

## ◎工程与应用◎

# 基于高斯模板分层匹配的红外点目标检测算法

聂洪山<sup>1,2</sup>,陈晓飞<sup>3,4</sup>,赵琪<sup>4</sup>NIE Hong-shan<sup>1,2</sup>,CHEN Xiao-fei<sup>3,4</sup>,ZHAO Qi<sup>4</sup>

1.中科院 软件所,北京 100190

2.国防科技大学 ASIC 研发中心,长沙 410073

3.北京航空航天大学,北京 100083

4.北京图形研究所,北京 100029

1.Institute of Software,Chinese Academy of Sciences,Beijing 100190,China

2.ASIC R&amp;D Center of NUDT,Changsha 410073,China

3.Beihang University,Beijing 100083,China

4.Beijing Institute of Graphics,Beijing 100029,China

E-mail:flychen99@sohu.com

**NIE Hong-shan,CHEN Xiao-fei,ZHAO Qi.Multi-layer matching algorithm based on Gaussian model for small targets detection in infrared images.Computer Engineering and Applications,2008,44(33):191-193.**

**Abstract:** The relative matching targets detection method with gaussian model is mentioned,and the shortcomings of the method are pointed out.A multi-layer matching algorithm based on Gaussian model for IR small targets detection is introduced.With this algorithm,Gaussian targets can be detected without knowing their size parameters of  $X$  and  $Y$  dimensions.Experimental results show that this algorithm can effectively detect small targets in infrared image with low SNR.

**Key words:** Gaussian model;small targets;relative coefficient;relative matching

**摘要:**介绍了高斯模板相关匹配红外小目标检测方法,指出了该方法的不足。提出了一种基于高斯模板的红外小目标分层匹配算法,这种方法避免了目标尺寸与模板尺寸失配情况下的匹配不精确问题,能够在不知道目标尺寸参数的情况下匹配到高斯形状的目标。实验结果表明这种方法很好地解决了低信噪比点目标检测问题。

**关键词:**高斯模板;点目标;相关系数;匹配滤波

**DOI:**10.3778/j.issn.1002-8331.2008.33.058 **文章编号:**1002-8331(2008)33-0191-03 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP391

## 1 引言

由于红外成像自动目标识别技术具有被动、隐蔽、作用距离远等优点,所以它在武器精确制导领域发挥着巨大的作用。利用红外图像进行目标检测识别目前受到了广泛关注。由于要求作用距离远,目标在图像平面上的投影只占一个或者几个像素,而且信噪比很低,同时由于目标本身无面积和纹理信息可以利用,这就给红外图像中的小目标检测带来了很大困难。

从20世纪70年代开始,国内外研究人员对红外成像小目标检测问题进行了广泛而深入的研究。Chen<sup>[8]</sup>提出了一种空域平均法去背景均值法采用广义最大似然比检测目标的方法;熊辉等人<sup>[9]</sup>提出了基于膨胀累加的小目标检测方法;Blostein等人<sup>[10]</sup>提出了一种多级假设检验(MHT)的目标检测方法;Tartakovsky<sup>[11]</sup>提出了一种自适应空-时技术来去除红外起伏背景;李吉成等人<sup>[12]</sup>提出了一种基于空间高通滤波和时间域上最大递归滤波

的运动点目标检测方法。

对高斯模板相关匹配方法进行了改进,提出了一种基于高斯模板的红外小目标分层匹配算法,这种方法解决了目标尺寸与模板尺寸失配情况下的匹配不精确问题,实验结果表明这种方法很好地解决了低信噪比点目标检测问题。

## 2 高斯模板相关匹配

红外成像时,远距离的目标在成像平面上只是一个点,经过光学系统的扩散作用,最终在红外图像上目标是一个具有高斯形状灰度分布的小块区域,这就提供了一个思路:用一个高斯形状的模板到图像上进行相关匹配,就可以检测到目标的位置。

### 2.1 目标模型

由于目标在实际运动中姿态、仰角的变化,探测器成像面

**作者简介:**聂洪山(1975-),男,博士,国防科技大学电子科学与工程学院讲师,中科院软件所博士后,主要研究领域为ASIC与SOC技术研究、图像处理、目标检测、目标识别、目标跟踪、GPS/GIS;陈晓飞(1976-),男,博士,北京图形研究所工程师,北京航空航天大学博士后,主要研究领域为信息融合、图像理解、数据挖掘;赵琪(1969-),男,博士,北京图形研究所高工,主要研究领域为视频处理、GPS/GIS、系统建模。

