文章编号:1001-5078(2011)03-0328-06

·图像与信号处理 ·

红外探测系统线性小目标检测算法研究

韩 振,刘永鸿(防空兵指挥学院,河南郑州 450052)

摘 要:通过对红外探测系统成像过程及特点的详细分析,提出了快速线性特征检测算法以及 线性目标矩形特征检测算法,用于线性小目标的检测,并给出了算法流程和实验结果。该算法 作为辅助算法应用到了低空红外探测系统中,取得了良好的效果。

关键词:红外探测;线性目标;目标检测

中图分类号:TP391 文献标识码:A

Study on algorithm of linear small target detection for infrared detector system

HAN Zhen, LIU Yong-hong

(Air Defense Forces Command Academy, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: According to the detailed analysis of the course and character of the systematic formation of image, the detection algorithms based on the fast linear characteristic and the linear goal rectangle characteristic are introduced, which can detect the linear small target, as well as the algorithm processes and results are given. This algorithm as one of the assistant algorithms is used in the infrared detector system, and achieves good results.

Key words: infrared detector; linear target; target detection

1 引 言

在数字图像处理领域中,线性目标的特征提取 以及识别占有很重要的地位,日常生活中直线目标 无处不在,在军事上的线性小目标的检测尤为重要, 比如红外探测系统对空袭目标进行探测预警时,由 于系统快速扫描的工作方式和目标发现距离远的 特点,使图像产生拖尾现象,从而是使目标具有了 线性特征。一种好的线性目标检测算法能够快速 而又准确的探测出所感兴趣区域(ROI)的所有直 线。本文基于某型低空红外探测系统的目标成像 特点,提出了一种快速准确检测线性小目标的 算法。

文章首先分析了红外探测系统的成像过程及特 点,然后提出了快速线性特征检测算法以及线性目 标矩形特征检测算法,用于线性小目标的检测,实验 结果表明,即使红外探测系统的目标图像低信噪比 以及背景干扰严重,该算法仍能快速准确的检测出

线性小目标。

2 系统成像过程及特点

为保证系统在单位时间内尽可能覆盖更多的探测空域,探测器采用高速旋转搜索的工作方式,其获取的红外目标图像必定产生运动模糊现象(拖尾问题)。系统间隔10 s对同一目标分别采用静止和工作状态拍摄的目标图像如图1、图2所示,图1、图2为137 行 × 256 列大小的目标截图。

目标		
	图 1	系统静止时图像特征

作者简介:韩 振(1985-),男,研究实习员,硕士,主要从事图 像处理和计算机仿真研究。E-mail;hz6060@sina.com 收稿日期;2010-10-09;修订日期;2010-12-02



图2 系统工作时图像特征 由运动模糊图像的退化模型^[1]可知:

$$g(x,y) = \int_{0}^{T} f[x - x_{0}(t), y - y_{0}(t)] dt$$
 (1)

其中,f(x,y)为原始未模糊的图像; $x_0(t)$ 和 $y_0(t)$ 分 别为目标相对于镜头在x和y方向的运动分量; T为图像的积分时间;g(x,y)为由于运动而造成的 模糊图像。因为探测器的旋转只对图像x方向造成 运动模糊,且探测器的旋转(线)速度 ν 与 $x_0(t)$ 有 如下对应关系:

$$x_0(t) = \nu t/T \tag{2}$$

因此式(1)可表示为:

$$g(x,y) = \int_{0}^{T} f\left[x - \frac{\nu t}{T}, y\right] dt$$
(3)

由式(2)和式(3)推得:积分时间 T 越大,模糊 图像 g(x,y)越严重,图像拖尾越明显;探测器线速 度 v 越大,目标相对运动分量 x₀(t)越大,同样使模 糊图像g(x,y)越严重,拖尾越明显。

虽然高速旋转探测使图像产生拖尾现象,并且 能量有所下降,但是目标的成像比例却增大了,目标 也具有了线性特征,同时,因为噪声的成像机制不 同,所以噪声不会在图像中产生拖尾,从而使原始图 像(系统静止时拍摄的图像)中,点状目标与噪声难 区分的问题得到很好解决。

