

红外图象的预处理与目标分割

经一平 曹伟

(电子技术系)

摘 要 文中介绍了采用数字低通滤波器去除红外图象中背景起伏的方法;在红外图象中采用统计矩来估计目标的位置与特征;描述了一种分割红外目标图象的新方法。对红外图象与模拟图象的处理都表明是一种面向实际应用的红外图象处理技术。

关键词 数字图象处理, 数字图象分割, 模式识别, 红外图象, 数字信号滤波, 统计信号处理

分类号 TP391

红外数字图象中目标的分割是识别与跟踪目标不可缺少的一步。如果感兴趣的部分(即目标)在复杂的红外背景图象中相当小,也就是说,目标呈点状或斑状,要将它们分割出来可采用下述三个步骤来达到:(1)消除复杂红外背景的起伏;(2)确定目标在红外图中的位置;(3)选择合适的门限对红外图象进行分割。

去除红外背景起伏需要选择一种合适的滤波器,并确定其参数。本文采用 Butterworth 滤波器。消除起伏的具体做法是将红外图象逐行逐列进行处理,获得一个不含目标及其它高频分量的低频起伏图;然后求出原图与该图的灰度差值以达到消除背景起伏的目的。计算每一行及每一列的几个统计矩,根据它们的峰值可以确定目标的位置。最后介绍一种红外目标的分割方法:利用梯度信息的边缘分割算法。

由于数据处理大部分时候是逐行或逐列进行,这种流水线处理满足实时高速的要求。整个算法都较简单,计算量小。通过计算机对模拟与实际红外图象的处理结果表明,都能达到很好的分割效果,是一种面向应用的分割技术。

1 红外目标的特征与消除背景起伏的方法

由红外目标与背景构成的红外图象,当背景很复杂时,背景的灰度值会存在一个起伏。这种起伏往往都是缓慢的,它的频谱都分布在空间频域的低端。当目标尺寸很小时,目标为斑点状;如果是热目标,目标的灰度值将大于背景值。如图1所示,这是含有目标的某一行的一维信号。目标在这里是一个突出的陡峭的幅度信号,它的频谱都分布在

频域的高端。红外图象的背景起伏对采用统计矩确定目标的位置与分割目标都十分不利。当采用单门限分割法时,很容易丢失较弱的目标。解决的方法是除去起伏的背景分量,设法使背景均匀化,同时保留目标的信号。

实际上从摄像头来的红外图象信号都是逐行输入图象处理计算机的。显然,如果处理的方法也是按行的话,逐行输入后随即作处理能够更好地满足实时的需要。按行的图象信号处理是一维信号处理。处理的方法如图 2 所示:让被处理的信号 $f(n)$ 通过一个低通滤波器,输出的信号是一个除去高频分量的低频起伏信号 $f_L(n)$ 。让原信号 $f(n)$ 减去 $f_L(n)$, 它们的差为 $f_o(n)$

$$f_o(n) = f(n) - f_L(n)$$

即为除去低频起伏的信号。逐行或逐列处理过后的图象仍然保留了目标与其他细小的纹理,改善了直方图,有利于下一步图象的分割。这项技术要选择一个合适的低通滤波器。

2 低通滤波器的选择

数字低通滤波器的选择不是唯一的。在图象预处理中,由于采用的低通滤波器可以不考虑输出的相位,决定采用无限脉冲响应滤波器。进一步的考虑是算法要简洁,以便获得尽可能快的处理速度与简单的结构。选用四阶 Butterworth 滤波器可以兼顾处理速度与滤波效果,它的形式为:

$$|H(s)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{S}{j\omega_c}\right)^8}$$

式中, ω_c 为截止频率;极点为 S_k , 且

$$S_k = j\omega_c(-1)^{\frac{1}{8}} = j\omega_c e^{j\left(\frac{\pi+2k\pi}{8}\right)} \quad k = 0, 1, 2, \dots, 7$$

作 Z 变换 $Z = e^{sT}$ 后^[1], 则四阶滤波器在 Z 平面单位圆内有四个极点。

在 S 左半平面的极点为:

$$\begin{aligned} S_1 &= \omega_c(-\alpha + j\beta), & S_3 &= S_2^* \\ S_2 &= \omega_c(-\beta + j\alpha), & S_4 &= S_1^* \end{aligned}$$