**收稿日期:**2008-08-01 **修回日期:**2008-09-25

上的点目标也很难有一个固定的形状。但是对于宽视场的探测系统来说,当距离足够远时,目标可近似看成是一个点源,它的特性主要表现为光学点扩散函数<sup>[1]</sup>:

$$S(x,y)=\tau \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\delta_x^2}+\frac{y^2}{\delta_y^2}\right)\right] \quad (1)$$

式中  $\tau$  是目标的幅值,  $\delta_x, \delta_y$  分别是目标的  $X$  方向和  $Y$  方向的尺寸参数。

### 2.2 相关匹配算法

首先选取一个适当的目标模板,让模板在输入图像上漫游,图像上就会有一个小区域与模板重合,求两者的相关系数作为与目标模板中心点对应的图像点的相关系数。这样就可以得到一个相关系数矩阵。相关系数的算法由下式给出

$$r(x,y)=\frac{\sum_{m=x-k}^{x+k} \sum_{n=y-l}^{y+l} [g(m,n)-\bar{g}][S(m,n)-\bar{S}]}{\sqrt{\left(\sum_{m=x-k}^{x+k} \sum_{n=y-l}^{y+l} [g(m,n)-\bar{g}]^2\right) \cdot \left(\sum_{m=x-k}^{x+k} \sum_{n=y-l}^{y+l} [S(m,n)-\bar{S}]^2\right)}} \quad (2)$$

式中局部窗口的大小为  $(2k+1) \times (2l+1)$ ,也就是模板的尺寸;  $g(m,n)$  和  $S(m,n)$  分别是图像和模板;  $\bar{g}$  和  $\bar{S}$  分别是图像和模板局部窗口内的均值:

$$\bar{g}=\frac{1}{(2k+1)(2l+1)} \sum_{m=x-k}^{x+k} \sum_{n=y-l}^{y+l} g(m,n) \quad (3)$$
$$\bar{S}=\frac{1}{(2k+1)(2l+1)} \sum_{m=x-k}^{x+k} \sum_{n=y-l}^{y+l} S(m,n)$$

经过相关匹配后,得到一个相关系数矩阵。由式(2)可知,  $r(x,y) \leq 1$ , 等式成立的条件是

$$g(m,n)-\bar{g}=\alpha[S(m,n)-\bar{S}] \quad (4)$$

其中  $\alpha$  是比例系数。可见,只有在图像的局部窗口内存在与目标模板成比例的区域时,输出的相关系数才为 1,否则一定小于 1。所以如果知道了目标的尺寸参数和在图像中的像素数,则经过相关匹配后相关系数阵中数值为 1 的点就是目标的中心位置。

### 2.3 存在的问题

但是,并不知道目标的尺寸参数及其大小,所以在设计目标模板的时候,只能根据经验或者有限的先验信息来确定模板的尺寸参数,如果两者失配不是很严重,那么对相关系数阵进行适当的分割后(例如  $r(x,y) \geq 0.98$ ),目标仍然有可能通过门限,再用其他的方法(如利用图像序列信息)也可以检测到目标;但是如果两者失配很严重,对应目标位置的相关系数可能很小,经过门限后可能会丢失目标。

来看下面的例子。这里假设目标的大小为  $3 \times 3$  像素。图 1

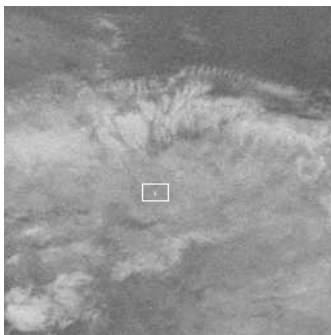


图1 包含目标的图像

是一幅红外云图,图中白色方框中心处是一个目标,假设目标的尺寸参数为  $\delta_x=\delta_y=2$ ,则目标的灰度分布满足

$$S(x,y)=\tau \cdot \exp\left[-\frac{1}{8}(x^2+y^2)\right] \quad (5)$$

其中,  $\tau$  是目标的最大幅度值,不失一般性,令  $\tau=1$ 。根据式(6)设计一个归一化模板,如图 2 所示。

$$S'(x,y)=\exp\left[-\frac{1}{8}(x^2+y^2)\right] \quad (6)$$

如果用图 2 所示的模板对原图像进行相关匹配,经过图像分割  $r(x,y) \geq 0.98$  可得到图 4,可见能够准确得到目标位置。但是,如果不知道目标的真实尺寸参数  $\delta_x=\delta_y=3$ ,而假定目标的尺寸参数来设计模板,见式(7),

