

# 复杂背景下基于自适应模板更新的目标跟踪算法

贾桂敏 王向军 张世海

(天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072)

**摘要** 为了提高复杂背景下目标跟踪的稳定性,在模板匹配失败时引入目标分割过程,根据新目标区域与模板的相似度分析得出导致匹配失败的具体原因,提出了一种新的自适应模板更新算法。根据模板图像各像素到模板中心的距离构造加权函数,对传统归一化相关算法进行改进,使新算法具有一定的抗遮挡能力。实验结果表明,该算法与固定模板跟踪算法和逐帧模板更新算法相比,在目标尺寸变化和被物体局部遮挡时,跟踪的连续性和稳定性更好。

**关键词** 目标跟踪; 自适应模板更新; 归一化相关; 复杂背景

**中图分类号** TP391.4 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20092903.0659

## Target Tracking Algorithm Based on Adaptive Template Update in Complex Background

Jia Guimin Wang Xiangjun Zhang Shihai

(*State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instruments,*  
*Tianjin University, Tianjin 300072, China*)

**Abstract** A new adaptive template update strategy was proposed to increase the stability of target tracking in complex background. When the template matching fails similarity analysis between new target area and the template based on segmentation and correlation was applied to find the matching failure causes. A weighted function based on the distance of each pixel to the template center was put forward. And the normalized cross-correlation algorithm was improved to solve the occlusion issue. Experimental results indicate that the template can be modified adaptively. When the target is occluded or the target size is changed, the new algorithm is steadier compared with fixed template algorithm and each-frame template update algorithm.

**Key words** target tracking; adaptive template update; normalized cross-correlation; complex background

## 1 引言

自动目标跟踪融合了图像处理、模式识别、人工智能等先进技术,被广泛地应用于视频监控、机器人视觉导航、军事视觉制导等领域,是计算机视觉领域的研究热点和难点。相关匹配算法在目标跟踪中有着重要的地位,它具有较强的局部抗干扰能力,稳定性好,能适应较复杂的环境<sup>[1]</sup>。

模板更新是目标相关跟踪中的关键一环,它是维系整个跟踪过程的纽带。在实际跟踪过程中由于噪声、遮挡、变形等因素的影响,模板更新策略对于跟踪系统的稳定性与准确性至关重要。本文针对影

响模板更新算法性能的主要问题,即遮挡和变形,对传统归一化相关算法进行改进,提出了新的自适应模板更新算法,实现了模板尺寸的自适应修正。实验结果表明,新算法具有计算量小、稳定性高等优点。

## 2 加权归一化相似度量

### 2.1 归一化相关算法

常用的灰度相关算法有归一化相关匹配(NCC)算法、平均差值平方(MSD)算法、平均绝对差值(MAD)算法、差的绝对值和(SAD)相关算法、差的平方和(SSD)相关算法等。对于图像背景简

收稿日期: 2008-02-26; 收到修改稿日期: 2008-08-04

作者简介: 贾桂敏(1982-),女,博士研究生,主要从事图像处理、目标跟踪与模式识别方面的研究。

E-mail: gm\_j1982@yahoo.cn

导师简介: 王向军(1955-),男,教授,博士生导师,主要从事计算机视觉与图像分析、光电传感与测试等方面的研究。

E-mail: xdocujw@vip.163.com

单、平均灰度变化不大的情况,MSD、MAD、SSD 和 SAD 算法都能获得较好的跟踪效果,由于这些方法更易于硬件实现,在工程中得到了广泛应用。但是当图像背景较为复杂、平均灰度发生较大变化时,用

上述四种方法的跟踪效果都不理想,这时可以采用归一化相关匹配算法,因为它跟踪精度高,稳定性好,并具有良好的抗干扰性能<sup>[2]</sup>。归一化相关算法的定义如下:

$$R(u, v) = \frac{\sum_{x=u}^{u+m-1} \sum_{y=v}^{v+n-1} (f(x, y) - \bar{f}_{u, v}) [(t(x-u, y-v) - \bar{t})]}{\left\{ \sum_{x=u}^{u+m-1} \sum_{y=v}^{v+n-1} (f(x, y) - \bar{f}_{u, v})^2 \sum_{x=u}^{u+m-1} \sum_{y=v}^{v+n-1} [(t(x-u, y-v) - \bar{t})]^2 \right\}^{1/2}}, \quad (1)$$

