



JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象学报 中国图形学报

2014

09

VOL.19

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB





第19卷第9期 (总第221期)

2014年9月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿, 均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版, 所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用, 所有内容, 未经许可, 不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

(邮政信箱: 北京399信箱 邮编: 100048)

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation

(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China)

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

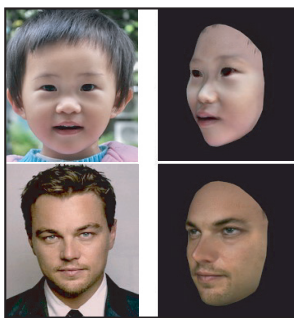
国内定价 50.00元



自适应对称自回归模型的压缩图像内插方法(第1268页)



加权局部特征结合判别式字典的目标跟踪算法(第1316页)



结合特征适配与拉普拉斯形变的3维人脸重建(第1349页)

综述

能量泛函正则化模型在图像恢复中的应用分析

李旭超, 刘海宽, 宋博 1247

图像处理和编码

融合最小化失真与模型保持的隐写算法

高瞻瞻, 汤光明, 张伟伟 1260

自适应对称自回归模型的压缩图像内插方法

刘婧, 干宗良, 崔子冠, 陈昌红, 朱秀昌 1268

基于能量泛函和视觉特性的全变分图像降噪模型

郭从洲, 秦志远, 时文俊 1282

分块策略实现图像椒盐噪声密度估计

林亚明, 李佐勇, 林叶郁 1288

图像分析和识别

Dempster-Shafer证据融合金字塔韦伯局部特征的表情识别

王晓华, 金超, 任福继, 胡敏 1297

运动捕捉数据中足迹的谱聚类检测方法

刘晓平, 陆劲挺, 谢文军 1306

加权局部特征结合判别式字典的目标跟踪

王飞, 房胜 1316

面向瓦当文字识别的改进水平集骨架提取

邓茜芸, 周明全, 武仲科, 王醒策 1324

改进复杂网络模型的形状特征提取

阮瑞, 江波, 汤进, 罗斌 1332

几何特性二元关系的直线匹配

胡海霞, 李钢 1338

图像理解和计算机视觉

结合特征适配与拉普拉斯形变的3维人脸重建

张剑, 何骅, 詹小四, 肖俊 1349

利用背景加权和选择性子模型更新的视觉跟踪算法

黄安奇, 侯志强, 余旺盛, 刘翔 1360

计算机图形学

对可控Bézier曲线的改进

严兰兰, 韩旭里 1368

医学图像处理

结合区域生长与灰度重建的CT图像肺气管树分割

彭双, 肖昌炎 1377

检测肺结节的3维自适应模板匹配

高婷, 龚敬, 王远军, 聂生东, 孙希文 1384

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Novel compression image interpolation method using adaptive symmetrical autoregressive models(P1268)



Visual tracking based on discriminative dictionary and weighted local features (P1316)



Three dimensional face reconstruction via feature adaptation and Laplace deformation (P1349)

Review

- Application analysis of regularization model of energy functional to image restoration
Li Xuchao, Liu Haikuan, Song Bo 1247

Image Processing and Coding

- Steganographic method combining minimum embedding distortion and model preservation
Gao Zhanzhan, Tang Guangming, Zhang Weiwei 1260
- Novel compression image interpolation method using adaptive symmetrical autoregressive models
Liu Jing, Gan Zongliang, Cui Ziguan, Chen Changhong, Zhu Xiuchang 1268
- TV image denoising model based on energy functionals and HVS
Guo Congzhou, Qin Zhiyuan, Shi Wenjun 1282
- Image salt-and-pepper noise estimation based on partitioning strategy
Lin Yaming, Li Zuoyong, Lin Yeyu 1288

Image Analysis and Recognition

- Research on facial expression recognition based on pyramid Weber local descriptor and the Dempster-Shafer theory of evidence
Wang Xiaohua, Jin Chao, Ren Fuji, Hu Min 1297
- Foot plant detection based on spectral clustering algorithm for motion capture data
Liu Xiaoping, Lu Jintong, Xie Wenjun 1306
- Visual tracking based on the discriminative dictionary and weighted local features
Wang Fei, Fang Sheng 1316
- Skeleton extraction using improved level set methods in eaves' text recognition
Deng Qianyun, Zhou Mingquan, Wu Zhongke, Wang Xingce 1324
- Improved shape feature extraction using complex network model
Ruan Rui, Jiang Bo, Tang Jin, Luo Bin 1332
- Line matching based on binary relations of geometric attributes
Hu Haixia, Li Gang 1338

Image Understanding and Computer Vision

- Three dimensional face reconstruction via feature adaptation and Laplace deformation
Zhang Jian, He Hua, Zhan Xiaosi, Xiao Jun 1349
- Visual object tracking method based on weighted background and selective sub-model update strategy
Huang Anqi, Hou Zhiqiang, Yu Wangsheng, Liu Xiang 1360

Computer Graphics

- Improvement of the modifiable Bézier curves
Yan Lanlan, Han Xuli 1368

Medical Image Processing

- Segmentation of pulmonary airway tree in CT images by combining region growing and grayscale reconstruction algorithms
Peng Shuang, Xiao Changyan 1377
- Three dimensional adaptive template matching algorithm for lung nodule detection
Gao Ting, Gong Jing, Wang Yuanjun, Nie Shengdong, Sun Xiwen 1384

