

文章编号 1004-924X(2002)04-0365-05

基于自适应模板的实时跟踪算法

徐瑞鑫,刘伟宁

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130022)

摘要:相关匹配算法通过计算模板图像和待匹配图像的互相关值来确定匹配的程度,是一种经典的匹配算法,具有很高的准确性和适应性,并且对图像灰度值的线性变换具有“免疫性”,因此在目标跟踪中得到了广泛应用。但是相关匹配算法计算耗时过于庞大,难以达到实要求,并且当目标在模板中所占比例很小时,很难确定模板的准确位置,使得此算法在实时目标跟踪中的应用有很大困难。本文提出了一种基于自适应模板的实时跟踪算法。实时采集的图像首先进行阈值分割,然后用形态学滤波的方法去掉噪声,模板的尺寸通过轮廓分割方法确定。匹配程度的算法选择的是归一化自相关匹配算法,并采用金字塔搜索算法进行加速。实验结果显示,此算法有效地克服了相关匹配算法的缺点,具有较好的匹配精度和实时性。

关键词:目标跟踪;相关匹配;算法;模板

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A

1 引言

自动目标识别是指从成像系统来的图像,自动地提取目标并识别出来,其主要算法步骤包括图像数据的预处理、目标检测、图像分割、特征计算、运动分析和目标跟踪等。图像模板匹配是目标跟踪的关键,两幅图像之间的匹配算法可以归结为二者的某一特征值的相关性度量。通过将模板图像与待匹配图像进行相关运算,得到一个相关值,根据这一相关值的大小就可以判断二者是否匹配。

目前对于自动目标跟踪识别技术的研究还存在很大的局限性。对于某类目标的研究在实验室中跟踪、识别的效果很好,但在实际应用中,由于许多不可预知的环境条件(光照、气候、能见度等)的影响,使图像识别变得困难,进而造成不能识别。

归一化自相关匹配算法是一种经典的匹配算法,它具有很高的准确性和适应性,对图像灰度值的线性变化具有“免疫性”。但是,由于在动态跟踪中,目标的大小、形状经常发生变化,当目标在模板中所占比例很小时,相关匹配的结果将受背

景的影响较大,因此容易造成误匹配。本文采用根据目标变化情况动态地改变模板大小与自相关匹配相结合的办法,较好地解决了这一问题。

2 自适应模板匹配

2.1 阈值分割图像

首先对模板图像用最大类间方差法进行二值化处理,最大类间方差法是在判决分析最小二乘法原理的基础上推导得出的,算法比较简单,适用范围较广,是一种受到关注的阈值选取方法。

设原始灰度图像的灰度级为 L , 灰度级为 i 的像素点数为 n_i , 图像的全部像素为 N , 归一化直方图, 则:

$$p_i = \frac{n_i}{N}, \quad P_i = \sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1, \quad (1)$$

用阈值将图像按灰度级划分为两类: $C_0 = (0, 1, \dots, t)$ 和 $C_1 = (t+1, t+2, \dots, L-1)$ 。 C_0 和 C_1 类的出现概率及均值分别为:

$$p_0 = \sum_{i=0}^t p_i = P(t), \quad (2)$$

$$p_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - P(t), \quad (3)$$

$$\mu_0 = \frac{1}{L-1} \sum_{i=0}^{L-1} i P_i / \mu(t) / (t), \quad (4)$$

$$\mu_1 = \frac{1}{L-1} \sum_{i=i+1}^{L-1} i P_i / \mu_T(t) - \mu(t) / (1 - (t)), \quad (5)$$

其中:

$$\mu(t) = \frac{1}{L-1} \sum_{i=0}^{L-1} i P_i$$

$$\mu_T(t) = \frac{1}{L-1} \sum_{i=0}^{L-1} i P_i$$

C_0 和 C_1 类的方差:

$$\sigma_0^2 = \frac{1}{L-1} \sum_{i=0}^{L-1} (i - \mu_0)^2 P_i / \mu_0$$

$$\sigma_1^2 = \frac{1}{L-1} \sum_{i=i+1}^{L-1} (i - \mu_1)^2 P_i / \mu_1, \quad (6)$$

定义类内方差为:

$$\sigma^2 = \sigma_0^2 + \sigma_1^2, \quad (7)$$

类间方差为:

$$\sigma_B^2 = \mu_0(\mu_0 - \mu_T)^2 + \mu_1(\mu_1 - \mu_T)^2$$

$$= \mu_0 \mu_1 (\mu_1 - \mu_0)^2, \quad (8)$$

引入关于 t 的等价的判决准则:

$$(t) = \frac{\sigma_B^2}{\sigma^2}$$

可选最佳阈值:

$$t^* = \text{Arg} \max_{t \in [0, 1]} (t), \quad (9)$$

2.2 形态学滤除噪声

由随机集合、几何理论发展起来的数学形态学理论是近年来日益受到重视的一种图像处理技术。形态学有 4 种基本运算:膨胀、腐蚀、开运算和闭运算,这 4 种基本操作定义如下:

