

红外图像序列的目标增强和检测

张凤超, 杨杰

(上海交通大学 图像处理与模式识别研究所, 上海 200030)

摘要:文中主要研究了远距离红外图像序列的目标增强和检测问题,提出了基于局部纹理特征的红外图像增强算法,利用红外图像目标和背景区域局部纹理特征的差异来增强目标和背景区域的对比度;为了提高目标检测的速度和精度,利用序列图像的帧间相关信息,采用边检测边跟踪边确认的目标检测方法。实验结果表明,对于远距离、小目标的红外图像,这种增强算法在目标对比度和细节方面都明显优于直方图均衡化方法,而本文采用的目标检测方法仅需很少几帧图像就能检测和跟踪目标,可以在确保目标检测的可靠性的前提下,提高目标的检测速度。

关键词:红外图像序列; 目标检测; 图像增强; 局部纹理特征; 灰度共生矩阵

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2004)-0380-05

Target enhancement and detection for IR image sequences

ZHANG Feng-chao, YANG Jie

(The Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: The problem of enhancing and detecting target in a sequence of images recorded by a long-range infrared sensor is investigated. To highlight the difference between warm object and background, a new algorithm of infrared image enhancement based on local textural features is presented. To improve the speed and accuracy of target detection, the relative information among sequential images is used to detect and track the target at the same time. Experimental results show that the enhancing algorithm can highlight the warm objects and depress the background and improve the speed and accuracy of target detection.

Key words: IR image sequence; Target detection; Image enhancement; Local textural feature; Gray co-occurrence matrix

0 引言

本文主要研究远距离红外图像序列的目标检测技术,基于观测场景的热辐射,红外热图像普遍存在

目标与背景对比度较差、图像边缘模糊、噪声较大等缺点,尤其对于远距离红外图像,由于目标很小(通常只有几到十几个像素),与背景的对比度很低,使得目标检测十分困难。采用基于灰度共生矩阵的纹理特征来增强红外图像中目标和背景之间的对比度,在此基础上利用序列图像的帧间相关技术进行目标检测。

收稿日期:2003-10-02; 修订日期:2003-12-18

作者简介:张凤超(1975-),男,河南平顶山人,硕士,研究方向为图像处理与模式识别、计算机视觉。

1 基于局部纹理特征的红外图像目标增强

由于红外热图像普遍存在目标与背景对比度较差、图像边缘模糊、噪声较大等缺点,必须对图像增强才能进一步处理。目前常用的图像增强算法有直方图均衡法、直方图规定化法和灰度变换(或映射)法等^[1]。直方图均衡化的优点是能自动地增强整个图像的对比度,但具体增强效果不易控制,处理的结果总是得到全局均衡化的直方图。由于远距离红外图像目标所占比例很小,因而采用直方图均衡化可使杂乱的背景得到增强。后两种算法则要求先对图像中目标的大小、灰度分布等特征进行相当准确的提取,否则可能造成目标的残缺或失真。对于远距离红外图像,如何准确提取目标特征、进一步利用这些目标特征制定最佳的特定直方图是相当困难和复杂的。本文采用基于灰度共生矩阵的纹理特征来增强红外图像中目标和背景之间的对比度。图像的纹理是指图像强度局部变化的重复模式,其特征可以反映区域的平滑、稀疏、规则性等特性。由于红外图像的成像原理,纹理在红外图像处理中起着重要作用。在红外图像中,由于目标区域和背景区域的纹理特征存在很大的不同,因而可以利用纹理特征来增强目标和背景区域之间的对比度,从而达到图像增强的目的。

1.1 灰度共生矩阵

灰度共生矩阵是用来表示图像灰度空间相关性的二阶统计量,在纹理分析和分类中有着广泛的应用^[2~4]。Haralick^[5]给出了用来定义纹理特征的灰度共生矩阵的定义,首先定义一个位移矢量 $d=(dx, dy)$,矩阵的元素 $P(i, j)$ 的值表明图像中被距离 d 分开,且具有灰度级 i 和 j 的像素对的相对频率。灰度共生矩阵可以在整幅图像上进行计算,但为了计算局部纹理特征,采用加窗的方法,对图像中的每个像素,只在一个规定大小的窗口内计算灰度共生矩阵和纹理特征。

