

· 红外技术 ·

红外小目标检测中的 Bayes 估计器背景抑制方法

陈峰¹, 邓剑¹, 毛剑英²

(1. 中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300000; 2. 哈尔滨飞行学院航理系, 黑龙江 哈尔滨 150000)

摘要: 针对红外小目标检测中的背景抑制问题, 提出一种新的方法。利用分布图法和 Bayes 估计器根据有限帧图像估计出当前取景框的“纯背景”, 将各图与背景图运算得到只含有目标和少数噪声点的图像, 对图像进行分割和目标判别, 可有效抑制图像中的起伏背景, 降低后期处理的错误率。实验验证了该方法的有效性。

关键词: Bayes 估计器; 纯背景; 红外; 弱小目标

中图分类号: TN219

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2014)-02-0010-03

Bayes Estimator Background Suppression Method for Infrared Small Target Detection

CHEN Feng¹, DENG Jian¹, MAO Jian-ying²

(1. Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300000, China;

2. Department of Aviation Theory, Harbin Flight Academy, Harbin 150000, China)

Abstract: According to the background suppression issue in infrared small target detection, a new method is put forward. The pure background of current viewing frame is estimated through the methods of distribution image and Bayes estimator based on the finite frame image. The images only containing targets and a few noise points are obtained through calculating each image and background images. The images are segmented and distinguished to suppress effectively the fluctuation background in images so that the error rate of post-processing is reduced. The effectiveness of the method is proved by experiments.

Key words: Bayes estimator; pure background; infrared; weak and small target

红外小目标检测问题的难点在于: 背景起伏严重、目标信噪比低、小目标只占一个或者几个像素、不具有形状和结构信息。为了从红外图像序列中检测到运动的弱小目标, 目前比较常用的方法是先对图像进行背景抑制, 然后再进行处理。背景抑制的方法有很多种^[1-5], 如: 质心提取算法、白化滤波器方法、Kalman 估计器、自适应算法、形态滤波等, 但这些算法一般都运算复杂, 实时性差。

提出了一种新的背景抑制方法, 可大幅提高算法运算速度。首先用分布图法“剔除”前期图像中的目标和噪声信号, 再利用 Bayes 估计器估计图像的“纯背景”, 将所有图像与“纯背景”相减达到背景

抑制的目的。

1 红外图像建模

一幅包含小目标的红外图像 $I(x, y)$ 可以用下式描述

$$I(x, y) = I_T(x, y) + I_B(x, y) + n(x, y) \quad (1)$$

其中, (x, y) 表示像素点的坐标; $I_T(x, y)$ 表示目标点的灰度值; $I_B(x, y)$ 表示背景点的灰度值; $n(x, y)$ 表示随机噪声。图像中包含的目标数据 $I_T(x, y)$ 是极为重要的, 而噪声数据 $I_B(x, y)$ 属于干扰信号。实际上, 正是由于起伏背景和干扰信号的存在, 才使得

红外图像中弱小目标的检测非常困难。复杂度高的方法相应地提高了分析系统的运算时间,因此,提高算法的快速性是解决红外弱小目标提取的突破点之一。

2 背景抑制

2.1 利用分布图法“剔除”奇异点

这一步要对每个像素点在若干帧图像中的灰度值进行处理,首先将噪声信号和目标信号(即突变的灰度值)剔除掉。利用数据探测技术中的分布图法剔除这些奇异点可靠性高,而且计算机编程也比较容易^[4]。分布图中反映数据分布结构的参数主要是:中位数 G_M 、上分位数 G_U 、下分位数 G_L 和分位数离散度 dG 。

某一像素点在 10 帧图像中的灰度值按从小到大的顺序排列为: G_1, G_2, \dots, G_{10} , 则 G_1 称为测量列的下限, G_{10} 称为上限。定义中位数 M 为

$$G_M = \frac{G_5 + G_6}{2} \quad (2)$$

上五分位数 G_U 为区间 $[G_M, G_{10}]$ 的中位数,下五分位数 G_L 为区间 $[G_1, G_M]$ 的中位数。分位数离散度为

$$dG = G_U - G_L \quad (3)$$

认定与中位数的距离大于 αdG 的数据为离异数据,即无效数据的判断区间为

$$|G_i - G_M| > \alpha dG \quad (4)$$

式中, α 为常数,其大小视环境状况而定。由于噪声和目标的灰度值通常比背景的灰度值大很多,通过分布图法可以将这些值剔除掉,余下背景的灰度值做下一步处理。

2.2 Bayes 估计器估计背景

设某一像素点的灰度值经剔除数据后的数据集为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i\}$ 。下面用 Bayes 估计方法将数据集集中的数据融合成一个最佳融合数据,并把它作为该像素点的背景灰度值。

$$p(\mu | x_1, x_2, \dots, x_i) = \frac{p(\mu; x_1, x_2, \dots, x_i)}{p(x_1, x_2, \dots, x_i)} \quad (5)$$

若参数 μ 服从 $N(\mu_0, \sigma_0^2)$, 且 X_k 服从 $N(\mu, \sigma_k^2)$,

并令 $\alpha = \frac{1}{p(x_1, x_2, \dots, x_i)}$, α 是与 μ 无关的常数,因此

$$\begin{aligned} p(\mu | x_1, x_2, \dots, x_i) &= \alpha \prod_{k=1}^i \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_k} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left[\frac{x_k - \mu}{\sigma_k}\right]^2\right\} \times \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_0} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left[\frac{\mu - \mu_0}{\sigma_0}\right]^2\right\} = \\ &= \alpha \exp\left\{-\frac{1}{2} \sum_{k=1}^i \left[\frac{x_k - \mu}{\sigma_k}\right]^2 - \left(-\frac{1}{2}\right) \left[\frac{\mu - \mu_0}{\sigma_0}\right]^2\right\} \times \\ &= \prod_{k=0}^i \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_k} \end{aligned} \quad (6)$$

