

文章编号: 1001-9081(2012)10-2814-03

doi: 10.3724/SP.J.1087.2012.02814

多特征融合的 Camshift 算法及其进一步改进

林建华*, 刘党辉, 邵显奎

(装备学院 航天装备系, 北京 101416)

(* 通信作者电子邮箱 linjh060606@126.com)

摘要: 基于颜色核的 Camshift 算法可以有效实现简单场景下的目标跟踪,但在光线变化明显或目标与背景颜色相近的场景下易受干扰。为此,采用颜色、边缘梯度、纹理等多个特征自适应融合的方式改进算法,提高算法应对光线变化的能力;并通过修正特征直方图、设置合理搜索范围对算法进行进一步改进,解决相似背景的干扰问题。实验结果显示,在光照变化明显或目标与背景特征相近的场景中,改进的算法与传统算法相比具有更高的跟踪精度。

关键词: 目标跟踪; Camshift 算法; 多特征融合; 特征直方图; 纹理特征

中图分类号: TP391.41 文献标志码:A

Multi-feature fusion Camshift algorithm and its further improvement

LIN Jian-hua*, LIU Dang-hui, SHAO Xian-kui

(Department of Aerospace Equipment, Institute of Equipment, Beijing 101416, China)

Abstract: The Camshift algorithm based on color-kernel can effectively track objects in a simple background, but it is easy to be interfered by illumination variation or the similar color object in the background. To improve the algorithm's ability to respond to illumination variation, a multi-feature adaptive fusion scheme based on color, shape and texture was proposed. And further improvements have been proposed through modifying feature histogram and setting a reasonable search region to solve the problem of similar background. The experimental results show that the improved algorithm has higher tracking accuracy than traditional algorithm in the scene with illumination variation or similar background.

Key words: object tracking; Camshift algorithm; multi-feature fusion; feature histogram; texture feature

0 引言

MeanShift 和 CamShift 算法是运动目标跟踪算法中均值漂移算法的典型代表^[1]。两种方法均采用颜色直方图来表示目标模型,通过迭代求解目标质心以达到目标跟踪的效果。从计算上看,MeanShift 算法^[2]略显复杂,且跟踪模板尺寸是固定的,不能适应目标的尺寸缩放,因此具有模板自适应调整能力的 CamShift 算法应用更为广泛。

CamShift 算法具有对目标变化不敏感的优点,对目标的部分遮挡也有一定的适应能力^[3]。然而,由于颜色模型容易受周围环境的影响,CamShift 算法在光照变化明显或目标与背景颜色相近的情况下,其跟踪效果并不理想^[4-5]。文献[6-7]引入贝叶斯概率框架的特征模型,增强了 CamShift 算法应对复杂场景的鲁棒性,但算法实时性较差。近年来许多学者开始采用多特征融合的方式改进 Camshift 跟踪算法。Allen 等改变了传统 Camshift 跟踪算法中只依靠 HSV 颜色空间中 Hue 分量作为目标特征的跟踪方式,采用 HSV 三个分量建立多特征目标模型^[8];文献[9]则将 Hue 分量颜色信息和局部二值模式(Local Binary Pattern, LBP)纹理模型进行了融合,建立了颜色加纹理自适应融合的目标模型。

鉴于单颜色特征的 CamShift 跟踪算法在光照变化明显或相似背景干扰情况下跟踪效果差的缺点,本文将边缘和纹理信息与颜色信息进行融合,构造多特征目标模板,形成了基于多特征自适应融合^[10]的 CamShift 跟踪算法,并在此基础上通过修正特征直方图以及设置合理搜索范围对算法进行进一步

的改进。实验结果显示,改进的 CamShift 算法能够有效应对上述干扰。

1 多特征自适应融合的 Camshift 算法

考虑到单颜色特征的传统 Camshift 跟踪算法在光照变化明显时跟踪效果差的问题,本文采用 Hue 颜色分量、Sobel 边缘梯度、局部三值模式(Local Ternary Patterns, LTP)纹理^[11]三个特征建立多特征模型,并根据一定的融合规则实现自适应融合,以增强算法对光照变化的鲁棒性。

