fig. 4 Diagram of multilevel filter

利于硬件实现,这也是设计该结构的一个主要原因。

完整的多级滤波器如图5所示。

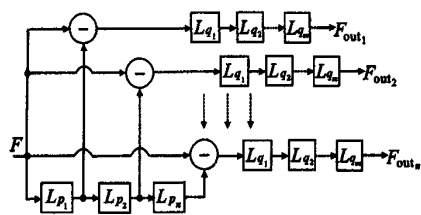


图5 多级滤波器

Fig. 5 Multilevel filter

由于各种低通模板的性质不同,那么在级联之后增强的频段也不会一样,所以在具体实现时,为了得到比较好的结果,可以先对目标和模板进行一些定量的预分析,再决定用哪种模板和多少级数进行处理;此外,还可以选用几种典型的多级滤波器,将得到的多个结果进行信息融合。

1.2 空间自适应门限分割法^[2]

当目标在图像中占的比例较小时,目标的灰度信息对整幅图像的贡献很小,使用全局门限不能把目标和周围背景分开,必须采用局部门限法在小区域中对图像进行分割,使目标在区域里占有一定的比例。考虑到人的视觉原理,首先通过眼扫视整幅图像区域,移动并集中视线于可能感兴趣的子区域(即信息相对丰富,特征相对突出的区域),再进行局部扫描识别目标,从而使判别能力不仅适应于整幅图像而且随不同的子区域而调整变化。把这一原理引入到图像分割过程中,可以对图像进行多次分割,以获得空间可变门限的计算模型。在上一次分割的基础上,得到一些分割区域,计算它们的信息量,如果信息量少,那么可将这个区域看成是一个物体,则不再进行处理;否则,对该区域再进行分割,直到所有的区域都不再被分割或者两次分割的结果不再有变化为止。

利用信息理论中的熵来度量图像的信息量,按照shannon函数,图像的信息量可定义为:

$$E = - \sum_{i=0}^{L-1} P_i \ln P_i \quad (3)$$

式中 P_i 为灰度级 i 的像素在图像中出现的概率; L 为图像的最大灰度级(一般为256)。

由公式(3)可知:

(1) 当图像中的像素在各个灰度级均匀分布,即各个灰度级在图像中出现的概率 $P_0 = P_1 = \dots = P_{L-1} = 1/(L-1)$ 时,公式(3)具有最大值,即 $E_{max} = \ln(L-1)$,这时图像的信息量最丰富;

(2) 当图像中的像素集中分布在某个灰度级,假设为 i ,即 $P_i = 1, P_k = 0 (k \neq i)$,公式(3)具有最小值,即 $E_{min} = 0$,这时图像的信息量最少,即整幅图像可看成是同一物体;

(3) 随着图像中灰度级减少,信息量 E 也减少,说明图像中灰度级越少,则信息量也越小。

由以上的分析可以认为用熵来表示的信息量能较好地度量图像的复杂度。

在红外图像中,可以假设目标比背景亮。对原始图像用聚类准则进行分割,得到目标区域和背景区域。我们要考虑的是分割得到的目标区域,根据假设,只需考虑分割得到的亮区。通过上述分析可以知

道目标在这些亮区里,也就是说确定了目标的大致位置,接着只需要在这些区域内进行再分割。这些分割子区域分别用 $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_n$ ($n \geq 1$) 表示。设 Ω_i ($1 \leq i \leq n$) 为其中一个区域,则 Ω_i 的信息量可以表示为:

$$E(\Omega_i) = - \sum_{j=0}^{L-1} P_j \ln P_j \quad (4)$$

式中 P_j 是灰度级为 j 的像素点在区域 Ω_i 中出现的概率; L 为图像的最大灰度级(一般为 256)。由公式(4)可计算出整幅图像的信息量为 E_A , 定义门限 $E_T = \alpha E_A$ ($0.6 \leq \alpha \leq 1$), 如果区域 Ω_j 的信息量满足:

$$E(\Omega_i) = - \sum_{j=0}^{L-1} P_j \ln P_j \geq E_T \quad (5)$$

则说明该区域的信息量丰富,包含较多的灰度级,不能认为是由单一的目标或背景组成,需要再进行分割;若公式(5)不成立,则说明该区域的信息量较小,包含较少的灰度级,可以把它认为是由单独的目标或背景组成,不需要再进行分割。