3 快速线性特征检测算法

首先利用中值滤波及直方图均衡化^[2]算法对 目标图像进行预处理。然后采用简单、快速的特征 分析算法处理存在大量虚警的疑似目标点^[3],由于 目标具有水平直线的特征,并且直线扫描算法简单、 运算速度快,所以在目标检测的第一级算法采用快 速线性特征检测算法,即对整幅图像所有像素进行 逐点直线检测,从而能有效提高目标检测效率,并且 能降低大量像素虚警。对于红外图像,根据目标与 其背景像素的灰度对比,可分为亮目标和暗目标。 单行水平直线呈现的图像机理为:对于亮(暗)直 线,在竖直方向上该点的像素灰度值大于(小于)上 下相邻点的像素灰度值,水平方向上,满足竖直方向 要求的点具有连续性。算法流程如图3所示。



图 3 快速线性特征检测算法流程图

根据目标直线在图像上的分布特点,实验中采 取按行扫描图像中的每一个像素,*f*[*x*][*y*]为待测 像素点(*x*,*y*)处的灰度值,*w* 为初步检测疑似目标直 线的长度,1_min 为初步检测目标直线的长度阈值, 经实验分析,算法中1_min的值设定为12个像素。 竖直方向上的灰度值比较采取自定义的梯度计算方法^[4],其取值原理如图4所示。

第1行	$\cdots f[x-3][y]\cdots$	a
第2行	$\cdots f[x-2][y]\cdots$	b
第3行	$\cdots f[x-1][y]\cdots$	
第4行	$\cdots f[x] [y] \cdots$	z
第5行	$\cdots f[x+1][y]\cdots$	
第6行	$\cdots f[x+2][y]\cdots$	с
第7行	$\cdots f[x+3][y]\cdots$	d
	•••••	

图4 自定义的梯度计算方法

以亮目标为例,设 d_1, d_2, d_3, d_4 ,如果z > b且 z > c,则 $d_1 = z \times 2 - b - c$,否则 $d_1 = 0$;如果z > b且 z > d,则 $d_2 = z \times 2 - b - d$,否则 $d_2 = 0$;如果z > a且 z > c,则 $d_3 = z \times 2 - a - c$,否则 $d_3 = 0$;如果z > a且 z > d,则 $d_4 = z \times 2 - a - d$,否则 $d_4 = 0$ 。最后,把 max(d_1, d_2, d_3, d_4)的值作为该待测像素的最终梯度 值。暗目标的梯度计算正好相反,这里不再详述。 该梯度计算方法可以有效地增强目标梯度特性,抑 制噪声干扰,特别适用于小目标的检测。

4 线性目标矩形特征检测算法

经过快速线性特征检测算法处理后,目标虚警 点已经很少,并且与目标具有较高的相似性。为了 能够进一步有效的降低目标虚警率,通过对目标的 微观线性特征分析,提出了线性目标矩形特征检测 算法,对最终检测线性小目标起到了明显的效果。

该算法包括目标实际长度检测算法和目标高宽 比检测算法两个部分。

4.1 目标实际长度检测

根据探测系统图像目标特征弱、边界模糊等特 点,本实验中,目标实际长度确定算法主要分两步进 行:目标横向特征增强算法和目标横向边缘检测 算法。

4.1.1 目标横向特征增强算法

首先对疑似目标点所在行的像素作对应灰度值 剖面曲线,如图5、图6所示。



图6 目标行灰度值剖面曲线 图 5 为红外探测系统图像 50 × 256 的目标背景

截图。图6为该目标所在行像素的灰度值剖面曲 线。为方便观察,将目标中点灰度值移至图像中心 处。可以看出目标处的灰度值高于两侧的背景灰度 值,灰度值曲线上呈"山包状",这也符合目标直线 的特征;另一方面,目标灰度值与背景灰度值的差距 并不大,目标的特征比较微弱,直接进行目标横向边 缘检测效果不明显,因此,需要对目标(行灰度值剖 面曲线)进行横向特征增强处理。