1.1 多特征描述

1) 颜色特征。鉴于 RGB 颜色空间对光线变化比较敏感,将 RGB 颜色空间转化为受光照变化影响较小的 HSV 颜色空间,并仅提取 Hue 分量建立颜色特征模型。

2) 边缘特征。图像中边缘上的所有像素都具有梯度方向,通过对边缘像素梯度方向进行统计,可以建立基于边缘梯度的特征模型。

本文采用的边缘像素梯度方向的计算方法为:分别利用 Sobel 算子对边缘像素点 (x, y) 求取水平边缘梯度 x 和垂直边缘梯度 y ,再通过反正切函数计算该像素点的梯度方向。

3) 纹理特征。与颜色特征不同,纹理特征受光照变化的影响较小,建立基于纹理的特征模型,可以有效克服颜色跟踪易受光照变化影响的缺陷^[12]。常规的纹理模型易受噪声干扰,而 Tan 和 Bill 提出的局部三元模式算子(LTP)较好地克服了纹理特征对噪声敏感的影响。因此,本文将利用 LTP 描述纹理特征。

收稿日期: 2012-04-19; 修回日期: 2012-06-12。

作者简介: 林建华(1987-),男,山东寿光人,硕士研究生,主要研究方向: 图像处理、机器视觉; 刘党辉(1972-),男,陕西武功人,副教授,主要研究方向: 图像处理、模式识别; 邵显奎(1987-),男,山东聊城人,硕士研究生,主要研究方向: 信号检测与处理。

LTP 算子的计算公式如下:

$$\begin{aligned} LTP_{P,R}(x,y) &= \sum_{i=0}^{P-1} s(n_i - n_c) 3^i \\ s(x) &= \begin{cases} 1, & x \geq T \\ 0, & -T < x < T \\ -1, & x \leq -T \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

其中: n_c 表示中心点 (x,y) 的像素值, n_i 表示等间隔分布在以中心为 (x,y) ,半径为 R 的圆上的 P 个像素点的像素值。

1.2 多特征融合

本文根据各特征子模型对目标与背景的不同区分能力,采取对不同特征子模型的权值进行自适应调整的融合机制。同时,考虑到在某些场景中,当某一特征已无法实现跟踪时,其权值的减少幅度偏小,导致该特征依然会对跟踪造成不良影响,本文将对各特征权值设置衰减机制,以保证特征在无法跟踪时其权值能够足够小。具体步骤如下。

首先,在每一帧图像中根据搜索窗口确定一个与搜索窗口同心,大小为搜索窗口 2 倍的扩展窗口。其次,分别比较搜索窗口和扩展窗口在同一特征下直方图的相似性,相似性通过直方图相交进行度量。令 n 取 1,2,3, 分别代表颜色、边缘和纹理特征, H_1, H_2 分别代表搜索窗口和扩展窗口的直方图, $H(i)$ 代表直方图中第 i 个 bin 的值,那么在第 n 个特征下搜索窗口和扩展窗口直方图的相似度为:

$$d_n(H_1, H_2) = \sum_i \text{Min}(H_1(i), H_2(i)) \quad (2)$$

通过式(2)获得的相似度,可以对各特征模型的权值进行更新,更新方法如下:

$$\begin{cases} \alpha = \frac{d_2(H_1, H_2) + d_3(H_1, H_2)}{2d} \\ \beta = \frac{d_1(H_1, H_2) + d_3(H_1, H_2)}{2d} \\ \gamma = \frac{d_1(H_1, H_2) + d_2(H_1, H_2)}{2d} \end{cases} \quad (3)$$

其中: α, β, γ 分别代表颜色、边缘和纹理特征模型的权值, d 为 d_1, d_2, d_3 之和。通过式(3)可以看出,在某一特征下,其搜索窗口与背景窗口直方图越相似,该特征模型的权值就会越小;反之就越大。以颜色特征为例,当增大颜色特征下搜索窗口与背景窗口直方图的相似度(即增大 d_1),而其他特征下搜索窗口与背景窗口直方图的相似度保持不变(即 d_2, d_3 值不变),此时 d 将增大,则按式(3)可知, α 的值将会减小。

