

文章编号: 1672-8785(2011)08-0029-06

基于假设检验的红外弱小目标感兴趣区域提取算法

产启文

(上海海事大学, 上海 200135)

摘 要: 根据假设检验的基本原理, 提出了一种红外弱小目标感兴趣区域检测算法。该方法首先按照最小错误概率准则抽取图像中目标的感兴趣区域, 然后在这些区域里进行目标提取和分析。实验结果表明, 该方法很好地克服了一些传统方法中冗余计算多和分析难度高等缺点, 非常适合于红外弱小目标的高性能检测。

关键词: 感兴趣区域; 最小错误概率准则; 假设检验; 红外序列; 小目标检测

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.08.006

ROI Detection Algorithm for Small Infrared Target in Infrared Image Based on Hypothesis Testing

CHAN Qi-wen

(Shanghai Maritime University, Shanghai 200135, China)

Abstract: According to the basic principle of hypothesis testing, an algorithm for detecting the region of interest (ROI) of a small infrared target in an image is proposed. In the method, the ROI of a small infrared target in an image is firstly extracted by using the minimum error probability criterion and then target extraction and analysis are carried out in those regions of interest. The experimental result shows that this method overcomes the disadvantages such as large computation and difficult analysis in traditional methods and is very suitable for the high performance detection of small infrared targets in infrared images.

Key words: region of interest; minimum error probability criterion; hypothesis testing; infrared sequences; small target detection

0 引言

低信噪比条件下的红外弱小目标检测是红外图像处理系统中的一项基础性技术。尤其是在海平面、天空等复杂背景条件下, 该技术更是影响后续图像分割和目标跟踪效果的一个难点。因此, 如何提高复杂背景条件下红外弱小目标检测系统的鲁棒性, 实现快速有效的检测是当前需要研究的关键问题之一^[1]。从技术角度来

讲, 红外弱小目标检测的研究内容十分丰富, 它涉及到图像处理、模式识别、计算机视觉和人工智能等学科领域。目前, 这些领域都受到了研究人员的大量关注, 而且他们已经提出了许多行之有效的办法。然而, 研究出一种稳健、准确、高性能的红外弱小目标检测方法依然具有十分明显的挑战意义。

本文提出一种基于假设检验的红外弱小目标感兴趣区域提取算法。该算法大体上分三步

收稿日期: 2011-06-20

作者简介: 产启文(1985-), 男, 安徽安庆人, 硕士研究生, 主要研究方向为图像分析与视频处理。

E-mail: dxchqw@163.com

提取目标感兴趣区域。第一步, 将输入图像分割成若干个子区域, 并根据假设检验的基本原理, 检测出每个子区域当中感兴趣区域的若干种子点。所谓种子点是指目标区域或虚假目标区域中具有典型目标像素特征的点。第二步, 根据第一步得到的种子点以及弱小目标的“弱”和“小”特征, 将可能属于同一弱小目标的种子点划归到一起。第三步, 提取并标记目标的感兴趣区域。在本文方法中, 感兴趣区域的提取是后续目标检测、分割以及跟踪的前提和基础。实验结果表明, 该方法能够以较高的目标检测率和较低的虚警率实现目标检测, 避免了一些冗余的运算过程, 并且大大降低了分析难度, 非常适用于红外弱小目标的高性能检测。

1 划分图像子区域

一般来说, 在复杂海洋环境中拍摄红外视频序列时, 由于成像系统与目标相距较远, 大多数人感兴趣的目标都被归属于弱小目标一类^[2]。“弱”和“小”实际上是指目标属性的两个方面: “弱”是指目标的强度, 反映到图像上就是指目标的灰度; “小”是指目标的尺寸, 反映到图像上就是指目标所占的像素数目。目前, 人们对弱小目标有几种不同的分类方式。其中有

一种观点认为小目标是指目标像素数在 10×8 到 30×15 的范围内时的情况^[3]。不过, 这里我们把情况考虑得更为极端一些, 即认为本文所涉及的小目标有可能是在图像上只占十几到几十个像素的目标, 如占 6×6 个像素的目标^[4]。

