

一种基于最大后验概率的抗遮挡目标跟踪算法

曹洁^{1,2} 朱小琴¹ 王进花^{2,3} 吴迪^{2,3}

¹(兰州理工大学 计算机与通信学院,兰州 730050)

²(甘肃省制造业信息化工程技术研究中心,兰州 730050)

³(兰州理工大学电气工程与信息工程学院,兰州 730050)

E-mail: fusion081001@163.com

摘要: 针对传统目标跟踪算法对遮挡场景判断不准确、实时性不高的问题,提出一种基于最大后验概率匹配系数的特征自适应选取的目标跟踪算法。首先在 Mean-shift 算法框架下,采用颜色和纹理特征描述目标;其次,选取可信度高的特征的最大后验概率匹配系数判断目标是否被遮挡;最后,根据遮挡程度采用最大后验概率匹配系数对模板进行实时更新。实验结果表明,在遮挡场景下,本文算法与传统的 Mean-shift 算法相比,具有更好的稳定性和鲁棒性。

关键词: 目标跟踪; Mean-shift 算法; 最大后验概率匹配系数; 遮挡判断

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-1220(2015)09-2084-06

An Anti-occlusion Object Tracking Algorithm Based on Maximum Posterior Probability

CAO Jie^{1,2} ZHU Xiao-qin¹, WANG Jin-hua^{2,3}, WU Di^{2,3}

¹(College of Computer and Communication, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

²(Technology & Research Center of Gansu Manufacturing Information Engineering, Lanzhou 730050, China)

³(College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: In order to solve the problem of inaccurate judgment of occlusion and low real-time performance under occlusion based on traditional object tracking algorithm, An adaptive feature selection object tracking algorithm based on maximum posterior probability matching coefficient is proposed in this paper. Firstly, the interesting target is described by color and texture feature that extracted by Local Binary Pattern (LBP) under the framework of Mean-shift; Secondly, the judgment of occlusion degree is decided by the feature with high reliability using its Maximum Posterior Probability coefficient; Finally, according to the degree of occlusion, the matching template is updated by using the Maximum posterior Probability. Experimental results indicate that the proposed algorithm has better stability and robustness than the traditional Mean-shift algorithm under occlusion scene.

Key words: object tracking; Mean-shift algorithm; maximum posterior probability coefficient; occlusion judgment

1 引言

视频目标跟踪是计算机视觉的一个重要研究课题,在机器人视觉导航、医疗诊断及交通监视^[1]等方面有着广泛的应用。目前,许多跟踪系统能很好地跟踪孤立运动的物体,但遇到遮挡易发生跟踪错误,跟踪指定的目标是一个值得关注的问题。因此,如何有效地判断遮挡并且在遮挡后能及时地恢复跟踪,保证实时性并准确定位出目标的真实位置,是当前视觉跟踪课题中需要解决和研究的焦点问题。

文献[2]采用单一特征目标模板与候选模板概率密度的相对大小判断遮挡,遮挡因子的阈值由实验的经验值给出,此方法对部分遮挡有较好的鲁棒性能,但在长时间遮挡场景中,基于单一特征的遮挡判断因子不能准确的判断遮挡;文献[3]引入 Kalman 滤波器来减少均值偏移算法的迭代次数,采用 Bhattacharyya 系数的变化来判断目标的遮挡情况,但 Bhattacharyya 系数易受背景信息的干扰,对于及时准确地判断遮

挡存在不足;文献[4]采用目标的观测值与 Kalman 滤波器最优估计值之间的残差来判断目标是否遮挡,但最优估计值与跟踪算法有关,遮挡判断存在不确定性;文献[5]采用改进的 Bhattacharyya 系数作为模板间的相似性度量函数,由于背景的干扰因素, Bhattacharyya 系数存在大量的峰值,不易作为遮挡判断因子;文献[6]进一步分析了文献[5]中 Bhattacharyya 系数在目标定位中可能出现偏差的原因及后验概率系数在图像匹配中的应用和特性,但是并未将该系数具体应用到遮挡场景的判断中。

