

文章编号 1004-924X(2007)04-0570-07

基于差分和特征不变量的运动目标检测与跟踪

丁雪梅, 王维雅, 黄向东

(哈尔滨工业大学 超精密光电仪器工程研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:提出了一种基于改进的图像差分算法与特征不变量匹配的目标识别方法。通过三帧差值法获得了更完整清晰的目标轮廓,并基于该轮廓信息构造了一个具有平移、大小和旋转不变性的特征不变量;然后提出动态极值匹配法,利用特征曲线的极值信息点进行识别匹配,并动态替换原特征模版。实验结果表明,该方法能够准确识别目标,显著地提高识别跟踪效率,并且适用于检测运动姿态发生变化的目标。对于分辨率为 288×352 像素,每像素8位量化的序列图像,处理每帧图像平均用时0.01174s,其中特征提取与匹配过程平均用时0.005476s,能够实现运动目标的实时分析,可同时满足运动目标识别跟踪中实时性和准确率的要求。

关键词:目标识别;轨迹跟踪;差分图像;特征不变量;动态匹配

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A

New method for detecting and tracking of moving target based on difference and invariant

DING Xue-mei, WANG Wei-ya, HUANG Xiang-dong

(Ultra-precision Optoelectronic Instrument Engineering Center,
Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: A new method for detecting and tracking moving target is proposed based on combination of image difference and feature invariant. A more complete and clear contour is acquired using three-frame difference. And a feature invariant is constituted without influence of object's size change, shifting, and rotation based the contour. Then a dynamic extremum-matching method is proposed for recognizing and matching the object based on extreme point information and replacing the former mold-plate with the new one. The experimental results indicate that the method can successfully detect moving target and accurately estimate its trajectory in the image sequence with less memory even when the object figure is changed during movements. Moreover, it is efficient and adaptable for real-time target detecting and tracking, and it can meet the demands in real-time detecting and tracking moving targets.

Key words: target recognition; tracking; difference image; feature invariant; dynamic matching

1 引言

随着机器人和各种智能系统技术的发展,运动目标的检测和跟踪技术越来越受到关注,也开始在军事和民用等诸多领域得到了广泛的应用,如自动视频监控、智能交通系统等等。基于图像序列的运动目标检测和跟踪是指在图像序列中实时地检测出运动目标,并跟踪它们^[1]。

常见的运动目标检测算法有基于相邻帧差的算法^[2]和基于背景图像与当前帧差的算法,这些算法虽然能进行快速目标检测,但在实际场景中往往不能精确提取出运动目标,从而给后续的处理带来一定的困难。神经网络方法作为一种新兴的目标图像识别方法^[3-5],由于其固有的特征,如信息分布式存储、大规模自适应并行处理,高度的容错性等,在目标图像识别领域表现出了极大的优势。它的主要缺点是检测能力强弱依赖于训练样本的丰富性。由于目标运动轨迹数目非常大,应用神经网络作检测在训练时间和收敛性方面都会存在一些问题。因此如何兼顾目标检测跟踪的速度和准确性越来越受到关注。

本文在总结前人研究成果的基础上,针对飞行器目标的识别跟踪的快速准确要求,提出了一种基于改进的差分算法与特征不变量匹配的目标识别方法。首先对二维图像进行预处理,利用帧间差分算法确定运动目标可能存在的区域,然后提取特征不变量,匹配识别目标,完成对运动目标的位置检测与轨迹跟踪。本文改进了传统差分方法的不足,并构造了一个特征不变量,同时提出了动态极值匹配方法。实验结果表明,此方法能够准确识别目标,显著地提高识别跟踪效率,实现对运动目标的实时分析。

2 基本原理

2.1 图像预处理

图像预处理主要是为了增强图像中目标和背景图像的对比度,并去除采集和传输图像时产生的噪声。

当图像受到摄像系统以及记录设备动态范围太窄的影响,或由于自然图像本身灰度分布在较窄的区间内会出现对比度不足等问题,使图像中

的细节分辨不清。对系统获取的图像,进行直方图变换^[6],图像灰度修正、中值滤波等^[7-8],使图像的灰度间距拉开或者使图像的灰度分布均匀,从而增大了反差,使图像边缘细节清晰,减小噪声的干扰和影响,达到系统的要求。

