

中图法分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)06-0976-07

论文索引信息: 齐美彬, 张莉, 蒋建国, 吴晖. 分块跟踪中的目标模板更新方法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(6): 976-982

分块跟踪中的目标模板更新方法

齐美彬^{1),2)}, 张莉¹⁾, 蒋建国^{1),2)}, 吴晖¹⁾

¹⁾(合肥工业大学计算机与信息学院, 合肥 230009) ²⁾(安全关键工业测控技术教育部工程研究中心, 合肥 230009)

摘要: 在基于模式匹配的目标跟踪算法中, 由于受遮挡、自身外观变化的影响, 模板更新问题一直是目标跟踪的一个难题, 因为遮挡和外观变化均表现为目标内灰度的变化, 但由障碍物遮挡引起的灰度变化不能更新为模板; 而由目标自身引起的灰度变化又要即时地更新为模板。为此, 提出一种带有遮挡和外观变化判断的局部模板更新算法。算法使用分块模板并根据目标中变化的信息分别来自目标和背景的概率来区别外观变化和遮挡这两种情况。目标被部分遮挡时, 通过不更新模板来防止障碍物信息混入模板; 目标外观变化时, 提出一种新的局部模板更新算法以适应目标的不断变化。实验结果表明, 该算法既能较好地适应目标的外观变化, 又具有较强的抗遮挡能力, 比整体模板更新算法具有更好的鲁棒性。

关键词: 分块跟踪; 模板更新; 外观变化; 遮挡

Target template update method in fragment tracking

Qi Meibin^{1),2)}, Zhang Li¹⁾, Jiang Jianguo^{1),2)}, Wu Hui¹⁾

¹⁾(College of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009 China)

²⁾(Engineering Research Center of Safety Critical Industrial Measurement and Control Technology, Ministry of Education, Hefei 230009 China)

Abstract: Influenced by appearance changes and occlusions, template updating has been one of the most difficult problems in the object tracking algorithms based on pattern matching. Because both appearance changes and occlusions can lead to the changes in the intensity of object, however, changes that result from the obstacles can't be updated as the template; while changes that result from the object in itself should be updated in time. Therefore, a local template update method with the discrimination between occlusions and appearance changes is presented in this paper. The proposed method uses the fragment template for the tracking and distinguishes occlusions from appearance changes according to the probabilities of which varied gray level information belongs to the target and to the background region. The template is preserved to prevent the information of the obstacles from contaminating the template when the target has been partially occluded; while a new adaptive local template update algorithm is used in the case of appearance changes. Experimental results are presented to demonstrate that our algorithm can be adaptive to the appearance changes as well as occlusions and is more robust than the total model update strategy.

Keywords: fragment tracking; template update; appearance change; occlusion

0 引言

目标跟踪是计算机视觉研究热点之一, 当前跟

踪算法大致可分为基于运动检测的目标跟踪算法和基于原图像的模式匹配目标跟踪算法。基于运动检测的跟踪算法在实际应用中常需要花大量的时间进行背景建模与更新, 而基于模式匹配的跟踪算法由

收稿日期: 2010-04-19; 修回日期: 2010-06-29

第一作者简介: 齐美彬(1969—), 男, 教授。2007年于合肥工业大学获信息处理专业博士学位, 主要研究方向为数字图像处理、DSP技术及应用。E-mail: qimeibin@163.com。

于不需要考虑背景的变化,受到了广泛的关注而出现了很多经典的跟踪算法,如 Mean Shift、粒子滤波等。几乎所有的模式匹配跟踪算法都是先提取目标的一些特征作为模板,然后在当前帧内寻找其特征和这个模板最相似的区域,因此模板是目标的唯一表示。由于目标在运动过程中可能被外界障碍物遮挡,也有可能由于自身的运动而发生外观变化,要想正确地跟踪目标,模板就需要作出相应的改变。因此,模板更新问题就成为目标跟踪的核心问题之一。

模板更新的难点之一在于,遮挡和外观变化都表现为目标区域内灰度的变化,但目标被遮挡时不能将障碍物的信息更新到模板内,而目标外观变化时又要即时将这些变化信息更新到模板内。目前主要的模板更新算法如线性加权机制的模板更新^[1-2]、选择性特征模板更新^[3-4]和基于卡尔曼滤波器的模板更新^[5-6]都是检测到目标区域内灰度变化后就进行模板更新,区别只是更新的速率或更新的分量不一样,而没有对遮挡和外观变化加以区分。实验结果显示,在目标发生长时间遮挡时,上述算法均会失效,因此区分这两种情况对于模板更新非常重要。