式中, $\alpha = \sin \frac{\pi}{8}$, $\beta = \cos \frac{\pi}{8}$ 。

映射到 Z 平面后的极点为

$$\begin{aligned} Z_1 &= e^{\omega_c(-\alpha + j\beta)/f_s}, & Z_3 &= Z_2^* \\ Z_2 &= e^{\omega_c(-\beta + j\alpha)/f_s}, & Z_4 &= Z_1^* \end{aligned}$$

式中 f_s 为采样频率。这时四阶 Butterworth 滤波器的形式为

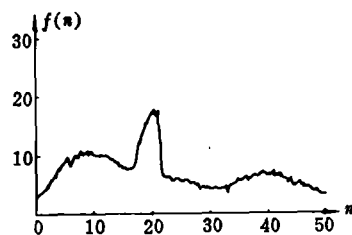


图 1 含有目标的一维图象信号

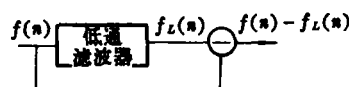


图 2 消除背景起伏的方法

$$H(Z) = \frac{Z^2}{(Z - Z_1)(Z - Z_2)(Z - Z_1^*)(Z - Z_2^*)}$$

$$= b_0 Z^{-2} \frac{1}{1 + b_1 Z^{-1} + b_2 Z^{-2}} \cdot \frac{1}{1 + b_3 Z^{-1} + b_4 Z^{-2}}$$

式中, $b_1 = -(Z_1 + Z_2^*)$, $b_2 = Z_1 \cdot Z_1^*$, $b_3 = -(Z_2 + Z_2^*)$
 $b_4 = Z_2 \cdot Z_2^*$, $b_0 = (1 + b_1 + b_2)(1 + b_3 + b_4)$

实际处理时, 由三个差分方程递推来实现

$$f_1(n) = f(n-2), \quad f_2(n) = f_1(n) - b_1 f_2(n-1) - b_2 f_2(n-2)$$

$$f_3(n) = f_2(n) - b_3 f_3(n-1) - b_4 f_3(n-2), \quad f_L(n) = b_0 f_3(n)$$

信号通过滤波器后会发生时间延迟。设 T 为采样周期, ω 为信号频率, 当 $\omega T \ll 1$ 时, 延迟的时间 τ_d 为

$$\tau_d = -\omega T \left[2 - \frac{b_1 + 2b_2}{1 + b_1 + b_2} - \frac{b_3 + 2b_4}{1 + b_3 + b_4} \right]$$

τ_d 随 ω_c/ω_s 的变化如表 1 所示

表 1

ω_c/ω_s	0.0025	0.005	0.01	0.025	0.05	0.075	0.1	0.15	0.2
τ_d	166.4	83.2	41.6	16.7	8.4	5.7	4.3	3.0	2.4

由实验表明, ω_c/ω_s 在 0.01~0.05 之间可以取得理想的结果。

3 采用统计矩确定目标的位置与特征

图象在消除背景起伏后, 接下来的处理是确定目标在图象上的位置及其特征, 以便在位置附近的子区作分割处理。处理方法是把每一行或列作为一个子区, 计算它们的统计特性, 从而确定每一行或列是否含有目标。

设二维红外数字图象为 $f(i, j)$, 尺寸为 $N \times N$, 常用的统计矩为

(1) 均值: 第 i 行的均值

$$f_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f(i, j)$$

(2) 方差: 第 i 行的方差

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [f(i, j) - f_i]^2$$

当第 i 行含有目标时, σ_i 将会出现峰值。

(3) 歪斜度: 第 i 行的歪斜度

$$S_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [f(i, j) - f_i]^3 / \sigma_i^3$$

在统计学中,歪斜度是描写概率分布密度不对称的一个度量。当 $S_i > 0$ 时,表示概率分布密度函数峰值倾向均值右方;当 $S_i < 0$ 时,表示概率分布密度函数峰值倾向均值左方。当有目标位于第 i 行时, S_i 值可用来判断红外目标是热点(目标灰度值大于背景灰度值)与冷点(目标灰度值小于背景灰度值)。当 $S_i > 0$ 时,目标为热点;当 $S_i < 0$ 时,目标为冷点。