膨胀 $D = B \oplus S = \{x, y \mid S_{xy} \subseteq B\}$

$$NC(i, j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N T(m, n) F(m+i, n+j)}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N T^2(m, n) \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N F^2(m+i, n+j)}}, \quad (10)$$

$$NC(i, j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (T(m, n) - \overline{T(m, n)}) (F(m+i, n+j) - \overline{F(m+i, n+j)})}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (T(m, n) - \overline{T(m, n)})^2 \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (F(m+i, n+j) - \overline{F(m+i, n+j)})^2}}, \quad (11)$$

式中:

$$\overline{T(m, n)} = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N T(m, n)$$

$$\overline{F(m+i, n+j)} = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N F(m+i, n+j)$$

腐蚀 $E = B \ominus S = \{x, y \mid S_{xy} \subseteq B\}$

开运算 $B \circ S = (B \ominus S) \oplus S$

闭运算 $B \circledast S = (B \oplus S) \ominus S$

从区域的观点来看形态学操作,膨胀与腐蚀分别引起区域的扩大与缩小,开运算具有消除细小物体、在纤细点处分离物体和平滑较大的边界时又不明显改变其面积的作用。闭运算具有填充物体内部细小空洞、连接邻近物体、在不明显改变面积的情况下平滑其边界的作用。二值化后的图像,会存在许多小的孤立点,这是由噪声引起的。因此可以运用开运算来滤掉这些孤立的小范围噪声点。

图像阈值分割和去噪后,利用轮廓跟踪的方法对目标进行分割,进而确定模板大小。由于是实时跟踪,两帧之间目标大小变化不可能太大。因此规定当计算所得的模板尺寸与前一帧相差大于 8 时,模板大小改变按 8 来计算,这样可以防止目标与背景边界相混时造成模板尺寸突变的情况。在算法中,还规定当模板尺寸小于 20 或大于 80 时,模板尺寸按 20 或 80 处理,防止模板尺寸定义过大或过小。

2.3 归一化自相关匹配算法

归一化自相关匹配算法经常写为 NC (Normalized Correlation) 算法,通过计算模板图像和待匹配图像的自相关值来确定匹配的程度。自相关值最大时的搜索窗口位置决定了模板图像在待匹配图像中的位置。自相关定义一般有如下两种形式:

在实时跟踪系统中,采样时间很短 (25 帧/s),因此目标在下一帧的位置距离上一帧的位置应该在一定范围之内。为了减少运算量,不必对整幅图像进行匹配,而只需在目标周围的范围内进行匹配即可,在这里设定搜索范围为 40

$\times 40$ 。

由于目标是随时变化的,因此模板也不能是恒定不变的,它应该随时进行更新。但是如果在每一帧都无条件地更新模板,当目标被障碍物遮挡时,更新的模板中有可能出现障碍物占有绝大多数比例的情况,当目标离开障碍物时,匹配算法会认为障碍物是正确的目标而造成误匹配。为了解决这一问题,设定一个阈值,只有当匹配度大于这个阈值时,模板才进行更新,算法中阈值取为 0.8。

2.4 匹配算法加速

在已有的各种图像匹配算法中,一般都是利用搜索窗口在待匹配图像上滑动,每滑动一次就进行一次匹配计算,然后将计算的相关结果与某一事先设定好的阈值进行比较,依次来决定是否匹配。这是一个相当耗时的过程,因为对于每一次滑动,都意味着要做一系列的匹配运算。

为了提高匹配速度以满足实时性的要求,本文采用图像金字塔搜索算法对匹配进行加速,取得了良好的效果。图像金字塔搜索算法一般由二个步骤组成:

第 1 步. 预处理图像

首先,对被匹配的图像进行分层预处理,方法是将图像 2×2 的邻域逐个进行平均处理,从而得到一个分辨率较低和维数较小的图像。然后,将此图像再用同样的方法处理,得到一个分辨率更低的和维数更小的图像。依次进行下去,可以进行 K 次分层处理,得到 K 个处理后的图像。加上原图像,可构成一组分辨率由高到低,维数由大到小的图像序列。