基于弱小目标的这些特征, 在提取目标的感兴趣区域之前, 我们首先把红外视频的每一帧划分为 $m \times n$ 个子区域。这样一方面有利于在每一个子区域中提取若干个种子点, 另一方面可以在各个子区域内分别以不同的判决阈值得到种子点, 从而对非常小 (如小到只有十几个像素) 的目标的漏检现象起到很好的防止作用。下面就利用这种思想来分割输入图像。

按水平和垂直方向将一帧图像分割成大小相等的区域^[5], 如图 1(a) 所示。输入图像用 Ω 表示, 其大小为 $r \times c$ 。通过将其长度等分成 m 格、宽度等分为 n 格, 可以得到 $m \times n$ 个互不相交的区域 Ω_{ij} 。每个区域内的像素个数为 $(r \times c) / (m \times n)$ 。其中, $i=1, 2, \dots, m$; $j=1, 2, \dots, n$ 。因此

$$\Omega = \bigcup_{j=1}^n \bigcup_{i=1}^m \Omega_{ij}, \quad \Omega_{ij} \cap \Omega_{kl} = \emptyset, \\ \forall i \neq k \vee j \neq l; \\ i, k = 1, 2, \dots, m; j, l = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

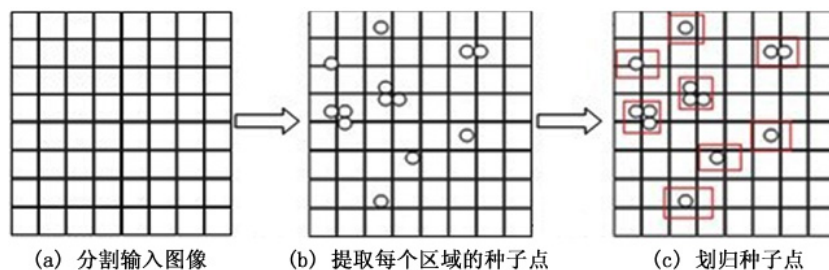


图 1 潜在目标感兴趣区域的抽取准备工作

2 确定筛选阈值

2.1 假设模型的建立

图像中的目标检测实际上是指在图像中确定是否存在目标, 这与信号检测中判断有无信号具有相似之处。因此, 在图像目标检测中同样可以引入假设检测的基本理论^[6], 只是在形式

上有所不同罢了。

对于图像中的任意一点 (x, y) , 只存在两种可能: 第一是目标存在, 第二是目标不存在。如果用 H_1 假设代表目标存在, 用 H_0 假设代表目标不存在, 并将 f_k 记为某一视频序列 F 中的第 k 帧图像, 则可将此时的目标检测问题归结为如

下的二元检测问题:

$$H_1: f_k(x, y) = s_k(x, y) + n_k(x, y) \quad (2)$$

$$H_0: f_k(x, y) = n_k(x, y) \quad (3)$$

式中, $f_k(x, y)$ 为观测到的第 k 帧图像信号, $n_k(x, y)$ 为背景噪声, $s_k(x, y)$ 为目标信号, (x, y) 为观测信号的空间坐标位置, k 为观测时刻。

2.2 确定判决表示式及判决阈值

前面建立了用于筛选种子点的假设模型, 接下来要确定的是观测信号所满足的分布。根据概率论与数理统计知识, 对于某一特定场景下的红外图像, 我们可以认为其中的背景噪声满足均值为 μ 、方差为 σ^2 的高斯分布 (在实际操作中, 可以用样本均值和方差来代替总体均值和方差)。对于占有面积很小的弱小目标, 其灰度的统计分布可以看作近似于均匀分布。

按照这样的分布特性, 将会有

$$p(f_k(x, y)|H_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left\{ -\frac{[f_k(x, y) - s_k(x, y) - \mu]^2}{2\sigma^2} \right\} \quad (4)$$

$$p(f_k(x, y)|H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left\{ -\frac{[f_k(x, y) - \mu]^2}{2\sigma^2} \right\} \quad (5)$$

设先验概率分别为 $p(H_1)$ 和 $p(H_0)$, 按照最小错误概率准则^[7]进行判决, 则当

$$\frac{p(f_k(x, y)|H_1)}{p(f_k(x, y)|H_0)} \geq \frac{p(H_0)}{p(H_1)} \quad (6)$$