(4) 陡峭度:第 i 行的陡峭度

$$K_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [f(i, j) - f_i]^4 / \sigma_i^4 - 3$$

这里 -3 表示是以正态分布的陡峭度为标准,因正态分布的陡峭度为 3。当 $K_i > 0$ 时,该行灰度分布陡峭度比正态分布尖细;当 $K_i < 0$ 时,比正态分布浑圆。当 i 行含红外目标时,会出现较大的 K_i 值。

(5) 自相关长度:第 i 行的自相关函数

$$R_i(\tau) = \frac{1}{N - \tau} \sum_{j=1}^{N-\tau} [f(i, j) - f_i][f(i, j + \tau) - f_i]$$

这里 τ 为整数。当 $\tau=0$ 时, $R_i(0) = \sigma_i^2$, 其归一化函数服从指数分布,即

$$\frac{R_i(\tau)}{R_i(0)} = \exp\left(-\frac{\tau}{l_i}\right)$$

令 $\tau=1$, 则第 i 行的自相关长度 l_i 为

$$l_i = \frac{1}{\ln R_i(0) - \ln R_i(1)}$$

当某一行包含目标时,由于目标为斑点状,其灰度大于(或小于)背景灰度若干倍,自相关长度会出现极小值。

以上描述的是行的统计参数,同样可计算列的统计参数,并可根据对目标特征的实际需要选用这些参数。当第 i 行与第 j 列出现峰值时可以判断位置 (i, j) 处可能有目标存在。

4 红外目标的分割技术

对于一张数字化图 $f(i, j)$ 可以选择一个门限 T , 使得分割后的图 $f_s(i, j)$ 为 0、1 值图, 即

$$f_s(i, j) = \begin{cases} 1 & f(i, j) \geq T \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

分割的关键是确定门限 T 。确定门限 T 的方法很多, 本文介绍一种新方法来选择门

限。

一般的图象分割只利用了图象的灰度特征,并没有把目标的几何图形联系起来考虑。如果把目标的边缘特征考虑进去,可以达到更为理想的效果,能在较低的信杂比条件下工作。

对一张要分割的图象 $f(i, j)$ 作边缘增强处理,得一张反映边缘特征的图 $f_e(i, j)$ 。利用上述的统计一、二阶矩确定目标的位置,在这个位置附近可以找到一个灰度峰值。以这个峰值的位置中心逐步降低灰度值作等高线。利用图 $f_e(i, j)$ 计算等高线上像素的平均梯度值。当这些等高线上的平均梯度值最大时,其对应的灰度值则是目标的边缘。取这个灰度值作为分割的门限,可以很好地分离红外目标。

具体处理过程如下:

对于红外图象 $f(i, j)$ 采用 Sobel 算子对其边缘作增强。水平方向的 Sobel 算子和垂直方向的 Sobel 算子分别为:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

增强后的图分别为 $f_x(i, j)$ 与 $f_y(i, j)$ 。合成的边缘增强图象 $f_e(i, j)$ 为

$$f_e(i, j) = \sqrt{f_x^2(i, j) + f_y^2(i, j)}$$

在原图上利用统计矩确定目标的可能位置,其对应的灰度值为 f_M 。以 f_M 为起点逐步降低灰度值,以此值为门限对红外图进行分割,从而产生出一系列新图 $f_k(i, j)$, $k=1, 2, \dots, M-1$ 。

$$f_k(i, j) = \begin{cases} f(i, j) & f(i, j) > f_{M-k} \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

这里 $f_1, \dots, f_M$ 为原图 $f(i, j)$ 的灰度值。

在图 $f_k(i, j)$ 中,目标有一个边界,边界上像素的集合为 Ω_k , 像素数为 N_k 。在 $f_e(i, j)$ 图中找出集合 Ω_k 上的梯度值。

定义度量值 M_k 为

$$M_k = \frac{1}{N_k} \sum_{i, j \in \Omega_k} f_e(i, j)$$

M_R 的极大值所对应的灰度值为 f_T 。 f_T 即视为目标边界的灰度值。分割的门限 T 就取 f_T 。

当有多个目标时,分割可在每个目标周围的子区进行。

5 实验结果

本文中的算法对实际包含坦克目标的红外图象与计算机合成的图象都进行了模拟实验。图象作预处理时,取 $\omega_c/\omega_s = 0.05$ 能获得最佳的效果。在计算机合成图象中通过加