由于目标的遮挡和外观变化一般不是全局同步发生的,为了区分这两种情况,本文使用分块模板^[7-8]进行目标跟踪。分块模板是将目标分成若干块后,各块特征的组合。分块模板改善了传统模板只对目标整体进行建模而丢失目标空间信息的缺点,使得匹配结果更加准确;而且分别使用各个小块进行跟踪,根据各小块的匹配情况,可以检测到目标内哪些区域可能发生了遮挡或外观变化,进而采取相应的模板更新策略。

在实际监控中,目标被遮挡大多是因为目标的局部区域被背景中的非目标灰度信息覆盖,而外观的变化大多是由目标本身的灰度信息分布发生变化引起的。利用这一点,本文通过计算目标内变化的灰度信息分别来自背景和目标的概率来判断目标是发生了外观变化还是遮挡,提出带有遮挡和外观变化区分的局部模板更新策略,大大提高了模板更新的准确性。

1 目标跟踪原理

本文的跟踪流程如图 1 所示,在初始帧为目标建立初始模板。由运动的连续性可知,当前帧目标

的候选位置一般在上一帧目标位置的周围区域,因此遍历所有候选位置,即可得到当前帧目标的最佳位置。然后判断目标是否发生了遮挡或外观变化,并进行相应的模板更新。

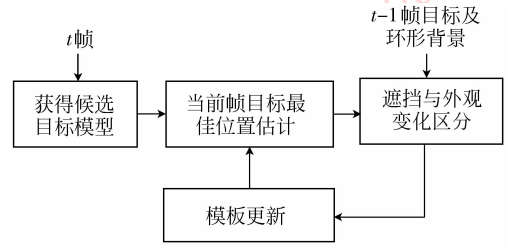


图 1 跟踪流程图

Fig. 1 Track flow charts

1.1 目标模板描述

目标分块方式如图 2 所示,目标模板表示为 $T = \{ (h_{p_i}(b), w_{p_i}) \}_{p_i=p_1, \dots, p_n}$, p_i 为各块的编号,目标共分为 n 块; $h_{p_i}(b), w_{p_i}$ 分别是块 p_i 的灰度直方图和权重, $b = 1, \dots, B$, 初始帧中各块权重均为 1。

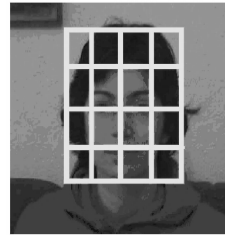


图 2 目标分块方式

Fig. 2 Blocked-method for a target

1.2 分块跟踪算法

目标跟踪就是在当前帧中找到与模板最相似的区域。跟踪原理如图 3 所示,搜索窗口内每个坐标点均是当前帧目标最佳位置的候选点,以候选点为中心的虚线框内区域为候选目标。

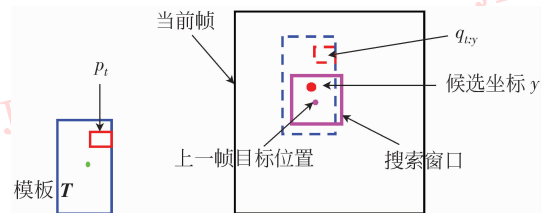


图 3 分块跟踪原理图

Fig. 3 Schematic map of fragment tracking

模板中各小块 p_i 的位置信息 d_y 是该小块的中心坐标与目标模板中心坐标之间的差值。如图 3 所

示,假设当前帧的一个候选坐标为 y ,块 $q_{t,y}$ 被定义为一个中心为 $y + dy$ 的相应矩形块。分别计算该候选目标中各块 $q_{t,y}$ 和模板中相应块 p_t 的直方图匹配距离,使用各块匹配距离的线性加权表示各候选目标与目标模板之间的相似度

$$S(y) = \sum_{p_t=p_1}^{p_n} d(p_t, q_{t,y}) w_{p_t} \quad (1)$$

式中, $S(y)$ 表示 y 处候选目标与模板之间的相似度, $d(p_t, q_{t,y})$ 指的是块 p_t 和块 $q_{t,y}$ 的直方图匹配距离, 定义为

$$d(p_t, q_{t,y}) = \frac{\sum_{b=1}^B (h_{p_t}(b) - h_{q_{t,y}}(b))^2}{\sum_{b=1}^B h_{p_t}(b) + h_{q_{t,y}}(b)} \quad (2)$$