时, 判决假设 H_1 成立, 即 (x, y) 是目标像素点; 当

$$\frac{p(f_k(x, y)|H_1)}{p(f_k(x, y)|H_0)} < \frac{p(H_0)}{p(H_1)} \quad (7)$$

时, 判决假设 H_0 成立, 即 (x, y) 不是目标像素点。不妨令

$$\lambda_k(x, y) = \frac{p(f_k(x, y)|H_1)}{p(f_k(x, y)|H_0)} \quad (8)$$

$$\eta = \frac{p(H_0)}{p(H_1)} \quad (9)$$

并定义信噪比:

$$\rho = s_k(x, y)/\sigma \quad (10)$$

因为 $s_k(x, y)$ 服从均匀分布, 所以一般可以用均值 s 取而代之, 即 $\rho = s/\sigma$ 。再结合式 (4) 和式 (5), 最终可得阈值判决式, 即当

$$f_k(x, y) \geq (\sigma \ln \eta)/\rho + \sigma\rho/2 + \mu \quad (11)$$

时, 判决假设 H_1 成立, 即 (x, y) 是目标像素点; 当

$$f_k(x, y) < (\sigma \ln \eta)/\rho + \sigma\rho/2 + \mu \quad (12)$$

时, 判决假设 H_0 成立, 即 (x, y) 不是目标像素点。令

$$T = (\sigma \ln \eta)/\rho + \sigma\rho/2 + \mu \quad (13)$$

并可将其写成

$$T = a\sigma + \mu \quad (14)$$

这里要特别注意式 (14) 中各个参数的意义。对于特定的某一帧图像来说, σ 表示图像的标准差, 它显然是一个常数; $a = (\ln \eta)/\rho + \rho/2$ 也是一个常数。在对 μ 进行取值时要特别注意。就红外弱小目标检测而言, 目标区域与背景区域之间一般存在灰度差值, 这个差值的有效性往往只存在于目标区域和其某一个邻近背景区域之间。这个邻域往往并不大。如果超过该区域, 这个差值就不能被当作目标的一个表征了。因此, 我们只把目标放在各个子区域内, 这样目标在该子区域内就具有一定的显著性。于是我们相应地选取子区域 Ω_{ij} 内的局部背景噪声均值 μ_{ij} 作为式 (14) 中的 μ , 这里 $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$ 。

结合式 (14), 第 k 帧图像的阈值可以由式 (15) 确定。

$$T(k) = a(k)\sigma(k) + \mu(k)_{ij} \quad (15)$$

这样就相当于得到了一个针对各帧图像进行阈值判决的阈值计算公式, 而且该阈值在每帧图像的各个子区域内具备“自适应性”。

2.3 提取目标的感兴趣区域

在由式 (15) 计算出门限值之后, 可以根据式 (11) 和式 (12) 来提取目标感兴趣区域的种子点。然而并非每个图像子区域内都存在目标种子点, 而且目标有可能存在于相邻几个子区域

的交界处, 所以直接以包含种子点的图像子区域作为目标感兴趣区域显然不太适合。对于图像 Ω , 考虑到弱小目标的大小和连续性, 只需在每个图像子区域 Ω_{ij} (见图 1(a)) 内选取具有代表性的一定数量的种子点。处理结果可以用图 1(b) 来表示。在提取各个子区域的种子点之后, 可以利用二值化处理使其它像素呈现“全黑”状态。

对于保留下来的目标种子点, 比较合适的处理方法是把有可能属于同一目标的种子点划归到一个区域, 并将其标记为目标感兴趣区域。在确定目标区域时, 我们对每一个目标种子点考察其所有相邻子区域内的种子点, 观察它们的横纵像素坐标距离是否都小于等于 10。若满足条件, 则判定它们属于同一目标; 反之, 则判定它们不属于同一目标。这里之所以选择 10, 是因为 10 是一个折中而又较合适的数值。对于不同的视频对象, 可以根据目标的具体情况和特征来设定不同的值。