针对上述遮挡场景中的遮挡处理问题,本文提出一种基于最大后验概率匹配系数的抗遮挡目标跟踪算法。该算法手动选取初始帧的目标区域,在 Mean-shift 框架下,引入 Kalman 滤波器来选择算法的起始点;采用颜色和纹理两个特征来表征目标;利用最大后验概率匹配系数较高的特征系数来判断遮挡,并采用最大后验概率匹配系数对跟踪模板进行自适应更新,以适应目标外观变化。实验结果表明:该算法能及

收稿日期: 2014-07-10 收修改稿日期: 2014-10-11 基金项目: 国家自然科学基金项目(61263031)资助; 国家科技支撑计划课题项目(2012BAF12B19)资助。 作者简介: 曹洁,女,1966年生,教授,博士生导师,研究方向为信息融合理论与应用、智能交通; 朱小琴,女,1990年生,硕士研究生,研究方向为智能信息处理、目标跟踪; 王进花,女,1978年生,博士研究生,副教授,研究方向为多元信息融合、视频目标跟踪; 吴迪,男,1985年生,博士研究生,研究方向为多元信息融合、智能信息处理。

时判断遮挡场景,有效抑制了背景因素的干扰,较好地适用于不同的复杂场景,提高了目标跟踪的精确性和鲁棒性.

2 问题描述

2.1 基于颜色特征模型的 Mean-shift 算法

Mean-shift^[7]是一种基于核概率密度估计的无参数快速模式匹配算法.采用某种特征的核函数直方图来描述目标,在每帧中对目标模型和候选模型进行相似性度量,将跟踪转化为 Mean-shift 算法的模式匹配问题,最终迭代搜索目标位置^[8].目前,Mean-shift 算法都采用颜色特征对目标进行建模^[9].假设 $\{x_i^*\}_{i=1,\dots,n}$ 为目标模型的归一化像素位置,其中心位置为 0,则目标模型可以表示 $\hat{q} = \{\hat{q}_u\}_{u=1,\dots,m}$ 且 $\sum_{u=1}^m \hat{q}_u = 1$. m 为直方图函数的特征空间大小,目标模型中特征值 u 出现的概率^[7]为:

$$\hat{q}_u = C \sum_{i=1}^n k(\|x_i^*\|^2) \delta[b(x_i^*) - u] \quad (1)$$

其中 $k(x)$ 为核函数的轮廓函数,由于遮挡或背景干扰的影响, $k(x)$ 对中心的像素赋予较大的权值,而远离中心的像素赋予较小的权值; δ 为 Delta 函数;映射 $b(x_i^*)$ 为 x_i^* 处像素对应直方图中的颜色索引值; C 为归一化系数.相应地,设 $\{x_i\}_{i=1,\dots,n_h}$ 为候选目标模型的归一化像素位置,其中心位置为 y ,则候选目标模型特征表示为 $\hat{p} = \{\hat{p}_u(y)\}_{u=1,\dots,m}$ 且 $\sum_{u=1}^m \hat{p}_u(y) = 1$,候选目标模型特征值 u 出现的概率^[7]为:

$$\hat{p}_u(y) = C_h \sum_{i=1}^{n_h} k\left(\left\|\frac{y-x_i}{h}\right\|^2\right) \delta[b(x_i) - u] \quad (2)$$

其中 C_h 为归一化系数, h 为核函数窗宽,采用 Bhattacharyya 系数来度量目标模型和候选模型的相似程度,表示为:

$$\hat{\rho}(y) = \rho[\hat{p}(y), \hat{q}] = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(y) \hat{q}_u} \quad (3)$$

设上一帧的目标位置为 y_0 ,将 $\hat{\rho}(y)$ 在 y_0 处 Taylor 展开得到相似性函数,其中权重系数为:

$$\omega_i = \sum_{u=1}^m \frac{\sqrt{\hat{q}_u}}{\sqrt{\hat{p}_u(y_0)}} \delta[b(x_i) - u] \quad (4)$$

则下一次迭代的目标中心位置为:

$$y_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} x_i \omega_i g\left(\left\|\frac{y_0-x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^{n_h} \omega_i g\left(\left\|\frac{y_0-x_i}{h}\right\|^2\right)} \quad (5)$$

其中 $g(x) = -k'(x) / y_0$ 是当前位置, y_1 为下一时刻的新位置,通过式(5)不断进行迭代,直到 $\|y(k) - y(k-1)\|$ 小于某一阈值或达到最大迭代次数,这样就可以找到新目标的中心位置,实现目标的跟踪.