$d(p_t, q_{t,y})$ 越小说明直方图之间相似度越高。当 y 在所有候选点上遍历后, 得到各候选目标与当前模板之间的相似度大小, 则当前目标位置 \hat{y} 定义为

$$\hat{y} = \underset{y \in \Theta}{\operatorname{argmin}}(S(y)) \quad (3)$$

式中, Θ 为所有候选位置的集合。

为了即时反映出各块相对于模板的变化, 以便后文中区分遮挡和外观变化, 在找到当前帧目标位置后, 根据目标中各块 $q_{t,y}$ 与模板中相应块 p_t 的匹配距离更新 p_t 的权重为

$$w_{p_t} = \exp\left(\frac{-(d(p_t, q_{t,y}))^2}{\sigma_d^2}\right) \quad (4)$$

式中, σ_d 是 $d(p_t, q_{t,y})$ 的方差。为了表示方便, 后文将 $q_{t,y}$ 简写为 q_t 。

2 区分遮挡与外观变化的模板更新

目标被遮挡时不能将障碍物的信息更新到模板内, 而目标外观变化时又要即时将变化的信息更新到模板内, 因此如何区分遮挡和外观变化是模板更新算法的关键问题。

2.1 遮挡和外观变化区分算法

由于障碍物仅会出现在目标周围, 因此选择目标周围的一个“环”形区域来辅助判断目标是否被遮挡, 如图 4 所示。下面称这个环形区域为目标背景, 环形区域的面积约为目标面积的 2 倍。

具体的遮挡和外观变化区分算法描述如下。

2.1.1 检测可能发生遮挡或外观变化的块

在 1.2 节得到了模板中各块的权重, 经过实验发现, 若 $w_{p_t} < 0.5$, 则说明 q_t 的灰度分布较相应的 p_t 发生了较大变化, 也就是说 q_t 可能发生了遮挡或外观变化, 本文称这样的 q_t 为无效块。

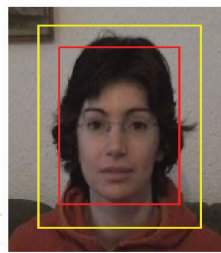


图 4 目标区域与环形背景区域

Fig. 4 Target region and circular background region

2.1.2 无效块的主灰度分量(MGC)反投影

无效块的起因可能是被障碍物遮挡, 也可能是目标自身外观变化。如果无效块是由障碍物遮挡导致的, 那么该块的灰度分布出现在上一帧背景区域或丢失块区域的概率较大; 如果是由目标自身的变化导致的, 那么该块的灰度分布出现在上一帧目标区域的概率较大。因此, 本文提出将无效块的灰度分布反投影到上一帧目标和环形背景区域的方法, 获得当前帧中无效块的灰度在上一帧出现的区域, 进而计算无效块的灰度分别来自上一帧目标和背景区域的概率。

实际监控中, 无效块的灰度直方图含有的分量可能非常多, 如果对所有分量反投影反而会增加背景的干扰, 因此, 本文使用无效块的 MGC 代替其灰度分布进行反投影, 反投影方式和 Camshift 中一样。由于目标或遮挡物在某一局部范围内的灰度分布往往具有一定的相似性和连续性, 本文选择无效块内分布较多且空间上比较集中的灰度分量作为其 MGC。MGC 计算如下, 首先计算无效块的平均直方图

$$h_l(b) = \frac{1}{c} \sum h_{q_t}(b) \quad (5)$$

式中, c 是无效块的个数, q_t 是无效块。然后选择 $h_l(b)$ 中前 5 个最大的灰度分量, 计算这些灰度分量的空间离散度 σ_b 如下

$$\left\{ \begin{aligned} \mu_b &= \frac{1}{\sum_{j=1}^{N_B} \delta_{jb}} \sum_{i=1}^{N_B} (x_i - x_o) \delta_{ib} \\ V_b &= \frac{1}{\sum_{j=1}^{N_B} \delta_{jb}} \sum_{i=1}^{N_B} (x_i - \mu_b)^T (x_i - \mu_b) \delta_{ib} \end{aligned} \right. \quad (6)$$