空间自适应门限分割法的算法步骤如下:

- (1) 计算整幅图像的信息量 E_A , 设置参数 α ($0.6 \leq \alpha \leq 1$), 计算门限 $E_T = \alpha E_A$;
- (2) 用 Otsu 聚类准则对图像进行分割,对分割的结果进行区域标记,得到各子分割区域;
- (3) 计算各子分割区域的信息熵 $E(\Omega_u)$, 如果满足 $E(\Omega_u) \leq E_T$, 则保留该区域, 否则还要对该子分割区域继续分割;分割完各子分割区域后,如果有相同性质(同为目标区域或是背景区域)的相邻子分割区域则需要合并;
- (4) 重复(2)和(3),直到所有子分割区域都满足 $E(\Omega_u) \leq E_T$ 或是两次连续分割的结果不再变化为止。

1.3 相关性检测^[3]

在采集的序列图像中,目标具有一定的运动连续性,而噪声点是随机分布的,可以利用这一性质进行相关性检测。文中描述的相关性检测与目标在帧间运动的速度有关。以目标在相邻帧之间的运动速度不超过 2 个像素为例,那么目标在相邻两帧之间始终在一个 5×5 像元的窗口内运动,在这个前提下,可以设计以下算法对候选目标进行进一步检测:

- (1) 搜索出图像中所有灰度值为 255 的像素点,

记录其位置为 (X, Y) ;

(2) 对每一个像素值为 255 的点 (X, Y) , 在相邻的上一帧中以 (X, Y) 为中心的相邻位置(即 5×5 的范围内)搜索是否有 255 的点存在,如果有就保留 (X, Y) 这个位置的点,否则,该位置的灰度值就置为 0, 得到新的图像 $g_1(i, j)$;

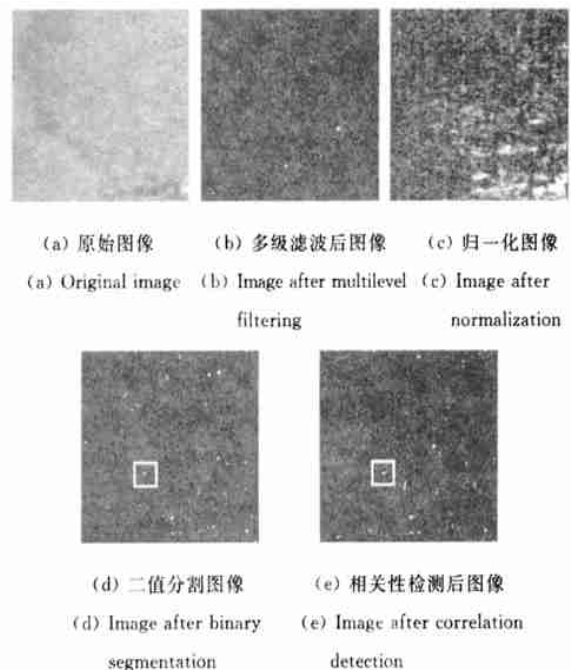
(3) 在相邻的下一帧中以 (X, Y) 为中心的相邻位置(即 5×5 的范围内)搜索是否有 255 的点存在,如果有就保留 (X, Y) 这个位置的点,否则,该位置的灰度值就置为 0, 得到新的图像 $g_2(i, j)$;

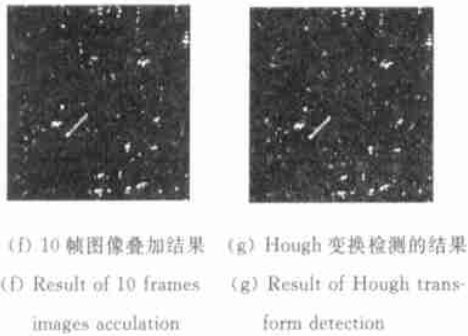
(4) 将得到的两幅图像 $g_1(i, j)$ 和 $g_2(i, j)$ 求或,即在 $g_1(i, j)$ 或 $g_2(i, j)$ 中出现灰度值为 255 的像素点才保留下来,得到图像 $h(i, j)$ 。