对于规定的 $M \times N$ 窗口,距离 d 和角度 θ ($\theta=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$),灰度共生矩阵的元素 $P(i, j)$ 定义为:

$$P(i, j, d, 0^\circ) = \# \{[(k, l), (m, n)] \in (M \times N) \times (M \times N);$$

$$k-m=0, |l-n|=d, I(k, l)=i, I(m, n)=j\} \quad (1)$$

$$P(i, j, d, 45^\circ) = \# \{[(k, l), (m, n)] \in (M \times N) \times (M \times N);$$

$$(k-m=d, l-n=-d) \text{ 或 } (k-m=-d, l-n=d),$$

$$I(k, l)=i, I(m, n)=j\} \quad (2)$$

$$P(i, j, d, 90^\circ) = \# \{[(k, l), (m, n)] \in (M \times N) \times (M \times N);$$

$$|k-m|=d, l-n=0, I(k, l)=i, I(m, n)=j\} \quad (3)$$

$$P(i, j, d, 135^\circ) = \# \{[(k, l), (m, n)] \in (M \times N) \times (M \times N);$$

$$(k-m=d, l-n=d) \text{ 或 } (k-m=-d, l-n=-d),$$

$$I(k, l)=i, I(m, n)=j\} \quad (4)$$

式中 $\#$ 表示像素对的个数。

对于如图1所示的 4×4 的灰度图像, $d=1$ 时各个方向的灰度共生矩阵如图2所示。

0	0	1	1
0	0	1	1
0	2	2	2
2	2	3	3

图1 灰度图像

Fig. 1 Gray image

$$P_{0^\circ} = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 4 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 6 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad P_{45^\circ} = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 4 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 6 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$P_{90^\circ} = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 4 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 6 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad P_{135^\circ} = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 4 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 6 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

图2 灰度共生矩阵

Fig. 2 Gray co-occurrence matrix

对于 256 级灰度的图像,其灰度共生矩阵为 256×256 ,其计算量是非常大的,通常在计算前将灰度级降为 64 或 32,以减小运算量。窗口和距离 d 、角度 θ 则要根据所分析的纹理来确定。

1.2 基于灰度共生矩阵的局部纹理特征

常用的基于灰度共生矩阵的纹理特征有以下几个:

$$energy = \sum_i \sum_j P_{ij}^2 \quad (5)$$

$$contrast = \sum_{i,j} |i-j|^k (P_{ij})^k \quad (6)$$

$$variance = \left(\sum_i (i - \mu_x)^2 \sum_j P_{ij} \right) \times \left(\sum_j (j - \mu_y)^2 \sum_i P_{ij} \right) \quad (7)$$

$$correlation = \sum_i \sum_j (i - \mu_x)(j - \mu_y) P_{ij} / \sigma_x \sigma_y \quad (8)$$

式中 μ_x 和 μ_y 是均值, $\mu_x = \sum_i i \sum_j P_{ij}$, $\mu_y = \sum_j j \sum_i P_{ij}$; σ_x, σ_y 是标准方差, $\sigma_x = \sqrt{\sum_j (j - \mu_y)^2 \sum_i P_{ij}}$, $\sigma_y = \sqrt{\sum_i (i - \mu_x)^2 \sum_j P_{ij}}$ 。

在试验中用红外图像分别考察了这些纹理特征,结果表明目标和背景区域的相关系数差异最大,可以用于增强对比度。

1.3 基于局部纹理特征的红外图像增强算法

为了减少运算量,先将图像从 256 级降为 64 级灰度,选定窗口大小 $M \times N$,水平和垂直方向的距离 dx, dy ,这些参数的选择取决于目标的大小,目标越小,窗口和距离也越小。对于图像中的每个像素 $I(x, y)$,计算它周围 $M \times N$ 邻域的灰度共生矩阵,再由公式(8)计算出局部的纹理特征 $correlation(x, y)$,最后将各个像素点的 $correlation(x, y)$ 映射回 256 级的灰度,即得到增强后的图像。

2 利用帧间相关技术进行序列图像目标检测

对于远距离红外图像,由于目标很小,缺乏目标的结构和特征信息,使得单幅图像难以实现对目标的可靠检测,一般灰度弱目标的运动检测方法也无法采用^[7~9]。但是,对于序列图像,上下幅图像之间存在较大的相关性,利用这种相关性可提高目标检测的可靠性,尤其对远距离图像,上下帧之间目标形变很小,可以利用上一幅图像得到的目标模板对下一幅图像进行相关跟踪。对于增强后的红外图像序列采用边检测边跟踪边确认的方法,在目标检测的同时进行相关跟踪,实验证明这种方法可以提高目标检测的可靠性。