上高斯白噪声来改变图象的信杂比。当信杂比为 1 时，采用梯度信息的边缘分割算法还能很好地分割目标。处理的过程与结果如图 3 所示。图 4 示出当灰度值下降边界扩大时，边界上的平均梯度值对应于灰度值的曲线。

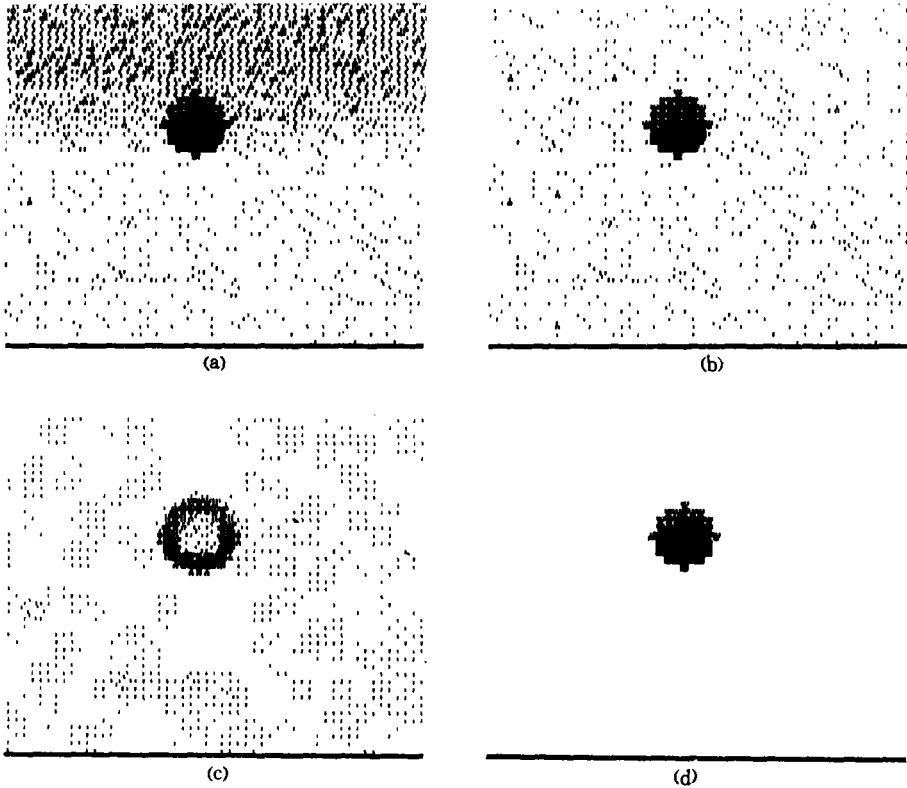


图 3 利用梯度信息分割技术处理的全过程

- (a) 含有低频背景起伏的红外模拟图， $SNR=1$ ；
- (b) 去除背景起伏后的图象；
- (c) 边缘增强后的图象；
- (d) 分割处理后的图象

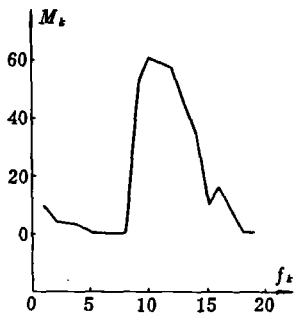


图 4 灰度—平均梯度值变化曲线

参 考 文 献

- [1] Charles S. Weaver et al. , Digital Filtering with Applications to Electocardiogram Processing. IEEE Audio , September 1968, AV-16(3), 350
- [2] Gold B and Radar C M Digital Processing of Signal. McGraw-Hill, 1969

The Preprocessing and Target Segementation for Infrared Image

Jing Yiping Cao Wei

(Department of Electronic technology)

Abstract

This paper introduces the techniques of eliminating the background in infrared image using low-pass filter. The position and feature of targets in infrared image are estimated in several statistical moments. A new segementation algorithm for targets is introduced. The processing of infrared image and simulation image shows that the algorithm is an effective technique oriented to practical application.

Key words Pattem recognition, infrared image, digital image processing, digital signal filter, statistical signal processing, digital image segement