2.2 LBP 纹理特征

纹理是描述图像具有局部不规则而全局又呈现某种规律的特征,具有灰度和旋转不变性且计算复杂度低等优点.

LBP 算子^[10]的计算公式如下:

$$LBP_{P,R}(x_c, y_c) = \sum_{p=0}^{P-1} s(g^p - g^c) 2^p \quad (6)$$

其中: P 为邻域像素的数目; R 为中心像素与邻域像素的距

离.取 $P=6; R=3; g^c$ 表示中心像素点 (x_c, y_c) 的灰度值; g^p 表示以像素点 (x_c, y_c) 为圆心,半径为 R 的圆环上均匀分布的第 p 个像素点的灰度值.函数 $s(x)$ 定义如下:

$$s(x) = \begin{cases} 1, & x \geq th \\ 0, & x < th \end{cases} \quad (7)$$

函数 $s(x)$ 仅与像素点的相对灰度值有关,不受像素整体亮度变化的影响,因而在光照变化情况下, LBP 纹理特征较为鲁棒.其中 th 为减轻噪声和局部灰度变化影响设置的阈值,取 $th=3$.对纹理特征建立直方图,即构成的 LBP 纹理模型:

$$q_v^l = c \sum_{v=1}^{2^p} k\left(\left\|\frac{x_i-x_0}{h}\right\|^2\right) \delta[LBP(x_i) - v] \quad (8)$$

其中 v 为候选模型直方图中不同的纹理特征值.

3 基于最大后验概率匹配系数的遮挡判断规则

本节通过分析 Bhattacharyya 系数和最大后验概率匹配系数,定义了一种基于最大后验概率匹配系数的遮挡判断规则,采用特征的最大后验概率匹配系数进行特征的自适应选取,并进行相应的模型更新.

3.1 最大后验概率匹配系数

最大后验概率匹配系数定义^[6]如下:

$$\Phi(p, q) = \sum_{u=1}^m \left(\frac{p_u}{s_u} \cdot \frac{q_u}{m}\right) \quad (9)$$

其中 m 为模板像素数, $\frac{q_u}{m}$ 为特征 u 在模板中所占权重,

$\frac{p_u}{s_u}$ 表示在搜索区域中,特征 u 出现在某待匹配区域中的后验统计概率,二者相乘表示特征 u 对目标出现在特征区的贡献度.当特征为 u 的像素全部集中在待匹配区域中(即 $p_u = s_u$) 时, $\left(\frac{p_u}{s_u} \cdot \frac{q_u}{m}\right)$ 取最大值 $\frac{q_u}{m}$,贡献程度仅取决于特征 u 在模板中所占权重.

3.2 Bhattacharyya 系数与最大后验概率匹配系数分析

Bhattacharyya 系数是度量图像的模板匹配指标^[6,11],用于衡量目标与候选模型之间的相似性,以图 1 为例,大框表示搜索区域,小框表示目标区域.匹配结果如图 1 所示.根据正

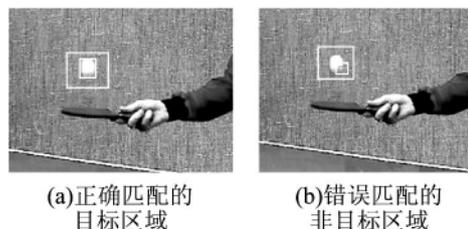


图 1 乒乓球图像

Fig. 1 Graph of ball

确匹配区域和有偏匹配区域特征数值的大小对模板中的特征进行分类,将目标区域的特征分为两类,交融类特征大量出现在背景区域中,而目标类特征在目标区域中占多数.图 1(a)、(b)分别显示乒乓球正确匹配区域和有偏匹配区域.表 1 显示两种区域的 Bhattacharyya 系数值;下页表 2 显示两种区域