目标横向特征增强算法流程如图7所示。



图 7 横向特征增强算法流程图

由于探测系统的快速扫描使目标具有能量分散 性,目标质点所在行的亮度值并不一定是其竖直方 向上的最大值。因此,首先进行目标亮度的回归处 理:取目标直线像素点的灰度值 *f*[*x*][*y*]及其上下 两行对应像素点的灰度值 *f*[*x*-1][*y*]和 *f*[*x*+1] [*y*]的最大值作为目标直线该点的灰度值,从而达 到目标亮度集中的目的。中值滤波的主要作用是: 对仍然存在亮度断点的目标进行目标的断点连接, 起到目标融合的作用。最后进行目标剖面曲线的平 滑放大处理,即对待测像素点进行 9 点均值滤波处 理。该算法既起到了平滑曲线的作用,同时也起到 了放大作用。

目标横向特征增强算法实验效果如图 8 所示。 其中,图 8 的上半部分为目标行灰度值剖面曲线 (如图6所示),下半部分为横向特征增强算法处理



图 8 目标横向特征增强算法实验效果图

后的对应灰度值剖面曲线,可以很明显的看到目标 横向特征得到了有效的增强。

4.1.2 目标横向边缘检测算法

两个具有不同灰度值的相邻区域之间总存在边 缘^[5]。在实验中,采取对特征增强后的灰度值剖面 曲线作一阶求导处理,通过判断一阶导数峰值和谷 值的位置来确定目标剖面的上升沿和下降沿,从而 确定目标横向长度的范围。实验效果图如图9所 示,通过设定目标实际长度约束范围对初步检测的 所有疑似目标点进行长度检测^[6-7],进一步降低了 目标虚警率。经实验分析,算法中目标实际长度的 约束范围设定为20~50个像素,该图所示目标长度 为23个像素。



图9 目标剖面的一阶导数曲线

4.2 目标高宽比检测

4.2.1 目标单像素纵向增强算法

在获取目标的实际长度之后,接着要确定目标 的高度。由于目标的直线特征,所以目标的高度值 可表示为以目标宽度为大小依据的一维数组,目标 高度即为这一维数组的平均值。由图5可知目标高 度所占的像素个数通常比较少,取图5所对应目标 的中点处像素为例分析目标单像素纵向增强算法, 其纵向灰度值剖面曲线如图10所示。



图 10 目标中点处像素纵向灰度值剖面曲线

由图 10 可以清楚地看出在均匀变化的背景中 有一很小的脉冲凸起,如直线所示,该脉冲凸起即为 目标中点处的高度特征。与目标横向特征增强算法 相比,目标纵向特征增强算法的不同点主要表现在: 针对目标高度像素少的特点,先对目标纵向像素作 "无损放大"处理。算法选用拉格朗日(Lagrange)二 次插值法^[8]来实现目标纵向特征的"无损放大"处 理,其原理为:设目标纵向灰度值 $f[x][y_i]$ 分别在 列变量 x_0, x_1, x_2 处表示为 $f[x_0][y_i], f[x_1][y_i],$ $f[x_2][y_i], 则二次插值公式 P_2[x, y_i]为:$

$$P_{2}[x, y_{i}] = \frac{(x - x_{1})(x - x_{2})}{(x_{0} - x_{1})(x_{0} - x_{2})} f[x_{0}][y_{i}] + \frac{(x - x_{0})(x - x_{2})}{(x_{1} - x_{0})(x_{1} - x_{2})} f[x_{1}][y_{i}] + \frac{(x - x_{0})(x - x_{1})}{(x_{2} - x_{0})(x_{2} - x_{1})} f[x_{2}][y_{i}] + \frac{(0 \le i \le W)}{(x_{1} - x_{2})} f[x_{2}][y_{i}]$$

$$(4)$$

其几何意义为通过三点 $(x_0, f[x_0][y_i]), (x_1, f[x_1][y_i]), (x_2, f[x_2][y_i])$ 的一条抛物曲线,利用 该式可以计算 x_0, x_1, x_2 所在区间内的任意 m 个新 点 $x_s(0, 1, \dots, m)$ 处的 $f[x_s][y_i]$ 的近似值。

本算法采用拉格朗日二次插值公式,在纵向连续 像素f[x-1][y],f[x][y]和f[x][y],f[x+1][y]之间分别等值内插 5 个新点,所得新的目标纵向灰 度值抛物曲线即为原纵向灰度值抛物曲线的 5 倍放 大效果。如图 11 所示。目标单像素纵向增强算法 很好的解决了目标纵向特征弱小的问题。算法实验 效果图如图 12 所示。