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)09-1360-08

论文引用格式: Huang A Q, Hou Z Q, Yu W S, Liu X. Visual object tracking method based on weighted background and selective sub-model update strategy[J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(9): 1360-1367. [黄安奇, 侯志强, 余旺盛, 刘翔. 利用背景加权 and 选择性子模型更新的视觉跟踪算法[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(9): 1360-1367.] [DOI: 10. 11834/jig. 20140913]

利用背景加权和选择性子模型更新的视觉跟踪算法

黄安奇, 侯志强, 余旺盛, 刘翔

空军工程大学信息与导航学院, 西安 710077

摘要: **目的** 针对传统 Mean Shift 算法对受背景干扰的目标无法进行有效跟踪并缺少有效的模型更新策略的问题, 提出一种将背景加权和选择性子模型更新相结合的跟踪算法。 **方法** 首先, 在 Mean Shift 框架下, 为了减少背景信息对目标定位的干扰, 利用目标区域周围像素的颜色直方图定义背景加权系数, 并将该系数只引入到目标模型的颜色直方图中, 从而建立一个新的目标模型。然后, 根据目标模型中每个分量匹配贡献度的大小选取需要更新的模型分量及其更新公式。 **结果** 实验结果表明, 本文算法能够抑制背景干扰, 同时能对模型进行有效的选择性更新, 克服了整体更新策略严重的模型漂移问题。 **结论** 本文从模型描述和更新策略两个方面对传统 Mean Shift 算法进行了改进, 实验结果表明本文算法具有较好的有效性和鲁棒性。

关键词: 目标跟踪; 均值漂移; 背景加权; 选择性子模型更新

Visual object tracking method based on weighted background and selective sub-model update strategy

Huang Anqi, Hou Zhiqiang, Yu Wangsheng, Liu Xiang

The Information and Navigation Institute of Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China

Abstract: **Objective** The traditional mean shift tracking algorithm often loses the target when the object is similar to the background and lacks an effective model update strategy. To address these challenges, this study proposes a new visual object tracking method. **Method** First, coefficients based on the color histograms of the background pixels around the object are computed and introduced to the target model to reduce the location error. Second, sub-models are selected and updated according to the match contributing degree in the current frame. **Result** Results show that the proposed method can well restrain background distractions, while effectively updating the target model and eliminating the drifting phenomenon. **Conclusion** This paper proposes a visual object tracking method based on weighted background and selective sub-model update strategy to improve the traditional mean shift tracking algorithm in terms of object modeling and model update strategy. Results show that the proposed method is effective and robust.

Keywords: object tracking; mean shift; weighted background; selective sub-model update

收稿日期: 2013-12-17; 修回日期: 2014-04-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(61175029); 陕西省自然科学基金项目(2011JM8015)

第一作者简介: 黄安奇(1988—), 男, 现为空军工程大学信号与信息处理专业在读硕士研究生, 主要研究方向为视觉目标跟踪。

E-mail: 13319270512@163.com

0 引言

视觉跟踪(visual tracking)问题是计算机视觉领域中的一个热点问题。在各种各样的跟踪算法中, Mean Shift 算法由于其计算复杂度低、调节参数少、稳健性较好和易于工程实现等优点已经广泛应用到各种实时跟踪系统中^[1]。Mean Shift 算法是一种非参数的概率密度估计方法, 自从它被引入到视觉跟踪领域之后, 就被用来解决各种问题, 例如图像滤波, 图像分割和目标跟踪^[2]。经典的 Mean Shift 算法采用基于核函数加权的颜色直方图进行建模和匹配, 用 Bhattacharyya 系数进行相似度量, 通过迭代计算使得相似度最大的跟踪窗口作为目标在当前帧的位置。由于使用颜色直方图来表示目标模型, 使得 Mean Shift 算法对尺度变换、旋转和局部遮挡具有一定的鲁棒性。但是原始的 Mean Shift 算法本身也存在以下缺陷: 1) 当目标部分被遮挡或是受到背景元素干扰时, 算法容易收敛到局部最小值; 2) 缺少必要的模板更新策略, 容易导致目标漂移甚至丢失。

为了减少背景元素对目标定位的干扰, Liu^[3]提出一种基于背景对照的相似度度量标准, 这种改进的度量标准能够使跟踪系统更加关注那些与背景特征差异较大的目标, 提高了跟踪系统对背景干扰的鲁棒性。Comaniciu^[4]提出了背景加权直方图(BWH)的方法, 随后国内外有很多基于背景加权直方图的改进算法被提出^[5-9]。在文献[5]中, 对目标区域进行分块描述, 然后针对每一个子块进行背景加权。与原始的背景加权变换方法不同, 文献[5]中利用子块和背景颜色直方图的差异导出背景特征的权值。在文献[6]中, 结合背景加权直方图 and 自适应核密度估计对目标模型进行描述, 扩大了传统的 Mean Shift 算法的搜索范围。在文献[7]中, Allen 等人提出一种结合尺度自适应和背景加权的 Mean Shift 算法的并行实现方法, 提高了算法的运行效率。除此之外, 文献[8]通过将加权系数引入到空间直方图模型的计算中, 从而提出了一种基于加权空间直方图的 Mean Shift 目标跟踪算法。文献[9]将背景加权和目标空间加权相结合, 减少了背景因素的干扰, 同时提高了算法的抗遮挡能力。所有这些改进方法都是为了降低背景干扰元素对目标定位的影响, 来增强 Mean Shift 跟踪算法的精度。但是, 在文献[10]中经过理论推导和实验证明, 文献[4]