的最大后验概率匹配系数值。

表1所示,统计了两类特征:目标类特征和交融类特征。在目标区域,目标类特征像素117个,交融类特征3个,Bhattacharyya系数值为0.167;在非目标区域,目标类特征像素消

表1 乒乓球图像 Bhattacharyya 系数分析

	模板像素	目标区像素	非目标区像素
目标类特征	184(25%)	117(16%)	0
交融类特征	155(21%)	3(0.4%)	515(71%)
Bhattacharyya 指标值		0.167	0.276

失,而交融类特征像素增加到515个,Bhattacharyya系数值上升到0.276,超过目标区的系数值,按Bhattacharyya判别指标得到完全错误的匹配结果;表2中,第5列为搜索区两类特征

表2 乒乓球图像最大后验概率匹配系数分析

	模板像素	目标区像素	非目标区像素	搜索区像素
目标类特征	184	117	0	302
交融类特征	155	3	515	6939
后验概率指标值		0.196	0.048	

的统计值,交融类像素远远超过目标类像素,经过计算,目标区域的后验概率匹配系数值大于非目标区域的系数值。因此,后验概率匹配系数明显削弱了交融类特征的作用,而突显了目标类特征的作用。

3.3 本文提出的遮挡判断规则

由3.2节分析可知,Bhattacharyya系数易受背景扰动信息的干扰,利用Bhattacharyya系数得到的最优值有可能失真^[13],导致偏差或跟丢目标。尤其当目标被障碍物遮挡时,当前帧的目标区域无法实现最优匹配,为了有效克服这一问题,当遮挡场景^[14-15]出现时,利用最大后验概率匹配系数代替Bhattacharyya系数判断遮挡,可以较大程度缓解背景变化对目标定位的干扰。根据式(9)颜色特征的最大后验概率匹配系数公式可定义为:

$$\Phi_c(p, q) = \sum_{u=1}^m \left(\frac{p_u^c}{s_u} \cdot \frac{q_u^c}{m} \right) \quad (10)$$

基于纹理特征的最大后验概率匹配系数公式可定义为:

$$\Phi_l(p, q) = \sum_{u=1}^m \left(\frac{p_u^l}{s_u} \cdot \frac{q_u^l}{m} \right) \quad (11)$$

通过比较每帧目标颜色和纹理特征的最大后验概率匹配系数,选取可信度高的特征最大后验概率匹配系数作为遮挡判断因子:

$$\Phi(y) = \max\{\Phi_c(p, q), \Phi_l(p, q)\} \quad (12)$$

给定一个阈值 T ,计算第 k 帧均值偏移迭代得到目标位置处的最大后验概率系数 $\Phi(y)$;比较 $\Phi(y)$ 与给定阈值 T 的大小,若 $\Phi(y) < T$,则认为发生遮挡,目标直接定位在Kalman预测位置 y_k 处,反之,则认为正常跟踪。为了适应目标本身的形变及光照等外部因素的影响,同时保证目标出现遮挡时,目标模板不被错误更新,跟踪过程中自适应更新颜色直方图和纹理直方图。假设当前模板为 q ,当前估计位置的直方图为 p ,

当它们之间的最大后验概率的相似性匹配系数大于一定的阈值 T 时,才对模板进行更新^[15];否则认为目标受到外部影响较大,或目标出现部分或严重遮挡,不予更新模板,其中 η 是遗忘因子,目标模板更新公式为:

$$q_{new} = (1 - \eta)q + \eta p \quad (13)$$

其中 $\eta = \sum_{u=1}^m \left(\frac{p_u^c}{s_u} \cdot \frac{q_u^c}{m} \right)$ 或 $\eta = \sum_{u=1}^m \left(\frac{p_u^l}{s_u} \cdot \frac{q_u^l}{m} \right)$ 采用颜色或纹理特征的最大后验概率系数来分别更新相应的模板。