$$\sigma_b = \|V_b\| \quad (7)$$

式中, x_o 表示当前目标的位置; x_i 代表目标和背景中像素 p 的坐标; δ_{ib}, δ_{jb} 是 Kronecker 函数, 当像素

p 的灰度值为 b 时, $\delta_{ib} = 1, \delta_{jb} = 1$, 否则 $\delta_{ib} = 0, \delta_{jb} = 0$; N_B 为像素总个数。对这些灰度分量的空间离散度排序, 选择最小的前 3 个灰度分量为 MGC。

对反投影后的图像进行简单的灰度级扩展和形态学操作, 可得实验结果见图 5。反投影后的图像为右下角的二值图像, 其中白色像素是灰度与无效块主灰度一样的像素。如图 5(a) 所示, 目标旋转过程中, 无效块是因目标自身灰度改变导致的, 因此反投影图显示无效块的 MGC 多数来自目标; 发生遮挡时, 由于是外来障碍物引起块的灰度变化, 因此反投影后的图像显示无效块的 MGC 主要来自背景中的障碍物, 见图 5(b)。这里将反投影后的图像简称为反投影图, 白色像素为其前景像素。

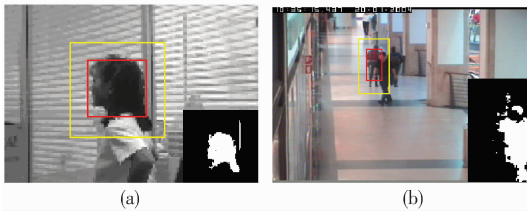


图 5 遮挡和外观变化情况下的反投影图

Fig. 5 Backprojection map in case of occlusion and appearance change

2.1.3 外观变化和遮挡判断

若将遮挡错判为外观变化而更新了模板, 那么模板可能被障碍物“吸引”走而导致目标完全丢失。而将外观变化错判为遮挡最多使模板不更新, 在短时间内只是让目标的定位发生一些偏移, 不会完全丢失目标, 风险较小, 因而本文同样认为遮挡的优先级高于外观变化^[9]。基于以上分析, 我们为外观变化设置了较为严格的判据。判据如下: 首先统计反投影图中目标区域内的前景像素个数 A_o 和整个反投影图内前景像素个数 A_t 。若无效块内的灰度属于目标的概率 p_o 满足

$$p_o = \log \frac{A_o}{A_t - A_o} > th \quad (8)$$

那么认为目标外观发生变化, 否则认为目标被部分遮挡。考虑到遮挡的优先级高于外观变化的优先级, 阈值 th 可选得较大些, 经多次实验, 设置 th 为 0.8。

2.2 模板更新规则

模板更新是目标跟踪的一大难题。以往的模板更新算法大都采用整体更新策略^[5], 但在实际跟踪中, 遮挡时不能更新模板, 外观变化时需即时更新模板; 模板内有些块需要更新, 有些块不需要更新; 目

标内一些变化的分量需要更新到模板内, 一些变化的分量不能更新到模板内。采用整体更新策略经常会引起模板漂移。针对整体更新策略的不足, 本文提出下面的更新算法。

若检测到目标发生了部分遮挡, 则不更新模板, 从而最大限度的避免将障碍物的信息更新到模板内。从外观变化与遮挡区分算法的分析中可以看出, 将外观变化错判为遮挡主要可能在两种情况下出现, 第 1 种情况是大块背景混入目标, 第 2 种情况是外观变化后的灰度正好与背景一致。对于第 1 种外观变化情况, 模板不能被更新; 而对于后一种情况, 若更新了模板反而增加了背景的干扰, 则选择不更新模板, 仅使用其余匹配较好的块继续跟踪。

目标发生外观变化时, 仅更新权重小于 0.5 的模板块。若无效块内的某个灰度分量属于目标的可能性较高, 则需要加快对这个分量的更新; 若该灰度分量属于背景的可能性较高, 则应降低更新速率。文献[5]提出了一种简单的前景背景分割算法, 算法按式(9)计算各个像素属于前景的 log 相似度 $L_i(i)$, 即

$$L_i(i) = \ln \frac{\max\{h_o(i), \varepsilon\}}{\max\{h_b(i), \varepsilon\}} \quad (9)$$