中的方法同时降低了目标模型和候选模型中背景特征的概率密度, 得到的权值与用普通方法得到的权值存在比例关系, 然而 Mean Shift 算法的迭代公式对权值的尺度变换具有不变性, 因此, 本质上该方法与传统的 Mean Shift 算法是等价的^[11]。

Mean Shift 算法本身虽然具有一定的鲁棒性, 但是由于算法本身缺少必要的模型更新策略, 当场景中目标外观变化较大或是遮挡较为严重时, 目标模型会产生较大变化从而导致跟踪失败。目前针对 Mean Shift 算法中的模型更新问题国内外都已经做了很多研究^[12], 但是大部分更新算法采用整体更新策略, 在更新过程中将目标模型看成一个整体, 同时对所有分量进行更新。文献[13]中提出了一种基于 Mean Shift 的选择性子模型更新算法, 其思路是将目标模型中的每个颜色分量作为独立个体, 然后根据每个分量的匹配贡献度大小, 选择当前帧内需要更新的分量。这种方法很好地改进了整体更新策略针对性不强、过于粗糙的缺点, 但是仍存在子模型划分标准不严格和子模型更新公式定义过于复杂的缺陷。

综合考虑以上算法的优缺点, 提出一种将改进的背景加权直方图和选择性子模型更新策略相结合的鲁棒跟踪算法, 从目标模型和模型更新两个方面对 Mean Shift 算法进行改进。首先在目标模型的表示上采用修正的背景加权直方图方法, 减少背景干扰元素对目标定位的影响; 然后引入选择性子模型更新策略, 修正子模型划分标准并改进子模型更新公式, 从而有效地解决了模型漂移的问题, 最终获得更为鲁棒的跟踪效果。

1 传统 Mean Shift 跟踪算法

Mean Shift 理论用于视觉跟踪是由 Comaniciu 在 2000 年的 CVPR 会议上第 1 次提出的^[14]。

目标模型的颜色直方图 $\hat{q} = \{\hat{q}_u\}_{u=1, \dots, m}$ 表示为

$$\hat{q}_u = C \sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{y_0 - x_i}{h}\right\|^2\right) \delta[b_f(x_i) - u] \quad (1)$$

式中, δ 为 Kronecker 函数; $k(\cdot)$ 为加权核剖面函数; h

为核剖面半径; C 为归一化常数, 使得 $\sum_{u=1}^m \hat{q}_u = 1$ 。

类似于目标模型直方图, 候选模型的颜色直方图 $\hat{p}(y) = \{\hat{p}_u(y)\}_{u=1, \dots, m}$ 表示为

$$\hat{p}_u(y) = C_h \times$$

$$\sum_{i=1}^n k \left(\left\| \frac{y - x_i}{h} \right\|^2 \right) \delta[b_f(x_i) - u] \quad (2)$$

式中, C_h 为使得 $\sum_{u=1}^m \hat{p}_u(y) = 1$ 的归一化常数。

用 Bhattacharyya 系数来量测这两个模型的相似度,即

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

目标跟踪的关键就是寻找使得 $\rho(y)$ 取得最大值的候选目标的位置,通过将 $\rho[\hat{p}(y), \hat{q}]$ 在 y_0 处展开,计算目标的新位置

$$y_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i g \left(\left\| \frac{y_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right)}{\sum_{i=1}^n w_i g \left(\left\| \frac{y_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right)} \quad (4)$$

式中, $w_i = \sum_{u=1}^m \delta[b_f(x_i) - u] \sqrt{\frac{\hat{q}_u}{\hat{p}_u(y_0)}}$, $g(x) = -k'(x)$ 。

2 背景加权

在目标跟踪过程中,背景信息常常会包含在跟踪窗口内,如果目标信息和背景信息的相似度比较高的话,势必会对目标定位的精度造成影响。为了减少背景信息的干扰,Comaniciu 在文献[4]中提出一种基于背景特征的目标模型描述方法,用以在目标模型中选择那些与背景特征区分度高的特征。但是文献[10]中已经指出,文献[4]中的模型转换公式本质上与传统的 Mean Shift 算法是一样的。

采用文献[4]中的表示方法,背景模型表示为

$\{\hat{o}_u\}_{u=1, \dots, m} \left(\sum_{i=1}^m \hat{o}_u = 1 \right)$, 设背景区域的大小为目标区域的 3 倍, $\hat{o}^*$ 表示背景模型 $\{\hat{o}_u\}_{u=1, \dots, m}$ 中的最小值,模型的加权系数定义为

$$\{v_u = \min(\hat{o}^* / \hat{o}_u, 1)\}_{u=1, \dots, m} \quad (5)$$

在文献[4]中,加权系数被同时引入到目标模型和候选模型中。与文献[4]不同的是,这里仅将加权系数引入到目标模型的颜色直方图中,建立新的目标模型颜色直方图为

$$\hat{q}'_u = C' v_u \sum_{i=1}^n k \left(\left\| \frac{y_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right) \delta[b_f(x_i) - u] \quad (6)$$

从式(5)(6)可知,如果目标模型中的颜色特征 u 在背景模型中是显著的,即 $\hat{o}_u$ 值较大,那么 u 所对应的加权系数 v_u 就会较小。因此,通过引入加权