$$S'(x,y)=\exp\left[-\frac{1}{18}(x^2+y^2)\right] \quad (7)$$

则可得到如图 3 所示的模板,匹配结果如图 5。可见如果模板与目标相差很大时,相关匹配将无法检测到目标,这就给实际应用带来很大的困难。

$e^{1/4}$	$e^{1/8}$	$e^{1/4}$
$e^{1/8}$	1	$e^{1/8}$
$e^{1/4}$	$e^{1/8}$	$e^{1/4}$

0.78	0.88	0.78
0.88	1	0.88
0.78	0.88	0.78

图2 目标模板 1

$e^{1/9}$	$e^{1/18}$	$e^{1/9}$
$e^{1/18}$	1	$e^{1/18}$
$e^{1/9}$	$e^{1/18}$	$e^{1/9}$

0.89	0.95	0.89
0.95	1	0.95
0.89	0.95	0.89

图3 目标模板 2

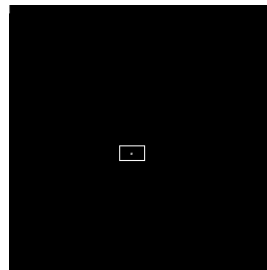


图4 模板 1 检测结果

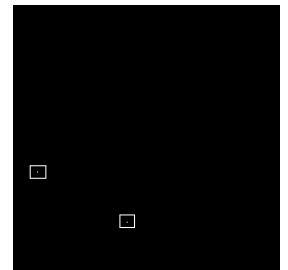


图5 模板 2 检测结果

## 3 分层相关匹配

### 3.1 匹配算法的改进

经过上面的分析,知道当目标模板与真实目标严重失配时,相关匹配方法将无法正确检测到目标。但是,通过观察式(1),可以发现目标的灰度分布是轴对称的,即同时关于  $X, Y$  轴对称,根据这条重要的性质,就可以设计基于高斯模板的分层匹配算法。

由式(1),还是假设目标的大小是  $3 \times 3$  像素,在尺寸参数  $\delta_x, \delta_y$  给定但未知的情况下,可以得到归一化的目标模板,如图 6。考察图 6 所示的模板,可以发现 4 个角上的数值相等;中间列上下两个数值相等;中间行左右两个数值;中间位置的数值最大。于是根据模板中各个位置的数值关系,可以将一个高斯模板拆分成 3 个不同层次的模板,如图 7 所示,图中的黑点代表模板中心,其中  $a, b, c$  是 3 个常数,用来说明不同位置数值相等或者不相等的关系。这样就将一个由尺寸参数决定的高斯模板分解为 3 个与尺寸参数无关的平面模板,而且 3 个模板之间是独立的,可以本别与原图求相关系数矩阵,然后将三个矩

$\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\delta_x^2}+\frac{1}{\delta_y^2}\right)\right\}$	$\exp\left\{-\frac{1}{2\delta_y^2}\right\}$	$\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\delta_x^2}+\frac{1}{\delta_y^2}\right)\right\}$
$\exp\left\{-\frac{1}{2\delta_x^2}\right\}$	1	$\exp\left\{-\frac{1}{2\delta_y^2}\right\}$
$\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\delta_x^2}+\frac{1}{\delta_y^2}\right)\right\}$	$\exp\left\{-\frac{1}{2\delta_y^2}\right\}$	$\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\delta_x^2}+\frac{1}{\delta_y^2}\right)\right\}$

图6  $\delta_x, \delta_y$  未知时的模板

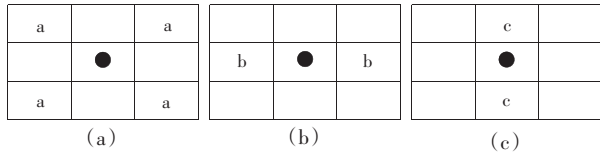


图7 将一个高斯模板分为3个子模板

阵求平均(见式(8))后得到的结果进行分割  $r(x,y) \geq \lambda$ , 这样就可以得到检测结果。

$$r(x,y) = \frac{1}{3} [r_1(x,y) + r_2(x,y) + r_3(x,y)] \quad (8)$$

### 3.2 实验结果

假设只知道图1是一幅包含目标的图像,目标的大小为  $3 \times 3$ ,但是并不知道目标的尺寸参数,分别用图7中的三个模板对原图进行相关匹配,令其中  $a=b=c=1$ ,图8是检测结果,可见完全可以检测到目标位置。