3.4 算法实现

基于以上分析,本文所研究的基于最大后验概率匹配系数的Mean-shift算法流程如下:

1) 手动选取第一帧的目标区域,提取目标颜色与纹理直方图,计算目标联合直方图:

$$q_m = \alpha q_u^c + (1 - \alpha) q_v^l \quad (14)$$

目标中心位置为 y_0 的候选目标模型为:

$$p_m(y) = \beta p_u^c(y) + (1 - \beta) p_v^l(y) \quad (15)$$

根据颜色和纹理特征的特性和实验经验可取 $\alpha = \beta = 0.6$ 。采用最大后验概率匹配系数来估计两模型之间的相似程度,两模型之间的分布越相似, Φ 越大,通过Mean-shift向量寻找密度估计的最大值得到目标的新位置 y_1 ;

2) 读取下一帧,预测当前帧方差 $p(k|k-1)$,目标状态 $x(k|k-1)$,得到预测位置 y_2 ;

3) 在预测位置 y_2 附近,进行颜色和纹理特征的Mean-shift迭代,得到目标的观测位置 Z_k ;在 y_2 处通过式(15)计算候选目标直方图 $p_m(y_0)$ 。

4) 利用式(12)计算融合特征系数 Φ ,若 $\Phi < T$ 则转步骤3),否则转步骤5)。

5) 利用式(13)进行模板更新。

6) 运用Kalman更新目标状态 $x(k|k)$ 及方差 $p(k|k)$,转步骤2)。

4 实验结果及分析

为了验证本文算法的有效性和鲁棒性,本文采用CAVIAR DATA1数据库和PETS Dataset-2监控视频图像数据库数据进行测试。前一个测试视频的分辨率为 384×288 像素,帧率15f/s,后一个测试视频的分辨率为 384×288 像素,帧率30f/s。在MATLAB 2011a软件平台上实现,初始帧的目标位置手工标定。

实验1. 验证单一和复杂场景下不同判别系数的峰值特性

为了验证Bhattacharyya系数和最大后验概率匹配系数抑制背景干扰因素的有效性,单一场景以乒乓球图像为例,验证了两种判别系数在搜索区域内的函数峰值特性,其结果如下页图2所示,数据已归一化处理,其最大峰值为1。复杂场景以标准视频序列PETS Dataset-2中的179帧图像为例,其结果如下页图3所示。大框表示搜索区域,小框表示目标区域。从图2和图3的对比中,可以看出最大后验概率匹配系数在两种场景中的目标区域都出现比较明显的峰值,尤其是在遮挡严重时,仍然具有较高的峰值特性;而Bhattacharyya系数在两种场景下的峰值不明显,甚至在遮挡严重时刻出现多个峰值。因此分析得出,最大后验概率系数表现出比较稳定的单峰值态势,具有较强区分目标和背景的能力。

实验 2. 验证不同判别系数在走廊场景中的跟踪效果

采用标准视频库 [16], 视频分辨率是 384 × 288 像素, 初

始手动选择跟踪目标, 目标尺寸为 54 × 18 像素, 视频序列长

500 帧. 实验结果如图 4 所示.