其中  $f$  为待匹配图像,大小为  $M \times N$ ;  $t$  为模板图像,大小为  $m \times n$ ;  $\bar{f}_{u, v}$  是  $f$  中对应模板图像的区域灰度均值;  $\bar{t}$  为模板图像的灰度均值;  $(u, v)$  是匹配点坐标。

归一化相关算法对图像和模板进行了去均值处理,从而可以充分地利用图像中变化部分的信息,使函数  $R(u, v)$  峰值尽量锐化,并且 NCC 算法具有固有的抑制噪声能力,对图像的亮度变化和对比度变化不敏感,当相对的缩放、旋转和畸变不大时,也能够得到满意的匹配。虽然 NCC 算法有这么多优点,但是由于其运算量较大,使它在实时目标跟踪领域的应用受到限制。近年来科研工作者提出了 NCC 算法的多种快速算法<sup>[3~7]</sup>,以满足目标跟踪系统的实时性要求。

## 2.2 加权归一化相关(WNCC)算法

跟踪过程中若发生局部遮挡,总是从目标的边缘开始,为了增强对局部遮挡的抵抗能力,越靠近目标中心就应该赋予越大的权值,反之,越远离目标中心就应该赋予越小的权值。从而使相关运算结果受模板图像与待匹配区域的中心部分相似程度大小的影响更显著。本文对传统 NCC 算法进行改进,根据模板图像各像素到模板中心的归一化距离构造加权函数,提出了加权归一化(WNCC)相似度量,使算法的抗遮挡性能比传统 NCC 算法更好。具体步骤如下:

1) 定义归一化距离  $D_N$

$$D_N(x, y) = \frac{D_E(x, y)}{D} = \frac{\sqrt{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2}}{D} \quad (2)$$

其中  $(x, y)$  表示模板图像中任一点坐标,且  $0 \leq x \leq m-1, 0 \leq y \leq n-1$ ;  $(x_c, y_c)$  表示模板图像中心位置坐标;  $D_E$  是点  $(x, y)$  到模板中心的欧式距离;

$$D_E(x, y) = \sqrt{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2},$$

$D$  为  $D_E$  的最大值。

2) 构造加权函数:考虑到遮挡大多从目标边缘

开始,且距离模板中心越远被遮挡的几率越大,采用指数函数作为加权函数,使权值从中心到四周逐渐减小。加权函数定义如下

$$\phi(x, y) = \exp\left(-\frac{D_N^2(x, y)}{\epsilon}\right) = \exp\left(-\frac{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2}{\epsilon D^2}\right), \quad (3)$$

其中  $\epsilon$  为控制加权函数衰减快慢的系数,取正实数。 $\epsilon$  越小,加权函数  $\phi(x, y)$  衰减越快。 $\phi(x, y)$  示意图如图 1 所示,其中  $x$  轴表示模板行数, $y$  轴表示模板列数, $z$  轴是加权函数的取值。

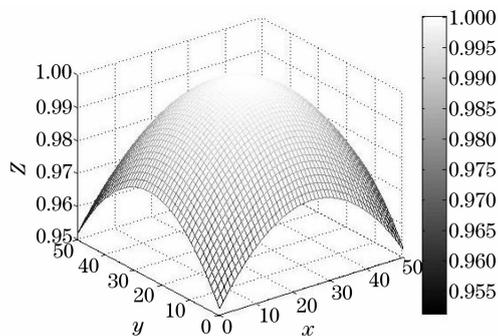


图 1 加权函数示意图

Fig. 1 Sketch map of weighted function

3) 加权归一化相似度量:考虑到算法的速度,在文献[8]的基础上引入加权函数,提出了加权归一化相似度量,其定义如下

$$R_w(u, v) = \sum_{x=u}^{u+m-1} \sum_{y=v}^{v+n-1} \phi(x-u, y-v) \cdot [f(x, y) - \bar{f}_{u, v}] (t(x-u, y-v) - \bar{t}), \quad (4)$$