2.2 改进的差分算法

由于实际的检测图像中,目标以及背景在两帧图像(帧频为25帧/s)中的大小和形状变化很小,因此可以采取图像差分的方法,即将两帧相邻目标图像逐点相减,并将结果记录下来形成差分图。设 I_k 是图像序列中第 k 帧图像灰度数据值数据, I_{k+1} 是第 $(k+1)$ 帧图像灰度值数据,则相邻两帧差分图像定义如下:

$$I_{d(k,k+1)} = |I_{k+1} - I_k|, \quad (1)$$

于是出现了运动造成的非零区,利用运动产生的区域就可检测出运动目标以及运动背景。显然,差分图像是图像灰度对时间求导的逼近,具有边缘图像的性质。

但在实际图像中,噪声没有得到有效抑制,具体表现在边缘差分图像是两个差分图像的叠加,有些突发的量化噪声所造成的虚假边缘在其中有体现,差分并不能消除。另一方面,差分图像中运动目标区域的轮廓并不是理想封闭,不能表述目标的轮廓信息,而本算法后续工作都是基于目标边缘最外侧点的,所以必须针对这两个问题改进差分算法。

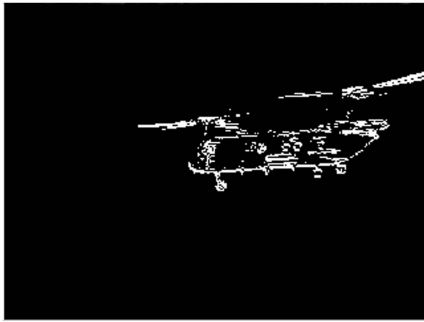
对采集的视频序列图像进行均值滤波,降低量化噪声等预处理,去除较大的背景噪声后,首先进行阈值分割,然后将得到的二值图像进行差分处理,并且进行连通域分析,对于小连通区域,在相距四个像素内存在目标点连接至目标,否则作为噪声处理,最终完成运动对象的轮廓提取。这样不仅可以抑制突发的量化噪声,而且可以比较完整地保留目标的轮廓信息。同时,应用文献[9]所采用的三帧差分法,即分别对连续三帧图像中前帧与中间帧、中间帧与后帧进行两帧时间差分运算,定义连续三帧序列图像前后灰度帧差重合的部分,作为中间帧运动对象的边缘,这样可有效解决运动对象前后帧的遮挡问题。图1所示为差分法进行目标轮廓提取的示意图,可以看出,改进后的算法能比较完整地保留目标的轮廓信息。

2.3 特征提取

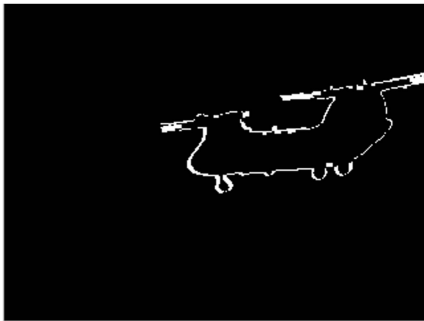
如何使目标特征化是实现实时、准确目标识



(a) 原始图像
(a) Original image



(b) 目标轮廓提取
(b) Contour extraction of target



(c) 改进算法后的轮廓提取
(c) Contour extraction using improved difference

图 1 差分法进行运动目标检测

Fig. 1 Target detecting using image difference

别的关键,许多学者在这方面做了大量的工作。Hu 于 1961 年首先提出了矩的概念,他在文献 [10] 中给出了连续函数矩的定义和关于矩的基本性质。二维矩已经用于图像处理的许多方面,如飞机识别、船只识别、场景匹配和字符识别等^[11-14]。但 Hu 矩的方法复杂,计算量大,不利于实时检测。在文献 [15] 中,Thomas 提出以角度

作为自变量,绕主轴顺时针旋转 2π , 对应得到的目标区域的最大长度 d 作为函数,得到特征曲线进行匹配。此方法不仅计算量大,而且由于角度增量的选取为定长,会遗漏某些像素点信息。由于飞行器目标的检测同时要求高准确率和实时性,而目标的特征主要体现在形状上,本文充分考虑目标形状,构造一个特征不变量。

设目标图像在 (x, y) 点的灰度值为 $G(x, y)$, 它的形心坐标 (x_0, y_0) 为:

$$x_0 = \left(\sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N-1} x \cdot G(x, y) \right) / \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N-1} G(x, y), \quad (2)$$

$$y_0 = \left(\sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} y \cdot G(x, y) \right) / \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} G(x, y), \quad (3)$$