系统的检测算法流程如图 3 所示。首先对单幅图像采用本文提出的算法进行增强处理,这样可以增

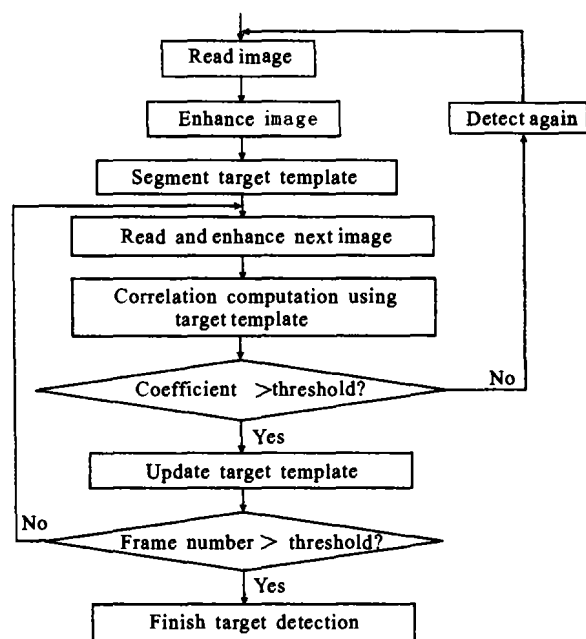


图 3 目标检测流程图

Fig. 3 Flow chart of target detection

强目标和背景区域的对比度,从单帧图像中分割出可能的目标区域作为目标模板,然后利用序列图像的帧间相关性,将目标模板和增强后的下一幅图像进行相关处理。为了减少运算量,可以只在上一帧图像目标的周围区域进行相关运算,如果相关结果达不到给定的阈值,说明得到的目标区域不可靠,需重新检测。如果相关结果达到给定阈值,取当前图像的相关峰值区域更新目标模板,继续进行检测,直到稳定跟踪和检测的图像达到一定数目,才可确认目标,结束检测。算法中相关运算采用归一化相关算法,其相似性度量 $\rho(x_0, y_0)$ 的表达式为:

$$\rho(x_0, y_0) = \frac{\sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{m-1} f(x, y) t(x + x_0, y + y_0)}{\sqrt{\sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{m-1} f^2(x, y) \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{m-1} [t(x + x_0, y + y_0)]^2}} \quad (9)$$

式中 $0 \leq x_0, y_0 \leq n - m$, $\rho(x_0, y_0)$ 为最大时的偏移值 (x_0, y_0) 所处位置就是目标所在位置,目标模板大小为 $m \times m$,当前图像大小为 $n \times n$ 。

3 实验结果与分析

在实验中采用了实测的红外序列图像进行测试,

观察远距离背景下飞行的机动目标,背景中存在红外云团。为了测试基于局部纹理特征的图像增强算法的增强效果,与直方图均衡化方法进行了比较。图4是在序列图像中抽取不同阶段的几幅红外图像及其增强结果。图4(a)、(b)、(c)是红外图像的原图,(d)、(e)、(f)为采用直方图均衡化方法得到的增强结果,(g)、(h)、(i)为采用本文提出的基于局部纹理特征的增强算法得到的增强结果,算法中窗口大小为 3×3 ,灰度共生矩阵的 dx 、 dy 均取1。从图4(d)、(e)、(f)可以看出,由于远距离红外图像目标所占比例很小,采用直方图均衡化方法使杂乱的背景得到了增强,大大影响了图像的增强效果,而本文提出的方法则使背景区域受到了抑制,目标区域得到了增强,这是因为整个背景区域的纹理特征具有一致性,而且和目标区域的纹理特征有较大的差异,因而可以用来增强背景和目标的对比度。

为了定量地评价增强效果,采用如下定义的对比度 C 和目标细节 H 作为评价参数^[6]:

$$C = (g_t - g_b) / (g_t + g_b) \quad (10)$$

式中 g_t 表示目标的平均灰度; g_b 表示背景的平均灰度。

$$H = m/s \quad (11)$$

式中 m 为目标所占的灰度级数; s 为目标面积。

表1给出了图4中各幅图像的对比度 C 和目标细节 H ,由于目标所占比例很小,直方图均衡化方法使杂乱的背景得到了较大的增强,因而导致对比度和目标细节下降,而本文提出的算法在增强了目标对比度的同时,抑制了背景,提高了目标的细节。