现在我们已经把所有属于同一目标的种子点都规划好了, 接下来要做的就是标记目标感兴趣区域。对于属于同一目标的所有种子点, 首先要对其进行计数。这里直接将那些只有几个种子点 (不到 10 个) 的区域纳入背景噪声而不把它们当作目标点来处理。我们不难得到那些种子点数目足够多的区域的“外接矩形”, 如图 2 所示。但是本文并不把这个“外接矩形”当作感兴趣区域的边界, 因为该矩形外很可能还有属于目标的像素点。为了尽量将所有的目标像素点都包含在感兴趣区域内, 我们将种子点外接矩形向上下左右各方向扩充 5 个像素点, 从而得

到目标的感兴趣区域, 如图 1(c) 和图 2 所示。最后将感兴趣区域标记在原始图像上即可。

3 实验结果及分析

图 1 和图 2 都形象地说明了本文算法的基本思想。为了验证该算法的可行性, 本文还对大量海平面实拍红外视频进行了研究, 而且均获得了较好的效果。

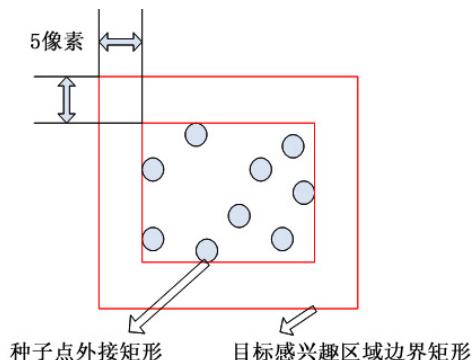
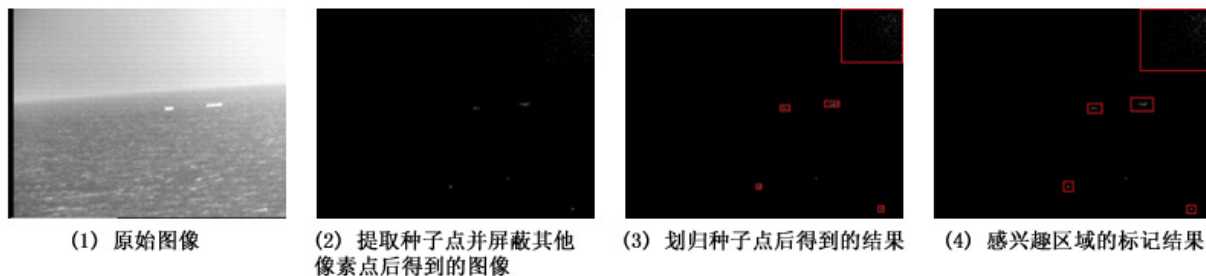
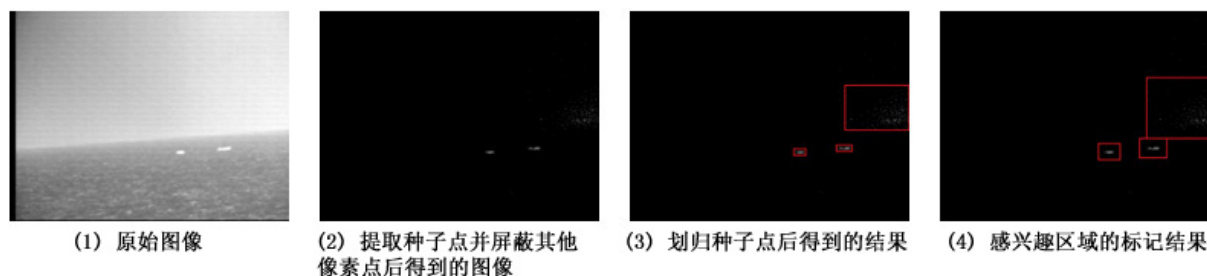