图 11 目标纵向剖面的边缘检测曲线



图 12 目标中点处像素纵向特征增强算法实验效果图

4.2.2 目标的单像素纵向边缘检测及目标的高宽 比检测

因为目标纵向特征增强后的灰度剖面曲线呈脉 冲状,所以在本实验中目标的单像素纵向边缘检测 算法与目标横向边缘检测算法完全相同。目标高宽 比检测算法的整个流程如图 13 所示。



图 13 目标高宽比检测算法流程图

其中, cx 为目标中心所在图像的行数; W 为目标的宽度(长度); H[i]是以目标宽度 W 为大小的目标高度一维数组; Top[i]和 Bottom[i]分别是目标的上下边缘到对应目标像素点 f[cx][i]的距离; Height 是目标的平均高度; HWR 是目标高宽比约束阈值, 经实验分析, 算法中 HWR 的值设定为 0.2。

5 实验结果

图 14~图 16 分别为地物、云层干扰及背光条 件下红外图像线性目标检测算法实验结果。其中 图(a)为经噪声抑制处理后的目标原图像,图(b) 为快速线性特征检测算法处理后的图像,已经有 效去除了大量像素虚警,图(c)为图(b)基础上进 行线性目标矩形特征检测算法处理后的图像。由 图(c)可以看出,线性小目标最终得到有效检测。 实验中所采用的 320 × 256 大小的红外图像,是通 过快速扫描的某型低空红外探测系统所采集的实时 红外图像,算法仿真是在 P4 CPU 2.8 GHz,Windows XP 操作系统下编程运行所得,算法在三幅图的耗时 均未超过 8 ms,完全满足各种高实时性检测系统的 要求。



图 14 地物干扰下线性目标检测算法实验结果



图 16 背光条件下线性目标检测算法实验结果

6 结 论

通过实践检验本文提出的检测算法能够快速、 精确的检测线性目标。目前该算法已应用到某型低 空红外探测系统中,取得了良好的效果。

参考文献:

 Liu Wenyao. Optoelectronic image processing [M]. Beijing:Electronic Industry Press, 2002:137 - 140. (in Chinese)

刘文耀.光电图像处理[M].北京:电子工业出版社, 2002:137-140.

[2] Lang Rui. Digital image processing study visual C + + implementation [M]. Beijing: Beijing Hope Electronic Press, 2003:134 - 140. (in Chinese)

郎锐. 数字图像处理学 Visual C + + 实现[M]. 北京: 北京希望电子出版社,2003:134-140.

- [3] Zhang Shengchong, Liu Tongyu. Research on IR targets extraction and tracking under low altitude background [J]. Laser & Infrared, 2010, 40(5):546-548. (in Chinese) 张晟翀, 刘彤宇. 低空背景下红外目标提取跟踪算法 研究[J]. 激光与红外, 2010, 40(5):546-548.
- [4] Zheng Haiou, Han Zhen, Zhang Wenhong. Anti-jamming of ground and cloud algorithm for low altitude infrared detector system [J]. Laser & Infrared, 2009, 39 (5): 534-537. (in Chinese)
 郑海鸥,韩振,张文红. 红外探测系统抗地物及云层算

法研究[J]. 激光与红外,2009,39(5):534-537.

[5] Zhang Yujin. Image processing and analysis [M]. Beijing:Tsinghua University Press, 1999:181 – 185. (in Chinese) 章毓晋.图像处理和分析[M].北京:清华大学出版 社,1999:181-185.

- [6] Hou Xiaohui, Hu Fangming. A new method of small target detection in infrared image[J]. Laser & Infrared, 2008, 38(4):389-391. (in Chinese)
 侯晓晖,胡方明. 基于红外弱小目标门限阈值检测的新方法[J]. 激光与红外,2008(4):389-391.
- [7] Xue Fengting, Peng Dingxiang. Adaptive threshold algorithm in IR tracking system[J]. Laser & Infrared, 2008, 38(4):386-388. (in Chinese)
 薛丰廷,彭鼎祥. 红外跟踪系统中的自适应阈值分割
 [J]. 激光与红外,2008,38(4):386-388.
- [8] Xu Shiliang. Numerical methods and computer implementation [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006: 198 200. (in Chinese)

徐士良.数值方法与计算机实现[M].北京:清华大学 出版社,2006:198-200.