系数,降低了目标模型中背景特征的概率,减少了背景特征对目标定位的干扰。

3 基于选择性子模型的模型更新策略

Mean Shift 跟踪算法由于在建立模型时采用了颜色直方图的表达方式,因此对目标旋转、非刚性变换以及遮挡都比较鲁棒,但是当场景中目标外观变化较大或是遮挡较为严重时,目标模型会产生较大变化,导致目标漂移甚至丢失,此时迫切需要一种有效的模型更新算法。基于 Mean Shift 跟踪框架的模型更新算法有很多,但大都采用整体模型更新策略。事实上,在实际跟踪过程中,模型中的有些分量变化显著,有些分量变化微小,有些分量需要更新,有些分量则不需要更新^[15]。

3.1 选择性子模型更新策略

针对整体模型更新策略的不足,文献[13]采用选择性子模型更新策略对其进行改进。在 Mean Shift 跟踪框架下,用 Bhattacharyya 系数来定义模型颜色特征分量 u 的匹配贡献度函数

$$M_u = \frac{\sqrt{\hat{p}_u(y) \hat{q}_u}}{\rho(y)} = \frac{\sqrt{\hat{p}_u(y) \hat{q}_u}}{\sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(y) \hat{q}_u}} \quad (7)$$

具体的子模型选择公式为

$$\begin{cases} n = \arg \min_k \left(\sum_{u=1}^k M_u \geq T_d \rho \right) & \rho(y) \geq \gamma \\ n = m & \rho(y) < \gamma \end{cases} \quad (8)$$

式中, γ 为可靠性阈值,如果 $\rho(y)$ 小于 γ ,说明目标模型发生了剧烈变化,不对模型进行更新;如果 $\rho(y)$ 大于 γ ,对模型分量进行有选择性地更新。 T_d 为子模型更新比例,根据子模型的贡献度大小,前 n 个贡献度高的子模型不进行更新,只更新余下的 $m - n$ 个贡献度低的子模型。

该选择性子模型更新策略相比整体模型更新策略有了很明显的改进,很好地克服了目标跟踪过程中的模型漂移问题。但是该算法仍存在一些缺陷:1)在选择需要更新的子模型分量时要对所有子模型的贡献度进行排序,并且要多次计算子模型分量的匹配贡献度之和,计算量较大;2)子模型更新比例设定后,导致该算法不能够根据具体环境来自适应地选择需要更新的模型分量;3)模型更新速度因子的设定不准确。

3.2 改进的更新策略

从更新策略和具体实现对传统的选择性子模型更新策略^[13]进行改进,提出以下的模型更新策略:

1) 首先设定整体模型更新阈值 t (取 $t=0.7$),利用相似度 $\rho(y)$ 从整体上控制是否对目标模型进行更新。当 $\rho(y) < t$ 时,跟踪结果出现较大偏差,为了避免影响下一帧的跟踪结果,不对模型进行更新;当 $\rho(y) \geq t$ 时,跟踪结果较为可靠,进行选择性子模型更新。

2) 然后针对子模型分量,设定子模型更新阈值 T (取 $T=0.05$),通过将分量的匹配贡献度 M_u 与更新阈值 T 进行比较来选择需要更新的模型分量。这种子模型选择方法简单有效,要比文献[13]中通过设定子模型更新比例 T_u 能更精确地控制子模型的更新数量。在不同的环境下,能够自适应地调整子模型的更新比例。当 $M_u \geq T$ 时,分量的跟踪结果较为可靠,不进行更新;当 $0 < M_u < T$ 时,分量匹配贡献度较小,但为避免过度更新导致模型漂移,根据其匹配贡献度对该分量进行加权更新。通过对多个视频序列的分析得知,95%以上的分量匹配贡献度都为0,因此处理好 $M_u=0$ 时的子模型更新至关重要,这包含3种情况,如表1所示。

表1 更新策略示例

Table 1 Update strategy example

更新前目标 模型分量	候选模 型分量	更新后目标 模型分量($a=0.6$)
(a) 		
(b) 		
(c) 		

1) $\hat{p}_u = \hat{q}_u^t = 0$,即目标模型和候选模型中都没有该模型分量,不用进行更新;

2) $\hat{p}_u > 0, \hat{q}_u^t = 0$,即目标模型中没有的模型分量出现在候选模型中,通常是由于发生了遮挡,为了维持跟踪的稳定性,在 $\rho(y) \geq t$ 的前提下,应该采用加权更新的方法对目标模型进行更新,加权因子为 a ;

3) $\hat{p}_u = 0, \hat{q}_u^t > 0$,即目标模型中原有的模型分量未出现在候选模型中,通常是发生了显著的外观变

化,同样进行加权更新。

根据改进的更新策略,具体的更新公式为

$$\hat{q}_u^t = \begin{cases} (1 - M_u)\hat{q}_u^{t-1} + M_u\hat{p}_u(y) & 0 < M_u < T \\ \hat{q}_u^{t-1} & M_u \geq T \\ (1 - a)\hat{q}_u^{t-1} + a\hat{p}_u(y) & M_u = 0 \end{cases} \quad (9)$$

式中, $\hat{q}_u^{t-1}$ 、 $\hat{q}_u^t$ 分别为更新前后目标模型的颜色直方图。通过式(2)(3)两种情况的分析可知,当 $M_u=0$ 时,目标外观通常是发生了较大的变化,此时需要加快目标模型的更新速度。因此,加权因子 a 一般要大于0.5,才能使更新速度与目标的特征变化相适应,而文献[13]中设定 $a=0.1$ 是不能够与较为剧烈的特征变化相适应的。