WNCC 算法将模板与待匹配图像对应区域的中心部分乘积结果赋予较高的权值,边缘部分乘积结果赋予较小的权值,使真正匹配点处的相关值更加锐化,且在目标发生局部遮挡时,相关值减小量明显小于 NCC 算法,能有效解决目标匹配错误的问题。实验得出:图像维数越高,加权函数的系数  $\epsilon$  取值应该越小,对于大小为  $320 \times 240$  的图像,  $\epsilon$  取

10~20时效果较好。

### 3 自适应模板更新算法

在相关跟踪算法中,模板图像随着目标变化的自适应更新是连续跟踪的关键。针对跟踪过程中由于遮挡和目标尺寸变化导致的丢失或误跟踪问题,提出一种新的自适应模板更新策略。新算法流程如图 2 所示。

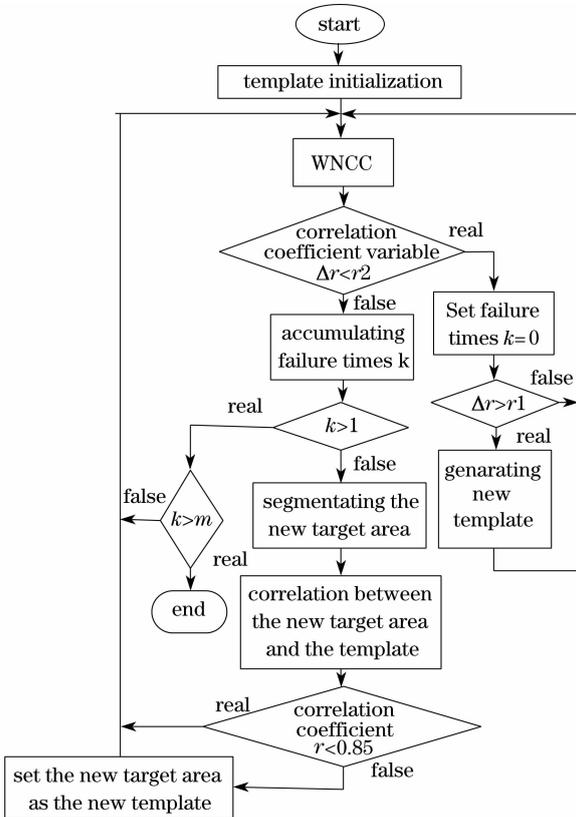


图 2 基于自适应模板更新的跟踪算法流程图

Fig. 2 Flow chart of the new tracking algorithm based on adaptive template update

#### 3.1 模板评价函数

设 WNCC 算法匹配的相关系数为  $r$ , 构造模板评价函数如下

$$\Delta r_i = |r_i - r_{i-1}|, i = 1, 2, 3 \dots \quad (5)$$

式中  $r_i, r_{i-1}$  分别为第  $i$  帧和第  $i-1$  帧图像与模板在最佳匹配点的相关系数,  $r_0$  表示模板更新时图像与模板的相关系数, 所以恒有  $r_0 = 1$ 。评价函数  $\Delta r_i$  ( $0 \leq \Delta r_i \leq 1$ ) 越小, 图像与模板匹配得越好。

#### 3.2 自适应模板更新准则

1) 当  $\Delta r_i$  满足

$$\Delta r_i < r_2 \quad (6)$$

认为当前帧匹配成功, 这时分两种情况进行处理:

(1) 如果  $\Delta r_i$  同时满足

$$\Delta r_i > r_1, \text{ (其中 } r_1 < r_2, i = 1, 2, 3 \dots \text{)} \quad (7)$$