式中, $h_o(i)$, $h_b(i)$ 是像素 i 分别属于前景和背景的概率, 即像素 i 的灰度分量在前景直方图和背景直方图所占的概率, 因此对于灰度相同的像素, 其 log 相似度是相等的, ε 是一个很小的正数。经灰度级扩展后的分割结果如图 6 所示。



图 6 前景背景分割结果

Fig. 6 Result of background/foreground segmentation

由图 6 可见, 属于前景灰度分量的 log 相似度比较高, 而属于背景灰度分量的 log 相似度比较低。将这个理论引入模板更新算法中, 由目标自身运动导致某些块内灰度变化, 这些变化的灰度分量主要是属于目标即前景的, 应该提高这些灰度分量的更新速率。如果由于周围背景混入目标区域而导致某块内灰度发生变化, 这些变化的灰度主要来自背景,

则应该减慢对这些灰度分量的更新。具体更新方式如式(10)所示

$$h_{p_t}^{(t)}(b) = \alpha_b h_{q_t}(b) + (1 - \alpha_b) h_{p_t}^{(t-1)}(b) \quad (10)$$

式中, $h_{p_t}^{(t-1)}(b)$, $h_{p_t}^{(t)}(b)$ 分别为更新前后模板 p_t 的直方图, p_t 必须满足 $w_{p_t} < 0.5$, q_t 是当前目标中与 p_t 相对应的块; α_b 为灰度分量 b 的更新速率, 定义为 $\alpha_b = \min\left(\ln \frac{\max\{h_o(b), \varepsilon\}}{\max\{h_b(b), \varepsilon\}}, 1\right)$, 其中 $h_o(b)$ 是当前帧整个目标的直方图, $h_b(b)$ 是环形背景的直方图, $\ln \frac{\max\{h_o(b), \varepsilon\}}{\max\{h_b(b), \varepsilon\}}$ 值越大, 说明颜色分量 b 属于目标的概率越大。

该算法可以在快速获得目标变化信息的同时抑制背景对模板的干扰, 即使 2.1 节中算法没能准确地判断遮挡和外观变化, 该算法也可以减慢障碍物的灰度信息被更新为模板的速率, 以防止短时间内将遮挡误判为外观变化而引起的模板漂移。

3 算法步骤及实验结果分析

3.1 本文算法步骤

- 1) 假设初始目标位置为 y_0 , 建立初始模板 T ;
- 2) 按式(1)计算各候选目标与目标模板之间的相似度, 获得目标在当前帧的最佳位置;
- 3) 按式(4)更新模板权重, 并检测无效块

位置;

4) 根据无效块的 MGC 反投影, 判断目标是发生了遮挡还是外观变化。若目标发生遮挡, 不更新模板直接转步骤 2), 开始下一帧跟踪;

5) 据式(10)更新模板, 转步骤 2), 开始下一帧跟踪。

3.2 实验结果分析

为了验证本文算法, 分别对分块跟踪下的无模板更新的算法^[8](NTU)、没有进行遮挡和外观变化判断的整体模板更新算法^[5](TTU), 以及本文提出的带有遮挡和外观变化判断的局部模板更新算法(LTU)做了测试。

实验 1 在运动过程中目标逐渐被车辆遮挡, 被遮挡帧数超过 20 帧。图 7 为 TTU、LTU 的跟踪结果。最初阶段, 目标未被遮挡, 两种算法都可以正确跟踪目标; 随着目标逐渐被静止物体遮挡, TTU 在目标发生遮挡时也进行模板更新, 因此难免错误地将遮挡物信息更新为目标模板。实验结果显示, 在目标被遮挡后, 模板逐渐被遮挡物“污染”, 跟踪目标丢失。本文采用遮挡和外观变化检测算法, 可以检测到此时目标发生遮挡, 从而不更新模板, 仅利用未被遮挡的块继续跟踪, 直到目标走出遮挡。可以看出, 目标被长时间遮挡时, 本文算法既可以对被遮挡的目标进行准确的跟踪, 又有效地防止了由非目标遮挡物引起的模板漂移。