4 本文跟踪算法

4.1 基本原理

将基于背景加权的跟踪算法和选择性子模型的更新策略有机结合,从目标模型的表达和模型更新策略的选择两个方面对传统的 Mean Shift 跟踪算法进行改进。首先在目标模型的表示上采用修正的背景加权直方图方法,以减少背景元素对目标定位的干扰。然后在模型的更新策略上引入选择性子模型更新策略,修正子模型划分标准并改进子模型更新公式,从而有效地解决了模型漂移问题,最终获得更为鲁棒的跟踪效果。

4.2 算法步骤

在 Mean Shift 跟踪框架下,本文的改进算法完整描述如下:

1) 设定目标的初始中心位置为 y_0 ,根据式(6)计算目标模型的颜色直方图 q_u^t ;

2) 根据式(2)(3)计算候选模型的颜色直方图 $\hat{p}_u(y_0)$ 及其与目标模型的相似度 $\rho(y_0)$;

3) 根据式(4)计算权值 $\{w_i\}_{i=1,\dots,n}$ 和目标的新位置 y_1 ;

4) 计算新位置处的候选模型 $\hat{p}_u(y_1)$ 及其与目标模型的相似度 $\rho(y_1)$;

5) 若 $\rho(y_1) < \rho(y_0)$,则令 $y_1 \leftarrow \frac{(y_0 + y_1)}{2}$,并返回步骤4);

6) 若 $\|y_0 - y_1\| < \varepsilon$,则转到步骤7);否则令 $y_0 \leftarrow y_1$,并返回步骤2);

7) 根据当前跟踪结果中的目标模型与候选模型的相似度 $\rho(y_1)$ 来决定是否对目标模型进行更新, 当 $\rho(y_1) < t$ 时, 不进行更新, 继续下一帧的跟踪;

8) 当 $\rho(y_1) \geq t$ 时, 根据式(9)对模型分量进行选择性更新。

4.3 算法流程

本文算法的整体流程图如图 1 所示。

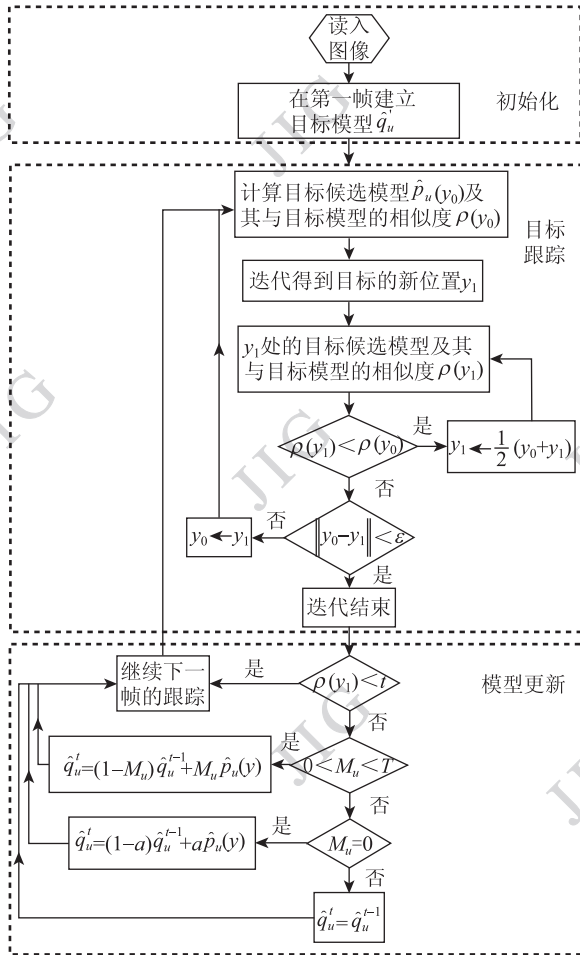


图 1 本文算法流程图

Fig. 1 Flow chart of the new tracking algorithm

5 实验结果与分析

为验证本文算法的有效性, 选取 4 段视频序列, 将本文方法 (Ours) 与目标的真实位置 (Ground Truth)、原始的 Mean Shift 跟踪算法 (MS)^[14]、修正背景加权的 Mean Shift 算法 (CBWH)^[10]、基于背景对照的 Mean Shift 算法 (BCKBT)^[3] 和基于选择性子模型更新的 Mean Shift 算法 (SSMU)^[13] 进行比较。为便于对比和分析, 且保持结论的一般性, 几种算法

都不考虑尺度变换。本文的仿真环境为 Intel G1610 CPU, 2 GB 内存, Windows XP 系统, MATLAB 7.12.0。

实验 1 采用标准的 Ball 视频序列 (共 52 帧, 尺寸大小为 240 × 352 像素), 跟踪对象为乒乓球, 在第 1 帧手动选定跟踪窗口时, 跟踪窗口内包含了较多背景元素。图 2(a) 为选取的具有代表性的跟踪结果, 帧号为 1、10、26、40、52。从中可以看到: 1) 原始的 MS 算法由于不能抑制背景元素的干扰, 多次丢失目标 (9 ~ 12 帧、26 帧)。SSMU 算法同样不能抑制背景元素的干扰, 使得模型更新反而增大了跟踪误差的累积, 导致多次丢失目标并且跟踪误差要大于 MS 算法 (9 ~ 12 帧、25 ~ 27 帧)。CBWH 算法、BCKBT 算法和本文算法能够有效地抑制背景元素的干扰, 没有出现丢失目标的情况。2) 当乒乓球接近球拍时, 跟踪窗口内出现了新的背景元素 (26 帧和 40 帧), CBWH 算法和 BCKBT 算法虽然都能够有效地减少背景元素对目标定位的干扰, 但是都不能很好地适应背景特征的变化, 跟踪结果出现偏差。本文算法由于采用了选择性子模型的更新策略, 对模型分量进行有选择地更新, 提高跟踪精度的同时避免了将过多的背景特征更新到目标模型中, 有效克服了采用整体更新策略出现的模型漂移问题。