由于目标的形状特征主要体现在轮廓上,而对于其内部结构不关心,因此只需要对边缘的像素点进行操作,它到目标形心的距离为 $d = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}$ 。构造特征不变量:

$$T_n \{f(x, y)\} = G_n(x, y) \times \frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{r^2}, \quad (4)$$

式中, $r = (\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2})_{\max}$, n 为目标边缘点序号, $G_n(x, y)$ 为对应灰度值。

上式得到一幅以边缘点序号 n 作为变量, $T_n \{f(x, y)\}$ 作为函数的特征曲线。该特征曲线对目标的形状有很好的识别能力,其物理意义是对目标边界上的每一个点求取它到目标形心的距离,然后进行归一化。由于图像的平移也会使其形心产生移动,各个边缘像素点的坐标相对于形心保持不变,即特征值不变,具有平移不变性;当物体大小变化时,各边缘点到形心的距离比值不发生变化,即该特征值具有比例不变性;基于同样原因该特征值也具有旋转不变性。

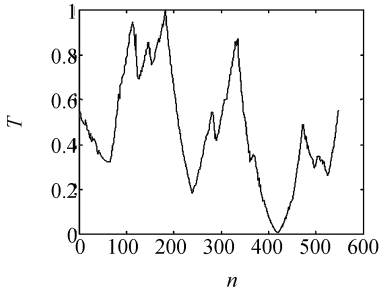
因此,该特征量对目标的形状的变化具有很强的检测能力,并且不受目标平移、大小以及角度的影响。如图 2 所示,(a)对应的特征曲线是(c),(b)是(a)旋转一定角度后得到的图像,对应于曲线(d),可以看出,图像旋转后特征曲线形状不发生变化,只是存在一个相移;图像(e)对应于曲线(g),(f)是它缩小后的图像,对应于曲线(h)。可以看出,两特征曲线在形状上也是相似的,只是边缘点数目不同。

2.4 动态特征匹配

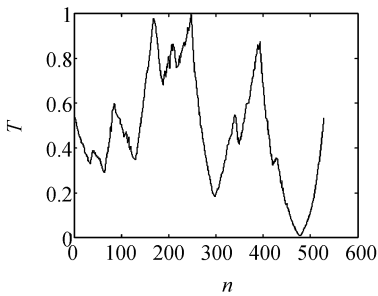
由于在相邻两帧图像(帧频 25 帧/s)中,目标



(a) (b)



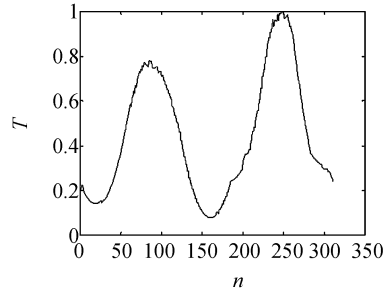
(c)



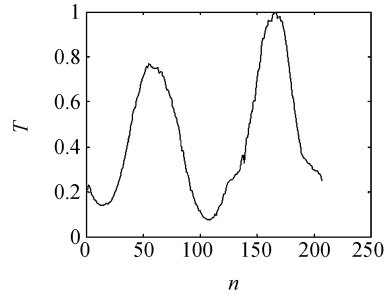
(d)



(e) (f)



(g)



(h)

图 2 目标形状特征曲线

Fig. 2 Contour curves of objects

的大小和形状变化很小,因此可以用该形状特征量进行目标识别。对于所得到的特征曲线,通常先统一两曲线的自变量数目(采样处理),然后利用相似函数来计算它们的相似度。

$$S(J, J') = \frac{\sum_j a_j a_j'}{\sqrt{\sum_j a_j^2 \cdot \sum_j a_j'^2}}, \quad (5)$$

式中, $S(J, J')$ 表示两曲线 J, J' 的相似度, a_j, a_j' 表示两特征曲线中第 j 点的坐标值。

对于比较大的目标,其边缘点可能有几千个,另外由于目标形状的变化,也会使边缘点的数目不同,因此利用上述方法来度量特征曲线的相似程度不仅计算量大,对内存的要求也比较高。本文提出一种新的特征匹配方法。

由于特征曲线表示的是目标的形状信息,而极值点能较全面地反映曲线起伏信息。只需要检测到它的每个极值点 i , 得到极值点的大小 D_i 及对应的索引值 N_i 。然后以半径最大(特征值为 1)的极值像素点作为起点 N_{D1} 依次排列,并逐一进行比较,当满足以下条件:

$$N_D = N_{D'}, \quad (6)$$

$$|D_i - D_i'| < k_1, i=1, 2, \dots, N_D, \quad (7)$$

$$|N_{D_i}/N_{D_{\text{总}}} - N_{D_i'}/N_{D_{\text{总}}}| < k_2, i=1, 2, \dots, N_D. \quad (8)$$