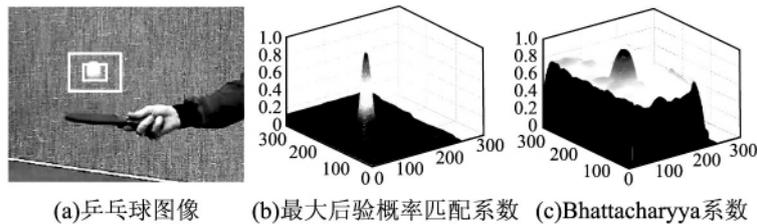


图 2 乒乓球图像的峰值特性分布
Fig. 2 Peak feature distribution of ball

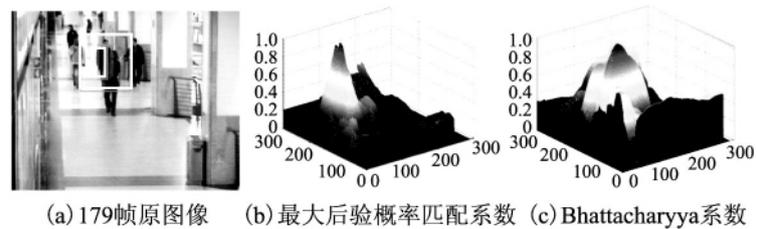


图 3 走廊序列(179)帧遮挡最严重时两种指标的峰值特性分布

Fig. 3 Comparisons of peak feature of two indexes under serious occlusion about 179 frame

在目标跟踪过程中, 光照、相似物体、遮挡等会影响目标的跟踪效果. 图 4(a) 基于 Bhattacharyya 系数判断遮挡的经典算法文献 [3] 会受到背景因素的干扰, 造成目标在 214 帧出

现跟踪偏差, 230 帧时跟踪丢失; 图 4(b) 140 ~ 230 帧, 由于最大后验概率匹配系数对背景像素具有较强的抑制作用, 在一定程度上“区分”背景和 target 特征, 在 214 帧和 230 帧时能够



图 4 本文改进算法和传统跟踪算法比较

Fig. 4 Comparisons between the proposed algorithm and the traditional tracking algorithm

有效避免匹配偏差和错误匹配, 较好的锁定目标.

实验 3. 验证不同判别系数在室外场景下的跟踪效果

测试视频截取 PETS2001 Dataset-2 视频序列中的一段. 选择此视频是因为其目标与背景含有大量相似特征, 目标被固定树木所遮挡. 视频序列长 780 帧, 图像大小为 384 × 288 像素, 跟踪目标为一汽车, 背景包括建筑物、草地、道路和其它汽车. 下页图 5 显示两种判别系数下的跟踪效果. 图 5(a) 在 140 帧时, 目标已被树木所遮挡, 到 175 帧时, 目标渐渐脱离遮挡, 204 帧时跟踪框已偏离目标, 后续的目标跟踪失败; 图 5

(b) 所示, 在 175 ~ 204 帧, 目标跟踪框能够准确地锁定目标, 不受场景中遮挡和相似背景特征的影响. 因此, 最大后验概率匹配系数相比 Bhattacharyya 系数更适合应用在复杂背景的场景中, 有较强的搜索目标能力.

实验 4. 验证不同判别系数的变化趋势和算法的误差性能

为了进一步验证两种系数判断遮挡场景的有效性, 采用实验 2 视频序列, 分析目标区域的 Bhattacharyya 系数和最大后验概率匹配系数的变化情况. 如下页图 6 所示.

从 120 帧到 140 帧, 目标没有被遮挡, Bhattacharyya 系数

和最大后验概率匹配系数都处于较大值;在 140 帧 ~ 160 帧之间,目标渐渐进入遮挡区域,Bhattacharyya 系数始终维持在 0.95 左右,而最大后验概率匹配系数出现急剧下降,降低到

阈值 T.因此,遮挡可由短时间内系数值呈现递减趋势来判断遮挡起始时刻;从 214 帧到跟踪结束,最大后验概率匹配系数逐渐上升,说明在 214 帧之后目标渐渐脱离遮挡.