实验 2 采用 Subway 视频序列 (共 140 帧, 尺寸大小为 288 × 352 像素), 跟踪对象为提包的白衣人。图 2(b) 为选取的具有代表性的跟踪结果, 帧号为 1、27、55、77、140。从中可以看到: 1) 最初, 5 种算法都能正确地跟踪目标。2) 随着跟踪的进行, 背景环境在改变, 导致当前实际的目标模型也在改变, 原始的 MS 算法不能适应这种变化, 并且又不能抑制背景元素的干扰, 使得跟踪窗口开始出现偏移 (27 帧)。3) 跟踪过程中, 目标先后发生了两次遮挡, 在第 1 次逐渐进入遮挡的过程中, MS 算法很快认为丢失目标, 直到完全脱离遮挡才继续跟踪, 甚至丢失目标 (60% 的测试中都丢失了目标, 造成跟踪失败)。第 2 次遮挡时, 由于初始模型中含有很多与遮挡物颜色相近的非目标颜色分量, 使得刚发生遮挡跟踪窗口就跳到了遮挡物上面。4) SSMU 算法在两次发生遮挡的过程中, 能够有选择地对模型分量进行更新, 跟踪结果较好 (55 帧和 77 帧)。但是由于 SSMU 算法的更新速度不能与目标剧烈的外观变化相适应, 在第 1 次发生遮挡时, 没有及时地把新出现的颜色分量更新到目标模型内, 跟踪窗口出现偏移 (55 帧)。而且在整个跟踪过程中, 由于不能有效地抑

制背景元素的干扰,跟踪结果不稳定,误差较大,如图 3(b)。4)CBWH 算法和 BCKBT 算法由于能够减少背景元素对目标定位的干扰,在目标初始模型中有效地抑制了背景特征,整个跟踪过程都比较稳定,

但是当目标发生遮挡时,跟踪窗口出现严重偏移(55 帧和 77 帧)。5)本文算法既能抑制背景干扰,又能在发生遮挡时有选择地对模型分量进行更新,在整个跟踪过程中都保持着较为稳定的跟踪能力。