说明当前使用的参考模板与匹配区域有一定差异, 将参考模板和最佳匹配位置的图像加权得到新的参考模板。加权方法如下所示:

$$M_{\text{new}} = r_i M_{\text{old}} + (1 - r_i) M_{\text{curr}} \quad (8)$$

其中  $M_{\text{new}}$  为新的参考模板;  $M_{\text{old}}$  为当前使用的参考模板;  $M_{\text{curr}}$  为最佳匹配位置的图像。

(2) 如果  $\Delta r_i$  不满足(7)式, 说明匹配区域与参考模板几乎没有差别, 这时没有必要更新模板。需要说明的是, 如果  $r_2$  取值过小将使跟踪系统对目标的变化过于敏感, 使算法的效率降低; 如果  $r_1$  取值过大则可能使模板进行没有必要的更新。

2) 如果  $\Delta r_i$  不满足(6)式则认为匹配失败。由于周围环境(如噪声和光线)不会发生突然改变, 造成匹配失败的主要原因是遮挡和目标尺寸变化。这两种情况下的处理策略在 4.3 节中做详细阐述。当连续多帧匹配失败时, 认为目标运动溢出视场范围, 退出跟踪过程。

## 4 模板自适应更新中的问题

### 4.1 目标搜索区域

根据目标以前的运动轨迹来预测其可能出现的位置, 然后在该位置附近进行相关运算, 通过减少搜索次数来提高匹配速度。考虑到算法的速度及硬件实现难易程度, 采用二次多项式作为拟合函数, 根据目标在最近 4 帧的匹配位置实时预测下一刻的目标轨迹<sup>[9]</sup>。

### 4.2 匹配算法加速

采用高斯金字塔加速算法, 将模板和当前图像分层处理后从粗到细进行搜索。图像和模板尺寸越大, 匹配速度提高地越多。大小  $320 \times 240$  的视频序列, 用 2 层金字塔加速算法后, 每秒能平均处理 25 帧图像。

### 4.3 目标发生遮挡和尺寸变化时的处理策略

当首次匹配失败时为了确定具体原因(目标被遮挡或目标尺寸发生变化), 重新分割目标区域并与当前模板进行匹配, 然后根据二者的相似度确定是否需要模板更新。由于背景复杂, 并且可能有干扰目标, 不能直接对整幅图像进行分割。可以根据预测的目标运动轨迹, 在比模板图像的长宽各增大 30% 的区域内使用 Otsu<sup>[10]</sup> 阈值法进行分割, 再通过投影法确定目标区域。这样既能保证分割的准确度又能提高算法的速度。采用线性插值法将新分割的目标区域与当前模板的尺寸变换一致后, 再对

二者进行相关运算。当二者的相关值小于 0.85 时认为目标被局部遮挡,不进行模板更新;当二者的相关值大于 0.85 时认为目标尺寸发生改变,将分割的新目标区域作为下一帧跟踪的模板图像。

## 5 实验结果

采用本文算法对视频 I (320×240, 15 frame/s) 和视频 II (240×320, 25 frame/s) 进行跟踪测试。

测试中使用的 PC 机配置为:AMD 3000+ 2.0 G, 512 M DDR 内存;软件平台为:Windows XP 操作系统, MATLAB7.5.0 环境;参数取值: $\epsilon=15$ ,  $r_1=0.2$ ,  $r_2=0.5$ ,  $m=10$ 。

图 3~图 5 是分别使用三种不同算法,即基于 NCC 算法的固定模板跟踪算法、基于 NCC 算法的逐帧模板更新算法和本文算法,对视频 I 测试时,在目标被遮挡和尺寸发生变化的复杂情况下的跟踪结果对比。