有了各特征模型的权值,再配合各特征模型在搜索区域的概率分布图,则可以计算各特征信息的联合概率分布图:

$$M(k) = \alpha M_1(k) + \beta M_2(k) + \gamma M_3(k) \quad (4)$$

其中, $M_1(k), M_2(k), M_3(k)$ 分别代表第 k 帧颜色、边缘、纹理特征模型的概率分布图。

在上述基础上,本文还对各特征权值设置了衰减机制,从而保证当某一特征已无法实现跟踪时其权值能够足够小。设 S_1, S_2, S_3 分别代表 α, β, γ 的值, d_1, d_2, d_3 分别代表由式(12)求得的在颜色、边缘、纹理特征下的相似度值(其范围为 [0, 1],且值越大相似性越高), T_1, T_2, T_3 分别代表 α, β, γ 的判定阈值, e^{-ax} 为系数为 a (a 取 10) 的指数函数,各特征权值的调整可依据式(5)进行:

$$S_i = \begin{cases} S_i, & d_i \leq T_i; i = 1, 2, 3 \\ S_i e^{-a(d_i - T_i)}, & d_i > T_i \end{cases} \quad (5)$$

从式(5)可以看出,当某一特征其搜索窗口和背景窗口直

方图的相似度值 d_i 小于其判定阈值 T_i 时,其特征权值 S_i 保持不变;反之,权值 S_i 将会按照指数函数 $e^{-a(d_i - T_i)}$ 进行衰减。 T_i 的取值随着特征和场景的不同而进行变化(本文中 T_i 均为 0.5)。

2 算法的进一步改进

基于多特征自适应融合的 Camshift 跟踪算法比传统的 Camshift 跟踪算法在鲁棒性上有所提高,但依然存在不小的缺陷。例如,在具有相似背景的场景下(尤其是目标的三个特征模型均接近背景),该算法依然不能实现稳定跟踪。针对此问题,本文在基于多特征自适应融合的 Camshift 跟踪算法基础上进行了进一步改进,以下是改进策略。

2.1 修正目标直方图

Camshift 算法在建立某一特征的目标直方图模型时,该特征的统计量会按值大小的不同存放在不同的 bin 中。如果该特征中某一分特征所占的比例越重,则代表该分特征的 bin 值越大;反之则越小。在目标与背景接近的目标跟踪过程中,跟踪失败很多是因为具有较小 bin 值的分特征与背景的区分能力较差所造成的。另外,这些较小的 bin 值,不仅可能是分特征信息,也可能是背景信息,这是因为在建立目标模型时,由于初始窗口的选择问题,目标模型或多或少地会包含一些背景信息,而这些背景信息也可能会导致跟踪失败。

$$\begin{cases} H_{\max} = \text{Max}(H(i)) \\ H(i) = \begin{cases} H(i), & H(i) \geq 0.3H_{\max} \\ 0, & H(i) < 0.3H_{\max} \end{cases} \end{cases} \quad (6)$$

针对上述问题,本文将对各特征目标模型直方图进行修正,过滤掉较小的 bin 值。其修正策略按式(6)进行,其中: $H(i)$ 代表直方图中第 i 个 bin 的值, H_{\max} 代表最大的 bin 值。

在进行目标跟踪时,首先确定出最大的 bin 值 H_{\max} ,然后以 0.3 倍的 H_{\max} 为阈值,与其他的 bin 值 $H(i)$ 进行判定,若 $H(i)$ 大于 $0.3H_{\max}$,则值不变,若 $H(i)$ 小于 $0.3H_{\max}$,其值变为 0,即对较小 bin 值进行过滤。

2.2 窗口限定

传统的 Camshift 跟踪算法其搜索窗口可以根据目标的变化不断改变其大小,与不能改变搜索窗口大小的 MeanShift 跟踪算法相比,Camshift 跟踪算法有了不小的改进。然而,在实际的跟踪过程中,若采用原始的 Camshift 跟踪算法,当存在相似背景的情况下,搜索窗口经常会出现远远大于目标的情况,因此,需要对窗口大小进行限制。通常来说,在某一固定场景下,目标的形变往往不会过大,可据此对窗口大小进行限制,限制方案可按式(7)进行处理。其中: S_p 代表初始搜索窗口大小, S 代表某一帧下搜索窗口大小,当 S 超过初始搜索窗口大小的 1.4 倍时,其值不再增加,其他情况下, S 保持不变。

$$S = \begin{cases} 1.4S_p, & S \geq 1.4S_p \\ S, & S < 1.4S_p \end{cases} \quad (7)$$