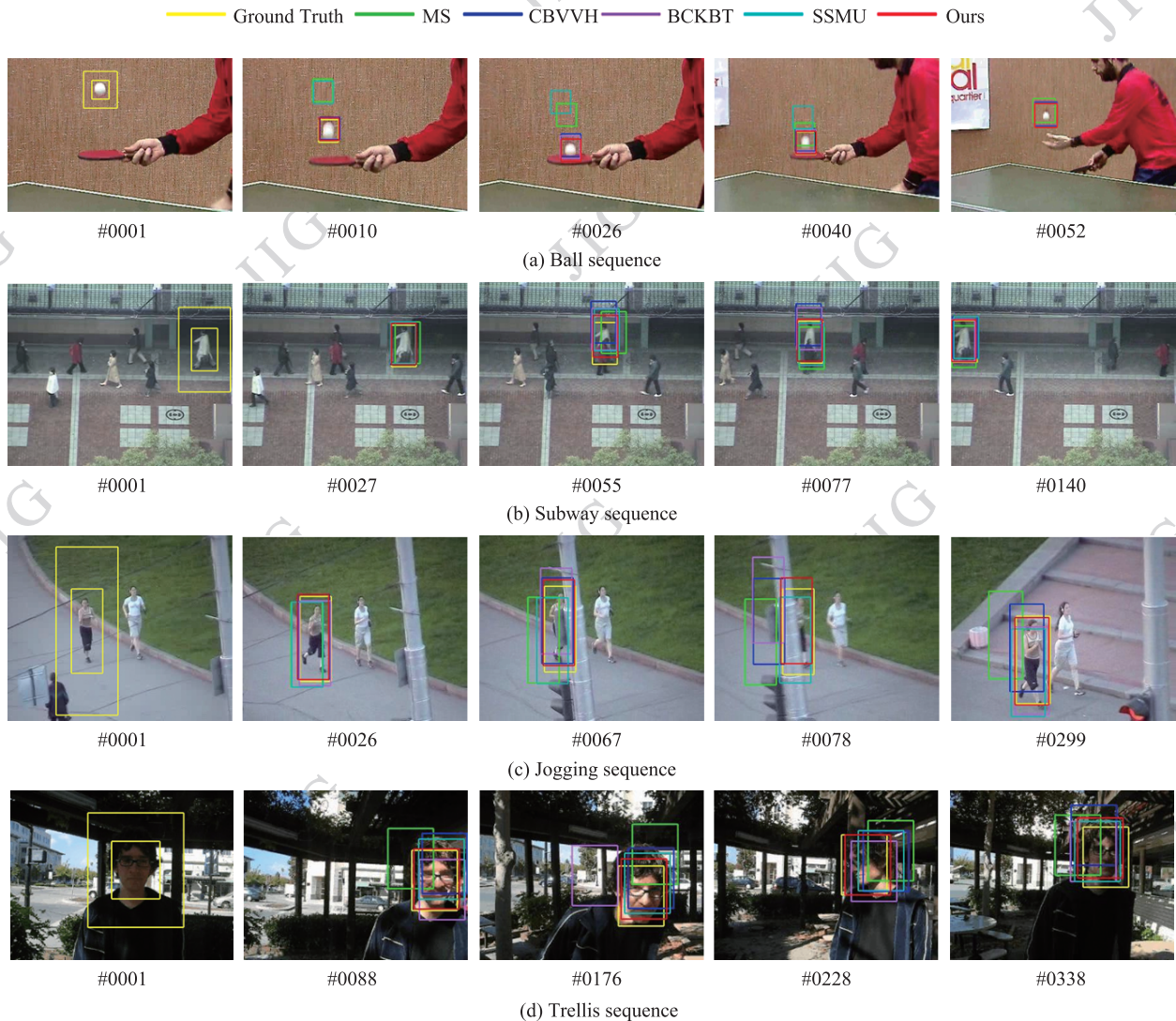


图 2 跟踪算法性能的定性比较

Fig. 2 Qualitative comparison of the four tracking algorithms

实验 3 采用 Jogging 视频序列(共 307 帧,尺寸大小 288×352),跟踪对象为穿深色衣服的人,同样,初始帧的跟踪窗口内包含了大量的背景元素。图 2(c)为选取的具有代表性的跟踪结果,帧号为 1、26、67、78、299。从图 2(c)中可以看到:1)MS 算法和 SSMU 算法由于不能抑制大量背景元素的干扰,跟踪窗口很快发生偏移(26 帧)。2)目标在运动过程中,有一段时间被电线杆所遮挡。在逐渐发生遮挡的过程中,MS 算法很快丢失目标(67 帧),CBWH 算法和 BCKBT 算法的跟踪窗口也很快出现偏

移,直至完全脱离遮挡,这 3 种算法才继续跟踪(81 帧)。SSMU 算法和本文算法在逐渐发生和脱离遮挡的过程中,一直能够很好地跟踪目标(60 ~ 70 帧,78 ~ 84 帧),直至发生全部遮挡才认为目标丢失(73 ~ 77 帧),而且本文算法更加稳定,精确度更高。3)在跟踪的最后阶段,背景发生了改变,CBWH 算法、BCKBT 算法和 SSMU 算法由于不能适应这种变化,跟踪窗口发生偏移(299 帧),MS 算法再一次丢失目标(299 ~ 301 帧),而本文算法则能够及时对目标模型进行选择更新,在整个跟踪过程中都保持

着较为稳定的跟踪能力(299 帧)。

实验 4 采用 Trellis 视频序列(共 390 帧,尺寸大小 240×320),跟踪对象为人的脸部。视频序列中光照变化剧烈,导致目标的颜色分布不断变化。图 2(d)为选取的具有代表性的跟踪结果,帧号为 1、88、176、228、338。从中可以看到:原始的 MS 算法由于没有更新目标模型,虽然可以勉强地跟上目标,但是跟踪窗口偏移真实位置较远,容易丢失目标,造成跟踪失败。CBWH 算法和 BCKBT 算法的跟踪效果虽然比原始的 MS 算法要好,但是同样由于缺少必要的模型更新机制,依然不能适应剧烈的

光照变化(88 帧和 176 帧),跟踪结果误差较大。SSMU 算法由于能够对模型分量进行选择性地更新,跟踪精度要高于 CBWH 算法和 BCKBT 算法,但是稳定性要低于本文算法。本文算法则能根据目标的外观变化,不断将当前目标中新出现的颜色分量更新到目标模型中,并且能够抑制背景特征的干扰,跟踪性能明显提高。

对以上 5 种算法的跟踪性能进行了定量对比。图 3 为 Ball 序列、Subway 序列、Jogging 序列和 Trellis 序列跟踪结果中心点与目标真实中心位置的误差,真实位置通过手工标注得到。