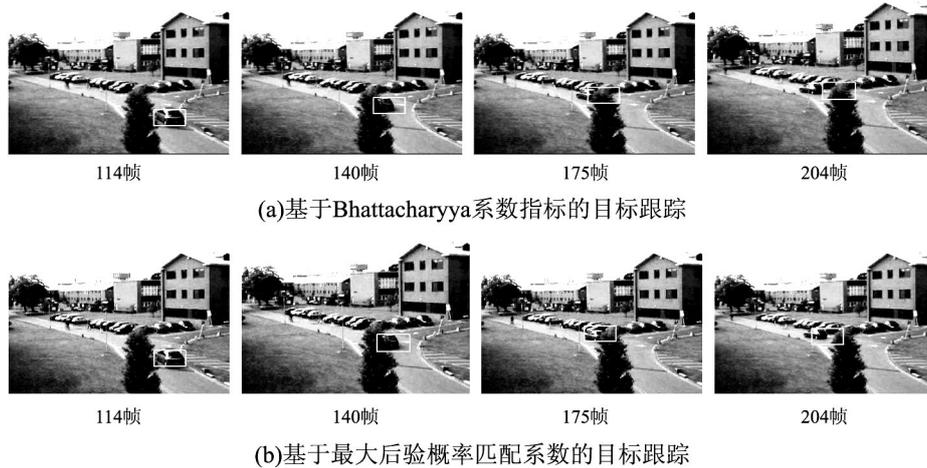


图 5 本文改进算法和传统跟踪算法比较

Fig. 5 Comparisons between the proposed algorithm and the traditional tracking algorithm

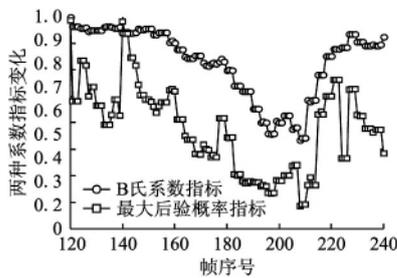


图 6 遮挡场景中两种系数的变化趋势

Fig. 6 Change trend of two indexes under occlusion scene

为了定量地度量两个系数对跟踪效果的影响,进一步分析两种匹配系数下每帧目标区域中心位置的像素误差,实验结果如图 7 所示.

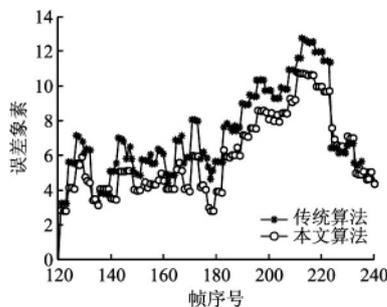


图 7 系数判别情况下的跟踪误差曲线

Fig. 7 Tracking error curve under two indexes coefficients judgement

在 140 帧之前,最大后验概率匹配系数的误差略小于 Bhattacharyya 系数的误差;而在 140 帧之后,随着目标渐渐进入遮挡,到 220 帧渐渐脱离遮挡的跟踪过程中,最大后验概率匹配系数判断遮挡下的误差曲线始终低于 Bhattacharyya 系

数判断下的误差曲线,由此可见,本文将最大后验概率匹配系数应用在遮挡场景的判断中,提高了目标跟踪算法的准确性.

5 结语

针对遮挡场景下,可能出现遮挡判断不精确导致目标模型发生漂移,甚至跟踪丢失问题,本文将最大后验概率匹配系数引入到遮挡场景的判断中,构造了基于颜色和纹理特征的最大后验概率系数函数.相比传统的 Bhattacharyya 系数,最大后验概率系数具有比较尖锐的单峰值态势,抑制了传统判别系数中背景特征的影响,在一定程度上更能有效地“区分”背景和目标的交融特征,及时判断遮挡出现的时刻,并且采用模型更新机制,以适应目标外观的变化.

实验表明:本文算法在有效提高跟踪精度的同时不失实时性,具有一定的优越性.下一步研究方向是在本文改进的遮挡算法基础上继续研究表征目标模型的特征选择问题,将选择的最优特征与改进的遮挡跟踪算法相结合进行目标的实时跟踪.

References:

[1] Guo Kang-de ,Zhang Ming-min ,Chao S ,et al. 3D fingertip tracking algorithm based on compute vision [J]. Journal of Computer Research and Development 2010 ,47(6) : 1013-1019.

[2] Sun Zhong-sen ,Sun Jun-xi ,Song Jian-zhong ,et al. Anti-occlusion arithmetic for moving object tracking [J]. Optics and Precision Engineering 2007 ,15(2) : 267-271.

[3] Wang Jang-tao ,Yang Jing-yu. Object tracking based on Kalman Mean-shift in occlusions [J]. Journal of System Simulation 2007 , 19(18) : 50-53.