图 2 目标感兴趣区域的边界矩形标记的示意图

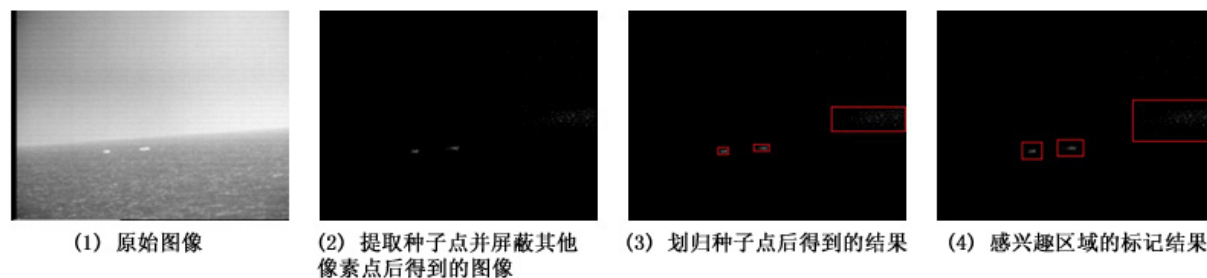
这里选择视频 9、视频 10、视频 11 和视频 12 进行分析, 并各取一帧图像来演示感兴趣区域的提取结果, 如图 3 所示。其中, 图 3a(1)、图 3b(1)、图 3c(1) 和图 3d(1) 均为原始图像。图 3d(1) 只含单目标, 图 3a(1)、图 3b(1) 和图 3c(1) 均含双目标, 且拍摄距离由近及远, 目标由大变小, 这样就能更好地说明算法的适用性。所有视频帧的大小都是 768×576 。因此, 选择将图像分割成 32×32 大小的 24×18 个子区域 (即 $m=24$, $n=18$)。图 3a(2)、图 3b(2)、图 3c(2) 和图 3d(2) 分别表示用假设检验法提取目标点后的情况。为方便查看, 除目标点 (或虚假目标点) 之外的



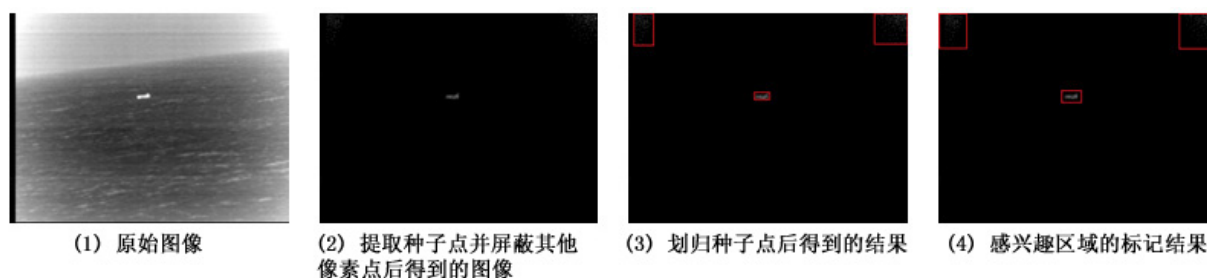
(a) 视频 9 第 171 帧的处理结果



(b) 视频 10 第 994 帧的处理结果



(c) 视频 11 第 478 帧的处理结果



(d) 视频 12 第 97 帧的处理结果

图 3 红外视频帧的目标感兴趣区域的提取结果

其它像素点均被设置成黑色。图 3a(3)、图 3b(3)、图 3c(3) 和图 3d(3) 所示为划归种子点的结果。图 3a(4)、图 3b(4)、图 3c(4) 和图 3d(4) 所示为目标感兴趣区域的提取结果。

从图 3 中可以看出, 虽然有虚假目标区域出现, 但这都是由复杂的海洋背景及噪声造成的。只要在后面的目标检测过程中利用目标本身的一些信息, 如边缘特征^[8]、帧间的时间特性^[9]等, 就可以很方便地从所有感兴趣区域中检测出真实目标。实验结果表明, 本文算法取得了较为明显的效果。

4 结论

本文提出的目标感兴趣区域提取算法是最终检测出弱小目标之前的关键一步。相对于一

般的目标直接检测算法, 该算法减少了计算量, 降低了分析难度, 同时还缩小了目标的搜索区域。另外, 本文利用假设检验的基本原理推导出用于获得目标像素点的分割阈值, 然后将整个图像分成若干个子区域, 并分别从各个子区域得到具有代表性的一些目标种子点, 再利用弱小目标的特性将相邻区域内属于同一目标的种子点组合在一起。这种做法不仅进一步降低了虚警率, 而且有效地防止了漏警现象的发生。