3 实验结果分析

3.1 实验 1 结果分析

在实验 1 中,本文分别用基于单颜色特征的传统 Camshift 跟踪算法和基于多特征自适应融合的 Camshift 跟踪算法对目标进行跟踪。在所用的视频片段中,目标为橘红色且带一定纹理特征的椭圆,该目标经历了从较暗区域向较亮区域的移动。

图 1 显示了传统 Camshift 算法对目标的跟踪结果,从图

中可以看出,随着光线亮度的变化,采用对光照变化敏感的颜色特征进行跟踪的 Camshift 算法跟踪窗口不断扩大,跟踪效果很差。

图 2 显示了文献[9]提出的 Hue 分量颜色特征与 LBP 纹理特征融合的 Camshift 跟踪算法对目标的跟踪结果,从图中可以看出,改进的算法在应变光照变化的能力方面依然较差。

图 3 显示了本文提出的基于 Hue 分量颜色特征、Sobel 边缘特征及 LTP 纹理特征自适应融合的 Camshift 跟踪算法对目标的跟踪结果,从图中可以看出,算法跟踪效果良好,鲁棒性较强。

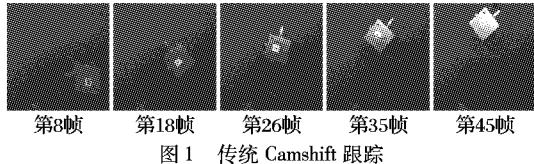


图 1 传统 Camshift 跟踪

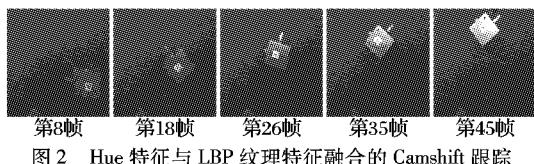


图 2 Hue 特征与 LBP 纹理特征融合的 Camshift 跟踪

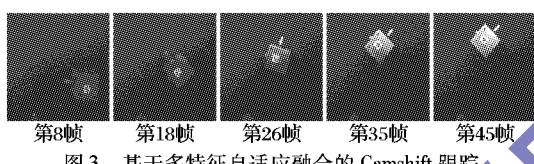


图 3 基于多特征自适应融合的 Camshift 跟踪

表 1 记录了图 3 中各特征权值的变化情况(边缘、颜色、纹理特征的初始权值均为 1/3)。从表中可以看出,在第 18 帧和第 26 帧时,三特征的权值之和并不为 1,其原因是特征权值按式(15)进行了衰减。在跟踪过程中,边缘特征虽然受光照变化的影响不大,但由于其应对旋转的能力较差,而目标又在不断旋转,所以表中边缘特征所占的比重一直不高,且目标旋转变形的程度越大,边缘特征权值越小。从表 1 中还可以看出,在第 26 帧时,颜色特征的权值仅为 0.180 342,其原因在于,在第 26 帧附近,目标正处于从较暗区域到较亮区域的过渡区,由于颜色特征对光照变化十分敏感,其搜索窗口和背景窗口在此区域的区分能力降低,导致颜色特征的权值减小。另外,由于纹理特征受光照变化和旋转影响不大,故其权值一直较高。

3.2 实验 2 结果

在实验 2 中,分别用传统 Camshift 跟踪算法、多特征融合的 Camshift 跟踪算法和进一步改进的基于多特征自适应融合的 Camshift 跟踪算法对目标进行跟踪。在所用的视频片段中,作为目标的人手将经过具有相似背景的脸部区域。

图 4 显示了

表 1 特征权值变化分析

传统 Camshift 跟踪算法对人手的跟踪结果,从图中 92、129 帧可以看出,当人手进入与本身特征相近的脸部区域时,跟踪窗口不断扩大,当人手离开脸部区域时,目标跟踪失败。	帧序号	边缘	颜色	纹理
	8	0.323 416	0.330 171	0.346 413
	18	0.295 449	0.346 996	0.334 443
	26	0.229 718	0.180 342	0.351 304
	35	0.298 807	0.364 907	0.336 268
	45	0.225 453	0.382 281	0.392 267