[4] Xu Xiao-hang ,Xiao Gang ,Yun Xiao ,et al. Moving object tracking in complex background and occlusion conditions [J]. Opto-Electronic Engineering 2013 ,40(1) : 23-30.

[5] Zhu Ming-qing ,Wang Zhi-ling ,Chen Zong-hai. Modified Bhatta-

- charyya coefficient for particle filter visual tracking [J]. Control and Decision 2012 27 (10): 1-5.
- [6] Feng Zu-ren ,Lv Na ,Li Liang-fu. Research on image matching similarity criterion based on maximum posterior [J]. Acta Automatica Sinica 2007 33(1): 1-8.
- [7] Comaniciu D ,Ramesh V ,Meer P. Kernel-based object tracking [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence 2003 25 (5): 564-577.
- [8] Xia Yu ,Wu Xiao-jun ,Feng Zhen-hua. Mean shift algorithm for visual tracking based on feature contribution [J]. Control and Decision 2012 27(7): 1021-1026.
- [9] Leichter I. Mean-shift trackers with cross-bin metrics [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence 2012 34(4): 695-706.
- [10] Chen Q ,Sun Q S ,Heng P A ,et al. Two-stage object tracking method based on kernel and active contour [J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology 2010 20(4): 605-609.
- [11] Yin Z ,Collins R T. Object tracking and detection after occlusion via numerical hybrid local and global mode seeking [C]. Computer Vision and Pattern Recognition 2008: 1-8.
- [12] Yao Zhi-jun. A new spatiogram similarity measure method and its application to object tracking [J]. Journal of Electronics & Information Technology 2013 35(7): 1644-1649.
- [13] Naik N ,Patil S ,Jashi M ,et al. A fragment based scale adaptive tracker with partial occlusion handling [C]. TENCON 2009 IEEE Region 10 Conference ,Singapore: IEEE 2009: 1-6.
- [14] Eng H L ,Wang J ,Kam A H ,et al. A Bayesian framework for robust human detection and occlusion handling human shape model [C]. Proceedings of the 17th International Conference on IEEE Pattern Recognition 2004 2: 257-260.
- [15] Shen Zhi-xi ,Yang Xin ,Huang Xi-yue. Study on target model update method in mean shift algorithm [J]. Acta Automatica Sinica , 2009 35(5): 478-483.
- [16] Fishier R. Caviar test case scenarios [DB/OL]. [2011-09-15]. http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CAVIAR_metrics [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence 2012 34(4): 695-706.

附中文参考文献:

- [2] 孙中森,孙俊喜,宋建中,等. 一种抗遮挡的运动目标跟踪算法 [J]. 光学精密工程 2007 15(2): 267-271.
- [3] 王江涛,杨静宇. 遮挡情况下基于 Kalman 均值偏移的目标跟踪 [J]. 系统仿真学报 2007 19(18): 50-53.
- [4] 许晓航,肖刚,云霄,等. 复杂背景及遮挡条件下的运动目标跟踪 [J]. 光电工程 2013 40(1): 23-30.
- [5] 朱明清,王智灵,陈宗海. 基于改进 Bhattacharyya 系数的粒子滤波视觉跟踪算法 [J]. 控制与决策 2012 27(10): 1-5.
- [6] 冯祖仁,吕娜,李良福. 基于最大后验概率的图像匹配相似性指标研究 [J]. 自动化学报 2007 33(1): 1-8.
- [8] 夏瑜,吴小俊,冯振华. 基于特征贡献度的 mean shift 视频跟踪算法 [J]. 控制与决策 2012 27(7): 1021-1026.
- [12] 姚志均. 一种新的空间直方图相似性度量方法及其在目标跟踪中的应用 [J]. 电子与信息学报 2013 35(7): 1644-1649.
- [15] 沈志熙,杨欣,黄席樾. 均值漂移算法中的目标模型更新方法研究 [J]. 自动化学报 2009 35(5): 478-483.