就可认为两曲线相似,为同一个目标,进行跟踪轨迹。式(6)限定了两曲线的极值点数目必须相等;式(7)要求对应点的极值大小差值在一定范围内,是对曲线极值点纵坐标的限制;式(8)表示两曲线的对应极值点索引值占总像素点数的比例之差要在一定范围之内,这是对极值点横坐标的限制。这三个条件就代表了特征曲线极值点的特征。对于目标被部分遮挡的情况,可能不能满足式(6),且总像素点的数目也不准确,为了提高特征量对物体被遮挡情况的适应性,可以将前一帧的形心坐标作为当前帧的形心值,得到一幅特征曲线,然后利用公式(7)、(8)再做特征匹配,当满足一定条件时,即可认为匹配成功。

当匹配成功后,将新得到的特征曲线值代替原模板特征值,这种动态特征曲线可以减小两帧之间的匹配误差,并且对于运动目标发生三维空间的翻转或形状有变化的情况有更好的适应能力。

3 测试结果

本文以飞行器作为运动目标进行模拟仿真试验,CCD图像的帧频为25帧/s,帧图像分辨率为 $288 \text{ pixel} \times 352 \text{ pixel}$,每pixel 8 bit量化(256灰度等级),目标运动规律未知。图2所示为目标的识别过程,(a)、(b)为图像序列中相邻的两幅原始图像,(c)为两幅图像经过改进差分算法后得到的图像,(d)为目标的特征曲线,图(e)为最终锁定目标,获取到目标的位置信息。测试过程中每帧图



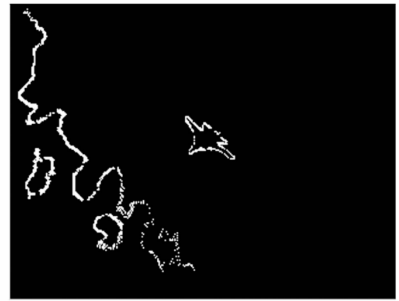
(a) 第 78 帧图像

(a) The 78th frame



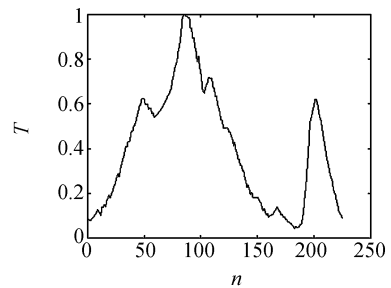
(b) 第 79 帧图像

(b) The 79th frame



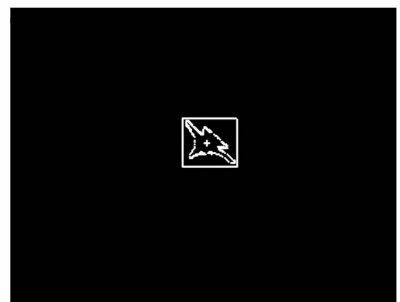
(c) 差分提取边缘

(c) Contour extraction by difference



(d) 特征提取

(d) Feature extraction



(e) 确定目标

(e) Target identification

图 3 目标识别与跟踪过程

Fig. 3 Process of identification and tracing

像平均用时 0.011 74 s,其中特征提取与匹配过程平均用时 0.005 476 s,能够实现实时图像处理。

根据上述实验结果,可以得到如下结论:(1)本算法对具有明显形状特征的目标都能够很好地进行目标识别与跟踪;(2)在出现运动干扰物时,能够通过特征匹配,准确识别并跟踪目标;(3)本算法提取的目标特征量,对目标形状检测能力强,并且不受目标大小,平移和旋转的影响;(4)本算法采用极值点匹配法,有利于提高算法效率,且只需要存储极值信息作为匹配模板,节约内存,易于硬件实现;(5)采用动态匹配法,对于形状有变化的目标有更好的适应能力,提高算法的精度;(6)本算法运算简单,计算量较小,跟踪精度高;(7)本算法具有多目标检测能力。