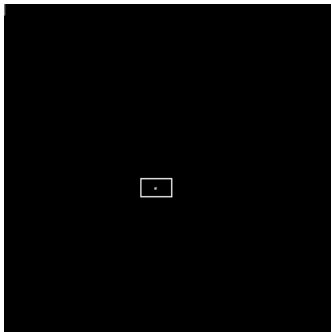


图8 检测结果

### 4 结束语

指出了用高斯模板相关匹配进行红外小目标检测中存在

的不足,即事先不知道目标的尺寸参数,这样会导致在匹配过程中目标和模板失配,从而无法检测到目标。针对这个问题提出了一种分层相关匹配的方法,这里的分层可以理解为一个三维的高斯模板按照数值关系分割为  $n$  层二维模板,然后分别使用这些模板对原图像进行相关运算,最后得到检测结果。大量实验结果表明这种方法能够很好地解决高斯形状目标的检测问题。

### 参考文献:

- [1] Eitner P G. Model-based estimation of small targets parameters[J]. SPIE, 1998, 3373: 24-31.
- [2] Diani M, Corsini G, Baldacci A. Space-time processing for the detection of airborne targets in IR image sequences[J]. IEE Proc-Vis Image Signal Proc, 2001, 148(3): 151-157.
- [3] Chen Jian Yue, Reed I S. A detection algorithm for optical targets in clutter[J]. IEEE Trans Aerosp Electron Syst, 1987, 23(1): 46-59.
- [4] 彭嘉雄, 周文琳. 红外背景抑制与小目标分割检测[J]. 电子学报, 1999, 27(12): 47-51.
- [5] 叶增军, 王江安, 阮玉, 等. 海空复杂背景下红外弱点目标的检测算法[J]. 红外与毫米波学报, 2000, 19(2): 121-124.
- [6] Blostein S D, Huang T S. Detection small, moving objects in image sequences using sequential hypothesis testing[J]. IEEE Trans Signal Process, 1991, 39(7): 1611-1629.
- [7] 许树声. 信号检测与估计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985.
- [8] Chen Jian Yue, Reed I S. A detection algorithm for optical targets in clutter[J]. IEEE Trans Aerosp Electron Syst, 1987, 23(1): 46-59.
- [9] 熊辉, 沈振康. 低信噪比运动红外点目标的检测[J]. 电子学报, 1999, 27(12): 26-29.
- [10] Blostein S D, Huang T S. Detection small, moving objects in image sequences using sequential hypothesis testing[J]. IEEE Trans Signal Process, 1991, 39(7): 1611-1629.
- [11] Tartakovsky A, Blazek R. Effective adaptive spatial-temporal technique for clutter rejection inIRST[J]. SPIE Proceedings on Signal and Data Processing of Small Targets, 2000, 4048: 1-11.
- [12] 李吉成, 沈振康. 红外起伏背景下运动点目标的检测方法[J]. 红外与激光工程, 1997, 26(6): 8-13.

(上接 173 页)

- [4] Egli L, Hsu C Y, Bruderlin B D, et al. Inferring 3D models from freehand sketches and constraints[J]. Computer-Aided Design, 1997, 29(2): 101-112.
- [5] Masry M, Lipson H. A sketch-based interface for iterative design and analysis of 3D objects[C]//Proceedings of the 2nd Eurographics Workshop on Sketch-based Interfaces and Modeling, Dublin, Ireland, 2005: 109-118.
- [6] Rose K, Cani M P. Developable surfaces from arbitrary sketched boundaries[C]//Eurographics Symposium on Geometry Processing, 2007.

- [7] Ijiri T, Okabe M, Owada S, et al. Floral diagrams and inflorescences: Interactive flower modeling using botanical structural constraints[C]//Proceedings of ACM SIGGRAPH'05, Los Angeles, 2005: 720-726.
- [8] Ijiri T, Owada S, Igarashi T. Seamless integration of initial sketching and subsequent detail editing in flower modeling[C]//Eurographics 2006, Vienna, Austria, 2006: 617-624.
- [9] 康长顺. 浅谈结构素描[J]. 美术大观, 2007(1).
- [10] David B, Marie-Paule C, George D. Drawing for illustration and annotation in 3D[C]//Eurographics 2001, 2001, 20(3).