图 5 显示了本文提出的多特征自适应融合的 Camshift 跟踪算法对目标的跟踪结果,从图中 92、129 帧可以看出,虽然

当人手离开脸部区域时依然可以跟踪住目标,但当人手经过脸部区域时,搜索窗口变形明显,跟踪精度较差。

图 6 显示了采用进一步改进的基于多特征自适应融合的 Camshift 跟踪算法对目标的跟踪结果,从图中可以看出,当人手进入与本身特征相近的脸部区域时,跟踪窗口并未不断扩大,且始终能够跟踪住目标,体现了一定的鲁棒性。



图 4 相似背景下传统 Camshift 跟踪



图 5 多特征自适应融合的 Camshift 跟踪



图 6 进一步改进的 Camshift 跟踪

4 结语

基于单一特征的 Camshift 跟踪算法常常因为特征的局限性导致跟踪失败。鉴于此,本文将多个特征进行融合,构成多特征自适应融合的 Camshift 跟踪算法,充分利用不同特征之间的互补性,更好地适应场景变化,增强了目标跟踪的鲁棒性。同时,在多特征自适应融合的基础上通过修正特征直方图以及设置合理搜索范围对算法进行进一步的改进。实验结果显示,本文所改进的算法具有一定的应对光照变化和相似背景干扰的能力,体现出了多特征融合在应对复杂场景时的优势。虽然算法增加了一定的复杂度,导致计算时间增加,不过仍能满足一般情况下实时跟踪的需求。

参考文献:

- [1] 徐萧萧. 基于特征学习与特征联想的视觉跟踪算法研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2010.
- [2] FASHING M, TORNASI C. Mean shift is a bound optimization[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(3): 471 - 474.
- [3] BRADSKI G R. Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface[J]. Intel Technology Journal, 1998, 2(2):1 - 15.
- [4] ZOU TENGYUE, TANG XIAOQI, SONG BAO. Improved Camshift tracking algorithm based on silhouette moving detection[C] // 2011 Third International Conference on Multimedia Information Networking and Security. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2011: 11 - 15.
- [5] EXNER D. Fast and robust Camshift tracking[C] // 2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2010: 9 - 16.
- [6] STOLKIN R, FLORESCU I, KAMBEROV G. An adaptive background model for Camshift tracking with a moving camera[C] // Proceedings of the Sixth International Conference. Kolkata: Indian Statistical Institute, 2007: 147 - 151.
- [7] STOLKIN R, FLORESCU I, BARON M, et al. Efficient visual servoing with the ABC shift tracking algorithm[C] // Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. Pasadena: IEEE Computer Society, 2008: 3219 - 3224.

(下转第 2820 页)

时间约为 1391 ms, 而采用本文算法的运行时间为 266 ms。图 5 为传统 SIFT 算法与本文的改进算法进行比较的结果图。



图 3 改进的 SIFT 算法在旋转情况下的室内图像配准结果

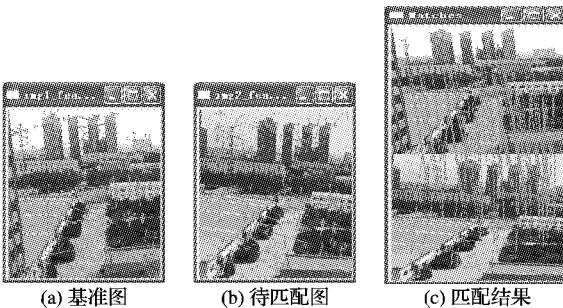


图 4 改进的 SIFT 算法在旋转情况下的室外图像配准结果



图 5 在缩放情况下传统 SIFT 与改进 SIFT 算法的比较
本文提出的改进 SIFT 算法共得到了 30 个匹配特征点, 2 对误匹配点, 配准率为 93%。采用传统 SIFT 算法进行计算的运行时间约为 988 ms, 而采用本文算法的运行时间为 47 ms。

表 1 是对传统 SIFT 与本文提出的改进 SIFT 算法在运算时间及匹配准确率方面的性能比较。

表 1 传统 SIFT 与改进 SIFT 的性能比较

特征点个数	传统 SIFT 算法		改进 SIFT 算法	
	运算时间/ms	准确率/%	运算时间/ms	准确率/%
图像平移(18)	408	95	30	94
图像旋转(181)	2237	98	507	98
较大旋转(83)	1391	96	266	98
图像缩放(30)	988	95	47	93