需要提及的是, 子区域的大小实际上是可以改变的, 而且改变的幅度可以较大。子区域划分得越少, 算法的实时性就越高; 子区域划分得越多, 算法的检测性能就越高。但两者是一对不可调和的矛盾。实验结果表明, 该算法能够很清

晰地标记目标区域。虽然在感兴趣区域中存在虚假目标区域,但只要在提取目标时结合目标本身的多种特征及帧间信息,就可以很方便地排除虚假目标的干扰。至于怎样利用目标本身的一些特点和帧间信息,还需要今后作进一步研究。

参考文献

- [1] 马治国,王江安,宗思光. 海天线附近红外弱点目标检测算法研究 [J]. *激光与红外*, 2004, **34**(5): 390-394.
- [2] Cui-yun Li, Hong-bing Ji. Marginalized Particle Filter Based Track-Before-Detect Algorithm for Small Dim Infrared Target [C]. *AICI*, 2009, **11**: 321-325.
- [3] 赵钦佩,姚莉秀,何虎翼,等. 一种基于感兴趣区域的红外目标提取方法 [J]. *红外与激光工程*, 2006, **35**(S1): 264-267.
- [4] 徐军. 红外图像中弱小目标检测技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2001.
- [5] 姚迅,李德华,黄飞,等. 基于视觉注意机制的红外图像小目标检测方法 [J]. *武汉大学学报 (工学版)*, 2006, **39**(6): 108-112.
- [6] Blostein S D, Huang T S. Detecting Small, Moving Objects in Image Sequences Using Sequential Hypothesis Testing [J]. *IEEE Trans on Signal Processing*, 1991, **39**(7): 1611-1629.
- [7] 赵树杰,赵建勋. *信号检测与估计理论* [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [8] 罗涛,王建中,施家栋. 基于边缘特征的背景建模和去抖动方法 [J]. *科技导报*, 2010, **28**(11): 33-38.
- [9] 邬大鹏,程卫平,于盛林. 基于帧间差分和运动估计的 Camshift 目标跟踪算法 [J]. *光电工程*, 2010, **37**(1): 55-60.

新闻动态 News

越南将在未来三年发射 第一颗遥感卫星

据 <http://en.baomoi.com> 网站报道,越南空间技术研究所所长最近说,为了监视自然资源和自然灾害,越南将于未来三年内发射该国第一颗遥感卫星。预计该卫星将于未来两年内完成设计和组装,并将于 2013 年或 2014 年发射入轨。

遥感卫星的任务是获取图片。由于在较低的高度获取图片,它们获取的图片要比远程通信卫星所获取的图片更加清晰。

遥感卫星获取的图片将可以用于自然资源 and 环境保护、对地观测、安全与防御等。

越南目前不得不以非常高的价格(每幅图片 2000~5000 美元)购买由外国卫星获取的图片。糟糕的是,这些都是晚了两个月的图片,这使得越南没法快速更新有关油溢出、风暴和洪水的信息。因此这些图片只能供分析和研究之用。

如果拥有自己的卫星,越南就可以在观测陆地、海洋和岛屿的实际状态方面争取主动,从

而降低由自然灾害造成的损失。

然而,遥感卫星的投入费用相当高,而平均寿命却很短,约为 5 年。

越南的第一颗遥感卫星被命名为 VNRED Sat-1,这是一颗重 130 kg、期望寿命为 5 年的小型对地观测卫星。它从 700 km 的高度获取地球的图像。

这个卫星项目于 7 年前开始启动,并计划于 2012 年投入运行,它将帮助越南测绘其自然资源并提供与环境 and 灾害有关的信息。

该项目的费用估计为 1 亿美元,其中 7400 万美元由法国提供。法国的两家公司 EADS Astrium Group 的 ASTRIUM SAS 公司和 VEGA Technologies 公司已被选定在制造和发射该卫星方面为越南提供支持。他们还将帮助越南升级数据接收站,提供技术转让、咨询和监督。

为了改善通信服务、因特网和电视广播技术,越南于 2009 年 4 月发射了该国第一颗通信卫星 VINASAT-1。该通信卫星的广播信号覆盖范围包括印度、东南亚与东亚以及美国的夏威夷。

□ 高国龙