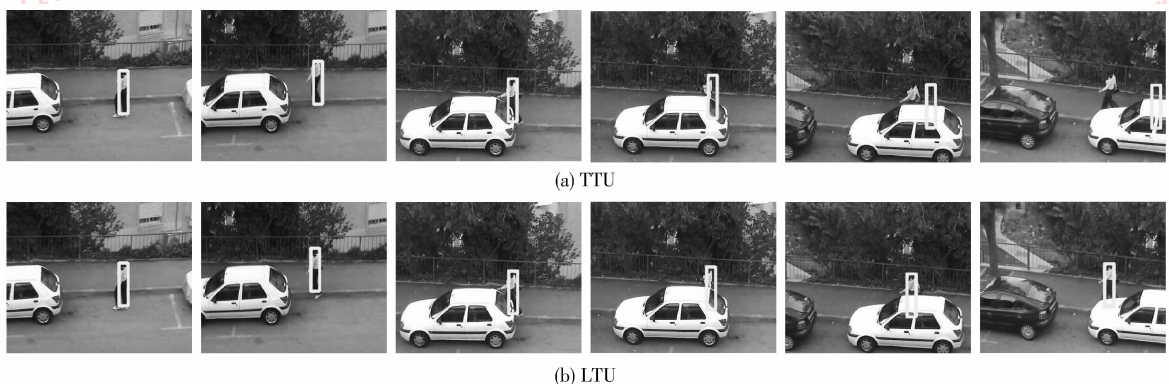


图 7 长时间遮挡情况下序列的跟踪

Fig. 7 Tracking results under long time occlusion

实验 2 图 8 序列中光照变化剧烈, 导致目标的灰度分布不断变化。由于 NTU 没有更新模板, 虽然可以勉强跟踪目标, 但跟踪结果偏移目标真实位置较远。特别在图 8 的第 4 幅图中, 由于目标受到严重的光照干扰, 实际的目标模型和原始目标模型

相差较远, 跟踪结果误差较大。LTU 则根据遮挡和外观变化判断算法检测出目标内部发生了严重的外观变化, 从而通过前背景检测算法不断地将属于前景的灰度更新到模板内, 同时抑制背景信息更新为模板的速率。实验结果显示, LTU 很快将变化后的

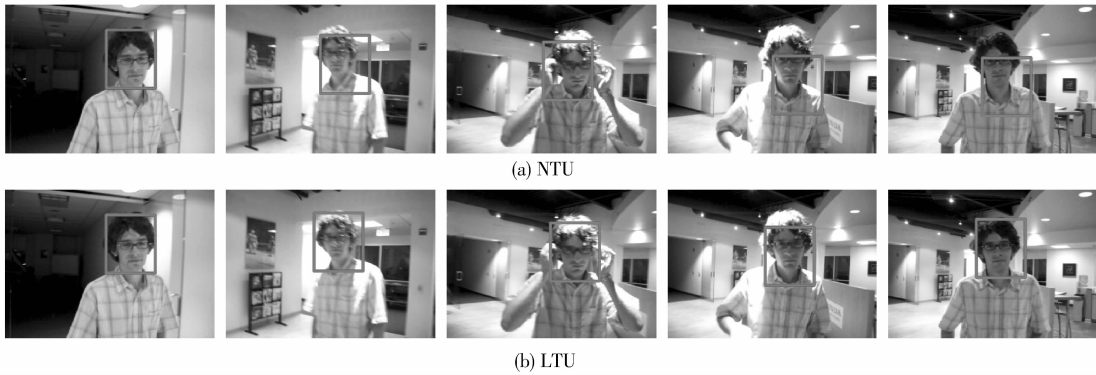


图 8 David 序列在两种模板更新机制下的跟踪结果

Fig. 8 Example of tracking results in David sequence under two kinds of template update method

灰度信息更新到模板中,跟踪性能明显提高。

实验 3 目标首先进行旋转后受部分遮挡。图 9(a)一(c)分别为 NTU、TTU、LTU 的跟踪结果。目标旋转时,其内灰度分量发生变化,NTU 没有即时更新模板,当目标转为背面时,跟踪结果偏离目标真实位置较远。TTU 由于过更新问题,使得模板发生了一定的漂移。LTU 则根据变化的灰度信息属于目标的概率,判定此时目标发生了外观变化,从而将