第 2 步. 先粗后细的相关过程

第一次相关搜索从分辨率最低的层开始,为了找到可能的粗匹配位置,应在所有搜索位置上进行相关匹配,为了确保匹配的准确性,应根据实际情况尽量多选几个可能的粗匹配位置。下一次相关在上一次相关产生的粗匹配位置附近进行相关搜索,依此类推,直到在原始图上找到匹配位置为止。

2.5 自适应模板匹配算法流程

自适应模板匹配算法流程图如图 1 所示。

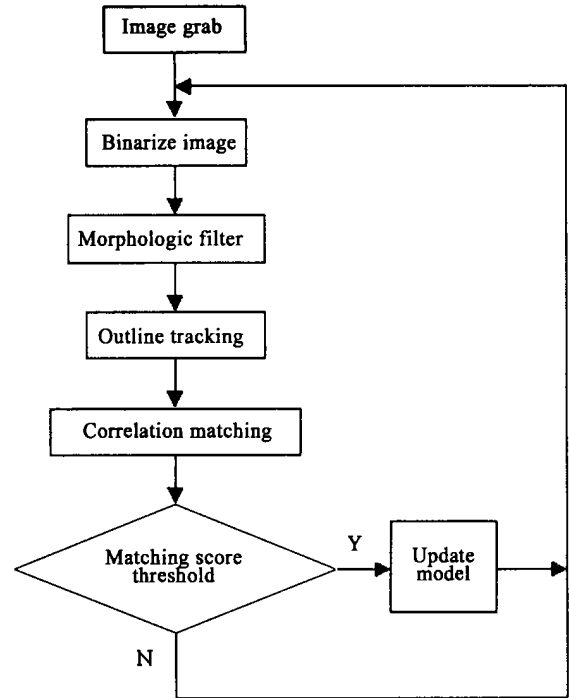


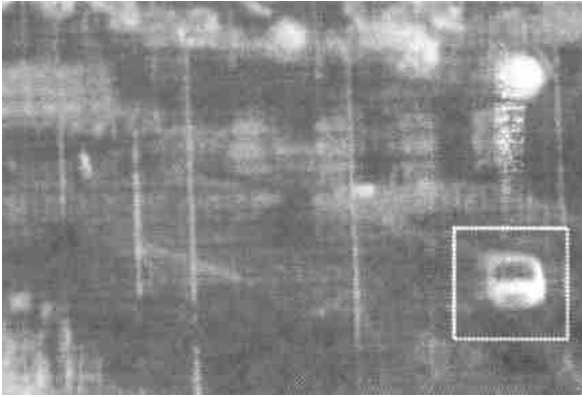
图 1 自适应模板匹配算法流程图

Fig. 1 Adaptive model matching arithmetic flow chart.

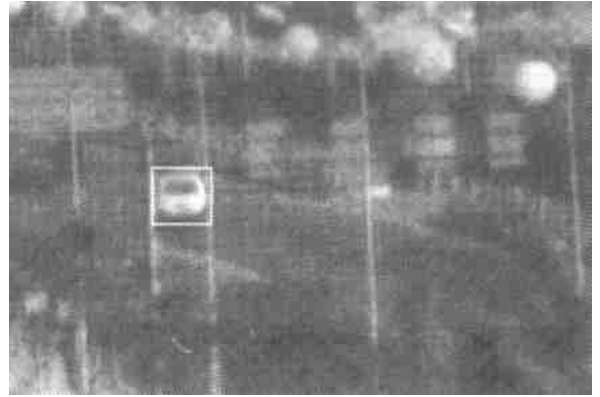
3 实验结果及分析

本算法在 PC 机上编程实现。在实验中使用的硬件环境为:一台双 PIII866 CPU 计算机,一块加拿大 Matrox 公司 Meteor - II 图像采集卡和一台黑白 CCD 像机。软件平台为:Windows NT 4.0 操作系统, Mtl6.0 软件开发包以及 Visual C++ 6.0。

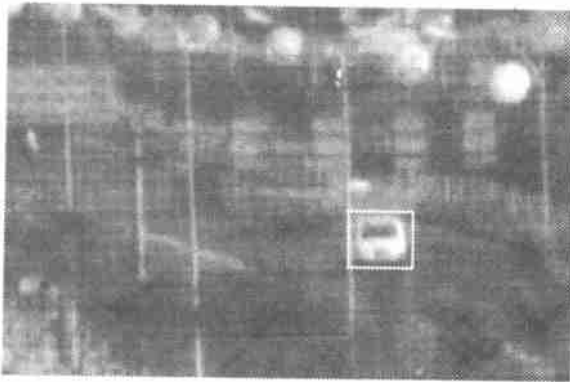
实验图像来自于 CCD 摄像机采集的在公路上行驶的车辆,目标由近到远渐渐远离视场,运动过程中目标受到电线杆、广告牌以及其他车辆的部分遮挡,目标的灰度由于光照影响变化也很大。被跟踪的目标是通过鼠标单击选取(第 0 帧),其余图像显示的是不同帧数算法自动跟踪的结果,如图 2 所示。