从上述实验表明, 提出的算法在改进运动量的同时能够保持比较好的匹配准确率, 因此所提出的算法均具有比较好的匹配性能, 能够很好地应用在电子稳像中。

3 结语

本文针对 SIFT 算法运算量大的特点, 提出了一种改进的

SIFT 电子稳像方法。首先介绍了 SIFT 特征向量的提取过程, 并对算法进行了改进, 将在单尺度空间内提取目标的关键点, 形成了 34 维特征向量, 来代替用传统 SIFT 算法生成的 128 维特征向量, 使算法的实时性得到较大的提高, 同时又保持了配准精度, 最后将提出的改进 SIFT 特征应用于电子稳像中的全局运动估计中。实验结果表明, 本文提出的改进 SIFT 特征能够很大程度上减小算法的运算量, 同时能保持比较准确的匹配结果。

参考文献:

- [1] BROWN L G. A survey of image registration techniques[J]. ACM Computing Surveys, 1992, 24(4): 325–376.
- [2] ZITOVA B, FLUSSER J. Image registration methods: A survey[J]. Image and Vision Computing, 2003, 21(11): 977–1000.
- [3] 钟平, 于前洋, 金光. 基于特征点匹配技术的运动估计及补偿方法[J]. 光电子·激光, 2004, 15(1): 73–77.
- [4] ERTURK S. Digital image stabilization with sub-image phase correlation based global motion estimation[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2003, 49(4): 1320–1325.
- [5] 汪小勇. 基于灰度投影的实时电子稳像算法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [6] 张博, 任广辉. 采用下采样和位平面匹配的局部运动估计[J]. 光电工程, 2005, 32(2): 75–79.
- [7] 罗诗途, 张玘. 一种基于特征匹配的实时电子稳像算法[J]. 国防科技大学学报, 2005, 27(3): 45–48.
- [8] ISGRO F, PILU M. A fast and robust image registration method based on an early consensus paradigm[J]. Pattern Recognition Letters, 2004, 25(8): 943–954.
- [9] LOWE D G. Object recognition from local scale-invariant feature [C]// ICCV99: Proceedings of the International Conference on Computer Vision. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1999, 2: 1150–1157.
- [10] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91.
- [11] 李晓明, 郑链, 胡占义. 基于 SIFT 特征的遥感图像自动配准[J]. 遥感学报, 2006, 10(6): 885–892.
- [12] 管学伟, 刘先志, 杜天军. 一种基于 SIFT 算法的目标匹配方法 [C]// 第 14 届全国图象图形学学术会议. 北京: 中国图象图形学会, 2008: 533–536.
- [13] 李静. 基于不变特征的宽基线图像配准及应用研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2008.
- [14] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detector [C]// Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference. [S. l.]: IEEE, 1988: 147–151.
- [15] 延伟东, 田铮, 温金环. 基于偏最小二乘的 SIFT 误匹配校正方法[J]. 计算机应用, 2012, 32(5): 1255–1257.

(上接第 2816 页)

- [8] ALLEN J G, XU R Y D, JIN J S. Object tracking using Camshift algorithm and multiple quantized feature spaces[C] // Proceedings of the Pan-Sydney Area Workshop on Visual Information Processing. Darlinghurst, Australia: ACM Press, 2003: 3–7.
- [9] 李巍, 赵英凯, 钱厚亮. 一种基于颜色和纹理的运动目标跟踪方法[J]. 计算机仿真, 2011, 28(1): 273–276.
- [10] COLLINS R T, LIU YANXI, LEORDEANU M. Online selection of discriminative tracking features[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(10): 1631–1643.
- [11] TAN XIAOYANG, TRIGGS B. Enhanced local texture feature sets for face recognition under difficult lighting conditions[C] // Analysis and Modeling of Face and Gestures. Berlin: Springer-Verlag, 2007: 168–182.
- [12] BROX T, ROUSSON M, DERICHE R, et al. Colour, texture, and motion in level set based segmentation and tracking[J]. Image and Vision Computing, 2010, 28(3): 376–390.