4 结 论

本文针对飞行器目标识别跟踪的快速准确要

求,提出了一种基于改进的差分算法与特征不变量匹配的目标识别方法。首先对二维图像进行预处理,利用帧间差分算法确定运动目标可能存在的区域;然后特征提取不变量,匹配识别目标,完成对运动目标的位置检测与轨迹跟踪。本文改进了传统图像差分算法的不足,不仅在差分图像上抑制突发的量化噪声,并且比较完整地保留目标的轮廓信息;构造了一个特征不变量用于目标识别,该特征量对目标形状检测能力强,并且不受目标大小,平移和旋转的影响;同时提出了动态极值匹配方法,对于形状有变化的目标有更好的适应能力;考虑了目标部分被遮挡的情况,提高算法的准确度。实验结果表明,此方法能够准确识别目标,显著地提高识别跟踪效率,对于分辨率为 288×352 pixel,每 pixel 8 bit 量化的序列图像,处理每帧图像平均用时 0.011 74 s,其中特征提取与匹配过程平均用时 0.005 476 s,能够实现运动目标的实时分析。

参考文献:

- [1] RICE T R A, ALOUANI T A. Single-model asynchronous fusion of correlated tracks [J]. *SPIE*, 1999, 3692 (3): 234 - 245.
- [2] CAVAN R A. Improved tracking and data fusion through sensor management and control [C]. *Proceedings on Data Fusion Symposium, Monterey, California, USA*, 1987: 66 - 65.
- [3] HAKEN H. Synchronization and pattern recognition in a pulse-coupled neural net[J]. *Phys. D*, 2005,205: 1-6.
- [4] GRZEGORZ M W, WIESLAW A K. Liquid state machine built of Hodgkin-Huxley neurons and pattern recognition[J]. *Neurocomputing*, 2004, 58-60:245 - 251.
- [5] 卢秋红, 颜国正, 韩焱. 基于神经网络算法的故障检测技术[J]. *光学精密工程*, 2002,10(1): 25 - 29.
LU Q H, YAN G ZH, HAN Y. Fault detecting technology based on neural network algorithm [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2002, 10(1): 25 - 29. (in Chinese)
- [6] ZHANG F, LI C F, SHI L. Detecting and tracking dim moving point target in IR image sequence[J]. *Infrared Phys. Technol.*, 2005,46:323-328.
- [7] MARAGOS P, SCHAFFER R W. Morphological system for multidimensional. Signal processing [J]. *Proc. IEEE*, 1990, 78(4): 690-710.
- [8] KIM J Y, KIM L S, HWANG S H. An advanced contrast enhancement using partially overlapped sub-block histogram equalization [J]. *IEEE Trans. Circ. Syst. Video Technol.*, 2001, 11(4): 475-484.
- [9] DUBMISSION M P, JAIN A K. Contour extraction of moving objects in complex outdoor scenes [J]. *Int. J. Comput. Vision*, 1995, 14(1): 83-105.
- [10] HU M K. Visual pattern recognition by moment invariant [J]. *IEEE Trans. Inform. Theor.*, 1962,8(2):179-187.
- [11] SIMON X L, MIROSLAW P. On image analysis by moments [J]. *IEEE Trans. PAMI*, 1996, 18(3):254-266.
- [12] LI Y. Applications of moment invariants to neurocomputing for pattern recognition [J]. *Electron. Lett.*, 1991,

27(7): 587-588.

- [13] IVAR B, KASPER D, RENE D E. Weighted central moments in pattern recognition [J]. *Pattern Recogn. Lett.*, 2000, 21: 381-384.
- [14] 王海霞, 徐欣锋, 徐抒岩. 一种基于不变矩的目标识别方法[J]. *光学精密工程*, 2004, 12(增): 131-136.
WANG H X, XU X F, XU SH Y. A method of target searching and recognition based on moment invariants [J]. *Opt. Precision Eng*, 2004, 12(supp.): 131-136. (in Chinese)
- [15] BERNIER T, LANDRY J A. A new method for representing and matching shapes of natural objects[J]. *Pattern Recogn.*, 2003, 36: 1711 - 1723.

作者简介: 丁雪梅 (1959—), 女, 工学博士, 教授, 博士生导师, 现任哈尔滨工业大学研究生院常务副院长, 主要社会兼职有: 哈尔滨市科学技术协会副主席, 中国学位与研究生教育学会理事, 哈尔滨市知识分子联谊会主席; 主要研究方向为光电信息检测与处理技术, 光电测量技术与仪器; 近年发表学术 30 余篇, 培养硕士生 9 人, 培养博士生 7 人。E-mail: jbtan@hit.edu.cn