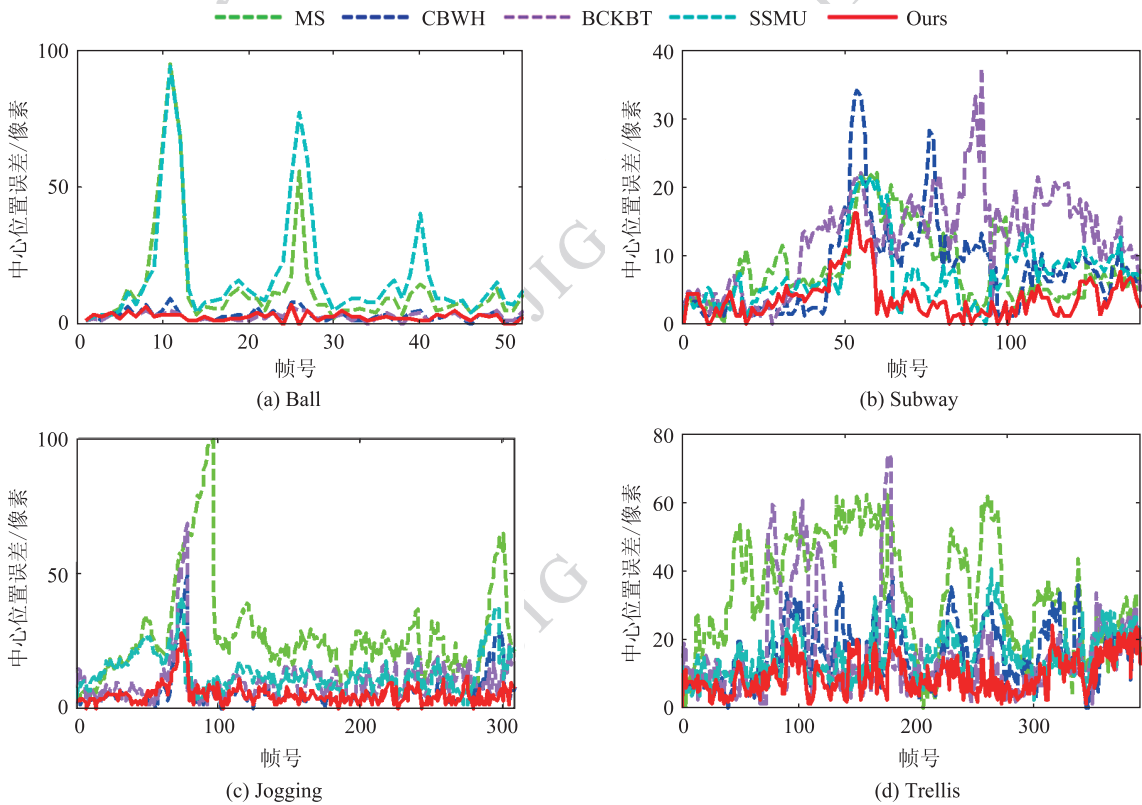


图 3 中心位置误差比较
Fig. 3 Center location error comparison

最后,为了分析算法的实时性,表 2 给出 5 种算法跟踪各组视频序列时,处理一帧所需的时间。可以看出,本文算法虽然涉及背景加权 and 模型更新,但由于提高了跟踪精度,从而减少了 Mean Shift 迭代次数,实时性较好。

6 结 论

针对传统 Mean Shift 跟踪算法的缺陷,本文从

表 2 跟踪算法运行时间比较

序列	Run time comparison of these three algorithms				
	MS	CBWH	BCKBT	SSMU	本文
Ball	54.50	55.87	66.12	56.32	56.47
Subway	117.22	116.55	125.90	118.47	116.18
Jogging	199.02	209.29	229.01	210.16	197.29
Trellis	218.39	225.37	228.07	221.79	218.17

目标模型的表示和模型更新策略的选择两个角度, 对传统 Mean Shift 跟踪算法进行了改进。实验结果表明, 本文算法能够抑制背景干扰, 同时克服了整体更新策略较为严重的模型漂移问题, 提高了跟踪的有效性和鲁棒性。但是本文算法在对目标模型进行描述的时候只选择了颜色这一种特征, 这将导致其在更复杂的场景下的跟踪性能会有所降低。因此, 如何有效地融合多个特征并进行选择性更新将是今后的一个重要工作。

参考文献 (References)

- [1] Yang C J, Ramani D, Davis L. Efficient mean-shift tracking via anew similarity measure[C] // Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, USA: IEEE, 2005: 176-183.
- [2] Comaniciu D, Meer P. Mean shift: a robust approach toward feature space analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603-619.
- [3] Liu R L, Jing Z L. Robust kernel-based tracking algorithm with background contrasting [J]. Chinese Optics Letters, 2012, 10(2): 021001(1-3).
- [4] Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Kernel-based object tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-577.
- [5] Jeyakar J, Babu R, Ramakrishnan K R. Robust object tracking with background-weighted local kernels [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2009, 112(3): 296-309.
- [6] Li L, Feng Z. An efficient object tracking method based on adaptive nonparametric approach [J]. Opto-Electron. Rev., 2005, 13(4): 325-330.
- [7] Allen J, Xu R, Jin J. Mean shift object tracking for a SIMD computer[C] // Proc. Int. Conf. Information Technology and Applications. Sydney, Australia: IEEE, 2005: 692-697.
- [8] Li X H, Zhang T Y, Shen X D, et al. Mean shift object tracking based on background-weighted spatiograms[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2010, 21(5): 767-771. [李小和, 张太镒, 沈晓东, 等. 基于加权空间直方图的均值漂移目标跟踪[J]. 光电子·激光, 2010, 21(5): 767-771.]
- [9] Chen A B, Cai Z X, Dong D Y. A tracking method based on weighted object and background [J]. Control and Decision, 2010, 25(8): 1246-1250. [陈爱斌, 蔡自兴, 董德毅. 一种基于目标和背景加权的跟踪方法[J]. 控制与决策, 2010, 25(8): 1246-1250.]
- [10] Ning J, Zhang L, Zhang D, et al. Robust mean shift tracking with corrected background-weighted histogram[J]. IET Computer Vision, 2012, 6(1): 62-69.
- [11] Liu X M, Wang S C, Zhao J, et al. Infrared target tracking based on feature fusion and background weighting [J]. Systems Engineering and Electronics, 2011, 33(10): 2159-2163. [刘兴森, 王仕成, 赵静, 等. 基于特征融合与背景加权的红外目标跟踪[J]. 系统工程与电子技术, 2011, 33(10): 2159-2163.]
- [12] Matthews I, Ishikawa T, Baker S. The Template Update Problem [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(6): 810-815.
- [13] Shen Z X, Yang X, Huang X Y. 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. 均值漂移算法中的目标模型更新方法研究[J]. 自动化学报, 2009, 35(5): 478-483.]
- [14] Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Real-time tracking of non-rigid objects using mean shift [C] // Proceedings of IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition. Hilton Head Island, SC, USA: IEEE, 2000: 142-149.
- [15] Qi M B, Zhang L, Jiang J G, et al. Target template update method in fragment tracking [J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(6): 976-982. [齐美彬, 张莉, 蒋建国, 等. 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.] [DOI: 10.11804/jig.20110621]