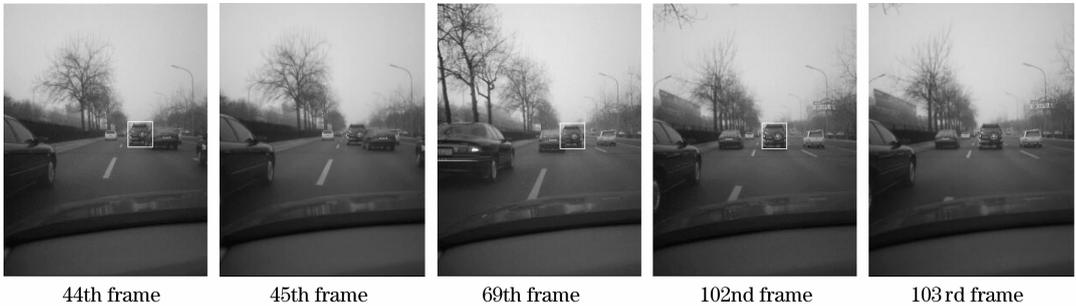


图 3 固定模板算法测试结果

Fig. 3 Tracking results using fixed template algorithm

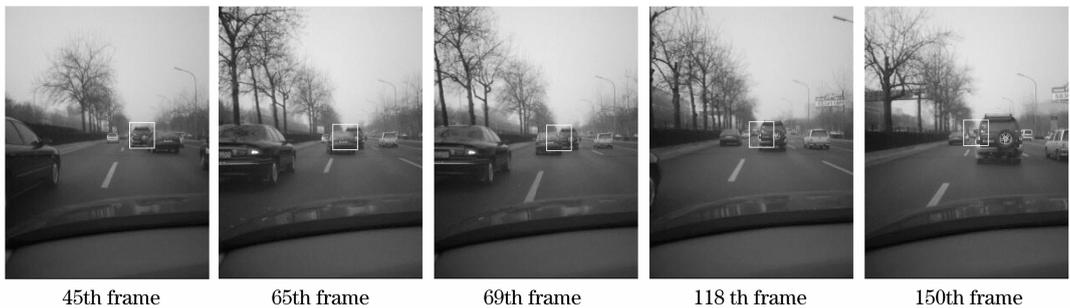


图 4 逐帧模板更新算法测试结果

Fig. 4 Tracking results using each-frame template update algorithm

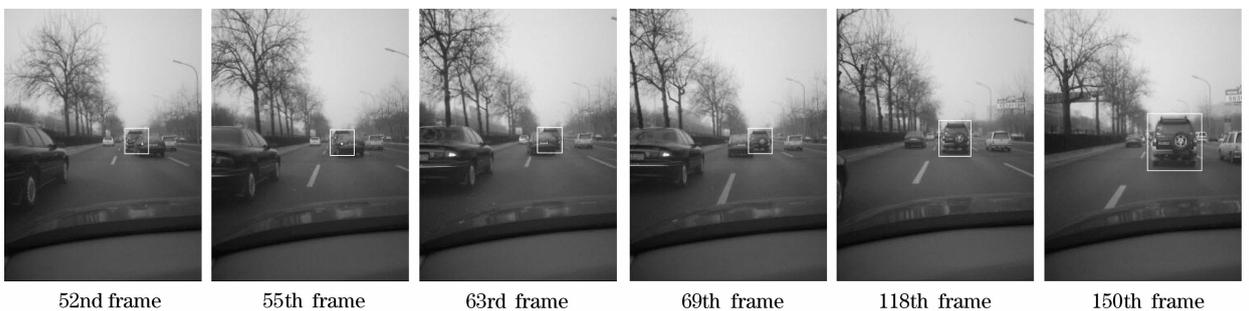


图 5 本文算法测试结果

Fig. 5 Tracking results using the new algorithm

视频 I 中的目标在 40 帧到 70 帧之间发生局部遮挡,由图 3 的结果可以看出,固定模板算法对遮挡的抵抗能力较差,从第 45 帧丢失跟踪目标,直到 69 帧才重新捕获目标,并且当目标尺寸增大时,跟踪失败。从图 4 可以看出,逐帧模板更新算法在目标发

生遮挡时,模板更新中引入的误差不断累积,导致从 65 帧开始跟踪明显发生漂移。从图 5 的结果可以看出,本文通过采用加权归一化相关算法,并通过模板自适应更新准则避免了不恰当的模板更新,在目标发生较大范围遮挡时仍能正确跟踪;并且当目标