其中,指数部分是关于 μ 的二次函数。因此 $p(\mu | x_1, x_2, \dots, x_i)$ 仍为正态分布,假设其服从 $N(\mu_N, \sigma_N^2)$, 即

$$p(\mu | x_1, x_2, \dots, x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_N} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left[\frac{\mu - \mu_N}{\sigma_N}\right]^2\right\} \quad (7)$$

由式(6)、式(7)得

$$\mu_N = \left[\sum_{k=1}^i \frac{x_k}{\sigma_k} + \frac{\mu_0}{\sigma_0^2} \right] / \left[\sum_{k=1}^i \frac{1}{\sigma_k^2} + \frac{1}{\sigma_0^2} \right] \quad (8)$$

μ 的 Bayes 估计为 $\hat{\mu}$

$$\hat{\mu} = \int_{\Omega} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_N} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left[\frac{\mu - \mu_N}{\sigma_N}\right]^2\right\} d\mu = \mu_N \quad (9)$$

式中, $\hat{\mu}$ 为 μ 的最优融合数据,为该像素点的背景灰度值。利用该方法计算所有像素点的背景融合灰度值,作为“纯背景” $\hat{I}_B(x, y)$ 。将第 i 帧图像 $I(x, y, i) (i = 1, 2, \dots, k)$ 进行如下运算

$$I(x, y, i) - \hat{I}_B(x, y) = I_T(x, y) + n(x, y) = I'(x, y, i) \quad (10)$$

由于 $[I_B(x, y) - \hat{I}_B(x, y)] \approx 0$ 可直接按零处理。可以得到一幅包含目标和随机噪声的图像,再利用目标的运动性和规则性从中检测目标。

3 图像分割与目标检验

背景抑制后的图像要进一步从中分割出可疑目标点。对采集到的第 i 帧图像 $I(x, y, i)$, 定义分割阈值为

$$\theta(i) = \text{avr}(i) + \omega \times \text{SNR} \times \text{var}(i) \quad (11)$$

其中, $\text{avr}(i)$ 为第 i 帧图像的均值; SNR 为图像的信噪比(定义为 $\text{SNR} = (I_{I_{\max}} - I_{I_{\text{bg}}}) / \lambda$, $I_{I_{\max}}$ 为局部窗口内信号最大灰度值; $I_{I_{\text{bg}}}$ 为局部窗口内背景灰度均值; λ 为局部窗口灰度值的标准差。); $\text{var}(i)$ 为第 i 帧的方差; ω 为加权系数,可以根据检测概率、虚警

概率、 SNR 来决定。图像分割后,图像内容只包含少量可疑点,可大大减少后续处理的数据量。

根据检测对象运动的连续性和规则性及噪声的随机性,可利用相邻帧中可疑目标点的位置和可能运动趋势进行目标判别。具体可采用文献[2]中的多级假设检验(MHT)方法进行目标判别,同时结合趋势判别法,即根据有限帧判断出目标运动趋势后,若下一帧可疑点恰在估计范围内则可认定为目标,若发生跳跃,则必为噪声点。

4 实验结果及分析

以每秒 50 帧的频率连续采集红外序列图像,取 50 帧为实验图样,每帧图像的大小为 320×256 像素,图像序列中的目标为单像素点。

图 1 为第 7 帧和第 36 帧单帧图像,亮框中是目标。利用前 10 帧图像估算出“纯背景”,再将每帧图像与“纯背景”相减以达到背景抑制的目的。利用 Bayes 估计器得到的背景如图 2 所示。将 50 帧图像逐个与“纯背景”相减后再进行图像分割,之后用 MHT 结合趋势判别法进行目标判别。图 3 为利用 50 帧图像绘出的目标运动轨迹。



(a)第7帧图像



(b)第36帧图像

图1 单帧图像



图2 Bayes 估计器下的“纯背景”



图3 运动轨迹

采用 Bayes 估计算法可实现对图像背景有效的抑制,大大提高目标检测的准确率。而且由于算法简单运算快,满足运算时间的要求,降低了分析系统的硬件复杂性。实验结果表明,该方法能很好地完成信噪比大于 3 的弱小目标检测。

参考文献

- [1] 付道俊,吴坚,吴国东.基于质心提取的红外图像小目标检测[J].舰船电子工程,2009,29(12):196-198.
- [2] 陈晓飞,聂洪山,赵琪.一种基于白化滤波器的红外小目标检测方法[J].无线电工程,2009,39(1):51-53.
- [3] 聂洪山,沈振康.一种基于时间 Kalman 估计器的红外小目标检测方法[J].红外技术,2004,26(5):22-24.
- [4] 聂洪山,李飏,沈振康.一种基于自适应背景抑制的红外小目标检测方法[J].红外技术,2004,26(2):51-53.
- [5] 过润秋,张颖,林晓春.基于形态滤波的红外小目标检测方法[J].激光与红外,2005,35(6):451-453.
- [6] BAI Xiang-zhi, ZHOU Fu-gen. Analysis of new top-hat transformation and the application for infrared dim small target detection [J]. Pattern Recognition, 2010, 43(6): 2145-2156.
- [7] YANG Feng. JPDA algorithm for tracking infrared dim and small targets [J]. Computer & Digital Engineering, 2011, 4: 132-133.