这里用求或运算而不是求与运算是由于考虑到前面对单帧图像的处理过程中万一其中某帧出现漏检的情况,使用或运算可以使得损失不至于扩大。

2 实验结果

图 6 是一序列实时图像及其部分检测结果。这一序列图像是以自然景物作为背景,图像中人为添加了一个 2×2 大小的小目标,其灰度值比当前位置高 15 个灰度级,使用的多级滤波的基本模板是 1×3 的门函数模板, $n = 4, m = 1$, 分割方法采用的是空间自适应门限分割法, $\alpha = 1$ 。图中的目标用矩形框标出。



图 6 2×2 大小目标的部分检测结果Fig. 6 Some detection results of 2×2 target

3 结 论

从实验结果可以看出,文中所采用的多级滤波的算法对背景和噪声有较好的抑制作用,并且易于实现。由于部分背景区域的灰度级非常高,所以无法去除所有的背景和噪声点。影响检测结果的主要因素是目标的强度和图像的信杂比。一般目标的强度 > 20 , 信杂比 > 2 , 即可以检测出目标;如果信杂比更大,

那么强度更小的目标也可被检测出来。反之,如果目标强度和信杂比都比较小,检测是比较困难的。

从实验结果可以看出,使用多级滤波的方法可以检测出低对比度红外序列图像中的运动小目标,能够有效地抑制背景和噪声,并且使用范围较广,对于多种复杂的背景都比较适用。

参考文献:

- [1] Zhang Tianxu, Zuo Zhengrong, Zuo Zhen. Detection of sea surface small targets in infrared images based on multilevel filter and minimum risk bayes test[J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2000, 14(7): 907-918.
- [2] Zhang Tianxu, Peng Jiaxiong, Li Zongjie. An adaptive image segmentation method with visual nonlinearity characteristics[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B, 1996, 26(4): 619-627.
- [3] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histogram[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1979, 9: 62-66.

(上接第 144 页)

所用 LED 的型号为 2EHF108C, 单管最小辐射功率 6 mW, 辐射半顶角 $\leq 25^\circ$, 摄像机镜头和 CCD 器件的参数与第 2 节中介绍的一致, 作用距离 R 依次取为 50、100 和 250 m (三种情况)。由图可见, 在四种情况的实验结果中, LED 在图像中像点的信杂比都足够高。尽管在图 2 的 50 和 250 m 的第二行展示的实验中, 在 LED 附近有很强的灯光干扰, 但 LED 的像点仍清晰可见, 充分证明了理论分析的正确性和可靠性。

4 结 论

推导出了 LED 的作用距离公式, 并针对实际应用和常用观测设备进行了分析。辐射功率 $P_0 = 6$ mW、半顶角 $\theta = 25^\circ$ 的 LED, 其最大作用距离 $R_{\max} \geq 1.5$ km。选用了多种型号的 LED 作了一系列实验, 实验结果表明了理论分析的正确性和可靠性。由于 LED 体积小、质量轻、功耗低, 文中的分析和实验又表明其作用距离范围大, 这样将进一步促进 LED 的广泛应用。

参考文献:

- [1] 张万生, 梁春广. 可见光 LED 的进展[J]. 半导体情报, 1997, 34(3): 1-9.
- [2] 金伟其. 现代城市交通流量的三维图像检测技术[J]. 红外与激光工程, 1997, 26(6): 57-61.
- [3] 李金宗, 逯仁贵, 马子墨, 等. 空间交会对接技术[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1997.
- [4] Howard R T, Cole H J, Jackson J L, et al. Automatic rendezvous and docking system test and evaluation[A]. Proceedings of SPIE-Th International Society for Optical Engineering Laser Radar Technology and Applications II[C]. 1997, 3065: 131-139.
- [5] Eaehe P B, Richard C H, Leonard B J. Space shuttle vehicle automatic docking study final report [R]. MIT, Contract NAS 9-10268, USA, 1971.
- [6] Ho C-CJ, McClamroch N H. Automatic spacecraft docking using computer vision-based guidance and control techniques[J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics. 1993, 16(2): 281-288.
- [7] Michael Ming Hua Hsu. A Stereoscopic Application to Automated Docking and Tracking Vision System[M]. USA, 1993.
- [8] 袁旭沧. 应用光学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.