尺寸发生明显变化时,由于自适应模板更新过程中引入了目标区域重新分割过程,仍然能及时正确跟踪目标。视频 II 中的目标车辆在 200 帧到 1000 帧的运动过程中,尺寸先增大后减小。图 6 给出了使用本文算法对视频 II 的测试跟踪结果,再次证明了

本文算法在目标尺寸改变过程中的有效性。综上所述,本文算法能对复杂背景下的目标车辆进行稳定跟踪,有效解决了局部遮挡导致的跟踪丢失问题,且当目标尺寸发生变化时,模板图像可以自适应修正,具有很好的实际应用前景。



图 6 本文算法对视频 II 的测试结果

Fig. 6 Tracking results of video II using the new algorithm

## 6 结 论

本文针对复杂背景下目标跟踪问题,提出了一种新的自适应模板更新算法,并根据模板图像各像素到模板中心的归一化距离构造加权函数,改进了传统归一化相关算法,使新算法的抗遮挡性能更好。在模板自适应更新过程中引入目标区域重新分割,使系统能准确判断导致匹配失败的原因,并自适应修正模板的尺寸。实验表明,该算法具有实现简单,计算量小,模板自适应修正的优点,能稳定、连续、快速跟踪目标。

## 参 考 文 献

- 1 Li Junshan, Shen Xubang. Research of Image Match Technology [J]. *Microelectronics & Computer*, 2000, **17**(2): 10~14  
李俊山, 沈绪榜. 图象匹配技术研究[J]. *微电子学与计算机*, 2000, **17**(2): 10~14
- 2 Liu Xuedong, Jia Yulin, Sun Hao. Study on Steady Tracking with Correlation Algorithm [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 1998, **27**(1): 9~13  
刘学东, 贾玉林, 孙昊. 相关算法中跟踪稳定性问题的研究[J]. *红外与激光工程*, 1998, **27**(1): 9~13
- 3 O'Neill M., Denos M. Automated System for Coarse-to-fine Pyramidal Area Correlation Stereo Matching [J]. *Image and*

*Vision Computing*, 1996, **14**(3): 225~236

- 4 Chen Shenyi, Qian Hui, Wu Zheng et al.. Fast Normalized Cross-correlation for Template Matching [J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2007, **20**(6): 1235~1239  
陈沈轶, 钱徽, 吴铮等. 模板图像匹配中互相关的一种快速算法[J]. *传感技术学报*, 2007, **20**(6): 1235~1239
- 5 Mark C. Sullivan, Edward J. Wegman. A Normalized Correlation Estimator for Complex Data Based on A Quadruplex Transformation [J]. *Signal Processing Letters*, 1997, **4**(1): 26~28
- 6 Lei Ming, Zhang Guangjun. Novel Template Matching Method Based on the Acceleration Using the Pixel-jump [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2007, **34**(10): 93~97, 101  
雷鸣, 张广军. 一种新颖的基于像素跳跃加速的匹配算法[J]. *光电工程*, 2007, **34**(10): 93~97, 101
- 7 W. J. Szajnowski. Efficient Estimation of A Normalized Correlation Function from Discrete-time Samples [J]. *Electronics Letters*, 1993, **29**(16): 1398~1400
- 8 Jiang Heping, Wang Ping, Shen Zhenkang. A Mean Removal Correlation Tracking Algorithm in the Arbitrary Specific Image Target of Complicated Ground Background [J]. *Signal Processing*, 2006, **22**(1): 24~27  
江和平, 王平, 沈振康. 任意指定地面复杂场景下图像目标的去均值相关跟踪算法[J]. *信号处理*, 2006, **22**(1): 24~27
- 9 Zhang Shangjian, Liu Yongzhi. Prediction of Moving Target Trajectory with Sliding Window Polynomial Fitting [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2003, **30**(4): 24~27  
张尚剑, 刘永智. 用滑动窗多项式拟合法实时预测运动目标轨迹[J]. *光电工程*, 2003, **30**(4): 24~27
- 10 Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray Level Histogram [J]. *IEEE Trans. on Syst. Man, Cybern.*, 1979, **9**(1): 62~66