图5是对远距离序列图像进行目标检测跟踪的实验结果,图中方框是检测到的目标区域。实验中处

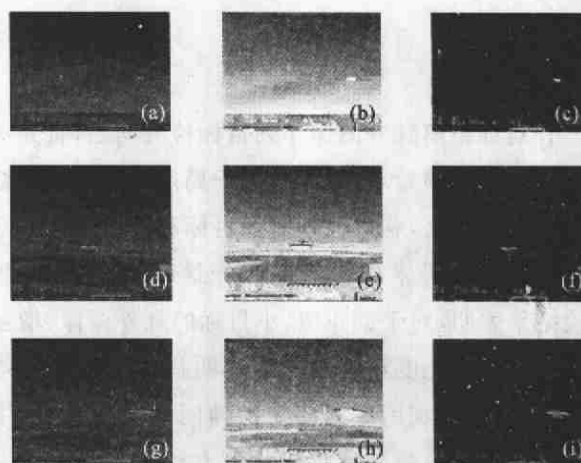


图4 红外图像及其增强结果

Fig. 4 Infrared image and enhancement result

表1 红外图像及其增强结果的评价参数

Tab. 1 Evaluating parameters of infrared image and enhancement result

No	Contrast C	Target detail H
Fig. 4(a)	0.3000	0.6190
Fig. 4(b)	0.0896	0.5313
Fig. 4(c)	0.8864	0.9047
Fig. 4(d)	0.1397	0.6000
Fig. 4(e)	0.0457	0.3600
Fig. 4(f)	0.8234	0.8444
Fig. 4(g)	0.2410	0.4316
Fig. 4(h)	0.1337	0.2897
Fig. 4(i)	0.7966	0.5702

理的图像背景复杂,信噪比很低,目标没有结构和形状特征,因而目标检测难度很大。常用的图像流检测法、动态规划法等对目标轨迹的检测率很低,采用所提出的利用帧间相关的目标检测算法,仅需5~6帧图像就能检测和跟踪目标,而通过对原始图像进行对比度增强预处理,可以进一步提高目标轨迹的检测率。



图5 序列图像目标检测结果

Fig. 5 Target detecting result of sequential image

4 结 论

针对远距离红外图像序列目标检测问题,首先对单帧图像进行预处理,提出了基于局部纹理特征的红外图像增强算法,利用红外图像目标和背景区域局部纹理特征的差异来增强目标和背景区域的对比度。实验结果表明,对于远距离、小目标的红外图像,增强算法在目标对比度和细节方面都明显好于直方图均衡化方法;然后利用序列图像的帧间相关信息,采用边检测边跟踪边确认的目标检测方法。实验结果表明,这种方法仅需很少几帧图像就能检测和跟踪目标,可以在确保目标检测的可靠性前提下,减少目标的检测时间。

参考文献:

- [1] Castleman K R. Digital Image Processing[M]. Published by Prentice Hall, Inc, a Simon & Schuster Company, 北京:清华大学

学出版社,1998.

- [2] Saber E, Tekalp A M. Region-based image annotation using color and texture cues[A]. Italy; Proc of EUSIPCO'96[C]. 1996, 1689-1692.
- [3] Bradley A, Jackway P, Lovell B. Classification in scale-space: applications to texture analysis[A]. Proc of DICTA-95, Australia[C]. 1995, 68-75.
- [4] Walker R F, Jackway P T, Longstaff I D. Recent developments in the use of the co-occurrence matrix for texture recognition[A]. Proc of 13th International Conference on Digital Image Processing[C]. Greece, 1997.
- [5] Haralick R M. Statistical and structural approaches to texture[J]. Proc of the IEEE, 1979, 67(5):786-804.
- [6] 徐军,梁昌洪,张建奇. 一种红外图像增强的新方法[J]. 西安电子科技大学学报, 2000, 27(5):546-549.
- [7] 唐莹,田金文,柳健. 红外序列图像点目标检测的一种方法[J]. 华中科技大学学报, 2001, 29(4):4-6.
- [8] 罗贤龙,彭嘉雄. 一种改进的红外小目标检测与识别方法[J]. 华中科技大学学报, 2001, 29(5):71-73.
- [9] 张弘,赵保军,史彩成. 对低信噪比下的红外点目标高检测率的研究[J]. 系统工程与电子技术, 2001, 23(3):58-60.

(上接第 350 页)

含有较多受控电器的场合,可实现多路多功能控制,如可实现定时、延时等操作。

(3) 发射电路中电源开关的设计,使得只有按下指令键时发射电路才上电并进行发射,指令键松开时发射电路掉电,大大降低了发射电路的功耗,延长了电池的使用寿命。

(4) 接收控制电路中采用专用红外线接收前置放大器,一块电路就可完成放大、选频、脉冲形成等功能,电路简洁,同时不用外接电感进行选频,抗干扰能力较强。

5 结束语

综上所述,新型红外线遥控多通道开关系统的研制,采用了较为先进的电子技术,提供了一种合理的低成本、高性能实用红外线遥控系统的实现方案。该

方法设计的遥控系统具有设计新颖、电路简单、性能可靠等特点,适用于近距离遥控,具有较好的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 苏长赞,邹殿贵. 红外线与超声波遥控(第二版)[M]. 北京:人民邮电出版社,2001.
- [2] 李明利. 一种新颖实用的红外线遥控系统[J]. 现代电子技术, 2001, (1):7-8.
- [3] 武庆生,仇梅. 单片机原理与应用[M]. 成都:电子科技大学出版社,2000.
- [4] 李迟生. 智能遥控器的设计[J]. 电子技术应用, 1997, (1):38-40.
- [5] 李广弟. 单片机基础[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1994.