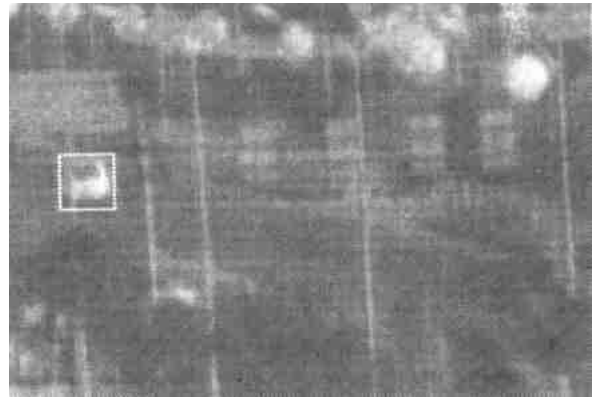
第 0 帧图像



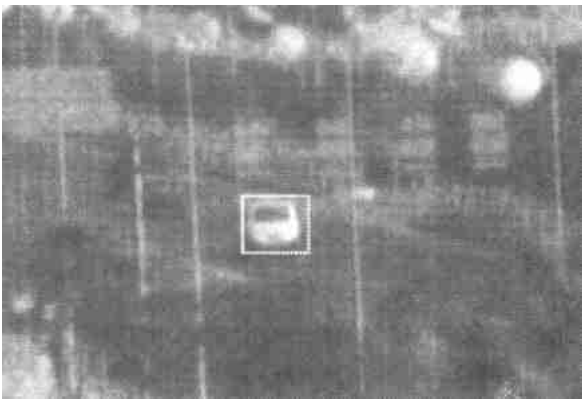
第 150 帧图像



第 50 帧图像



第 200 帧图像



第 100 帧图像

图 2 实验结果

Fig. 2 Experimental results.

可以看出,在跟踪过程中模板随着运动目标大小的变化而改变,并且在目标运动过程中暂时受到部分遮挡时能稳定跟踪目标。当模板大小和搜索范围均为 40×40 时,用金字塔算法加速前的匹配时间为 186ms,而加速后的时间为 45ms,因此算法在目标不是很大的情况下可以实现实时跟踪。如果用 DSP 专用硬件处理芯片来实现,可以对较大目标在更大搜索范围内实现实时匹配。

参考文献:

- [1] Huang A M, Gao Zh, Dai B, et al. Real-time object matching[J]. *SPIE*, 1998, 3460:755 - 760.
- [2] Jang D S, Choi H I. Active models for tracking moving objects[J]. *Pattern Recognition*, 2000, 33:1135 - 1146.
- [3] 陈晓钟, 孙华燕. 一种自然纹理背景下的图像目标检测方法[J]. *光学 精密工程*, 2000, 8(5):421 - 424.
- [4] 夏正良. 数字图像处理 [M]. 福建:东南大学出版社, 1999.
- [5] 高世海, 戴文刚, 田仲. 空域和频域相结合的景象匹配算法[J]. *中国图像图形学报*, 2000, 5A(4):345 - 348.

Adaptive model-based real time tracking algorithm

XU Rui-xin , L IU Wei-ning

(*Changchun Institute of Optics , Fine Mechanics and Physics ,
Chinese Academy of Sciences , Changchun 130022 , China*)

Abstract : The correlation-matching algorithm determines the matching degree of model and grabbed image by calculating their correlation value. Because the algorithm has high precision and strong adaptability , and is robust to the linear change of grayscale , it is widely used in projects as a classic matching algorithm. But correlation-match computing is very time-consuming and difficult to satisfy the real time request. Besides , when the target is only small part in the model , it is hard to confirm the model position. In this paper , an adaptive model-based real time tracking algorithm is introduced ,in which the grabbed image is segmented by threshold and the noise is removed. Then a contour segment method is used to determine the size of model. The matching algorithm chosen for calculating the degree of match is a normalized correlation algorithm accelerated by pyramid algorithm. The results show that when the target is very small in the model , the tracking algorithm has better matching precision and real time.

Key words : target tracking ; correlation match ; algorithm ; model

作者简介:徐瑞鑫(1972 -) ,男 ,吉林省长春市人 ,现在中国科学院长春光学精密机械与物理研究所攻读硕士。