这些变化的灰度分布更新到模板内,实现准确的跟踪。图 9 中第 4 列显示,目标被另一运动物体遮挡,由于已经偏离目标位置较远,NTU 虽然对遮挡鲁棒也无法准确跟踪目标;TTU 则很快丢失目标;虽然障碍物与目标本身相近,但是由于使用了遮挡优先策略,LTU 算法仍能够准确检测目标发生了遮挡,从而不更新模板,有效地防止了模板漂移。



图 9 girls 序列在 3 种模板更新机制下的跟踪结果

Fig. 9 Example of tracking results in girls sequence under three kinds of template update method

图 10 选择 girls 序列中 300 帧的跟踪结果,给出了 3 种算法的跟踪结果与目标实际位置间的误差。NTU 没有更新模板,跟踪结果误差较大。TTU 虽然

采用了模板的更新,但是模板发生了漂移,跟踪结果与目标实际位置误差也较大。本文提出的 LTU 跟踪结果误差最小。

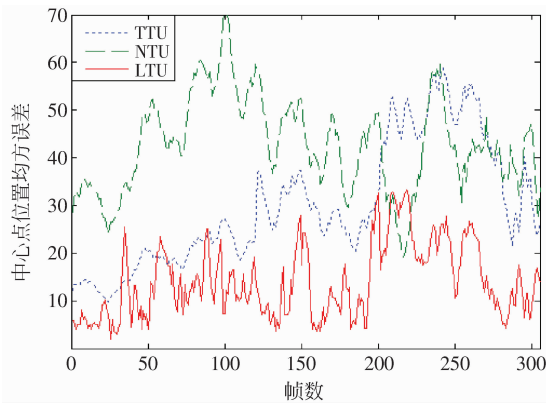


图 10 中心点位置误差

Fig. 10 Error of the center position

4 结 论

使用分块模板进行目标跟踪,针对模板更新问题,提出利用无效块内灰度对目标区域和环形背景区域反投影的方法来区分遮挡和外观变化,并设计了相应的模板更新算法,使算法在遮挡和外观变化的情况下均保持良好的跟踪效果。实验结果证实了该算法的有效性。

但是文中依然存在很多的问题,如:1) 本文一直没有考虑目标尺度变化的影响;2) 文中提到的遮挡均指部分遮挡,对于全遮挡的情况,需要引入相关的预测算法,这些问题都有待进一步研究。

参考文献 (References)

[1] Porikli F, Tuzel O, Meer P. Covariance tracking using model

update based on lie algebra [C] // Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York, NY, USA: IEEE Associate Press, 2006:728-735.

[2] Nummiaro K, Koller-Meier E, Gool L Van. An adaptive color-based particle filter [J]. Image and Vision Computing, 2003, 21 (1) : 99-110.

[3] Collins R T, Liu Y X, Leordeanu M. Online selection of discriminative tracking features [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27 (10) : 1631-1643.

[4] Shen Zhixi, Yang Xin, Huang Xiyue. Study on target model update method in mean shift algorithm [J]. Acta Automatica Sinica, 2009, 35 (5) : 478-483. [沈志熙, 杨欣, 黄席樾. 均值漂移算法中目标模板更新算法研究 [J]. 自动化学报, 2009, 35 (5) : 478-483.]

[5] Babua R V, Pérez P, Bouthemy P. Robust tracking with motion estimation and local kernel-based color modeling [J]. Image and Vision Computing, 2007, 25 (8) : 1205-1216.

[6] Pan Jiyan, Hu Bo. Robust object tracking against template drift [C] // IEEE Conference on Image Processing. New York, USA: IEEE Associate Press, 2007, 3 : 353-356.

[7] Junseok Kwon, Kyoung Mu Lee. Tracking of a non-rigid object via patch-based dynamic appearance modeling and adaptive basin hopping monte carlo sampling [C] // 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York, USA: IEEE Associate Press, 2009:1208-1215.

[8] Adam A, Rivlin E, Shimshoni I. Robust fragments-based tracking using the integral histogram [C] // Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York, NY, USA: IEEE Associate Press, 2006: 798-805.

[9] Zhou Yan, Hu Bo, Zhang Jianqiu. Tracking occlusive target method based on Bayesian decision theory and particle filter [J]. Chinese Journal of Electronics, 2007, 35: 350-351. [周妍, 胡波, 张建秋. 基于粒子滤波器和风险决策跟踪遮挡目标的方法 [J]. 电子学报, 2007, 35: 350-351.]